

Aus der I. Orthopädischen Klinik der Hessing-Stiftung, Augsburg
Chefarzt: Prof. Dr. med. K. A. Matzen

**Retrospektive Untersuchung der
Ergebnisse von 200 dorsoventralen Di-
straktionsspondylodesen mit einem neu
entwickelten Fixateur interne**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Tobias Alois Ballhausen
aus
Duderstadt
2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. K. A. Matzen

Mitberichterstatter: Prof. Dr. W. Plitz

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 18.11.2004

Inhaltsverzeichnis

<u>1.</u>	<u>Einleitung</u>	1
1.1	<u>Zielsetzung der Arbeit</u>	1
1.2	<u>Anatomie der Wirbelsäule</u>	1
1.2.1	<u>Allgemeines</u>	1
1.2.2	<u>Knöcherner und diskale Strukturelemente</u>	2
1.2.3	<u>Ligamente der Wirbelsäule</u>	2
1.2.4	<u>Muskulatur</u>	3
1.2.5	<u>Funktionelle Betrachtung</u>	3
1.2.6	<u>Biomechanische Überlegungen</u>	4
1.3	<u>Rückenschmerzen</u>	4
1.3.1	<u>Allgemeines</u>	4
1.3.2	<u>Pathogenese</u>	5
1.4	<u>Spondylodese</u>	6
1.4.1	<u>Dorsale Fusionsverfahren</u>	6
1.4.2	<u>Posterolaterale Fusionsverfahren</u>	7
1.4.3	<u>Intervertebrale Fusionsverfahren</u>	7
1.4.4	<u>Immobilisation</u>	8
1.5	<u>Instrumentelle Stabilisierung der Wirbelsäule</u>	9
1.5.1	<u>Historie</u>	9
1.5.2	<u>Pedikelschraubeninstrumentierung</u>	10
1.6	<u>Anwendungsgebiete und Indikationen</u>	11
1.6.1	<u>Spondylolyse/Spondylolisthese</u>	11
1.6.2	<u>Postnukleotomiesyndrom</u>	14
1.6.3	<u>Degenerative Wirbelsäulenveränderungen</u>	17
<u>2.</u>	<u>Material und Methoden</u>	22
2.1	<u>Patientenkollektiv</u>	22
2.2	<u>Technische Merkmale des verwendeten Implantats</u>	22
2.3	<u>Operationstechnik und perioperativer Verlauf</u>	22
2.3.1	<u>Operationsvorbereitungen</u>	22
2.3.2	<u>Dorsale Stabilisierung</u>	23
2.3.3	<u>Ventrale Fusion</u>	23

2.3.4	Nachbehandlung	24
2.4	Nachuntersuchungsmethoden	25
2.4.1	Fragebogen	25
2.4.2	Radiologische Auswertung	26
2.4.3	Klinische Untersuchung	27
2.4.4	Krankenaktenauswertung	27
3.	Ergebnisse	28
3.1	Betrachtung des Gesamtkollektivs	28
3.1.1	Anthropometrische Daten	28
3.2	Operationsauswertung	35
3.2.1	Allgemeine Operationsinformationen	35
3.3	Radiologische Auswertung	43
3.3.1	Allgemeine Auswertung	43
3.3.2	Materialkomplikationen	44
3.3.3	Knöcherner Konsolidierung und Pseudarthrosen	46
3.3.4	Distraction und Distaktionsverlust	50
3.3.5	Weitere radiologische Kriterien	53
3.4	Komplikationen	54
3.4.1	Operative Komplikationen	54
3.4.2	Weitere Komplikationen	60
3.5	Fragebogenauswertung	61
3.5.1	Allgemeines	61
3.5.2	Schmerzscore	61
3.5.3	Oswestry-Index	65
3.5.4	Subjektive Besserung/Änderung der Beschwerden	70
3.5.5	Analgetikabedarf	76
4.1.	Implantat	77
4.1.1	Allgemeines	77
4.1.2	Pedikelschraubenbrüche und -lockerungen	77
4.1.3	Distraction und Distaktionsverlust	80
4.2	Operation	81
4.2.1	Operative Komplikationen	81
4.2.2	Neurologische Komplikationen	84
4.2.3	Weitere operative Merkmale	85

4.2.4	Allgemeine Komplikationen	86
4.3.	Konsolidierungs-/Pseudarthrosraten	86
4.4	Klinische Ergebnisse	91
4.4.1	Allgemeines	91
4.4.2	Oswestry-Pain-Disability-Index	92
4.5	Allgemeine Überlegungen	95
4.6	Ausblick	95
5.	Zusammenfassung	98
6.	Literaturverzeichnis	99
7.	Abkürzungsverzeichnis	115
8.	Danksagung	117
9.	Lebenslauf	119

1. Einleitung

1.1 Zielsetzung der Arbeit

In dieser Arbeit werden die mittelfristigen Ergebnisse von dorsoventralen Fusionsoperationen mit einem neuen, winkelstabilen und gering dimensionierten Fixateur interne bei unterschiedlichen Wirbelsäulenerkrankungen vorgestellt. Das Spektrum der Wirbelsäulenpathologien umfasst Patienten mit isthmischen und degenerativen Spondylolisthesen, Osteochondrosen, Postnukleotomiesyndrom und nach anderen Voroperationen an der Wirbelsäule. Das neue Implantat diene der Unterstützung einer intersomatischen Fusion. Bei der retrospektiven Betrachtung der Fälle wird besonderes Augenmerk auf die Stabilität, Dauerhaftigkeit und Komplikationsrate des Implantates, die Konsolidierung der Spondylodese sowie die subjektiven und objektiven Resultate der Patienten gelegt. Unter den behandelten Wirbelsäulenpathologien befinden sich solche, bei denen bisherige Untersuchungen den Einsatz von transpedikulären Instrumentierungen zur Unterstützung von Spondylodesen eindeutig rechtfertigen (Spondylolisthese) (Mardjetko *et al.* 1994). Für andere Indikationen wie z. B. die rein degenerativen Erkrankungen oder auch das Postnukleotomiesyndrom gibt es Hinweise für die Verbesserung der Fusionsraten (Zdeblick 1993; Schwab *et al.* 1995), ein Beweis der Verbesserung des subjektiven Patientenbefindens steht allerdings noch aus.

1.2 Anatomie der Wirbelsäule

1.2.1 Allgemeines

Die menschliche Wirbelsäule ist der wichtigste und größte Anteil des Achsenskeletts und dient der Bewegung des Rumpfes sowie dem Schutz des Rückenmarks und der Nervenwurzeln. Sie ist segmental aufgebaut, besteht in 92% aus insgesamt 24 präsakralen Wirbeln zuzüglich Kreuz- und Steißbein und besitzt in der Sagittalebene eine doppelte S-Form. Vom 1. bis 6. Halswirbel sowie vom 9. Brust- bis zum 5. Lendenwirbel ist sie lordotisch, vom 6. Hals- bis zum 9. Brustwirbel sowie am Kreuz- und Steißbein dagegen kyphotisch gekrümmt. Die Halswirbelsäule umfasst sieben, die Brustwirbelsäule zwölf, die Lendenwirbelsäule fünf, das Kreuzbein fünf und das Steißbein vier (3-6) Wirbel (Frick *et al.* 1992). Insgesamt seltene Abweichungen von diesen Zahlen sind meistens an der Lendenwirbelsäule zu finden. Existieren beispielsweise sechs Lenden-

wirbelkörper spricht man von einer Lumbalisation, beim Vorliegen von vier Lendenwirbelkörpern von Sakralisation. Dazwischen können auch Normvarianten mit einseitiger Verschmelzung des untersten Lendenwirbelkörpers mit dem Kreuzbein auftreten (Hemilumbalisation, -sakralisation).

1.2.2 Knöcherne und diskale Strukturelemente

Die Wirbel bestehen aus einem kortikospongiösen Wirbelkörper und einem Wirbelbogen, der über die beiden Bogenwurzeln, die sogenannten Pedikel, mit dem Wirbelkörper verbunden ist. Diese Strukturen umschließen das im Querschnitt etwa dreieckige Wirbelloch, Foramen vertebrale. Die Pedikel entspringen bei Seitenansicht im oberen Anteil des Wirbelkörpers und bilden auch die kraniale Grenze der Neuroforamen. Ebenfalls zum Wirbelbogen zählen die paarigen Querfortsätze, Processus transversi bzw. costales, die oberen und unteren Gelenkfortsätze, Processus articulares superiores et inferiores sowie der Dornfortsatz, Processus spinosus. An der Lendenwirbelsäule kommen noch die Processus mamillares mit den benachbarten Tubercula accessoria hinzu. Die Wirbel sind durch je drei Gelenke und verschiedene Bandstrukturen miteinander verbunden. Ventral liegen zwischen den Wirbelkörpern die Bandscheiben, Disci intervertebrales, welche aus einem faserknorpeligen Ring, Anulus fibrosus und dem innen liegenden, gallertartigen Kern, Nucleus pulposus, bestehen und eine Amphiarthrose vom Symphysentyp bilden. Sie dienen der Pufferung und Kompensation von axialen Kräften und der Vermeidung von Zug- und Rotationskräften, sind abgesehen von ihrem äußersten Rand gefäßlos und ernähren sich per diffusionem über die Wirbelkörperendplatten. Weiter dorsal artikulieren zwei benachbarte Wirbelkörper über die beiden rechts und links der Mittellinie lokalisierten Facettengelenke, Articulationes zygapophysiales miteinander.

1.2.3 Ligamente der Wirbelsäule

Außer den obengenannten Gelenkstrukturen sind die einzelnen Wirbel über verschiedene Ligamente miteinander verspannt. Vorn auf der Wirbelkörpervorderfläche liegt das Lig. longitudinale anterius und ist dort fest mit dem Wirbel verwachsen. An der Hinterfläche der Wirbelkörper verläuft das Lig. longitudinale posterius, welches jedoch nur am Anulus fibrosus der Bandscheibe fixiert ist. Sie beginnen beide an der Schädelbasis (Clivus bzw. Os occipitale/Tuberculum anterius atlantis) und enden auf der Kreuzbein-

vorder- bzw. Hinterfläche. Die dorsalen Anteile der Wirbel sind im Bereich der Wirbelbögen über die Ligg. flava und intertransversaria, sowie an den Procc. spinosi über die Ligg. interspinalia miteinander verbunden. Zusätzlich verlaufen von der Protuberantia occipitalis bis zum Proc. spinosus des 7. HWK das Lig. nuchae und vom 7. Halswirbel über die Spitzen der Procc. spinosi bis zum 4. Lendenwirbel (selten bis zum Sakrum) das Lig. supraspinale. Diese Bandstrukturen hemmen übermäßige Ventralflexionen der Wirbelsäule.

1.2.4 Muskulatur

Die aktiven Bewegungen an der Wirbelsäule werden über ein umfangreiches System von an den Wirbeln inserierenden Muskeln gesteuert. Die Rückenstreckmuskulatur, als Gesamtheit auch M. erector spinae genannt, besteht aus verschiedenen Anteilen, die jeweils nur auf einen bestimmten Bereich der Wirbelsäule beschränkt sind. Man unterscheidet drei verschiedene Schichten aus je drei Muskeln. Die tiefe Schicht umfasst die Mm. intertransversi, interspinales und rotatores. In der mittleren Schicht sind die Mm. multifidii, semispinales und levatores costae zusammengefasst. Die Mm. splenius, longissimi und iliocostalis bilden die oberflächliche Schicht. Die flektorisch wirkende Muskulatur besteht aus den Mm. iliopsoas, quadratus lumborum und der Bauchdeckenmuskulatur.

1.2.5 Funktionelle Betrachtung

Als kleinste funktionelle Einheit der Wirbelsäule wird das Bewegungssegment nach Junghanns oder die „Functional Spinal Unit“ (FSU) angesehen, welches aus zwei Wirbeln, den sie verbindenden drei Gelenken und den umgebenden Weichteilen wie Gelenkkapseln, Bändern und Muskeln besteht (Junghanns 1951). Die paarigen Facettengelenke bilden dabei den Drehpunkt für die Bewegungen zwischen den ventralen (Wirbelkörper) und dorsalen Anteilen (Procc. spinosi/transversi, Ligamente). Die einzelnen Gelenke haben nur ein geringes Bewegungsausmaß. In Ihrer Gesamtheit ermöglichen sie jedoch ganz beträchtliche Bewegungen in allen Ebenen, insbesondere in der Frontalebene. Je nach Orientierung der Gelenkflächen der Facettengelenke werden bestimmte Bewegungen in einzelnen Wirbelsäulenabschnitten begünstigt. An der HWS liegen, abgesehen von den spezialisierten Kopfgelenken, die Gelenkflächen nur wenig zur Horizontalebene geneigt, so dass hier Bewegungen in allen Richtungen möglich

sind. An der BWS stehen die Gelenkflächen nahezu frontal in einer von ventrokranial nach dorsokaudal verlaufenden Ebene. Sie erlauben eine ausgiebige Ventralflexion und Seitneigung. Die Dorsalextension wird durch die Brustwirbeldornfortsätze eingeschränkt. Rotationsbewegungen finden nur im unteren BWS-Bereich statt. Die Gelenkflächen der LWS lassen eine begrenzte Seitneigung und ausgedehnte Extensions-/Flexionsbewegungen um eine quere Achse zu, da sie nahezu sagittal angeordnet sind. Rotationsbewegungen sind hingegen nur um wenige Grad möglich.

1.2.6 Biomechanische Überlegungen

Auf die Wirbelsäule mit seinen einzelnen Bewegungssegmenten als funktionelle Einheiten wirken Druck-, Scher-, Biege und Torsionskräfte ein. Diese werden durch die knöchernen, diskalen und ligamentären Strukturen sowie die ansetzenden Muskeln kompensiert und transformiert. Den Muskeln kommt dabei als aktives Element des sogenannten „tension-band“-Systems eine zuggurtende Funktion zu (Kummer 1991). Dadurch wird ein aufrechter Gang des Menschen erst möglich. Biomechanisch kann man die Wirbelsäule in einen vorderen und einen hinteren Abschnitt einteilen. Der vordere Abschnitt besteht aus den Wirbelkörpern mit den Bandscheiben, während dem hinteren Abschnitt die Wirbelbögen, Facettengelenke und die sie verbindenden Ligamente zugeordnet werden. Da die Achse des Körperschwerpunktes vor der Wirbelsäule liegt, wird der vordere Anteil mehr auf Druck und der hintere Abschnitt auf Zug belastet. Ist die Wirbelsäule intakt, wirkt die vordere Säule folglich als Distractionssystem, während die hintere Kette als eine Art Kompressionssystem funktioniert. Bei einer axial wirkenden Kraft werden die Lasten vom dorsal angreifenden M. erector spinae so verändert, dass sich 80% als ventrale Kompressionskraft und 20% als horizontale Scherkraft auf das Bewegungssegment verteilen (sogenanntes „load-sharing“-Prinzip) (Kummer 1991; Harms *et al.* 1995).

1.3 Rückenschmerzen

1.3.1 Allgemeines

Epidemiologische Untersuchungen haben ergeben, dass im Schnitt 70 % aller Menschen im Verlauf ihres Lebens Rückenschmerzen erleben (Zdeblick 1995). Als Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenbeschwerden durch degenerative Veränderun-

gen gelten häufiges, repetitives Heben schwerer Lasten und/oder das chronische Einwirken von Vibrationen auf die Wirbelsäule, z. B. bei Berufskraftfahrern (Kelsey *et al.* 1975; Frymoyer *et al.* 1980; Brinckmann *et al.* 1990). Biomechanisch besonders ungünstig ist dabei eine stehende Haltung mit ausgestreckten Armen und Rumpfbeugung um 30° nach vorn (Schultz *et al.* 1982). Aber auch andere ungünstige Körperstellungen erhöhen die Rückenschmerzprävalenz (Undeutsch *et al.* 1982). Außerdem scheint Nikotinabusus häufiger mit Rückenschmerzen assoziiert zu sein (Frymoyer *et al.* 1983). Am häufigsten betroffen ist die Lendenwirbelsäule, und die Beschwerdeursachen sind vielfältig.

1.3.2 Pathogenese

1.3.2.1 Wirbelsäulendegeneration

Betrachtet man die degenerativen Veränderungen an den Gelenken, so werden als mechanische Ursachen die Dehnung der Facettengelenkkapsel, der mechanische Druck auf freiliegenden subchondralen Knochen, trabekuläre Mikrofrakturen und eine intraossäre Druckerhöhung angegeben. Außerdem kann eine reine arthrosebedingte Synovitis der Gelenke ebenfalls zu Schmerzen führen. Durch die oben genannten Veränderungen werden die freien Nervenendigungen der Nozizeptoren, die in der Facettengelenkkapsel, in den oberflächlichen Schichten des Anulus fibrosus und im Ligamentum longitudinale posterius lokalisiert sind, stimuliert. Die Aktionspotentiale werden über dünne C-Fasern und A-delta-Fasern, via Rückenmarkshinterhorn, den kontralateralen Tractus spinothalamicus und den Thalamus zum somatosensorischen Kortex im Gyrus postcentralis fortgeleitet (Bogduk 1983). Gesunde Faserringe der Bandscheiben weisen nur in ihren äußeren Schichten eine große Anzahl an kleinen freien Nervenendigungen auf. Bei vorgeschädigten Bandscheiben findet man dagegen solche Nervenendigungen bis zur Hälfte der Dicke des Anulus fibrosus (Yoshizawa *et al.* 1980). Dieser Mechanismus der Schmerzentstehung wird durch weitere Umstände verstärkt. In geschädigtem und entzündlich verändertem Bindegewebe kommt es zur Freisetzung von Mediatoren wie Substanz P, Histamin, Bradykinin und Prostaglandinen (Rang *et al.* 1991), was zu einer Sensibilisierung der Schmerzfasern führt. Dadurch können ansonsten schmerzfreie Bewegungen plötzlich Schmerzen verursachen. Hinzu kommt die experimentell nachgewiesene, direkt schmerzauslösende Potenz des Nucleus pulposus durch den Gehalt an Phospholipase A2, Immunglobulin G oder Stromelysin (Olmaker

et al. 1993). Die klinische Symptomatik der Reizung dieser Nervenendigungen besteht zum größten Teil aus einem unspezifischen Rückenschmerz, da die Fasern aus den verschiedenen Strukturen in starkem Maß auf der Ebene des Rückenmarkes konvergieren.

1.3.2.2 Neurogene Ursachen

Neben den im Binde- und Stützgewebe ausgelösten Schmerzen dürfen natürlich die neurogenen Schmerzen nicht außer acht gelassen werden. Diese entstehen in erster Linie durch Kompression neuraler Strukturen wie Nervenwurzeln oder Spinalganglien durch vorgefallenes Bandscheibengewebe, osteophytäre Anbauten oder bei bindegewebige Spinalkanalstenosen. Spinalganglien sind von Natur aus drucksensibel, während die Nervenwurzeln nur im bereits entzündeten, irritierten Zustand mit deutlich vermehrter Aktivität auf Druck reagieren. Die Neurokompression einzelner Nervenwurzeln führt zu einer radikulären Symptomatik, welche durch Hypästhesien und Schmerzen im von der Nervenwurzel versorgten Dermatome sowie durch Paresen von Kennmuskeln charakterisiert wird. Der Symptomenkomplex kann voll oder nur teilweise ausgeprägt erscheinen und durch Extensionsbewegungen der Wirbelsäule gebessert werden. Bei dieser radikulären Symptomatik fallen oft klinische Tests mit Zugbelastung auf den N. ischiadicus positiv aus (Lasegue-/Bragard-Test). Reflektorische Schonhaltungen sowie muskulärer Hartspann sind nicht selten erkennbar.

1.4 Spondylodese

1.4.1 Dorsale Fusionsverfahren

Schon vor knapp neunzig Jahren gab es die ersten Versuche, an der Wirbelsäule eine knöcherne Verbindung zur Verbesserung der Stabilität herzustellen (Albee 1911; Hibbs 1911). Damals lag das Ziel in der Verhinderung einer progressiven Wirbelsäulendeformität bei Wirbelkörpertuberkulose und bei idiopathischen Skoliosen. Seit dieser Zeit wurden verschiedene Techniken der dorsalen Spondylodese der Wirbelsäule angewandt, die mit einigen Modifikationen für ungefähr fünfzig Jahre der Behandlungsstandard bleiben sollten. Dabei wurden für die Fusion autologe Knochenstreifen verwandt, die bei der Dekortikation der Laminae und Procc. spinosi gewonnen wurden. Erst später wurde auch ortsfremder, autologer Knochen zur Fusion eingesetzt (Bosworth 1945;

Cleveland *et al.* 1948). Ein Nachteil dieser Verfahren lag in der biomechanisch ungünstigen Lokalisation des angelagerten Knochenmaterials relativ weit von der Rotationsachse in der Frontalebene entfernt, so dass bei Flexionsbewegungen ständig für die Knochenheilung ungünstige Zugbelastungen auf das Transplantat wirken.

1.4.2 Posterolaterale Fusionsverfahren

Watkins 1953 und kurz darauf Adkins 1955 (Watkins 1953; Adkins 1955) beschrieben als erste die posterolaterale Fusion, bei der die Regionen der Facettengelenke, der Partes interarticulares und der Basen der Procc. transversi zweier benachbarter Wirbel durch Anlagerung von Knochenspänen miteinander fusioniert werden. Dieses Verfahren wurde später von Wiltse (Wiltse *et al.* 1968) modifiziert und über einen neuen, sogenannten paraspinalen Zugangsweg durchgeführt. Sowohl über den paraspinalen als auch über den medialen Zugang gehört es auch heute weiterhin zu den Standardfusionsverfahren an der Wirbelsäule (Zdeblick 1993).

1.4.3 Intervertebrale Fusionsverfahren

Andere Verfahren der Spondylodese eines Wirbelsäulensegmentes basieren auf der Exzision des Discus intervertebralis und dessen Ersatz durch auto- oder homologen Knochen in Form von bi- oder trikortikalen Spänen. Dieses Ziel kann operativ sowohl von ventral (ALIF) als auch von dorsal (PLIF) erreicht werden.

Die ventrale Methode (ALIF) wurde erstmals von Capener (Capener 1932), kurz darauf von Burns (Burns 1933) und von Jenkins (Jenkins 1936) zur Behandlung der Spondylolisthesis mit bescheidener Erfolgsquote erwähnt. Grundsätzlich sind zwei verschiedene operative Zugangswege zu erwähnen. Zum einen der transperitoneale Zugang, der bei anatomisch schwierigen Verhältnissen im Bereich des lumbosakralen Übergangs (z. B. einem ausgeprägten lumbosakralen Winkel) auch heute noch zum Einsatz kommt. Zum anderen der retroperitoneale Zugang (Iwahara 1944), der bei Harmon (Harmon 1960, 1963) und parallel bei Hodgson (Hodgson *et al.* 1960) erstmals bei einer größeren Patientenzahl (n= 244) mit gutem Erfolg (95 % Fusion) zum Einsatz kam. Gegenüber der transperitonealen Methode wird damit insbesondere der Bridenbildung und der postoperativen Darmträgheit durch peritoneale Irritationen vorgebeugt (Bauer *et al.* 1991). Als Modifikationen dieser Technik sind ein weichteilschonender, die Muskeln in Faserrich-

tung spaltender (Fraser 1982) und ein pararektaler, retroperitonealer Zugangsweg (Strempele 1994) beschrieben.

Aufgrund schwerwiegender Komplikationsmöglichkeiten wurde die interkorporelle Fusion lange Zeit nur bei vorangegangenen, fehlgeschlagenen posterolateralen oder dorsalen Fusionen als sogenannte „salvage procedure“ eingesetzt. Die Gefahr einer Verletzung intra- oder retroperitoneal gelegener Strukturen wie Darm, Harnleiter, Iliakalgefäße oder Plexus lumbosacralis ist grundsätzlich gegeben (Watkins 1992; Baker *et al.* 1993). In der Hand eines erfahrenen Operateurs, mit der Verbesserung der Operationstechnik und der Entwicklung neuer Instrumente sind diese Komplikationen jedoch insgesamt selten.

Die erste Erwähnung des dorsalen Zuganges für die interkorporelle Fusion (PLIF) ist bei Jaslow 1946 (Jaslow 1946) zu finden, aber Cloward führte diese Operation bereits 1943 erstmals durch (Cloward 1963). Hierbei ist eine ausgedehnte Laminektomie/Facettektomie notwendig, da die autologen Knochenspäne an den Nervenwurzeln vorbei in den Intervertebralraum eingebracht werden müssen. Wiltberger und Cloward berichten über Fusionsraten von 87 bzw. 93% mit dieser Technik der Spondylodese (Wiltberger 1957; Cloward 1963). Hierbei ist die Verletzungsgefahr für Organe des Retroperitonealraumes gering, jedoch besteht die Gefahr der intraoperativen Verletzung bzw. Druckschädigung von einzelnen Nervenwurzeln oder der gesamten Cauda equina. Außerdem birgt das Verfahren die Gefahr der epiduralen Narbenbildung, welche dann erneute Beschwerden auslösen kann. Heute wird diese Operationsform meistens mit einer dorsalen, transpedikulären Instrumentierung kombiniert und die Fusionsergebnisse liegen bei ca. 94 % (Steffee *et al.* 1993; Boos *et al.* 1997).

1.4.4 Immobilisation

Zur Verbesserung der Fusionsergebnisse mussten die Patienten lange Zeit postoperativ in ausgedehnten Gipsverbänden oder durch Bettruhe immobilisiert werden. Solche Verbände reichten oft von der oberen BWS bis über das Hüftgelenk hinaus (Lane *et al.* 1948; Kimura 1968; Matzen 1989). Die Nachteile einer solchen Immobilisation wie Thromboemboliegefahr, Inaktivitätsosteopenie und Muskelatrophie sind nicht zu unterschätzen. Da eine externe Stabilisierung (z. B. Gipsimmobilisation) nie eine völlige Ruhigstellung herbeiführen kann, suchten Wirbelsäulenchirurgen nach Möglichkeiten der inneren Fixation.

1.5 Instrumentelle Stabilisierung der Wirbelsäule

1.5.1 Historie

Schon 1891 benutzte Hadra erstmals Drahtumwicklungen an der Wirbelsäule zur Behandlung von Frakturen (Hadra 1891). Lange berichtete 1910 über die Anwendung von Metallstäben und Zelluloidzylindern zur Stabilisierung bei Spondylitis (Lange 1910). King verwendete 1944 erstmals die isolierte Facettengelenksverschraubung (King 1944), welche später von Boucher erneut aufgegriffen wurde (Boucher 1959). Hierbei wird zusätzlich Knochenmaterial an und in die kleinen Wirbelgelenke gelegt, um die knöcherne Konsolidierung zu erzielen. Wegen des nur begrenzten Areal des knöchernen Kontaktes und einer mangelhaften Stabilität konnte sich diese Form der Spondylose nicht dauerhaft etablieren.

Im Jahre 1961 versuchte Humphries erstmals die interne Fixierung durch eine von ventral auf die Wirbelkörper aufgeschraubte Metallplatte zu erzielen (Humphries *et al.* 1961). Dieses Verfahren barg jedoch damals noch eine hohe Verletzungsgefahr für die ventral dem Wirbelkörper aufliegenden großen Gefäße und die erzielte Stabilität war noch mangelhaft. Erst Weiterentwicklungen dieser Methode, die anterioren Stabilisierungssysteme von Zielke (Zielke 1982) oder Kaneda (Kaneda *et al.* 1984), die vor allem zur Korrektur von Deformitäten der vorderen Säule bei Frakturen oder bei Skoliosen zur Anwendung kommen, konnten sich durchsetzen.

Harrington war 1962 der Erste, der eine dorsale Stabfixation der Wirbelsäule anwandte. Hierbei benutzte er Längsträger, die er auf beiden Seiten der Mittellinie durch unter die Lamina eingehängte Haken befestigte, in Kombination mit dorsalen Fusionsverfahren bei Skoliosen und traumatischen Wirbelsäulendeformitäten (Harrington 1967). Ebenfalls auf dem Indikationsgebiet der traumatischen und idiopathischen Wirbelsäulendeformitäten versuchte Luque (mittels sublaminärer Drahtfixation an einem Längsstab) die beim Harrington-Verfahren fehlende Rotationsstabilität zu erzielen (Luque 1986). Aufgrund der erhöhten neurologischen und hämorrhagischen Komplikationen lag das Hauptindikationsgebiet dieses Verfahrens im Bereich der neurogenen Skoliosen, während die Operation nach Harrington lange Anwendung bei den idiopathischen Skoliosen fand.

Buck etablierte noch eine weitere Form der dorsalen Instrumentierung der Wirbelsäule. Er verschraubt die defekte Pars interarticularis bei der Spondylyolyse direkt und erzielte

damit bei fehlendem oder nur gering ausgeprägtem Wirbelgleiten gute Ergebnisse (Buck 1970).

Harrington war auch der Vorreiter auf dem Gebiet der transpedikulären Schraubenfixation (Harrington 1967). Er verließ dieses Verfahren jedoch bald wieder, da er sich keine Vorteile davon versprach. Im Jahre 1970 beschrieb dann Roy-Camille als erster gute Erfahrungen mit einer Methode, bei der der stabilste Anteil des gesamten Wirbels, die Bogenwurzel (Pedikel), zur Fixierung eines Instrumentariums genutzt wird (Roy-Camille *et al.* 1970). Das Einbringen dieser Schrauben erfolgte dorsal von einem Punkt wenige mm unterhalb des Gelenkspaltes des kleinen Wirbelgelenkes in einem Winkel von 10-15° zur Sagittalebene. Als Längsverbinding der Pedikelschrauben verwendete er Platten, die jeweils rechts und links der Procc. spinosi die Schrauben einer Seite miteinander verbanden.

1.5.2 Pedikelschraubeninstrumentierung

Die meisten heutigen Wirbelsäulenstabilisierungssysteme basieren auf der Fixierung mittels Pedikelschrauben, die mit Platten (Steffee *et al.* 1986) oder mit stabförmigen Längsträgern (Kluger *et al.* 1986; Dick 1987; Dörner 1995) untereinander verbunden werden. Hinsichtlich der Stabilität unterscheidet man dabei sogenannte semirigide Systeme (Luque *et al.* 1988; Schwab *et al.* 1995), von den rigiden, winkelstabilen Systemen. Bei den Erstgenannten besteht keine feste Verbindung zwischen den Längsträgern und den Pedikelschrauben, so dass der instrumentierte Bereich nicht völlig ruhig gestellt ist. Die Entwickler erhoffen sich eine Verringerung der Begleiterscheinungen bei rigiden Instrumentarien wie Osteoporose oder das „stress shielding“-Phänomen (McAfee *et al.* 1989; Gertzbein *et al.* 1996; Pfeiffer *et al.* 1997). Bisher ließen sich aber keine echten Vorteile „in vivo“ nachweisen, so dass heute zur Unterstützung der knöchernen Durchbauung von Spondylodesen die rigiden, transpedikulären Fixationssysteme am häufigsten angewendet werden. Hierunter finden sich, neben vielen anderen, die bereits oben erwähnten Pedikelschraubensysteme von Kluger, Dick, Matzen oder Steffee (Kluger *et al.* 1986; Steffee *et al.* 1986; Dick 1987; Dörner 1995). Die Anwendungsgebiete umfassen Instabilitäten nach Traumen, Entzündungen oder Tumoren genauso wie die Spondylolisthese. Bei den degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen war die Wirksamkeit lange umstritten, jedoch konnten zuletzt mehrere Studien eine signifikante Verminderung der Pseudarthrosenraten bei instrumentierten Spondylodesen belegen (Zdeblick 1993; Yuan *et al.* 1994; Fischgrund *et al.* 1997). Ausdruck fand

diese Entwicklung auch in der Anerkennung der Pedikelschrauben als medizinische Geräte der Klasse II durch die amerikanische „Food and Drug Administration“ (FDA) 1998. Bis dahin waren Pedikelschrauben als experimentelle Instrumente in der Klasse III eingestuft. Trotzdem ist der Enthusiasmus, insbesondere bei den degenerativen Erkrankungen gedämpft, da sich trotz verbesserter Fusionsraten die klinischen Ergebnisse nicht signifikant verbessern ließen (Yuan *et al.* 1994; Boos *et al.* 1997).

1.6 Anwendungsgebiete und Indikationen

1.6.1 Spondylolyse/Spondylolisthese

Bei der Spondylolisthese handelt es sich um das Gleiten der Wirbelsäule gegenüber dem darunter liegenden Wirbel nach ventral. Nur der dorsale Wirbelanteil mit Dorn- und unteren Wirbelgelenksfortsätzen verbleibt in der ursprünglichen Position. Ursache hierfür ist eine Spaltbildung oder Strukturauflockerung des gleitenden Wirbels im Bereich der Pars interarticularis (Nazarian 1992). Diese Veränderung kann ein- oder beidseitig ausgeprägt sein. Es liegt eine früh erworbene, schleichende oder seltener eine traumatische Ossifikationsstörung des Wirbelbogens vor, so dass keine mechanisch stabile Verbindung mehr zwischen dorsalem Anteil und dem restlichen Wirbel besteht. Ca. 5-7% der Bevölkerung sind von dieser Veränderung betroffen und bei ca. 4 % ließe sich ein Wirbelgleiten nachweisen. Nur 50 % dieser Fälle werden jedoch im Verlauf des Lebens symptomatisch (Fredrickson *et al.* 1984).

Typ	Art der Spondylolisthese
I	dysplastisch
II A	isthmisch: Spondylolyse
II B	isthmisch: Isthmuselongation
III	traumatisch
IV	degenerativ
V	pathologisch

Tabelle 1: Klassifikation der Spondylolisthese nach (Wiltse *et al.* 1976)

In 80% der Fälle ist die Pars interarticularis des fünften Lendenwirbels und damit das Bewegungssegment zwischen dem fünften Lendenwirbelkörper und dem Kreuzbein betroffen (sog. Spondylolyse/-listhese L5/S1). Nur in 15 % tritt die Pathologie am 4.

Lendenwirbel auf. Newman und Wiltse (Newman 1963; Wiltse *et al.* 1976) unterscheiden verschiedene Typen der Spondylolisthese (siehe Tab. 1). Bei der isthmischen Spondylolisthese werden die Spondylolyse (A) und die Isthmuselongation (B) unterschieden. Das Ausmaß des Vorwärtsgleitens (Anterolisthesis) wird nach Meyerding in fünf verschiedene Grade klassifiziert (siehe Tab. 2) (Meyerding 1932). Dabei wird die Position der Hinterkante des Gleitwirbels auf der Deckplatte von SWK 1 bestimmt.

Grad	Ausmaß des Gleitens
I	0-25 %
II	26-50 %
III	51-75 %
IV	75-100 %
V	Spondyloptose

Tabelle 2: Klassifikation nach (Meyerding 1932)

Bei Kindern und Heranwachsenden treten Beschwerden üblicherweise während des Wachstumsschubs auf. Der größere Anteil der symptomatischen Patienten wird jedoch erstmals in der Erwachsenenperiode auffällig. Die Patienten klagen über Rückenschmerzen, Beinschmerzen und/oder neurologische Defizite. Zu Beginn der Therapie kann eine kurze Ruhephase mit begleitender analgetischer und myotonolytischer Medikation hilfreich sein. Infiltrationen an die schmerzauslösende Pars interarticularis des Gleitwirbels und begleitende physiotherapeutische Maßnahmen wurden beschrieben. In schweren Fällen kann auch eine Korsettbehandlung versucht werden (Nazarian 1992). Nach Seitsalo kommt es bei 38% der konservativ behandelten Patienten zu einer spontanen Stabilisierung der bestehenden Instabilität. Trotz der oft erfolgreichen konservativen Maßnahmen werden 10-20% der Patienten im weiteren Verlauf operiert (Seitsalo 1990).

Bei persistierenden Lumbalgien/Lumboischialgien, beim Auftreten neurologischer Defizite und bei signifikanter Progression der Anterolisthese sollte die Indikation zur Operation gestellt werden. Hierbei kommen verschiedenste Verfahren, u.a. die direkte Fusion der defekten Pars interarticularis, die alleinige dorsale Dekompression, die „in situ Fusion“ (posterolateral oder ventral), die Fusion nach Reposition, jeweils mit oder ohne instrumentelle Stabilisierung, sowie die Resektion des Gleitwirbels zur Anwendung.

Die direkte Reparatur des Defektes wird bei der Spondylolyse und der leichten, symptomatischen Spondylolisthese Grad I junger Patienten ohne wesentliche Nukleusde-

generation erfolgreich eingesetzt (Kimura 1968; Buck 1970; Hefti *et al.* 1992). Eine alleinige Dekompression durch Resektion des Wirbelbogens vom LWK 5 inklusive beidseitiger Foraminotomie (Gill *et al.* 1955) kann zu einer Progression des Gleitvorgangs und zu einer vermehrten Instabilität führen (Amuso *et al.* 1970).

Auch bei der Spondylolisthese wird der „richtige“ Ort der Fusion (dorsolateral, ventral oder kombiniert) kontrovers diskutiert. Ventrale Spondylodesen (ALIF) ohne innere Fixierung (Matzen 1989) oder mit transpedikulärer Instrumentation (Hähnel *et al.* 1991) führten zu guten Ergebnissen. Auch die sogenannten PLIF-Verfahren erzielten hohe Fusionsraten (Cloward 1981). Von dorsal als Mittellinienfusion (Harris *et al.* 1987) oder als posterolaterales Verfahren (Johnson *et al.* 1983) wurden Spondylodesen ebenfalls erfolgreich beschrieben, jedoch ließen sich diese Berichte nicht immer reproduzieren (Seitsalo *et al.* 1990). Kombinierte Verfahren mit dorsaler bzw. ventraler Reposition, ventraler Spanversorgung (Beckenkamm oder Fibula) und dorsaler Instrumentierung, wurden bei hochgradigen Spondylolisthesen angewendet (DeWald *et al.* 1981; Louis *et al.* 1990).

