

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. Dipl. Ing. Volkmar Jansson



Langzeitergebnisse nach ein- und mehrsegmentalen Spondylodesen der Lenden- wirbelsäule mit Pedikelschrauben

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

vorgelegt von
Boris Michael Holzapfel

aus München

2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Christoph von
Schulze-Pellengahr

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Stefan Zausinger
Prof. Dr. Gerold Stucki

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. M. Reiser,
FACR

Tag der mündlichen Prüfung: 13.11.2008

meinen Eltern

Oresia und Erwin Holzapfel

meiner Oma

Justina Hawaleschka

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	7
1.1	EPIDEMIOLOGIE DES RÜCKENSCHMERZES.....	7
1.2	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	8
2	GRUNDLAGEN	10
2.1	ANATOMIE DER LENDENWIRBELSÄULE	10
2.2	BIOMECHANIK DER LENDENWIRBELSÄULE	17
2.3	INDIKATIONEN FÜR LUMBALE SPONDYLODESEN	21
2.3.1	<i>Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen</i>	21
2.3.2	<i>Spondylolisthesis</i>	22
2.3.3	<i>Spinalkanalstenose</i>	26
2.3.4	<i>Postnukleotomiesyndrom</i>	27
2.4	FUSIONSTECHNIKEN.....	28
2.4.1	<i>Historisches</i>	30
2.4.2	<i>Dorsale Fusionsverfahren</i>	31
2.4.3	<i>Ventrale Fusionsverfahren</i>	32
3	PATIENTEN UND METHODEN	34
3.1	STUDIENDESIGN.....	34
3.2	PATIENTENGUT	34
3.3	STUDIENABLAUF	35
3.3.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	36
3.3.2	<i>Anamnese</i>	37
3.3.3	<i>Bildgebende Verfahren</i>	41
3.3.4	<i>Statistik</i>	45
4	ERGEBNISSE	46
4.1	PATIENTEN- UND OPERATIONSDATEN	46
4.1.1	<i>Antropometrische Daten</i>	46
4.1.2	<i>Diagnosen</i>	47
4.1.3	<i>Operationsdaten</i>	53
4.2	ANAMNESTISCHE DATEN UND KLINISCHE BEFUNDE	58

4.2.1	<i>Neurologie</i>	58
4.2.2	<i>Schmerz</i>	59
4.2.3	<i>Einschränkungen im Alltag</i>	62
4.2.4	<i>Beurteilung des Operationsergebnisses</i>	69
4.3	AUSWERTUNG DER FRAGEBÖGEN	71
4.3.1	<i>Oswestry-Disability-Score</i>	71
4.3.2	<i>SF-36</i>	73
4.4	BEFUNDE DER BILDGEBENDEN DIAGNOSTIK	76
4.4.1	<i>Fusion</i>	76
4.4.2	<i>Sagittales Alignment</i>	76
4.4.3	<i>Beurteilung der Nachbarsegmente</i>	77
4.5	KORRELATION ZWISCHEN KLINISCHEM UND RADIOLOGISCHEM ERGEBNIS	80
4.6	ANALYSE VON PRÄDIKTOREN	81
4.6.1	<i>VAS</i>	81
4.6.2	<i>ODS</i>	81
4.6.3	<i>Nachbarsegmente</i>	82
5	DISKUSSION	82
5.1	LIMITATIONEN	82
5.2	KLINISCHE ERGEBNISSE	84
5.2.1	<i>Allgemeines</i>	84
5.2.2	<i>Neurologische Symptomatik</i>	85
5.2.3	<i>Schmerzsituation</i>	87
5.2.4	<i>Funktionelles Ergebnis</i>	88
5.2.5	<i>Allgemeiner Gesundheitszustand</i>	91
5.2.6	<i>Subjektive Erfolgseinschätzung</i>	92
5.3	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE	94
5.3.1	<i>Fusions-/Pseudarthroseraten</i>	94
5.3.2	<i>Sagittales Alignment</i>	95
5.3.3	<i>Nachbarsegmente</i>	96
5.4	PRÄDIKTOREN	98
6	ZUSAMMENFASSUNG	99

7	ANHANG	102
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	110
9	DANKSAGUNG	130
10	LEBENS LAUF	131

1 EINLEITUNG

1.1 Epidemiologie des Rückenschmerzes

Rückenschmerzen gehören neben Kopfschmerzen zu den häufigsten Ursachen einer Langzeitbehinderung. Sie sind ein in allen Bevölkerungsschichten und Kulturen, vor allem aber in den Industriestaaten weit verbreitetes Leiden mit vielfältigen Ursachen. Neben anatomisch-pathologischen Gründen spielen auch psychologische und soziale Faktoren eine wichtige Rolle bei deren Genese [1]. In den Industrienationen geben über 50% der arbeitenden Bevölkerung an, dass sie im vergangenen Jahr an Rückenschmerzen gelitten haben [2-4]. Die Lebenszeitprävalenz dieser Schmerzen erreicht sogar annähernd die 90%-Marke [5;6].

Je nach Grad der Erkrankung bedeuten Rückenschmerzen nicht nur eine erhebliche Beeinträchtigung der individuellen Lebensführung, sondern stellen auch eine große volkswirtschaftliche Belastung dar. Sie sind zurzeit nach wie vor der häufigste Grund für Krankschreibungen. Die direkten Kosten für die Behandlung von Dorsopathien betragen im Jahre 1994 bereits über 10 Mrd. €. Die indirekten Kosten wie zum Beispiel krankheitsbedingte Produktivitätsverluste lagen sogar bei etwa 12 Mrd. €. Die Gesamtausgaben für Rückenschmerzen erreichen damit in Deutschland einen Anteil von etwa 1% des Bruttosozialprodukts [7;8]. Die Kosten, die durch Rückenschmerzen entstehen, werden also primär nicht durch deren Behandlung bedingt, sondern vielmehr durch die Kompensation des Krankheits- und Behinderungsstatus durch die Kostenträger. Während in vergleichbaren Industrienationen das Ausmaß der Kompensation der Behinderung und der Arbeitsunfähigkeit durch Rückenschmerzen zwischen 0 und 80% liegt, werden in Deutschland weitestgehend 100% der bedingten Kosten kompensiert. Das bedeutet, dass gerade in Deutschland die Kostensituation durch diese Beschwerden besonders relevant ist [3].

Dem behandelnden Arzt steht neben einer Vielzahl von konservativen Therapieansätzen eine fast ebenso große Zahl operativer

Behandlungsmöglichkeiten offen. Bei der Wahl der indizierten Behandlung steht der Arzt angesichts der komplexen Krankheitsbilder nicht selten vor der Entscheidung des richtigen Zeitpunktes für die Fortführung, Beendigung oder Änderung einer einmal initiierten Therapie.

Eine Behandlungsmöglichkeit von vielen ist die Spondylodese. Diese kann von dorsal, ventral oder auch in der Kombination von dorsal und ventral durchgeführt werden. Außerdem kann sie mit oder ohne Instrumentierung erfolgen. Die Spondylodese hat sich gerade im Bereich der Lendenwirbelsäule als eine Standardtherapie bei gut kalkulierbaren Risiken etabliert. Dies führt zu einer stetigen Zunahme der Anzahl lumbaler Fusionen in den Industrieländern [9], was die klinische Relevanz der vorliegenden Arbeit verdeutlicht.

Bisher gesammelte Erfahrungen haben gezeigt, dass mit dieser Vorgehensweise eine Vielzahl von morphologischen Schmerzursachen erfolgreich behandelt werden kann. Es ist aber auch deutlich geworden, dass es bei einigen Patienten trotz einer lege artis durchgeführten Fusion im Langzeitverlauf immer wieder zu Beschwerden oder funktionellen Einschränkungen gekommen ist.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die langfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse ventraler und dorsaler Fusionsoperationen der Lendenwirbelsäule darzustellen. Anhand einer explorativen Datenanalyse sollen etwaige Prädiktoren für das Langzeitergebnis bestimmt werden.

Dazu wurden in einer retrospektiven monozentrischen Untersuchung die Daten von 97 Patienten erfasst und ausgewertet, die in der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Großhadern mit einem ventralen oder dorsalen Fusionsverfahren im Bereich der Lendenwirbelsäule behandelt wurden. Zur Nachuntersuchung und zum standardisierten Interview wurden alle Personen eingeladen, bei denen zwischen Februar 1990 und Mai 2000 eine Spondylodese der Lendenwirbelsäule durchgeführt wurde. Das Spektrum der Wirbelsäulenpathologien

umfasst Patienten mit isthmischer oder degenerativer Spondylolisthese, Postnukleotomiesyndrom, Osteochondrose und Spinalkanalstenose. Bei allen Patienten erfolgte eine dorsale Stabilisierung durch eine Instrumentierung mit Pedikelschrauben.

Für dieses Patientenkollektiv sollten nun folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie sind die klinischen und funktionellen Langzeitergebnisse?
- Erfolgt durch die Fusionsoperation auf lange Sicht eine Schmerzreduzierung?
- Wie ist das langfristige radiologische Ergebnis zu bewerten?
- Korrelieren die radiologischen mit den funktionellen Resultaten?
- Bestehen Unterschiede im postoperativen Ergebnis bei einer Differenzierung verschiedener Ausgangssituationen (z.B. Art der Diagnose)?

2 GRUNDLAGEN

Zum Verständnis der komplexen pathogenetischen Zusammenhänge an der Lendenwirbelsäule sind exakte Kenntnisse bezüglich Anatomie, Pathophysiologie und Biomechanik erforderlich. Das folgende Kapitel soll einen Überblick über diese Zusammenhänge liefern. Außerdem sollen die an der Wirbelsäule etablierten Fusionsverfahren erläutert und die verschiedenen Indikationen für solche dargestellt werden. Dadurch soll versucht werden, für ein besseres Verständnis der in dieser Studie beschriebenen Krankheitsbilder und deren Behandlungsmöglichkeiten beizutragen.

2.1 Anatomie der Lendenwirbelsäule

Die Wirbelsäule des Menschen entwickelt sich aus der Chorda dorsalis. Im zweiten Schwangerschaftsmonat beginnt die Verknorpelung der Wirbelkörper mit einer kranialwärts vorseilenden Differenzierung.

Die Entwicklung der Wirbelsäule ist exakt auf spätere Lokomotionsmuster hin ausgerichtet. In funktioneller Anpassung an die menschliche Bipedie weist die Wirbelsäule charakteristische morphologische Merkmale auf. So ist die Herausbildung einer Lendenlordose u.a. im Zusammenhang mit einer evolutionsbedingten Verlagerung des Körperschwerpunktlotes zu sehen. Während noch bei den zumindest fakultativ biped sich fortbewegenden Menschenaffen der Körperschwerpunkt in beträchtlicher Entfernung ventral der Wirbelsäule verläuft, um das Drehzentrum des gebeugten Kniegelenkes zu schneiden, rückt beim Menschen das Schwerlot näher an die Wirbelsäule heran. Es trifft die Zentren von Hüft-, Knie- und Sprunggelenk, der nunmehr im Stand gestreckten unteren Extremität. Durch diese aufrechte Körperhaltung wird im Gegensatz zur vorne überbeugten Haltung des Menschenaffen eine deutliche Kraftersparnis erreicht [10;11].

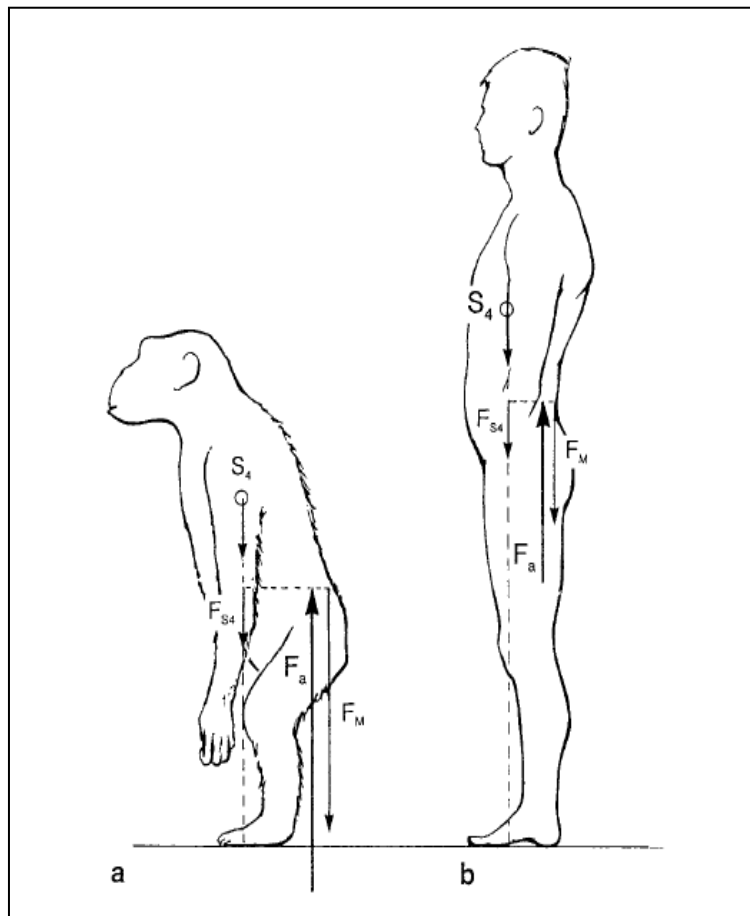


Abb. 1: Körperhaltung und Kraftaufwand

Bei der nach vorne gebeugten Wirbelsäule des Menschenaffen (a) wird deutlich mehr Kraft für die aufrechte Körperhaltung benötigt als bei der S-förmigen Wirbelsäule des Menschen (b), bei der der Körperschwerpunkt fast parallel zur Wirbelsäule liegt. S_4 , F_{S4} , Körpergewicht ohne Beine; F_M , Kraft der Rückenmuskulatur; F_a , axiale Last der Wirbelsäule

Der steilere Promontoriumswinkel des Menschen hat jedoch den Nachteil, dass dadurch nicht unbeträchtliche axiale Lasten auf das abgeknickte Kreuzbein und damit auf das Becken übertragen werden. Der letzte freie Lendenwirbelkörper (LWK 5) neigt daher zur Ventralverschiebung. Gerade der aufrechte Gang des Menschen scheint ein prädisponierender Faktor für die Ausbildung einer Spondylolisthese zu sein, wie eine von Rosenberg 1982 veröffentlichte Studie postuliert: Von 143 untersuchten Individuen, die aufgrund einer Zerebralparese gehunfähig waren, fand er keinen einzigen radiologischen Nachweis einer Spondylolisthese [12]. Diese

Zusammenhänge erklären das gehäufte Vorkommen einer Spondylolisthese im Bewegungssegment L5/S1.

Die lumbale Wirbelsäule besteht in der Regel aus fünf freien Lendenwirbeln. Die Lendenwirbelkörper sind mit ihrer queroval, zylindrischen Grundform die größten und kräftigsten der gesamten Wirbelsäule. Ihre Querschnittsfläche nimmt von kranial nach kaudal zu, was ihre Tragkraft erhöht. Eine hyalinknorpelige Deck- und Grundplatte verbindet den Wirbelkörper mit der Zwischenwirbelscheibe.

An jedem Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*) entspringt am hinteren, äußeren Umfang der sogenannte Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*). Wurzelstück (*Pediculus arcus vertebrae*) und das dorsal anschließende Seitenstück bilden die paarigen Bogenanteile, die durch das unpaare Schlußstück (*Lamina arcus vertebrae*) miteinander verbunden werden. Wirbelkörper und Wirbelbögen begrenzen zusammen das *Foramen vertebrale*, das im Bereich der Hals- und Lendenwirbelsäule den größten Durchmesser aufweist. An der Basis des Wirbelbogens liegen die *Incisura vertebralis inferior* und *superior*. Die Incisuren benachbarter *Pediculi* umschließen die *Foramina intervertebralia*, durch welche die Spinalnerven austreten.

Im Bereich des Übergangs zwischen *Pediculus* und *Lamina* befinden sich die seitlichen Fortsätze (*Processus costales*), welche Rippenrudimente darstellen. Bei den weiter dorsal entspringenden gering ausgebildeten *Processus accessorii* handelt es sich entwicklungs geschichtlich um die eigentlichen Querfortsätze der Lendenwirbel. Die nach dorsal auslaufenden Dornfortsätze (*Processus spinosi*) sind plattenförmig und fast horizontal nach hinten gerichtet, so dass z.B. die Dornfortsatzspitze des 4. Lendenwirbels auf den unteren Rand des eigenen Lendenwirbelkörpers projiziert. Die Wirbelfortsätze dienen als Muskelhebel und Muskelursprünge.

Jeder Wirbelbogen trägt zwei kraniale (*Processus articulares superiores*) und zwei kaudale Gelenkfortsätze (*Processus articulares inferiores*). Die Gelenkflächen der *Processus articulares superiores* sind konkav und stehen im Bereich der Lendenwirbelsäule nahezu sagittal. Entsprechend sind die *Processus articulares*

inferiores konvex gebogen und weisen nach lateral. Im artikulierenden Zustand umfassen die oberen Gelenkfortsätze des nächst tieferen Wirbels die unteren von ventrolateral. Die Gelenkflächen am Kaudalende von L5 stehen jedoch annähernd frontal, wodurch am Ort der markantesten Abknickung der Wirbelsäule ein Abrutschen der Lendenwirbelsäule gegenüber dem Sakrum verhindert wird.

Durch die kleinen Wirbelbogengelenke werden die Bewegungen der Lendenwirbelsäule geführt und durch ihre Ausrichtung in ihrem Ausmaß begrenzt. Sie erlauben eine Flexions-Extensions-Bewegung in der Hauptachse sowie eine geringe Seitwärtsneigung. Rotationsbewegungen sind hier im Gegensatz zur Brustwirbelsäule im Wesentlichen nicht möglich.

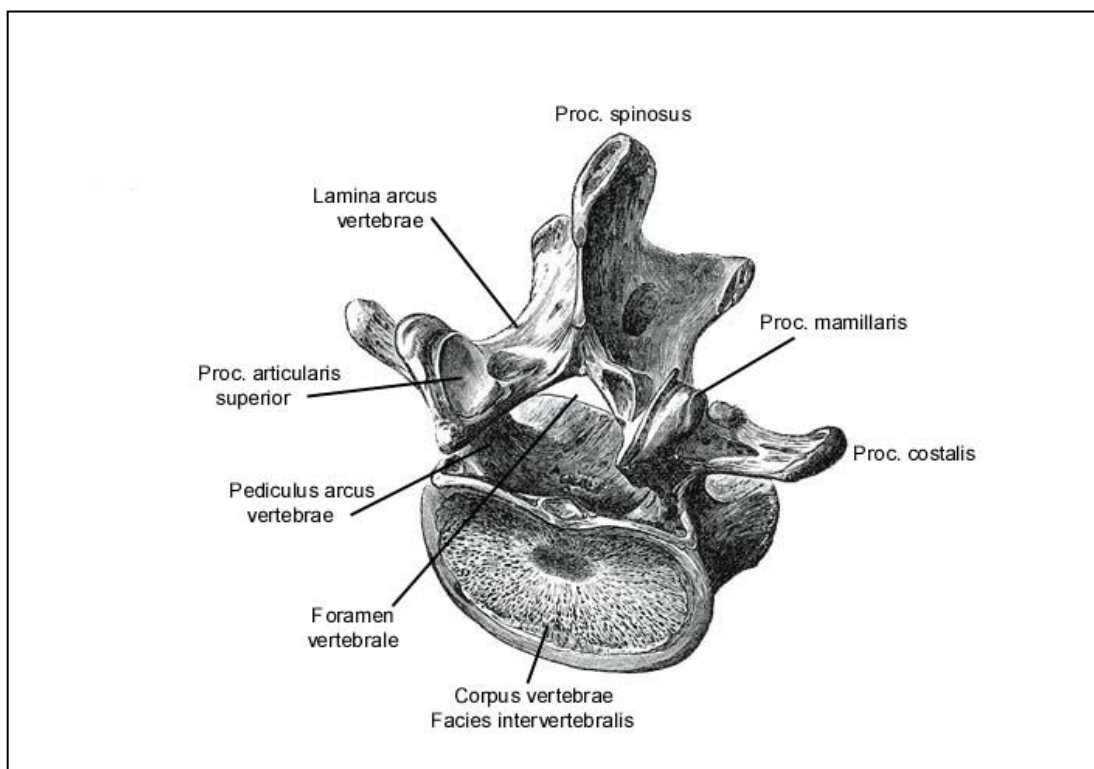


Abb. 2: Ansicht eines Lendenwirbelkörpers von dorsal oben

Die Spongiosabälkchen der Wirbelkörper sind vorwiegend nach dem Koordinatensystem ausgerichtet, d.h. die Vorzugsrichtung der Trabekel verläuft

vertikal und horizontal. Ihre Anordnung und Dichte entspricht den in Modellversuchen nachgewiesenen Hauptspannungsrichtungen und der Beanspruchungsverteilung. Die spitzbogige Architektur der Spongiosabälkchen zeigt, dass die Pedikel einer hohen Biegebeanspruchung unterliegen. Auch die Interartikularportion ist insbesondere in Extensionsstellung einer hohen Biegebeanspruchung ausgesetzt. Deshalb scheinen schon vergleichsweise geringe Kräfte auszureichen, um Frakturen des Isthmus zu erzeugen. Damit scheint eine traumatische Ursache der Spondylolyse belegt zu sein. So wird verständlich, weshalb Kinder und Athleten, die häufig zyklische reklinierende Übungen durchführen, erhöhte Spondylolyseraten aufweisen [13].

Zwischen den Wirbelkörpern liegen die Bandscheiben, die *Disci intervertebrales*. Diese bestehen aus einem faserknorpeligen Ring, dem *Anulus fibrosus* und dem innen liegenden, gallertartigen Kern, dem *Nucleus pulposus*. Im *Anulus fibrosus* verlaufen die kollagenen Faserbündel als 10 bis 15 Lamellen in steilen Schraubentouren, deren Windungsrichtung in benachbarten Lamellen gegenläufig ist. Die Kollagenfasern der äußeren Lamelle dringen als Sharpey-Fasern in den Knochen der Randleiste ein. Der Nucleus pulposus bildet zusammen mit dem *Anulus fibrosus* eine funktionelle Einheit nach dem Prinzip des Wasserkissens. Hierbei wird die Sprengkraft des belasteten Gallertkerns von den Fasern des *Anulus fibrosus* neutralisiert. Wie die Wirbelkörper nehmen die *Disci* von kranial nach kaudal an Umfang und Dicke zu. Insgesamt machen sie etwa 25% der Gesamtlänge der präsakralen Wirbelsäule aus. Zusammen mit dem Bandapparat und den kleinen Wirbelgelenken dienen sie der Vermeidung von Spannungsspitzen und somit der sicheren Dämpfung der Bewegungsendstellungen. Gleichzeitig ermöglichen sie eine Mobilität der Wirbelkörper zueinander in allen Bewegungsrichtungen.