In seiner Übersichtsarbeit empfiehlt Nazarian bei der symptomatischen, therapieresistenten Spondylolyse oder beginnenden Spondylolisthese (Grad I) ohne Zeichen einer Degeneration die Defektverschraubung. Bei stärkerer Anterolisthese und/oder nachweisbarer Bandscheibendegeneration sollte eine dorsolaterale oder eine ventrale „in situ“-Fusion, unterstützt durch eine transpedikuläre Instrumentierung, zum Einsatz kommen. Nur hochgradige Spondylolisthesen, insbesondere bei jungen Patienten, sollten aus biomechanischen und morphologischen Gründen gezielt reponiert werden (Nazarian 1992). Hierdurch können die Folgen einer reinen „in situ“-Fusion, wie bleibende lumbosakrale Deformität (Johnson *et al.* 1983), Dislokation der Späne (Seitsalo *et al.* 1990) und hohen Pseudarthroseraten (Turner *et al.* 1971) reduziert werden (Boxall *et al.* 1979). Zur Vermeidung neurologischer Komplikationen bei der Reposition von hochgradigen Spondylolisthesen entwickelte Gaines (Gaines *et al.* 1985) ein Verfahren, welches eine Resektion des LWK 5 mit anschließender zweizeitiger Fusion des LWK 4 auf dem Sakrum umfasst. Auch eine langsame, schrittweise Reposition wurde versucht, welche jedoch trotz immensem Aufwand keine Verringerung der neurologischen Komplikationen (Bradford *et al.* 1990) gegenüber einer intraoperativ durchgeführten Reposition (Louis *et al.* 1990) brachte.

1.6.2 Postnukleotomiesyndrom

Das Postnukleotomiesyndrom (PNS), im angloamerikanischen Sprachraum auch „failed back surgery syndrom (FBSS)“, bezeichnet ein Krankheitsbild, bei dem Patienten trotz oder auch gerade wegen vorangegangener Operationen (Nukleotomie, Laminektomie, Spondylodese) an der Wirbelsäule persistierende Beschwerden beklagen. Die Häufigkeit nach Nukleotomien wird mit 10-15 % angegeben (Hanley *et al.* 1989).

Als Ursache kommen unterschiedliche Faktoren in Betracht. Am häufigsten in diesem Zusammenhang genannt werden intraspinale und intraforaminale Narbenbildung, Arachnoiditis, Segmentinstabilität, Re prolaps von verbliebenem Diskusmaterial oder progrediente degenerative Veränderungen mit daraus resultierender lokaler Foramen- oder Spinalkanalstenose (siehe Tab. 3). Auf einige Ursachen wird im folgenden noch näher eingegangen.

In den Bereich der falschen präoperativen Diagnosen fallen Patienten mit Bandscheibenvorfall, welche intraoperativ gleichzeitig noch eine laterale Stenose oder sogar nur diese aufwiesen (Burton *et al.* 1981; Kirkaldy-Willis *et al.* 1982). Manche Autoren sehen in solchen degenerativen Veränderungen mit lateraler Stenose die Hauptursache für eine radikuläre Kompression (Crock 1976). Deshalb ist für Frymoyer die strenge Indikationsstellung zur Nukleotomie von besonderer Bedeutung. Psychischen Alterationen eines Patienten sollten besonders berücksichtigt werden, da diese Personen einen geringeren Operationserfolg aufweisen (Frymoyer *et al.* 1978).

A. Allgemeine Ursachen	Falsche präoperative Diagnose
	Falsche Operationsindikation
	Fehler bei der Operation
	Komplikation bei der Operation
B. Nach Nukleotomien	Reprolaps
	Übersehener Nukleusprolaps
	Falsches Segment
	Chronisch intrinsische Radikulopathie
	Dekompensation des Bewegungssegments
C. Nach Spondylodesen	Pseudarthrose
	Erworbene Spondylolyse
	Diskopathie
	Schmerzen an Knochenentnahmestelle
	Erkrankungen des angrenzenden Segments
D. Chron. neurog. Schmerzsy.	
E. Dekonditionierungssy.	

Tabelle 3: Ätiologie des Postnukleotomiesyndroms nach (LaRocca 1990)

Unter die direkten operativen Fehler fallen neben Läsionen von Nervenwurzeln oder Gefäßen auch übersehene Sequester sowie die Operation der falschen Bandscheibe. Darüber hinaus sind noch die allgemeinen operativen Komplikationen wie z. B. Infektion oder Thrombose zu nennen.

Die Häufigkeit von Verschmälerungen des Intervertebralraumes nach Nukleusprolaps im Sinne einer Dekompensation des Bewegungssegments wird von Frymoyer (Frymoyer *et al.* 1979; Frymoyer *et al.* 1980) mit 18% angegeben. Dadurch allein oder durch eine ebenfalls resultierende, zusätzliche Subluxationsstellung der Facettengelenke kann es zu einer Einengung der Neuroforamen mit nachfolgender radikulärer Kompression kommen. Ungefähr die Hälfte dieser degenerativ veränderten Bandscheiben wird im weiteren Verlauf operativ fusioniert.

Ein Reprolaps ist prognostisch nicht vorhersehbar und weist typischerweise ein beschwerdefreies Intervall nach der ersten Operation auf.

Unter die Rubrik der chronischen intrinsischen Radikulopathie fällt die sogenannte Arachnoiditis, die durch einen entzündlichen Fokus, z. B. vorgefallenes Bandscheibenmaterial, kleine Mengen Blut oder Fremdkörper im Liquorraum, hervorgerufen wird (Burton 1978) und ein intradurales Geschehen darstellt. Nach Ablauf von drei Phasen endet dieser Prozess in einer Ummauerung der Nervenwurzel mit nachfolgender Wurzelischämie und -atrophie. Nach Operationen im Spinalkanal kann es aber auch durch epidurale Entzündungsreaktionen oder Hämatome mit nachfolgender Narbenbildung zu

einer erneuten Wurzelkompression mit persistierenden radikulären Beschwerden kommen.

Chronische Kompression mit daraus resultierender Ischämie und nachfolgender struktureller Schädigung der Nervenwurzel kann bleibende Beschwerden trotz erfolgreicher Dekompression verursachen (Deafferenzierungsschmerz).

Nach Spondylodeseoperationen ist die Pseudarthrose eine mögliche Ursache für persistierende Beschwerden. Ihre Häufigkeit schwankt zwischen 0 und 94%. Solche extremen Differenzen sind einerseits auf unterschiedliche Patientenkollektive und Operationsverfahren, aber auch auf die abweichenden Definitionen und Kriterien für eine Pseudarthrose zurückzuführen. Einige Autoren berichten jedoch auch, dass zwischen dem Auftreten einer Pseudarthrose und dem funktionellen Ergebnis eines Patienten nach einer Spondylodese kein Zusammenhang besteht (Freebody *et al.* 1971; Flynn *et al.* 1979; Greenough *et al.* 1994). Als weitere Ursache für eine Beschwerdepersistenz nach dorsalen Fusionen wird eine erworbene Spondylolyse (Spondylolysis acquisita) im angrenzenden Bewegungssegment beschrieben (Rombold 1965). Auch eine unveränderte Diskopathie nach posterolateraler Fusion kann andauernde Beschwerden verursachen (Weatherley *et al.* 1986). 37-55 % der Fälle weisen mindestens 10 Jahre nach einer Operation eine schmerzhafte Knochenentnahmestelle auf (Frymoyer *et al.* 1978; Lehmann *et al.* 1987). Im Langzeitverlauf kommt auch eine zunehmende Degeneration oder Instabilität von angrenzenden Bewegungssegmenten als Einflussfaktor für eine Beschwerdesymptomatik infrage (Frymoyer *et al.* 1978; Lee *et al.* 1984; Lehmann *et al.* 1987). Die physikalische Verfassung der Patienten scheint die Rückenschmerzsymptomatik ebenfalls zu beeinflussen. Cady beobachtete bei einer Gruppe von Feuerwehrmännern eine signifikant geringere Anzahl von Rückenschmerzepisoden in der Gruppe der am besten trainierten Probanden (Cady *et al.* 1979). Mayer konnte zeigen, dass Patienten, die ein intensives Rehabilitationsprogramm durchlaufen haben, bessere Ergebnisse mit geringfügigeren Beschwerden aufweisen (Mayer *et al.* 1986). Auf diese Weise kann dem Dekonditionierungssyndrom nach Wirbelsäulenoperationen entgegen gewirkt werden. LaRocca sieht allerdings die Hauptursachen für erfolglose Wirbelsäulenoperationen in einer inadäquaten Auswahl der Patienten, des Operationsverfahrens oder in einem technischen Fehler bei der Operation (LaRocca 1990).

Abhängig von der vermuteten Hauptursache werden unterschiedliche therapeutische Vorgehensweisen propagiert. Liegt ein eindeutiger Rezidivprolaps oder ein neuer Vorfall in einem anderen Bewegungssegment mit radikulärer Schmerzausstrahlung vor, spre-

chen die bekannten Ergebnisse für die Durchführung einer zweiten Nukleotomie. Waddell *et al.* haben jedoch beobachtet, dass mit zunehmender Zahl an Voroperationen die Erfolgsrate einer weiteren Operation deutlich absinkt (Waddell *et al.* 1979). Bei eindeutiger, im MRT gesicherter, Narbenbildung als Ursache persistierender Beschwerden sollte eine Operation nur im Ausnahmefall erfolgen, da die Erfolgchancen lediglich bei 50 % liegen (Lehmann *et al.* 1981). Wenn bei symptomatischen Patienten nach einer Operation die degenerativen Veränderungen des Intervertebralraumes oder der Facettengelenke fortschreiten oder eine Instabilität beobachtet wird, sehen einige Autoren die Indikation zur Spondylodese gegeben (Finnegan *et al.* 1979; Waddell *et al.* 1979; La-Rocca 1990). Die geeignete Form der Fusion wird kontrovers diskutiert und es gibt bisher keine eindeutigen Beweise für die Überlegenheit einer Methode.

1.6.3 Degenerative Wirbelsäulenveränderungen

1.6.3.1 Ätiologie und Pathogenese

Mit zunehmendem Alter kommt es an der Wirbelsäule, genau wie an vielen anderen Gelenken des menschlichen Körpers, zu Abnutzungserscheinungen, welche jedoch nicht immer mit Beschwerden oder Funktionseinschränkungen assoziiert sind.

Die stärkste Ausprägung solcher Degenerationen lassen sich an der mittleren HWS, der unteren LWS sowie am thorakolumbalen Übergang nachweisen, da diese Regionen den stärksten mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Durch schweres Heben, insbesondere unter biomechanisch ungünstigen Bedingungen (z. B. mit langem Hebel) kann dieser Prozess beschleunigt werden. Daneben existieren noch weitere prädisponierende Faktoren wie Nikotinabusus oder familiäre Belastung. Radiologisch lassen sich neben Intervertebralraumverschmälerung, Endplattensklerose und Spondylophytenbildung auch Gelenkspaltverschmälerungen, Osteophyten und subchondrale Sklerose der Facettengelenke nachweisen.

Pathophysiologisch verschlechtert sich die Nutrition der Bandscheiben mit zunehmendem Alter, da die Diffusion von Nährstoffen über eine zunehmend sklerosierte Endplatte erschwert wird. Die Perfusion der umgebenden Gefäße verschlechtert sich im Alter. Dies führt zu vermehrtem anaeroben Stoffwechsel mit der Produktion von Laktat, nachfolgendem intradiskalen pH-Abfall und vorzeitigem Zelltod von Chondrozyten. Durch die folgende vermehrte Freisetzung proteolytischer Enzyme kommt es zu einer fortschreitenden Schädigung der Bandscheibe. Die MRT lässt bereits wesentlich früher

als das Nativröntgen Zeichen für eine Diskusdegeneration durch einen progredienten Wasserverlust erkennen. Schon ab einem Alter von 25-30 Jahren weisen die Disci intervertebrales eine Verminderung des Wasser- und Glukosaminoglykangehalts sowie radiären Spaltbildungen und sich daraus entwickelnde Risse im Faserring („anular tears“) auf. Diese sind typischerweise im posterolateralen Bereich des Anulus fibrosus zu finden und ihre Entstehung wird durch Torsionsbelastungen gefördert. Es kommt auch zu Herniationen von Teilen des Nucleus pulposus in die Wirbelkörper, was als sogenannter innerer Bandscheibenvorfall bezeichnet wird (Crock 1986). Solche Veränderungen allein können bereits chronische Schmerzsyndrome auslösen. Eine hohe akute Belastung, z. B. das Heben einer schweren Last, kann zu einem plötzlichen Integritätsverlust der Bandscheibe, inklusive eines Vorfalls von Anteilen des Nucleus pulposus in den Spinalkanal oder in einen Recessus lateralis, führen. Dies kann, abgesehen von neurologischen Komplikationen durch die Nervenwurzelkompression, auch eine mehr oder minder ausgeprägte Instabilität in der vorderen und mittleren Säule der Wirbelsäule verursachen. Lokale Entzündungsreaktionen werden durch den Stimulus des „freiliegenden“ Materials des Nucleus pulposus verursacht (siehe Kap. 1.3.2.1).

Die Bandscheibendegeneration mit Höhenminderung des Intervertebralraumes wurde lange Zeit als erste degenerative Veränderung angesehen, welche die weiteren, sekundären Degenerationen an den Facettengelenken und Ligamenten durch die Lastverschiebungen und durch vermehrte Translationsbewegungen erst bedingen (Gotfried *et al.* 1986). Jedoch gibt es Hinweise dafür, dass Facettengelenksveränderungen auch ohne das Vorliegen von Intervertebralraumverschmälerungen auftreten (Vanharanta *et al.* 1988).

Basierend auf den Vorstellungen des Wirbelsäulenbewegungssegmentes nach Junghanns (Junghanns 1951), führte Kirkaldy-Willis den Begriff des „Drei-Gelenk-Komplexes“, bestehend aus den zwei Facettengelenken und der Bandscheibe, ein (Kirkaldy-Willis *et al.* 1978; Kirkaldy-Willis *et al.* 1979). Daran kann der Ablauf der degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule, aufgeteilt in drei Phasen, verdeutlicht werden. In der ersten Phase führen kleine Veränderungen der Biochemie, Physiologie und Biomechanik des „Drei-Gelenk-Komplexes“ zum Auftreten erster klinischer Symptome. Der Ablauf der Degeneration erfolgt an der Bandscheibe über die bereits genannten Rissbildungen im Anulus fibrosus hin zu einer Herniation und/oder Höhenminderung. Parallel dazu entsteht in den Facettengelenken über eine synoviale Entzündung eine Knorpelabnutzung mit begleitendem Gelenkerguss, welcher die Gelenkkapsel dehnt. In

Kombination führen diese Veränderungen in der zweiten Phase zu einer vermehrten Beweglichkeit in den betroffenen Bewegungssegmenten (symptomatischen Instabilität). In der dritten Phase kommt es dann durch das Fortschreiten der Abnutzungserscheinungen und die progrediente Entstehung von Spondylophyten zu einer zunehmenden Versteifung des Bewegungssegments. Hierdurch können sich die primären Beschwerden verringern, jedoch neue Symptome durch die Entstehung einer Spinalkanal- oder Rezessusstenose hinzukommen.

1.6.3.2 Die degenerative Spondylolisthese

Als besondere Form der degenerativen Erkrankungen der LWS mit Instabilität ist die degenerative Spondylolisthese oder auch sog. Pseudospondylolisthese zu sehen. Durch schwere degenerative Veränderungen der Bandscheibe und der unteren Gelenkfortsätzen kommt es zu einem progredienten Gleitphänomen des kranialen Wirbels eines Bewegungssegmentes (mit der gesamten darüber liegenden Wirbelsäule) gegenüber dem darunter liegenden Wirbel. Durch die Höhenminderung des Bandscheibenraumes werden die Scherkräfte nur noch mangelhaft kompensiert, so dass es zu einem vermehrten Transversalschub des kranialen Wirbels kommt. Die daraus resultierende Ventralisation der axialen Schwerkraftlinie des Körpers mit Verlängerung des Hebelarmes verstärkt die Scherkräfte noch weiter. Als prädisponierend hierfür wird eine stark horizontale Stellung der Facettengelenke angenommen. Am häufigsten betroffen ist das Bewegungssegment L4/L5 (ca. 80%), da durch die ligamentäre Fixierung des 5. Lendenwirbels an Sakrum und Becken die Scherkräfte in diesem Bewegungssegment besonders hoch sind. Die eher sagittale Orientierung der kleinen Wirbelgelenke im Segment L4/L5 - im Vergleich zur koronaren Ausrichtung am lumbosakralen Übergang - begünstigt den Gleitvorgang bei L4/L5 ebenfalls. Da auch der Wirbelbogen eine Ventralverschiebung erfährt, führt dieses Phänomen, anders als bei der spondylolytischen Spondylolisthese, schon bei mäßiger Ausprägung des Gleitvorgangs zu einer symptomatischen Spinalkanalstenose (Kirkaldy-Willis *et al.* 1974). Die Stenose wird in der Folge durch die körpereigenen, reparativen Stabilisierungsvorgänge wie Flamm- und Facettenhypertrophie noch verstärkt (Harms *et al.* 1995). Andererseits limitiert sich der Gleitvorgang spätestens dann von selbst, wenn der Isthmus des Gleitwirbels am oberen Rand des Processus articularis superior anstößt.

1.6.3.3 Klinisches Erscheinungsbild und diagnostische Maßnahmen

Abhängig vom Ausmaß und der Art der Wirbelsäulendegeneration kann das klinische Erscheinungsbild sehr verschieden sein. Rückenschmerzen mit zum Teil pseudoradikulärer Ausstrahlung lassen sich in vielen Fällen nachweisen (Brown *et al.* 1983). Liegt außerdem noch eine radikuläre Kompression vor, können Ischialgien, dermatombezogene Hypästhesien oder Paresen hinzukommen. Bei zentralen Spinalkanalstenosen beklagen die Patienten oft Symptome einer Claudicatio spinalis (Benini 1997). Hierbei stehen Beinschmerzen und zum Teil radikuläre Symptome bei längerer aufrechter Körperhaltung im Vordergrund. Im Gegensatz zur vaskulären Claudicatio intermittens, bei der schon ein Stehen bleiben zu einer Schmerzlinderung führt, sistieren die Beinschmerzen bei der Claudicatio spinalis typischerweise erst durch die Aufhebung der Lendenlordose beim Hinsetzen. Neurologische Extremvarianten mit Zeichen einer Konus-/Kaudakompression sind selten. In der Diagnostik degenerativer Wirbelsäulenveränderungen kommen neben der klinischen Untersuchung Nativröntgenbilder mit Funktionsaufnahmen, Computertomographie, Magnetresonanztomographie, Myelographie und Discographie zur Anwendung. Häufig sind jedoch nicht alle Verfahren für eine Diagnosestellung erforderlich.

1.5.3.4 Therapie

Zu Beginn der Therapie kommen fast immer konservative Maßnahmen mit Physiotherapie, Wärme, Extensionsbehandlung und Elektrotherapie zur Anwendung (Broll-Zeitvogel *et al.* 1999). Zur Unterstützung erhalten die Patienten, insbesondere in der Akutphase Analgetika, Myotonolytika oder auch Vitamin-B-Komplex-Präparate (Zdeblick 1995). Außerdem können, je nach vermuteter Schmerzursache, Steroidinjektionen in die schmerzauslösenden Bereiche durchgeführt werden (z. B. Facettengelenksinfiltration, Wurzelblockaden, oder epidurale Injektionen) (Grifka *et al.* 1999). Wenn diese Maßnahmen langfristig (meist Zeitraum von mehr als 12 Monaten) ohne Erfolg bleiben und degenerative Veränderungen in den bildgebenden Verfahren weit fortgeschritten sind, ist die relative Indikation zur Operation gegeben. Ziel der operativen Bemühungen ist die Schmerzreduktion und die Verbesserung neurologischer Symptome durch Spinalkanaldekompensation und/oder Spondylodese. Wenn eine maßgebliche Segmentinstabilität auf dem Boden der degenerativen Veränderungen als Schmerzursache identifiziert wird, sollte eine Spondylodese erfolgen. Im Hinblick auf die Form der Spondylodese

und die Methoden ihrer Durchführung gehen die Meinungen, insbesondere bei den degenerativen Veränderungen, weit auseinander.

Einige Autoren (Greenough *et al.* 1994; Kozak *et al.* 1994; Nachemson *et al.* 1996; Greenough *et al.* 1998) sehen das zentrale Problem in der Region der Bandscheibe im Sinne eines sogenannten „discogenic pain“. Sie propagieren intersomatische Fusionsmethoden, bei denen die schmerzauslösenden Disci intervertebrales ausgeräumt und fusioniert werden. Unterstützt wird diese Theorie von Beobachtungen, bei denen trotz gesicherter Fusion nach posterolateraler Spondylodese die Bandscheibe weiterhin als Ursache der Beschwerden identifiziert werden konnte (Weatherley *et al.* 1986). Auch die trotz etwas schlechterer Fusionsraten besseren klinischen Ergebnisse werden als Argumente für eine intersomatische Fusion herangezogen (Greenough *et al.* 1994; Greenough *et al.* 1998).

Verfechter der posterolateralen Fusionsmethoden (Zdeblick 1993; Nachemson *et al.* 1996) sehen in der Region der kleinen Wirbelgelenke eine entscheidende Mitursache für die chronischen Rückenschmerzen. Außerdem führen sie als weitere Argumente die geringere Invasivität einer Operation und die biomechanisch günstigere Lage des Knochentransplantates zum Bewegungszentrum der Wirbelsäule an. Dadurch können die schmerzauslösenden Bewegungen im affektierten Gewebe besser reduziert werden (Fraser 1995).

Aufgrund dieser kontroversen Diskussionen kommt auch die Kombination aus beiden Fusionen als sogenannte „circumferential fusion“ zum Einsatz (O'Brien *et al.* 1986).

Die Unterstützung der jeweiligen Art der Fusion mittels Instrumentierung wird inzwischen von den meisten Autoren befürwortet. Zur Verbesserung der Fusionsraten hat sich bei den degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule wie auch bei Patienten mit Instabilitäten nach Tumoren, Traumen oder Entzündungen die transpedikuläre, rigide Stabilisierung mittels der mannigfaltig auf dem Markt angebotenen Systeme etabliert (siehe Kap.1.5.2).

2. Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum zwischen dem 01.01.1996 und dem 15.06.1998 wurden in der I. Orthopädischen Klinik der Hessing-Stiftung (Chefarzt: Prof. Dr. K. A. Matzen) insgesamt 200 Patienten mit isthmischer und degenerativer Spondylolisthese, reinen Segmentdegenerationen oder nach vorangegangenen Wirbelsäulenoperationen unter Anwendung eines neuen, von Prof. Matzen mit entwickelten, Fixateur interne operativ behandelt.

2.2 Technische Merkmale des verwendeten Implantats

Bei diesem Fixateur interne handelt es sich um ein komplett aus einer Titanlegierung (TiMoNi) gefertigtem Fixierungssystem zur internen, dorsalen Stabilisierung der Brust- und/oder Lendenwirbelsäule. Es besteht aus Schanz'schen Schrauben, Längsträgern mit rundem Profil und Klemmbacken. Die Schrauben haben einen Durchmesser von 5 mm, eine Länge von insgesamt 200 mm und eine Gewindelänge von 28 mm. Der Längsträger ist ebenfalls 5 mm stark und in seiner Form individuell modellierbar. Mit Hilfe der Klemmbacken kann der Längsträger durch Festdrehen einer einzigen Mutter an den im Pedikel platzierten Schrauben fixiert werden. Wegen des geringen Platzbedarfs, der hohen Winkelstabilität und der individuellen Anpassungsfähigkeit der Längsträger kann der Fixateur sowohl mono- als auch polysegmental verwendet werden. Die Titanlegierung ermöglicht neben der konventionellen Röntgendiagnostik auch postoperativ, bei liegendem Implantat, eine aussagekräftige Bildgebung mittels der Kernspintomographie und sorgt für eine gute Gewebeverträglichkeit

2.3 Operationstechnik und perioperativer Verlauf

2.3.1 Operationsvorbereitungen

Nach Stellung der vorläufigen Operationsindikation zur Durchführung einer dorsoventralen Distractionsspondylodese anhand der klinischen und radiologischen Befunde erfolgt die discographische Untersuchung der angrenzenden Bandscheiben zur endgültigen Festlegung der Spondylodesestrecke. Alle Bandscheiben, bei denen sich in der Discographie ein sogenannter „memory pain“ auslösen lässt oder die keine physiologi-

sche Darstellung (Typ I und II) (Adams *et al.* 1986) des Nucleus pulposus erkennen lassen, werden in die Spondylodese eingeschlossen. Anschließend erfolgt eine präoperative Eigenblutspende, bei der in der Regel zwei bis drei Konserven Erythrozytenkonzentrat und Blutplasma gewonnen werden. Ebenfalls präoperativ wird dem Patienten ein Hohmann'sches Überbrückungsmieder angemessen, welches dann bis zur ersten postoperativen Mobilisierung fertiggestellt wird. Darüber hinaus erlernen die Patienten bereits präoperativ Verhaltensregeln, die sie postoperativ berücksichtigen müssen.

2.3.2 Dorsale Stabilisierung

Die Operation wird in Allgemeinnarkose durchgeführt. In entlordosierter Bauchlage werden Cutis und Subcutis über den Procc. spinosi durchtrennt. Nach Spaltung der Fascia dorsalis wird die paravertebrale Muskulatur auf beiden Seiten von den Laminae gelöst und bis über die Gelenkfortsätze hinaus abgeschoben. Im Anschluss erfolgt unter Bildverstärkerkontrolle das transpedikuläre Einschlagen eines Pfriem bis zum Erreichen des ventralen Wirbelkörperkortex. Nach der Pfriemextraktion folgt das Eindrehen der 5-mm-Schanzschraube ebenfalls bis an die Wirbelkörpervorderkante (Zindrick *et al.* 1986; Dick 1987; Krag *et al.* 1989). In gleicher Weise werden nun Schrauben in alle Pedikel der zu versteifenden Segmente eingebracht. Neben der radiologischen Lagekontrolle der Pedikelschrauben wird zusätzlich eine elektrische Stimulation (Glassman *et al.* 1995; Pröbstl 1995) durchgeführt. Auf jede Schraube wird eine sogenannte Klemmbacke aufgesetzt. Mit deren Hilfe wird dann der individuell vorgebogene Längsträger fixiert. Wenn dieser in der geplanten Position platziert ist, wird die kaudale Klemmbacke festgestellt. Mit Hilfe einer Spreizzange kann nun die gewünschte Distraction herbeigeführt und die rostrale Klemmbacke befestigt werden. Die Schrauben werden danach über den Backen abgeschnitten, um den Platzbedarf so gering wie möglich zu halten. Die Gegenseite wird anschließend nach dem gleichen Verfahren distrahiert und fixiert. Nach Einlage einer subfaszialen Redondrainage auf jeder Seite wird der Operationssitus schichtweise verschlossen (Dörner 1995).

2.3.3 Ventrale Fusion

In erneuter Allgemeinnarkose erfolgt der Hautschnitt in linksaufgeklappter Rechtsseitenlage im Bereich der linken Flanke. Nach Spalten der Cutis und Subcutis wird zuerst die Region des vorderen, linken Beckenkammes präpariert und deperiostiert. Je nach

Anzahl der zu versteifenden Segmente wird eine entsprechende Länge bi- oder trikortikaler Beckenkamm mit dem Meißel oder der oszillierenden Säge gewonnen. Das Periost wird über der Entnahmestelle nach Einlage einer Redondrainage und eines Hämostyptikums vernäht. Als nächster Schritt folgt nun die schichtweise Eröffnung der Bauchdecke über einen Wechselschnitt. Hierbei werden der Musculus obliquus abdominis externus, internus und der Musculus transversus in Faserrichtung durchtrennt. Im Anschluss an das stumpfe Abschieben des Peritoneums nach ventral präpariert man vor dem Musculus iliopsoas und lateral von den Iliakalgefäßen auf die Wirbelsäule zu. Beim Erreichen des ersten Bandscheibenraumes wird die Höhenlokalisierung mittels Nadel und Bildwandlerkontrolle durchgeführt. Bei korrekter Lage erfolgt nun die komplette Ausräumung der Bandscheibe unter Schonung des vorderen und hinteren Längsbandes und die sorgfältige Entknorpelung der Deck- und Grundplatten der angrenzenden Wirbelkörper. In den freien Intervertebralraum werden je zwei oder drei vorher zugeschnittene bi- bzw. trikortikale Knochenspäne eingeschlagen. Auf diese Weise wird im Normalfall mit allen in die dorsale Stabilisierung eingeschlossenen Segmenten verfahren. Nach der Kontrolle auf Bluttrockenheit und der Einlage einer tiefen retroperitonealen Redondrainage wird die Bauchdecke schichtweise wieder verschlossen und die Haut geklammert (Matzen 1989).

2.3.4 Nachbehandlung

Nach der dorsalen Stabilisierung werden die Patienten am zweiten postoperativen Tag im Hohmann'schen Überbrückungsmieder mobilisiert. Das Aufstehen ist den Patienten nur über die Bauchlage erlaubt. Die Mobilisation erfolgt anfangs im Gehwagen und nach wenigen Tagen an zwei Unterarmgehstützen unter Vermeidung von Torsionsbewegungen des Schultergürtels gegenüber dem Becken. Die Redondrainagen werden bei nachlassender Sekretion am zweiten postoperativen Tag entfernt. Sind die Patienten ausreichend erholt, wird die ventrale Fusion für den 12. bis 14. Tag nach der ersten Operation geplant. Im Anschluss daran sollten die Patienten erneut 2 Tage Bettruhe einhalten. Es besteht Nahrungskarenz und parenterale Ernährung bis zum Wiedereinsetzen der Darmperistaltik, meist am dritten postoperativen Tag. Die Mobilisation erfolgt in gleicher Form wie nach der ersten Operation. Die Entfernung der Drainagen wird ebenfalls am zweiten postoperativen Tag durchgeführt. Bei primärer Wundheilung wird das Klammernahtmaterial üblicherweise am 14. postoperativen Tag entfernt. Bis zu diesem Zeitpunkt bleiben die meisten Patienten noch in stationärer Behandlung. Das

Hohmann'sche Überbrückungsmieder tragen die Patienten im Schnitt sechs Monate. Nach dieser Zeit und bei zunehmender Durchbauung der Spondylodesestrecke kann das Mieder unter krankengymnastischer Anleitung abgeschult werden. Insgesamt müssen die Patienten eine lebenslange Rückendisziplin einhalten und selbständig krankengymnastische Kräftigungsübungen der wirbelsäulenumspannenden und rumpfstabilisierenden Muskulatur durchführen. Nachkontrollen des klinischen und radiologischen Heilungsverlaufs werden anfangs in sechswöchigem, später im dreimonatigem Abstand bis zur Metallentfernung durchgeführt. Diese erfolgt nach knöcherner Durchbauung der Spondylodesestrecke, um eventuellen Reizungen durch implantiertes, körperfremdes Material vorzubeugen und die mechanischen Alterationen der Muskulatur zu minimieren.

2.4 Nachuntersuchungsmethoden

2.4.1 Fragebogen

Der Fragebogen erfasst sowohl das subjektive Empfinden des Patienten vor der Operation als auch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mindestens ein Jahr nach der Operation. Hierzu werden den Patienten zwei, in vor und nach der Operation separierte Bögen, zur eigenständigen Bearbeitung zugesandt. Diese beinhalten neben Fragen zu Beschwerdeart, -dauer, -intensität, -änderung und zum Schmerzmittelbedarf des Patienten auch die 10 Fragen, aus denen der „Oswestry-Disability-Index Score“ (ODI) ermittelt wird (Fairbank *et al.* 1980). Jede der vorgegebenen Antworten ist, je nach Ausmaß der Einschränkung, mit einem Punktwert zwischen 0 und 5 bewertet. Die Summe der erzielten Punkte wird abschließend verdoppelt. So wird in bezug auf den Maximalwert von 100 Punkten der berechnete Index (ODI) als ein Prozentwert angegeben, bei dem hohe Werte einem hohen Grad der Einschränkung im täglichen Leben entsprechen. Der Maximalwert liegt, wie bereits erwähnt, bei 100 und der Minimalwert bei 0 %. Außerdem wird beim Vergleich zwischen den prä- und postoperativen Werten neben der absoluten noch eine relative Änderung (Δ ODI) des Index berechnet. Hierzu wird der Quotient aus der Differenz von prä- und postoperativem Wert und dem präoperativen Wert mit 100 multipliziert (Little *et al.* 1994; Pfeiffer *et al.* 1996). Damit erhält man einen Wert, welcher der anteiligen Veränderung des Ausgangswertes entspricht. So können auch niedrige Werte im ODI mit hohen Werten besser verglichen werden, da die absoluten Änderungen bei niedrigen Ausgangswerten kleiner sind als bei hohen. Dieser Test

hat sich zur Ergebniseinschätzung nach Wirbelsäulenoperationen bewährt und eine hohen Genauigkeit, sowie Reproduzierbarkeit gezeigt (Little *et al.* 1994; Beurskens *et al.* 1995). Darüber hinaus werden die Patienten, abhängig von ihrem Prozentwert, noch in folgende Klassifikation eingeordnet (siehe Tab. 4).

Beschwerdeausmaß	ODI [in %]
Minimalbeschwerden ("minimal")	0-20
Moderate Beschwerden ("moderate")	21-40
Starke Beschwerden ("severe")	41-60
Deutliche Behinderung ("crippled")	61-80
Bettlägerigkeit ("bed bound")	81-100

Tabelle 4: Gruppierung im Oswestry-Index nach Schweregrad

2.4.2 Radiologische Auswertung

Bei den Nachuntersuchungsterminen werden zur Dokumentation Nativröntgenbilder der versteiften Region in zwei Ebenen, üblicherweise in a. p. und seitlicher Projektion angefertigt. Diese werden insbesondere im Hinblick auf Durchbauung der Spondylodese, Stellung und Integrität des Implantats, Form und Lage der Beckenkammspäne sowie Erhalt der Distraction in den operierten Bewegungssegmenten ausgewertet. Vergleiche mit vorangegangenen Untersuchungen zur Feststellung eventueller Distractionsverluste werden ebenfalls durchgeführt. Hierzu wird die Bandscheibenhöhe bzw. die Höhe des fusionierten Intervertebralraumes vermessen. Dies erfolgt in der Mitte der Bandscheibe im Verfahren nach Hurxthal (Hurxthal 1968) und wird für alle betroffenen Segmente dokumentiert. Dabei wird zur Ermittlung der Mittenhöhe einer Bandscheibe der Abstand zwischen den Mitten der Randkonturen der Deck- und Grundplatten bestimmt und in mm angegeben. Liegt eine Spondylolisthese vor, wird die Gleitstrecke vermessen und ebenfalls mit den vorausgegangenen Werten verglichen. Die Klassifikation der Spondylolisthesen erfolgt nach Meyerding (Meyerding 1932), wobei der prozentuale Anteil der Gleitstrecke an der Gesamtlänge der Deckplatte von SWK 1 den Schweregrad definiert (siehe Tab. 2).

Bei Zweifeln an der Durchbauung der Spondylodese, insbesondere wenn mehr als ein halbes Jahr postoperativ vergangen ist, werden Tomographien der pseudarthroseverdächtigen Region im seitlichen Strahlengang angefertigt. Eine Spondylodese gilt als konsolidiert, wenn sich eine kontinuierliche knöcherne Brücke zwischen zwei Wirbelkör-

pern findet. Bei Spaltbildungen oder erkennbarer Auflösung der autologen Beckenkammspäne gilt eine Spondylodese als pseudarthrotisch. Bei Zweifeln an der Durchbauung ohne die eben genannten eindeutigen Pseudarthrosezeichen wird die Spondylodese als nicht sicher konsolidiert bezeichnet.

Wenn im postoperativen Verlauf radikuläre Symptome oder Blasen-Mastdarmstörungen neu auftreten, ohne dass auf den Nativaufnahmen eine Schraubenfehlage identifiziert werden kann, wird eine Computertomographie oder gegebenenfalls eine Myelographie der instrumentierten Region durchgeführt. So können Wurzel- oder Konus-/Kaudakompressionen nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden.

2.4.3 Klinische Untersuchung

Bei der klinischen Untersuchung der Patienten wird das Hauptaugenmerk auf die vor der Operation bestehenden Beschwerden gelegt. Ebenso erfolgt eine gründliche neurologische Untersuchung zur Prüfung der Sensibilität, Kraft und Motorik insbesondere der unteren Extremität und des Rumpfes. Die Muskeleigenreflexe werden ebenfalls im Hinblick auf Auffälligkeiten oder Veränderungen gegenüber vorangegangenen Untersuchungen geprüft. Funktionsprüfungen der Wirbelsäulenbeweglichkeit werden je nach Abstand zur Spondylodeseoperation durchgeführt. In die Auswertungen fließen nur die Patienten mit ein, die mindestens 12 Monate nach der ventralen Fusion nachuntersucht werden konnten.

2.4.4 Krankenaktenauswertung

Die vorliegenden Krankenakten werden im Hinblick auf Vorerkrankungen, Voroperationen an der Wirbelsäule, vorbestehende Beschwerden, aber auch mögliche Risikofaktoren für eine Pseudarthroseentwicklung ausgewertet. Hierunter fallen z. B. Nikotinabusus oder chronische Erkrankungen wie Diabetes mellitus. Informationen über die Operationen wie Zeitdauer (Schnitt-Naht-Zeit), Blutverlust (intraoperativ und in den Drainagen), notwendige Bluttransfusionen und die intra- und postoperativ aufgetretenen Komplikationen werden ebenfalls hieraus entnommen. Der stationäre Aufenthalt nach der 1. Operation, die Miedertragzeit und das Intervall bis zur Metallentfernung werden dokumentiert.

3. Ergebnisse

3.1 Betrachtung des Gesamtkollektivs

3.1.1 Anthropometrische Daten

3.1.1.1 Gesamtgruppe

Die Patientengesamtzahl betrug 200 Personen. Darunter waren 110 Frauen und 90 Männer mit einem Durchschnittsalter von 46,9 Jahren (18-79 Jahre, SA 10,9). Das Verhältnis von Frauen zu Männern lag bei 1,2:1. Die Gruppe der Patientinnen war im Schnitt 48,1 Jahre (18-79 Jahre, SA 11,4) und die Gruppe der Patienten 45,5 Jahre (23-64 Jahre, SA 10) alt. Betrachtet man die Patienten nach Altersgruppen ist die Gruppe der 51-60-jährigen am stärksten vertreten (siehe Abb. 1).