Im Bereich der Lendenwirbelsäule sind sie ventral deutlich höher und somit der Lordosekrümmung angepasst. Im Alter und bei zunehmender Leistungsabnahme wird der dünnere hintere Umfang der *Anuli fibrosi* zu einer Schwachstelle. Eine zunehmend verminderte Blutversorgung der Endplatten und *Disci intervertebrales* in der ersten Hälfte der zweiten Lebensdekade scheint die Ursache für einen beginnenden Gewebsuntergang darzustellen [14]. Außerdem nimmt das

Wasserbindungsvermögen im proteoglykanreichen Nucleus pulposus mit steigendem Alter ab, wodurch die Intervertebralräume zunehmend niedriger werden und die Endplatten aufgrund der dadurch bedingten ungleichmäßigen Spannungsverteilung mit einer exzentrischen Mineralisierung reagieren [15].

Mitverantwortlich für die Eigenform der Wirbelsäule ist ferner der Bandapparat. Die beiden Längsbänder (Ligamentum longitudinale anterius und posterius) liegen der Wirbelsäule in ihrer Gesamtheit ventral und dorsal an, wobei das hintere Längsband fest mit den Zwischenwirbelscheiben verwachsen ist. Sie vermeiden eine übermäßige Beugung und Streckung und stehen mit dem Quellungsdruck der Bandscheiben im Gleichgewicht. Der ligamentäre Apparat zwischen den einzelnen Wirbeln besteht aus den elastischen Fasern der sogenannten gelben Bänder (Ligamenta flava), den schwach ausgebildeten Bändern zwischen den Dornfortsätzen (Ligamenta interspinalia), einem Band über den Dornfortsätzen (Ligamentum supraspinale) und den Bandzügen zwischen den Querfortsätzen (Ligamenta intertransversaria). Der lumbosakrale Übergang wird außerdem durch die Ligamenta iliolumbalia verstärkt. Diese Bandsysteme begünstigen einen Bremseffekt beim Erreichen der Bewegungsendstellungen. Gerade die faserknorpeligen Insertionsstellen der Bänder am Knochen sind Angriffsstellen für degenerative Veränderungen und stellen somit Korrelate für die Schmerzentstehung dar [15;16]. Durch eine mechanische Überbeanspruchung der Bandansätze kann es an diesen Stellen schon in jungen Jahren zur Bildung von Osteophyten kommen.

Der aktive Bewegungsapparat des Rumpfes wird in zwei Muskelgruppen gegliedert, von denen eine im ventralen und die andere im dorsalen Bereich gelegen ist. Ventral liegen die Thorax- und die Bauchwandmuskulatur. Dorsal besteht die Muskulatur im Wesentlichen aus der autochthonen Rückenmuskulatur. Sie wird im Gegensatz zur übrigen somatischen Muskulatur von den dorsalen Ästen der Spinalnerven innerviert und in ihrer Gesamtheit auch als Musculus erector spinae bezeichnet. Dieser besteht aus einem tiefen medialen und oberflächlichen lateralen Trakt.

Der mediale Trakt wird gebildet von einem gerade verlaufenden interspinalen Muskelsystem (Musculus spinalis und interspinalis) und den schräg verlaufenden Muskeln des transverso-spinalen Systems (Musculi rotatores, Mm. multifidi, Mm. semispinales). Die interspinalen Muskelgruppen sind im Bereich der Lendenwirbelsäule nur schwach ausgebildet. Die Aufgabe der kürzeren, tiefer gelegenen Muskeln liegt darin, die Feinpositionierung der Wirbel bei Belastung abzustimmen.

Nach lateral schließen sich die zu den unteren Rippen ziehenden oberflächlich gelegenen Fasermassen des M. longissimus und M. iliocostalis an. Diese über viele Wirbelkörper hinwegziehenden Muskeln beeinflussen übergeordnete Bewegungsmuster der Lendenwirbelsäule. Sowohl der mediale als auch der laterale Trakt werden von der Fascia thoracolumbalis umhüllt und somit in einer osteofibrösen Röhre geführt [15;17].

Die arterielle Versorgung der Lendenwirbelsäule erfolgt durch dorsale Äste aus den vier paarigen segmentalen Arteriae lumbales aus der Aorta abdominalis. Das fünfte Paar geht von der Arteria sacralis mediana ab, welche ebenfalls aus der Aorta abdominalis hervorgeht. Äste des periostalen Gefäßnetzes versorgen den Knochen. Durch vielgestaltige Anastomosennetze wird dabei ein ausreichender Kollateralkreislauf sichergestellt. Die gefäßlosen Bandscheiben werden durch Diffusion aus dem Spongiosabereich der Wirbelkörper versorgt.

Über den Plexus venosus der Wirbelkörper kann das venöse Blut sowohl an die obere als auch an die untere Hohlvene abgegeben werden. Die Bedeutung dieser beiden unterschiedlichen Abflusswege ist wichtig für die Ausbildung von Umgehungsstraßen bei Abflussbehinderungen.

Die Nervenversorgung der Bandscheibe, des Periosts der Wirbelkörper, der Meningen und der Longitudinalbänder erfolgt durch die Rami meningei aus den ventralen Ästen der Spinalnerven. Die Facettengelenke werden dagegen von den medialen Ästen der Rami dorsales der Spinalnerven versorgt.

Die exakte Kenntnis der topographischen Anatomie der Wirbelsäule und ihrer umgebenden Strukturen ist essentiell bei der Behandlung von Rückenschmerzen. So ist das Wissen um die nervale Versorgung wichtig bei der Infiltrationstherapie von radikulären oder pseudoradikulären Schmerzen. Durch die Kenntnis der Lage von anatomischen Strukturen zueinander lassen sich operativ bedingte Komplikationen verhindern. Dazu gehören typischerweise Dura-, Gefäß- oder Nervenverletzungen.

2.2 Biomechanik der Lendenwirbelsäule

Die anatomischen Strukturen der Wirbelsäule können in verschiedenen Säulenmodellen zusammengefasst werden. Diese dienen insbesondere in der Traumatologie der Klassifizierung von Instabilitäten. Dazu hat sich ein Zweisäulenmodell bewährt, bei dem die ventrale Säule bei physiologischer Belastung 80 % der Kraft aufnimmt. Dies sind die Wirbelkörper und die Bandscheiben. Die dorsale Säule mit den Wirbelgelenken und dem dorsalen Bandkomplex nimmt nur 20 % der Last auf, ist aber für die Zuggurtung der Wirbelsäule verantwortlich. Nach dem Dreisäulenmodell wird noch eine dritte Säule in Form des mittleren Bandkomplexes konstruiert, welche Distraktionskräften entgegenwirken soll [18].

Bei diesen Strukturen zeigt sich ein segmentaler Aufbau, bei dem sich starre Knochen mit weichem Gewebe abwechseln. Dadurch wird eine hohe Stabilität bei gleichzeitiger Flexibilität gewährleistet.

Funktionelle Einheit der Wirbelsäule ist das Bewegungssegment nach Junghans [19]. Es umfasst zwei Wirbel und den dazwischen liegenden Bandscheibenraum. Die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule ist letztendlich die Summe vieler Einzelbewegungen, die in den einzelnen Bewegungssegmenten stattfinden. Im dreidimensionalen Koordinatensystem nach White und Panjabi werden die zwölf möglichen Einzelbewegungen deutlich [20].

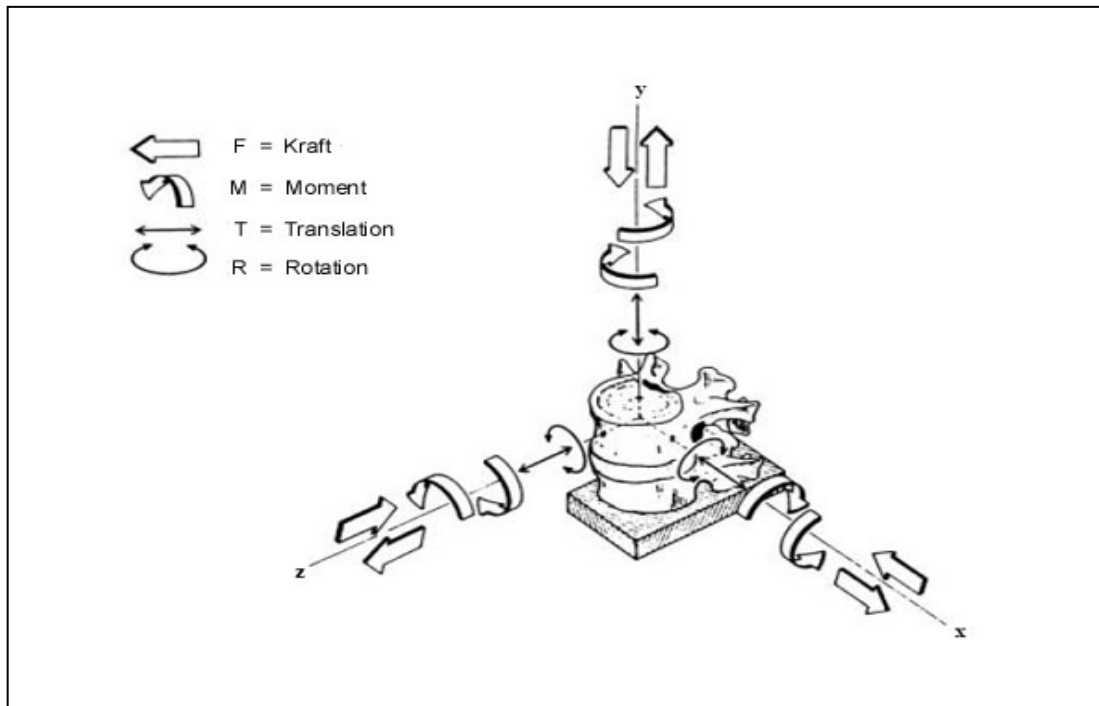


Abb. 3: Mögliche Bewegungen im dreidimensionalen Koordinatensystem

Tx	=	Lateraler Schub (rechts/links)
Ty	=	Kompression/Zug
Tz	=	Sagittaler Schub (ventral/dorsal)
Rx	=	Flexion/Extension
Ry	=	Torsion (rechts/links)
Rz	=	Seitneigung (rechts/links)

Tab. 1: Einzelbewegungen eines Segmentes

Die Belastung der Wirbelsäule kann somit vereinfacht durch drei Kräfte (eine Vertikal- und zwei Scherkräfte) und drei Momente (Flexions-/Extensions-, Seitneigungs- und Torsionsmoment) beschrieben werden. Sie ist abhängig von der Dynamik der Bewegung und der jeweiligen Muskelaktivierung durch von außen wirkende Kräfte, wie das Heben von Gewichten. Die durchschnittlichen

Bewegungsausmaße der einzelnen Segmente der Lendenwirbelsäule sind in Tabelle 2 dargestellt.

Segment	Flex./Ext. (kombiniert)	Seitneigung (einseitig)	Rotation (einseitig)
L1-L2	12°	6°	2°
L2-L3	14°	6°	2°
L3-L4	15°	8°	2°
L4-L5	16°	6°	2°
L5-S1	17°	3°	1°

Tab. 2: Mittelwerte der Bewegungen um die drei Raumachsen der LWS [20]

Bei der Flexions-, Extensionsbewegung ist eine Zunahme des Bewegungsausmaßes von kranial nach kaudal zu erkennen. Aufgrund der Stellung der Wirbelbogengelenke ist nur eine geringe Seitneigung möglich, welche nach kaudal hin noch abnimmt. Bezüglich der geringen Rotationsbewegung verhält sich die Situation ähnlich. Aufgrund des Zusammenspiels von Wirbelkörper, Ligamenten, Disci und der Eigenform der Wirbelsäule treten die oben genannten Einzelbewegungen natürlich in vivo nicht alleine auf. Vielmehr kommen sie als gekoppelte Bewegungen (Coupled motions) vor. So ist eine Seitneigung häufig von einer Rotation zur Gegenseite begleitet [20].

Die Beanspruchung der Wirbelsäule ist dagegen von individuellen Faktoren abhängig. Dazu gehören zum Beispiel Körpergröße, Gewicht oder Leistungsfähigkeit der Muskulatur. Die Versagenskriterien sind im Bereich der Wirbelsäule von der topographischen Lage abhängig. So nimmt entsprechend der höheren Last sowohl die Festigkeit der Wirbelkörper als auch Umfang und Dicke der Zwischenwirbelscheiben von kranial nach kaudal zu.

Die Druckwirkung auf die Bandscheiben ist abhängig von der Körperlage und den wirkenden Lasten. In den 60er Jahren führte der Schwede Nachemson die ersten in vivo Untersuchungen zur Erfassung des intradiskalen Druckes durch [21]. Mit einem intradiskalen Sensor bestimmte er an freiwilligen studentischen Probanden

den Druck im Inneren der Bandscheibe in verschiedenen Haltungspositionen und bei verschiedenen körperlichen Aktivitäten. Im Sitzen zeigte sich dabei eine um 40% niedrigere Druckbelastung der Bandscheiben als im Stehen. Diese Ergebnisse wurden durch neuere Arbeiten aus den 90er Jahren teilweise widerlegt. Wilkes Messungen zeigten keinen wesentlichen Unterschied zwischen entspanntem Sitzen und entspanntem Stehen, beim orthopädisch noch mehr verpönten lässigen Sitzen fand er die Belastung der Bandscheiben sogar deutlich verringert [22]. Die mit rund 23 bar, dem etwa Zehnfachen des Druckes in einem Autoreifen, höchste Belastung wurde dagegen eher erwartungsgemäß beim "falschen" Heben eines Kastens Bier, nämlich beim Heben mit geraden Knien und Rundrücken gemessen. In der Rückenschulversion - gerader Oberkörper, Knie gebeugt - verringerte sich der Wert um immerhin rund ein Viertel auf 17 bar.

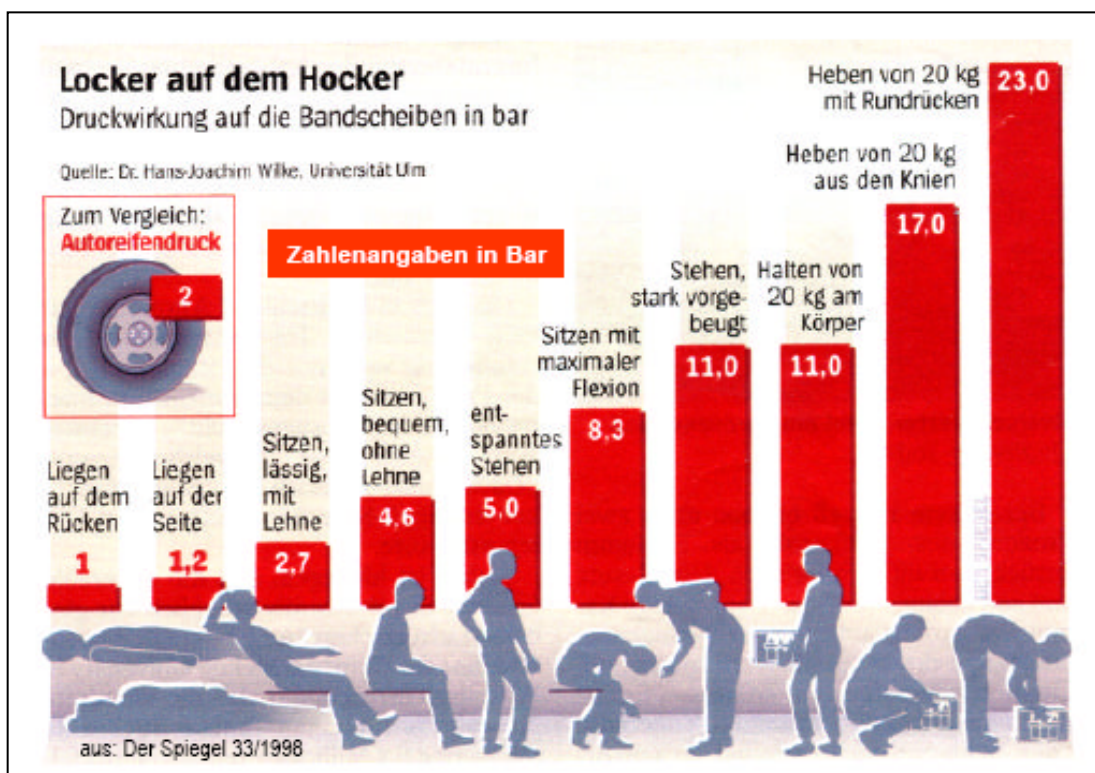


Abb.4: Druckwirkung auf die Bandscheiben in bar (aus: Der Spiegel 33/98)

Das Segment L4/5 und der lumbosakrale Übergang stellen in Anbetracht der oben ausgeführten Überlegungen einen Schwachpunkt in der Wirbelsäulenstatik dar. Denn diese beiden Segmente sind den höchsten Lasten ausgesetzt und sie führen den größten Bewegungsumfang in sagittaler Richtung aus. Außerdem neigt der fünfte Lendenwirbelkörper dazu, je nach Größe des Lumbosakralwirbels nach ventral zu gleiten [23].

Aktive und passive Strukturen sind jedoch speziell dazu geeignet, diese Kräfte zu kompensieren. So verhindert die nahezu frontale Ausrichtung der Wirbelbogengelenke im lumbosakralen Übergang das Abrutschen des fünften Lendenwirbelkörpers gegenüber dem Sakrum. Durch die Bandscheiben können neben Kompressionskräften auch in geringem Maße Scher- und Torsionskräfte kompensiert werden. Die ligamentären Strukturen wiederum verhindern exzessive Bewegungsausmaße in sagittaler Richtung. Kann jedoch der aktive und passive Stabilisierungsapparat der Wirbelsäule seine Aufgaben nicht mehr suffizient erfüllen, kommt es zur Instabilität [24].

2.3 Indikationen für lumbale Spondylodesen

Bei vielen Erkrankungen der lumbalen Wirbelsäule steht der behandelnde Arzt vor der schwierigen Entscheidung, ob eine konservative oder operative Therapie eingeleitet werden soll. Einige solcher Erkrankungen, bei denen lumbale Fusionsoperationen notwendig werden können, werden im Folgenden näher erläutert.

2.3.1 Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen

Degenerative Veränderungen im Bereich der Wirbelsäule entstehen altersüblich, sind jedoch nicht immer mit Beschwerden oder Funktionseinschränkungen assoziiert. Durch unphysiologische, lang andauernde Belastungen kann dieser Prozess beschleunigt werden. Auch Nikotinabusus und familiäre Belastung gelten als prädisponierende Faktoren. Dabei müssen radiologisches und klinisches Bild nicht zwangsläufig miteinander korrelieren [25;26].

Als Osteochondrose im Bereich der Wirbelsäule wird der röntgenmorphologische Befund der Degeneration der Zwischenwirbelscheiben verstanden. Dabei liegt neben einer Verschmälerung des Zwischenwirbelraumes (Chondrose) auch eine Osteosklerose der Grund- und Deckplatten der benachbarten Wirbelkörper vor. Die Degeneration des Discus intervertebralis entsteht durch ein im Alter vermindertes Wasserbindungsvermögen des Nucleus pulposus und einer Rissbildung im Anulus fibrosus. Auch eine im Alter verminderte Durchblutung der Endplatten und eine dadurch erschwerte Diffusion von Nährstoffen in Richtung Bandscheibe wird als Ursache der Diskusdegeneration diskutiert [15;27]. Im weiteren Verlauf kann dann Bandscheibengewebe aus dem Intervertebralraum austreten. Durch die verminderte biomechanische Pufferfunktion kommt es zur Belastung der Wirbelkörperabschlussplatten mit konsekutiver Sklerosierung. Die Chondrose kann zur vermehrten Instabilität im Bewegungssegment führen, was in einer degenerativen Spondylolisthesis enden kann.

Durch die Gefügelockerung und die zunehmende Inkongruenz der Gelenkflächen kommt es zur Degeneration der kleinen Wirbelgelenke (Spondylarthrose). Das sog. Facettensyndrom betrifft häufig auch junge Patienten. Typische Symptome sind Rückenschmerzen und eine meist einseitige pseudoradikuläre Schmerzausstrahlung.

An den Regionen, die den stärksten mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, entstehen durch Knochenum- und Neubildung Randzacken, sog. Spondylophyten. Diese produktiven Veränderungen können zunehmend den Wirbelkanal und die Foramina intervertebralia einengen. Dies führt zum Krankheitsbild der degenerativen Spinalkanalstenose.

2.3.2 Spondylolisthesis

Der Begriff Spondylolisthesis leitet sich ab von den altgriechischen Worten „Spondylos“ (Wirbel) und „Olisthesis“ (Gleiten). Es handelt sich dabei um ein Gleiten der Wirbelsäule gegenüber dem darunter liegenden Wirbelkörper nach ventral. Dadurch kann es zur Affektion neuronaler Strukturen kommen.

Die am häufigsten verwendete Klassifikation des Wirbelgleitens geht auf Wiltse und Newman zurück [28]. Dabei werden eine dysplastische, isthmische, degenerative, traumatische und pathologische Form unterschieden (Tab.3).

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

Tab.3.: Klassifikation der Spondylolisthesis [29]

Beim Typ I der Spondylolisthese sind die Gelenkfortsätze dysplastisch ausgebildet. Deshalb sind diese nicht in der Lage, den Vorwärtsschub des Wirbelkörpers aufzuhalten. Diese Form tritt v.a. am lumbosakralen Übergang auf und ist häufig mit einer Spina bifida occulta vergesellschaftet [30].

Die isthmische Spondylolisthese ist im Wesentlichen bedingt durch Stress- oder Ermüdungsfrakturen im Bereich der Pars interarticularis. In ca. 80% der Fälle ist das Segment L5/S1 betroffen. Von einer Spondylolyse spricht man bei einer Spaltbildung der Interartikularportion des Wirbelbogens, von einer Isthmuselongation bei einer Verlängerung der pars interarticularis. Wiederholte Flexions-Extensionsbewegungen oder häufig wiederholte Haltungen in extremer Lendenlordose können als Ursache für die Lyse angesehen werden [31;32]. Nach Fredrickson beträgt die Spondylolyserate bis zu einem Alter von 6 Jahren 4,4% und bei Erwachsenen 6% [33]. Bei Leistungssportlern kann die Rate jedoch auf bis zu 50% erhöht sein [34].

Sowohl für die dysplastische, als auch für die isthmische Form wird eine kongenitale Komponente angenommen. Beide Formen kommen familiär gehäuft vor. Von Wynne-Davies wurden Patienten hinsichtlich angeborener Defekte untersucht, die unter dysplastischer oder isthmischer Spondylolisthesis litten. Bei 94% der

dysplastischen und bei 32% der isthmischen Spondylodesen fand er gleichzeitig eine Spina bifida oder eine Hypoplasie posteriorer Anteile des Sakrums [35].

Die degenerative Spondylolisthese ist erworben und wird durch eine Degeneration der Bandscheibe und der Zwischenwirbelgelenke hervorgerufen. Am häufigsten ist das Segment L4/5 betroffen. Hierbei kommt es zu keiner Spaltbildung oder Veränderung des Isthmus. Deshalb spricht man auch von einer Pseudospondylolisthese. Sie tritt gehäuft bei Frauen über 60 Jahren auf. In Kadaverstudien fand Farfan eine Häufigkeit von 4,1% [36].