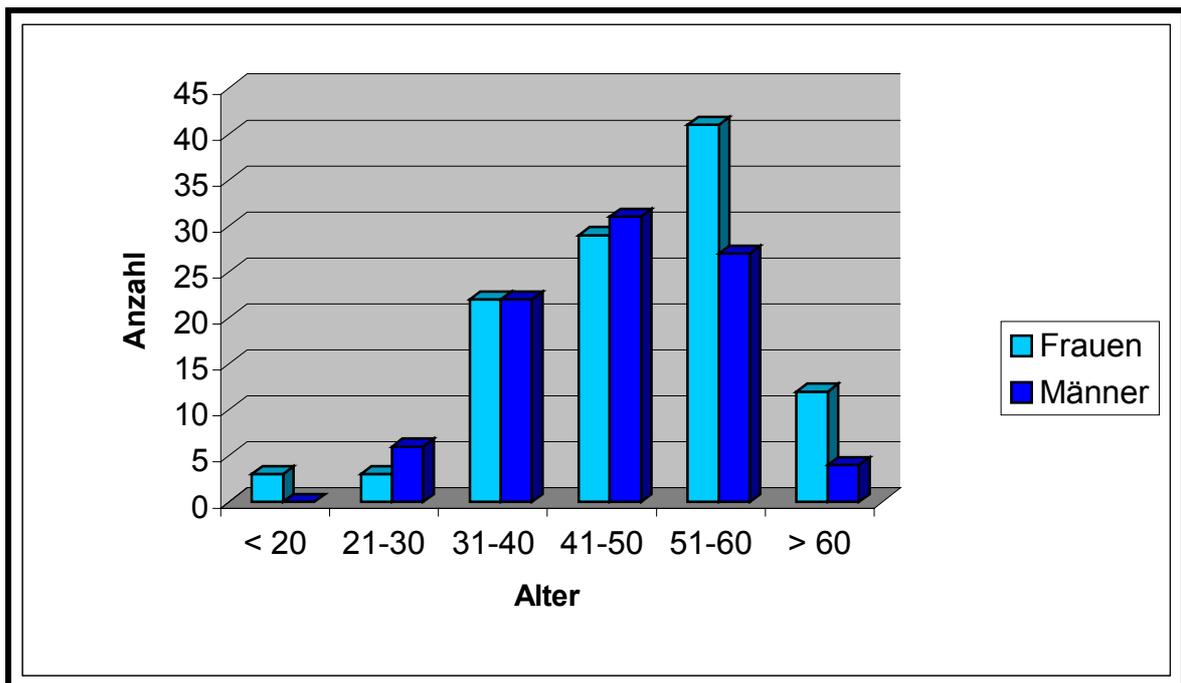


Abbildung 1: Altersverteilung der Patienten zum Operationszeitpunkt

Die durchschnittliche Körpergröße lag in der Gesamtheit bei 169 cm (148-195 cm, SA 9) und das Körpergewicht bei 74,7 kg (44-120 kg, SA 13,8). Damit ergibt sich ein durchschnittlicher „body mass index“ (BMI) von 26,2 (18,3-41,5; SA 4,2). In der weiblichen Patientengruppe betrug die Körpergröße 163 cm (148-177 cm, SA 6,6), das Körpergewicht 69,5 kg (44-120 kg, SA 13) und der daraus resultierende BMI 26 (18,3-41,5; SA

4,6). Bei den männlichen Patienten lag die Größe bei 176 cm (160-195 cm, SA 6,5), das Gewicht bei 81,2 kg (57-118 kg, SA 11,9) und der BMI bei 26,3 (19,3-36,3; SA 3,6). Die präoperativ gestellten Diagnosen wurden in insgesamt 5 verschiedenen Gruppen eingeteilt, von denen die Spondylolisthesepatienten mit 66 Fällen die Größte ausmachen, gefolgt von 59 Patienten mit einem Postnukleotomiesyndrom. Die weitere Verteilung der Diagnosen ist in der Abbildung 2 dargestellt. Betrachtet man die Lokalisation, d.h. die betroffenen Wirbelsäulenbewegungssegmente, unabhängig von der vorliegenden Diagnose, so sind die Segmente L4/L5 und L5/S1 mit Abstand am häufigsten erkrankt (siehe Abb. 6).

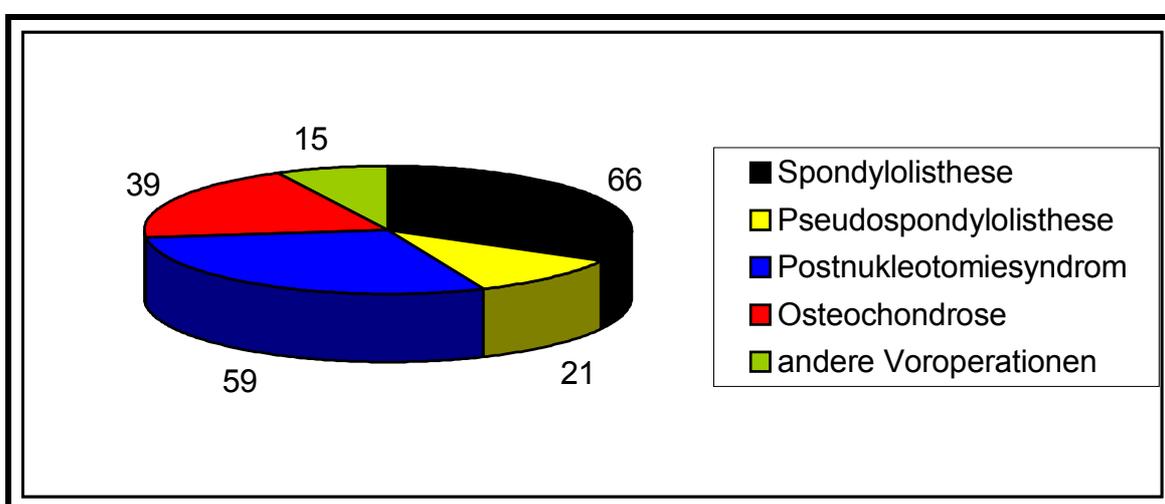


Abbildung 2: Diagnosenverteilung in der Gesamtgruppe (n=200)

3.1.1.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Bei den Spondylolisthesepatienten fallen 59 der insgesamt 66 Patienten in die Gruppe II a der isthmischen und 7 in die Gruppe I der dysplastischen Spondylolisthesen (Newman 1963; Wiltse *et al.* 1976). Es handelt es sich um 37 männliche und 29 weibliche Patienten. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation lag bei 42,1 Jahren (18-64 Jahre, SA 11,8). Die durchschnittliche Körpergröße und das Körpergewicht betrugen 170 cm (149-195 cm, SA 10,4) und 75 kg (48-115 kg, SA 14,2). Der BMI hatte damit einen Durchschnittswert von 25,7 (18,3-36,5, SA 3,9).

Diagnose	Anzahl	Anteil [in %]
Spondylolisthese L5/S1	57	86,4
Spondylolisthese L4/5	7	10,6
Spondylolisthese L5/L6	1	1,5
Spondylolisthese L3/4, L5/S1	1	1,5
Gesamt	66	100

Tabelle 5: Verteilung der Lokalisation bei den Spondylolisthesepatienten

Differenziert man die Patienten nach der Lokalisation wiesen 57 Patienten (86,4 %) eine Spondylolisthese L5/S1 auf. Die weitere Verteilung ist in Tabelle 5 dargestellt. Bei 91,5 % (54) der Patienten mit isthmischer Spondylolisthese war eine beidseitige und bei 8,5 % (5) der Patienten nur eine einseitige Spondylolyse mit einer Elongation der Pars interarticularis der Gegenseite in den präoperativen Aufnahmen erkennbar. Die Betrachtung der Ausprägung des Wirbelgleitens nach Meyerding (Meyerding 1932) zeigt die in Tabelle 6 angegebene Verteilung, bei der die milderen Ausprägungen Grad I mit 49,2 % und Grad II mit 44,4 % an häufigsten vertreten sind.

Grad nach Meyerding	Anzahl	Anteil [in %]
0	1	1,6
I	31	49,2
II	28	44,4
III	2	3,2
IV	1	1,6
Gesamt	63	100

Tabelle 6: Verteilung der Spondylolisthese-patienten nach Ausprägung

3.1.1.3 Postnukleotomiesyndrom

Die 59 Fälle mit einem Postnukleotomiesyndrom beinhalten die Patienten, die bereits in ihrer Vorgeschichte mindestens einmal nukleotomiert worden sind und dadurch nie oder nur eine kurze Beschwerdefreiheit erreicht haben. Das Verhältnis von Frauen zu Männern beträgt 27 zu 32. Das Durchschnittsalter lag bei 47,6 Jahren (27-64 Jahre, SA 8,2), das Körpergewicht bei 75,2 kg (44-118 kg, SA 14,1) und die Größe bei 170 cm (150-186 cm, SA 7,4). Der BMI betrug damit im Schnitt 25,8 (18,5-39,1, SA 4,3). Die Anzahl der Voroperationen variiert von einer bis zu vier vorangegangenen Nukleotomi-

en, wobei 27 (45,8 %) der Patienten mit nur einer Voroperation die größte Gruppe ausmachen (siehe Abb. 3).

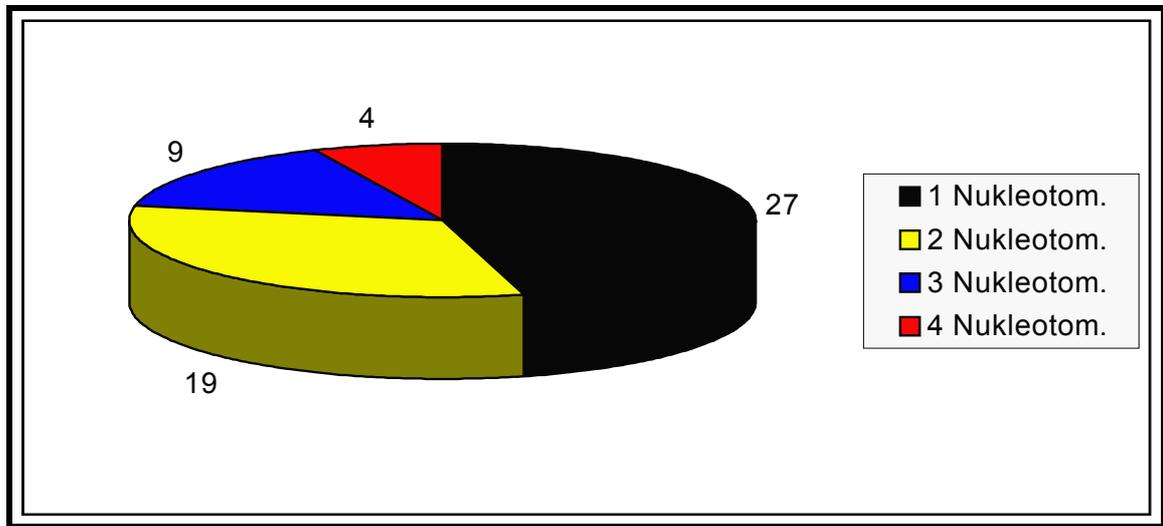


Abbildung 3: Anzahl der vorangegangenen Nucleotomien bei Postnucleotomiesyndrom (n=59)

Das Bewegungssegment L4/L5 war mit 40 Fällen (67,8 %) am häufigsten betroffen, davon in 26 Fällen (44,1 %) allein, in 12 Fällen (20,3 %) zusammen mit dem Segment L5/S1 und zweimal (3,4 %) in Kombination mit anderen Segmenten. Die weiteren Verteilungen sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Diagnose	Anzahl	Anteil [in %]
PNS L3/L4	2	3,4
PNS L3/L4, L4/L5 und L5/S1	1	1,7
PNS L4/L5	26	44,1
PNS L4/L5 und L3/L4	1	1,7
PNS L5/L6	1	1,7
PNS L5/S1	16	27,1
PNS L5/S1 und L4/L5	12	20,3
Gesamt	59	100

Tabelle 7: Verteilung der Lokalisationen beim Postnucleotomiesyndrom

3.1.1.4 Osteochondrose

In der Gruppe der Osteochondrosepatienten finden sich die Personen wieder, die radiologisch eine deutliche Höhenminderung des Intervertebralraumes mit knöchernen Begleitreaktionen an den Wirbelkörpern aufweisen, ohne dass in der Anamnese vorangegangene Operationen an den Bandscheiben durchgeführt worden sind. Sie beinhaltet insgesamt 39 Patienten, davon 12 Männer und 27 Frauen, mit einem Durchschnittsalter von 47,8 Jahren (18-67 Jahre, SA 9,5). Die durchschnittliche Größe der Patienten betrug 170 cm (152-186 cm, SA 8,1) und das Gewicht im Schnitt 77,5 kg (56-120 kg, SA 11,9). Der BMI beträgt damit 27,5 (20-41,5, SA 4,0).

Diagnose	Anzahl	Anteil [in %]
Osteochondrose L5/S1	12	30,8
Osteochondrose L4-S1	9	23,1
Osteochondrose L3-S1	6	15,4
Osteochondrose L2/L3	3	7,7
Osteochondrose L2-L4	2	5,1
Osteochondrose L4/L5	2	5,1
Osteochondrose L2-L5	1	2,6
Osteochondrose L3/L4	1	2,6
Osteochondrose L3-L5	1	2,6
Osteochondrose Th12-L4	1	2,6
Nearthrose L5/S1re	1	2,6
Gesamt	39	100

Tabelle 8: Verteilung der Lokalisation bei den Osteochondrosepatienten

Das bei den Diagnosen der einzelnen Patienten am häufigsten betroffene Bewegungssegment ist die isolierte Bandscheibe L5/S1 mit insgesamt 12 Fällen (30,8 %). Die weitere Verteilung der betroffenen Segmente ist in Tabelle 8 dargestellt. Bei der von den Fällen losgelösten Betrachtung der Segmente steht ebenfalls das Segment L5/S1 mit 27 an der Spitze, gefolgt vom Segment L4/L5 mit 19 (siehe Abb. 4).

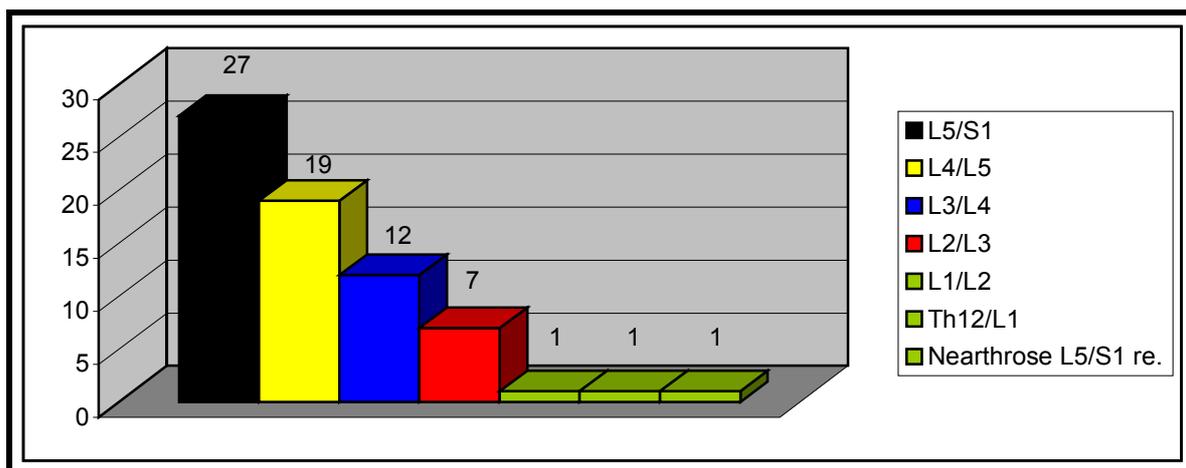


Abbildung 4: Verteilungshäufigkeit der betroffenen Segmente bei den Patienten mit Osteochondrose (n=39)

3.1.1.5 Pseudospondylolisthese

Die sogenannten Pseudospondylolisthese-Patienten bilden eine eigene Entität des Wirbelgleitens, welche auf degenerativen Veränderungen im Gefüge der Bewegungssegmente beruht (siehe 1.5.3.3). Diese Gruppe umfasst 21 Patienten. Darunter sind 17 Frauen und nur 4 Männer (Verhältnis 4,25:1). Das Durchschnittsalter der Gruppe lag mit 57,2 Jahren (42- 68 Jahre, SA 6,6) deutlich über dem der anderen Diagnosegruppen. Die Körpergröße und das Gewicht lagen im Schnitt bei 162 cm (148-178 cm, SA 7,3) bzw. 70,1 kg (47-100 kg, SA 12,9). Der resultierende BMI betrug damit 26,8 (19,6-40, SA 4,4). Das Bewegungssegment L4/L5 war mit 16 Fällen (76,2 %) am häufigsten betroffen (siehe Tab. 9).

Diagnose	Anzahl	Anteil [in %]
Pseudospondylolisthese L4/L5	16	76,2
Pseudospondylolisthese L5/S1	2	9,5
Pseudospondylolisthese L3/L4 und L4/L5	2	9,5
Pseudospondylolisthese L3/L4	1	4,8
Gesamt	21	100

Tabelle 9: Verteilung der Diagnosen bei Pseudospondylolisthese-Patienten

3.1.1.6 Voroperationen

Der Gruppe der anders als mit einer Nukleotomie voroperierten Patienten sind insgesamt 15 Fälle zugeordnet. Davon waren zehn weiblich und fünf männlich (Verhältnis 2:1). Hier lag das Durchschnittsalter bei 49 Jahren (33-79 Jahre, SA 11,8), die Größe bei 169 cm (157-178 cm, SA 6,4), das Gewicht bei 71,6 kg (48-108 kg, SA 14,9) und der BMI bei 24,9 (19,5-34,1, SA 4,3). Die häufigste Diagnose war die nachgewiesene Pseudarthrose im Bewegungssegment L5/S1 nach einer vorangegangenen Spondylodeseoperation mit sieben Fällen (46,7 %). Die weiteren Diagnosen umfassen sogenannte Anschlussosteochondrosen (n=6, 40 %) und Instabilitäten nach Laminektomie oder Spondylodese (je n=1, je 6,7 %).

3.1.1.7 Unterschiedlicher Fusionsumfang

Die Verteilung des unterschiedlichen Fusionsumfanges ist in Abb. 5 dargestellt. Unter den monosegmentalen Operationen waren 40 Frauen und 25 Männer. Das Durchschnittsalter lag bei 43,6 Jahren (19-68 Jahren, SA 11,4), das Körpergewicht bei 71,5 kg (48-96 kg, SA 11,8), die Größe bei 168 cm (149-194 cm, SA 8,6) und der BMI bei 25,4 (18-33,2, SA 3,5). Bei den bisegmentalen Operationen (45 Frauen, 49 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 46,9 Jahren (18-79 Jahre, SA 10,7) betrug die Körpergröße 170 cm (148-195 cm, SA 9,4), das Körpergewicht 75,7 kg (44-115 kg, SA 13,8) und der BMI 26,2 (18,3-40, SA 4,2).

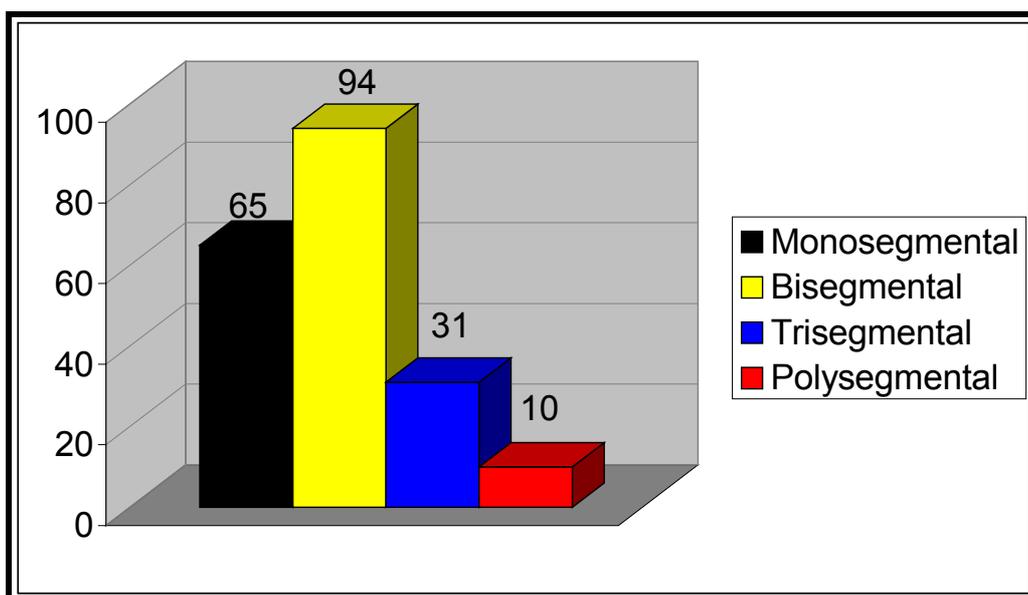


Abbildung 5: Verteilung des Fusionsumfanges im Gesamtkollektiv (n=200)

Bei den trisegmentalen Operationen (19 Frauen und 12 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 52 Jahren (33-67 Jahre, SA 8,1) fand sich eine durchschnittliche Körpergröße von 168 cm (152-180 cm, SA 8,5), ein Körpergewicht von 78,5 kg (50-120 kg, SA 15,4) und ein BMI von 27,9 (20,1-41,5, SA 4,8). Bei den polysegmentalen Operationen (6 Frauen und 4 Männer) betrug das Alter im Durchschnitt 52,5 Jahre (38-62 Jahre, SA 6,4), die Körpergröße 169 cm (161-183 cm, SA 6,6), das Gewicht 74 kg (56-112 kg, SA 16,8) und der BMI 25,1 (20,9-35,2, SA 4,5).

3.2 Operationsauswertung

3.2.1 Allgemeine Operationsinformationen

3.2.1.1 Gesamtgruppe

Bei den Operationen der 200 Patienten wurden insgesamt 387 Wirbelsäulenbewegungssegmente versteift. Dabei kamen je 1174 Schrauben und Backen sowie 400 Längsträger zum Einsatz. Die am häufigsten operierten Bewegungssegmente sind L4-S1 mit 81 Fällen (40,5 %), L5-S1 mit 50 Fällen (25 %) und mit L3-S1 mit 26 Fällen (13 %). Die weitere Verteilung ist in Abbildung 6 dargestellt. Es erhielten 192 (96 %) eine dorsoventrale Spondylodese und je vier Patienten (2 %) wurden dorsolateral versteift bzw. nur dorsal instrumentiert. Die dorsale Instrumentierung wurde in 195 Fällen (97,5 %) über einen dorsomedianen Zugangsweg durchgeführt. Die übrigen fünf Patienten (2,5 %) wurden über zwei paramediane Zugänge in der Technik nach Wiltse (Wiltse *et al.* 1968) operiert. Die zweite Operation erfolgte nach durchschnittlich 14,8 Tagen (7-48 Tage, SA 4,5). Dabei kam in 182 Fällen (91 %) ein linkslateraler, retroperitonealer Zugang, zehnmal (5 %) ein transperitonealer Zugang, fünfmal (2,5 %) ein rechtslateraler, retroperitonealer Zugang, zweimal (1%) ein pararektaler, retroperitonealer Zugang und einmal (0,5 %) ein Zugang über die 12. Rippe zur Anwendung. Die dorsale Operation dauerte im Mittel 93 min (40-195 min, SA 26,2 min) und die ventrale Operation 99 min (50-185 min, SA 26,2 min). Betrachtet man beide Operationen gemeinsam, so liegt die durchschnittliche Gesamtoperationsdauer bei 190 min (85-335 min, SA 44,4 min). Intraoperativ kam es bei der dorsalen Operation zu einem durchschnittlichen Blutverlust von 310 ml (0-1500 ml, SA 216 ml) und bei der ventralen Operation von 144 ml (0-1000 ml, SA 122 ml). Zusammen genommen liegt der durchschnittliche Blutverlust insgesamt

bei 434 ml (50-1700 ml, SA 261 ml). Im postoperativen Verlauf sammelten sich in den Redondrainagen nach der dorsalen Operation im Schnitt 505 ml (90-1680 ml, SA 306 ml) und nach der ventralen Operation 225 ml (30-700 ml, SA 119 ml) Blut und Wundsekret. Die durchschnittliche Gesamtmenge in den Redondrainagen betrug 727 ml (180-2000 ml, SA 353 ml). Wegen des Blutverlustes wurden im perioperativen Verlauf im Schnitt 0,5 EK (0-2 EK, SA 0,6 EK) und 0,9 FFP (0-2 FFP, SA 0,5 FFP) transfundiert.

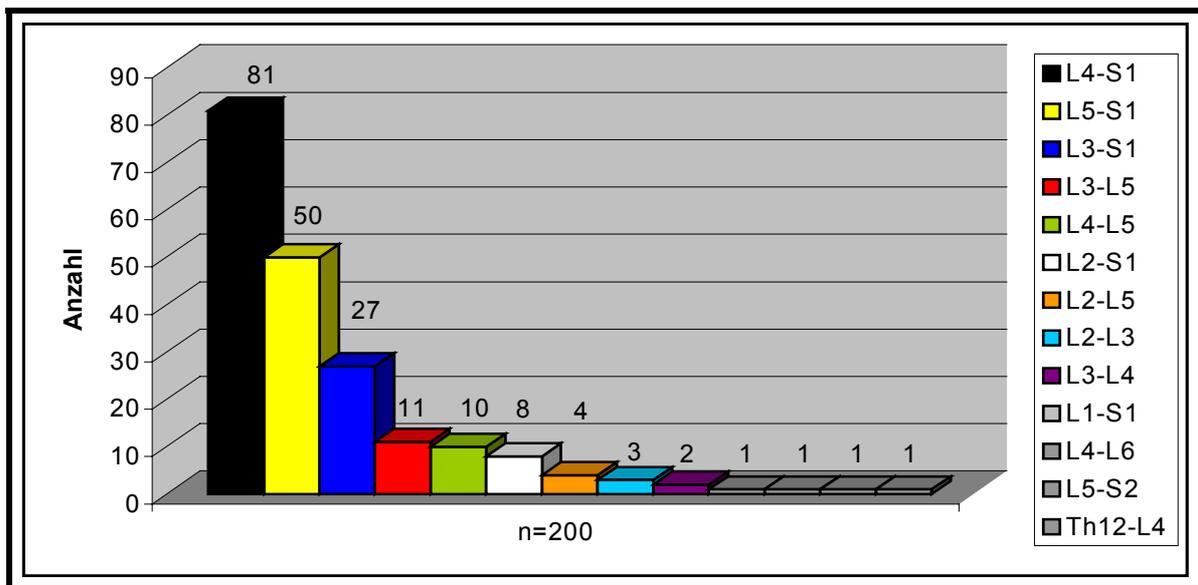


Abbildung 6: Verteilung der Operationsbereiche im Gesamtkollektiv (n=200)

Differenziert man das Gesamtkollektiv nach der Länge der Operationsstrecke, so findet sich mit zunehmender Strecke auch eine zunehmende Gesamtoperationsdauer von 158 min (85-230 min, SA 31,5 min) bei monosegmentalen Operationen bis hin zu 243 min (200-305 min, SA 35,9 min) bei polysegmentalen Operationen. Auch die anderen direkt operationsabhängigen Parameter wie Blutverlust, Redondrainageninhalt und der Verbrauch an Blutprodukten steigen mit zunehmender Länge der Spondylodesestrecke an (siehe Tab. 10-13).

monosegmental	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	158	85-230	31,5
Blutverlust in ml	342	100-1150	184
Redoninhalt in ml	510	180-1380	203
Verbrauch EK (Einh.)	0,4	0-2	0,5
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,4

Tabelle 10: Operationsabhängige Parameter bei monosegmentaler Operation

bisegmental	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	197	125-335	40,8
Blutverlust in ml	430	50-1200	222
Redoninhalt in ml	728	180-1710	315
Verbrauch EK (Einh.)	0,5	0-2	0,6
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,5

Tabelle 11: Operationsabhängige Parameter bei bisegmentaler Operation

trisegmental	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	218	150-290	34,8
Blutverlust in ml	570	200-1700	365
Redoninhalt in ml	910	380-1500	312
Verbrauch EK (Einh.)	0,7	0-2	0,6
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,6

Tabelle 12: Operationsabhängige Parameter bei trisegmentaler Operation

polysegmental	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	243	200-305	35,9
Blutverlust in ml	580	100-1100	309
Redoninhalt in ml	1368	770-2000	375
Verbrauch EK (Einh.)	1,4	1-2	0,5
Verbrauch FFP (Einh.)	1,1	0-2	0,8

Tabelle 13: Operationsabhängige Parameter bei polysegmentaler Operation

3.2.1.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Insgesamt wurden bei 66 Patienten 105 Bewegungssegmente spondylodesiert. Die Bereiche L5-S1 mit 30 (45,5 %) und L4-S1 mit 29 Fällen (43,9 %) sind die am häufigsten operierten Bereiche. Die weiteren Segmente sind nur vereinzelt vertreten. 32 Patienten (48,5 %) wurden monosegmental, 30 Patienten (45,5 %) bisegmental, drei (4,5 %) trisegmental und ein Patient (1,5 %) über vier Etagen versorgt. Das Intervall zwischen der ersten und der zweiten Operation betrug 14,6 Tage (7-41 Tagen, SA 4,1) und die Dauer des gesamten stationären Aufenthaltes lag bei 32,5 Tage (22-68 Tage, SA 9). Die Gesamtoperationsdauer, der intraoperative Blutverlust, der Drainageninhalt sowie der Bedarf an EK bzw. FFP sind in Tabelle 14 dargestellt.

	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	193,4	120-335	46,5
Blutverlust in ml	380	100-900	182
Redoninhalt in ml	626	180-1310	273
Verbrauch EK (Einh.)	0,4	0-2	
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	

Tabelle 14: Operationsabhängige Parameter der Spondylolisthesepatienten

3.2.1.3 Postnukleotomiesyndrom

Bei 59 Patienten wurden insgesamt 125 Bewegungssegmente operiert. 32 Patienten (54,2 %) erhielten eine Spondylodese im Bereich L4-S1, neun (15,3 %) im Bereich L3-S1, sechs (10,2 %) im Segment L5-S1, vier (6,8 %) im Bereich L3-L5, je drei (5,1 %) in den Segmenten L4-L5 und L2-S1 und nur je einmal in den im Bereichen L2-L5 und L4-L6. Neunmal (15,2 %) erfolgte eine monosegmentale, in 37 Fällen (62,7 %) eine bisegmentale, zehnmal (16,9 %) eine trisegmentale und dreimal (5,1 %) eine polysegmentale Operation. Alle 59 Patienten hatten einen dorsoventralen Eingriff. Das Intervall zwischen den beiden Operationen betrug 14,5 Tage (7-36 Tage, SA 4,0) und die Patienten waren 31 Tage (20-57 Tage, SA 5,2) hospitalisiert. Die Gesamtdauer, der intraoperative Blutverlust, der Inhalt der Redondrainagen sowie der Bedarf an EK bzw. FFP sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Metallentfernung des Fixateur interne fand in dieser Gruppe nach 15,2 Monaten (7-26 Monate, SA 4,2 Monate) statt und war bei 46 von 59 Patienten (78 %) bereits durchgeführt.

	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	191	110-300	39,6
Blutverlust in ml	310	0-700	183
Redoninhalt in ml	790	220-1920	378
Verbrauch EK (Einh.)	0,5	0-1	0,5
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,4

Tabelle 15: Operationsabhängige Parameter der Patienten mit Postnukleotomiesyndrom

3.2.1.4 Osteochondrose

Bei den 39 Patienten wurden zusammen 89 Bewegungssegmente versteift. Der am häufigsten operierte Bereich war mit elf Eingriffen (28,8 %) die Region L4-S1. Die weitere Verteilung der Operationsbereiche ist in Tabelle 16 dargestellt.

Segmente	Anzahl	Anteil [in %]
L4-S1	11	28,2
L3-S1	9	23,1
L5-S1	6	15,4
L2-L3	3	7,7
L2-S1	2	5,1
L2-L5	2	5,1
L3-S1	1	2,6
L4-L5	1	2,6
L1-S1	1	2,6
L3-L5	1	2,6
L5-S2	1	2,6
Th12-L4	1	2,6
Gesamt	39	100

Tabelle 16: Verteilung der Operationsbereiche bei Osteochondrosepatienten

Zehn Patienten (25,6 %) erhielten eine monosegmentale, 13 Patienten (33,3 %) eine bisegmentale und 12 Patienten (30,8 %) eine trisegmentale Operation. In drei Fällen (7,7 %) wurden vier Segmente und in einem Fall (2,6 %) fünf Bewegungssegmente versteift. 37 Patienten (94,9 %) erhielten einen dorsoventralen und zwei Patienten (5,1 %) einen dorsolateralen Eingriff. Das Intervall zwischen den beiden Operationen betrug 15,3 Tage (7-48 Tage, SA 6,1 Tage) und der stationäre Aufenthalt nach der ersten Operation dauerte 32,9 Tage (20-62 Tage, SA 8,4 Tage). Eine Darstellung der operationsabhängigen Parameter wie Operationsdauer, Blutverlust, Drainageninhalt und Verbrauch an Blutprodukten ist in Tabelle 17 erkennbar.

	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	192	125-295	43
Blutverlust in ml	440	100-1700	310
Redoninhalt in ml	780	290-1510	324
Verbrauch EK (Einh.)	0,6	0-2	0,7
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,6

Tabelle 17: Operationsabhängige Parameter der Patienten mit Osteochondrose

Die Metallentfernung fand nach 14,4 Monaten (11-27 Monaten, SA 3,2 Monate) statt und war bei 27 Patienten (69,2 %) bereits durchgeführt. In zwei Fällen ist keine Metallentfernung geplant.

3.2.1.5 Pseudospodylolisthese

In der Gruppe mit 21 Patienten wurden 47 Segmente operativ versteift. Die am häufigsten betroffene Region ist der Bereich L4-S1 mit acht Patienten (38,1 %). Es folgen die Segmente L3-S1 mit vier Patienten (19 %), die Segmente L2-S1, L3-L5 und L4-S1 mit je zwei Fällen (je 9,5 %) und die Segmente L2-L5, L3-L4 und L5-S1 mit je einem Fall (je 4,8 %). Viermal (19 %) wurde monosegmental, zehnmal (47,6 %) bisegmental, dreimal (14,3 %) trisegmental und zweimal (9,5 %) polysegmental operiert. Das Intervall zwischen beiden Operationen betrug 15,4 Tage (11-27 Tage, SA 3,9 Tage) und die stationäre Aufenthaltsdauer 29,6 Tagen (9-42 Tage, SA 8,0 Tage). Die operationsabhängigen Parameter wie Operationsdauer, Blutverlust, Drainageninhalt und Verbrauch an Blutprodukten sind Tabelle 18 zu entnehmen. Eine Metallentfernung fand nach 14,4 Monaten (8-18 Monaten, SA 3,2) statt, war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei zehn Patienten (47,6 %) durchgeführt und bei zwei Patienten nicht vorgesehen.

	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	186	95-250	43
Blutverlust in ml	610	250-1700	337
Redoninhalt in ml	800	340-2000	425
Verbrauch EK (Einh.)	0,8	0-2	0,7
Verbrauch FFP (Einh.)	0,9	0-2	0,7

Tabelle 18: Operationsabhängige Parameter der Patienten mit Pseudospodylolisthese

3.2.1.6 Voroperationen

Bei den 15 voroperierten Patienten wurden insgesamt 21 Bewegungssegmente versteift. Mit sieben Fällen (46,7 %) war das Segment L5/S1 am häufigsten vertreten. Es folgen die Region L3-L5 mit drei Fällen (20 %), L4/L5 mit zwei Fällen (13,3 %) und die Segmente L3/L4, L3-S1 und L4-S1 mit jeweils einem Fall (je 6,7 %). Bei der Ausdehnung der Operation war der monosegmentale Eingriff mit zehn Operationen (66,7 %) der häufigste. Viermal (26,7 %) war ein bisegmentaler und einmal (6,7 %) ein triseg-

mentaler Eingriff erforderlich. Wegen der Heterogenität der vorangegangenen Operationen kamen in dieser Gruppe verschiedene Operationsverfahren zum Einsatz. In elf Fällen (73,3 %) wurde dorsoventral, in drei Fällen (20 %) dorsal und in einem Fall (6,7 %) dorsolateral versteift. Das Intervall zwischen den beiden operativen Eingriffen betrug 13,3 Tagen (10-15 Tage, SA 1,5 Tage) und der stationäre Aufenthalt dauerte 26 Tagen (8-35 Tage, SA 6,4 Tage). Die operationsabhängigen Parameter wie Operationsdauer, Blutverlust, Drainageninhalt und Verbrauch an Blutprodukten sind in Tabelle 19 dargestellt. Die Metallentfernung fand nach 15,9 Monaten (12-23 Monate, SA 3,4 Monate) statt und war zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 9 von 15 Patienten (60 %) bereits durchgeführt.

	Durchschnitt	Min-Max	SA
Gesamtdauer OP in min	166	85-290	51,4
Blutverlust in ml	490	200-1150	239
Redoninhalt in ml	690	180-1710	425
Verbrauch EK (Einh.)	0,8	0-2	0,6
Verbrauch FFP (Einh.)	0,7	0-1	0,5

Tabelle 19: Operationsabhängige Parameter der Patienten mit Voroperationen

3.2.1.7 Unterschiedlicher Fusionsumfang

Bei den monosegmentalen Operationen waren die Region L5/S1 mit 50 Patienten (76,9 %) und das Segment L4/L5 mit 10 Patienten (15,4 %) die am häufigsten operierten Regionen (siehe Abb. 7).