Eine traumatische Listhese entsteht durch eine Fraktur außerhalb der pars interarticularis bei zuvor intakter anatomischer Struktur. So kann es durch eine Fraktur des Pedikels zu einem Ventralgleiten kommen.

Bei der pathologischen Form der Spondylolisthese entsteht durch eine lokale oder generalisierte Abnahme der Knochenfestigkeit eine Ventralverschiebung. Ursachen sind zum Beispiel Tumorerkrankungen, Osteomalazie oder das Marfan-Syndrom [37].

Das Ausmaß des Gleitens wird nach Meyerding in vier verschiedene Grade eingeteilt [38]. Dabei wird auf einer lateralen Aufnahme die Position der Hinterkante des Gleitwirbels auf der geviertelten Deckplatte des kaudalen Wirbels bestimmt. Genauer ist jedoch die prozentuale Angabe der Verschiebung nach Wiltse und Winter. Hierbei wird die Länge der ventralen Verschiebung durch die Länge der kaudal gelegenen Deckplatte geteilt und mit 100 multipliziert [39].

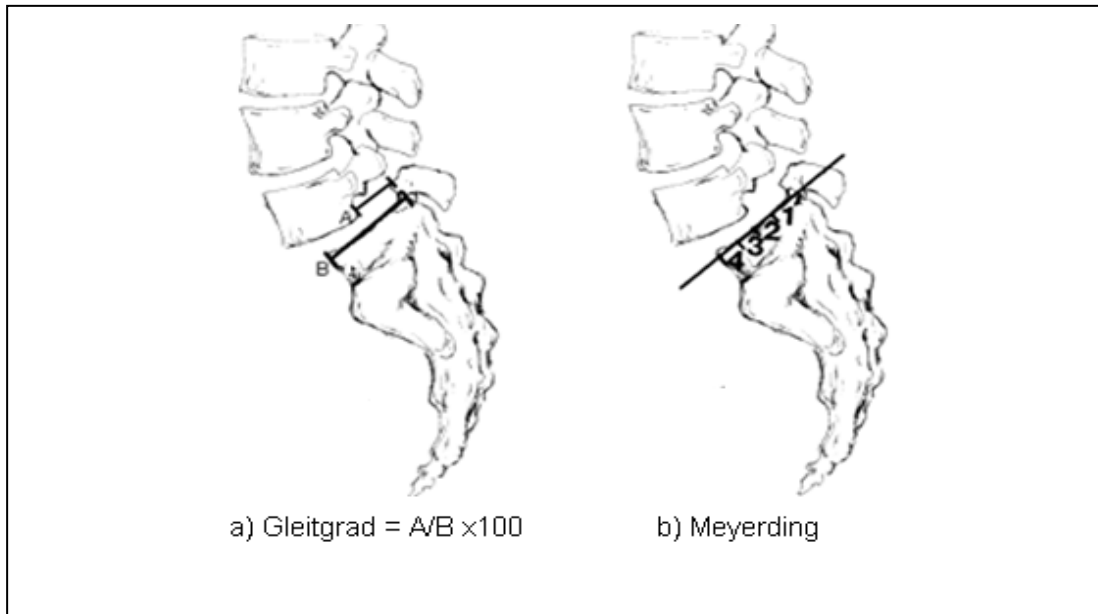


Abb. 5: a) Bestimmung des Gleitgrades nach Wiltse und Winter b) Meyerding-Klassifikation

Nur wenige Spondylolisthesen werden im Verlauf des Lebens symptomatisch [40]. Hochgradige Listhesen entwickeln sich vorzugsweise im Alter zwischen 10 und 14 Jahren. Im Erwachsenenalter ist eine schnelle Progredienz eher unwahrscheinlich. Asymptomatische Patienten mit einem Gleitgrad von unter 10% haben in etwa das gleiche Risiko, später an Beschwerden zu leiden, wie die übrige Bevölkerung. Liegt der Gleitgrad allerdings über 25%, zeigt sich ein deutlich erhöhtes Risiko von Rückenschmerzen in der Zukunft [41].

Bei einer Beschwerdesymptomatik ohne relevante neurologische Ausfälle steht die konservative Therapie im Vordergrund. Operationsindikationen sind konservativ nicht beherrschbare Schmerzen, neurologische Defizite, ein Gleitgrad von über 25% beim Jugendlichen und über 50% beim Erwachsenen sowie eine starke Progredienz des Wirbelgleitens [42].

2.3.3 Spinalkanalstenose

Die lumbale Spinalkanalstenose wird definiert als Formveränderung mit Verengung von Strukturen im Bereich der Lendenwirbelsäule. Im Falle einer stabilen Spinalkanalstenose ist das operative Mittel der Wahl eine alleinige Dekompression. Bei instabilen Stenosen wird eine Stabilisierung durchgeführt.

Die Stenose kann erworben aber auch von angeborenen anatomischen Normvarianten mitbestimmt sein [43]. Nach Arnoldi können Spinalkanalstenosen nach pathogenetischen Gesichtspunkten eingeteilt werden [44]:

1. Kongenital

- Idiopathisch
- Achondroplastisch

2. Erworben

- Degenerativ (Veränderungen zentral im Spinalkanal, lateral im Recessus oder in den Foramina intervertebralia; hierzu zählt auch die degenerative Spondylolisthesis)
- Kombinierte Stenosen (z.B. zentral und lateral)
- Iatrogen (z.B. postoperativ)
- Posttraumatisch
- Sonstige Formen (z.B. M.Paget, Fluorose)

Die degenerativen Veränderungen der Lendenwirbelsäule führen hauptsächlich durch Protrusion des Anulus fibrosus, arthrotische Vergrößerung der Gelenkfortsätze und Verdickung der Bandstrukturen zur Einengung des Spinalkanales. Häufig besteht eine Kombination aus zentraler und lateraler Enge.

Klinisch äußert sich dies durch ein- oder beidseitige radikuläre Schmerzen, welche bei Lordosierung der Lendenwirbelsäule zunehmen. Das Kardinalsymptom der Spinalkanalstenose wird als Claudicatio spinalis bezeichnet. Bei Patienten mit einer solchen neurogenen Claudicatio wird die kritische Enge bei langem Stehen oder

nach einer immer kürzer werdenden Gehstrecke erreicht. Durch eine kyphosierende Haltung können diese Patienten eine Schmerzlinderung erzielen. In Inklination werden der Anulus fibrosus, die Gelenkkapsel und das Ligamentum flavum gedehnt, das Volumen dieser Strukturen wird kleiner und erweitert so den Spinalkanal und die Foramina intervertebralia. Schmerzen werden typischerweise beim Bergabgehen angegeben, beim Radfahren bestehen aufgrund der nach vorne gebeugten Haltung in der Regel keine Probleme [45].

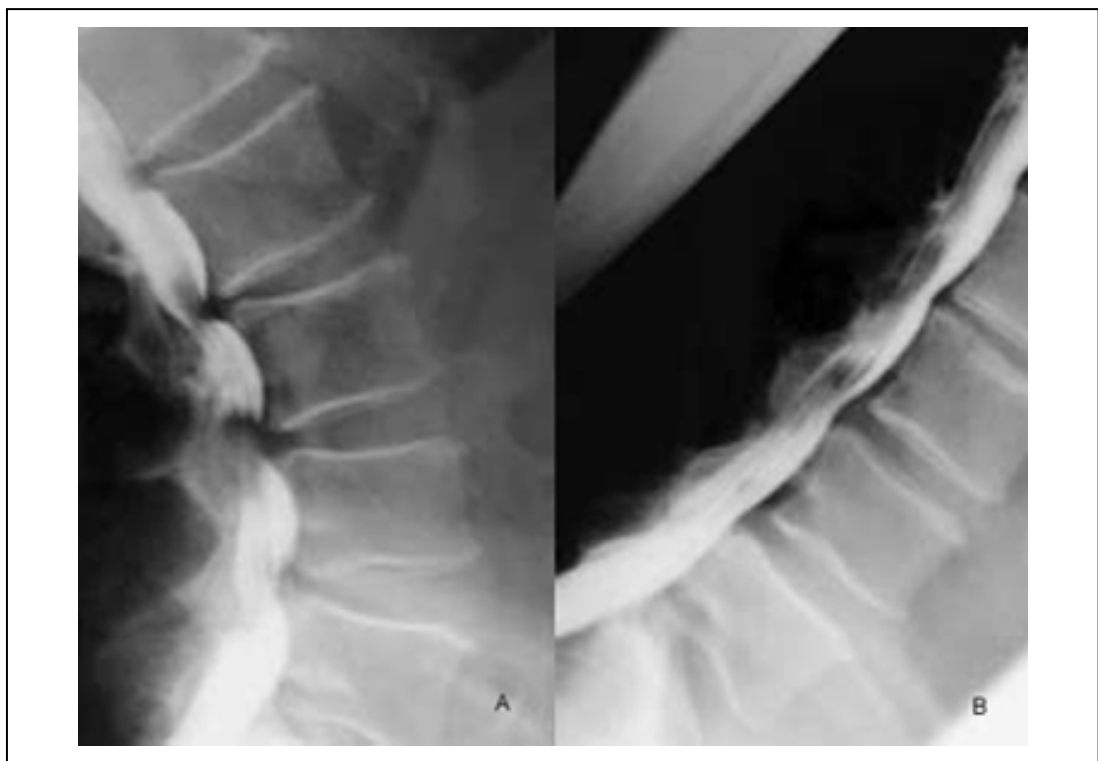


Abb.6: Lumbale Myelographie mit Funktionsaufnahmen zeigt die Enge des Spinalkanals bei Lordosierung (A) und die Erweiterung bei Kyphosierung (B)

2.3.4 Postnukleotomiesyndrom

Das Postnukleotomiesyndrom, im angloamerikanischen Sprachgebrauch auch Failed back surgery syndrome genannt, stellt einen Symptomenkomplex dar, der speziell nach operativen Eingriffen an der Wirbelsäule auftritt. Trotz und oft gerade

wegen vorheriger Eingriffe klagen die Patienten über Beschwerden. Nach Bandscheibenoperationen wird die Häufigkeit mit 10-50% angegeben [46;47].

Bei ungefähr 95% der Patienten kann eine Ursache für diese Beschwerden gefunden werden. Davon sind annähernd die Hälfte chirurgische Diagnosen. Zu den häufigsten Ursachen zählen progrediente degenerative Veränderungen oder Narbenbildungen im Bereich des Spinalkanals und der Neuroforamina. Pseudarthrose, Segmentinstabilität, Reprolaps, Infektionen, psychische Alterationen und chronisch neurogene Schmerzsyndrome können weitere Gründe für die Beschwerden der Patienten darstellen [48;49].

Oft sind eine falsche Indikationsstellung, technische Fehler und Komplikationen bei der Operation Ursachen für die Entstehung eines postoperativen Schmerzsyndroms. Psychosoziale Auffälligkeiten bei Patienten sollten besonders berücksichtigt werden, weil diese mit einem schlechten operativen Ergebnis korrelieren [50-52].

Der operative Erfolg wird mit zunehmender Zahl der Rezidiveingriffe immer schlechter. Ein langes schmerzfreies Intervall und ein eindeutig nachweisbarer und korrigierbarer pathoanatomischer Befund sind prädiktive Faktoren für einen Operationserfolg. Außer bei nachweisbarer Instabilität oder Stenose haben Fusionen bei vorausgegangen Operationen nur eine Erfolgsaussicht von ungefähr 50% [53].

2.4 Fusionstechniken

Eine operative Intervention sollte erst durchgeführt werden, wenn bei therapieresistenter Symptomatik ein umfangreiches, konservatives Therapieprogramm fehlschlägt. Eindeutige Indikationen für ein operatives Vorgehen sind die Progression einer segmentalen Instabilität und das Neuauftreten neurologischer Symptomatik. Ziel ist die Verbesserung der präoperativen Schmerzsituation und eine Verhinderung einer Zunahme der Instabilitätszeichen.

Man unterscheidet im Hinblick auf den Zugangsweg dorsale, ventrale oder auch kombiniert dorso-ventrale Operationsverfahren. Die Vorteile des dorsalen gegenüber dem ventralen Zugang sind die Einfachheit der Technik, die Möglichkeit einer gleichzeitigen Dekompression neuraler Strukturen und die selteneren viszeralen und vaskulären Komplikationen. Nachteilig ist die gestörte Muskelfunktion aufgrund der extensiven Weichteil-Dissektion [54].

In der heutigen Zeit beinhalten diese Verfahren aufgrund der geringeren Pseudarthrose-Rate in der Regel eine Stabilisierung mittels eines rigiden Instrumentariums. Am häufigsten werden Pedikelschraubensysteme verwendet. Dazu werden unter Bildwandlerkontrolle kleine Kanäle durch die Pedikel in die betreffenden Wirbelkörper gebohrt. Die Pedikelschrauben werden eingebracht und unter Bildwandlerkontrolle auf zentralen Sitz hin untersucht. 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 oder Kompression herbeigeführt und die rostrale Klemmbacke befestigt werden. Die Schrauben werden danach über den Rücken abgeschnitten, um den Platzbedarf so gering wie möglich zu halten. Die Gegenseite wird anschließend nach dem gleichen Verfahren fixiert.

Erkrankungen, bei denen keine Instabilität oder Deformität der Wirbelsäule besteht, bedürfen keiner instrumentierten Stabilisierung. Hier kommen auch alleinige knöcherne Fusionsverfahren zur Anwendung [55]. Metaanalysen zeigen, dass Instrumentierungen zwar zu höheren radiologischen Fusionsraten führen, jedoch nicht zwingend zu einer Verbesserung des klinischen Outcomes [56;57]. Zur knöchernen Fusionierung wird in den meisten Fällen autologer spongiöser oder kortikospongiöser Knochen verwendet. Auch Cages als Bandscheibenersatz kommen zunehmend zum Einsatz. Möglich ist auch die Verwendung von Fremdknochen aus einer Knochenbank.

In höhergradigen Fällen einer Spondylolisthese bzw. bei Patienten mit ausgeprägten radikulären Beschwerden und Ausfallserscheinungen kann zusätzlich eine

Dekompression neuraler Strukturen notwendig werden. Dazu kann eine Laminektomie unter besonderer Rücksicht auf die darunterliegende Dura durchgeführt werden. Jede Nervenwurzel der betroffenen Region wird bis in den Nervenwurzelkanal hinein inspiziert, um anschließend mögliche Kompressionen, Adhäsionen oder auch Narbengewebe zu entfernen.

Die Bandbreite möglicher Operationstechniken ist sehr groß und hat sich im Laufe der letzten hundert Jahre stetig weiterentwickelt.

2.4.1 Historisches

Zu den ersten Versuchen einer knöchernen Fusion der Wirbelsäule zählen diejenigen von Albee und Hibbs im Jahre 1911. Durch ein interspinales, dorsales Anbringen von Knochenblöcken aus der Tibia versuchten sie, das Kollabieren der Segmente bei tuberkulöser Spondylitis zu verhindern [58]. Über die ersten instrumentierten Wirbelsäulenfusionen wurde schon 20 Jahre vorher von Hadra berichtet. Durch eine Zuggurtung der Processus spinosi mit Silberdraht versuchte er eine Stabilisierung von Luxationsfrakturen der Halswirbelsäule zu erreichen [59]. 1909 wurden auch in München von Fritz Lange erste instrumentierte Stabilisierungsverfahren angewandt [60].

In den Anfangsjahren dienten die Fusionseingriffe v.a. der Behandlung von Frakturen, Skoliosen und Infektionen. Über die Behandlung von degenerativen Erkrankungen mit lumbalen Fusionsverfahren berichtete erstmals Hibbs im Jahre 1929 [61]. In den darauf folgenden Jahren kam es zu einer beachtlichen Weiterentwicklung der Indikationen und der Spondylodeseverfahren. Um möglichst hohe Fusionsraten zu erzielen und die Wirbelsäulenform aufrecht zu erhalten, gewannen die instrumentierten Verfahren immer mehr an Bedeutung. Frühe Techniken waren neben der Zuggurtung der Dornfortsätze eine Verplattung der Wirbelkörper [62], Sublaminarverdrahtungen [63] und Hakensysteme [64]. Für die Behandlung von degenerativen Erkrankungen erwiesen sich diese Verfahren aber häufig als ungeeignet, weil hierbei oft Lamina oder Dornfortsätze entfernt werden müssen, um eine Dekompression der neuronalen Strukturen zu erzielen.

Dieses Problem entfiel durch die Einführung der Instrumentierung mittels Pedikelschrauben. Als einer der ersten beschrieb Roy-Camille 1970 gute Operationsergebnisse mit einem semi-rigiden System, welches auf der Benutzung von Schrauben in Lochplatten basierte [65]. Somit wurde eine Dekompression mit gleichzeitiger Wahrung der Stabilität möglich. Heute werden vorwiegend rigide transpedikuläre Fixationssysteme verwendet.

Seit Beginn der Achtziger Jahre verwendet man zur Aufrechterhaltung des sagittalen Wirbelsäulenprofils neben Knochenspänen auch Titankörbchen, welche in den Bandscheibenraum eingebracht werden. Durch die Einführung von Knochenbanken und -ersatzstoffen wurde die Verfügbarkeit von Knochenmaterialien erheblich erleichtert. In neuerer Zeit liegen viele Forschungsschwerpunkte auf der Entwicklung von osteoinduktiven Materialien, um die knöchernen Fusionsraten zu erhöhen. Boden konnte 2002 nachweisen, dass unter dem Einsatz von humanem rekombinanten Bone morphogenetic protein-2 (rhBMP-2) höhere Fusionsraten und bessere klinische Operationsergebnisse möglich sind [66].

2.4.2 Dorsale Fusionsverfahren

Hierbei wird derselbe Zugangsweg wie beim Einbringen eines Pedikelschrauben-Instrumentariums gewählt. Dazu wird die Haut zumeist über den Dornfortsätzen der zu fusionierenden Wirbel inzidiert. Im Anschluss an die Durchtrennung von Subkutangewebe und Faszie erfolgt das subperiostale Abschieben der Muskulatur von den Dornfortsätzen und den Laminae. Anschließend werden ggf. vorhandene Osteophyten, pseudarthrotische Veränderungen und der hinterste Anteil der superioren Facetten entfernt.

Je nach Diagnose und Art des gewählten Operationsverfahrens können zur knöchernen Konsolidierung unterschiedliche Techniken angewendet werden.

2.4.2.1 Posterolaterale und posteriore Fusion

Am häufigsten findet die posterolaterale Fusion Anwendung. Das Prinzip besteht aus einer defektüberbrückenden Knochenspananlagerung an die dorsalen und lateralen Strukturen der Lendenwirbel. Zunächst werden Laminae, Gelenk- und

Querfortsätze dekortiziert, um ein gut durchblutetes Spanbett zu erhalten. Im zweiten Schritt werden Spongiosaspäne, zum Beispiel aus dem Bereich des Beckens angelagert. Das Fusionsgebiet liegt dorsal den Querfortsätzen auf. Beim alleinigen posterioren Verfahren werden hingegen nur die mittelliniennahen Strukturen wie die Wirbelgelenke fusioniert. Das Risiko der postoperativen Spinalstenose ist äußerst gering, jedoch werden im Vergleich zu interkorporellen Verfahren geringere Fusionsraten erzielt. Ausserdem sind längere Immobilisationszeiten nötig [67;68].

2.4.2.2 Posterior lumbar interbody fusion (PLIF)

Die interkorporelle posteriore Fusion geht auf Cloward zurück [69]. Ihr Prinzip beruht auf dem Zwischenschalten eines Knochenspans zwischen die Wirbelkörper von dorsal. Dazu werden große Teile des Wirbelbogens entfernt. Das Einbringen von Knochenspänen oder Cages erfolgt nach bilateraler Ausräumung der Bandscheibe. Das neurologische Risiko ist bei dieser Vorgehensweise allerdings wesentlich höher, da zur Präparation des Zwischenwirbelraums und zur Einbringung des Spanmaterials die Mobilisation der Cauda equina und die Retraktion der Nervenwurzeln erforderlich ist. Nachteilig sind daher mögliche Verletzungen der Dura, Vernarbungen im Spinalkanal mit möglicher Arachnopathie, epidurale Blutungen sowie Instabilitäten des benachbarten kranialen Segmentes.

Eine Weiterentwicklung der PLIF stellt die transforaminale interkorporelle Fusion dar. Sie ermöglicht ebenfalls eine Stabilisierung von Wirbelsäuleninstabilitäten und Dekompression der nervalen Strukturen ohne ventralen Zugang. Das Grundprinzip ist hierbei eine einseitige Öffnung des Foramen intervertebrale anstelle der Laminektomie. Damit soll eine geringere Traumatisierung als bei einer anterioren oder posterioren lumbalen interkorporellen Fusion erreicht werden. Das Einbringen des Knochentransplantats erfolgt transforaminal anstelle transspinal [70].

2.4.3 Ventrale Fusionsverfahren

Bei den ventralen interkorporellen Fusionstechniken (anterior lumbar interbody fusion, ALIF) kommen die gleichen Implantationstechniken wie bei den posterioren

Fusionen in Betracht. Eine ventrale Verblockung wird häufig und besonders bei pathologischen Bedingungen des anterioren und mittleren Abschnitts der Wirbelsäule empfohlen, wenn dorsale Voroperationen fehlgeschlagen sind und das zu fusionierende Segment kyphotisch steht. In den meisten Fällen wird ein retroperitonealer Zugang gewählt, es sei denn, die Darstellung des lumbosakralen Übergangs ist durch höhergradige Listhesen erschwert. In diesen Fällen ist der transperitoneale Zugang notwendig. Besonderen Wert wird auf einen stumpfen, muskelspaltenden Zugang gelegt, um eine Schädigung der abdominellen Muskulatur, welche wichtig zum Schutz vor rotierenden Kräften ist, so gering wie möglich zu halten. Bei korrekter Lage erfolgt nach kompletter Ausräumung der Bandscheibe unter Schonung des vorderen und hinteren Längsbandes das Einschlagen der Knochentransplantate oder Cages in den freien Intervertebralraum. Das Risiko einer Gefäßverletzung stellt die größte Komplikation bei der ventralen Fusion dar.

Die interkorporellen Fusionen bieten einige offensichtliche Vorteile. Da gemäß dem Säulenmodell die ventrale Säule 80% der Lasten trägt, ist es nach dem Wolff'schen Gesetz von Vorteil, das Knochentransplantat hier einzubringen, weil es dadurch einer Kompression ausgesetzt ist, die die knöcherne Fusion fördert. Der Wirbelkörper macht 90% der knöchernen Fläche aus und hat eine umfangreichere Gefäßversorgung als die posterolateralen Elemente, was die knöcherne Konsolidierung weiter erleichtert. Ausserdem ist die radiologische Differenzierung einer knöchernen Fusion von einer Pseudarthrose nach interkorporellem Verfahren leichter als nach einem posterolateralen [71].

Das Patientengut in der vorliegenden Studie wurde mit einer ventralen oder posterioren interkorporellen oder dorsolateralen Fusion versorgt und mittels eines von dorsal eingebrachten Pedikelschraubensystems stabilisiert.

3 PATIENTEN UND METHODEN

3.1 Studiendesign

In einer retrospektiven, monozentrischen Untersuchung erfolgte an der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Großhadern die Datensammlung von Wirbelsäulenpatienten, die mit einer lumbalen Spondylodese behandelt wurden. Als Operationstechniken kamen die Fusion in PLIF- und ALIF-Technik und die dorsolaterale Fusion zur Anwendung. Die Eingriffe erfolgten jeweils durch einen erfahrenen Operateur.

Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden vollständigen Krankenblätter und Operationsprotokolle wurden 97 Fälle aufgeschlüsselt, bei denen in der Zeit von Februar 1990 bis Mai 2000 eine lumbale Wirbelsäulenfusion durchgeführt wurde und die den u.g. Einschlusskriterien entsprachen.

Zur Evaluierung des klinischen Langzeitergebnisses wurden die Patienten zu einem standardisierten Interview und zur körperlichen Untersuchung in die orthopädische Klinik eingeladen. Weiterhin erfolgte die Erhebung des funktionellen Operationsergebnisses mittels Oswestry-Disability-Index (ODI), der subjektiven Patientenzufriedenheit mittels Short-Form-36 (SF-36) und der prä- und postoperativen Schmerzempfindung mittels visueller Analogskala (VAS). Zur Analyse der Fusionsraten, einer sich entwickelnden Nachbarsegmentdegeneration oder Instabilitätszeichen wurden präoperative und postoperative Röntgenbefunde miteinander verglichen.

3.2 Patientengut

In die Untersuchung wurden postoperativ alle volljährigen Personen aufgenommen, bei denen o.g. Operationstechniken zur Anwendung kamen. Die Indikationen zur Durchführung der Spondylodese waren Spondylolisthesis, Osteochondrose, Spinalkanalstenose und Postnukleotomie-Syndrom. Alle durch Operation behandelten Patienten waren auf konservativem Wege nicht mehr ausreichend

therapierbar. Ausschlusskriterien waren das Vorhandensein einer rheumatischen Erkrankung und eine im Hinblick auf die Nachuntersuchung als ungenügend eingeschätzte Compliance des Patienten. Weiterhin ausgeschlossen wurden Patienten mit Tumoren, Skoliosen, Spondylodiszitis und frischen Frakturen.

3.3 Studienablauf

Mit Hilfe der Operationsbücher der Jahre 1990 bis 2000 und der zur Verfügung stehenden Krankenblätter konnten insgesamt 178 Patienten detektiert werden, die o.g. Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen. Aus den archivierten Krankenakten und Röntgenbildern aller Patienten wurden vorab die wichtigsten Informationen und Daten zum spezifischen prä- und postoperativen Verlauf zusammengetragen.

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte im Zeitraum zwischen Februar und Dezember 2005. Die Patienten wurden dazu in schriftlicher Form eingeladen. Nach telefonischem Kontakt erfolgte die Terminvereinbarung. Von den 178 Patienten konnten letztendlich 97 Patienten (45 Männer, 52 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 63,3 Jahren nachuntersucht werden. Dies entspricht einem Erfassungsgrad von 54,5 %.

Die Operationsdaten der übrigen Patienten wurden ebenfalls registriert, flossen aber nicht in die Auswertungen ein. 37 Patienten war wegen Umzugs oder aus privaten Gründen die Einbestellung nicht zuzumuten, oder sie lehnten diese ab. 20 Patienten waren inzwischen verstorben, 24 nicht zu kontaktieren (Abb.7).

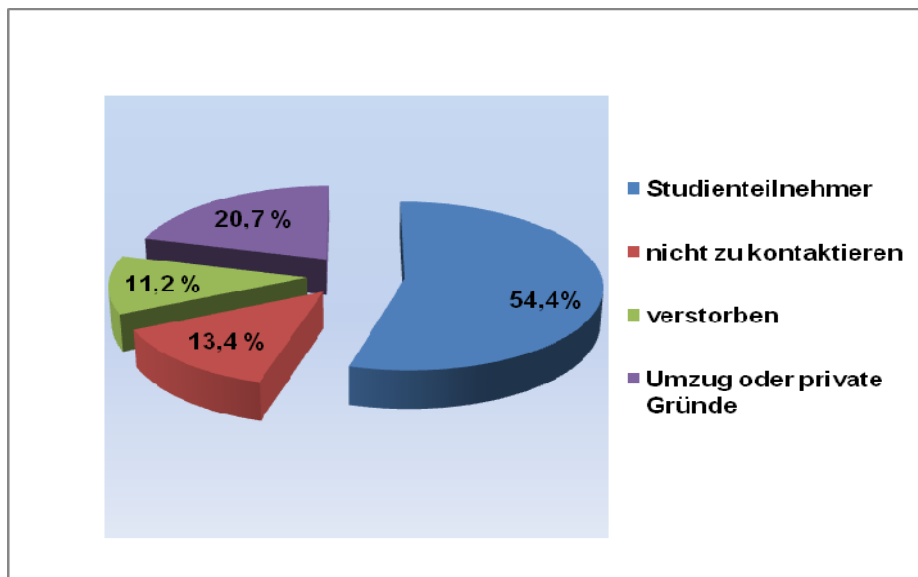


Abb.7: Patientenerfassung

Der Mittelwert der Follow up- Zeit betrug 108,9 Monate (9,1 Jahre). Maximal waren 184, wenigstens 57 Monate zum Operationszeitpunkt vergangen.

Während der Nachuntersuchung wurden die 97 Patienten anamnestisch befragt sowie klinisch und radiologisch untersucht. Vorher zugesandte Fragebögen wurden nochmals gemeinsam besprochen.

3.3.1 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung wurde anhand eines standardisierten Untersuchungsbogens durchgeführt. Neben orientierenden, allgemeinen Beobachtungen legten wir den Schwerpunkt auf die Beurteilung der Bewegungsumfänge und die neurologische Situation mit eventuellen Ausfällen.

Es wurde zunächst das Achsorgan Wirbelsäule analysiert, wofür zusätzlich neben einer Messung der Beinlänge und des Beckenstandes auch die Symmetrie der Wirbelsäule und die Wirbelsäulenform erfaßt wurden. Außerdem erfolgte eine Prüfung lokaler Druck-, Klopf- und Stauchungsschmerzen sowie eine Dokumentation des Schmerzcharakters und einer eventuelle Ausstrahlung. Bei

Claudicatio spinalis hielten wir die maximal mögliche Gehstrecke und Gehdauer fest. Eventuelle Hilfsmittel bei der Mobilisation blieben ebenfalls nicht undokumentiert.

Weiterhin erfolgte die Messung der Bewegungsumfänge der Wirbelsäule. Hier wurden die Bewegungen um alle drei Körperhauptachsen erfasst, also Ventral-/Dorsalflexion, Lateralflexion und Rotation. Unterstützend zogen wir die Zeichen nach Ott und Schober und den Fingerbodenabstand heran. Zur neurologischen Untersuchung gehörte die Klärung und Lokalisierung eventueller Schmerzen sowie Parästhesien und Taubheiten. Lokalisation, Qualität und zeitliche Informationen wurden sowohl schriftlich als auch in einer Skizze dokumentiert. Wir testeten dazu auch die Zeichen nach Lasegue und Bragard. Es wurden die Kraftgrade an der unteren Extremität in allen Komponenten gemäß der Medical research council scale (MRCS) [72] zusammen mit dem Reflexstatus geprüft. Eine mögliche radikuläre Symptomatik konnte so aufgezeigt werden.

3.3.2 Anamnese

Zur Erhebung einer ausführlichen Anamnese wurde ein standardisierter Fragebogen verwendet. Er war in einen präoperativen und einen postoperativen Teil gegliedert, wodurch ein Vergleich möglich war. Diesen bekamen die Patienten zusammen mit der Einladung zur Nachuntersuchung zugeschickt. Ein gemeinsames Ergänzen fehlender oder unklarer Punkte war dann während der Untersuchung möglich. Außerdem ergänzten und verifizierten wir die erhobenen präoperativen Daten mithilfe der Krankenakten.

Zunächst wurden einige Fragen zur Klärung des sozialen Status des Patienten gestellt. Neben den persönlichen Daten erhoben wir den Familienstand, die Anzahl der Kinder, die berufliche Situation und eine mögliche Arbeitsunfähigkeit oder Rente. Es erfolgte eine Dokumentation der Schmerzmittel-Einnahme, der Sportfähigkeit und eventuell voraus gegangener konservativer Therapiemaßnahmen und Operationen.

Im postoperativen Teil des Fragebogens wurde der Patient zusätzlich gefragt, ob er aus jetziger Sicht die Operation unter gleichen Voraussetzungen wiederholen würde, wobei nur mit ja oder nein geantwortet werden konnte. Eine weitere Frage prüfte die Zufriedenheit des Patienten mit der Operation in fünf Abstufungen. Außerdem sollten die Patienten ihre Körperhaltung, die Narbenbeschaffenheit und das kosmetische Gesamtergebnis beurteilen, wobei jeweils zwischen vier Abstufungen gewählt werden konnte [73].

Zur Evaluation der Schmerzsituation wurden verschiedene Methoden angewendet. Um die Intensität möglicher Schmerzen im Rücken oder im Bein zu objektivieren, kam die visuelle Analogskala (VAS) zum Einsatz. Diese standardisierten Skalen sind in der Literatur häufige und somit gut vergleichbare Instrumente zur Erhebung schwer greifbarer Größen, wie hier beispielsweise der Schmerz. Üblicherweise handelt es sich um eine 10 cm lange Linie, auf der die individuelle Schmerzintensität zwischen den Extremen „überhaupt kein Schmerz“ und „maximal vorstellbarer Schmerz“ eingeschätzt wird [74;75]. In unserem Falle erfragten wir die Schmerzen im Rücken und im Bein gesondert. Weiterhin sollten die Patienten Abhängigkeiten von der Tageszeit und eventuelle Auslösefaktoren angeben. Die Schmerzlokalisierung wurde durch eine Körperschemazeichnung erhoben. Hier forderten wir die Patienten auf, ihren Schmerz auf einer Vorlage des menschlichen Körpers von hinten und von vorne aufzuzeichnen.

Die Erfassung der funktionellen Einschränkungen durch die Schmerzsymptomatik erfolgte mittels Oswestry-Disability-Score (ODS). Den Oswestry-Disability-Score beschrieben 1980 erstmalig Fairbanks et al. [76]. Dieser Fragebogen wurde entwickelt, um bei Rückenschmerzen eine objektive, reproduzierbare und vergleichbare Evaluationen zu ermöglichen. Eine validierte Version in deutscher Sprache ist seit 2006 erhältlich [77;78]. Um mehr Akzeptanz bei den Patienten zu erreichen, wurden die Fragen auf farbigem Papier gedruckt.

Der Fragebogen beinhaltet zehn Bereiche des täglichen Lebens (Schmerzstärke, Körperpflege, Heben, Gehen, Sitzen, Stehen, Schlafen, Sexualeben, Sozialleben, Reisen) mit jeweils sechs verschiedenen Aussagen, von denen die zutreffende

angekreuzt werden soll. Die erste Aussage entspricht jeweils keiner Einschränkung, die folgenden bedeuten eine zunehmende Behinderung, die letzte Aussage drückt die Unfähigkeit zur Ausführung der Aktivität bzw. unerträgliche Schmerzen aus (siehe Anhang). Nachdem der Fragebogen ausgefüllt ist, werden alle Punkte der einzelnen Abschnitte addiert. Die Summe wird verdoppelt und man erhält einen Prozentwert. Ist ein Abschnitt nicht ausgefüllt, da die Frage für den Patienten nicht in Betracht kommt (z.B. Frage 8: Sexualeben), kann die Punktschme durch Dividieren (Anzahl des maximal erreichbaren Punktwertes) und Multiplizieren (x100) als Prozentwert berechnet werden. Wenn ein Patient in einem Abschnitt zwei Antwortmöglichkeiten ankreuzt, wird der niedrigere Wert berücksichtigt.

Beispiel: Ein Patient hat 10 Fragen beantwortet und die Summe der beantworteten Fragen ergibt 30. Der maximal erreichbare Punktwert ist in diesem Fall 50. Berechnung:

$$\frac{30 \text{ (Summe)}}{50 \text{ (maximal erreichbarer Punktwert)}} \times 100 = 60 \%$$

In Anlehnung an Fairbank et al. [79] erfolgt nach Berücksichtigung der Prozentwerte eine Einteilung in fünf Gruppen, wobei ein höherer Score eine größere Einschränkung bedeutet.

Gruppe 1: 0%-20% - Minimale Einschränkung

In dieser Gruppe können die Patienten die meisten alltäglichen Aktivitäten bewältigen. Meistens ist keine Behandlung indiziert. Die Patienten sollten aber vorsichtig heben, eine richtige Sitzhaltung einnehmen, sich körperlich fit halten und auf ein angemessenes Körpergewicht achten. In dieser Gruppe gibt es einige Patienten, die teilweise Schwierigkeiten beim Sitzen haben. Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn eine überwiegend sitzende Berufstätigkeit vorliegt.

Gruppe 2: 20% - 40% : Mäßige Einschränkung

Diese Gruppe hat größere Schmerzen und Probleme beim Sitzen, Heben und Stehen. Reisen und soziales Leben ist schwieriger und die Arbeitsfähigkeit ist häufiger eingeschränkt. Die Körperpflege, das Sexualeben und das Schlafen sind kaum betroffen. Die Rückenbeschwerden können konservativ behandelt werden.

Gruppe 3: 40% - 60% : Schwere Einschränkung

Schmerz ist das Hauptproblem der Patienten dieser Gruppe. Fortbewegung, Körperpflege, Sozialleben, Sexualeben und Schlaf sind betroffen. Diese Patienten benötigen eine genaue Untersuchung, ob eine operative Therapie indiziert ist.

Gruppe 4: 60% - 80% : Behinderung

Der Rückenschmerz wirkt sich auf alle Lebenssituationen aus, zu Hause und bei der Arbeit. Eine Einschränkung ist in allen Lebenslagen gegeben. Eine Operationsindikation ist wahrscheinlich. Alternativ ist eine intensive Schmerztherapie erforderlich.

Gruppe 5: 80% - 100% : Schwere Behinderung

Diese Patienten sind durch starke Schmerzen entweder an das Bett gebunden oder überschätzen ihre Symptome. Dies sollte während der medizinischen Untersuchung beobachtet und bewertet werden.

Ergänzend zur Erfassung der symptomspezifischen Beeinträchtigungen wurde der subjektive Gesundheitszustand allgemein, d.h. krankheitsübergreifend erfragt. Dazu wurde der Medical Outcome Study Short-form (MOS-SF-36, genannt SF-36) herangezogen [80]. Dieser gehört zu den international am häufigsten angewandten Instrumenten zur Erfassung des allgemeinen Gesundheitszustandes und ist ein wichtiges Evaluationskriterium im Gesundheitswesen [81]. Seit 1998 gibt es auch eine deutschsprachige Version dieses Fragebogens [82]. Er besteht aus 36 Fragen, die zu 8 Skalen zusammengefasst sind: körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches

Wohlbefinden. Die Beantwortung ist für die einzelnen Skalen unterschiedlich hinsichtlich der Anzahl der Alternativen (2-6) und deren Formulierung. Die Auswertung erfolgt als Summenwert pro Skala und wird in einem Zahlenwert zwischen 0 und 100 transformiert. Ein hoher Wert steht dabei jeweils für eine hohe Lebensqualität. (siehe Anhang)

Abk.	Konzept/Dimension	Items	Skala	Dimensions-	
				stufen	spanne
KÖFU	Körperl. Funktionsfähigkeit (Mobilität)	10	1-3	21	10-30
KÖRO	Körperl. Rollenfunktion (Indikator reduz. Leistungsfähigkeit)	4	1-2	5	4-8
SCHM	Körperl. Schmerzen (Schmerzint./ funktionelle Wirkungen)	2	1-6	11	2-12
AGES	Allgem. Gesundheit (Gesundheitsperzeption/Vergleich)	5	1-5	21	5-25
VITA	Vitalität (Polarität: Elan - Müde)	4	1-6	21	4-24
SOFU	Soziale Funktionsfähigkeit (Einschränkung soz. Kontakte)	2	1-5	9	2-10
EMRO	Emotionale Rollenfunktion (Indik. reduz. Leistungsfähigkeit)	3	1-2	4	3-6
PSYC	Psychisches Wohlbefinden (Emotion. Grundstimmungen)	5	1-6	26	5-30
TEND	Veränderung der Gesundheit (Tendenz – Vorjahr/heute)	1	1-5	5	1-5
		36			

Tab.4.: Aufbau des SF-36 [83]

Zur Vereinfachung können diese acht Skalen jeweils zu einer körperlichen und einer psychischen Summenskala zusammengefasst werden. Somit ergibt sich sowohl ein Gesamtwert für die körperliche als auch für die psychische Gesundheit.

Die visuelle Analogskala (VAS), der SF-36 und der Oswestry-Disability-Score sind auf ihre Reliabilität und Validität hin bereits mehrfach untersucht worden und wurden in verschiedenen Studien auch bei Spondylodese-Patienten angewandt [84;85].

3.3.3 Bildgebende Verfahren

Neben Anamnese, körperlicher Untersuchung und Fragebögen wurde auch die radiologische Diagnostik ausgewertet. Daher forderten wir die Patienten auf, zur Nachuntersuchung auch alle auswärtig durchgeführten CT-, MR- und Röntgenbefunde mitzubringen. Alle Patienten waren prä- und postoperativ konventionell in zwei Ebenen, antero-posterior und seitlich, radiologisch untersucht

worden. Schrägaufnahmen wurden durchgeführt, um die Facettengelenke beurteilen zu können und eventuelle Unterbrechungen der Interartikularportion aufzudecken. Zur Verifizierung von Listhesen und einer eventuellen Instabilität wurden Funktionsaufnahmen in In- und Reklination angefertigt. Bei Patienten, bei denen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufgrund der klinischen oder radiologischen Befunde der Verdacht auf eine Anschlussdegeneration oder Stenose bestand, erfolgte zusätzlich eine CT-Untersuchung. Es wurden dann jeweils die unmittelbar präoperativen radiologischen Befunde mit den Befunden zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung verglichen. Es erfolgte dazu eine Digitalisierung der Bilder zur weiteren Vermessung der statischen Messwerte (mittels Siemens Magic View-Software) und eine Speicherung der Daten in einem Personalcomputer. Die verwendete Software berechnete automatisch die Distanz zwischen zwei vorgegebenen Punkten oder den Winkel zwischen zwei vorgegebenen Geraden. Bei der Analyse der Röntgenbefunde achteten wir im Besonderen auf den Zustand der Nachbarsegmente. Standardisiert wurden folgende Daten durch den Autor und unabhängig davon durch einen erfahrenen Radiologen erfasst:

- Fusion: Mehrere Kriterien bestimmten eine erfolgreiche Fusion [86]: Nachweis einer kontinuierlichen Knochenstruktur zwischen den fusionierten Segmenten, regelrechter Sitz der implantierten Cages ohne umgebenden Halo, keine Lockerungszeichen um die eingebrachten Pedikelschrauben, kein Materialversagen, kein Nachweis einer pathologischen Beweglichkeit in den Funktionsaufnahmen [87].
- Instabilität: Nach White und Panjabi besteht eine Instabilität zwischen zwei Segmenten, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt ist [20]: Ein Gleiten von mehr als 15% nach Wiltse und Winter [88], eine sagittale Translationsstrecke von mehr als 4,5 mm oder eine Vergrößerung der sog. sagittal plane rotation. Diese gilt als Maß für die Beweglichkeit im entsprechenden Segment und wird errechnet, indem in Flexion und Extension jeweils der Winkel zwischen Deckplatte des oberen und des unteren Wirbelkörpers bestimmt wird. Daraufhin werden die Werte voneinander subtrahiert, wobei der Winkel in Extension definitionsgemäß negativ ist. Für jedes Segment der Lendenwirbelsäule wurden

von White und Panjabi dazu Normwerte ermittelt (Tab.4). Obwohl viele Studien eine vergrößerte Translationsstrecke als Kriterium für Instabilität heranziehen [89;90], wurde in der vorliegenden Studie darauf verzichtet, weil deren Bestimmung von radiologischen Vergrößerungseffekten abhängig ist, solange keine einheitliche Aufnahmetechnik gewährleistet werden kann.

Segment gilt als instabil, wenn:	
L 1-2, L 2-3, L 3-4	≥ 15°
L 4-5	≥ 20°
L 5-S1	≥ 25°

Tab.4.: Normwerte der sagittal plane rotation der LWS [20]

- **Sagittales Alignment:** Als Maß für das sagittale Alignment wurde die lumbale Lordose nach Wiltse und Winter [91] und der Fusionswinkel bestimmt. Die lumbale Lordose ist dabei definiert als Winkel zwischen Deckplatte des ersten und Grundplatte des fünften Lendenwirbelkörpers. Analog dazu wird der Fusionswinkel bestimmt.
- **Bandscheibenhöhe:** Diese wurde mittels der Dabbs-ratio berechnet. Dazu erfolgte anhand von lateralen Aufnahmen die Bestimmung der vorderen und hinteren Bandscheibenhöhe, welche anschließend addiert und durch 2 geteilt wurden [92]. Um etwaige Vergrößerungs-Fehler durch unterschiedliche Aufnahmetechniken zu vermeiden, wurde dieser Wert , wie von Pope et al. [93] beschrieben, mit dem Bandscheiben-Diameter dividiert.
- **Facettengelenksarthrose:** Die Ausprägung einer etwaigen Degeneration der Facettengelenke wurde anhand von Schrägaufnahmen oder transaxialen CT-Bildern bestimmt. Dazu wurde ein vierstufiges Grading-System verwendet [94] (Tab.5).

Grad	Morphologisches Korrelat
0	normal
1	Gelenkspaltverschmälerung
2	Gelenkspaltverschmälerung mit Sklerose oder Hypertrophie
3	schwere Osteoarthrose mit Sklerose und Osteophyten

Tab.5.: Grading-System zur Beurteilung osteoarthrotischer Veränderungen der Facettengelenke nach Pathria [95]

- Osteophyten: Aufnahmen in antero-posteriorem oder lateralem Strahlengang dienen dem Nachweis von Osteophyten an den Wirbelkörperabschlussplatten. Um Aussagen über den Ausprägungsgrad treffen zu können, wurde auch hierzu ein etabliertes Grading-System angewandt [96] (Tab.6.).

1	Isoliert beginnende Hyperostose
2	Horizontal von den Wirbelkörpern ausgehende Vorwölbungen
3	Klassische Vogelschnabelform; Enden zeigen Richtung BS-Raum
4	Fusion der Osteophyten benachbarter Wirbel

Tab.6.: Ausprägung von Osteophyten nach Nathan [96]

- UCLA-Grading Scale: Die University of California at Los Angeles Grading Scale diente dem standardisierten Nachweis einer Degeneration des Intervertebralraumes der der Fusion benachbarten Segmente [97;98] (Tab.7).