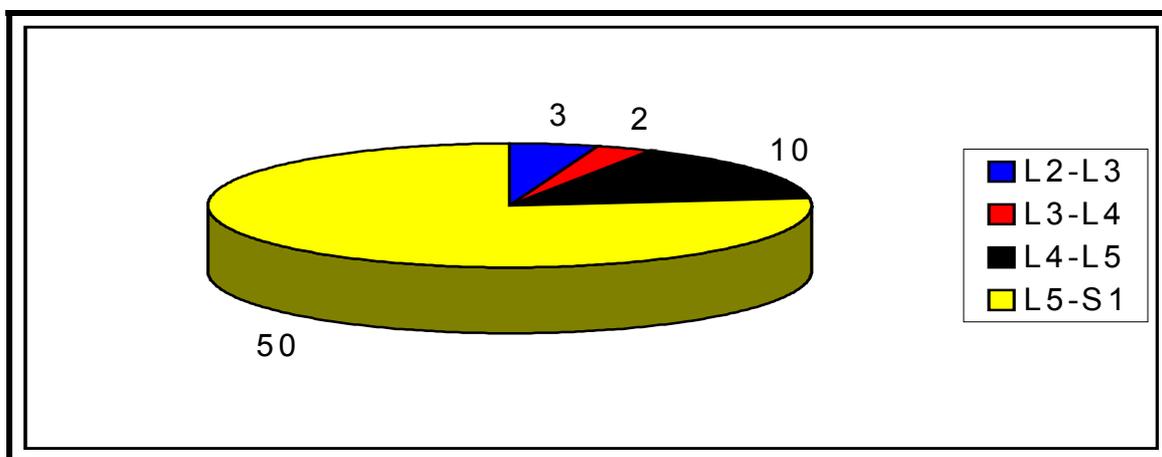


Abbildung 7: Segmentverteilung der monosegmentalen Operationen (n=65)

Das Intervall zwischen dem ersten und dem zweiten Eingriff dauerte bei den monosegmentalen Eingriffen 14,1 Tage (7-41 Tage, SA 4,2 Tage) und der stationäre Aufenthalt durchschnittlich 29,8 Tage (8-68 Tage, SA 9,4 Tage). Die Metallentfernung wurde nach 15,4 Monaten (5-31 Monaten, SA 4,9 Monate) durchgeführt und war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 49 von 65 Patienten (75,4 %) erfolgt. Eine Darstellung der Parameter Operationsdauer, Blutverlust, Drainageninhalt und Verbrauch an Blutprodukten ist Tabelle 10 zu entnehmen. Bei den bisegmentalen Operationen war die Region L4-S1 mit 81 Fällen (86,2 %) der am häufigsten versteifte Bereich (siehe Tab. 20).

OP-Bereich	Anzahl	Anteil [in %]
L4-S1	81	86,2
L3-L5	11	11,7
L4-L6	1	1,1
L5-S2	1	1,1
Gesamt	94	100

Tabelle 20: Verteilung der OP-Bereiche bei bisegmentalen Operationen

Zwischen den bisegmentalen Operationen lagen durchschnittlich 14,7 Tage (7-36 Tage, SA 3,7) und die Hospitalisationszeit betrug 31,5 Tage (9-60 Tage, SA 6,9). Die Metallentfernung war zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 68 der 94 Patienten (72,3 %) erfolgt und wurde im Schnitt nach 15,3 Monaten (7-24 Monate, SA 3,8) durchgeführt. Die operationsabhängigen Parameter wie Operationsdauer, Blutverlust, Drainageninhalt und Verbrauch an Blutprodukten sind in Tabelle 11 dargestellt.

Bei den trisegmentalen Operationen war in 27 Fällen (87,1 %) die Region L3-S1 und in vier Fällen (12,9 %) die Region L2-L5 betroffen. Das Intervall zwischen den Eingriffen betrug 16,4 Tage (9-48 Tage, SA 6,5 Tage) und der stationäre Aufenthalt dauerte 34,2 Tage (27-53 Tage, SA 6,6 Tage). Eine Metallentfernung war zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 18 der 31 Patienten (58,1 %) nach im Schnitt 15 Monaten (7-26 Tage, SA 4,3 Tage) erfolgt. Die operationsabhängigen Parameter sind Tabelle 12 zu entnehmen. Bei den polysegmentalen Eingriffen war der Bereich L2 bis S1 mit insgesamt acht Fällen am häufigsten betroffen (siehe Tab. 21). Hier lagen zwischen der dorsalen und der ventralen Operation im Schnitt 13,5 Tage (8-20 Tage, SA 2,9 Tage) und der stationäre Aufenthalt dauerte 32 Tage (24-43 Tage, SA 4,6 Tage). Die Metallentfernung wurde in dieser Gruppe nach 13,2 Monaten (1-16 Monaten, SA 1,8 Monate) durchgeführt und

war bei sechs von zehn Patienten (60 %) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bereits erfolgt Die operationsabhängigen Parameter sind in Tabelle 13 zu erkennen.

OP-Bereich	Anzahl	Anteil [in %]
L2-S1	8	80
L1-S1	1	10
Th12-L4	1	10
Gesamt	10	100

Tabelle 21: Verteilung der OP-Bereiche bei polysegmentalen Operationen

3.3 Radiologische Auswertung

3.3.1 Allgemeine Auswertung

Von den insgesamt 200 Patienten konnten 189 Patienten radiologisch ausgewertet werden (94,5 %). Eine differenziertere Betrachtung der nachuntersuchten Patienten, Pedikelschrauben und Segmente ist in den Tabellen 22-24 dargestellt. Die radiologische Follow-up-Untersuchung fand in der Gesamtgruppe nach durchschnittlich 16,2 Monaten statt.

	Gesamtzahl Patienten	ausgewertete Patienten	Anteil FUP in %
Gesamtgruppe	200	189	94,5
Spondylolisthese	66	63	95,5
Postnukleotomiesy.	59	57	96,6
Osteochondrose	39	38	97,4
Pseudospondylolisth.	21	18	85,7
Voroperationen	15	13	86,7
monosegmental	65	61	93,8
bisegmental	94	89	94,7
trisegmental	31	29	93,5
polysegmental	10	10	100

Tabelle 22: Nachuntersuchte Patienten

	Gesamtzahl Schrauben	auswertbare Schrauben	Anteil FUP in %
Gesamtgruppe	1174	1112	94,7
Spondylolisthese	342	326	95,3
Postnukleotomiesy.	368	356	96,7
Osteochondrose	256	248	96,9
Pseudospondylolisth.	136	118	86,8
Voroperationen	72	64	88,9
monosegmental	260	244	93,8
bisegmental	564	534	94,7
trisegmental	248	232	93,5
polysegmental	102	102	100

Tabelle 23: Nachuntersuchte Pedikelschrauben

	Gesamtzahl Segmente	auswertbare Segmente	Anteil FUP in %
Gesamtgruppe	387	367	94,8
Spondylolisthese	105	100	95,2
Postnukleotomiesy.	125	121	96,8
Osteochondrose	89	86	96,6
Pseudospondylolisth.	47	41	87,2
Voroperationen	21	19	90,5
monosegmental	65	61	93,8
bisegmental	188	178	94,7
trisegmental	93	87	93,5
polysegmental	41	41	100

Tabelle 24: Nachuntersuchte Bewegungssegmente

3.3.2 Materialkomplikationen

In 18 % (34 von 189) der Fälle waren radiologisch gelockerte Pedikelschrauben erkennbar. Schraubenbrüche zeigten sich bei 13,8 % (26 von 189) der Patienten. Betrachtet man diese Ereignisse bezogen auf die Gesamtanzahl der Schrauben, so ergibt sich bei den Schraubenlockerungen ein Anteil von 5,5 % (siehe Tab. 25) und bei den Schraubenbrüchen ein Anteil von 2,8 % (siehe Tab. 26). 73,8 % (45 von 61) aller Schraubenlockerungen fanden sich im SWK 1. Die Schraubenbrüche sind fast ausschließlich im SWK 1 lokalisiert. Lediglich ein Ereignis trat im LWK 5 auf. Die Schraubenbrüche sind im Schnitt nach 10,5 Monaten (4-20 Monaten, SA 3,5) nachweisbar (siehe auch Tab. 27).

	Patienten	Anzahl	in %	Schrauben	Anzahl	in %
Gesamt	189	34	18	1112	61	5,5
Spondylolisthese	63	8	12,7	326	18	5,5
PNS	57	12	21,1	356	20	5,6
Osteochondrose	38	10	26,3	248	14	5,6
Pseudospondylolisthese	18	3	16,7	118	8	6,8
Voroperationen	13	1	7,7	64	1	1,6
monosegmental	61	5	8,2	244	13	5,3
bisegmental	89	15	16,9	534	23	4,3
trisegmental	29	10	34,5	232	16	6,9
polysegmental	10	4	40	102	9	8,8

Tabelle 25: Pedikelschraubenlockerungen (patienten- und schraubenbezogen) nach unterschiedlichen Diagnosegruppen und Fusionsumfängen

	Patienten	Anzahl	in %	Schrauben	Anzahl	in %
Gesamt	189	26	13,8	1112	31	2,8
Spondylolisthese	63	8	12,7	326	11	3,4
PNS	57	6	10,5	356	7	2
Osteochondrose	38	5	13,2	248	5	2
Pseudospondylolisthese	18	4	22,2	118	5	4,2
Voroperationen	13	3	23,1	64	3	4,7
monosegmental	61	7	11,5	244	7	2,9
bisegmental	89	11	12,4	534	14	2,6
trisegmental	29	6	20,7	232	8	3,4
polysegmental	10	2	20	102	2	2

Tabelle 26: Pedikelschraubenbrüche (patienten- und schraubenbezogen) nach unterschiedlichen Diagnosegruppen und Fusionsumfängen

In 19,2 % (5 von 26) der Fällen kam es zu einem beidseitigen Schraubenbruch im SWK 1, während in 80,8 % (21 von 26) der Fälle einseitige Schraubenbrüche vorlagen.

Außerdem traten jeweils zwei Lockerungen von Längsträgern und Befestigungsbacken mit nachfolgenden Dislokationen ohne Auswirkung auf das Konsolidationsergebnis auf.

Die Auswertung der Schraubenbrüche und -lockerungen bezüglich der unterschiedlichen Diagnosen und Fusionsumfänge sind in den Tabellen 25 und 26 dargestellt. Die längeren Spondylodesestrecken mit drei und mehr versteiften Bewegungssegmenten sind mit 30,8 % (8 von 26) der Fälle in der Gruppe mit Schraubenbrüchen deutlich häufiger vertreten als in der Gesamtgruppe (20,5 %).

Schraubenbruch nach	Anzahl
4 Monaten	1
5 Monaten	1
8 Monaten	3
9 Monaten	1
10 Monaten	1
11 Monaten	5
12 Monaten	1
13 Monaten	2
14 Monaten	1
20 Monaten	1

Tabelle 27: Zeitpunkt des nachweisbaren Schraubenbruchs

3.3.3 Knöcherne Konsolidierung und Pseudarthrosen

3.3.3.1 Gesamtgruppe

Die knöcherne Konsolidierung der Spondylodesestrecke gehört zu den zentralen Kriterien bei der Bewertung der Qualität einer Versteifungsoperation. Im untersuchten Patientenkollektiv wiesen 86,8 % (164 von 189) der Patienten eine knöcherne Konsolidierung auf. Segmentbezogen ergab dies einen Wert von 92,9 % (341 von 367). Die Zahl der sicher nachweisbaren Pseudarthrosen lag bei insgesamt 5,3 % (10 von 189), bzw. 3 % (11 von 367) der Segmente (siehe Tab. 28). In weiteren 7,9 % (15 von 189) der Fälle bzw. 4,1 % (15 von 367) der Segmente war die Konsolidierung zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch unsicher (siehe Tab. 29). Zehn von elf Pseudarthrosen (90,9 %) waren im Segment L5/S1 nachweisbar. Nur eine Pseudarthrose war im Bewegungssegment L3/L4 lokalisiert, wobei dieser Patient eine Kombination mit einer Pseudarthrose im Segment L5/S1 aufwies. Auch die fraglichen Pseudarthrosen fanden sich alle auf der Höhe L5/S1. Von den Patienten mit sicheren Pseudarthrosen erhielten sechs eine erneute dorsoventrale Spondylodese im Segment L5/S1 und ein Patient eine erneute dorsale Instrumentierung. Von diesen Patienten waren vier vorher über die Strecke L3-S1, also über drei Segmente, versteift worden. In zwei Fällen war eine vorzeitige Metallentfernung wegen ausgeprägter Weichteilbeschwerden durch den Fixateur erfolgt. Die Respondylodesen fanden nach 11 bis 21 Monaten statt.

	Patienten	Anzahl	in %	Segmente	Anzahl	in %
Gesamt	189	10	5,3	367	11	3
Spondylolisthese	63	4	6,3	100	4	4
PNS	57	3	5,3	121	4	3,3
Osteochondrose	38	1	2,6	86	1	1,2
Pseudospondylolisthese	18	1	5,6	41	1	2,4
Voroperationen	13	1	7,7	19	1	5,3
monosegmental	61	2	3,3	61	2	3,3
bisegmental	89	4	4,5	178	4	2,2
trisegmental	29	4	13,8	87	5	5,7
polysegmental	10	0	0	41	0	0

Tabelle 28: Sichere Pseudarthrosen

3.3.3.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Bei den Spondylolisthese-Patienten war in 59 der 63 Fälle (93,7 %) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ein vollständiger Durchbau der Spondylodese nachweisbar. Vier Patienten (6,3 %) zeigten eine sichere Pseudarthrose (siehe Tab. 28), allesamt im Segment L5/S1. Zwei Patienten erhielten erneut eine dorsoventrale Spondylodese im Segment L5/S1 und bei zwei Patienten wurde keine Metallentfernung durchgeführt. Von den erneut operierten Patienten erzielte ein Patient eine knöcherne Konsolidierung, während der zweite nach zwölf Monaten noch nicht konsolidiert war.

	Patienten	Anzahl	in %	Segmente	Anzahl	in %
Gesamt	189	15	7,9	367	15	4,1
Spondylolisthese	63	0	0	100	0	0
PNS	57	8	14	121	8	6,4
Osteochondrose	38	1	2,6	86	1	1,2
Pseudospondylolisthese	18	3	16,7	41	3	7,3
Voroperationen	13	3	23,1	19	3	15,8
monosegmental	61	4	6,6	61	4	6,6
bisegmental	89	5	5,6	178	5	2,8
trisegmental	29	4	13,8	87	4	4,6
polysegmental	10	2	20	41	2	4,9

Tabelle 29: Unsichere Konsolidierungsverhältnisse

3.3.3.3 Postnukleotomiesyndrom

Die 57 ausgewerteten Patienten dieser Gruppe wiesen insgesamt drei sichere Pseudarthrosen (5,3 %) und acht unsichere Konsolidierungsverhältnisse (14 %) auf (siehe

Tab. 28 und 29). Bei der segmentbezogenen Auswertung ergeben sich Anteile von 3,3 % für sichere Pseudarthrosen und 6,6 % für unsichere Konsolidierung. Damit betrug der Anteil der durchbauten Spondylodesen patientenbezogen 80,7 % und segmentbezogen 90,1 %. Bis auf einen Patienten mit einer doppelten Pseudarthrose L3/L4 und L5/S1 war jeweils nur das Segment L5/S1 betroffen. Bei den gesicherten Pseudarthrosen wurde einmal eine erneute dorsoventrale Distractionsspondylodese im pseudarthrotischen Segment L5/S1, einmal eine dorsale Reinstrumentierung bei gebrochenen Pedikelschrauben S1 beidseits und im Fall der zweifachen Pseudarthrose eine Respondylodese L3-S1 durchgeführt. Die Respondylodesen L5-S1 und L3-S1 konnten eine knöcherne Fusion herbeiführen, während die rein dorsale Reinstrumentierung auch nach weiteren 12 Monaten nicht zur Konsolidierung kam. Bei fehlenden erneuten Materialschäden wurde die Situation so belassen.

3.3.3.4 Osteochondrose

In dieser Gruppe trat im Segment L5/S1 jeweils ein Fall (2,6 %) einer sicheren Pseudarthrose und einer unsicheren Konsolidierung auf (siehe Tab. 28 und 29). Auf alle in dieser Gruppe operierten Segmente bezogen ergeben sich Werte von jeweils 1,2 %. Dies bedeutet für die knöcherne Konsolidierung einen Anteil von 94,8 % der Patienten und 97,6 % der operierten Segmente. Im Fall der gesicherten Pseudarthrose (14 Monate postoperativ) wurde keine Metallentfernung durchgeführt.

3.3.3.5 Pseudospondylolisthese

Von den 18 nachbeobachteten Patienten konnte in einem Fall (5,6 %) eine sichere Pseudarthrose im Bewegungssegment L5/S1 nachgewiesen werden. Bei drei Patienten (16,7 %) bestand der Verdacht auf eine Pseudarthrose im Segment L5/S1 (siehe Tab. 28 und 29). Das bedeutet eine sichere Konsolidierungsrate von 77,7 %. Segmentbezogen entspricht das Anteilen von 90,7 % durchbauter Segmente, 2,4 % sicherer Pseudarthrosen und 7,3 % unsicherer Konsolidierung bei 41 nachbeobachteten Segmenten. Der Patient mit der gesicherten Pseudarthrose erhielt bei persistierenden lokalen Beschwerden im Bereich der Rückenmuskulatur nach acht Monaten eine vorzeitige Metallentfernung. Im weiteren Verlauf kam es dann zur Ausbildung der Pseudarthrose, so dass 19 Monate nach dem Ersteingriff eine erneute dorsoventrale Distractionsspondy-

lodese im Bewegungssegment L5/S1 durchgeführt wurde. Hiermit konnte eine knöchern Fusion herbeigeführt werden.

3.3.3.6 Voroperationen

Bei neun der 13 (69,2 %) nachbeobachteten Patienten (insgesamt 19 Segmente) war die Spondylodese vollständig knöchern konsolidiert. Von den restlichen Patienten wiesen einer (7,7 %) eine sichere Pseudarthrose und drei (23,1 %) fragliche Konsolidierungsverhältnisse im Segment L5/S1 auf (siehe Tab. 28 und 29). Segmentbezogen sind 78,9 % der Segmente konsolidiert, 5,2 % sicher pseudarthrotisch und 15,8 % fraglich konsolidiert. Der Patient mit der sicheren Pseudarthrose L5/S1 wurde 21 Monate nach dem Ersteingriff im diesem Segment erneut dorsoventral spondylodesiert, wodurch im Verlauf eine Konsolidierung erzielt wurde.

3.3.3.7 Unterschiedlicher Fusionsumfang

Die Auswertung der Konsolidierungs- und Pseudarthrosenraten bezüglich des unterschiedlichen Fusionsumfanges finden sich in Tabelle 28 und 29.

3.3.3.8 Materialintegrität

Patienten, die mindestens einen Schraubenbruch aufwiesen, entwickelten eine sichere Pseudarthrosenrate von 26,9 % (7 von 26) und unsichere Konsolidierungsverhältnisse von 15,4 % (4 von 26). Die Konsolidierungsrate lag somit bei 57,7 % (15 von 26). In der Gruppe der Patienten ohne Materialbrüche waren 1,8 % Pseudarthrosen (3 von 163) und 6,7 % (11 von 163) unsichere Konsolidierungsverhältnisse zu beobachten. Damit wiesen 91,4 % (149 von 163) der Patienten knöchern Fusionen auf. Das Schraubenbruch- und Pseudarthrosensegment war in allen Fällen identisch.

	kein Schraubenbruch	Schraubenbruch	Gesamt
konsolidiert	149	15	164
nicht konsolidiert	14	11	25
Gesamt	163	26	189

Tabelle 30: : Vergleich der Schraubenbrüche bei Pseudarthrose oder Durchbauung der Spondylodese

In der umgekehrten Betrachtung wiesen nicht konsolidierte Patienten in 11 von 25 Fällen (44 %) Schraubenbrüche auf. Bei Patienten mit durchbauter Spondylodese traten nur in 9,1 % (15 von 164) der Fälle Schraubenbrüche auf (siehe Tab. 30).

3.3.4 Distraction und Distaktionsverlust

3.3.4.1 Gesamtgruppe

Ein weiterer radiologisch beurteilbarer Verlaufsparemeter ist die Höhe des Intervertebralraumes in den operativ versteiften Bewegungssegmenten. Aufgrund von vereinzelt fehlenden Röntgenbildern lässt sich der Gesamtverlauf dieses Parameters nur bei 169 der 200 Patienten auswerten (84,5 %). Der Vergleich der Werte vor und nach der Operation weist jeweils eine Höhenzunahme von 3,5 mm im Segment L5/S1, 3,2 mm im Segment L4/L5, 3 mm im Segment L3/L4, 2,4 mm im Segment L2/L3 und 1,5 mm im Segment L1/L2 auf (siehe Tab. 31). Im weiteren Verlauf ist jedoch in allen Bewegungssegmenten ein Verlust der postoperativen Distraction erkennbar. Dieser beträgt bei L5/S1 2 mm, bei L4/L5 1,3 mm, bei L3/L4 1,8 mm, bei L2/L3 1,2 mm und bei L1/L2 2,5 mm (siehe Tab. 31). Wenn man den Distaktionsverlust in gröbere Kategorien einteilt (Matzen 1989), so weisen 35 Patienten (20,7 %) einen Verlust von vier oder mehr Millimetern auf. 134 Patienten (79,3 %) lassen einen kleineren Distaktionsverlust erkennen (siehe Tab. 33).

Der Distaktionsverlust pro Segment, differenziert nach den Diagnosegruppen und dem unterschiedlichen Fusionsumfang, ist aus Tabelle 32 zu entnehmen. Der grob kategorisierte Distaktionsverlust ist in Tabelle 33 aufgeführt.

Distraction in mm	Segmente	MW	Min	Max	SA
Gesamtgruppe	L1/L2	1,5	0	3	1,5
	L2/L3	2,4	0	5	1,5
	L3/L4	3	-1	10	2,6
	L4/L5	3,2	-1	9	2,3
	L5/S1	3,5	-1	11	2,5
Spondylolisthese	L3/L4	3	0	7	2,4
	L4/L5	3,1	0	9	2,7
	L5/S1	4,3	-1	11	2,8
Postnukleotomiesyndrom	L2/L3	2,3	2	3	0,5
	L3/L4	2,9	0	6	1,7
	L4/L5	3,2	0	9	2,4
	L5/S1	3,2	0	9	2,2
Osteochondrose	L1/L2	1,5	0	3	1,5
	L2/L3	2,1	0	4	1,5
	L3/L4	2,8	0	9	2,6
	L4/L5	3,2	-1	7	1,9
	L5/S1	2,6	0	6	1,5
Pseudospondylolisthese	L2/L3	4	3	5	0,8
	L3/L4	4,3	0	10	3,1
	L4/L5	4,3	2	7	1,7
	L5/S1	3,4	0	10	2,8
Voroperation	L3/L4	0,3	-1	2	1,2
	L4/L5	1,8	0	3	1,2
	L5/S1	2,6	1	6	1,8
Monosegmentale OP	L2/L3	2,5	1	4	1,5
	L3/L4	4,5	0	9	4,5
	L4/L5	4,1	2	8	2
	L5/S1	3,6	1	9	2
Bisegmentale OP	L3/L4	4,1	-1	10	3,1
	L4/L5	3,1	-1	9	2,3
	L5/S1	3,4	-1	11	2,7
Trisegmentale OP	L2/L3	2,7	2	3	0,5
	L3/L4	2,9	0	9	2,2
	L4/L5	3,4	0	8	2,2
	L5/S1	2,9	0	7	2,1
Polysegmentale OP	L1/L2	1,5	0	3	1,5
	L2/L3	2,3	0	5	1,7
	L3/L4	2	0	7	1,9
	L4/L5	3,3	0	7	2,6

Tabelle 31: Postoperatives Distractionsergebnis in den einzelnen Bewegungsegmenten, differenziert nach Diagnosegruppen und Fusionsumfang

Distraktionsverlust in mm	Segmente	MW	Min	Max	SA
Gesamtgruppe	L1/L2	2,5	1	4	1,5
	L2/L3	1,2	1	3	1
	L3/L4	1,8	0	8	1,8
	L4/L5	1,3	-1	10	1,8
	L5/S1	2	0	9	2,2
Spondylolisthese	L3/L4	2,2	0	5	1,7
	L4/L5	1,3	0	10	1,9
	L5/S1	2,5	0	8	2,4
Postnukleotomiesyndrom	L2/L3	1,3	0	2	0,9
	L3/L4	2,1	0	8	2,3
	L4/L5	1,1	0	4	1
	L5/S1	1,5	0	9	1,8
Osteochondrose	L1/L2	2,5	1	4	1,5
	L2/L3	1,1	0	3	1
	L3/L4	1,6	0	4	1,3
	L4/L5	1,2	-1	5	1,2
	L5/S1	1,3	0	4	1,1
Pseudospondylolisthese	L2/L3	2	2	2	0
	L3/L4	1,8	0	3	1,1
	L4/L5	1,7	0	6	1,9
	L5/S1	2,7	0	8	2,3
Voroperation	L3/L4	0,7	0	2	0,9
	L4/L5	0,1	0	1	0,3
	L5/S1	3,1	1	7	2,5
Monosegmentale OP	L2/L3	1,7	0	3	1,2
	L3/L4	0	0	0	0
	L4/L5	0,8	0	3	1
	L5/S1	2,6	0	8	2,3
Bisegmentale OP	L3/L4	1,4	0	4	1,2
	L4/L5	1,3	-1	10	1,6
	L5/S1	1,7	0	8	1,9
Trisegmentale OP	L2/L3	0	0	0	0
	L3/L4	2,3	0	8	2
	L4/L5	1,2	0	4	1,1
	L5/S1	1,9	0	9	2,1
Polysegmentale OP	L1/L2	2,5	1	4	1,5
	L2/L3	1,2	0	2	0,8
	L3/L4	1	0	2	0,9
	L4/L5	0,8	0	2	0,7
	L5/S1	2,1	0	5	2,1

Tabelle 32: : Distraktionsverlust bis zur Nachuntersuchung in den einzelnen Bewegungsegmenten, differenziert nach Diagnosegruppen und Fusionsumfang

3.3.4.2 Pseudarthrosen

Bei den Patienten mit einer Pseudarthrose oder mit unsicheren Konsolidierungsverhältnissen fällt auf, dass hier der Anteil an Patienten mit einem vermehrten Distraktionsverlust mit 56 % (14 von 25) deutlich erhöht ist gegenüber dem Gesamtkollektiv mit 20,7 %. Nur 11 Patienten (44 %) haben einen Distraktionsverlust von weniger als 4 mm (siehe Tab. 29). Der durchschnittliche Distraktionsverlust im Segment L5/S1 beträgt 3,6 mm, im Segment L4/L5 1,1 mm, und im Segment L3/L4 2,7 mm. Insbesondere im Segment L5/S1 ist er damit deutlich erhöht gegenüber dem Gesamtkollektiv (2 mm).

Distraktionsverlust	kleiner 4 mm	in %	größer 4 mm	in %
Gesamt	134	79,3	35	20,7
Spondylolisthese	39	73,6	14	26,4
PNS	41	80,4	10	19,6
Osteochondrose	34	94,4	2	5,6
Pseudospondylolisthese	11	64,7	6	35,3
Voroperationen	9	75	3	25

Tabelle 33: Grob kategorisierter Distraktionsverlust nach Diagnosegruppen, Fusionsumfang und Durchbau

3.3.5 Weitere radiologische Kriterien

3.3.5.1 Spondylolyse/Spondylolisthese

Auch wenn eine Reposition der Spondylolisthese kein beabsichtigtes Ziel der Operation war, so konnte man doch in acht Fällen eine Reposition von 76-100 %, in 16 Fällen eine Reposition von 51-75 % und bei 20 Patienten eine 25-49 %ige Reposition beobachten. Bei 7 Patienten ist eine bis zu 25 %ige Reposition zu beobachten, während 6 Patienten keine postoperative Reposition aufweisen.

Im Verlauf nach der Operation ließ sich bei 31 von 51 auswertbaren Patienten (60,8 %) keine erneute Zunahme des Wirbelgleitens nachweisen. In insgesamt 20 Fällen (39,2 %) zeigte sich eine Progression des Wirbelgleitens bzw. ein Repositionsverlust im postoperativen Verlauf, ohne dass es zu einer Verschlimmerung gegenüber dem präoperativen Ergebnis kam.

3.3.5.2 Pseudospondylolisthese

In dieser Gruppe mit degenerativem Wirbelgleiten trat in 2 Fällen (12,5 %) im Verlauf eine erneute Zunahme des Wirbelgleitens auf, während 14 Patienten (87,5 %) das direkt postoperative Ergebnis hielten. Bei den restlichen fünf Patienten konnte die Bewertung nicht stattfinden, da einzelne Röntgenaufnahmen fehlten.

3.4 Komplikationen

3.4.1 Operative Komplikationen

3.4.1.1 Gesamtgruppe

Bei der Auswertung eines Operationsverfahrens liegt ein Augenmerk auf den direkten und indirekten operativen Komplikationen. Zu den typischen direkten Komplikationen zählen die Wundinfektionen. Im hier untersuchten Patientenkollektiv traten fünf oberflächliche Infektionen (drei nach dorsalen und zwei nach ventralen Operationen) auf. Fünfmal entstand eine tiefe Infektion nach dorsalen Stabilisierungen und viermal wurde eine operative Revision notwendig (2 %). Einmal kam es zu einer Fistelung, welche konservativ zur Ausheilung gebracht werden konnte. Daraus resultiert eine Gesamtinfektionsrate von 5 % mit einer Teilrate von je 2,5 % für oberflächliche und tiefe Wundinfektionen. Ein Patient entwickelt sowohl nach der dorsalen als auch nach der ventralen Operation eine oberflächliche Infektion. Dazu kommen zwei Patienten (1%), die nach der Metallentfernungen oberflächliche Wundinfektionen durchmachten. Von den insgesamt elf Patienten mit einer Wundinfektion waren neun Raucher (81,8 %) mit einem Nikotinkonsum von zehn oder mehr Zigaretten pro Tag. Im Gesamtkollektiv beträgt der Anteil der stärkeren Raucher nur 40 %.

Ebenfalls zu den typischen Komplikationen bei operativen Eingriffen zählen die Hämatome im Wundbereich. In der untersuchten Gruppe waren fünfmal (2,5 %) deutliche Hämatombildungen im Operationsgebiet erkennbar, wobei jedoch nur in einem Fall (0,5 %) bei massiver Einblutung eine operative Revision notwendig wurde.

Zu den weiteren direkten operativen Komplikationen zählen je drei Dura- und Peritoneumverletzungen (1,5 %), sowie neun Gefäßverletzungen (4,5 %), die eine Gefäßnaht erforderlich machten. Bei 18 Patienten (9 %), insgesamt vierundzwanzigmal, war eine intraoperative Schraubenkorrektur notwendig. Trotzdem war siebzehnmals (8,5 %) postoperativ radiologisch eine Schraubenfehlage nachweisbar. Davon waren die Mehrzahl,

nämlich insgesamt zwölf (6 %), lateral zu finden. Drei Pedikelschrauben (1,5 %) lagen medial der Wirbelbogenwurzel. Keine dieser Schrauben hatte eine neurologische Symptomatik zur Folge. Trotzdem wurde wegen einer doppelten Schraubenfehlage auf der gleichen Fixateurseite einmal (0,5 %) eine operative Revision zur Schraubenkorrektur notwendig. Zwei Schrauben (1 %) perforierten die Wirbelkörperdeckplatte und lagen auf der postoperativen Röntgenkontrolle zum Teil im Intervertebralraum. In einem Fall (0,5 %) kam es intraoperativ zu einer Fraktur des Pedikels. Bei 15 Patienten (7,5 %) und insgesamt sechzehnmal zeigen die Röntgenbilder eine deutliche ventrale Perforation der Kortikalis eines Wirbelkörpers durch die Pedikelschraubenspitze, ohne dass daraus Konsequenzen entstanden.

15 Patienten (7,5 %) wiesen eine nicht optimale, intervertebrale Lage eines Beckenkammspanns auf, aber nur in einen Fall (0,5 %) wurde bei völliger Dislokation eine operative Revision notwendig. Die 14 nicht operierten Patienten erzielten im Verlauf alle eine knöcherne Konsolidierung ihrer Spondylodese.

Bei 12 Patienten (6 %) wurde aufgrund der anatomischen Verhältnisse im ventralen Operationssitus eine Durchtrennung des Grenzstrang oder von in diesen einstrahlenden Fasern notwendig. Im weiteren Verlauf wiesen jedoch nur vier Patienten (2 %) Zeichen einer deutlichen Störung der sympathischen Innervation im Sinne eines Sympathektomiesyndroms auf.

Beim am häufigsten verwendeten operativen Zugangsweg von links lateral wurde wie bereits beschrieben (siehe 2.3.3) zunächst ein bi- oder tricorticaler Beckenkammspann gewonnen. Durch die relative anatomische Nähe zum Verlauf des N. cutaneus femoris lateralis kam es durch direkte Schädigung oder durch Kompression z. B. durch ein Hämatom zu postoperativen Hypästhesien und Schmerzen in dessen Innervationsgebiet am ventrolateralen proximalen Oberschenkel. Solche Veränderungen waren bei 50 Patienten oder 25 % im anfänglichen postoperativen Verlauf nachweisbar. Fünfzehn Patienten (7,5 %) beklagten diese Veränderung auch noch bei der Nachuntersuchung. Fünfmal (2,5 %) bestand postoperativ eine ausgedehnte Hypästhesie im Bereich des linken Unterbauch, welche bei zwei Patienten persistierte. Eine echte Parese von Anteilen der Bauchmuskulatur war in zwei Fällen (1 %) nachweisbar.

Neurologische Störungen bzw. Schäden, die eindeutig radikulären Ursprungs waren, führten in acht Fällen (4 %) im späteren Verlauf zu operativen Neurolyse der entsprechenden Nervenwurzeln. In zwei weiteren Fällen (1 %) waren persistierenden Schädigungen an präoperativ unauffälligen Nervenwurzeln postoperativ entstanden.

Insgesamt beläuft sich die Rate der Revisionsoperationen, wenn man die Metallentfernungen ausnimmt, auf 22 von 200 Fällen (11 %). Davon entfallen sieben Eingriffe (3,5 %) auf Respondylodesen wegen Pseudarthrose und 15 Eingriffe (7,5 %) auf andere Komplikationen oder Beschwerden (siehe Tab. 34).

Komplikation	Anzahl	in %
Wundinfektion, gesamt	10	5
Wundinfektion, oberflächlich	5	2,5
Wundinfektion, tief	5	2,5
Revision wegen Infektion	4	2
Fistel, konservativ	1	0,5
Gefäßverletzung, nahtbedürftig	9	4,5
Hämatom postoperativ	5	2,5
Revision wegen Hämatom	1	0,5
Duraverletzung, intraoperativ	3	1,5
Peritoneumverletzung, intraoperativ	3	1,5
Schraubenkorrektur, intraoperativ	18	9
Schraubenfehlage, gesamt	17	8,5
Schraubenfehlage, lateral	12	6
Schraubenfehlage, medial	3	1,5
Schraubenspitze, intervertebral	2	1
Revision wegen Schraubenlage	1	0,5
Pedikelfraktur intraoperativ	1	0,5
Malposition Beckenkammspan	15	7,5
Revision wegen Beckenkammspanposition	1	0,5
Sympathektomie	12	6
Postsympathektomiesyndrom	4	2
Irritation N. cutaneus femoris lateralis	50	25
" dauerhaft	15	7,5
Hypästhesie Unterbauch	5	2,5
" persistierend	2	1
Bauchwandparese	2	1
Radikuläre Symptome mit operativer Intervention	8	4
persistierende neurolog. Symptome postoperativ	2	1
operative Reinterventionen gesamt	22	11
Respondylodesen	7	3,5
sonstige Revisionen	15	7,5

Tabelle 34: Operative Komplikationen in der Gesamtgruppe (n= 200)

3.4.1.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Bei den 66 Spondylolisthesepatienten traten nach der Operation insgesamt in sechs Fällen (9 %) sieben Wundinfektionen auf. Viermal (6,1 %) waren die Infektionen nur oberflächlich (3 dorsal und 1 ventral) und dreimal (4,5 %) tief dorsal lokalisiert. Ein Patient entwickelte sowohl nach der dorsalen als auch nach der ventralen Operation eine oberflächliche Wundinfektion. In zwei Fällen (3 %) wurde eine operative Revision notwendig.

Während der Operationen musste bei neun Patienten (13,6 %) eine Schraubenkorrektur durchgeführt werden. Außerdem wurde zweimal (3 %) die Dura und einmal (1,5 %) ein Gefäß verletzt. In einem Fall (1,5 %) wurde das Peritoneum eröffnet. Durch das Einschrauben einer Pedikelschraube wurde einmal der Pedikel frakturiert. Aus operationstechnischen Gründen war sechsmal (9,1 %) eine Sympathektomie notwendig. Aufgrund einer fixierten Redondrainage musste diese operativ gelöst werden.

In den postoperativen Röntgenaufnahmen waren bei diesen Patienten fünfmal (7,6 %) eine nicht optimale Spanlage erkennbar. Viermal (6,1 %) lag der Beckenkammspan zu weit ventral und einmal (1,5 %) zu weit dorsal. Die dorsale Fehllage blieb klinisch symptomfrei. In drei Fällen (4,5 %) perforierte eine Pedikelschraube die ventrale Wirbelkörperkortikalis und je einmal war eine Schraube lateral bzw. medial des Pedikels fehlplatziert.

Eine anfängliche Störung des N. cutaneus femoris lateralis mit Hypästhesie im Versorgungsgebiet war bei 17 der 66 Patienten (25,8 %) zu finden. In 7,6 % der Fälle (5 von 66) ließ sich diese noch bei der Nachuntersuchung finden. Außerdem berichtete ein Patient über eine ausgedehnte Gefühlsstörung an der Unterbauchhaut links. Eine neu aufgetretene, passagere oder modifizierte Wurzelkompressionsymptomatik zeigte ein Patient und in zwei Fällen persistierte diese über einen längeren Zeitraum. In diesen beiden Fällen wurde im Verlauf eine operative Neurolyse durchgeführt, ohne dass dabei eine direkte iatrogene Nervenläsion nachweisbar war. Dauerhafte neurologische Störungen oder Symptome in Zusammenhang mit der Operation waren damit bei 10,6 % (7 von 66) der Patienten nachweisbar. Lässt man die Störungen des N. cutaneus femoris lateralis außer Acht, beträgt die neurologische Komplikationsrate in dieser Gruppe 4,5 %. Eine operative Revision wurde in dieser Gruppe bei insgesamt 6 von 66 Patienten (9 %) durchgeführt.

3.4.1.3 Postnukleotomiesyndrom

Die Patienten mit Postnukleotomiesyndrom entwickelten im postoperativen Verlauf je eine oberflächliche dorsale, eine tiefe dorsale und eine tiefe ventrale Wundinfektion, was einer Gesamtfektionsrate von 5,1 % entspricht. Nur im Fall der tiefen, dorsalen Infektion (1,7 %) war eine operative Revision mit Saug-Spül-Drainage erforderlich.