Grad der Degeneration	Gelenkspalt-Verschmälerung	Osteophyten	Endplatten-Sklerosierung
1 (keine)	-	-	-
2 (leichte)	+	-	-
3 (mittelschwere)	+/-	+	-
4 (schwere)	+/-	+/-	+

Tab.7: UCLA-Grading-Scale zur Bestimmung einer etwaigen Nachbarsegment- Degeneration [99;100]

3.3.4 Statistik

Die ermittelten Daten wurden mittels eines Datenbankprogramms gespeichert und nach weiterer Konvertierung mit dem Statistikprogramm SigmaStat bearbeitet. Die Auswertung und Überprüfung von Signifikanzen erfolgte sowohl für verbundene als auch für unverbundene Stichproben mit Hilfe des T-Tests (nach Student). Einige erhobene Parameter wurden zur Überprüfung einer möglichen Signifikanz einem Mann-Whitney-U Test für unabhängige Stichproben oder einem Wilcoxon Test für verbundene Stichproben unterzogen. Als Signifikanzniveau wählten wir ein Alpha von $p < 0,05$. Zur deskriptiven Auswertung der Daten wurden Median, Standardabweichung und prozentuelle Verteilung der Daten angegeben und bewertet.

In dieser Studie sollten spezifische Zusammenhänge zwischen klinischen und radiologischen Variablen untersucht werden. Es wurde also überprüft, ob strukturelle Formveränderungen das klinische Outcome beeinflussen. Dazu wurde eine etwaige Korrelation zwischen klinischen und radiologischen Variablen analysiert.

Ausserdem wurde untersucht, ob das Rauchverhalten, das Geschlecht oder die Anzahl der versteiften Segmente Risikofaktoren für ein schlechtes klinisches oder radiologisches Ergebnis darstellen.

Die Ermittlung des Pearson-Korrelationskoeffizienten „r“ diente der Bestimmung des Zusammenhangs zweier normalverteilter Variablen. Bei nicht normalverteilten Variablen wurde das Maß der Verknüpfung durch den Spearman-Korrelationskoeffizienten bestimmt.

4 ERGEBNISSE

Im folgenden Teil der Arbeit erfolgte eine Gegenüberstellung der präoperativen und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erhobenen Daten. Auf diese Weise ließen sich ausgehend von der Ursprungssituation die Langzeitergebnisse am besten beurteilen. Weiterhin wurden Korrelationen zwischen radiologischen und klinisch-funktionellen Parametern untersucht. Bei einer Differenzierung verschiedener Ausgangssituationen (z.B. Art der Diagnose) wurden außerdem Unterschiede im postoperativen Ergebnis analysiert.

4.1 Patienten- und Operationsdaten

4.1.1 Antropometrische Daten

Das Verhältnis von Männern zu Frauen lag bei 1:1,15. Die Gruppe der Patientinnen war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Schnitt 64,0 Jahre alt (40-82 Jahre, SD 10,6) und die Gruppe der Patienten 62,2 Jahre alt (40-82 Jahre, SD 9,2). Stellt man die Patienten nach Altersgruppen dar, so ist die Gruppe der 60-69 Jährigen am stärksten verteilt (Abb.8).

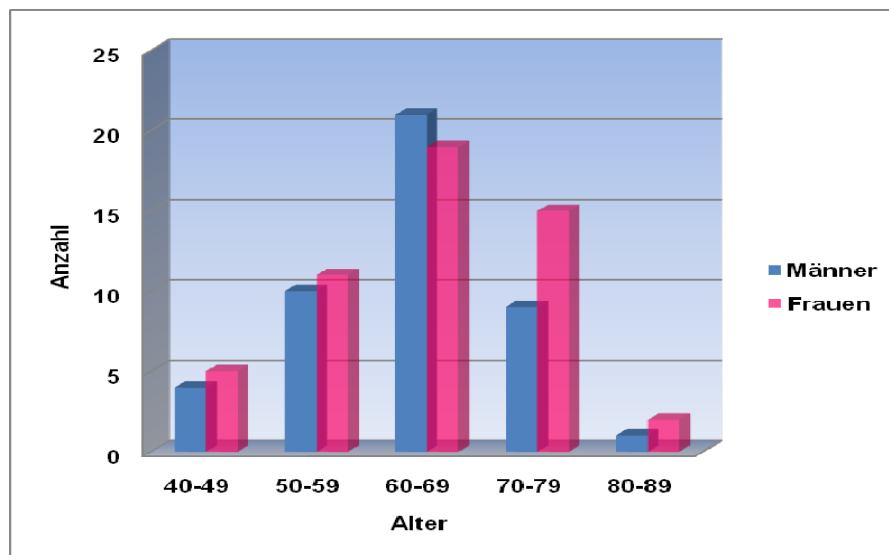


Abb.8: Altersverteilung der Patienten zum Operationszeitpunkt

Die durchschnittliche Körpergröße lag in der Gesamtheit bei 167 cm (140-184 cm, SD 9) und das Körpergewicht bei 76,8 kg (48-123, SD 15,3). Damit ergab sich ein durchschnittlicher „body mass index“ (BMI) von 27,4 (17-41, SD 4,7).

In der weiblichen Patientengruppe betrug die Körpergröße im Durchschnitt 161 cm (140-174 cm, SD 7,3), das Körpergewicht 69,9 kg (48-103 kg, SD 12) und der daraus resultierende BMI 27,1 (17,0-38,3, SD 4,5). Bei den männlichen Patienten lag die Größe bei 175 cm (160-184 cm, SD 5,8), das Gewicht bei 84,7 kg (48-123 kg, SD 15,1) und der BMI bei 27,8 (18,7-41,0; SD 4,9) (Abb.9).

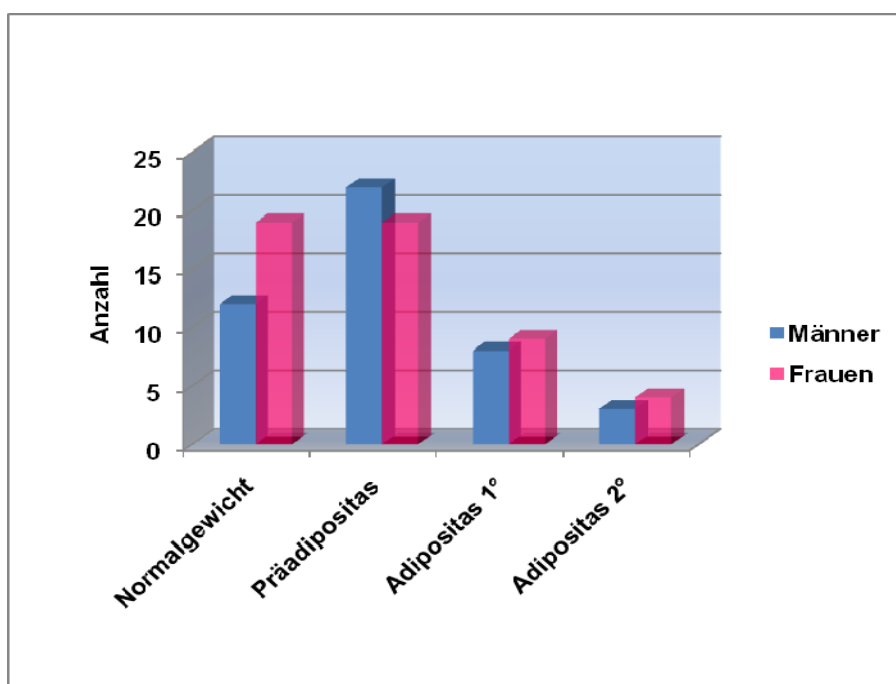


Abb.9: BMI des Patientengutes

4.1.2 Diagnosen

Die präoperativ gestellten Diagnosen wurden in insgesamt 5 verschiedene Gruppen eingeteilt, von denen die Spondylolisthese Patienten mit 37 Fällen die Größte ausmachten, gefolgt von 27 Patienten mit Osteochondrose. Segmentale Instabilitäten und Pseudospondylolisthesen machten zusammen 17 Fälle aus, 11

Patienten litten unter einem Postnukleotomie-Syndrom und 5 Patienten unter einer Spinalkanalstenose (Abb.10). Dabei ist zu beachten, dass die Gruppe der Spinalkanalstenosen als eigene Entität zählt, hierunter also nur Patienten fallen, bei denen als Ursache der Stenose ein Wirbelgleiten, eine Instabilität oder Veränderungen des Bandscheibenraumes ausgeschlossen wurde.

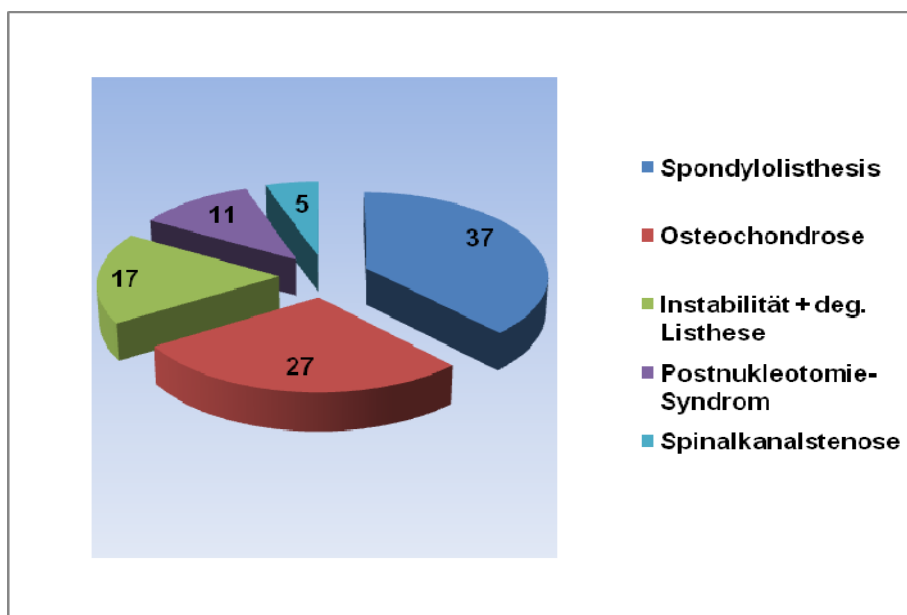


Abb.10: Diagnoseverteilung in der Gesamtgruppe (n=97)

Bei den Patienten mit Spondylolisthesis vera fielen 32 der insgesamt 37 Patienten in die Gruppe II der isthmischen und 5 in die Gruppe I der dysplastischen Spondylolisthesen [101]. Es handelte es sich um 21 weibliche und 16 männliche Patienten. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation lag bei 52,7 Jahren (28-72 Jahre, SD 12,5). Die durchschnittliche Körpergröße und das Körpergewicht betrug 165 cm (147-182 cm, SD 9,2) und 76,7 kg (57-103 kg, SD 13,0). Der BMI hatte damit einen Durchschnittswert von 28,0 (20,9-38,3, SD 3,9).

Differenzierte man die Patienten nach der Lokalisation der pathologischen Segmente, wiesen 18 (48,7%) der 37 Patienten eine Spondylolisthese in Höhe L4/5

auf, bei 15 Patienten fand sich die Pathologie in Höhe L5/S1 (40,5%) und bei 4 Patienten in Höhe L3/4 (10,8%).

Betroffenes Segment	Anzahl	Anteil in %
L5/S1	15	40,5
L4/5	18	48,7
L3/4	4	10,8
Gesamt	37	100

Tab.8.: Lokalisationsverteilung der Spondylolisthese

Die Betrachtung der Ausprägung des Wirbelgleitens nach Meyerding zeigt die in Tabelle 9 angegebene Verteilung, bei der die milderen Ausprägungen Grad I mit 56,7 % und Grad II mit 37,9 % am häufigsten vertreten sind.

Grad nach Meyerding	Anzahl	Anteil in %
I	21	56,7
II	14	37,9
III	1	2,7
IV	1	2,7
Gesamt	37	100

Tab.9.: Ausprägung des Wirbelgleitens

Pseudospondylolisthesen und degenerative Instabilitäten ohne nachweisbares Wirbelgleiten machten die nächste Diagnosegruppe aus. Die sogenannte Pseudospondylolisthese bildet eine eigene Entität des Wirbelgleitens, welche auf degenerativen Veränderungen im Gefüge der Bewegungssegmente beruht [102]. Zur Definition der segmentalen Instabilität ohne Wirbelgleiten siehe 3.3.3. Diese Gruppe umfasste insgesamt 17 Patienten. Darunter sind 11 Frauen und 6 Männer. Das Durchschnittsalter der Gruppe lag mit 60,4 Jahren (42-72 Jahre, SD 8,9) deutlich über dem der anderen Diagnosegruppen. Die Körpergröße und das Gewicht lagen im Schnitt bei 166 cm (155-179 cm, SD 8,0) bzw. 75,9 kg (55-105 kg, SD 13,2). Der resultierende BMI betrug damit 27,8 (18,9-41,0, SD 6,1). Das Bewegungssegment L4/L5 war isoliert mit fünf Fällen (29,4 %) am häufigsten

betroffen, in Kombination mit anderen Segmenten sogar in 14 Fällen. Bei den 17 Patienten war bei 7 eine Pseudospondylolisthese und bei 10 eine uni- oder mehrsegmentale Instabilität ohne Wirbelgleiten nachzuweisen. Die Ausprägung des Wirbelgleitens überschritt Grad 2 nach Meyerding nicht.

Betroffenes Segment	Anzahl	Anteil in %
L5/S1	1	5,9
L4/5	5	29,4
L3/4	1	5,9
L2-4	1	5,9
L2-5	1	5,9
L3-L5	2	11,8
L3-S1	3	17,6
L4-S1	3	17,6
Gesamt	17	100

Tab.10.: Lokalisation der Pseudospondylolisthese und degenerativen Instabilität

In der Gruppe der Osteochondrosepatienten fanden sich die Personen wieder, die radiologisch eine deutliche Höhenminderung des Intervertebralraumes mit knöchernen Begleitreaktionen an den Wirbelkörpern aufwiesen, ohne dass in der Anamnese vorangegangene Operationen an den Bandscheiben durchgeführt worden sind.

Sie beinhaltete insgesamt 27 Patienten, davon 14 Männer und 13 Frauen, mit einem Durchschnittsalter von 52,2 Jahren (35-70 Jahre, SD 8,3). Die durchschnittliche Größe der Patienten betrug 169 cm (140-184 cm, SD 10,6) und das Gewicht im Schnitt 77,0 kg (48-123 kg, SD 15,8). Der BMI betrug damit 26,9 (18,7-39,7, SD 3,9). Das isoliert am häufigsten betroffene Segment war L5/S1 mit insgesamt 5 Fällen, gefolgt von L4/5 mit 3 Fällen.

Betroffenes Segment	Anzahl	Anteil in %
L5/S1	5	18,5
L4/5	3	11,1
L3/4	1	3,7
L1-4	1	3,7
L2-4	2	7,4
L3-L5	2	7,4
L3-S1	4	14,8
L4-S1	9	33,3
Gesamt	27	100

Tab.11.: Lokalisation der Osteochondrose

Das in Kombination mit anderen Etagen am häufigsten betroffene Segment war L3/4 mit insgesamt 19 Fällen (1 isoliert, 18 in Kombination). Die weitere Verteilung ist in Abbildung 10 dargestellt.

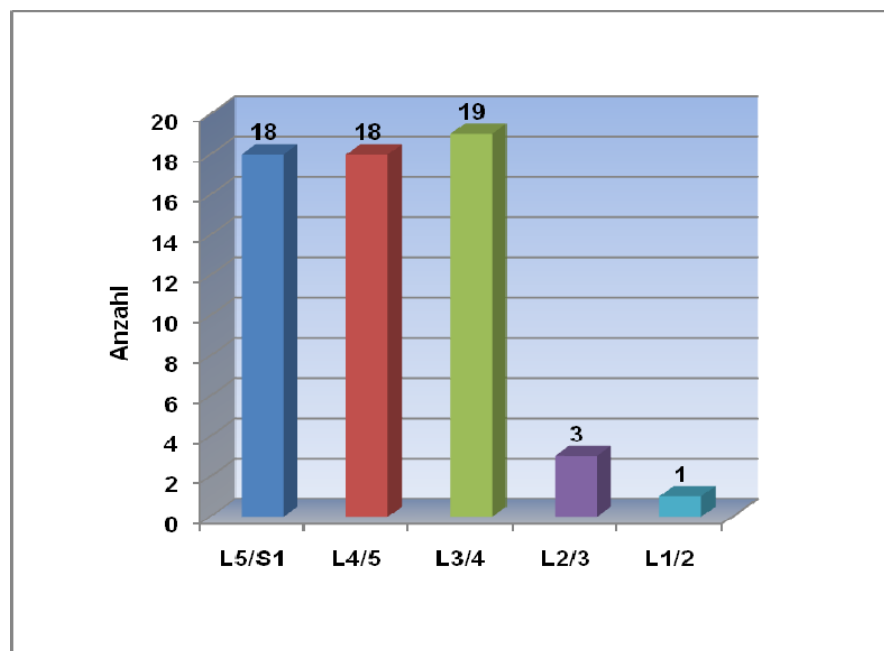


Abb.10: Verteilungshäufigkeit der betroffenen Segmente bei Osteochondrose

Die elf Fälle mit einem Postnukleotomiesyndrom beinhalteten die Patienten, welche bereits in ihrer Vorgeschichte mindestens einmal nukleotomiert worden waren und dadurch nie oder nur eine kurze Beschwerdefreiheit erreicht hatten. Das Verhältnis von Frauen zu Männern betrug 5 zu 6. Das Durchschnittsalter lag bei 53,8 Jahren (46-70 Jahre, SD 6,2), das Körpergewicht bei 72,2 kg (48-107 kg, SD 16,5) und die Größe bei 169 cm (156-181 cm, SD 7,5). Der BMI betrug damit im Schnitt 25,0 (17,0-34,1, SD 4,6). Das Bewegungssegment L4/L5 war isoliert oder in Kombination mit 10 Fällen am häufigsten betroffen.

Betroffenes Segment	Anzahl	Anteil in %
L4/5	5	45,5
L2/3	1	9,1
L2-5	1	9,1
L3-5	3	27,2
L4-S1	1	9,1
Gesamt	11	100

Tab.12.: Lokalisation der Osteochondrose

Eine weitere Diagnosegruppe stellten die fünf Patienten mit einer radiologisch nachgewiesenen knöchernen Spinalkanalstenose mit entsprechenden Claudicatio-Beschwerden dar. Hier fanden sich zwei Frauen und drei Männer. Das durchschnittliche Alter betrug 52,2 Jahre (45-59, SD 4,8). Das Körpergewicht betrug 89,6 kg (52-112, SD 22,7), die Körpergröße lag bei 171 cm (156-184, SD 10,9). Der BMI betrug 30,2 (21,3-38,7, SD 5,7). Das Segment L5/S1 war zweimal betroffen, ebenfalls zweimal die Segmente L2-5 und einmal die Segmente L4-S1.

Eine Zusammenfassung der antropometrischen Daten aufgeteilt nach Diagnosen gibt Tabelle 13.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ deg.Instabilität	Osteochondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
Patienten (97)	37 (38,1%)	17 (17,5%)	27 (27,8%)	11 (11,4%)	5 (5,2%)
Alter (Jahre)	52,7 (12,5)	60,4 (8,9)	52,2 (8,3)	53,8 (6,2)	52,2 (4,8)
Größe (cm)	165 (9,2)	166 (8,0)	169 (10,6)	169 (7,5)	171 (10,9)
Gewicht (kg)	76,7 (13,0)	75,9 (13,2)	77 (15,8)	72,2 (16,5)	89,6 (22,7)
BMI	28 (3,9)	27,8 (6,1)	26,9 (3,9)	25 (4,6)	30,2 (5,7)
Häufigstes betroffenes Segment (in Kombination)	L4/5	L4/5	L3/4	L4/5	L5/S1

Tab.13.: Antropometrische Daten aufgeteilt nach Diagnosen

Auffallend im Vergleich der Diagnosegruppen ist das hohe Alter der Patienten mit Pseudospondylolisthese und degenerativer Instabilität.

4.1.3 Operationsdaten

Bei den Operationen der 97 Patienten wurden insgesamt 174 Wirbelsäulenbewegungssegmente versteift. Die am häufigsten operierten Bereiche waren L4/5 mit 25 Fällen (25,8%), L4-S1 mit 24 Fällen (24,7%) und L5/S1 mit 16 Fällen (16,5%). Die weitere Verteilung ist in Abbildung 11 dargestellt.

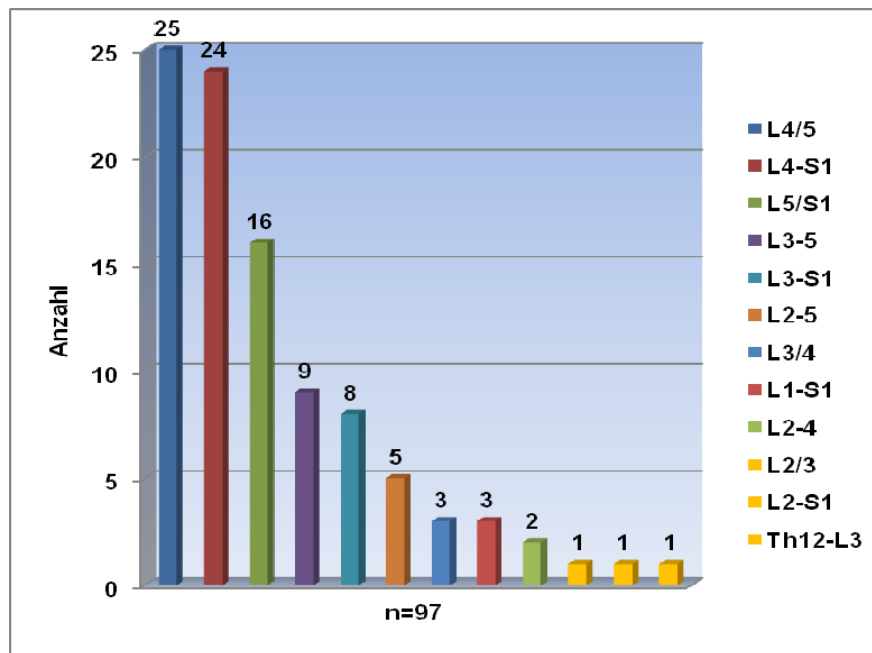


Abb.11.: Verteilung der Operationsbereiche im Gesamtkollektiv

Bei 45 Patienten (46,4%) wurde nur ein Segment versteift, bei 34 (35,1%) zwei Segmente und bei 18 Patienten (18,5%) drei oder mehrere Segmente.