Es traten insgesamt vier versorgungsbedürftige Gefäßverletzungen bei drei Patienten (5 %) auf. Intraoperativ war siebenmal bei sechs verschiedenen Patienten (10,2 %) eine Schraubenkorrektur notwendig. In den postoperativen Röntgenaufnahmen fielen eine laterale (1,7 %) und zwei mediale (3,4 %) Schraubenfehlplazierungen auf, ohne dass die Patienten neurologischen Symptome aufwiesen. Eine ventrale Perforation der Wirbelkörpervorderwand durch eine Pedikelschraubenspitze war achtmal bei sieben Patienten (11,7 %) zu beobachten. Die Röntgenbilder zeigten dreimal (5,1 %) einen zu weit ventral gelegenen Beckenkammspan, was in einem Fall (1,7 %) eine operative Revision erforderlich machte. Ein in drei Fällen (5,1 %) aufgetretenes deutliches postoperatives Hämatom im Operationsgebiet erforderte in einem Fall (1,7 %) eine operative Ausräumung.

Eine anfängliche Beeinträchtigung des N. cutaneus femoris lateralis wiesen insgesamt dreizehn Patienten (22 %) auf. Dauerhaft fanden sich bei fünf Patienten (8,5 %) Störungen in diesem Bereich. Ein Patient zeigte eine Hypästhesie am linken Unterbauch, die im Verlauf abklang. Bei zwei Patienten (3,4 %) war postoperativ eine prolongierte, nicht rückläufige Wurzelreizsymptomatik ohne wesentliche Paresen zu beobachten, die im Verlauf operative Neurolysen erforderten. Ein weiterer Patient (1,7 %) hatte postoperativ eine neu aufgetretene Wurzelschädigung L5 links, die trotz aller Behandlungsmaßnahmen persistierte. Damit lag die Rate der gesamten neurologischen Komplikationen bei 13,6 % (8 von 59). Ohne die Beeinträchtigungen am N. cutaneus femoris lateralis beträgt dieser Wert 5 %, wobei nur 1,7 % der Veränderungen als operationsbedingt anzusehen sind.

Insgesamt waren bei fünf Patienten (8,5 %) im Verlauf operative Reinterventionen aus den unterschiedlichen, oben aufgeführten Gründen notwendig.

3.4.1.4 Osteochondrose

In dieser Patientengruppe trat postoperativ eine tiefe, dorsal lokalisierten Wundinfektion auf, bei der eine operative Revision erforderlich war (2,6 %). Eine weitere oberflächliche Wundinfektion trat nach einer Metallentfernung auf.

Dreimal bei zwei Patienten (5,1 %) mussten Pedikelschrauben intraoperativ korrigiert werden. Sechs Patienten (15,4 %) wiesen in den postoperativen Röntgenbildern eine nicht korrekte, teilweise extrapedikuläre Schraubenlage auf (7 Schrauben). In einem Fall (2,6 %) musste eine operative Korrektur durchgeführt werden. Bei zwei Patienten (5,1 %) waren Schrauben an der ventralen Wirbelkörperfläche deutlich perforiert und in zusammen sechs Fällen (15,4 %) lag der implantierte Beckenkammspan nicht an der optimalen Stelle (fünfmal zu weit ventral und einmal zu weit lateral).

Intraoperativ kam es zu einer Gefäßverletzung (2,6 %), die eine Gefäßnaht erforderlich machte. Zwei Patienten (5,1 %) wiesen ein deutliches, über ein übliches Maß hinausgehendes, postoperatives Hämatom auf.

Eine Beeinträchtigung der Funktion des N. cutaneus femoris lateralis fand sich in 13 Fällen (33,3 %), wovon drei Fälle (7,7 %) persistierten. Einmal (2,6 %) kam es zu einer dauerhaften Hypästhesie mit Parese an der Bauchwand und viermal (10,3 %) fiel ein Postsympathektomiesyndrom auf. Eine passagere Wurzelreizsymptomatik konnten in einem Fall (2,6 %) beobachtet werden. Die Rate bleibender neurologischer Komplikationen lag damit bei 10,5 %.

In dieser Gruppe waren zwei operative Reinterventionen (3,4 %) im Verlauf notwendig.

3.4.1.5 Pseudospondylolisthese

In der Gruppe der Pseudospondylolisthesepatienten traten keine Wundinfektionen auf. Postoperativ fielen eine laterale und eine vertikale Schraubenfehlage (im Intervertebralraum) auf (9,5 %). Außerdem lag einmal ein Beckenkammspan nur unvollständig im Intervertebralraum (4,8 %). Bei zwei Patienten (9,5 %) fand sich postoperativ eine Beeinträchtigung des N. cutaneus femoris lateralis, wovon eine persistierte (4,8 %). In einem Fall wurde im postoperativen Verlauf eine Neurolyse mit Laminektomie bei einer persistierenden Parese notwendig. Einmal wurde eine Myelographie ohne Nachweis einer Wurzelkompression durchgeführt, da ein Patient über rezidivierende, radikuläre Symptome klagte. Insgesamt war damit in einem Fall (4,8 %) eine operativen Reintervention notwendig.

3.4.1.6 Voroperationen

Die Infektionsrate dieser Patientengruppe betrug 0 %. Intraoperativ mußten je einmal (6,7 %) eine Schraubenkorrektur, eine Sympathektomie und eine Gefäßnaht bei einer Venenläsion durchgeführt werden. Postoperativ ließen sich zwei laterale Fehllagen von Schrauben, eine deutliche ventrale Schraubenperforation und eine Dislokation der Spina iliaca anterior superior nachweisen, die jedoch jeweils keine erneute Intervention erforderten. Vier Patienten (26,7 %) wiesen zunächst eine Störung im Innervationsgebiet des N. cutaneus femoris lateralis auf. In nur einem Fall (6,7 %) war diese noch bei der Nachuntersuchung vorhanden. Dies entspricht auch der neurologischen Komplikationsrate in dieser Gruppe. Reinterventionen im Zusammenhang mit der durchgeführten Spondylodese waren in dieser Gruppe nicht notwendig.

3.4.2 Weitere Komplikationen

3.4.2.1 Gesamtgruppe

Im postoperativen Verlauf traten in vier Fällen (2 %) ein paralytischer Ileus und in je zwei Fällen (1 %) eine 3-Etagen-Thrombose bzw. Lungenembolie auf (siehe Tab. 35). Außerdem kam es einmal zu einer Medikamentenunverträglichkeit und zu einem cerebrovasculären Insult. Bei sieben Patienten wurde im Nachbeobachtungsverlauf bei persistierenden Beschwerden eine lumbale Funktionsmyelographie durchgeführt und drei Patienten erhielten zu einem späteren Zeitpunkt bei Nachweis einer relativen oder absoluten spinalen Enge eine operative Dekompression. In Einzelfällen trat je eine Dislokation der Spina iliaca anterior superior ohne therapeutische Konsequenz und eine fixierte Redondrainage auf, die einer operativen Intervention bedurfte.

Komplikation	Anzahl	in %
paralytischer Ileus	4	2
3-Etagenthrombose	2	1
Lungenembolie	2	1
cerebrovask. Insult A. cerebri media	1	0,5
Medikamentenunverträglichkeit	1	0,5

Tabelle 35: Nicht direkt operationsassoziierte Komplikationen im Gesamtkollektiv

3.5 Fragebogenauswertung

3.5.1 Allgemeines

Von den insgesamt 200 operierten Patienten konnten 152 Fragebögen ausgewertet werden. Dies entspricht einer Quote von 76%. Die Rücklaufzeiten in den einzelnen Diagnosegruppen ist in Tabelle 36 dargestellt.

Die präoperative Schmerzdauer der Patienten lag bei 113 Monaten mit einer Spannweite von 1 bis 480 Monaten.

	Gesamtzahl Patienten	ausgewertete Patienten	Anteil FUP in %
Gesamtgruppe	200	152	76
Spondylolisthese	66	53	80,3
Postnukleotomiesyndrom	59	42	71,2
Osteochondrose	39	30	76,9
Pseudospondylolisthese	21	19	90,5
Voroperationen	15	9	60
OP 1 Segment	65	46	70,8
OP 2 Segmente	94	76	80,9
OP 3 Segmente	31	25	80,6
OP > 3 Segmente	10	6	60

Tabelle 36: Anteil auswertbarer Fragebögen bei unterschiedlichen Diagnosen und OP-Ausmaßen

3.5.2 Schmerzscore

3.5.2.1 Gesamtgruppe

Betrachtet man den retrospektiv erhobenen Schmerzscore für den durchschnittlich erlebten Schmerz findet sich präoperativ ein Mittelwert von 7,4 (3-10, SA 1,8). Postoperativ lag der Durchschnittswert bei 5 (0-10, SA 2,6), was einer absoluten Verbesserung von 2,4 Punkten entspricht (siehe Tab. 37). Bei 106 Patienten (70,2 %) hat sich der Schmerzscore verbessert, in 24 Fällen (15,9 %) blieb er gleich und in 21 Fällen (13,9 %) hat er sich verschlechtert.

3.5.2.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Bei den Spondylolisthesepatienten lag der durchschnittliche präoperative Schmerzscore bei 7,3 (3-10, SA 1,8). Durch die Operation kam es zu einer Verbesserung um 2,5 auf 4,8 (0-10, SA 2,6) (siehe Tab. 37). Von den einzelnen Patienten hat sich der Score in 39 Fällen (73,6 %) verbessert, in acht Fällen (15,1 %) verschlechtert und blieb in fünf Fällen (9,4 %) gleich. Bei den verbleibenden 14 Patienten sind die Angaben unvollständig oder nicht vorhanden.

Schmerzscore	präoperativ			postoperativ			Änderung
	MW	Min-Max	SA	MW	Min-Max	SA	
Gesamtgruppe	7,4	3-10	1,8	5	0-10	2,6	2,4
Spondylolisthese	7,3	3-10	1,8	4,8	0-10	2,6	2,5
PNS	7,2	3-10	2	5,3	0-10	2,5	1,9
Osteochondrose	7,5	4-10	1,5	5	2-10	2,1	2,5
Pseudospondylolisthese	7,4	5-10	1,5	4,8	0-10	3,1	2,6
Voroperation	7,8	4-10	1,9	6,5	1-10	2,8	1,3
monosegmental	7,2	3-10	1,8	4,9	0-10	2,8	2,3
bisegmental	7,5	3-10	1,8	5,2	0-10	2,4	2,3
trisegmental	7,2	4-10	1,7	4,9	2-10	2,8	2,3
polysegmental	7,2	5-8	1,1	4,8	0-8	2,8	2,4
Pseudarthrose	7,9	5-10	1,6	6,4	1-10	2,8	1,5
Konsolidierung	7,3	3-10	1,8	4,9	0-10	2,5	2,4

Tabelle 37: Vergleich der Diagnosegruppen und der OP-Ausmasse im Schmerzscore

3.5.2.3 Postnukleotomiesyndrom

Die Werte im Schmerzscore betragen bei den 43 Patienten präoperativ durchschnittlich 7,2 (3-10, SA 2) und postoperativ durchschnittlich 5,3 (0-10, SA 2,5). Dies bedeutet eine Verbesserung der Score-Werte durch die Operation von 1,9 Punkten (siehe Tab. 37). Insgesamt haben sich die Werte bei 26 Patienten (61,9 %) verbessert und bei sieben Patienten (16,7 %) verschlechtert. In neun Fällen (21,4 %) ist der Score unverändert geblieben.

3.5.2.4 Osteochondrose

Der Schmerzscore wurde von den 30 Patienten präoperativ mit durchschnittlich 7,5 (4-10, SA 1,5) bewertet. Die postoperative Schmerzbewertung betrug 5 (2-10, SA 2,1),

was einer Verbesserung von 2,5 Punkten entspricht (siehe Tab. 37). In der Einzelbetrachtung ist der Score bei 24 Patienten (80 %) verbessert, bei vier Patienten (13,3 %) gleich und bei zwei Patienten (6,7 %) verschlechtert.

3.5.2.5 Pseudospondylolisthese

Bei den 19 der 21 Pseudospondylolisthesepatienten lag der präoperative durchschnittliche Schmerzscore bei 7,4 (5-10, SA 1,5). Der postoperative Durchschnittswert lag bei 4,8 (0-10, SA 3,1), was einer Besserung von 2,6 entspricht (siehe Tab. 37). In 14 Fällen (73,7 %) hat sich der Schmerzscore verbessert, in zwei Fällen (10,5 %) verschlechtert und in drei Fällen (15,8 %) ist er gleich geblieben.

3.5.2.6 Voroperationen

Die neun der 15 Patienten auswertbaren Patienten hatten einen präoperativen Schmerzscore von durchschnittlich 7,8 (4-10, SA 1,9). Postoperativ lag der durchschnittliche Schmerz noch bei 6,5 (1-10, SA 2,8), was einer Schmerzverbesserung von 1,3 entspricht (siehe Tab. 37). Von den einzelnen Patienten hat sich in drei Fällen (33,3 %) der Score verbessert, zweimal (22,2 %) verschlechtert und blieb dreimal (33,3 %) gleich. Einer der ausgewerteten Patienten machte keine vollständige Angabe.

3.5.2.7 Monosegmentale Operationen

In dieser Gruppe lag der Schmerzscore präoperativ durchschnittlich bei 7,2 (3-10, SA 1,8). Postoperativ betrug der durchschnittliche Schmerz nur noch bei 4,9 (0-10, SA 2,8), was einer absoluten Verringerung von 2,3 entspricht (siehe Tab. 37). Eine Verbesserung des Schmerzscore trat in 30 Fällen (68,2 %) ein. In sechs Fällen (13,6 %) verschlechterte sich der Score und in 8 Fällen (18,2 %) blieb er gleich.

3.5.2.8 Bisegmentale Operationen

Der präoperative Durchschnittsschmerz betrug 7,5 (3-10, SA 1,8). Nach der Operation gaben diese Patienten ihren Durchschnittsschmerz mit 5,2 (0-10, SA 2,4) an. Dies entspricht einer Verbesserung der Beschwerden von 2,3 Punkten (siehe Tab. 37). In 53

Fällen (70,7 %) gab es eine Verbesserung, in neun Fällen (12 %) eine Verschlechterung und in 13 Fällen (17,3 %) blieb der Wert des Schmerzscore unverändert.

3.5.2.9 Trisegmentale Operationen

Die Stärke des präoperativen Durchschnittsschmerzes wird in dieser Gruppe mit 7,2 (4-10, SA 1,7) angegeben. Nach der Operation beträgt der Durchschnittsschmerz noch 4,9 (2-10, SA 2,8), was einer Verbesserung der Beschwerden um 2,3 Punkte entspricht (siehe Tab. 37). Bei Betrachtung der einzelnen Patienten verbesserte sich der Schmerzscore in 20 Fällen (80 %), blieb in zwei Fällen (8 %) gleich und verschlechterte sich in drei Fällen (12 %).

3.5.2.10 Polysegmentale Operationen

Bei den Patienten dieser Gruppe betrug der Schmerzscore präoperativ 7,2 (5-8, SA 1,1) und postoperativ 4,8 (0-8, SA 2,8), was einer Verbesserung um 2,4 Punkte entspricht (siehe Tab. 37). In vier Fällen (66,7 %) hat sich der Score verbessert und in zwei Fällen (33,3 %) verschlechtert.

3.5.2.11 Pseudarthrose

Patienten mit einer Pseudarthrose wiesen einen präoperativen Schmerzscore von 7,9 (5-10, SA 1,6) und postoperativ einen Wert von 6,4 (1-10, SA 2,8) auf. Dies entspricht einer Verbesserung um 1,5 Punkte (siehe Tab. 37). Zehnmal verbesserte sich der Wert und je viermal blieb er gleich oder verschlechterte sich. In sieben Fällen konnte keine Aussage getroffen werden.

3.5.2.12 Konsolidierung

Die Patienten, die eine Konsolidierung erzielte hatten präoperativ einen Schmerzscore von 7,3 (3-10, SA 1,8) und postoperativ einen Wert von 4,9 (0-10, SA 2,5), was einer Besserung von 2,4 entspricht (siehe Tab. 37).

3.5.3 Oswestry-Index

3.5.3.1 Gesamtgruppe

Beim Oswestry-Index ergab sich präoperativ ein Wert von 52,8 % (6-88, SA 17,1) und postoperativ ein Wert von 35,6 % (0-96, SA 22) (siehe Tab. 39). Damit lag die absolute Änderung des Index bei 17,1 % (-18-70, SA 18), was einer relativen Verbesserung (Δ ODI) von 34,2 % (-45-100, SA 35) entsprach (siehe Tab. 40). Insgesamt hat sich der Index in 117 Fällen (77,5 %) verbessert, in 26 Fällen (17,2 %) verschlechtert und blieb in acht Fällen (5,3 %) gleich. Die Einteilung der Werte des Oswestry-Index nach Gruppen und ihre prä- und postoperative Zuordnung ist in Abbildung 8 dargestellt. Hierbei war eine deutliche Verkleinerung der Gruppen „crippled“ und „severe“ zugunsten der Gruppen „moderate“ und „minimal“ erkennbar. Insbesondere die Gruppe „minimal“ vergrößerte sich von 5 auf 46 Patienten. Bei einer Auswertung der Veränderungen eines einzelnen Patienten verbesserten sich 54 Patienten (35,7 %) um eine Stufe, 30 Patienten (19,9 %) um zwei Stufen, vier Patienten (2,6 %) um drei Stufen und ein Patient (0,7 %) um vier Stufen. In 52 Fällen (34,4 %) blieben die Patienten in der präoperativen Index-Gruppe und in zehn Fällen (6,6 %) kam es zu einer Verschlechterung um eine Stufe.

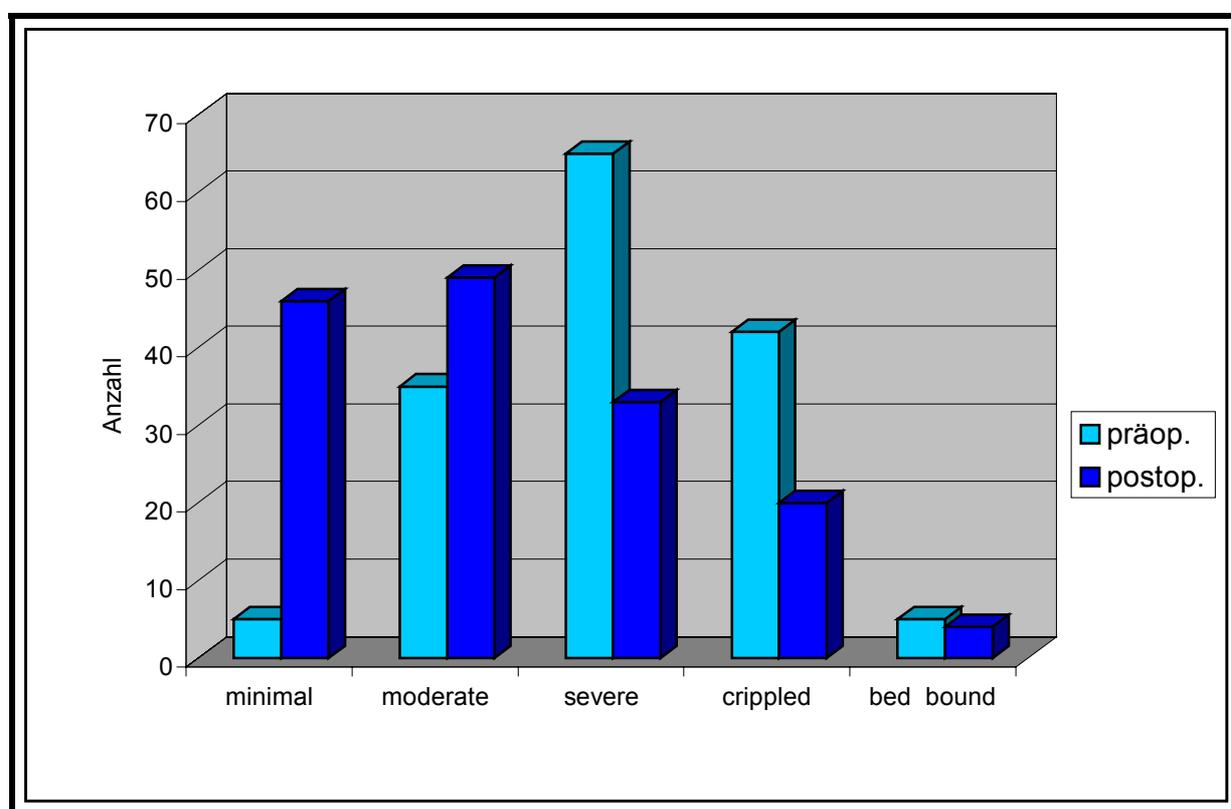


Abbildung 8: Größe der Oswestry-Gruppen prä- und postoperativ

3.5.3.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

Die Auswertung des Oswestry-Index für diese Gruppe ergab Werte von präoperativ 44,1 % (6-84, SA 17,3) und postoperativ 28,2 % (0-96, SA 21,2) (siehe Tab. 39). Die absolute Änderung betrug damit 16,3 % (-17-52, SA 17) und die relative Änderung (Δ ODI) 39,1 % (-45-100, SA 38,7) (siehe Tab. 40). In 40 Fällen (75,5 %) kam es zu einer Verbesserung, in acht Fällen (15,1 %) zu einer Verschlechterung und in vier Fällen (7,5 %) blieb der Index gleich. Die prä- und postoperative Gruppengröße im Oswestry-Index ist in Tabelle 38 dargestellt.

Oswestry-Gruppen bei Spondylolisthese		
Wert	präoperativ	postoperativ
0-20 "minimal"	5	22
21-40 "moderate"	17	18
41-60 "severe"	22	9
61-80 "crippled"	7	3
81-100 "bed bound"	1	1
keine Angaben	14	13

Tabelle 38: Gruppengröße im Oswestry-Index prä- und postoperativ bei Spondylolisthesepatienten

Wenn man die Veränderungen in der Gruppeneinteilung der einzelnen Patienten beobachtet kommt es einmal (1,9 %) zu einer Verbesserung um drei Stufen, zehnmal (18,3 %) zu einer Verbesserung um zwei Stufen und neunzehnmal (35,8 %) zu einer Verbesserung um eine Stufe. Ebenfalls neunzehnmal (35,8 %) bleiben Patienten in der präoperativen Gruppe und dreimal (5,7 %) kommt es zu einer Verschlechterung um eine Stufe.

3.5.3.3 Postnukleotomiesyndrom

Der Oswestry-Index betrug bei den 42 Patienten präoperativ 59 % (26-82, SA 13,3) und postoperativ 41,3 % (0-82, SA 22) (siehe Tab. 39). Daraus ergibt sich eine Änderung von absolut 17,3 % (-18-60, SA 19,1) und relativ (Δ ODI) von 30,2 % (-35-100, SA 34,2) (siehe Tab. 40). Eine Auswertung der einzelnen Patienten und ihrer individuellen Veränderungen ergibt 31 (73,8 %) verbesserte, zwei (4,8 %) gleich gebliebene und neun (21,4 %) verschlechterte Fälle. Hinsichtlich der Gruppenverteilung haben sich 17 Patienten (40,5 %) um eine, neun Patienten (21,4 %) um zwei und ein Patient (2,4 %) um

drei Stufen verbessert. Verschlechtert haben sich zwei Patienten (4,8 %), während dreizehn Patienten (31 %) in ihrer vorherigen Gruppe verblieben sind.

Oswestry-Index	präoperativ			postoperativ		
	MW	Min-Max	SA	MW	Min-Max	SA
Gesamtgruppe	52,8	6-88	17,1	35,6	0-96	22
Spondylolisthese	44,1	6-84	17,3	28,2	0-96	21,2
Postnukleotomiesyndrom	59	26-82	13,3	41,3	0-82	22
Pseudospondylolisthese	53,4	24-86	18,7	34,3	4-82	20,5
Voroperation	59,3	36-78	12,5	43,1	4-68	19
monosegmental	48,7	6-82	17,9	30	0-73	21,3
bisegmental	54,1	24-86	16,8	38,4	0-96	21,9
trisegmental	56,1	24-88	16,2	36,9	10-84	22
polysegmental	52,8	33-66	11,1	38,5	12-64	20,6
Pseudarthrose	61,2	33-86	14,7	48,3	4-72	20,3
Konsolidierung	51,6	6-88	17	33,9	0-96	21,7

Tabelle 39: Oswestry-Index prä- und postoperativ

3.5.3.4 Osteochondrose

Die 30 Osteochondrosepatienten wiesen einen präoperativen Oswestry-Index von 56,5 % (32-88, SA 15,1) auf. Der Wert bei der Nachuntersuchung lag bei 39,2 % (2-84, SA 21,2) (siehe Tab. 39). Die absolute und die relative Änderung (Δ ODI) ergeben sich daraus mit 17,3 % (-12-70, SA 18,2) und 31,9 % (-20-95, SA 31,3) (siehe Tab. 40). Beobachtet man die Entwicklung des Index bei einzelnen Patienten so sind 23 Patienten (76,7 %) verbessert, zwei Patienten (6,7 %) gleich geblieben und fünf Patienten (16,7 %) verschlechtert. In der Gruppeneinteilung verbesserte sich ein Patient (3,3 %) um vier Stufen, sechs Patienten (20 %) um zwei Stufen und neun (30 %) um eine Stufe. Elf Patienten (36,7 %) blieben in der gleichen Gruppe, während sich drei Patienten (10 %) um eine Stufe verschlechtert haben.

3.5.3.5 Pseudospondylolisthese

Der Oswestry-Index betrug präoperativ 53,4 % (24-86, SA 18,7) und postoperativ 34,3 % (4-82, SA 20,5) (siehe Tab. 39). Dies entspricht einer absoluten Veränderung von 19,2 % (-10-60, SA 19,4) und einer relativen Veränderung (Δ ODI) von 35,4 % (-22-86, SA 31,6) (siehe Tab. 40). In der Betrachtung der Veränderungen beim einzelnen Patienten finden sich 15 Verbesserungen (78,9 %) und drei Verschlechterungen (15,5 %).

Ein Patient machte keine vollständigen Angaben. Es kam zweimal (10,5 %) zu einer Verbesserung um drei Stufen, dreimal (15,8 %) zu einer Verbesserung um zwei Stufen und siebenmal (36,8 %) zu einer Verbesserung um eine Stufe. Fünf Patienten (26,3 %) hatten postoperativ eine unveränderte Gruppenzugehörigkeit und ein Patient (5,3 %) verschlechterte sich um eine Stufe.

Oswestry-Index	absolute Besserung			relative Besserung		
	MW	Min-Max	SA	MW	Min-Max	SA
Gesamtgruppe	17,1	-18-70	18	34,2	-45-100	35
Spondylolisthese	16,3	-17-52	17	39,1	-45-100	38,7
Postnukleotomiesyndrom	17,3	-18-60	19,1	30,2	-35-100	34,2
Pseudospondylolisthese	19,2	-10-60	19,4	35,4	-22-86	31,6
Voroperation	16,2	-4-36	14,8	29,2	-7-89	30
monosegmental	18,6	-14-60	17,6	40,7	-45-100	35,7
bisegmental	16,7	-18-60	17,7	30,1	-43-100	35,2
trisegmental	19,2	-12-70	18,3	36,1	-20-80	30,8
polysegmental	14,3	-8-54	21,2	26	-14-82	34,6
Pseudarthrose	12,9	-14-40	17,8	21,6	-26-89	31,6
Konsolidierung	17,7	-18-70	18	35,8	-45-100	35,1

Tabelle 40: Oswestry-Index, absolute und relative Veränderung

3.5.3.6 Voroperationen

In dieser Gruppe lag der Oswestry-Index präoperativ bei 59,3 % (36-78, SA 12,5) und postoperativ bei 43,1 % (4-68, SA 19) (siehe Tab. 39). Daraus ergibt sich eine absolute Verbesserung von 16,2 % (-4-36, SA 14,8) und eine relative Verbesserung (Δ ODI) von 29,2 % (-7-89, SA 30) (siehe Tab. 40). Achtmal (88,9 %) hat sich der Index verbessert und einmal (11,1 %) verschlechtert. In der Gruppenbetrachtung kam es je zweimal (22,2 %) zu einer Verbesserung um eine bzw. zwei Stufen, viermal (44,4 %) blieb die Stufe gleich und einmal (11,1 %) kam es zu einer Verschlechterung.

3.5.3.7 Monosegmentale Operationen

Im Mittelwert betrug der Oswestry-Index bei den monosegmental operierten Patienten präoperativ 48,7 % (6-82, SA 17,9) und postoperativ 30% (0-73, SA 21,3) (siehe Tab. 39). Daraus ergibt sich eine absolute Verbesserung von 18,6 % (-14-60, SA 17,6) und eine relative Verbesserung (Δ ODI) um 40,7 % (-45-100, SA 35,7) (siehe Tab. 40). Insgesamt waren 39 Fälle (84,8 %) verbessert, zwei Fälle (4,3 %) gleich und sechs Fälle

(13 %) verschlechtert. In der Stufeneinteilung kam es zweimal (4,3 %) zu einer Verbesserung um drei Stufen, neunmal (19,6 %) um zwei Stufen und sechszehnmals (34,8 %) um eine Stufe. In 16 Fällen (34,8 %) blieb die Stufe gleich und in drei Fällen (6,5 %) kam es zu einer Verschlechterung um eine Stufe.

3.5.3.8 Bisegmentale Operationen

In der Gruppe mit einer bisegmentalen Spondylodese betrug der präoperative Oswestry-Index 54,1 % (24-86, SA 16,8) und der postoperative Wert 38,4 % (0-96, SA 21,9) (siehe Tab. 39). Als absolute Verbesserung findet sich damit ein Wert von 16,7 % (-18-60, SA 17,7) und eine relative Änderung (Δ ODI) von 30,1 % (-43-100, SA 35,2) (siehe Tab. 40). In 54 Fällen (72 %) hat sich der Index verbessert, in 15 Fällen (20 %) verschlechtert und in 4 Fällen (5,3 %) blieb er gleich. In der Abstufung gab es vierzehnmal (18,4 %) eine Verbesserung um zwei und neunundzwanzigmal (38,2 %) um eine Stufe. In 27 Fällen (35,5 %) blieb die Stufe gleich und in vier Fällen (5,3 %) kam es zu einer Verschlechterung.

3.5.3.9 Trisegmentale Operationen

Bei den 25 der 31 Patienten mit einer Spondylodese über drei Bewegungssegmente ergibt sich ein präoperativer Oswestry-Index von 56,1 % (24-88, SA 16,2) und ein postoperativer Wert von 36,9 % (10-84, SA 22) (siehe Tab. 39). Daraus resultiert eine absolute Änderung von 19,2 % (-12-70, SA 18,3) und eine relative Änderung (Δ ODI) von 36,1 % (-20-80, SA 30,8) (siehe Tab. 40). In 20 Fällen (80 %) hat sich der Index verbessert, einmal (4 %) blieb er gleich und in vier Fällen (16 %) kam es zu einer Verschlechterung. In der Gruppeneinteilung traten acht (32 %) Verbesserungen um zwei Stufen, neun (36 %) Verbesserungen um eine Stufe und eine (4 %) Verbesserung um vier Stufen auf. In sechs Fällen (24 %) blieb die Stufenzugehörigkeit bestehen und zweimal (8 %) kam es zu einer Verschlechterung um eine Stufe.

3.5.3.10 Polysegmentale Operationen

Die Patientengruppe mit einer Spondylodesestrecke von mehr als drei Segmenten weist einen präoperativen Oswestry-Index von 52,8 % (33-66, SA 11,1) auf. Der postoperative Wert bei der Nachuntersuchung beträgt 38,5 % (12-64, SA 20,6) (siehe Tab. 39). Daraus ergibt sich eine absolute Änderung von 14,3 % (-8-54, SA 21,2) und eine relative

ve Änderung (Δ ODI) von 26 % (-14-82, SA 34,6) (siehe Tab. 40). In fünf Fällen (83,3 %) hat sich der Index verbessert und in einem Fall (16,7 %) verschlechtert. In je einem Fall (16,6 %) kam es zu einer Verbesserung in der Abstufung um zwei bzw. drei Stufen. Dreimal (50 %) blieb die Stufe gleich und einmal (16,6 %) verschlechterte sich ein Patient um eine Stufe.

3.5.3.11 Pseudarthrose

Patienten, die eine Pseudarthrose oder unsichere Konsolidierungsverhältnisse aufwiesen, erzielten Werte von präoperativ 61,2 % (33-86, SA 14,7) und postoperativ 48,3 % (4-72, SA 20,3) (siehe Tab. 39). Die absolute Änderung betrug damit 12,9 % (-14-40, SA 17,8) und die relative Veränderung (Δ ODI) 21,6 % (-26-89, SA 31,6) (siehe Tab. 40). Es kam in 12 Fällen (66,7 %) zu einer Verbesserung des Index und in 6 Fällen (33,3 %) zu einer Verschlechterung. In der Beobachtung der Gruppenzugehörigkeit kam es je viermal (22,2 %) zu einer Verbesserung von ein bzw. zwei Stufen. Siebenmal (38,9) blieb die Gruppenzugehörigkeit gleich und dreimal (16,6 %) trat eine Verschlechterung um eine Stufe ein.

3.5.3.12 Konsolidierung

Die Patienten, die eine Konsolidierung der Spondylodese erreichten, wiesen im Oswestry-Index präoperativ einen Wert von 51,6 % (6-88, SA 17) auf. Postoperativ fiel dieser Wert auf 33,9 % (0-96, SA 21,7) (siehe Tab. 39), was einer absoluten Verbesserung von 17,7 % (-18-70, SA 18) und einer relativen Verbesserung von 35,8 % (-45-100, SA 35,1) entspricht (siehe Tab. 40).

3.5.4 Subjektive Besserung/Änderung der Beschwerden

3.5.4.1 Gesamtgruppe

Bei der Frage nach einer Besserung durch die Operation antworteten 111 Patienten mit „Ja“ (73 %), 33 mit „Nein“ (21,7 %) und acht (5,3 %) konnten sich nicht entscheiden (siehe Tab. 41). Bei der Frage nach einer Änderung der Beschwerden gaben 44 Patienten an, dass es ihnen „viel besser“ ginge (28,9 %). 64 Patienten (42,1 %) ging es „besser“, 27 Patienten (17,8 %) „gleich gut“, 15 Patienten (9,9 %) „schlechter“ und zwei

Patienten (1,3 %) „viel schlechter“. Zwei Patienten machten keine Angaben (siehe Abb. 9). Auf die Frage, ob die Patienten die Operation noch einmal durchführen lassen würden, antworteten 108 (71,1 %) mit „Ja“, 32 (21,1 %) mit „Nein“ und 12 (7,9 %) waren unentschlossen (siehe Tab. 42).

3.5.4.2 Spondylolyse/Spondylolisthese

41 der 52 Patienten (78,8 %) antworteten auf die Frage nach einer Besserung durch die Operation mit „Ja“, neun Patienten (17,3 %) mit „Nein“ und zwei (3,8 %) konnten keine Entscheidung treffen (siehe Tab. 41). Eine genauere Frage über die Änderung der Beschwerden durch die Operation beantworteten 19 (36,5 %) mit „viel besser“, 19 (36,5 %) mit „besser“, acht (15,4 %) mit „gleich“, vier mit „schlechter“ (7,7 %) und zwei (3,8 %) mit „viel schlechter“. 40 der 52 Patienten (76,9 %) würden eine solche Operation erneut durchführen lassen, neun Patienten (17,3 %) verneinen diese Frage und drei Patienten (5,8 %) können darüber keine Aussage machen (siehe Tab. 42).

3.5.4.3 Postnukleotomiesyndrom

Auf die Frage nach einer erlebten Besserung durch die Operation antworteten 29 von 42 Patienten (69 %) mit „Ja“ und elf Patienten (26,2 %) mit „Nein“. Zwei Patienten (4,8 %) konnten sich für keine der beiden Antwortmöglichkeiten entscheiden (siehe Tab. 41). Bei der differenzierteren Wertung antworten elf Patienten mit „viel besser“ (25,6 %), 19 Patienten mit „besser“ (44,2 %), sechs Patienten mit „gleich“ (14 %) und sieben Patienten (16,3 %) mit „schlechter“. Die Antwort auf die Frage nach einer erneuten Operation beantworteten 28 Patienten (66,7 %) mit „Ja“, acht Patienten (19 %) mit „Nein“ und sechs Patienten (14,3 %) konnten sich nicht für eine Aussage entscheiden (siehe Tab. 42).

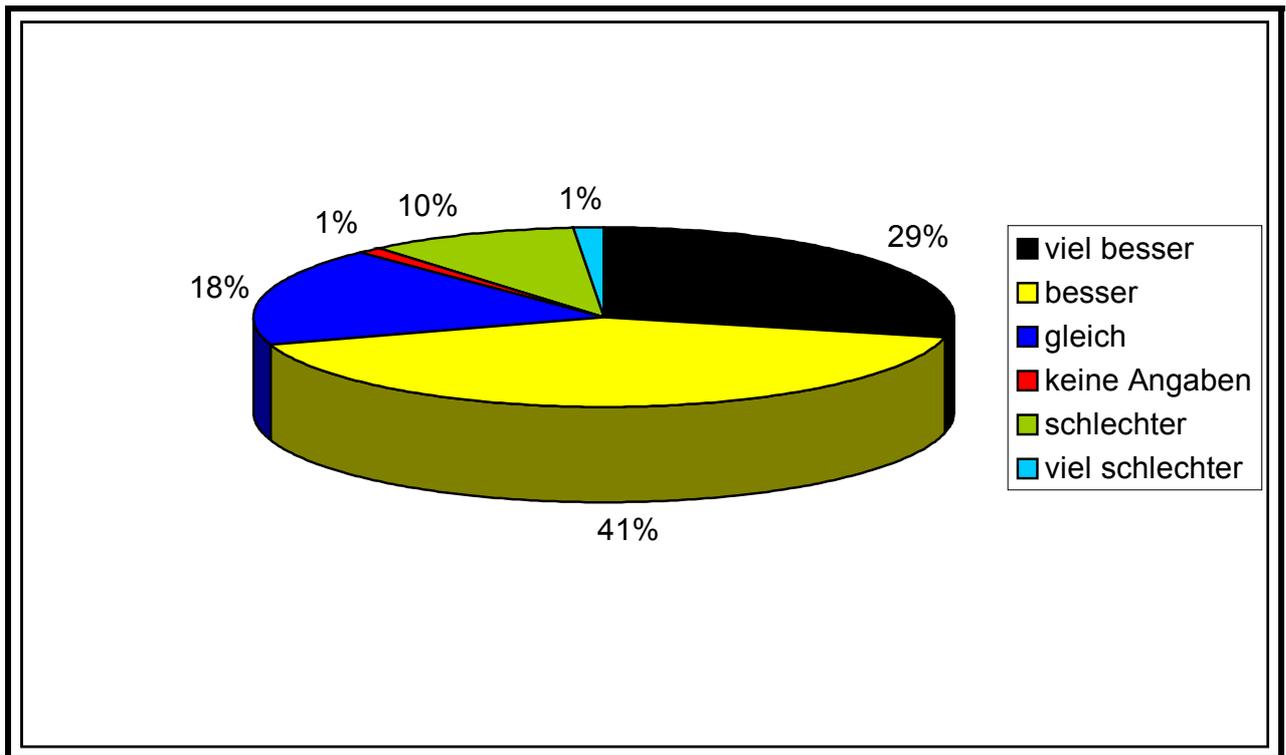


Abbildung 9: Veränderungen im subjektiven Befinden durch die Operation (n=152)

3.5.4.4 Osteochondrose

Die Frage nach einer Besserung der Beschwerden durch die Operation beantworteten 21 der 30 Patienten mit „Ja“ (70 %), sieben Patienten mit „Nein“ (23,3 %) und zwei Patienten (6,7 %) konnten keine Entscheidung treffen (siehe Tab. 41). Wenn das Ausmaß der Besserung beschrieben werden sollte, geben sechs Patienten (20 %) an, dass es ihnen „viel besser“, zwölf Patienten (40 %), dass es ihnen „besser“ und neun Patienten (30 %), dass es Ihnen „gleich“ ginge. Drei Patienten (10 %) berichten über eine Verschlechterung der Beschwerden durch die Operation. Auf die Frage nach einer Bereitschaft zu einer erneute Durchführung einer solchen Operation antworteten 21 Patienten mit „Ja“ (70 %), sieben mit „Nein“ (23,3 %) und zwei Patienten (6,7 %) konnten sich nicht entscheiden (siehe Tab. 42).

3.5.4.5 Pseudospondylolisthese

Von den Pseudospondylolisthesepatienten bewerteten 6 von 19 (31,6 %) ihre Beschwerden als „viel besser“, acht Patienten (42,1 %) als „besser“, drei (15,8 %) als „gleich“ und einer (5,3 %) als „schlechter“. Ein Patient konnte keine Aussage treffen. Auf

die allgemeinere Frage, ob eine Besserung durch die Operation eintrat oder nicht antworteten 14 Patienten (73,7 %) mit „Ja“, drei Patienten (15,8 %) mit „Nein“ und zwei Patienten (10,5 %) konnten keine Entscheidung treffen (siehe Tab. 41). Eine erneute Operation würden 15 Patienten (78,9 %) durchführen lassen und vier Patienten (21,1 %) ablehnen (siehe Tab. 42).

Diagnose	auswertbare Patienten	Besserung ?		
		Ja	Nein	?
Gesamtgruppe [in %]	152	111 73	33 21,7	8 5,3
Spondylolisthese [in %]	52	41 78,8	9 17,3	2 3,8
Postnukleotomiesyndrom [in %]	42	29 69	11 26,2	2 4,8
Osteochondrose [in %]	30	21 70	7 23,3	2 6,7
Pseudospondylolisthese [in %]	19	14 73,7	3 15,8	2 10,5
Voroperationen [in %]	9	6 66,7	3 33,3	0 0

Tabelle 41: Vergleich der Diagnosegruppen bei der Frage nach einer Besserung durch die OP

Diagnose	auswertbare Patienten	Wiederholung ?		
		Ja	Nein	?
Gesamtgruppe [in %]	152	108 71,1	32 21,1	12 7,9
Spondylolisthese [in %]	52	40 76,9	9 17,3	3 5,8
Postnukleotomiesyndrom [in %]	42	28 66,7	8 19	6 14,3
Osteochondrose [in %]	30	21 70	7 23,3	2 6,7
Pseudospondylolisthese [in %]	19	15 78,9	4 21,1	0 0
Voroperationen [in %]	9	4 44,4	4 44,4	1 11,1

Tabelle 42: Vergleich der Diagnosegruppen bei der Frage nach einer OP-Wiederholung

3.5.4.6 Voroperationen

In dieser Gruppe antworteten bei der Frage nach einer Besserung durch die Operation sechs Patienten (67 %) mit „Ja“ und drei (33 %) mit „Nein“ (siehe Tab. 41). Eine genauere Bewertung der Verbesserung durch die Operation ergab einmal die Wertung „viel besser“, sechsmal die Wertung „besser“ und einmal die Wertung „gleich“. Ein Patient bewertete sein postoperatives Befinden mit „viel schlechter“. Von den neun auswertbaren Patienten würden sich vier Patienten (44,4 %) erneut operieren lassen. Vier Patienten (44,4 %) lehnen eine erneute Operation ab (siehe Tab. 42).

Diagnose	auswertbare Patienten	Besserung ?		
		Ja	Nein	?
Gesamtgruppe [in %]	152	111 73	33 21,7	8 5,3
monsegmental [in %]	46	32 69,6	12 26,1	2 4,3
bisegmental [in %]	75	54 72	18 24	3 4
trisegmental [in %]	25	21 84	3 12	1 4
polysegmental [in %]	6	4 66,7	0 0	2 33,3

Tabelle 43: Vergleich des OP-Ausmaß bei der Frage nach einer Besserung durch die Operation

3.5.4.7 Monosegmentale Operationen

Von den 46 auswertbaren Patienten bejahen 32 (69,6 %) eine Besserung durch die Operation, zwölf Patienten (26,1 %) verneinen eine Verbesserung und zwei (4,3 %) sind unentschieden (siehe Tab. 43). Bei genauerer Differenzierung geht es 19 Patienten (41,3 %) „viel besser“, 13 Patienten (28,3 %) „besser“, neun Patienten (19,6 %) „gleich“ und je zwei Patienten (4,4 %) „schlechter“ bzw. „viel schlechter“. Ein Patient war gänzlich unentschieden. Der Frage nach einer möglichen Wiederholung der Operation standen 36 Patienten (78,3 %) positiv und neun Patienten (19,6 %) negativ gegenüber (siehe Tab. 44).

3.5.4.8 Bisegmentale Operationen

In dieser Gruppe sehen 54 Patienten (72 %) eine Besserung durch die Operation. 18 Patienten (24 %) verneinen eine Verbesserung. Drei Patienten (4 %) machten keine klaren Angaben (siehe Tab. 43). Bei der Differenzierung bewerten 19 Patienten (25,3

%) ihre Beschwerden als „viel besser“, 32 Patienten (42,7 %) fühlen sich „besser“ und 14 Patienten (18,7 %) haben „gleich“ starke Beschwerden. Zehn Patienten (13,3 %) berichten über eine Verschlechterung. 49 Patienten (65,3 %) würden sich erneut operieren lassen. 19 Patienten (25,3 %) dagegen lehnen eine erneute Operation ab (siehe Tab. 44).

3.5.4.9 Trisegmentale Operationen

21 Patienten (84 %) bejahen eine Besserung, drei Patienten (12 %) verneinen dies. Ein Patient (4 %) blieb ohne eindeutige Aussage (siehe Tab. 43). Die differenziertere Betrachtung des Befindens nach der Operation erbrachte fünf Patienten (20 %), die sich „viel besser“ fühlen, 16 Patienten (64 %), die sich „besser“ fühlen und zwei Patienten (8 %) mit „gleich“ gebliebenen Beschwerden. Bei zwei Patienten (8 %) kam es zu einer Verschlechterung. Eine Wiederholung der Operation würden 19 Patienten (76 %) zustimmen, während drei Patienten (12 %) eine erneute Operation ablehnen (Tab. 44).

3.5.4.10 Polysegmentale Operationen

In dieser Gruppe beantworten die Frage nach einer Verbesserung durch die Operation vier Patienten (66,7 %) mit „Ja“, zwei (33,3 %) sind unentschlossen (siehe Tab. 43). Die genauere Bewertung erbringt einmal „viel besser“, zweimal „besser“, zweimal „gleich“ und einmal „schlechter“. Auf die Frage nach einer erneute Operation antworten vier Patienten (66,7 %) mit „Ja“ und einer lehnt eine erneute Operation ab (siehe Tab. 44).

Diagnose	auswertbare Patienten	Wiederholung ?		
		Ja	Nein	?
Gesamtgruppe [in %]	152	108 71,1	32 21,1	12 7,9
monosegmental [in %]	46	36 78,3	9 19,6	1 2,2
bisegmental [in %]	75	49 65,3	19 25,3	7 9,3
trisegmental [in %]	25	19 76	3 12	3 12
polysegmental [in %]	6	4 66,7	1 16,7	1 16,7

Tabelle 44: Vergleich des OP-Ausmaß bei der Frage nach einer OP-Wiederholung

3.5.5 Analgetikabedarf

Von den 152 Patienten waren postoperativ noch insgesamt 53 Patienten (34,9 %) auf regelmäßige Einnahme von Analgetika angewiesen. 14 Patienten (9,2 %) nahmen täglich nichtsteroidale Antiphlogistika (NSAR), 22 (14,5 %) waren auf tägliche Opioidderivate angewiesen und 14 Patienten (9,2 %) auf eine regelmäßige Kombination aus beiden. Ein Patient nahm regelmässig Carbamazepin. Eine gelegentliche Einnahme von NSAR bejahten 13 (8,6 %) und von Opioiden fünf Patienten (3,3 %). Gänzlich ohne Schmerzmedikation waren 81 Patienten (53,3 %) (siehe Tab. 45).

Die weitere Differenzierung hinsichtlich des Analgetikabedarfs nach Diagnosegruppen und Fusionsumfang ist in Tabelle 45 dargestellt.

	Patienten	Analgetikabedarf		
		kein	gelegentl.	regelmäßig
Gesamtgruppe [in %]	152	81 53,3	18 11,8	53 34,9
Spondylolisthese [in %]	52	32 61,5	7 13,5	13 25
Postnukleotomiesyndrom [in %]	42	18 42,9	2 4,8	22 52,4
Osteochondrose [in %]	30	14 46,7	7 23,3	9 30
Pseudospondylolisthese [in %]	19	12 63,2	2 10,5	5 26,3
Voroperationen [in %]	9	5 55,6	0 0	4 44,4
monosegmental [in %]	46	26 56,5	5 10,9	15 32,6
bisegmental [in %]	75	37 49,3	10 13,3	28 37,3
trisegmental [in %]	25	15 60	2 8	8 32
polysegmental [in %]	6	3 50	1 16,7	2 33,3

Tabelle 45: Analgetikabedarf nach Diagnose und OP-Ausmaß

4. Diskussion

4.1. Implantat

4.1.1 Allgemeines

Bei der Beurteilung der technischen Leistungsfähigkeit eines winkelstabilen Implantats für die Wirbelsäule stehen die Materialstabilität und -integrität im Vordergrund. In Bezug auf die Anwendung ist die einfache Handhabung eines Implantats eines der Hauptkriterien, welches sich mit einer monozentrischen Untersuchung aber kaum evaluieren lässt. Deshalb wurde das Augenmerk auf die für ein Pedikelschraubenimplantat typischen Bewertungskriterien Pedikelschraubenbrüche, -lockerungen und Distractionserhalt gelegt. In der Literatur der letzten 30 Jahre finden sich unterschiedliche Berichte über diverse, auf Pedikelschrauben basierende Instrumentierungssysteme (Roy-Camille *et al.* 1970; Louis 1986; Steffee *et al.* 1986; Dick 1987; Cotrel *et al.* 1988; Guyer *et al.* 1988; Dörner 1995; Bailey *et al.* 1996). In der vorliegenden Arbeit wurde ein neues, auf Pedikelschrauben basierendes, Implantat in seiner klinischen Anwendung untersucht.

4.1.2 Pedikelschraubenbrüche und -lockerungen

Die Angaben über Pedikelschraubenbrüche und -lockerungen in der Literatur weisen eine große Schwankungsbreite auf. Roy-Camille *et al.*, die ersten Anwender von Pedikelschrauben, geben die Schraubenbruchrate der 227 untersuchten Patienten mit 9 % und die Lockerungsrate mit 1 % an (Roy-Camille *et al.* 1986). Louis beobachtete bei 266 Patienten in 3 % der Fälle Schraubenbrüche und in 2 % Lockerungen der Pedikelschrauben im Sakrum (Louis 1986). Bei 470 mit dem „Wiltse Pedicle Screw Fixation System“ behandelten Patienten beschrieben Blumenthal *et al.* insgesamt 3,2 % Implantatkomplikationen (je 0,9 % Schraubenbrüche, Lockerungen der Stab-Schrauben-Verbindung, Stabbrüchen und 0,6 % Schraubenlockerungen) (Blumenthal *et al.* 1993). Mit dem VSP-Implantat beobachteten Zucherman *et al.* sogar 25 % Schraubenbrüche (Zucherman *et al.* 1988), während Steffee *et al.* bei 31 von 250 Patienten (12,4 %) Materialbrüche beschrieben (Steffee *et al.* 1993). Mit dem AO-Fixateur-interne traten in 4 % der Fälle Pedikelschraubenbrüche und in 0,6 % Schraubenlockerungen auf (Dick 1987). Mit dem USI-Instrumentarium und einer dorsoventralen Spondylodese bei Spondylolistheseptienten fanden Hähnel *et al.* keinen einzigen Schraubenbruch, jedoch neun Stabbrüche, die vier Pseudarthrosen zur Folge hatten (Hähnel *et al.* 1991). 617

Patienten aus einer ABS (American Back Society)-Umfrage, die mit verschiedenen Pedikelschraubeninstrumentarien versorgt wurden, wiesen eine Schraubenbruchrate von 2,9 % auf (Esses *et al.* 1993). Eine historische Kohortenstudie aus einer Befragung von 314 Operateuren der NASS dokumentierte u.a. die Verläufe von 2100 Patienten mit degenerativer Spondylolisthese und Pedikelschraubenstabilisierung. Es wurden 2,6 % Schraubenbrüche, 2,8 % Schraubenlockerungen, 1 % Schraubenausrisse und 0,7 % Stab- bzw. Plattenbrüche bei mono- und bisegmentaler Operationen (85 % in Kombination mit posterolateraler Spondylodese) beobachtet (Yuan *et al.* 1994).

Bei dem in der hier vorgelegten Arbeit untersuchten Implantat fanden sich Schraubenbrüche bei insgesamt 13,8 % der Patienten, jedoch nur bei 2,8 % der verwendeten Pedikelschrauben. Die im Vergleich zu den erwähnten Studien etwas erhöhte Zahl von Materialkomplikationen in der hier präsentierten Untersuchung ist auf einen hohen Anteil (96,8 %) an Schraubenbrüchen im SWK 1 zurückzuführen. Bei einer Spondylodese mit Einschluss des lumbosakralen Übergangs sind in diesem Bereich die mechanischen Belastungen des Implantats am größten. Die typische Bruchstelle war dabei der Übergang vom gewindetragenden zum gewindelosen Teil der Pedikelschraube. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde das Design der Schrauben, die im SWK 1 Verwendung finden, geändert. Es werden dort nur noch Schrauben mit einem konischen Kerndurchmesser und damit verbundener grösserer Stabilität verwendet. Darüber hinaus ist zu beachten, dass in den meisten oben angeführten Studien nur kürzere Spondylodese Strecken untersucht wurden (Yuan *et al.* 1994). In der hier vorgelegten Arbeit war der Anteil der Patienten, die über eine Strecke von mehr als 2 Bewegungssegmenten versteift wurden, mit 20,5 % (41 von 200 Patienten) erhöht. Dies wäre eine weitere Erklärung für die vermehrten Schraubenbrüche, da in der Gruppe mit kurzstreckiger Spondylodese der Anteil der Schraubenbrüche mit 12 % deutlich unter dem Wert für Schraubenbrüche bei längerstreckigen (≥ 3 Segmente) Spondylodesen mit 20,5 % liegt.

Die Schraubenlockerungen traten ebenso wie die Schraubenbrüche wesentlich häufiger bei den langstreckigen Operationen auf. Bei den monosegmentalen Spondylodesen fanden sich in 8,2 %, bei den bisegmentalen in 16,9 %, bei den trisegmentalen in 34,5 % und den polysegmentalen Operationen sogar in 40 % der Fälle Hinweise für Schraubenlockerungen. Daraus lässt sich folgern, dass die Häufigkeit von Schraubenlockerungen mit dem Ausmaß der Spondylodese Strecke zunimmt. Am rostralen und kaudalen Ende einer Spondylodese waren dabei die meisten der gelockerten Schrauben zu finden. Diese Tatsache lässt sich mit vermehrter Belastung der Implantat-Knochen-

Grenze durch den verlängerten Hebel einer langstreckigen Spodylodese und den daraus resultierenden größeren Kräften an der Implantat-Knochen-Grenze erklären.

Bei einer Differenzierung hinsichtlich der Diagnosen fiel eine Häufung der Pedikelschraubenbrüche in der Pseudospondylolisthese-Gruppe und bei den voroperierten Patienten von 22-23 % gegenüber 10-13 % in den restlichen Gruppen auf. Die Ursache ist, speziell bei der Gruppe der voroperierten Patienten, in der erhöhten Zahl der nicht konsolidierten Segmente zu sehen.

In dem hier vorgestellten Kollektiv haben Patienten mit Schraubenbrüchen nur eine Konsolidierungsrate von 57,7 %, verglichen mit 86,8 % Konsolidierung in der Gesamtgruppe. Die Patienten ohne Schraubenbruch sind sogar in 91,4 % konsolidiert. In der umgekehrten Betrachtung weisen nicht konsolidierte Patienten in 11 von 25 Fällen (44 %) Schraubenbrüche auf. Demgegenüber stehen nur 15 von 164 Fälle (9,1 %) von Schraubenbrüchen bei erzielter Konsolidation (siehe Tab. 26). Biomechanisch betrachtet deuten die Ergebnisse in der Literatur darauf hin, dass bei einer fehlenden oder unzureichenden Unterstützung eines dorsalen Pedikelschraubenimplantats im Bereich der vorderen Säulen eine Materialermüdung zu erwarten ist (Krag *et al.* 1990). Dabei wurden bei normaler Lastverteilung Kräfte nachgewiesen, welche die Verbiegekräfte aller untersuchten Fixateure übersteigen (Cunningham *et al.* 1993). Eine solche Situation tritt bei einer Auflösung bzw. Fragmentation der intervertebral implantierten Beckenkammspäne ein. Durch die fehlende Konsolidierung eines versteiften Segments wird durch repetitive Belastung eine Materialermüdung wahrscheinlicher als bei einem konsolidierten Bewegungssegment. Dies scheint auch im hier untersuchten Kollektiv Ursache der deutlich erhöhten Schraubenbruchrate bei Pseudarthrosepatienten zu sein. Es stellt sich die Frage, ob erst eine Pseudarthrose und nachfolgend ein Schraubenbruch entsteht oder ob der Verlauf umgekehrt ist. Eine eindeutige Schlussfolgerung, dass eine radiologische Pseudarthrose immer eine Materialermüdung herbeiführt, ist dabei jedoch kaum möglich, da „in vivo“ multifaktorielle Gegebenheiten die Materialermüdung beeinflussen. Die Übergänge zwischen maximaler Abstützung bei Konsolidierung und fehlender Abstützung der ventralen Säule durch die Beckenkammspäne bei Pseudarthrose sind fließend. Auch ist ein Materialbruch nicht immer auf eine Pseudarthrose zurückzuführen, da trotz durchbauter ventraler Spodylodese hohe Fixateurbelastungen mit Materialermüdung auftreten können (Rohmann *et al.* 2000).

Weiterhin auffällig ist, dass die Mehrzahl der Schraubenbrüche in der vorgelegten Untersuchung erst nach Ablegen des Mieders auftrat. In dieser Phase einer noch nicht

vollständigen knöchernen Konsolidierung bei gesteigerter körperlicher Aktivität des Patienten treten die meisten Schäden am Implantat auf. Das liegt vermutlich an der fehlenden Mahnfunktion des Mieders nach dem Ablegen. In der Anfangsphase der Konsolidierung wurde durch eine Versorgung mittels Hohmann'schem Überbrückungsmieder versucht, vermehrte Belastungen am Implantat und an der ventralen Spondylodesezone zu reduzieren. Dies dient in erster Linie als Mahnbandage, da Untersuchungen von Rohlmann *et al.* zeigten, dass externe „Bandagen“ die Belastungen am Fixateur nicht signifikant reduzieren (Rohlmann *et al.* 1999). Dem widerspricht zwar die Tatsache, dass nur zwei Schraubenbrüche in der „Miederphase“ auftraten, jedoch ist die Anzahl der üblicherweise erforderlichen Zyklen für eine Materialermüdung zu diesem Zeitpunkt auch noch nicht überschritten (Cunningham *et al.* 1993). Nach dem 14. postoperativen Monat fand sich nur noch bei einem Patienten ein Schraubenbruch. Dieser fiel 20 Monate nach der Operation zum Zeitpunkt der Metallentfernung auf, ohne dass Hinweise für eine Pseudarthrose vorlagen. Dies ist durch den „protektiven“ Effekt der zunehmenden Konsolidierung und die Tatsache bedingt, dass bei den meisten Patienten nach Erreichen der Konsolidierung eine Metallentfernung durchgeführt wurde.

4.1.3 Distraction und Distaktionsverlust

Die Winkelstabilität eines Implantates lässt sich unter anderem am Distaktionsverlust im postoperativen Verlauf messen. Es ist anzumerken, dass in der Literatur trotz winkelstabiler Instrumentierung immer wieder Distaktionsverluste im postoperativen Verlauf beschrieben wurden, ohne dass eine Materialermüdung eintrat (Dennis *et al.* 1989). Teilweise ging die gesamte intraoperativ erzielte Distraction trotz intersomatischer Fusion mittels PLIF nach 12 Monaten wieder verloren (Brantigan 1994). In den operierten Bewegungssegmenten trat im postoperativen Verlauf bei allen hier vorgestellten Patienten ein meist geringer Distaktionsverlust auf. In der vereinfachten Einteilung eines Distaktionsverlustes unter bzw. größer/gleich 4 mm betrug der Anteil der Patienten mit einem kleinen Distaktionsverlust in der Gesamtgruppe 79,3 %. Auffällig im hier untersuchten Patientenkollektiv ist, dass die Patienten mit einer Pseudarthrose wesentlich häufiger, nämlich in 56 % der Fälle, einen hohen Distaktionsverlust (≥ 4 mm) aufweisen. Dies wird unter anderem durch die ebenfalls gehäuft in der Pseudarthroseguppe aufgetretenen Schraubenbrüche ausgelöst, weist aber auch nochmals auf die Bedeutung einer suffizienten ventralen Abstützung in Form der interkorporellen Spondylodese hin. Die Spondylolisthese- und Pseudospondylolisthese Patienten wiesen mit 73,6%

bzw. 64,7 % deutlich niedrigere Werte für einen geringen Distraktionsverlust auf als die Gesamtgruppe. Matzen beschrieb in einer Untersuchung von Patienten mit ventraler Spondylodese bei Spondylolisthese verschiedener Ausprägung 61,2 % geringfügige Sinterungen, während die restlichen Patienten Distraktionsverluste von mehr als 4 mm aufwiesen. Die Patienten mit geringerer Sinterung zeigten in dieser Studie klinisch ein wesentlich besseres Ergebnis, was auf die erhaltene Distraktion im Bewegungssegment zurückgeführt wurde (Matzen 1989). Bei Patienten sowohl mit einer isthmischen als auch mit einer degenerativen Spondylolisthese ist das Bewegungssegment präoperativ als hypermobil anzusehen. Hier muss das Implantat in der Konsolidierungsphase der Spondylodese besonders hohe Belastungen kompensieren, was als mögliche Erklärung für die etwas schlechteren Werte bezüglich des Erhalts der Distraktion zu sehen ist.

4.2 Operation

4.2.1 Operative Komplikationen

4.2.1.1 Wundinfektion

Bei den operativen Risiken muss man zwischen den unmittelbaren operativen Komplikationen und den Folgekomplikationen unterscheiden. Die Wundinfektion als eine der wichtigsten unmittelbaren Komplikation bei instrumentierten Spondylodeseoperationen wird in der Literatur mit Werten zwischen 1 und 7,5 % angegeben. Louis berichtete über 1 % (Louis 1986), Roy-Camille *et al.* über 5,7 % (Roy-Camille *et al.* 1986), Steffee *et al.* über 6 % (Steffee *et al.* 1993) und Dick über 1 % Wundinfektionen (Dick 1987). In multizentrischen Untersuchungen fanden Esses *et al.* 4,2 % tiefe Infektionen (Esses *et al.* 1993) und Yuan *et al.* 2,6 % Wundinfektionen mit notwendiger Reintervention bei 1,8 % der Fälle (Yuan *et al.* 1994). Die beiden letztgenannten Untersuchungen beschrieben posterolateralen Fusionen mit Pedikelschraubeninstrumentation. Bei dorsoventralem Operationsumfang berichteten Hähnel *et al.* über 2,5 % Wundinfektionen ohne Hinweis auf den Schweregrad. Hier waren 70 % der Spondylodesen monosegmental und nur 6 % trisegmental (Hähnel *et al.* 1991). Ein vermehrter Operationsumfang und eine damit verbundene verlängerte Operationszeit sind als Risikofaktoren für eine Wundinfektion beschrieben (Glassman *et al.* 1996). Bei rein ventralen Spondylodesen wurden revisionsbedürftige Wundinfektionsraten von 2,4 % beschrieben (Stauffer *et al.* 1972).

Bei den Patienten in der hier vorgestellten Studie wurden jeweils zwei Eingriffe (dorsal und ventral) durchgeführt. Die Rate der Wundinfektionen lag hier mit 5 % für den kombinierten Eingriff im Bereich der Literaturangaben. 2,5 % der Fälle entsprachen tiefen Wundinfektionen, die 4 Revisionsoperationen (2 %) notwendig machten. Der Anteil der langstreckigen Spondylodesen war mit 21 % tri- oder polysegmentalen Operationen relativ hoch. Trotzdem ist mit dieser Tatsache keine erhöhte Infektionsrate verbunden. Als Erklärung kommt z. B. die konsequente perioperative Antibiotikaphylaxe in Betracht, die in der hier vorgelegten Untersuchung durchgeführt wurde.

4.2.1.2 Operationstechnische Komplikationen

Steffee *et al.* berichteten insgesamt über 12 % intraoperative Komplikationen, wobei Duraverletzungen mit 7,2 % und Schwierigkeiten bei der Schraubenplatzierung mit 2,8 % die häufigsten Ereignisse ausmachten (Steffee *et al.* 1993). In anderen Kollektiven wurde eine Duraverletzungen 7,4 % (Yuan *et al.* 1994) bzw. 1,9 % (Esses *et al.* 1993) der Fälle beobachtet. In der letztgenannten Studie wurde zusätzlich über 2,3 % Pedikelfrakturen und 5,2 % Schraubenfehlagen berichtet (Esses *et al.* 1993). Sogar insgesamt 21,9 % intraoperative Komplikationen beschrieben Simmons *et al.* in einer prospektiven Studie über 442 Patienten mit degenerativen Bandscheibenveränderungen, mehrfachen Voroperationen und Frakturen (Simmons *et al.* 1998).

Beim hier vorgestellten Kollektiv kam es in 1,5 % der Fälle zu Läsionen der Dura mit Liquoraustritt, ohne dass daraus weitere Folgen resultierten. Es war in 9 % der Fälle eine intraoperative Korrektur von Pedikelschrauben notwendig. Diese waren entweder wegen mangelnder Festigkeit, negativ verlaufender Elektrostimulation (Pröbstl 1995) radiologischer Fehllage oder Duraleckagen notwendig. Vergleichbare Angaben zur intraoperativen Schraubenkorrektur fanden sich in der Literatur nicht. Trotz der angeführten Schraubenkorrekturen fielen in den postoperativen Röntgenkontrollen bei 8,5 % der Patienten suboptimale Schraubenplatzierungen auf.

Eine seltene intraoperative Komplikation mit jedoch gravierenden möglichen Folgen ist die Gefäßverletzung. Das Risiko hierfür ist insbesondere bei den ventralen Eingriffen wegen der Nähe zu den Iliakalgefäßen nicht zu vernachlässigen. In den großen multizentrischen Untersuchungen liegen die Angaben bei 0,4 bzw. 0,2 % (Esses *et al.* 1993; Yuan *et al.* 1994). Diese Werte beruhen jedoch auf der Auswertung größtenteils posterolateraler Fusionen, die ein wesentlich geringeres Risiko für Gefäßverletzungen aufweisen. Hähnel *et al.* gaben bei einem dorsoventralen Verfahren 1,3 % Venenläsio-

nen an (Hähnel *et al.* 1991), während Tiusanen *et al.* bei 13,2 % ihrer ALIF-Patienten größere Blutungen aus Gefäßverletzungen mit relevanten Blutverlusten bis zu mehreren Litern beobachteten (Tiusanen *et al.* 1996).

Im hier untersuchten Kollektiv lag die nahtbedürftige Gefäßkomplikationsrate bei 4,5 %, was im Rahmen der Werte liegt, die in der Literatur angegeben wurden. Alle Blutungen konnten intraoperativ beherrscht werden und es waren keine vermehrten Bluttransfusionen notwendig. Durch die präoperative Eigenblutspende der Patienten und dem insgesamt moderaten Konservenbedarf von im Durchschnitt 0,5 EK und 0,9 FFP konnte in allen Fällen auf autologes Material zurückgegriffen werden. Auch auf diesem Gebiet ist zu erwähnen, dass Patienten mit vorangegangenen, insbesondere ventralen Wirbelsäuleneingriffen ein höheres Risiko für Gefäßverletzungen bei der operativen Präparation haben.

4.2.1.3 Reoperationsrate

Betrachtet man die Rate der Reoperationen nach instrumentierten Spondylodesen findet man ebenfalls sehr unterschiedliche Angaben in der Literatur. Hierbei muss beachtet werden, dass in den meisten Untersuchungen grundsätzlich keine Entfernung des Instrumentariums geplant war und eine durchgeführte Metallentfernung als Komplikation bzw. Reintervention gewertet wurde. In der retrospektiven Kohortenstudie von Yuan *et al.* fanden sich 17,6 % erneut operierte Patienten, wobei in 12,5 % der Fälle eine Metallentfernung erfolgte. In 4,7 % der Fälle war eine erneute Reinstrumentierung und bei 5,7 % der Patienten eine Respondylodese notwendig. Als weitere Gründe für Reinterventionen wurden z. B. Anschlussdegeneration (2,4 %) und persistierende Schmerzen (1,8 %) angegeben (Yuan *et al.* 1994). Insgesamt 10,4 % Reoperationen wurden von Esses *et al.* berichtet (Esses *et al.* 1993). Bei Zucherman *et al.* mussten sogar 31 % der 77 mit dem VSP-Implantat versorgten Patienten erneut operiert werden (Zucherman *et al.* 1988). Deutlich erhöhte Raten von 11,7 % für Respondylodesen und 19,5 % für alle Reoperationen fanden sich bei Untersuchungen ohne Pedikelschraubeninstrumentation (Stauffer *et al.* 1972).

In unserem Kollektiv lag die Zahl der notwendigen Folgeoperationen mit insgesamt 11 % im Rahmen der für Pedikelschraubeninstrumentationen in der Literatur berichteten Werte. Davon waren 7,5 % auf Komplikationen durch die Operation zurückzuführen. Die restlichen Eingriffe umfassten die Respondylodesen bei Pseudarthrose, die in 7 Fällen (3,5 %) notwendig wurde.

Anzumerken ist noch, dass bei 7,5 % der Patienten nach der Operation eine nicht optimale Lage der Beckenkammspane auffiel. Jedoch bei nur einer relevanten Dislokation war eine (0,5 %) Revisionsoperation notwendig. Alle Fälle konsolidierten zeitgerecht. Angaben über die Bewertung der Spanposition sind nur selten in der Literatur zu finden. In einer Studie von 83 Patienten mit ventraler Spondylodese wurde über ein vergleichbares, revisionsbedürftiges Spandislokationsereignis berichtet (Tiusanen *et al.* 1996).

4.2.2 Neurologische Komplikationen

Beim Einsatz von Pedikelschrauben bestanden lange Zeit Bedenken, dass das Risiko für Nervenwurzelläsionen (bis 15 % postoperative radikuläre Symptome) erhöht sei (Zucherman *et al.* 1988). In großen multizentrischen Studien (Yuan *et al.* 1994) stellte sich dieses Risiko jedoch kleiner als ursprünglich erwartet dar, so dass sich dieses Verfahren im Verlauf der inzwischen beinahe drei Jahrzehnten seit seiner Entdeckung mehr und mehr durchsetzen konnte. Louis und Steffee *et al.* beobachteten jeweils 2 % neurologische Komplikationen in ihren Patientenkollektiven (Louis 1986; Steffee *et al.* 1993). Roy-Camille *et al.* fanden 7 % neurologische Komplikationen (der 143 lumbosakralen Fusionspatienten), davon 1,4 % persistierende Nervenläsionen (Roy-Camille *et al.* 1986). In der großen, multizentrischen Kohortenstudie aus dem Patientengut von 312 verschiedenen Chirurgen fanden Yuan *et al.* 3,5 % vorübergehende und 1,5 % persistierende radikuläre Symptome mit einer Reinterventionsrate von 1,6 % aller Fälle (Yuan *et al.* 1994). Ebenfalls in einer multizentrischen Untersuchung berichteten Esses *et al.* über 2,4 % vorübergehende und 2,3 % persistierende Nervenwurzelschädigungen (Esses *et al.* 1993). Diese Werte geben das ungefähre Risiko am Besten wieder, da in diesen Studien verschiedene Operateure mit unterschiedlicher Implantationstechnik und operativer Erfahrung zusammengefasst wurden. Insbesondere in der Studie von Yuan *et al.* hat die Mehrzahl der teilnehmenden Operateure nur weniger als 30 Fälle beigetragen, was eine hohe Sicherheit der Pedikelschraubenimplantation trotz relativ seltener Anwendung impliziert.

Im hier vorgestellten Kollektiv traten bei 1 % der Fälle postoperativ neu aufgetretene Radikulopathien auf. Bei 7,5 % der Patienten persistierte eine Symptomatik im Versorgungsgebiet des N. cutaneus femoris lateralis auch noch am Nachuntersuchungstermin, nachdem früh postoperativ sogar 25 % der Patienten über Irritationen in diesem Bereich geklagt hatten. Zusammen mit den persistierenden Hypästhesien und Paresen der Bauchwand (je 1 %) belaufen sich die neurologischen Komplikationen auf insge-

samt 10,5 %. Die relativ hohe Rate an Beschwerden im Beckenkammbereich und im Versorgungsgebiet des N. cutaneus femoris lateralis zeigt das bisher ungelöste Problem eines sogenannten „donor site pain“. Eine mögliche Erklärung für diese Werte ist die Tatsache, dass im hier vorgestellten Kollektiv für die langstreckigen Spondylodesen eine große Menge autologer, häufig trikortikaler Beckenkammspäne gewonnen werden musste. Dies erhöht das Risiko für Läsionen und Einblutungen im Beckenkammbereich mit möglicher nachfolgender Nervenirritation.

Wichtig zur Vermeidung von neurologischen Komplikationen bei der Pedikelschraubenimplantation ist neben operativer Erfahrung die schrittweise Lagekontrolle mittels bildgebender Verfahren in zwei Ebenen und der Einsatz weiterer Kontrollverfahren wie z.B. der Elektrostimulation (Pröbstl 1995). Verschiedene Untersucher berichteten über gehäufte Komplikationen in der Anfangsphase der persönlichen Erfahrung bei der Pedikelschraubenimplantation (West *et al.* 1991; Bailey *et al.* 1996). Eine solche Lernkurve findet sich, wie bei allen operativen Eingriffen, auch auf diesem Gebiet. Eine Schraubenfehlplatzierung geht nicht zwangsläufig mit einer Nervenwurzelläsion einher. Mediale Pedikelperforationen haben zwar dabei das höchste potenzielle Risiko für eine Nervenläsion, aber auch bei diesen Fällen wurden Schädigungen erst ab einer Überschreitung des medialen Pedikels von mehr als 6 mm berichtet (Schulze *et al.* 1998).

4.2.3 Weitere operative Merkmale

Bei der Bewertung eines Operationsverfahrens sind auch der intraoperative Blutverlust und die Operationsdauer wichtige Qualitätsmerkmale, da diese den postoperativen Verlauf negativ beeinflussen können. Kozak gibt bei kombiniert dorsoventralem Vorgehen für bisegmentale Fusionen 205 min Operationszeit und 480 ml Blutverlust an. Diese Werte erhöhen sich für trisegmentale Fusionen auf 235 min und 750 ml (Kozak *et al.* 1990). Für sogenannte „minimal-invasive“, nicht endoskopisch unterstützten Verfahren (z.B. „Mini-ALIF“) wurden Werte von 135 ml Blutverlust und 115 min Operationsdauer (Mayer *et al.* 1998) bzw. 300 ml Blutverlust und 117 min Operationszeit (Dewald *et al.* 1999) bei mehrheitlich monosegmentalen, ventralen Operationen berichtet.

Im vorgestellten Gesamtkollektiv beträgt die durchschnittliche Dauer für die ventrale und dorsale Operation zusammen 197 min (bisegmental) bzw. 218 min (trisegmental), wobei es zu einem intraoperativen Blutverlust von durchschnittlich 430 ml (bisegmental) bzw. 570 ml (trisegmental) kam. Die ventrale Operation im hier untersuchten Kollektiv dauerte 86 min bei einem Blutverlust von 120 ml (monosegmental) bzw. 97 min mit

einem Blutverlust von 140 ml (bisegmental), war damit deutlich kürzer als „minimal-invasive“ Verfahren und wies einen vergleichbaren Blutverlust auf.

4.2.4 Allgemeine Komplikationen

Unter diesem Begriff werden Komplikationen zusammengefasst, welche auch im Zusammenhang mit anderen Operationen oder Krankenhausaufenthalten auftreten können. Allgemeine Gesamtkomplikationsraten von 46 % (29 % bei Erstoperationen und 63 % bei Reoperationen) (Whitecloud *et al.* 1989) bzw. 18 % (Stauffer *et al.* 1972) wurden bei ventralen Spondylodesen beobachtet. Ebenfalls für ventrale Fusionen berichteten Freebody *et al.* über 11 % tiefe Beinvenenthrombosen, 1,3 % Lungenembolien, 4 % paralytischen Ileen und 12 % Harnwegsinfekte (Freebody *et al.* 1971). Steffee *et al.* fanden insgesamt 6,4 % allgemeine, nicht implantatbedingte Komplikationen, unter anderem 2,4 % Ileus und 0,8 % tiefe Beinvenenthrombosen (Steffee *et al.* 1993).