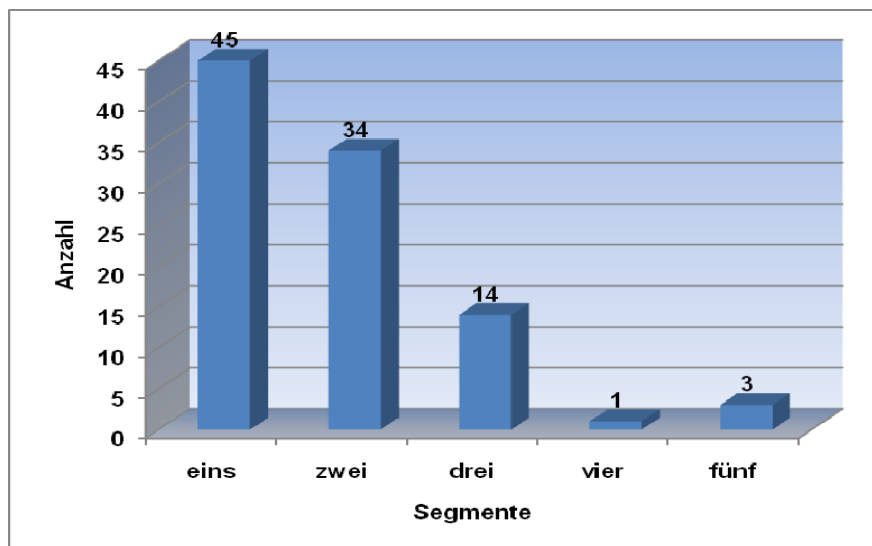


Abb.12.: Anzahl fusionierter Segmente

Es erhielten 45 (46,4%) eine dorsolaterale Spondylodese bzw. wurden nur dorsal instrumentiert, 38 Patienten (39,2%) wurden ventrodorsal versteift und bei 14 Patienten (14,4%) wurde eine interkorporelle posteriore Fusion durchgeführt. Die ventrodorsale Fusion erfolgte zweizeitig, wobei der durchschnittliche Zeitraum zwischen den beiden Operationen 13,2 Tage (7-43, SD 4,6) betrug. Der durchschnittliche stationäre Aufenthalt lag bei 23 Tagen (9-90, SD 10,8).

Ein weiteres Augenmerk lag auf den Operationskomplikationen. Zu den typischen Komplikationen zählten hierbei die Hämatome im Wundbereich. Im Gesamtkollektiv waren dreimal (3,1%) deutliche Hämatombildungen im Operationsgebiet erkennbar, wobei jedoch nur in einem Fall eine operative Revision bei massiver Einblutung notwendig war. Weitere Komplikationen waren oberflächliche und tiefe Wundinfekte, die insgesamt sieben Mal (7,2%) auftraten. Von den zwei tiefen Wundinfekten war bei einem eine operative Revision notwendig. Dazu kam ein Patient, der nach der Metallentfernung einen oberflächlichen Wundinfekt entwickelte. Zu den weiteren direkten operativen Komplikationen zählen fünf Duraverletzungen (5,2%) und sieben Gefäßverletzungen (7,2%), die eine Gefäßnaht erforderlich machten. Postoperativ war 6 Mal (6,2%) eine Schraubenfehlage festgestellt worden, wobei jedoch nur in einem Fall eine operative Korrektur notwendig wurde. Drei Patienten (3,1%) die einer ventralen Fusion unterzogen worden waren, zeigten Hinweise auf eine Verletzung des Grenzstranges im Sinne eines Sympathektomiesyndromes. Aufgrund der Beckenkammspanentnahme entwickelte sich durch die Schädigung des Nervus cutaneus femoris lateralis bei zehn Patienten (10,3%) eine Hypästhesie oder Schmerzen am ventrolateralen proximalen Oberschenkel. In drei Fällen (3,1%) waren persistierende Schädigungen an präoperativ unauffälligen Nervenwurzeln entstanden.

In der Zeit vor der Nachuntersuchung wurden zwölf Patienten (12,4%) bei entsprechender klinischer Symptomatik einem Zweiteingriff unterzogen. Gründe dafür waren in sechs Fällen (6,2%) eine Anschlußinstabilität, in drei Fällen (3,1%) ein Materialversagen, z.B. im Sinne eines Schraubenbruches. Bei weiteren drei Patienten (3,1%) war radiologisch eine Pseudarthrose nachgewiesen worden.

Bei den insgesamt 37 Patienten mit Spondylolisthese wurden insgesamt 52 Bewegungssegmente fusioniert. Die Bereiche L4/5 mit 13 (35,1%), L5/S1 mit neun (24,3%) und L4-S1 mit acht (21,6%) Fällen stellten die häufigsten Fusionsstrecken dar. Die weiteren Segmente waren nur vereinzelt vertreten. 23 Patienten (62,2%) wurden monosegmental, 13 Patienten (35,1%) bisegmental und ein Patient (2,7%) trisegmental fusioniert. 17 Patienten (45,9%) wurden ventrodorsal zweizeitig operiert, 14 Patienten (37,8%) dorsolateral und bei sechs Patienten (16,3%) wurde eine interkorporelle posteriore Fusion durchgeführt. Der durchschnittliche stationäre Aufenthalt lag bei 24 Tagen (9-90, SD 12,8). Bei drei Patienten (8,1%) war im weiteren Verlauf ein Zweiteingriff notwendig.

In der Gruppe der Patienten mit degenerativer Instabilität und Pseudospondylolisthese wurden bei den 17 Patienten 35 Segmente operativ versteift. Die häufigsten Fusionsstrecken sind L4/5 mit fünf Patienten (29,4%), gefolgt von L4-S1 mit drei Patienten (17,6%) und L3-5 sowie L3-S1 mit jeweils zwei Patienten (je 11,8%). Siebenmal (41,2%) wurde monosegmental, fünfmal (29,4%) bisegmental, dreimal (17,6%) trisegmental und zweimal (11,8%) polysegmental operiert. Bei jeweils drei (17,6%) Patienten erfolgte eine ventrodorsale oder interkorporell posteriore, bei elf Patienten (64,8%) eine dorsolaterale Fusion. Die stationäre Aufenthaltsdauer lag bei 26 Tagen (15-71, SD 13,9). Insgesamt fünf Patienten (29,4%) wurden einem Zweiteingriff unterzogen.

Insgesamt 54 Bewegungssegmente wurden bei den 27 Patienten mit Osteochondrose versteift. Die häufigste Fusionsstrecke war L4-S1 bei neun Patienten (16,7%), gefolgt von L5/S1 bei fünf Patienten (9,3%) und L4/5 sowie L3-S1 bei jeweils drei Patienten (je 5,6%). Bei 9 Patienten (16,7%) wurde eine monosegmentale, bei elf Patienten (20,3%) eine bisegmentale, bei sechs Patienten (11,1%) und bei einem Patienten (1,9%) eine polysegmentale Spondylodese durchgeführt. Zwölf Patienten (22,2%) wurden mit einer ventrodorsalen, elf Patienten (20,4%) mit einer dorsolateralen und vier Patienten (7,4%) mit einer interkorporellen posterioren Fusion versorgt. Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer lag bei 20 Tagen (13-33, SD 5,8). Nur ein Patient (1,9%) musste revidiert werden.

Bei den 11 Patienten mit Postnukleotomie-Syndrom wurden insgesamt 19 Bewegungssegmente fusioniert. Das Segment L4/5 wurde viermal (36,4%), die Segmente L4-S1 und L3-L5 jeweils zweimal versteift (je 18,2%). Fünf Patienten (45,6%) wurden monosegmental, vier (36,4%) bisegmental und zwei (18,2%) trisegmental fusioniert. In sechs Fällen (54,5%) wurde eine ventrodorsale, in vier Fällen (36,4%) eine dorsolaterale und in einem Fall (9,1%) eine interkorporelle posteriore Spondylodese durchgeführt. Die stationäre Liegedauer betrug im Durchschnitt 19 Tage (14-28, SD 4,2). Zwei Patienten (18,2%) benötigten im weiteren Verlauf einen Zweiteingriff.

Bei den 5 Patienten mit der Diagnose Spinalkanalstenose wurden insgesamt 14 Segmente fusioniert. Jeweils einmal fusioniert wurden die Segmente L5/S1, L1-S1, L2-5, L3-S1 und L4-S1. Alle fünf Patienten wurden dorsolateral fusioniert. Ein Patient (20%) bedurfte einer Revisionsoperation. Im Durchschnitt lagen die Patienten 27 Tage (21-32, SD 4,2) stationär.

Eine Zusammenfassung der Operationsdaten bezogen auf die Diagnosen gibt Tabelle 14.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ deg.Instabi- lität	Osteo- chondrose	PNS	Spinal- kanal- Stenose
Patienten	37	17	37	11	5
Ø stat. Aufenthalt (d)	24	26	20	19	27
OP:					
Dorso-ventral	17 (54,9%)	3 (17,6%)	12 (22,2%)	6 (54,5%)	
Dorso-lateral	14 (37,8%)	11 (64,8%)	11 (20,4%)	4 (36,4%)	5 (100%)
PLIF	6 (16,3%)	3 (17,6%)	4 (7,4%)	1 (9,1%)	
Häufigste Fusionsstrecke	L4/5	L4/5	L4-S1	L4/5	-
Zweiteingriff	3 (8,1%)	5 (29,4%)	1 (1,9%)	2 (18,2%)	1 (20%)

Tab. 14.: Operationsdaten aufgeteilt nach Diagnosen

4.2 Anamnestische Daten und klinische Befunde

Durch standardisierte Fragebögen, die Auswertung der Krankenakten und durch die klinische Untersuchung konnten objektive Aussagen über den prä- und postoperativen Zustand der Patienten gemacht werden. Als postoperativer Zustand wird im Folgenden das Langzeitergebnis gewertet, also der Zustand betrachtet, den die Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufwiesen.

4.2.1 Neurologie

Die Sensibilität der Patienten wurde dermatombezogen untersucht. Um die Motorik zu überprüfen wurden die Kennmuskeln der Spinalwurzeln auf etwaige Lähmungen untersucht und ihrer Funktionsfähigkeit entsprechend in Kraftgrade eingeteilt. Außerdem wurde bei jedem Patient der Reflexstatus ermittelt.

Bei insgesamt 61 Patienten (62,9%) war präoperativ ein neurologisches Defizit feststellbar, davon wiesen 31 Patienten (31,9%) sowohl motorische als auch sensible Störungen auf, sechs Patienten (6,2%) nur motorische und 24 Patienten (24,8%) nur sensible Störungen.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag die Zahl der Patienten mit einem neurologischen Defizit bei 42 (43,3%). 24 Patienten (24,7%) hatten sowohl Paresen als auch Sensibilitätsstörungen, elf Patienten (11,4%) nur Sensibilitätsstörungen und 7 Patienten (7,2%) nur motorische Störungen. Bei fünf Patienten (5,2%) kam es erst unmittelbar postoperativ zu einer neurologischen Symptomatik, die bei drei Patienten bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt persistierte.

Über eine Claudicatio spinalis intermittens klagten präoperativ 15 Patienten (15,5%), postoperativ nur noch 2 (2,1%).

	präoperativ	postoperativ
Neurologisches Defizit	61 (62,9%)	42 (43,3%)
Sensorisches Defizit	55 (56,7%)	35 (36,1%)
Motorisches Defizit	37 (38,1%)	32 (32,9%)
Claudicatio spinalis	15 (15,5%)	2 (2,1%)

Tab.15: Prä- und postoperative neurologische Symptome

4.2.2 Schmerz

Unter Zuhilfenahme einer visuellen Analogskala wurde die Schmerzintensität bestimmt. Damit konnte eine Schmerzbelastung in zehn Abstufungen angegeben werden. Rücken- und Beinschmerzen wurden dabei getrennt abgefragt. Mittels Mann-Whitney-Test wurden die prä- und postoperativen Schmerzskaalen jeweils miteinander verglichen. Der Mittelwert beim Rückenschmerz lag präoperativ bei 7,9 (1-10, SD 2,1) und postoperativ bei 4,6 (1-10, SD 2,8). Beim Beinschmerz lag der Mittelwert präoperativ bei 5,6 (0-10, SD 3,3) und postoperativ bei 3,2 (1-10, SD 2,8).

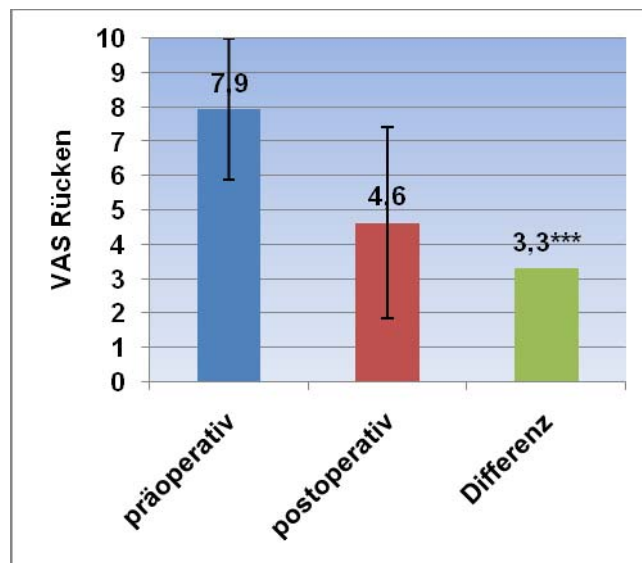


Abb. 13 a: VAS Rücken prä- und postoperativ

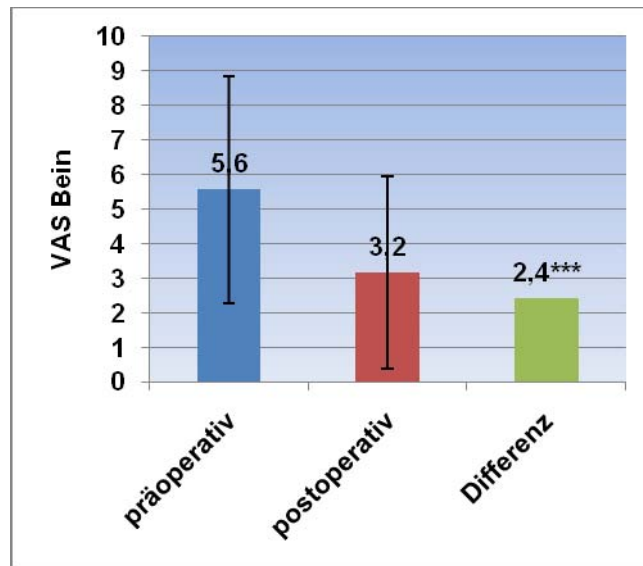


Abb. 13 b: VAS Bein prä- und postoperativ

Wie Abbildung 13 zeigt, hat sich die Intensität der Rücken- und Beinschmerzen durch die Operation stark reduziert. In beiden Fällen waren die Werte im Vergleich zum präoperativen Ausgangszustand hoch signifikant ($p < 0,001$) zurück gegangen.

Die Entwicklung der Schmerzsituation wurde in Abhängigkeit von bestimmten Variablen analysiert. Dazu gehören die präoperative Diagnose, die Anzahl der versteiften Segmente und die Art der Operation.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
VAS (Rücken)					
prä	7,7 (2,5)	7,3 (2)	8,5 (1,3)	8,1 (2,1)	8,6 (2,0)
post	3,8 (2,7)	5,1 (2,2)	4,3 (2,8)	6,9 (2,8)	6,0 (2,5)
p	<0,001***	0,005**	<0,001***	0,27ns	0,11ns
Δ	3,9	2,2	4,2	1,2	1,4
VAS (Bein)					
prä	5,8 (3,4)	4,9 (2,9)	5,0 (3,3)	6,2 (3,8)	7,8 (2,3)
post	2,8 (2,6)	2,9 (2,2)	2,7 (2,7)	5,3 (3,7)	4,8 (3,1)
p	<0,001***	0,03*	0,007**	0,58ns	0,12ns
Δ	3,0	2,0	2,3	0,9	3,0

Tab.16: VAS (MW/SD) in Abhängigkeit der präoperativen Diagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
VAS (Rücken)			
prä	8,0 (2,5)	7,8 (1,9)	8,0 (2,1)
post	4,3 (2,7)	4,9 (2,9)	4,9 (2,8)
p	<0,001***	<0,001***	<0,001***
Δ	3,7	2,9	3,1
VAS (Bein)			
prä	6,0 (3,3)	4,9 (3,2)	5,6 (3,5)
post	3,0 (2,7)	3,3 (2,8)	3,3 (3,1)
p	<0,001***	0,032*	0,044*
Δ	3,0	1,6	2,3

Tab.17: VAS (MW/SD) in Abhängigkeit der Zahl der versteiften Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
VAS (Rücken)			
prä	8,2 (1,6)	7,8 (2,3)	7,5 (2,2)
post	5,1 (3,0)	4,4 (2,7)	4,1 (2,3)
p	<0,001***	<0,001***	<0,001***
Δ	3,2	3,4	3,4
VAS (Bein)			
prä	5,1 (3,6)	6,1 (3,2)	4,9 (2,6)
post	3,6 (3,3)	3,0 (2,5)	2,6 (2,2)
p	0,062ns	<0,001***	0,018*
Δ	1,5	3,1	2,3

Tab.18: VAS (MW/SD) in Abhängigkeit der Operationsart

Über regelmäßig auftretende oder andauernde Lumbalgien klagten präoperativ 24 Patienten (24,7%) und postoperativ noch 20 (20,6%). Unter Lumboischialgien litten präoperativ 73 Patienten (75,3%), postoperativ nur noch 47 (48,5%). 25 Patienten (25,8%) gaben postoperativ nur noch gelegentliche Schmerzen an, die lediglich belastungsabhängig oder situativ auftraten. Lediglich 5 Patienten (5,1%) gaben postoperativ keine Schmerzen an.

Weiterhin wurden die Patienten über deren Analgetikakonsum zum Zeitpunkt vor der Operation und während der Nachuntersuchung befragt. Insgesamt 85 Patienten (87,6%) nahmen vor der Operation regelmäßig Schmerzmittel ein, alle übrigen nur bei Bedarf. Postoperativ reduzierte sich die Zahl der Patienten, die regelmäßig Analgetika einnahmen auf 58 (59,8%). 20 Patienten (20,6%) gaben postoperativ nur eine bedarfsorientierte Schmerzmitteleinnahme an, 19 Patienten (19,6) benötigten keine Analgetika mehr.

4.2.3 Einschränkungen im Alltag

Zur Evaluierung der körperlichen Einschränkung wurden die Patienten aufgefordert, den Grad ihrer Behinderung auf einer Skala von 0 bis zehn anzugeben. So lag der

Grad der Behinderung präoperativ im Mittel bei 6,9 (1-10, SD 1,9), postoperativ bei 4,8 (1-10, SD 2,3). Statistisch ergab sich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen dem Behinderungsgrad prä- und postoperativ ($p < 0,001$). Somit hat sich der Grad der Behinderung der Patienten durch die Operation deutlich reduziert.

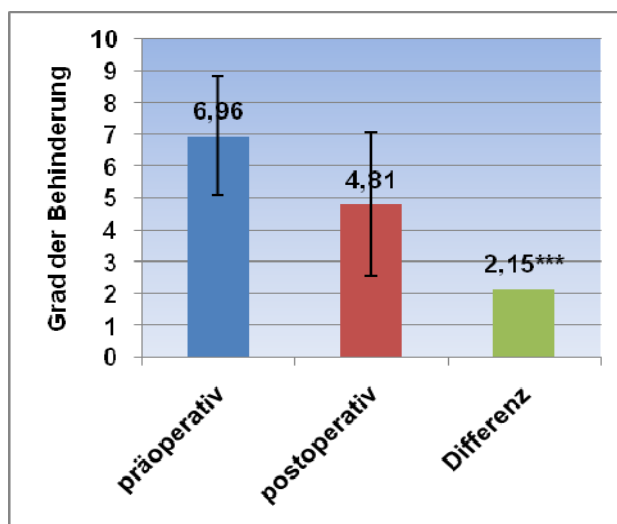


Abb. 14: Grad der Behinderung prä- und postoperativ

Auch der Grad der Behinderung wurde in Abhängigkeit der Operationsart, der Anzahl der versteiften Segmente und der präoperativen Diagnose analysiert.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
Grad der Behinderung					
prä	6,6 (2,2)	7,3 (1,4)	7,2 (1,7)	6,7 (1,8)	7,8 (1,8)
post	4,2 (2,2)	5,8 (2,1)	4,1 (2,1)	6,2 (2,1)	6,6 (1,8)
p	<0,001***	0,02*	<0,001***	0,56ns	0,13ns
Δ	2,4	1,5	3,1	0,5	1,2

Tab.19: Grad der Behinderung (MW/SD) in Abhängigkeit der präoperativen Diagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
Grad der Behinderung			
prä	7,2 (1,9)	6,4 (1,9)	7,3 (1,4)
post	4,7 (2,2)	5,0 (2,2)	4,7 (2,5)
p	<0,001***	0,007**	0,002**
Δ	2,5	1,4	2,6

Tab.20: Grad der Behinderung (MW/SD) in Abhängigkeit der Zahl der versteiften Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
Grad der Behinderung			
prä	7,2 (1,9)	7,0 (1,7)	6,3 (2,1)
post	5,0 (2,3)	4,8 (2,3)	4,2 (2,1)
p	<0,001***	<0,001***	0,014*
Δ	2,2	2,2	2,1

Tab.21: Grad der Behinderung (MW/SD) in Abhängigkeit der Operationsart

Als Maß für die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule wurde prä- und postoperativ der Fingerbodenabstand (FBA) bestimmt. Präoperativ lag der Mittelwert bei 24,7 (0-100, SD 18,1), postoperativ bei 20,8 (0-54, SD 16,57). Der Mann-Whitney-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Fingerbodenabstand prä- und postoperativ ($p > 0,05$). Die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule veränderte sich also durch die Operation in der Gesamtgruppe nicht wesentlich.