Die Patienten in der vorgestellten Untersuchung wiesen 2 % paralytischen Ileen und in je 1 % der Fälle 3-Etagen-Thrombosen bzw. eine Lungenembolien auf. Diese erfreulich niedrigen Werte sind Ausdruck einer konsequenten Thromboembolie- und Ileusprophylaxe. In der Ära vor einer konsequenten Thromboembolieprophylaxe lag die Thrombooserate wesentlich höher (Freebody *et al.* 1971). Aufgrund dieser Erkenntnisse ist eine medikamentöse Thromboembolieprophylaxe, z.B. mit einem für den Hochrisikobereich zugelassenen niedermolekularen Heparin, durchzuführen und eine möglichst frühe postoperative Mobilisation anzustreben.

Bei dem hier vorgestellten Operationsverfahren ist eine Mobilisation der Patienten ab dem ersten postoperativen Tag in suffizienter Weise möglich. Hierdurch wird auch das Risiko für die Entstehung eines Ileus/Subileus reduziert, da das Wiedereinsetzen der Darmperistaltik angeregt wird. Zusätzlich sollte wegen der Notwendigkeit einer kurzen Nahrungskarenz bei retro- bzw. transperitonealen Eingriffen eine in der Viszeralchirurgie übliche Ileusprophylaxe erfolgen. Nosokomiale Harnwegsinfekte können durch kurze postoperative Verweildauer der Blasenkatheter, gute Katheterpflege und streng sterile Kautelen bei der Einlage minimiert werden.

4.3. Konsolidierungs-/Pseudarthroseraten

Wenn man die Pseudarthroseraten bzw. die erzielten Konsolidierungsergebnisse in einzelnen Studien vergleicht, finden sich stark abweichende Ergebnisse. Louis berich-

tete bei seinem Kollektiv (n= 266) monosegmentaler, dorsaler, mit Pedikelschrauben instrumentierter Spondylodese 2,6 % Pseudarthrosen (Louis 1986). Bei Steffee *et al.* traten in einem Kollektiv von Patienten mit posterolateraler, instrumentierter Spondylodese 7 % Pseudarthrosen auf (Steffee *et al.* 1993). Mit dem Wiltse-Instrumentarium fanden Horowitch *et al.* bei 99 Patienten (77 % voroperiert) sogar 32 % Pseudarthrosen (Horowitch *et al.* 1989). Bei dorsoventraler Operation von 180 Spondylolisthesepatienten berichteten Harms *et al.* über nur 1,1 % Pseudarthrosen, die alle mit Stabbrüchen assoziiert waren (Harms *et al.* 1991). Hähnel *et al.* erzielten mit einer dorsoventralen Spondylodese bei 79 Spondylolisthesepatienten eine Konsolidierung von 91 % gegenüber 75 % (n=152) mit alleiniger ventraler Spondylodese ohne Instrumentation (Hähnel *et al.* 1991).

Studie	n	Pseudarthrose- rate [in %]	OP-Technik	Pedikel- schrauben
Louis, 1986	266	2,6	posterolateral	ja
Steffee, 1993	250	7	posterolateral	ja
Horowitch, 1989	99	32	posterolateral	ja
Harms, 1991	180	1,1	dorsoventral	ja
Hähnel, 1991	79	9	dorsoventral	ja
"	152	25	ALIF	nein
Stauffer, 1972	68	44	ALIF	nein
Harmon, 1963	244	2	ALIF	nein
Matzen, 1992	66	6	ALIF	nein
Freebody, 1971	66	9	ALIF	nein
"	167	18	ALIF	nein
Greenough, 1994	140	24	ALIF	nein
Yuan, 1994	2177	10,9	posterolateral	ja
"	456	29,6	posterolateral	nein
Zdeblick, 1993	37	5	posterolateral	ja
"	51	35	posterolateral	nein
Schwab, 1995	89	8	posterolateral	ja
"	126	32	posterolateral	nein

Tabelle 46: Pseudarthrosenraten verschiedener Studien mit und ohne Verwendung von Pedikelschrauben

Die Ergebnisse von rein ventralen Fusionen ohne instrumentelle Stabilisierung weichen ebenfalls stark voneinander ab. Stauffer *et al.* wiesen 44 % Pseudarthrosen des operierten Bewegungssegments nach (Stauffer *et al.* 1972), während Harmon und Matzen

et al. 98 % bzw. 94 % Konsolidierungsraten erzielten (Harmon 1963; Matzen *et al.* 1992).

Bei Osteochondrosepatienten mit rein ventraler Spondylodese ohne Instrumentierung wurde über eine Fusionsrate von 90,9 % berichtet, während gleichzeitig untersuchte Spondylolisthesepatienten eine Fusionsrate von 81,4 % aufwiesen (Freebody *et al.* 1971). Greenough *et al.* beobachteten bei 76 % ihrer ventralen Spondylodesepatienten (n= 140) eine knöcherne Fusion. Bemerkenswert dabei ist ein signifikanter Unterschied zwischen nicht berenteten (93 % Fusion) und berenteten Patienten (68 % Fusion) (Greenough *et al.* 1994).

Die meisten Studien zum Vergleich von instrumentierten und nicht instrumentierten Fusionen kommen zu dem Schluss, dass eine Pedikelschraubeninstrumentation die Fusionsrate erhöht (Zdeblick 1993; Yuan *et al.* 1994). In der multizentrischen Kohortenstudie von Yuan *et al.* fielen bei 3,7 % der Patienten mit degenerativer Spondylolisthese und Pedikelschraubeninstrumentation eine sichere Pseudarthrose und bei weiteren 7,2 % unsichere Konsolidierungsverhältnisse auf. Davon waren 44,3 % klinisch asymptomatisch. Die nicht instrumentierte Gruppe wies nur eine Fusionsrate von 70,4 % auf. Die gesamte Fusionsdauer lag hier in der mit Pedikelschrauben behandelten Gruppe bei 10,5 Monaten und war gegenüber der nicht instrumentierten Gruppe deutlich verkürzt (Yuan *et al.* 1994). Auch die Metaanalyse von Mardjetko belegt, dass bei posterolateralen Spondylodesen aufgrund einer Pseudospondylolisthese die Fusionsrate durch eine Instrumentation erhöht wird (Mardjetko *et al.* 1994). Zdeblick fand in seiner prospektiven, randomisierten Studie posterolateraler Spondylodesen 95 % Fusionsrate bei winkelstabiler Instrumentierung, 77 % mit semirigidem Implantat und 65 % ohne Instrumentierung (Zdeblick 1993). Bei einer genaueren Differenzierung und Wertung der Ergebnisse kommt er zu dem Schluss, dass Patienten mit Osteochondrose, degenerativer Spondylolisthese und voroperierte Patienten eindeutig von einer winkelstabilen Instrumentierung profitieren, während die isthmischen Spondylolisthesepatienten und die Patienten mit degenerativer Spinalkanalstenose keine eindeutig besseren Ergebnisse erzielen. Schwab *et al.* beobachteten Unterschiede von 68 % Fusionsrate bei nicht instrumentierten, posterolateralen Spondylodesen im Vergleich zu 92 % Fusionsrate bei Verwendung des semirigidem Edwards-Systems am lumbosacralen Übergang (Schwab *et al.* 1995). Im Widerspruch dazu stehen Berichte ohne relevante Unterschiede bei der Konsolidierung zwischen einer instrumentierten und einer nicht instrumentierten Spondylodese (Bernhardt *et al.* 1992; Zucherman *et al.* 1992; McGuire *et al.*

1993). Loguidice *et al.* berichteten über die Verschlechterung der Fusionsrate bei längeren Spondylodesestrecken von 85 % bei monosegmentalen, 62 % bei bisegmentalen und 50 % bei trisegmentalen ALIF-Operationen (Loguidice *et al.* 1988). Bei Stauffer *et al.* betragen die Pseudarthrosraten für monosegmentale Operationen 32 %, für bisegmentale Operationen 47 % und für tri- und polysegmentale Operationen 64 % (Stauffer *et al.* 1972). Auch Kozak *et al.* berichteten bei dorsoventralen Vorgehen mit Knodt-Fixierungssystem über 90 % Fusionsraten bei ein- und zweisegmentigen, aber 77,8 % bei dreisegmentigen Spondylodesen (Kozak *et al.* 1990). Bei der Verwendung von Pedikelschraubenimplantaten konnte diese Tendenz reduziert aber nicht immer völlig eliminiert werden, auch wenn einzelne Untersuchungen keine Unterschiede zwischen mono- und trisegmentalen posterolateralen Spondylodesen beschrieben (Steffee *et al.* 1993).

Die Ergebnisse unserer Studie liegen im Bereich der in der Literatur berichteten Ergebnisse über durch Pedikelschraubeninstrumentation unterstützte Fusionen. Eine sichere Pseudarthrose bestand bei 5,3 % der Fälle und bei 7,9 % waren die Konsolidierungsverhältnisse fraglich. Somit wiesen 86,8 % der Patienten eine sichere Konsolidierung auf. Segmentbezogen waren 3 % der versteiften Segmente pseudarthrotisch und 4,1 % fraglich konsolidiert. Im untersuchten Kollektiv ist trotz Instrumentierung eine Tendenz zu erhöhten Pseudarthrosraten bei längeren Spondylodesestrecken zu beobachten. Die mono- und bisegmentalen Spondylodesen wiesen Pseudarthrosraten von 3,3 bzw. 4,5 % auf, während bei den trisegmentalen Spondylodesen der Anteil der Patienten mit Pseudarthrosen bei 13,8 % lag. Gleiche Tendenzen sind bei den fraglich konsolidierten Fällen zu beobachten (siehe Tab. 29). Als Ursache sind verschiedene Faktoren zu erwähnen. Trotz einer rigiden, winkelstabilen, dorsalen Instrumentierung treten nach wie vor Bewegungen in den instrumentierten Segmenten auf und der Bandscheibendruck ist nur um 50 % reduziert gegenüber einer fehlenden Instrumentierung (Cripton *et al.* 2000). Bei einer langstreckigen Spondylodese sind die Bewegungen im kaudalen Segment aufgrund des längeren Hebelarms des Längsträgers erhöht, so dass die Belastungen der ventral interponierten Beckenkammspäne erhöht sind. Außerdem erfordern langstreckige Spondylodesen große Mengen an Spanmaterial, so dass meistens nur zwei Beckenkammspäne implantiert wurden. Eine nähere Auswertung dieses Faktors war jedoch im hier untersuchten Kollektiv nicht möglich, da die Art der Beckenkammspäne und die Anzahl pro Bandscheibenraum nicht immer dokumentiert wurden.

Hinweise in der Literatur deuten darauf hin, dass der Fusionserfolg einer Spondylodese auch von der Ausgangsdiagnose abhängt. Die schlechtesten Fusionsergebnisse weisen Patienten mit einer vorbestehenden Pseudarthrose auf (West *et al.* 1991; Zdeblick 1993). Patienten mit einer gering ausgeprägten isthmischen Spondylolisthese scheinen von einer Pedikelschraubeninstrumentierung insbesondere auf dem Gebiet der Fusionsergebnisse und der Nachbehandlung zu profitieren. Die klinischen Ergebnisse konnten damit jedoch nicht wesentlich verbessert werden. Auch die hier vorgestellten Spondylolisthesepatienten schneiden mit einer Fusionsrate von 93,7 % besser als die meisten anderen Diagnosegruppen ab (siehe Tab. 28 und 29). Bei der degenerativen Spondylolisthese gibt es Hinweise, dass durch Pedikelschraubeninstrumentierung neben der Fusionsrate auch die klinischen Ergebnisse verbessert werden (Yuan *et al.* 1994). Diese Ergebnisse konnten im vorgestellten Kollektiv nicht bestätigt werden, da die Werte für die Konsolidierung im Vergleich zu den anderen Diagnosegruppen mit 77,8 % unter dem Wert für die Gesamtgruppe (86,8 %) lagen. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte die geringe Fallzahl von 21 Patienten sein.

Patienten mit einer Osteochondrose erzielten mit Pedikelschraubeninstrumentation ebenfalls höhere Fusionsraten ohne Verbesserung der klinischen Ergebnisse (Zdeblick 1993; Wood *et al.* 1995). Diese Gruppe war in unserem Kollektiv hinsichtlich der Fusion die erfolgreichste mit 94,7 % Konsolidierungsrate, was den in der Literatur erwähnten Werten entspricht.

Besteht bereits eine Pseudarthrose, sind die Ergebnisse wie bereits oben erwähnt im Vergleich zu den anderen Indikationen am schlechtesten. Stauffer erzielte 55 % Fusionen bei 44 Patienten, die eine ventrale Spondylodese ohne Instrumentation erhielten. Mit VSP-Instrumentation berichtet West über 64,7 % Fusionen (West *et al.* 1991). Patienten aus unserem Kollektiv weisen nach Voroperationen ebenfalls schlechtere Fusionsergebnisse als die anderen Diagnosegruppen auf. Die Postnukleotomiepatienten erzielten Fusionsraten von 80,7 % und die anderweitig voroperierten Fälle sogar nur 69,2 % sichere Konsolidierung. Mögliche Ursachen dieses Phänomens liegen in der veränderten Ausgangssituation für die Operation. Bei Patienten, die bereits einen erfolglosen Fusionsversuch hinter sich haben, sind die Verhältnisse im Bereich des „Implantatbettes“ verändert. Verminderte Durchblutung bei bestehenden narbigen Veränderungen intervertebral und an den Wirbelkörperendplatten können das Einheilen der Beckenkammspäne behindern. Nach vorangegangenen Operationen sind anatomisch wichtige Strukturen wie das vordere und hintere Längsband oder Teile der Facettenge-

lenke beschädigt, wodurch eine eventuelle Instabilität eines Bewegungssegments verstärkt wird. Dieser Faktor kann durch einen winkelstabilen Fixateur interne verringert werden.

4.4 Klinische Ergebnisse

4.4.1 Allgemeines

In der Literatur findet sich ein sehr breites Spektrum von Angaben über die klinischen Ergebnisse. Gute Ergebnisse variieren zwischen 16 und 95 % mit der Beobachtung, dass die prospektiven Studien ein schlechteres Ergebnis erzielen als die retrospektiven Untersuchungen (Turner *et al.* 1992). Die Kriterien für die Feststellung eines erfolgreichen Operationsergebnisses sind häufig uneinheitlich. Hinzu kommen diverse Bewertungssysteme, die die postoperativen Beschwerden der Patienten alle unterschiedlich gewichten und damit bei gleicher Patientengruppe schon zu unterschiedlichen Bewertungen kommen (Howe *et al.* 1985).

Bei ventralen Spondylodesen von 50 Patienten beobachteten Flynn *et al.* 52 % erfolgreiche Ergebnisse (gute Schmerzreduktion, Rückkehr ins Arbeitsleben) mit einer Diskrepanz zwischen Spondylolisthesepatienten (87 % erfolgreich) und Indikationen wie Pseudarthrose, Postlaminektomieinstabilität und Osteochondrose (35 % erfolgreich) heraus (Flynn *et al.* 1979). Mit gleicher OP-Technik erzielten Stauffer *et al.* nur 36 % gute Resultate mit den schlechtesten Ergebnissen bei bereits berenteten Patienten (Stauffer *et al.* 1972). Andernorts wurden 91 % gute Ergebnisse nach ventraler Fusion bei Osteochondrose- und Spondylolisthesepatienten berichtet (Freebody *et al.* 1971).

Mit dorsoventralen Spondylodesen und Pedikelschraubeninstrumentierung waren bei Hähnel *et al.* 91 % der Patienten zufrieden mit der Operation und 90 % hatten geringere Beschwerden als präoperativ (Hähnel *et al.* 1991). In der gleichen Untersuchung schnitten Patienten ohne Instrumentierung in der Operationszufriedenheit mit 83 % etwas schlechter ab. Diese Werte beruhten auf Einzelfragen an die Patienten, ohne dass ein bestimmtes Bewertungssystem angewandt wurde. In der Kohortenstudie von Yuan bei degenerativen Spondylolisthesepatienten haben 90,4 % funktionell bessere Ergebnisse gegenüber präoperativ, 9 % sind unverändert und 0,6 % verschlechtert. Hinsichtlich des Rückenschmerzes waren 91,5 % verbessert, 7,8 % gleich und 0,7 % verschlechtert (Yuan *et al.* 1994). Die Schmerzbewertung in der Gruppe der Patienten mit einer Pedikelschraubeninstrumentierung war damit signifikant besser als in der nicht

instrumentierten Gruppe (84,0 % gebessert), ohne dass ein erhöhtes operatives Risiko nachweisbar war. Dies veranlasste Yuan zu dem Schluss, dass bei der Pseudospondylolisthese der Nutzen einer Pedikelschraubenimplantation größer ist als das mögliche Risiko. Zdeblick erzielte 95 % gute oder exzellente klinische Ergebnisse bei den instrumentierten, posterolateralen Spondylodesen (vs. 71 % gute/exzellente Ergebnisse ohne Instrumentation) (Zdeblick 1993).

Fragen zum subjektiven Befinden und den Veränderungen durch die Operation wurden den Patienten auch in der hier vorgelegten Untersuchung gestellt, um ein möglichst genaues Bild über die postoperative Situation zu erhalten. Die Frage nach einer Beschwerdeverbesserung durch die Operation ergab 71% gebesserte und 17,8 % gleich gebliebene Beschwerden. 71,1 % der Patienten würden die Operation erneut durchführen lassen. Damit liegen die Werte nur knapp unter den angegebenen Werten für instrumentierte Spondylodesen und oberhalb der meisten Werte für rein ventrale Fusionen. Die Patientengruppen sind jedoch in der Literatur sehr unterschiedlich zusammengesetzt, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse schwerfällt.

4.4.2 Oswestry-Pain-Disability-Index

In der vorliegenden Untersuchung wurde der „Oswestry Pain Disability Index“ (Fairbank *et al.* 1980) gewählt, da dieser in den letzten 20 Jahren zu den am häufigsten verwendeten Bewertungssystemen für eine Ergebnisbeurteilung in der Wirbelsäulenchirurgie zählte (Beurskens *et al.* 1995). Little berichtet über eine Veränderung des Oswestry-Index von präoperativ 42,4 % zu 2 Jahre postoperativ 26,3 % in einer Gruppe von 74 Patienten mit Wirbelsäulenoperationen (Little *et al.* 1994). Die relative Änderung des Oswestry-Index (Δ ODI) lag bei insgesamt 36,9 % nach 2 Jahren, wobei der Anteil der reinen Spondylodesepatienten (n=12) eine Verbesserung des Δ ODI von 32,9 % aufwies. Die relativen Werte für die Änderung korrelierten besser mit der subjektiven Einschätzung der Patienten als die absoluten Werte des Index. Anzumerken ist, dass auch in dieser Untersuchung die bereits voroperierten Patienten (n=26) mit einem Δ ODI von nur 16 % nach 2 Jahren deutlich schlechter abschnitten als die nicht voroperierten Patienten (Δ ODI 48,2). Bei Tiusanen *et al.*, in einer Gruppe von 83 ALIF-Patienten mit temporärer Fixateur-externe-Montage, betrug der präoperative ODI 48,8 %, der postoperative ODI 30,5 % und ein nachträglich errechneter Δ ODI 37,5 % (Tiusanen *et al.* 1996). In der hier vorgestellten Studie hat sich der ODI um absolut 17,1 % (52,8 % präope-

rativ, 35,6 % postoperativ) verbessert. Der Δ ODI lag mit 34,2 % bei einem vergleichbaren Wert. 77,5 % der Patienten haben sich im ODI verbessert und in 17,2 % kam es zu einer Verschlechterung. Dabei kam es in 89 von 152 Fällen (58,6 %) zu einer Verbesserung um mindestens eine Stufe im ODI, während 34,2 % in der gleichen Stufe verblieben. Ähnliches beobachteten Pfeiffer *et al.* mit einem 53,5 %igen Anteil der Verbesserungen um mindestens eine Stufe und 33,8 % gleich gebliebenen Patienten (Pfeiffer *et al.* 1996).

Bei den in der Literatur klinisch meist besonders erfolgreichen Patienten mit Spondylolisthese lagen die Werte auch im hier untersuchten Patientengut mit einem Δ ODI von 39,1 % über der Gesamtgruppe. 75,5 % der Spondylolisthesepatienten konnten sich im ODI verbessern, während sich 15,5 % dieser Patienten verschlechterten. Eine mögliche Erklärung für den Erfolg bei Spondylolisthesen ist, dass ein relevanter Beschwerdeanteil bei diesem Krankheitsbild durch die Instabilität im Gleitsegment verursacht wird. Diese Komponente wird durch eine rigide Stabilisierung mit ventraler, interkorporeller Abstützung weitestgehend reduziert. Ähnliche Werte mit 39,2 % Δ ODI erzielte die Osteochondrosegruppe. In diesem Teilkollektiv konnten 76,7 % der Patienten ihren ODI verbessern. Auch die Pseudospondylolisthesepatienten lagen mit einem Δ ODI von 35,4 % noch über den Werten der Gesamtgruppe. In dieser Teilgruppe haben sich 78,9 % der Patienten im ODI verbessert. Die voroperierten Patienten erzielten zusammen mit den Postnukleotomiesyndrompatienten im Gesamtkollektiv die schlechtesten Ergebnisse mit einem Δ ODI von 29,2 % bzw. 30,2 %. Es kam zwar in 73,8 % zu einer Verbesserung im ODI, jedoch auch in 21,4 % zu einer Verschlechterung.

Betrachtet man die relativen Veränderungen im ODI bei unterschiedlichen Spondylodestrecken fällt auf, dass der Δ ODI nicht mit dem Operationsausmass korreliert (monosegmental Δ ODI 40,7 %, bisegmental Δ ODI 30,1 %, trisegmental Δ ODI von 36,1 %). Dies weist darauf hin, dass Patienten mit grösserem Operationsumfang keine grundsätzlich geringere Verbesserungsmöglichkeit durch eine Operation haben als Patienten mit kurzstreckiger Spondylodese.

Vergleicht man die Patienten mit einer Konsolidierung der Spondylodese mit den Pseudarthrosepatienten, so weisen die erstgenannten eine grössere relative Verbesserung (Δ ODI) auf (35,8 % vs. 21,6 %). Hier scheint es eine Korrelation zwischen dem Erreichen der knöchernen Fusion und einem klinisch relevant verbesserten Ergebnis durch die Operation zu geben. Interessant ist dabei der Aspekt, dass die Pseudarthrosepatienten bereits präoperativ mit 61,2 % einen wesentlich höheren ODI als die konsolidier-

ten Fälle (51,6 %) aufwiesen und sich postoperativ nur auf einen Wert von 48,3 % (vs. 33,9 % bei Konsolidation) verbesserten. Dieser Wert lag damit sogar über dem präoperativen ODI der Spondylolisthesepatienten von 44,1 % und nur wenig unter dem präoperativen ODI der Gesamtgruppe von 52,8 %. Dieses Ergebnis könnte darauf hinweisen, dass Patienten mit einer funktionell schlechten Ausgangsposition (hohe Werte im präoperativen ODI) ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Pseudarthrose haben. Die Patientengruppen mit den postoperativ höchsten Pseudarthrosraten (Vorooperationen bzw. Postnukleotomiesyndrom) weisen jedoch schon präoperativ die höchsten ODI-Werte und weisen auf, so dass auch diese Begebenheit Ursache der vorgeannten Auffälligkeit sein könnte.

Im Durchschnitt lagen die guten und sehr guten klinischen Ergebnisse für degenerative Erkrankungen bei ca. 70 %. Tendenziell hatten die Patienten mit degenerativer Spondylolisthese etwas bessere Ergebnisse, während voroperierte Patienten schlechtere Ergebnisse aufwiesen (Wetzel *et al.* 1991; Turner *et al.* 1992). Von verschiedenen Autoren wird berichtet, dass keine Assoziation zwischen klinischem Befinden und dem Erreichen einer knöchernen Konsolidierung besteht (Freebody *et al.* 1971; Flynn *et al.* 1979; Greenough *et al.* 1994). Die Diskrepanz zwischen der erhöhten Fusionsrate gegenüber den klinisch gleichen Ergebnissen bei mit Pedikelschrauben instrumentierten Spondylodesen lässt vermuten, dass die mechanische Stabilität in einem Bewegungssegment nicht der Hauptfaktor zum Erreichen eines guten klinischen Ergebnisses ist. Bei klinisch nachgewiesener Hauptschmerzursache im Bereich der Bandscheibe sollte deshalb eine Exzision des Diskus und eine interkorporelle Fusion angestrebt werden. Die Nachweismethoden für die Bandscheibe als Schmerzauslöser werden jedoch kontrovers diskutiert (Nachemson *et al.* 1996). Sicherlich spielen darüber hinaus andere Einflussfaktoren wie das Bestehen von epiduralem Narbengewebe nach Vorooperationen, Arachnoiditis, Nervenwurzelkompression, residuelle Spinalkanal- oder Foramenstenosen, Entstehung von Anschlussdegenerationen und psychosoziale Bedingungen (z.B. Rentenbegehren) eine wichtige Rolle. Von diesen Faktoren sei hier die Anschlussdegeneration kurz erwähnt. Im Rahmen von Langzeitverläufen nach Spondylodesen werden über degenerative Veränderung im angrenzenden Bewegungssegment mit einer Häufigkeit von 5 (Frymoyer *et al.* 1979) bis 50 % (Guigui *et al.* 1997) nach 9-10 Jahren berichtet. Bei rein ventralen Spondylodesen werden 68 % MR-tomographisch unveränderte Bandscheiben 10 Jahre nach der Operation beschrieben (Penta *et al.* 1995). In der vorgelegten Untersuchung traten im kurzen Nachuntersuchungszeitraum

von mindestens einem Jahr keine Anschlussdegenerationen auf. Zusätzlich wurde eine relevante Degeneration der an die Spondylodese angrenzenden Segmente mittels der präoperativen Discographie ausgeschlossen.

Um einige Ursachen für die außerordentliche Variabilität zu reduzieren, sollte eines der Ziele in der Zukunft sein, möglichst einheitliche Kriterien für ein erfolgreiches klinisches Ergebnis festzulegen und diese bei der Bewertung der Ergebnisse anzuwenden. Dies führt zu besser vergleichbaren, transparenteren Ergebnissen bei der Betrachtung von Studien aus unterschiedlichen Zentren.

4.5 Allgemeine Überlegungen

Wenn man die Literatur hinsichtlich der möglichen Überlegenheit einer Form der Spondylodese untersucht, findet man verschiedene Hinweise darauf, dass die ventrale Spondylodese gegenüber der posterolateralen Spondylodese etwas schlechtere Ergebnisse für die Fusionsraten aufweist (Greenough *et al.* 1994; Greenough *et al.* 1998). Hinsichtlich der Patienteneinschätzung und der funktionellen, klinischen Bewertung schneiden die Patienten mit der ventralen Spondylodese jedoch meistens besser ab. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die Tatsache, dass auch bei einer konsolidierten posterolateralen Spondylodese weiterhin relevante Kompressionskräfte auf die Bandscheibe einwirken. Eine Pseudarthrose posterolateral lässt folglich noch ausgeprägtere Bewegungen im Zwischenwirbelraum zu als bei einer Fusion. Eine Pseudarthrose nach ventraler Spondylodese dagegen weist üblicherweise einen fibrösen Charakter auf, so dass hierdurch das Bewegungsausmass in der vorderen Säule und die damit verbundenen Bewegungsschmerzen trotzdem relevant verringert werden. Die besseren klinischen Resultate unterstützen auch die These, dass nicht nur die Konsolidierung, sondern auch die Entfernung der Bandscheibe als mögliche Schmerz- und Beschwerdequelle einen Teil des Operationserfolges ausmacht. Als weiterer Grund für einen besseren Langzeiterfolg ist bei den ventralen Spondylodesen die deutlich geringere Spinalkanalstenoserate gegenüber der posterioren Spondylodese zu sehen (Lehmann *et al.* 1987)

4.6 Ausblick

Zur Verbesserung der Operationsergebnisse müssen in Zukunft Anstrengungen unternommen werden, um die Indikationstellung für eine Spondylodese weiter zu verbes-

sern. Da psychologisch auffällige Patienten postoperativ ein höheres Risiko für schlechte Verläufe haben, sollten auch psychologische Testverfahren bei der Auswahl der Patienten für eine Spondylodese berücksichtigt werden (Stauffer *et al.* 1972; Greenough *et al.* 1994).

Die Verbesserung der Fusionsergebnisse kann durch eine Standardisierung des Operationsverfahrens und eine Konzentrierung der Operation auf wirbelsäulenchirurgische Zentren erreicht werden.

Tierexperimentelle Studien deuten darauf hin, dass mit bioaktiven Substanzen, z.B. „recombinant human bone morphogenetic protein 2“ (rhBMP-2) und „recombinant human osteogenetic protein (rh OP-1, auch als BMP-7 bezeichnet) die Fusionsraten verbessert werden können (Cook *et al.* 1994; Boden *et al.* 1995). Erste Erfahrungen beim Einsatz am Menschen zur Unterstützung einer ventralen Fusion in Kombination mit spongiosabeladenen Titanimplantaten („Cages“) scheinen vielversprechend (Boden *et al.* 2000).

Titanimplantate („Cages“) für den Intervertebralraum sind ebenfalls im Fokus der Entwicklung und werden immer häufiger für interkorporelle Spondylodesen verwendet, um die Beschwerden im Bereich der Entnahmestelle für die Beckenkammspäne zu reduzieren (Zucherman *et al.* 1995; McAfee *et al.* 1998; Kuslich *et al.* 2000). Der Gebrauch solcher Implantate ist jedoch mit einem nicht zu unterschätzenden Operationsrisiko behaftet. Es wurde über 37 % operative Komplikationen bei ventraler „Cage“-Platzierung und anschließender posterolateraler, pedikelschraubeninstrumentierter Fusion berichtet (Whitecloud *et al.* 1998). Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet werden in der Zukunft nötig sein.

Die Pedikelschraubenimplantate müssen ebenfalls weiterentwickelt werden, um eine noch höhere Stabilität bei geringem Platzbedarf zu erzielen. Auch die Handhabung eines Implantates und damit ein Teil der operativen Sicherheit ist von entscheidender Bedeutung. Mit der zunehmenden Möglichkeit einer suffizienten Bildgebung wie der MRT bei gleichzeitigem Anstieg der Spondylodesezahlen sollten Implantate auch den Einsatz dieser Technik ermöglichen (Rupp *et al.* 1993). Einige dieser Kriterien erfüllt der hier vorgestellte Fixateur interne bereits. Er ist aus gewebefreundlichem und für die Kernspintomographie geeignetem Material (TiMoNi-Legierung), hat ein gering dimensioniertes Design und ist in der Handhabung aufgrund der wenigen Fixierungspunkte nahezu selbsterklärend. Darüber hinaus ist die Anwendung auch über längere Spondy-

lodesestrecken möglich, da einerseits die Komplikationsraten nur leicht ansteigen, er andererseits in Länge und Form individuell anpassbar ist.

Auf dem Gebiet der Operationstechnik sind die zunehmenden Erfahrungen mit weniger invasiven Zugangswegen zu erwähnen. Dabei sind grundsätzlich zwei verschiedene Techniken zu berücksichtigen. Einige Autoren befürworteten einen möglichst kleinen operativen Zugangsweg bei der ventralen Operation, ohne dass hierbei endoskopische Optiken zur Anwendung kommen (sog. „Mini-ALIF“) (Mayer 1997; Dewald *et al.* 1999). Andere entwickelten eine endoskopische Fusionstechnik für verschiedene lumbale Bewegungssegmente (Obenchain 1991; McAfee *et al.* 1998). Vergleiche zwischen beiden Techniken bei Fusionen am Bewegungssegment L4/L5 zeigten keine Vorteile des endoskopischen Verfahrens im Vergleich zur „Mini-ALIF“-Methode (Zdeblick *et al.* 2000).

In den letzten Jahren wurden Verfahren entwickelt, um die Implantation der Pedikelschrauben sicherer zu gestalten. So werden z. B. Pedikelschrauben mit Hilfe eines auf vorangegangener CT-Bildgebung basierendem Verfahrens computergestützt implantiert (Amiot *et al.* 1996; Schwarzenbach *et al.* 1997). In einer vergleichenden Studie zwischen der konventionellen Technik und dem computerassistierten Verfahren wird über signifikant weniger Fehlpositionierungen der Pedikelschrauben in der computerassistierten Gruppe berichtet (85 % vs 95 % intrapedikuläre Lage) (Amiot *et al.* 2000). Trotz aller Computernavigation bleibt jedoch die herkömmliche anatomische Pedikelschraubenpositionierung in der Hand eines erfahrenen Anwenders ein sicheres, effizientes und günstiges Verfahren mit Fehlplazierungsraten von ca. 3% (Boachie-Adjei *et al.* 2000).

5. Zusammenfassung

Die Entwicklungen im Bereich der Pedikelschraubeninstrumentation schreiten seit ihrer Erstanwendung durch Roy-Camille stetig voran und die Anwendungsgebiete dieser Implantate sind noch nicht vollständig definiert. In einigen Bereichen wie der Stabilisierung von Frakturen, Tumoren oder Entzündungen der Wirbelsäule sind sie inzwischen gut etabliert. Insbesondere bei den degenerativen Veränderungen und dem Postnukleotomiesyndrom ist eine Anwendung der Pedikelschraubenimplantate zur Unterstützung einer Spondylodese noch umstritten. In der hier vorgestellten Arbeit sollte der Nutzen eines neuen Fixateur interne in einer breiten klinischen Anwendung bei Patienten mit den Ausgangsdiagnosen Spondylolisthese (n=66), Postnukleotomiesyndrom (n=59), Osteochondrose (n=39), Pseudospondylolisthese (n=21) und anderweitig voroperierten Patienten (n=15) evaluiert werden.

Nach einem Untersuchungszeitraum von mindestens einem Jahr betrug die Pseudarthroserate 5,3 % und 7,9 % der Patienten wiesen unsichere Konsolidierungsverhältnisse auf, d.h. 86,8 % der Fälle war sicher knöchern konsolidiert. Bei 13,8 % der Patienten kam es zu einem Pedikelschraubenbruch, wobei fast immer eine sakral gelegene Schraube betroffen war. Die Rate der Revisionsoperationen belief sich, routinemäßige Metallentfernungen ausgenommen, auf insgesamt 11 %, wobei bei 3,5 % Respondylothesen wegen Pseudarthrose durchgeführt werden mussten. Im benutzten „Oswestry Pain Disability Index“ lagen die prä- und postoperativen Werte bei 52,8 % bzw. 35,6 %, was einer relativen Verbesserung (Δ ODI) von 34,2 % entsprach. Patienten mit einer Spondylolisthese (Δ ODI 39,1%) erzielten die besten und voroperierte Patienten (PNS Δ ODI 30,2 %; andere Voroperationen Δ ODI 29,2 %) die schlechtesten klinischen Ergebnisse. Es fiel auf, dass eine Konsolidierung der Spondylodese (Δ ODI 35,8 %) im Vergleich zu einer Pseudarthrose (Δ ODI 21,6 %) mit einer deutlich größeren klinischen Verbesserung assoziiert war.

Der hier erstmals in einer größeren und heterogenen Patientengruppe angewandte neue Fixateur interne kann folglich durchaus mit etablierten Pedikelschraubenimplantaten verglichen werden. In Kombination mit einer „dorsoventralen“ Spondylodese sind die Ergebnisse vielversprechend. Die in dieser Gruppe etwas erhöhte Zahl an Pedikelschraubenbrüchen sollte zukünftig durch das veränderte Schraubendesign der sakralen Pedikelschrauben reduziert werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Adams, M. A., Dolan, P. and Hutton, W. C. (1986). "The stages of disc degeneration as revealed by discograms." J Bone Joint Surg [Br] **68**: 36-41.
2. Adkins, E. W. O. (1955). "Lumbo-sacral arthrodesis after laminectomy." J Bone Joint Surg [Br] **37**: 208-223.
3. Albee, F. H. (1911). "Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease: A preliminary report." JAMA **57**: 885-6.
4. Amiot, L. P., Labelle, H., De Guise, J. A., Bellefleur, C. and Rivard, C. H. (1996). "[Computer assisted pedicle screw installation. Our first 3 cases]." Ann Chir **50**: 626-30.
5. Amiot, L. P., Lang, K., Putzier, M., Zippel, H. and Labelle, H. (2000). "Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine." Spine **25**: 606-14.
6. Amuso, S. J., Neff, R. S., Coulson, D. B. and Laing, P. G. (1970). "The surgical treatment of spondylolisthesis by posterior element resection." J Bone Joint Surg [Am] **52**: 529-36.
7. Bailey, S. I., Bartolozzi, P., Bertagnoli, R., Boriani, S., van Beurden, A. F., Cross, A. T., Friedl, H. P., Gurr, K. R., Halm, H., Kruls, H. J., Metz-Stavenhagen, P. and Schulze, K. J. (1996). "The BWM spinal fixator system. A preliminary report of a 2-year prospective, international multicenter study in a range of indications requiring surgical intervention for bone grafting and pedicle screw fixation." Spine **21**: 2006-15.
8. Baker, J. K., Reardon, P. R., Reardon, M. J. and Heggeness, M. H. (1993). "Vascular injury in anterior lumbar surgery." Spine **18**: 2227-30.
9. Bauer, R., Kerschbaumer, F. and Poisel, S. (1991). Orthopädische Operationslehre. Stuttgart, Thieme.
10. Benini, A. (1997). "[Stenosis of the lumbar spinal canal. Pathophysiology, clinical aspects and therapy]." Orthopade **26**: 503-14.

11. Bernhardt, M., Swartz, D. E., Clothiaux, P. L., Crowell, R. R. and White, A. A., 3rd (1992). "Posterolateral lumbar and lumbosacral fusion with and without pedicle screw internal fixation." Clin Orthop **284**: 109-115.
12. Beurskens, A. J., de Vet, H. C., Koke, A. J., van der Heijden, G. J. and Knipschild, P. G. (1995). "Measuring the functional status of patients with low back pain. Assessment of the quality of four disease-specific questionnaires." Spine **20**: 1017-28.
13. Blumenthal, S. and Gill, K. (1993). "Complications of the Wiltse Pedicle Screw Fixation System." Spine **18**: 1867-71.
14. Boachie-Adjei, O., Girardi, F. P., Bansal, M. and Rawlins, B. A. (2000). "Safety and efficacy of pedicle screw placement for adult spinal deformity with a pedicle-probing conventional anatomic technique." J Spinal Disord **13**: 496-500.
15. Boden, S. D., Schimandle, J. H. and Hutton, W. C. (1995). "1995 Volvo Award in basic sciences. The use of an osteoinductive growth factor for lumbar spinal fusion. Part II: Study of dose, carrier, and species." Spine **20**: 2633-44.
16. Boden, S. D., Zdeblick, T. A., Sandhu, H. S. and Heim, S. E. (2000). "The use of rhBMP-2 in interbody fusion cages. Definitive evidence of osteoinduction in humans: a preliminary report." Spine **25**: 376-81.
17. Bogduk, N. (1983). "The innervation of the lumbar spine." Spine **8**: 286-293.
18. Boos, N. and Webb, J. K. (1997). "Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view." Eur Spine J **6**: 2-18.
19. Bosworth, D. (1945). "Clothespin graft of the spine for spondylolisthesis and laminal defects." Am J Surg **67**: 61-67.
20. Boucher, H. H. (1959). "A method of spinal fusion." J Bone Joint Surg [Br] **41**: 248-59.
21. Boxall, D., Bradford, D. S., Winter, R. B. and Moe, J. H. (1979). "Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents." J Bone Joint Surg [Am] **61**: 479-95.
22. Bradford, D. S. and Boachie-Adjei, O. (1990). "Treatment of severe spondylolisthesis by anterior and posterior reduction and stabilization. A long-term follow-up study." J Bone Joint Surg [Am] **72**: 1060-6.

23. Brantigan, J. W. (1994). "Pseudarthrosis rate after allograft posterior lumbar interbody fusion with pedicle screw and plate fixation." Spine **19**: 1271-9; discussion 1280.
24. Brinckmann, P. and Pope, M. H. (1990). Effects of repeated loads and vibration. The Lumbar Spine. J. N. Weinstein and S. W. Wiesel. Philadelphia, W. B. Saunders: 171-188.
25. Broll-Zeitvogel, E., Grifka, J., Bauer, J., Roths, P. H. and Degryse, P. (1999). "[Medical training therapy in lumbar syndromes]." Orthopade **28**: 932-8.
26. Brown, M. D. and Lockwood, J. M. (1983). "Degenerative spondylolisthesis." Instr Course Lect **32**: 162-9.
27. Buck, J. E. (1970). "Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report." J Bone Joint Surg [Br] **52**: 432-7.
28. Burns, B. H. (1933). "An operation for spondylolisthesis." Lancet **I**: 1233.
29. Burton, C. V. (1978). "Lumbosacral arachnoiditis." Spine **3**: 24.
30. Burton, C. V., Kirkaldy-Willis, W. H., Yong-Hing, K. and Heithoff, K. B. (1981). "Causes of failure of surgery of the lumbar spine." Clin Orthop **157**: 191-199.
31. Cady, L. D., Bischoff, D. P., O'Connell, E. R., Thomas, P. C. and Allan, J. H. (1979). "Strength and fitness and subsequent back injuries in firefighters." J Occup Med **21**: 269-72.
32. Capener, N. (1932). "Spondylolisthesis." Br J Surg **19**: 374.
33. Cleveland, M., Bosworth, D. M. and Thompson, F. R. (1948). "Pseudarthrosis in lumbosacral spine." J Bone Joint Surg [Am] **30**: 301-312.
34. Cloward, R. B. (1963). "Lesions of the intervertebral discs and their treatment by interbody fusion methods. The painful disk." Clin Orthop **27**: 51-77.
35. Cloward, R. B. (1981). "Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. Review of 100 cases." Clin Orthop **154**: 74-82.
36. Cook, S. D., Dalton, J. E., Tan, E. H., Whitecloud, T. S., 3rd and Rueger, D. C. (1994). "In vivo evaluation of recombinant human osteogenic protein (rhOP-1) implants as a bone graft substitute for spinal fusions." Spine **19**: 1655-63.

37. Cotrel, Y., Dubousset, J. and Guillaumat, M. (1988). "New universal instrumentation in spinal surgery." Clin Orthop **227**: 10-23.
38. Cripton, P. A., Jain, G. M., Wittenberg, R. H. and Nolte, L. P. (2000). "Load-sharing characteristics of stabilized lumbar spine segments." Spine **25**: 170-9.
39. Crock, H. V. (1976). "Observations on the management of failed spinal operations." J Bone Joint Surg [Br] **58**: 193-9.
40. Crock, H. V. (1986). "Internal disc disruption: A challenge to disc prolapse fifty years on." Spine **11**: 650-653.
41. Cunningham, B. W., Seftor, J. C., Shono, Y. and McAfee, P. C. (1993). "Static and cyclical biomechanical analysis of pedicle screw spinal constructs." Spine **18**: 1677-88.
42. Dennis, S., Watkins, R., Landaker, S., Dillin, W. and Springer, D. (1989). "Comparison of disc space heights after anterior lumbar interbody fusion." Spine **14**: 876-8.
43. Dewald, C. J., Millikan, K. W., Hammerberg, K. W., Doolas, A. and Dewald, R. L. (1999). "An open, minimally invasive approach to the lumbar spine." Am Surg **65**: 61-8.
44. DeWald, R. L., Faut, M. M., Taddonio, R. F. and Neuwirth, M. G. (1981). "Severe lumbosacral spondylolisthesis in adolescents and children. Reduction and staged circumferential fusion." J Bone Joint Surg [Am] **63**: 619-26.
45. Dick, W. (1987). "The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery." Spine **12**: 882-900.
46. Dörner, J. (1995). "Die "Spondylodese" bei lumbal einfach oder mehrfach voroperierten Patienten als Therapie der Wahl?" Orthop Praxis **31**: 836-843.
47. Esses, S. I., Sachs, B. L. and Dreyzin, V. (1993). "Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members." Spine **18**: 2231-8; discussion 2238-9.
48. Fairbank, J. C., Couper, J., Davies, J. B. and O'Brien, J. P. (1980). "The Oswestry low back pain disability questionnaire." Physiotherapy **66**: 271-3.
49. Finnegan, W. J., Fenlin, J. M., Marvel, J. P., Nardini, R. J. and Rothman, R. H. (1979). "Results of surgical intervention in the symptomatic multiply-operated

- back patient. Analysis of sixty-seven cases followed for three to seven years." J Bone Joint Surg [Am] **61**: 1077-82.
50. Fischgrund, J. S., Mackay, M., Herkowitz, H. N., Brower, R., Montgomery, D. M. and Kurz, L. T. (1997). "1997 Volvo Award winner in clinical studies. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: a prospective, randomized study comparing decompressive laminectomy and arthrodesis with and without spinal instrumentation." Spine **22**: 2807-12.
 51. Flynn, J. C. and Hoque, M. A. (1979). "Anterior fusion of the lumbar spine. End-result study with long-term follow-up." J Bone Joint Surg [Am] **61**: 1143-50.
 52. Fraser, R. D. (1982). "A wide muscle-splitting approach to the lumbosacral spine." J Bone Joint Surg [Br] **64**: 44-6.
 53. Fraser, R. D. (1995). "Interbody, posterior, and combined lumbar fusions." Spine **20**: 167S-177S.
 54. Fredrickson, B. E., Baker, D., McHolick, W. J., Yuan, H. A. and Lubicky, J. P. (1984). "The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis." J Bone Joint Surg [Am] **66**: 699-707.
 55. Freebody, D., Bendall, R. and Taylor, R. D. (1971). "Anterior transperitoneal lumbar fusion." J Bone Joint Surg [Br] **53**: 617-27.
 56. Frick, H., Leonhardt, H. and Starck, D. (1992). Wirbelsäule. Allgemeine Anatomie, Spezielle Anatomie I. Stuttgart, Thieme Verlag: 454-479.
 57. Frymoyer, J. W., Hanley, E., Howe, J., Kuhlmann, D. and Matteri, R. (1978). "Disc excision and spine fusion in the management of lumbar disc disease. A minimum ten-year followup." Spine **3**: 1-6.
 58. Frymoyer, J. W., Hanley, E. N., Jr., Howe, J., Kuhlmann, D. and Matteri, R. E. (1979). "A comparison of radiographic findings in fusion and nonfusion patients ten or more years following lumbar disc surgery." Spine **4**: 435-40.
 59. Frymoyer, J. W., Matteri, R. E., Hanley, E. N., Kuhlmann, D. and Howe, J. (1978). "Failed lumbar disc surgery requiring second operation. A long-term follow-up study." Spine **3**: 7-11.

60. Frymoyer, J. W., Pope, M. H., Clements, J. H., Wilder, D. G., MacPherson, B. and Ashikaga, T. (1983). "Risk factors in low-back pain. An epidemiological survey." J Bone Joint Surg [Am] **65**: 213-8.
61. Frymoyer, J. W., Pope, M. H., Costanza, M. C., Rosen, J. C., Goggin, J. E. and Wilder, D. G. (1980). "Epidemiologic studies of low-back pain." Spine **5**: 419-23.
62. Gaines, R. W. and Nichols, W. K. (1985). "Treatment of spondylolisthesis by two stages L5 vertebrectomy and reduction of L4 onto S1." Spine **10**: 680-686.
63. Gertzbein, S. D., Betz, R., Clements, D., Errico, T., Hammerberg, K., Robbins, S., Shepherd, E., Weber, A., Kerina, M., Albin, J., Wolk, D. and Ensor, K. (1996). "Semirigid instrumentation in the management of lumbar spinal conditions combined with circumferential fusion. A multicenter study." Spine **21**: 1918-25; discussion 1925-6.
64. Gill, G. G., Manning, J. G. and White, H. L. (1955). "Surgical treatment of spondylolisthesis without spinal fusion." J Bone Joint Surg [Am] **37**: 493-520.
65. Glassman, S. D., Dimar, J. R., Puno, R. M. and Johnson, J. R. (1996). "Salvage of instrumental lumbar fusions complicated by surgical wound infection." Spine **21**: 2163-9.
66. Glassman, S. D., Dimar, J. R., Puno, R. M., Johnson, J. R., Shields, C. B. and Linden, R. D. (1995). "A prospective analysis of intraoperative electromyographic monitoring of pedicle screw placement with computed tomographic scan confirmation." Spine **20**: 1375-9.
67. Gotfried, Y., Bradford, D. S. and Oegema, T. R. j. (1986). "Facet joint changes after chemonucleolysis-induced disc space narrowing." Spine **11**: 944-950.
68. Greenough, C. G., Peterson, M. D., Hadlow, S. and Fraser, R. D. (1998). "Instrumented posterolateral lumbar fusion. Results and comparison with anterior interbody fusion." Spine **23**: 479-86.
69. Greenough, C. G., Taylor, L. J. and Fraser, R. D. (1994). "Anterior lumbar fusion: results, assessment techniques and prognostic factors." Eur Spine J **3**: 225-30.
70. Grifka, J., Broll-Zeitvogel, E. and Anders, S. (1999). "[Injection therapy in lumbar syndromes]." Orthopade **28**: 922-31.

71. Guigui, P., Lambert, P., Lassale, B. and Deburge, A. (1997). "[Long-term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis]." Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot **83**: 685-96.
72. Guyer, D. W., Wiltse, L. L. and Peek, R. D. (1988). "The Wiltse pedicle screw fixation system." Orthopedics **11**: 1455-60.
73. Hadra, B. E. (1891). "Wiring of the spinous process in Pott's Disease." Trans Am Orthop Ass **4**: 206.
74. Hähnel, H., Muschik, M., Zippel, H. and Gutsche, H. (1991). "Lumbale Segment-spondylodese - isoliert ventral oder kombiniert dorsoventral? - Ein Ergebnisvergleich." Z Orthop Ihre Grenzgeb **129**: 197-203.
75. Hanley, E. N. J. and Shapiro, D. E. (1989). "The development of low back pain after excision of a lumbar disc." J Bone Joint Surg [Am] **71**: 719-721.
76. Harmon, P. H. (1960). "Anterior extraperitoneal lumbar disc excision and vertebral body fusion." Clin Orthop **18**: 169.
77. Harmon, P. H. (1963). "Anterior excision and vertebral body fusion operation for intervertebral disc syndroms of the lower lumbar spine: three to five-year results in 244 cases." Clin Orthop **26**: 107-127.
78. Harms, J., Boehm, H. and Zielke, K. (1991). Surgical treatment of spondylolisthesis: The Harms Technique. Textbook of spinal surgery. K. H. Bridwell and R. L. DeWald. Philadelphia, Lippincott Comp.: 585-592.
79. Harms, J., Jeszensky, D. and Stoltze, D. (1995). Die operative Behandlung der degenerativen Spondylolisthese. K. A. Matzen: 73-81.
80. Harrington, P. R. (1967). "Instrumentation in spine instability other than scoliosis." S Afr J Surg **5**: 7-12.
81. Harris, I. E. and Weinstein, S. L. (1987). "Long-term follow-up of patients with grade-III and IV spondylolisthesis. Treatment with and without posterior fusion." J Bone Joint Surg [Am] **69**: 960-9.
82. Hefti, F., Seelig, W. and Morscher, E. (1992). "Repair of lumbar spondylolysis with a hook-screw." Int Orthop **16**: 81-5.
83. Hibbs, R. H. (1911). "An operation for progressive spinal deformities." New York Med J **93**: 1013-6.

84. Hodgson, A. R. and Stock, F. E. (1960). "Anterior spinal fusion: the operative approach and pathological findings in 412 patients with Pott's disease of the spine." Br J Surg **48**: 172.
85. Horowitch, A., Peek, R. D., Thomas, J. C., Jr., Widell, E. H., Jr., DiMartino, P. P., Spencer, C. W. d., Weinstein, J. and Wiltse, L. L. (1989). "The Wiltse pedicle screw fixation system. Early clinical results." Spine **14**: 461-7.
86. Howe, J. and Frymoyer, J. W. (1985). "The effects of questionnaire design on the determination of end results in lumbar spinal surgery." Spine **10**: 804-5.
87. Humphries, A., Hawk, W. A. and Berndt, A. L. (1961). "Anterior interbody fusion of lumbar vertebrae: a surgical technique." Surg Clin North America **41**: 1685-1700.
88. Hurxthal, L. M. (1968). "Measurement of anterior vertebral compressions and biconcave vertebrae." Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med **103**: 635-44.
89. Iwahara, T. (1944). "A new method of vertebral body fusion." Surgery(Japan) **8**: 271.
90. Jaslow, I. A. (1946). "Intercorporal bone graft in spinal fusion after disc removal." Surg Gynec Obstet **82**: 215-218.
91. Jenkins, J. A. (1936). "Spondylolisthesis." British J Surg **24**: 80-85.
92. Johnson, J. R. and Kirwan, E. O. (1983). "The long-term results of fusion in situ for severe spondylolisthesis." J Bone Joint Surg [Br] **65**: 43-46.
93. Junghanns (1951). "Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheiben als Grundlage für klinische Betrachtungen." Langenbecks Arch Dtsch Z Chir **267**: 393-417.
94. Kaneda, K., Abumi, K. and Fujiya, M. (1984). "Burst fractures with neurologic deficits of the thoracolumbar-lumbar spine." Spine **9**: 788-795.
95. Kelsey, J. L. and Hardy, R. J. (1975). "Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc." Am J Epidemiol **102**: 63-73.
96. Kimura, M. (1968). "[My method of filling the lesion with spongy bone in spondylolysis and spondylolistesis]." Seikei Geka **19**: 285-96.
97. King, D. (1944). "Internal fixation of lumbosacral fusion." Am J Surg **66**: 357-361.

98. Kirkaldy-Willis, W. H. and Hill, R. J. (1979). "A more precise diagnosis for low-back pain." Spine **4**: 102-9.
99. Kirkaldy-Willis, W. H., Paine, K. W., Cauchoix, J. and McIvor, G. (1974). "Lumbar spinal stenosis." Clin Orthop **99**: 30-50.
100. Kirkaldy-Willis, W. H., Wedge, J. H., Yong-Hing, K. and Reilly, J. (1978). "Pathology and pathogenesis of lumbar spondylosis and stenosis." Spine **3**: 319-28.
101. Kirkaldy-Willis, W. H., Wedge, J. H., Yong-Hing, K., Tchang, S., de Korompay, V. and Shannon, R. (1982). "Lumbar spinal nerve lateral entrapment." Clin Orthop **169**: 171-8.
102. Kluger, P. and Gerner, H. J. (1986). "[Mechanical principle of external fixation for dorsal stabilization of thoracic and lumbar vertebrae]." Unfallchirurgie **12**: 68-79.
103. Kozak, J. A., Heilman, A. E. and O'Brien, J. P. (1994). "Anterior lumbar fusion options. Technique and graft materials." Clin Orthop **300**: 45-51.
104. Kozak, J. A. and O'Brien, J. P. (1990). "Simultaneous combined anterior and posterior fusion. An independent analysis of a treatment for the disabled low-back pain patient." Spine **15**: 322-8.
105. Krag, M. H., Fredrickson, B. and Yuan, H. (1990). Biomechanics of transpedicle spinal fixation. The Lumbar Spine. J. Weinstein and S. W. Wiesel. Philadelphia, WB Saunders: 916-940.
106. Krag, M. H., Van Hal, M. E. and Beynon, B. D. (1989). "Placement of transpedicular vertebral screws close to anterior vertebral cortex. Description of methods." Spine **14**: 879-83.
107. Kummer, B. (1991). Biomechanische Aspekte der Instabilität der Wirbelsäule. Instabile Wirbelsäule. G. A. Fuchs. Stuttgart, Thieme: 8-14.
108. Kuslich, S. D., Danielson, G., Dowdle, J. D., Sherman, J., Fredrickson, B., Yuan, H. and Griffith, S. L. (2000). "Four-year follow-up results of lumbar spine arthrodesis using the Bagby and Kuslich lumbar fusion cage." Spine **25**: 2656-62.
109. Lane, J. D. J. and Moore, E. S. J. (1948). "Transperitoneal approach to the intervertebral disc in the lumbar area." Ann Surg **127**: 537-551.
110. Lange, F. (1910). "Support for the spondylitic spine by means of buried steel bars attached to the vertebrae." Am J Orthop Surg **8**: 344.

111. LaRocca, H. S. (1990). Failed lumbar surgery. The lumbar spine. J. Weinstein and S. Wiesel. Philadelphia, WB Saunders: 872-881.
112. Lee, C. K. and Langrana, N. A. (1984). "Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study." Spine **9**: 574-81.
113. Lehmann, T. R. and LaRocca, H. S. (1981). "Repeat lumbar surgery. A review of patients with failure from previous lumbar surgery treated with spinal canal exploration and lumbar spinal fusion." Spine **6**: 615-619.
114. Lehmann, T. R., Spratt, K. F., Tozzi, J. E., Weinstein, J. N., Reinartz, S. J., el-Khoury, G. Y. and Colby, H. (1987). "Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients." Spine **12**: 97-104.
115. Little, D. G. and MacDonald, D. (1994). "The use of the percentage change in Oswestry Disability Index score as an outcome measure in lumbar spinal surgery." Spine **19**: 2139-43.
116. Loguidice, V. A., Johnson, R. G., Guyer, R. D., Stith, W. J., Ohnmeiss, D. D., Hochschuler, S. H. and Rashbaum, R. F. (1988). "Anterior lumbar interbody fusion." Spine **13**: 366-9.
117. Louis, R. (1986). "Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates." Clin Orthop **203**: 18-33.
118. Louis, R., Tropiano, P. and Nazarian, S. (1990). "Traitement chirurgical des spondylolisthesis a grand déplacement par la technique de la reduction-fusion par double abord." Rachis **2**: 449-460.
119. Luque, E. R. (1986). "Segmental spinal instrumentation of the lumbar spine." Clin Orthop **203**: 126-34.
120. Luque, E. R. and Rapp, G. F. (1988). "A new semirigid method for interpedicular fixation of the spine." Orthopedics **11**: 1445-50.
121. Mardjetko, S. M., Connolly, P. J. and Shott, S. (1994). "Degenerative lumbar spondylolisthesis. A meta-analysis of literature 1970-1993 [see comments]." Spine **19**: 2256S-2265S.
122. Matzen, K. A. (1989). "Die ventrale interligamentäre-interkorporelle Spondylodese bei der Spondylolisthesis." Z Orthop Ihre Grenzgeb **127**: 39-46.

123. Matzen, K. A. and Külz, F. (1992). Ergebnisse der ventralen interligamentären Distraktionsspondylodese bei lumbaler Osteochondrose. Wirbelsäulen Chirurgie II. K. A. Matzen, Georg-Thieme Verlag: 106-115.
124. Mayer, H. M. (1997). "A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion." Spine **22**: 691-9; discussion 700.
125. Mayer, H. M. and Wiechert, K. (1998). "Ventrale Fusionsoperationen an der Lendenwirbelsäule. Mikrochirurgische Techniken." Orthopäde **27**: 466-476.
126. Mayer, T. G., Gatchel, R. J., Kishino, N., Keeley, J., Mayer, H., Capra, P. and Mooney, V. (1986). "A prospective short-term study of chronic low back pain patients utilizing novel objective functional measurement." Pain **25**: 53-68.
127. McAfee, P. C., Farey, I. D., Sutterlin, C. E., Gurr, K. R., Warden, K. E. and Cunningham, B. W. (1989). "1989 Volvo Award in basic science. Device-related osteoporosis with spinal instrumentation." Spine **14**: 919-26.
128. McAfee, P. C., Regan, J. J., Geis, W. P. and Fedder, I. L. (1998). "Minimally invasive anterior retroperitoneal approach to the lumbar spine. Emphasis on the lateral BAK." Spine **23**: 1476-84.
129. McGuire, R. A. and Amundson, G. M. (1993). "The use of primary internal fixation in spondylolisthesis." Spine **18**: 1662-72.
130. Meyerding, H. W. (1932). "Spondylolisthesis: Surgical treatment and results." Surg Gynecol Obstet **54**: 371-7.
131. Nachemson, A., Zdeblick, T. A. and O'Brien, J. P. (1996). "Lumbar disc disease with discogenic pain. What surgical treatment is most effective?" Spine **21**: 1835-8.
132. Nazarian, S. (1992). "Spondylolysis and spondylolytic spondylolisthesis." Eur Spine J **1**: 62-83.
133. Newman, P. H. (1963). "The etiology of spondylolisthesis." J Bone Joint Surg [Br] **45**: 39-59.
134. Obenchain, T. G. (1991). "Laparoscopic lumbar discectomy: case report." J Laparoendosc Surg **1**: 145-9.
135. O'Brien, J. P., Dawson, M. H., Heard, C. W., Momberger, G., Speck, G. and Weatherly, C. R. (1986). "Simultaneous combined anterior and posterior fusion.

- A surgical solution for failed spinal surgery with a brief review of the first 150 patients." Clin Orthop **203**: 191-5.
136. Olmarker, K., Rydevik, B. and Nordborg, C. (1993). "Autologous nucleus pulposus induces neurophysiologic and histologic changes in porcine cauda equina nerve roots." Spine **18**: 1425-1432.
 137. Penta, M., Sandhu, A. and Fraser, R. D. (1995). "Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion." Spine **20**: 743-7.
 138. Pfeiffer, M., Griss, P., Haake, M., Kienapfel, H. and Billion, M. (1996). "Standardized evaluation of long-term results after anterior lumbar interbody fusion." Eur Spine J **5**: 299-307.
 139. Pfeiffer, M., Hoffman, H., Goel, V. K., Weinstein, J. N. and Griss, P. (1997). "In vitro testing of a new transpedicular stabilization technique." Eur Spine J **6**: 249-55.
 140. Pröbstl, O. (1995). "Intraoperative Neurostimulation über Pedikelschraubenzur Vermeidung neurologischer Komplikationen bei Fixateur-interne-Implantationen." Orthop. Praxis **31**: 398-401.
 141. Rang, H. P., Bevan, S. and Dray, A. (1991). "Chemical activation of nociceptive peripheral neurons." Br Med Bull **47**: 534-548.
 142. Rohlmann, A., Bergmann, G., Graichen, F. and Neff, G. (1999). "Braces do not reduce loads on internal spinal fixation devices." Clin Biomech (Bristol, Avon) **14**: 97-102.
 143. Rohlmann, A., Graichen, F., Weber, U. and Bergmann, G. (2000). "2000 volvo award winner in biomechanical studies: monitoring In vivo implant loads with a telemeterized internal spinal fixation device." Spine **25**: 2981-6.
 144. Rombold, C. (1965). "Spondylolysis: A complication of spinal fusion." J Bone Joint Surg Am **47**: 1237.
 145. Roy-Camille, R., Roy-Camille, M. and Demeulenaere, C. (1970). "[Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses]." Presse Med **78**: 1447-8.

146. Roy-Camille, R., Saillant, G. and Mazel, C. (1986). "Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating." Clin Orthop **203**: 7-17.
147. Rupp, R., Ebraheim, N. A., Savolaine, E. R. and Jackson, W. T. (1993). "Magnetic resonance imaging evaluation of the spine with metal implants. General safety and superior imaging with titanium." Spine **18**: 379-85.
148. Schultz, A., Andersson, G., Ortengren, R., Haderspeck, K. and Nachemson, A. (1982). "Loads on the lumbar spine. Validation of a biomechanical analysis by measurements of intradiscal pressures and myoelectric signals." J Bone Joint Surg [Am] **64**: 713-20.
149. Schulze, C. J., Munzinger, E. and Weber, U. (1998). "Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement. A computed tomographic-supported analysis." Spine **23**: 2215-20; discussion 2220-1.
150. Schwab, F. J., Nazarian, D. G., Mahmud, F. and Michelsen, C. B. (1995). "Effects of spinal instrumentation on fusion of the lumbosacral spine." Spine **20**: 2023-8.
151. Schwarzenbach, O., Berlemann, U., Jost, B., Visarius, H., Arm, E., Langlotz, F., Nolte, L. P. and Ozdoba, C. (1997). "Accuracy of computer-assisted pedicle screw placement. An in vivo computed tomography analysis." Spine **22**: 452-8.
152. Seitsalo, S. (1990). "Operative and conservative treatment of moderate spondylolisthesis in young patients." J Bone Joint Surg [Br] **72**: 908-13.
153. Seitsalo, S., Osterman, K., Hyvarinen, H., Schlenzka, D. and Poussa, M. (1990). "Severe spondylolisthesis in children and adolescents. A long-term review of fusion in situ." J Bone Joint Surg [Br] **72**: 259-65.
154. Simmons, J. W., Andersson, G. B., Russell, G. S. and Hadjipavlou, A. G. (1998). "A prospective study of 342 patients using transpedicular fixation instrumentation for lumbosacral spine arthrodesis." J Spinal Disord **11**: 367-74.
155. Stauffer, R. N. and Coventry, M. B. (1972). "Anterior interbody lumbar spine fusion. Analysis of Mayo Clinic series." J Bone Joint Surg [Am] **54**: 756-68.
156. Steffee, A. D., Biscup, R. S. and Sitkowski, D. J. (1986). "Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine." Clin Orthop **203**: 45-53.

157. Steffee, A. D. and Brantigan, J. W. (1993). "The variable screw placement spinal fixation system. Report of a prospective study of 250 patients enrolled in Food and Drug Administration clinical trials." Spine **18**: 1160-72.
158. Stempel, A. v. (1994). "Der pararektale, retroperitoneale Zugang zum Promontorium bei Kombinationseingriffen." Operat. Orthop. Traumatol. **6**: 176-182.
159. Tiusanen, H., Seitsalo, S., Osterman, K. and Soini, J. (1996). "Anterior interbody lumbar fusion in severe low back pain." Clin Orthop **324**: 153-63.
160. Turner, J. A., Ersek, M., Herron, L., Haselkorn, J., Kent, D., Ciol, M. and Deyo, R. (1992). "Patient outcomes after lumbar spinal fusions." JAMA **268**: 907-911.
161. Turner, R. H. and Bianco, A. J., Jr. (1971). "Spondylolysis and spondylolisthesis in children and teen-agers." J Bone Joint Surg [Am] **53**: 1298-306.
162. Undeutsch, K., Küpper, R. and Löwenthal, I. (1982). "Arbeitsmedizinische Untersuchungen über Ladearbeiten auf einem Großflughafen." Int Arch Occup Environ Health **50**: 59-75.
163. Vanharanta, H., Sachs, B. L. and Spivey, M. (1988). "A comparison of CT/discography, pain response and radiographic disc height." Spine **13**: 321-324.
164. Waddell, G., Kummel, E. G., Lotto, W. N., Graham, J. D., Hall, H. and McCulloch, J. A. (1979). "Failed lumbar disc surgery and repeat surgery following industrial injuries." J Bone Joint Surg [Am] **61**: 201-7.
165. Watkins, M. B. (1953). "Posterolateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine." J Bone Joint Surg [Am] **35**: 1014.
166. Watkins, R. (1992). "Anterior lumbar interbody fusion surgical complications." Clin Orthop **284**: 47-53.
167. Weatherley, C. R., Prickett, C. F. and O'Brien, J. P. (1986). "Discogenic pain persisting despite solid posterior fusion." J Bone Joint Surg [Br] **68**: 142-3.
168. West, J. L. d., Bradford, D. S. and Ogilvie, J. W. (1991). "Results of spinal arthrodesis with pedicle screw-plate fixation." J Bone Joint Surg [Am] **73**: 1179-84.
169. West, J. L. d., Ogilvie, J. W. and Bradford, D. S. (1991). "Complications of the variable screw plate pedicle screw fixation." Spine **16**: 576-9.
170. Wetzell, F. T. and LaRocca, H. (1991). "The failed posterior lumbar interbody fusion." Spine **16**: 839-45.

171. Whitecloud, T. S., 3rd, Castro, F. P., Jr., Brinker, M. R., Hartzog, C. W., Jr., Ricciardi, J. E. and Hill, C. (1998). "Degenerative conditions of the lumbar spine treated with intervertebral titanium cages and posterior instrumentation for circumferential fusion." J Spinal Disord **11**: 479-86.
172. Whitecloud, T. S. d., Butler, J. C., Cohen, J. L. and Candelora, P. D. (1989). "Complications with the variable spinal plating system." Spine **14**: 472-6.
173. Wiltberger, B. R. (1957). "The dowel intervertebral-body fusion as used in lumbar disc surgery." J Bone Joint Surg [Am] **39**: 284-291.
174. Wiltse, L. L., Bateman, J. G., Hutchinson, R. H. and Nelson, W. E. (1968). "The paraspinal sacrospinalis-splitting approach to the lumbar spine." J Bone Joint Surg [Am] **50**: 919-26.
175. Wiltse, L. L., Newman, P. H. and Macnab, I. (1976). "Classification of spondylolysis and spondylolisthesis." Clin Orthop **117**: 23-9.
176. Wood, G. W., 2nd, Boyd, R. J., Carothers, T. A., Mansfield, F. L., Rechtine, G. R., Rozen, M. J. and Sutterlin, C. E., 3rd (1995). "The effect of pedicle screw/plate fixation on lumbar/lumbosacral autogenous bone graft fusions in patients with degenerative disc disease." Spine **20**: 819-30.
177. Yoshizawa, H., O'Brien, J. P., Smith, W. T. and Trumper, M. (1980). "The neuropathology of intervertebral discs removed for low back pain." J Pathol **132**: 95-104.
178. Yuan, H. A., Garfin, S. R., Dickman, C. A. and Mardjetko, S. M. (1994). "A Historical Cohort Study of Pedicle Screw Fixation in Thoracic, Lumbar, and Sacral Spinal Fusions." Spine **19**: 2279S-2296S.
179. Zdeblick, T. A. (1993). "A prospective, randomized study of lumbar fusion. Preliminary results [see comments]." Spine **18**: 983-91.
180. Zdeblick, T. A. (1995). "The treatment of degenerative lumbar disorders. A critical review of the literature." Spine **20**: 126S-137S.
181. Zdeblick, T. A. and David, S. M. (2000). "A prospective comparison of surgical approach for anterior L4-L5 fusion: laparoscopic versus mini anterior lumbar interbody fusion." Spine **25**: 2682-7.

182. Zielke, K. (1982). "Ventrale Derotationsspondylose. Behandlungsergebnisse bei idiopathischen Lumbalskoliosen." Z Orthop Ihre Grenzgeb **120**: 320-329.
183. Zindrick, M. R., Wiltse, L. L., Widell, E. H., Thomas, J. C., Holland, W. R., Field, B. T. and Spencer, C. W. (1986). "A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine." Clin Orthop **203**: 99-112.
184. Zucherman, J., Hsu, K., Picetti, G., 3rd, White, A., Wynne, G. and Taylor, L. (1992). "Clinical efficacy of spinal instrumentation in lumbar degenerative disc disease." Spine **17**: 834-7.
185. Zucherman, J., Hsu, K., White, A. and Wynne, G. (1988). "Early results of spinal fusion using variable spine plating system." Spine **13**: 570-9.
186. Zucherman, J. F., Zdeblick, T. A., Bailey, S. A., Mahvi, D., Hsu, K. Y. and Kohrs, D. (1995). "Instrumented laparoscopic spinal fusion. Preliminary Results." Spine **20**: 2029-34;discussion 2034-5.

7. Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ABS	American Back Society
ALIF	„anterior lumbar intervertebral fusion“, ventrale, intersomatische Fusion
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
a.p.	anterior-posterior
BMI	„body mass index“, Körpergewicht [kg]:Körpergröße[m] ²
BWS	Brustwirbelsäule
CD	Cotrel-Dubousset
CT	Computertomographie
EK	Erythrozytenkonzentrat
FBSS	„failed back surgery syndrome“
FDA	„Food and Drug Administration“, Gesundheitsaufsichtsbehörde der USA
FFP	„fresh frozen plasma“
FSU	„Functional spinal unit“
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
L4/L5	Wirbelsäulenbewegungssegment zwischen dem 4. und 5. Lendenwirbel
Lig.	Ligamentum
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
Max	Maximum
Min	Minimum
Mo	Molybdän
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
N.	Nervus
NASS	„North American Spine Society“
Ni	Nickel
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
ODI	„Oswestry Pain Disability Index“-Score

ΔODI	relative, prozentuale Änderung des ODI postoperativ zu präoperativ
PLIF	„posterior lumbar intervertebral fusion“, dorsale, intersomatische Fusion
PNS	Postnukleotomiesyndrom
SA	Standardabweichung
SWK	Sakralwirbelkörper
Tab.	Tabelle
Ti	Titan
vs.	versus
VSP	„variable spine plating“-System

8. Danksagung

Die vorliegende Arbeit basiert auf Patientenuntersuchungen aus dem Jahre 1999 an der I. Orthopädischen Klinik der Hessing-Stiftung in Augsburg (Leitung Prof. Dr. Dr. K. A. Matzen).

Herrn Prof. Dr. K. A. Matzen möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit danken, die Patientenuntersuchungen an seiner Klinik durchführen zu können. Von ihm habe ich mein erstes Rüstzeug für die Orthopädie und die Wirbelsäulenchirurgie erlernt, von dem ich bis heute immer wieder profitiere. Auch waren seine Anmerkungen im Rahmen der Manuskripterstellung sehr hilfreich und konstruktiv. Bei ihm konnte ich mein Interesse für die Orthopädie weiter entwickeln und erhielt einen guten Einblick in die Breite des Fachgebietes. Das definitive Ziel, die Facharztausbildung Orthopädie zu absolvieren, hat sich in dieser Phase meiner Ausbildung endgültig gefestigt.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Dr. J. Otto für die zwischenzeitliche Betreuung der Arbeit, die Korrekturvorschläge und die neuen Blickwinkel in der Auswertung der großen Datenmengen der Patienten.

Eine lange Zeit des Wartens bis zur Fertigstellung dieser Arbeit mussten meine Eltern erdulden. Dafür und für die Ermöglichung meines Studiums haben sie einen besonderen Dank verdient. Hoffentlich werden sie, wenn auch als medizinische Laien, einen Blick in diese Arbeit werfen und die damit verbundenen Mühen erkennen.

Mein größter Dank gilt jedoch dem wichtigsten Menschen in meinem Leben, der diese Arbeit in ihrer Entstehung von Anfang an mit erleben und erleiden musste, meiner Frau Diana Ballhausen. Sie hat mich immer wieder zur Fortsetzung der Arbeit motiviert, mir die nötige Kraft für die Fertigstellung gegeben, mich zwischenzeitlich von meinen Familienpflichten entbunden und die Betreuung unseres Sohnes größtenteils allein übernommen. Wertvolle Tipps bei der Auswertung und Manuskripterstellung trug sie ebenfalls bei, auch wenn (oder gerade weil) sie als fachfremde Medizinerin (Pädiatrie) eine andere Sichtweise für orthopädische Problemstellungen hatte.

Gewidmet ist diese Arbeit deshalb auch meiner kleinen Familie, welche die mit der Erstellung der Arbeit verbundenen Verzichte meist klaglos ertragen hat. Besonders denke ich neben meiner Frau natürlich dabei an meinen behinderten Sohn Julian, der mir durch seine Herzlichkeit und Fröhlichkeit immer wieder neue Kraft zum Leben gibt.

Zollikon (CH), 2004

9. Lebenslauf

Angaben zur Person:

Name: Tobias Alois Ballhausen
 Anschrift: Gustav-Maurer-Str. 15 B
 CH-8702 Zollikon
 Tel.: 0041-1-3901844
 Geburtsdatum: 06.03.1971
 Geburtsort: Duderstadt
 Familienstand: verheiratet, 1 Sohn (Julian Dominik, geb. 24.06.2002)
 Nationalität: deutsch
 Religion: römisch-katholisch

Schulbildung:

1977-12/78 Grundschule „Haarentor“, Oldenburg
 1/79-1981 Grundschule Bovenden
 1981-1983 Orientierungsstufe Bovenden
 1983-1990 Theodor-Heuss-Gymnasium, Göttingen
 Abschluß: Allgemeine Hochschulreife, Note: 1,8

Wehrdienst:

07/90-06/91 Sanitätssoldat in Marburg und Göttingen

Berufsausbildung:

10/91-10/97 Georg-August-Universität Göttingen, Studium: Humanmedizin
 10/97 Ärztliche Prüfung
 12/97-05/99 Tätigkeit als Arzt im Praktikum
 01.06.99 Approbation als Arzt

Berufserfahrung:

12/97-08/99 Arzt im Praktikum und Assistenzarzt I. Orthopädische Klinik der Hessing-Stiftung, Augsburg
 09/99-08/00 Assistenzarzt Chirurgie, Städtisches Krankenhaus Bobingen
 10/00-09/01 Assistenzarzt Orthopädie, Orthopädische Gemeinschaftspraxis Drs. med. Siekmann, Theermann und Hartwig, Hamburg
 Seit 11/01 Assistenzarzt Orthopädie Uniklinik Balgrist, Zürich (CH)

Zollikon (CH), 2004