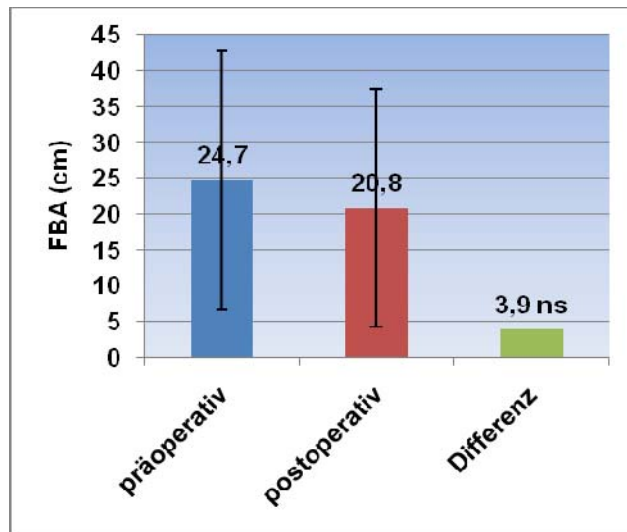


Abb. 15: FBA prä- und postoperativ

Auch hier erfolgte eine Differenzierung der Ergebnisse bezüglich der o.g. Variablen.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
FBA (cm)					
prä	19,9 (18,9)	22,4 (16,7)	29,1 (17,4)	35,5 (14,9)	22 (18,2)
post	17,4 (15,8)	20,7 (16,1)	19,1 (16,7)	37,1 (10,7)	20,6 (18,5)
p	0,53ns	0,76ns	0,036*	0,78ns	0,9ns
Δ	2,5	1,7	10	+1,6	1,4

Tab.22: FBA (MW/SD) in Abhängigkeit der präoperativen Diagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
FBA (cm)			
prä	22,6 (15,8)	24,8 (17,4)	30,2 (24)
post	18,9 (16,1)	21,6 (16,6)	24,3 (17,9)
p	0,27ns	0,44ns	0,46ns
Δ	3,7	3,2	5,7

Tab.23: FBA (MW/SD) in Abhängigkeit der Zahl der versteiften Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
FBA (cm)			
prä	30,3 (19,6)	21,2 (17,1)	21,1 (14)
post	24,8 (15,6)	18 (17,2)	19,2 (15,9)
p	0,18ns	0,37ns	0,74
Δ	5,5	3,2	1,9

Tab.24: FBA (MW/SD) in Abhängigkeit der Operationsart

Bei der Frage nach den sportlichen Aktivitäten vor Beginn der Wirbelsäulenerkrankung, unmittelbar präoperativ und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ergaben sich folgende Nennungen vonseiten der Patienten, die in Tabelle 16 dargestellt sind. Der Übersichtlichkeit halber wird auf die Angabe von nur in Einzelfällen ausgeübten Sportarten verzichtet. Mehrfachnennungen waren möglich.

Sportart	vor Erkrankung	präoperativ	postoperativ
Radfahren	71 (73,2%)	22 (22,7%)	53 (54,6%)
Schwimmen	42 (43,3%)	12 (12,4%)	22 (22,7%)
Wandern	29 (29,9%)	13 (13,4%)	14 (14,4%)
Ski fahren	18 (18,6%)	0 (0%)	2 (2,1%)
Gymnastik	6 (6,2%)	5 (5,2%)	9 (9,3%)
Spazieren gehen	76 (78,4%)	23 (23,7%)	67 (69,1%)
Sonstiges	21 (21,6%)	14 (14,4%)	17 (17,5%)

Tab.25: Häufigkeit der ausgeübten Sportarten

Ebenfalls durch Selbsteinschätzung beantworteten die Patienten die Frage, wie viel Prozent ihrer durchschnittlichen Sportfähigkeit sie direkt vor der Operation und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung besaßen. Präoperativ lag der Anteil der ursprünglichen Sportfähigkeit im Mittel bei 23% (0-75, SD 20,9), postoperativ bei 56,9% (0-100, SD 31,5). Die subjektive Einschätzung der eigenen

durchschnittlichen Sportfähigkeit ist postoperativ also hoch signifikant angestiegen ($p < 0,001$).

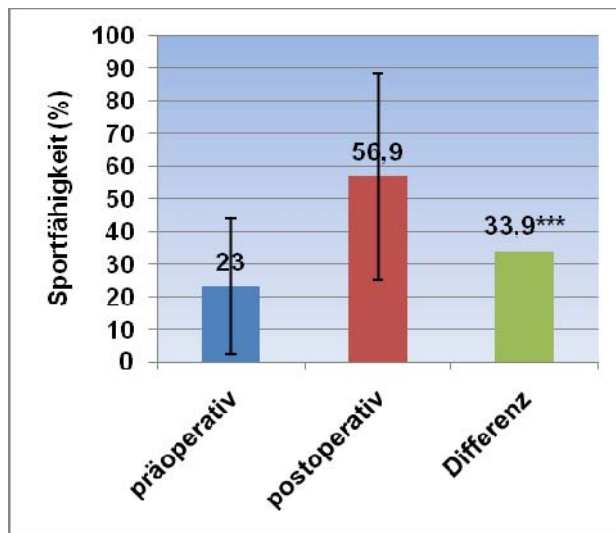


Abb. 16: Sportfähigkeit prä- und postoperativ

Die Einschätzung der Sportfähigkeit wurde ebenfalls unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
Sport- fähigkeit					
prä	23,2 (20,6)	24,1 (24,1)	27,2 (20,7)	15 (17,2)	12 (14,4)
post	54,3 (31,3)	67,9 (29,1)	59,0 (34,1)	48,6 (25)	44 (37)
p	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,002**	0,109ns
Δ	31,1	43,8	31,8	33,6	32

Tab.26: Sportfähigkeit (MW/SD) in Abhängigkeit der Ausgangsdiagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
Sport-fähigkeit			
prä	21,8 (20,6)	24,4 (23,4)	23,3 (17,1)
post	52,6 (30,1)	61,9 (33)	57,8 (32,2)
p	<0,001***	<0,001***	0,002**
Δ	30,8	37,5	34,5

Tab.27: Sportfähigkeit (MW/SD) in Abhängigkeit der Zahl der versteiften Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
Sport-fähigkeit			
prä	23,6 (19,2)	24 (23,1)	18,2 (18,3)
post	58,9 (27,6)	59 (32,5)	44,3 (37,1)
p	<0,001***	<0,001***	0,026*
Δ	35,3	35	26,1

Tab.28: Sportfähigkeit (MW/SD) in Abhängigkeit der Operationsart

Die Erinnerungsfähigkeit der Patienten hinsichtlich genauer Tagesangaben zu Krankschreibungen aufgrund der Wirbelsäulenbeschwerden war eingeschränkt, so dass die Angaben in Kategorien zusammengefasst wurden und auf die Berechnung einzelner Krankheitszeiten verzichtet werden musste.

Arbeitsunfähigkeitszeiten	präoperativ	postoperativ
Bis sechs Wochen	12 (12,4%)	3 (3,1%)
Sechs Wochen bis sechs Monate	19 (19,6%)	17 (17,5%)
Länger als sechs Monate	24 (24,7%)	23 (23,7%)
Keine AU, da Hausfrau/Rentner(in)	42 (43,3%)	54 (55,7%)

Tab.29: Arbeitsunfähigkeitszeiten prä- und postoperativ

Wie man aus Tabelle 17 ersehen kann, haben die kurzen Krankschreibungszeiten bis 6 Wochen postoperativ abgenommen, während die Anzahl der längeren Arbeitsunfähigkeitsdauern relativ konstant geblieben ist. Von 42 auf 54 hat die Zahl von Rentnern/ Hausfrauen zugenommen, die keine AU-Bescheinigung benötigten. Über 40% der Befragten standen dem Arbeitsmarkt bereits vor der Operation nicht mehr zur Verfügung.

4.2.4 Beurteilung des Operationsergebnisses

Die Patienten wurden im postoperativen Teil des Fragebogens gebeten, die Narbenbeschaffenheit, die Körperhaltung und das kosmetische Gesamtergebnis zu beurteilen. Dabei waren den Patienten vier Abstufungen vorgegeben: Sehr gut, gut, mäßig und schlecht. Auffallend hierbei war, dass die Narbenbeschaffenheit von 87,6% der Patienten als sehr gut oder gut eingeschätzt wurde, die Körperhaltung jedoch von mehr als der Hälfte (57,7%) als mäßig oder schlecht eingeordnet wurde. Insgesamt beurteilten 63,9% der Patienten das kosmetische Gesamtergebnis als sehr gut oder gut. Weitere Zahlen sind der Abbildung 17 zu entnehmen.

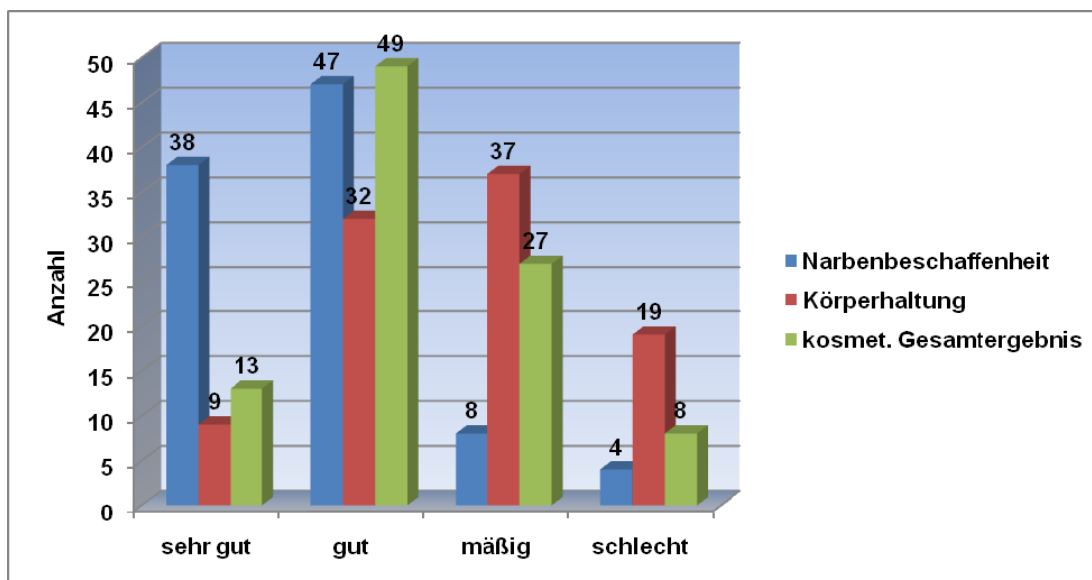


Abb. 17: Subjektive Beurteilung von Narbe, Körperhaltung und kosmetisches Gesamtergebnis

Die abschließende Frage an die Patienten, ob sie aus heutiger Sicht diesen Eingriff wieder vornehmen lassen würden, bejahten 74 der Patienten (76,3%). Die übrigen 23 der Befragten (23,7%) kamen zu dem Schluss, den Eingriff nicht noch einmal wiederholen zu lassen.

Auch nach dem Nutzen der Operation wurden die Patienten befragt. Insgesamt 83 von ihnen (85,6%) gaben an, dass ihnen die Operation geholfen habe. Nur 7 (7,2%) Patienten gaben an, dass Ihnen die Operation nicht geholfen hat und weitere 7 (7,2%) gingen sogar davon aus, dass die Operation eher geschadet hat.

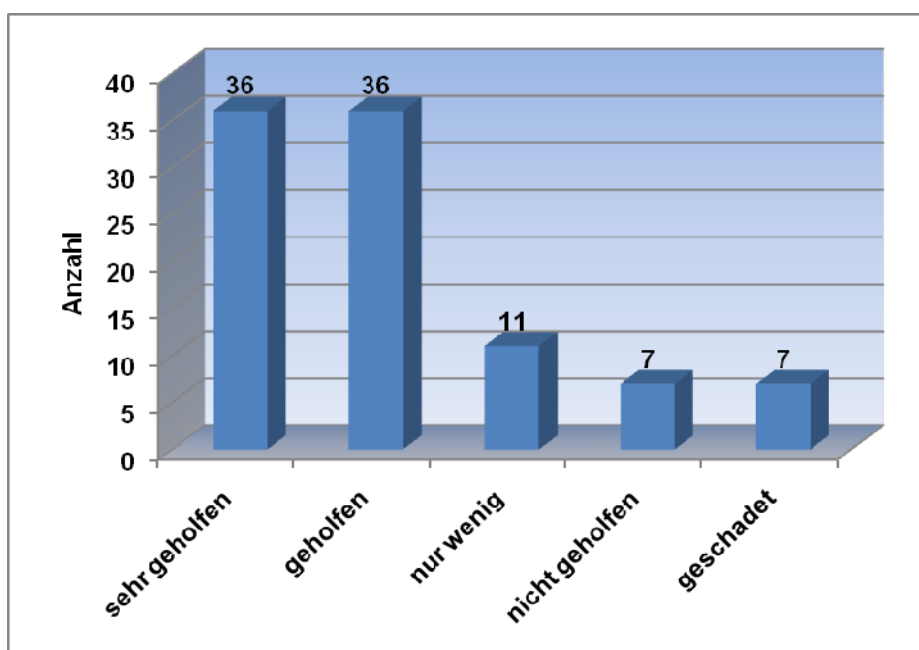


Abb. 18: Subjektive Einschätzung des Nutzens der Operation

Auf die Frage, ob die Patienten diese Operation Verwandten oder Bekannten weiterempfehlen würden, die an derselben Krankheit leiden, antworteten 55 (56,7%) mit ja, 24 (24,7%) mit bedingt und 18 (18,6%) mit nein.

4.3 Auswertung der Fragebögen

4.3.1 Oswestry-Disability-Score

Um die funktionellen Einschränkungen der Patienten auch mit anderen Studien vergleichen zu können, wurde der Oswestry-Disability-Score eingesetzt [103]. Hierbei steht eine niedrige Punktzahl für eine geringe Funktionseinschränkung.

Nach Auswertung der einzelnen Fragebögen ergab sich ein Gesamtwert von 50,7 % präoperativ (12-92, SD 20,4) und von 37,3% postoperativ (0-79, SD 21,2). Statistisch besteht ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen der körperlichen Einschränkung prä- zu postoperativ.

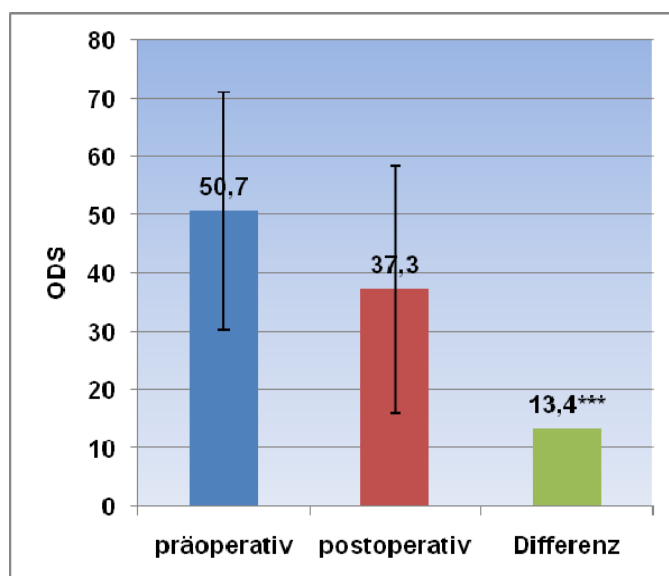


Abb. 19: ODS prä- und postoperativ

Unter Berücksichtigung der Prozentwerte erfolgte sowohl prä- als auch postoperativ eine Einteilung in fünf Gruppen. Die exakte Zuteilung der Patienten in die einzelnen Gruppen zeigt Abbildung 20.

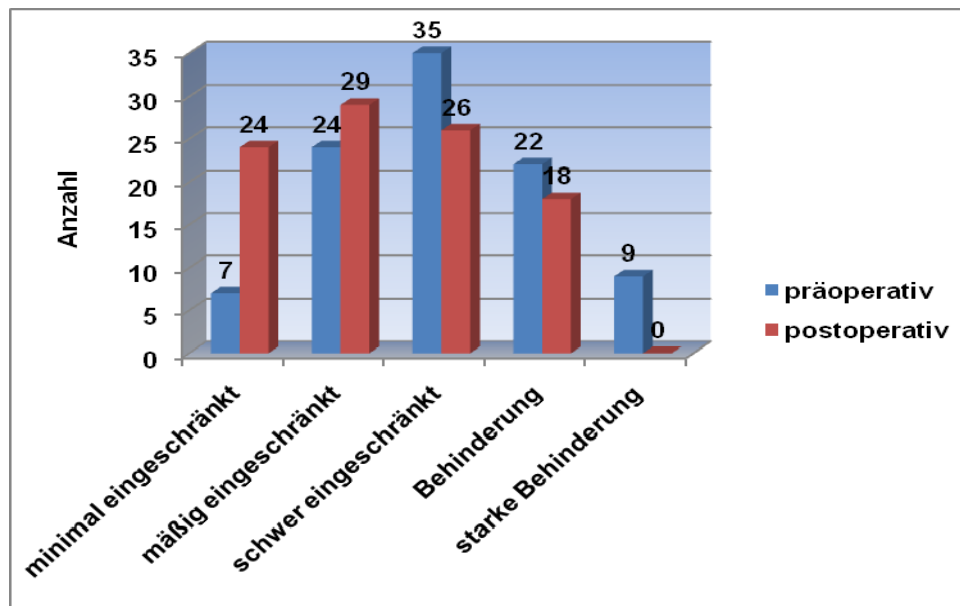


Abb. 20: Grade der Einschränkung gemäß ODS

Präoperativ bestand bei insgesamt 31 Patienten (31,9%) eine Behinderung und 35 (36,1%) waren in ihrer Funktionalität schwer eingeschränkt.

Postoperativ fanden sich in der vorliegenden Studiengruppe keine Patienten mehr mit einer schweren Behinderung. 53 Patienten (54,6%) sind im Alltag minimal oder mäßig eingeschränkt. 26 Patienten (26,8%) sind trotz der Operation durch den Schmerz schwer eingeschränkt und bei 18 (18,6%) Patienten ist eine Einschränkung in allen Lebenslagen durch eine weiter bestehende Behinderung gegeben.

Die Ergebnisse im Oswestry Disability Score wurden ebenfalls in Abhängigkeit der Ausgangsdiagnose, der Operationsart und der Anzahl der versteiften Segmente analysiert.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
ODS					
prä	44,7 (20,5)	59,8 (22)	45,9 (17)	66,4 (15,5)	56 (15,4)
post	28,7 (20,6)	47,2 (20)	32,4 (17)	57,6 (16,8)	48 (14,4)
p	<0,001***	0,09ns	0,005**	0,21ns	0,421ns
Δ	16	12,6	13,5	8,8	8

Tab.30: ODS (MW/SD) in Abhängigkeit der Ausgangsdiagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
ODS			
prä	50,2 (19)	48,6 (22,3)	55,9 (20,4)
post	35,8 (21)	37,6 (22,8)	40,3 (19,2)
p	<0,001***	0,048*	0,024*
Δ	14,4	11	15,6

Tab.31: ODS (MW/SD) in Abhängigkeit Anzahl der versteiften Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
ODS			
prä	50,4 (18,2)	51,1 (23,1)	50 (18,4)
post	37,6 (21,2)	37,8 (21,8)	34,3 (20,2)
p	0,006**	0,006**	0,041*
Δ	12,8	13,3	15,7

Tab.32: ODS (MW/SD) in Abhängigkeit der Operationsart

4.3.2 SF-36

Mit Hilfe des SF-36 wurde der allgemeine Gesundheitszustand der Patienten erfasst. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte anhand eines Handbuches [82] für getrennt für jeden einzelnen Patienten und für das Gesamtkollektiv. Ein Vergleich

mit anderen Arbeiten ist genauso möglich wie mit SF-36 Profilen einer Normpopulation.

Es werden insgesamt 8 Items abgefragt (zum Aufbau des SF-36 und Erläuterung der einzelnen Items Siehe S.38). Dazu gehören: körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU), körperliche Rollenfunktion (KÖRO), körperliche Schmerzen (SCHM), allgemeine Gesundheit (AGES), Vitalität (VITA), soziale Funktionsfähigkeit (SOFU), emotionale Rollenfunktion (EMRO), psychisches Wohlbefinden (PSYC) und Veränderung der Gesundheit (TEND). In allen acht abgefragten Items zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativ. Der allgemeine Gesundheitszustand besserte sich durch die Operation also signifikant.

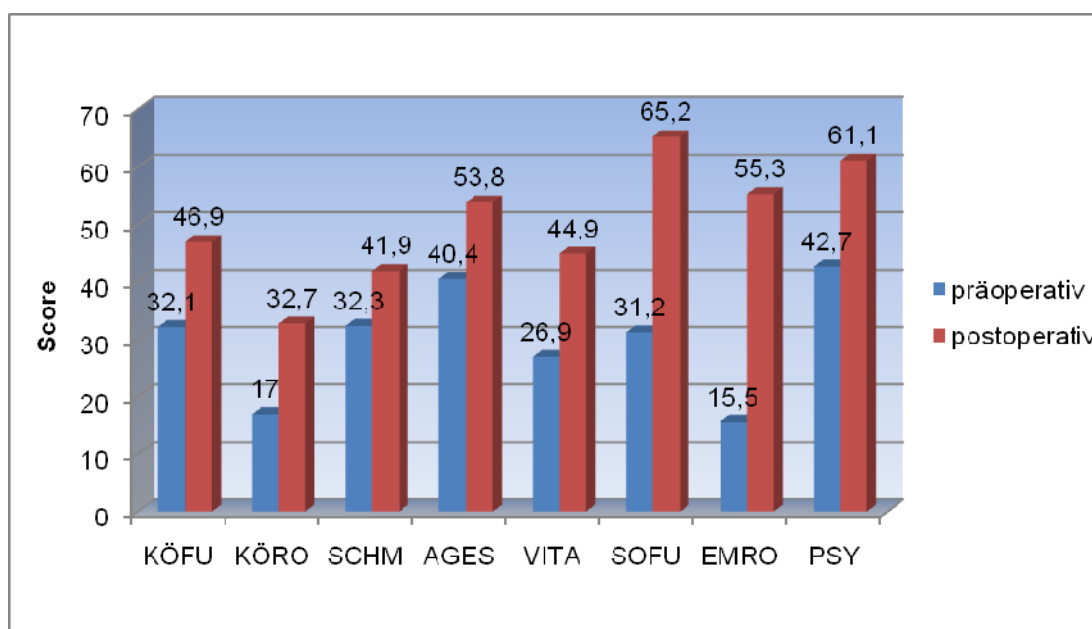


Abb. 20: SF-36 (MW) prä- und postoperativ

Item	KÖFU	KÖRO	SCHM	AGES	VITA	SOFU	EMRO	PSYCH
SD	prä 26,2	25,7	22,8	15,8	15,6	22,9	27,2	19,9
	post 26,9	41,8	26,7	17,4	18,7	29,8	46,6	20,9
p	<0,001	0,044	0,013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tab.33: Standardabweichungen und p-Werte der SF-36- Items prä- und postoperativ

Zur Berechnung der beiden Summenskalen wurden Mittelwerte, Standardabweichung und Regressionskoeffizienten für jede der acht SF-Subskalen aus einer amerikanischen Normpopulation verwendet. Der Gesamtwert für die körperliche Gesundheit lag in der Studiengruppe präoperativ bei 31,3 und postoperativ bei 34,3. Für die psychische Gesundheit ergab sich präoperativ ein Wert von 32,2 und postoperativ von 45,9. Unterschiede von 2 Punkten in der Sumenskala gelten dabei als klinisch relevant [104;105]. Durch die Operation kam es also zu einer relevanten Verbesserung der körperlichen und psychischen Gesundheit.

Weiterhin erfolgte ein Vergleich der postoperativen Ergebnisse mit denen einer altersentsprechenden Referenzpopulation ohne Wirbelsäulenbeschwerden. Somit sollte festgestellt werden, in welchem Maße sich der allgemeine Gesundheitszustand von Patienten mit lumbaler Fusionsoperation dem von gesunden gleichaltrigen Menschen annähert. Gegenüber der Referenzpopulation fanden sich hierbei für die einzelnen Dimensionen des SF-36 erhebliche Abweichungen. Insgesamt ergab sich trotz Operation eine signifikant eingeschränkte Lebensqualität der Studiengruppe.

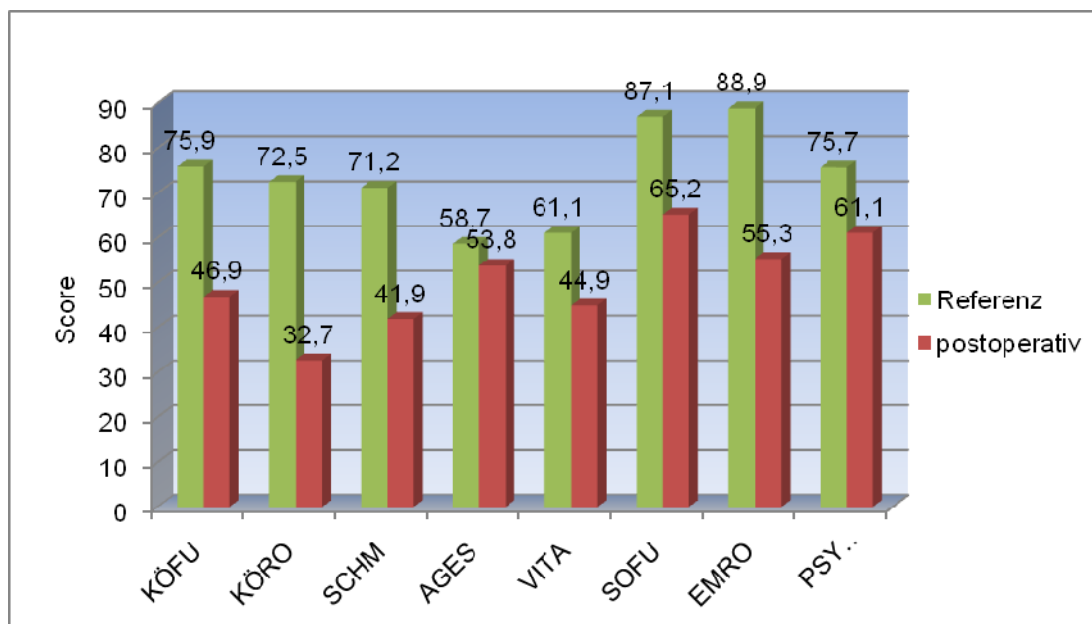


Abb. 21.: SF 36 (MW) postoperativ verglichen mit altersgemachter Referenzpopulation

Item		KÖFU	KÖRO	SCHM	AGES	VITA	SOFU	EMRO	PSYCH
SD	Referenz	22,6	35,2	27,0	18,1	18,5	18,4	25,8	16,6
	post	26,9	41,8	26,7	17,4	18,7	29,8	46,6	20,9
p		<0,001	<0,001	<0,001	0,016	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tab.34: Standardabweichungen und p-Werte der Items postoperativ und der altersentsprechenden Referenzpopulation

4.4 Befunde der bildgebenden Diagnostik

Die radiologische Follow-up Untersuchung fand am selben Tag der klinischen Nachuntersuchung statt. Standardisiert erfolgte die Auswertung von einem erfahrenen Radiologen und unabhängig davon vom Autor.

4.4.1 Fusion

Eine Fusion der operierten Segmente konnte in 83 Fällen diagnostiziert werden. Damit ergibt sich eine Fusionsrate von 85,6%. Bei Sechs Patienten (6,2%) konnte keine solide knöcherne Fusion nachgewiesen werden. In vier Fällen (4,1%) kam es zum Materialversagen und in vier Fällen (4,1%) zur Schraubenlockerung. Von diesen Patienten wurden Sechs bei entsprechender Symptomatik bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung einem Zweiteingriff unterzogen. Auffallend ist, dass neun der 14 Fälle (64,3%) einer solchen knöchernen oder materiellen Disintegrität nach einer dosolateralen Fusionsoperation vorkamen.

4.4.2 Sagittales Alignment

Der durchschnittliche Gesamtlordosewinkel der Studiengruppe betrug präoperativ 52,2° (23-81, SD 13,2) und postoperativ 49,3° (4-90, SD 14,9). Insgesamt kam es also durch die Operation zu keiner signifikanten Abnahme des Lordosewinkels. In 60 einzelnen Fällen (61,9%) kam es zu einer Abnahme des Lordosewinkels. Bei diesen Patienten nahm der Lordosewinkel durchschnittlich um 7,6° (1-28, SD 6,9)

ab. Bei 21 Patienten (21,6%) nahm der Lordosewinkel im Durchschnitt um $8,4^\circ$ (1-33, SD 8,8) zu, bei 16 Patienten (16,5%) blieb er gleich.

Der Fusionswinkel lag präoperativ im Durchschnitt bei $25,3^\circ$ (4-62, SD 11,5) und postoperativ bei $21,6^\circ$ (0-55, SD 11,2). Der Winkel zwischen Grund- und Deckplatte der fusionierten Wirbel nahm durch die Operation signifikant ($p=0,024$) ab. Bei 67 Patienten (69,1%) kam es zu einer durchschnittlichen Abnahme des Winkels um $6,1^\circ$ (1-24, SD 5,2), bei 19 Patienten (19,6%) war eine Zunahme zu verzeichnen, die im Durchschnitt $5,1^\circ$ (1-16, SD 3,9) betrug.

4.4.3 Beurteilung der Nachbarsegmente

Insbesondere sollten im Verlauf degenerative Veränderungen der Nachbarsegmente einer bestimmten Fusionsstrecke beurteilt werden. Als morphologisches Korrelat einer Nachbarsegmentdegeneration wurden mehrere Kriterien standardisiert erfasst: Veränderung der Bandscheibenhöhe, degenerative Anbauten, Facettengelenksarthrose und Veränderungen der Grund- und Deckplatten. Ursächlich sind diese Faktoren allesamt Ausdruck einer erhöhten mechanischen Belastung nach Fusion eines bestimmten Segmentes [106;107].

4.4.3.1 Spondylarthrose

Ein häufiger Grund für die Entstehung einer Nachbarsegmentdekompensation ist die Facettengelenkshypertrophie der nächstgelegenen Segmente neben einer Fusion, die zu erneuten Schmerzen und neurologischen Symptomen führt [108]. Präoperativ wiesen 63 Patienten (64,9%) degenerative Veränderungen der Facettengelenke im kranialen Nachbarsegment der späteren Fusion auf, postoperativ lag die Zahl bei 81 Patienten (83,5%). Bei insgesamt 46 Patienten konnte postoperativ ein kaudales Segment beurteilt werden. Präoperativ wiesen davon 31 Patienten (67,4%) und postoperativ 40 (86,9%) eine Facettengelenksarthrose auf.

Mit Hilfe des Grading-Systems nach Pathria [109] wurde der Ausprägungsgrad osteoarthrotischer Veränderungen der Facettengelenke bestimmt. Für das kraniale Segment lag dieser Wert präoperativ bei durchschnittlich 0,96 (0-3, SD 0,76),

postoperativ bei 1,5 (0-3, SD 1,0). Somit kam es zu einem hoch signifikanten Anstieg des Arthrosegrades der Facettengelenke im kranialen und kaudalen Segment ($p < 0,001$). Der Arthrosegrad im kaudalen Segment lag präoperativ im Durchschnitt bei 1,0 (0-3, SD 0,88), postoperativ bei 1,6 (0-3, SD 0,98). Auch hier war der Anstieg signifikant ($p = 0,003$).

Der Grad der Spondylarthrose wurde wiederum in Abhängigkeit verschiedener Variablen analysiert.

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
Grad der Spondylarthrose					
prä	0,97 (0,8)	1,1 (0,8)	0,93 (0,7)	0,64 (0,67)	1,4 (0,54)
post	1,6 (1,1)	1,6(1,0)	1,4 (0,97)	1,4 (0,81)	1,8 (1,1)
p	0,007**	0,098ns	0,042*	0,034ns	0,48ns
Δ	0,62	0,53	0,48	0,72	0,4

Tab.35: Grad der Spondylarthrose (MW/SD) in Abhängigkeit der Diagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
Grad der Spondylarthrose			
prä	0,91 (0,79)	0,82 (0,67)	1,3 (0,77)
post	1,4 (0,89)	1,5 (0,93)	2,1 (1)
p	0,004**	<0,01***	0,011*
Δ	0,53	0,68	0,8

Tab.36: Grad der Spondylarthrose (MW/SD) in Abhängigkeit der Anzahl versteifter Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
Grad der Spondylarthrose			
prä	0,84 (0,68)	1,1 (0,73)	0,71 (0,98)
post	1,4 (1)	1,7 (1)	1,2 (0,9)
p	0,006**	0,002**	0,18ns
Δ	0,56	0,6	0,49

Tab.37: Grad der Spondylarthrose (MW/SD) in Abhängigkeit der Operation

4.4.3.2 Spondylosis deformans

Die Bestimmung einer etwaigen Degeneration des Intervertebralraumes der Nachbarsegmente erfolgte mittels UCLA-Grading Scale. Dazu wurden Bandscheibenhöhe, Endplatten und osteophytäre Anbauten beurteilt [110]. 48 Patienten (49,5%) wiesen schon vor der Operation im kranial der Fusion benachbarten Segment Anzeichen für eine Spondylosis deformans auf, postoperativ waren dies 74 Patienten (76,3%). Im kaudal der Fusion benachbarten Segment war eine Spondylose präoperativ bei 30 von 46 Patienten (65,2%) und postoperativ bei 42 Patienten (91,3%) nachweisbar. Der Grad der Arthrose des Intervertebralraumes gemäß UCLA Grading-Scale lag für das kraniale Segment präoperativ im Durchschnitt bei 1,7 (1-4, SD 0,84), postoperativ bei 2,4 (1-4, SD 1,1). Damit ergibt sich eine hoch signifikante Zunahme des Arthrosegrades ($p < 0,001$). Der Arthrosegrad für das kaudale Segment nahm ebenfalls hoch signifikant zu, nämlich von 2 (1-4, SD 0,87) präoperativ auf 2,8 (1-4, SD 1,0) postoperativ ($p < 0,001$).

	Spondylo- listhese	Deg.Listhese/ Instabilität	Osteo- chondrose	PNS	Spinalkanal- Stenose
Grad der Spondylose					
prä	1,6 (0,8)	2,2 (0,9)	1,7 (0,9)	1,4 (0,5)	2,2 (0,5)
post	2,3 (1,1)	2,6 (1,1)	2,3 (1,1)	2,4 (0,8)	3 (1)
p	0,003**	0,25ns	0,033	0,002**	0,148ns
Δ	0,7	0,4	0,6	1	0,8

Tab.38: Grad der Spondylose (MW/SD) in Abhängigkeit der Diagnose

	monosegmental	bisegmental	polysegmental
Grad der Spondylose			
prä	1,6 (0,8)	1,7 (0,9)	2,1 (0,9)
post	2,2 (1,0)	2,4 (1,1)	2,9 (1,1)
p	0,002**	0,005**	0,023*
Δ	0,6	0,7	0,8

Tab.39: Grad der Spondylose (MW/SD) in Abhängigkeit der Anzahl versteifter Segmente

	ventrodorsal	dorsolateral	PLIF
Grad der Spondylose			
prä	1,5 (0,7)	1,9 (0,9)	1,7 (0,7)
post	2,3 (0,9)	2,6 (1,2)	2,1 (1,0)
p	<0,01***	0,002**	0,231ns
Δ	0,8	0,7	0,4

Tab.40: Grad der Spondylose (MW/SD) in Abhängigkeit der Operation

4.5 Korrelation zwischen klinischem und radiologischem Ergebnis

Weiterhin wurde überprüft, ob strukturelle Formveränderungen wie die Degeneration der Zwischenwirbelräume und die Facettengelenksarthrose das klinische Outcome beeinflussen.

Keine signifikante Korrelation konnte zwischen dem postoperativen Rückenschmerz und dem Ausprägungsgrad der Facettengelenksarthrose ($p=0,244$) oder der Spondylosis deformans ($p=0,132$) gefunden werden. Für den Beinschmerz ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge.

Der postoperative ODS korrelierte nicht mit der Ausprägung der Facettengelenksarthrose ($p=0,287$). Es konnte jedoch ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem postoperativem ODS und dem Ausprägungsgrad

der Spondylosis deformans gefunden werden ($p=0,01^*$). Je größer also die Degeneration in den Zwischenwirbelräumen der Nachbarsegmente, desto schlechter war das funktionelle Ergebnis gemessen mittels ODS.

Eine knöcherne oder materielle Desintegrität beeinflusste das klinische Ergebnis nicht signifikant. Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Vorhandensein einer Pseudarthrose und dem Oswestry-Disability Score ($p=0,134$) oder der Schmerzintensität ($p=0,765$) festgestellt werden. Patienten mit einer radiologisch nachgewiesenen Pseudarthrose hatten also kein wesentlich schlechteres Ergebnis als Patienten bei denen eine knöcherne oder materielle Integrität bestand.

4.6 Analyse von Prädiktoren

Um etwaige Prädiktoren für das klinische, funktionelle und radiologische Ergebnis zu eruieren, wurden die Ergebnisse der Visuellen Analogskala, des Oswestry Disability Score und der radiologischen Befunde mit bestimmten Variablen verknüpft.

4.6.1 VAS

Für den postoperativen Rückenschmerz konnte keine signifikante Korrelation mit dem Alter bei der Operation ($p=0,15$), dem BMI ($p=0,06$), dem Geschlecht ($p=0,54$), dem Rauchverhalten ($p=0,15$) und der Anzahl der versteiften Segmente ($p=0,54$) gefunden werden. Ebenso waren für den Beinschmerz keine signifikanten Korrelationen zu eruieren.

4.6.2 ODS

Der postoperative ODS korrelierte ebenfalls nicht signifikant mit dem Alter ($p=0,6$), dem BMI ($p=0,13$), dem Geschlecht ($p=0,33$), dem Rauchverhalten ($p=0,49$) und der Anzahl der versteiften Segmente ($p=0,38$).

4.6.3 Nachbarsegmente

Der Grad der Facettengelenksarthrose im benachbarten Segment korrelierte signifikant positiv mit dem Alter der Patienten ($p=0,003^{**}$). Es zeigte sich keine signifikante Korrelation zum BMI ($p=0,42$), dem Geschlecht ($p=0,59$), dem Rauchverhalten ($p=0,78$) und der Anzahl der versteiften Segmente ($p=0,11$).

Die postoperative Degeneration der Intervertebrälräume, gemessen anhand der UCLA-Grading-Scale, korrelierte ebenfalls signifikant positiv mit dem Alter ($p=0,001^{**}$). Es zeigte sich zudem keine signifikante Korrelation mit dem Geschlecht ($p=0,86$), dem BMI ($p=0,205$) und dem Rauchverhalten ($p=0,164$). Auffallend war hier jedoch die signifikant positive Korrelation mit der Anzahl der versteiften Segmente ($p=0,007^{**}$).

5 DISKUSSION

5.1 Limitationen

Teilweise über einen mehr als 15-jährigen Verlauf konnten in der orthopädischen Klinik des Klinikums Großhadern operierte Patienten nachuntersucht und zu ihrem Gesundheitszustand befragt werden.

Möglicherweise stellte hier jedoch der lange Zeitraum von rund zehn Jahren, in dem die Patienten in die vorliegende Untersuchung aufgenommen wurden, ein Problem hinsichtlich der Homogenität der untersuchten Gruppe dar. So wurden Patientenangaben miteinander verglichen, die sich hinsichtlich der Länge der postoperativen Zeitdauer um bis zu elf Jahre unterscheiden. So war es in erster Linie aus organisatorischen Gründen nicht möglich, exakte 5- bzw. 10-Jahres-Outcomes zu ermitteln.

Dieses Problem ergibt sich aber auch bei vielen anderen Studiengruppen, wie beispielsweise die Arbeit von Remes [111] zur Untersuchung der

Langzeitergebnisse von drei unterschiedlichen Fusionstechniken bei isthmischer Spondylodese zeigt. Dort schwankte der Zeitraum der durchschnittlich nach 17 Jahren stattgefundenen postoperativen Patientenbefragung zwischen 10 und 26 Jahren.

Der entscheidende Vorteil der vorliegenden Untersuchung liegt, wie auch bei der Studiengruppe von Remes darin, dass den gewonnenen Ergebnissen sehr lange Nachbeobachtungszeiten von durchschnittlich 9,1 Jahren (15,3 bis 4,8 Jahre) zugrunde liegen. Derartig lange Follow-up-Zeiten werden in der Literatur nur selten gefunden.

Auf die Problematik einer retrospektiven Datenerhebung soll explizit hingewiesen werden. Obwohl die Erfassung vieler präoperativer Daten, wie zum Beispiel die virtuelle Analogskala, mithilfe der Akteneinsicht leicht möglich war, ist es dennoch problematisch, retrospektiv Daten zu erheben, die den präoperativen Zustand der Patienten beschreiben. So zeigen Erhebungen von retrospektiven Lebensverlaufsangaben, dass Befragte mehr oder weniger große Schwierigkeiten beim Erinnern und Datieren von Ereignissen aus ihrem Leben haben [112]. Dennoch werden in vielen retrospektiven Studien Scores wie zum Beispiel der Oswestry-Disability-Score verwendet, um den prä- und postoperativen Zustand von Patienten abzufragen [113-116]. Auch der SF-36 ist hinsichtlich seiner Aussagekraft über das prä- und postoperative Patientenbefinden so nur eingeschränkt verwertbar. Der von uns angestellte Vergleich mit veröffentlichten Werten der Normalbevölkerung zeigt eine eingeschränkte Lebensqualität der untersuchten Patienten. Die relativ geringe Fallzahl lässt jedoch keine gesicherten Aussagen zu. Auch der prä- zu postoperative Vergleich lässt keinen eindeutigen Schluss zu. Somit sind die gefundenen Signifikanzen nicht unbedingt mit einer klinischen Relevanz gleichzusetzen. Einschränkend muss also angemerkt werden, dass die Aussagekraft einer Studie erst durch schlüssige Folgerungen erreicht wird, wie sie nur prospektiv möglich sind [117]. Auch scheinen retrospektive Untersuchungen tendenziell bessere Ergebnisse zu liefern, wie prospektive [118].

Als weiterer möglicher Kritikpunkt unserer Untersuchungen könnte die niedrige Fallzahl in den Untergruppen und deren Einfluss auf die statistische Aussagekraft angesehen werden. Nach Bortz et al. [119] können jedoch auch bei kleinen Stichproben ($n < 30$) mit dem Student-t-Test statistisch signifikante Aussagen gemacht werden. Die vorliegende Studie stellt eine retrospektive Untersuchung einer heterogenen Patientenpopulation dar. Durch Schaffung einer homogenen Studiengruppe wären eventuell stärkere Korrelationen zwischen den Variablen erkennbar gewesen.

Im Vergleich mit anderen Studiengruppen erscheint unsere jedoch mit 97 Studienteilnehmern groß und es können relativ genaue Aussagen über die klinischen und radiologischen Langzeitverläufe gemacht werden.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung hinsichtlich ihrer Wertigkeit diskutiert und mit Ergebnissen anderer Studien verglichen, wobei jeweils auf die im Einleitungsteil aufgestellten Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit Bezug genommen wird.

5.2 Klinische Ergebnisse

5.2.1 Allgemeines

In der Literatur findet sich ein breites Spektrum von Angaben über die klinischen Ergebnisse von lumbalen Fusionsoperationen. Gute Ergebnisse variieren zwischen 16 und 95 % mit der Beobachtung, dass prospektive Studien ein schlechteres Ergebnis erzielen als retrospektive Untersuchungen [120].

Kriterien für die Feststellung eines erfolgreichen Operationsergebnisses sind häufig uneinheitlich. Hinzu kommen verschiedene Bewertungssysteme, welche die postoperativen Beschwerden der Patienten unterschiedlich gewichten und damit bei einer gleichen Patientengruppe zu unterschiedlichen Bewertungen kommen [121]. Oft beruhen die von den Patienten angegebenen Werte auf Einzelfragen, ohne dass ein bestimmtes Bewertungssystem angewandt wurde.

Ein wichtiger Ergebnisparameter nach lumbalen Fusionsoperationen ist die Re-Operationsrate, die in unserem Patientenkollektiv bei 12,4% lag, und damit mit den Ergebnissen anderer Studien durchaus vergleichbar ist. Die meisten Studien geben eine Reoperationsrate von 10-20% an [122-124].

5.2.2 Neurologische Symptomatik

Insgesamt konnte die Zahl der Patienten mit präoperativem neurologischen Defizit von 61 (62,9%) auf 42 (43,3%) gesenkt werden. Dieses Ergebnis entspricht weitestgehend auch den Zahlen anderer Nachuntersuchungen von lumbalen Fusionen mit Pedikelschrauben. In einer Nachuntersuchung von 46 Patienten mit Postnukleotomie-Syndrom, die mit dorsolateraler Spondylodese versorgt wurden, lag laut Thalgott et al. der Anteil der Patienten mit bleibendem postoperativen Defizit bei 40% [125]. Auch in einer prospektiven randomisierten Studie von Inambdar et al., in der von 20 Patienten jeweils 10 mit posterolateraler und 10 mit posteriorer interkorporeller Fusion versorgt wurden, konnte der Anteil der Patienten mit neurologischem Defizit von präoperativ 35% auf postoperativ 20% gesenkt werden [126]. Trotz des Risikos einer bleibenden Nervenwurzelverletzung durch die Operation, welches in vorliegender Studie bei 3,1% lag, stellt die lumbale Fusion ein geeignetes Operationsverfahren dar, um eine etwaige neurologische Beschwerdesymptomatik zu bessern oder sogar zu beheben.

Beim Einsatz von Pedikelschrauben bestanden lange Zeit Bedenken, dass das Risiko für Nervenwurzelläsionen mit einer Komplikationsrate von bis zu 15% sehr hoch sei [127]. In großen multizentrischen Studien stellte sich dieses Risiko jedoch kleiner als ursprünglich erwartet dar, so dass sich dieses Verfahren der inzwischen beinahe vier Jahrzehnte seit seiner Entdeckung mehr und mehr durchsetzen konnte.

In einer multizentrischen Kohortenstudie aus dem Patientengut von 312 verschiedenen Chirurgen fanden Yuan *et al.* bei 2177 Patienten 3,5 % vorübergehende und 1,5 % persistierende radikuläre Symptome mit einer

Reinterventionsrate von 1,6 % aller Fälle [128]. Ebenfalls in einer multizentrischen Untersuchung berichteten Esses *et al.* über 2,4 % vorübergehende und 2,3 % persistierende Nervenwurzelschädigungen [129]. In einer Reviewuntersuchung von 1680 Patienten, welche mit einer posterioren interkorporellen Fusion versorgt wurden, fanden Greiner-Perth *et al.* nur 5 Fälle (0,3%) mit postoperativ neu aufgetretener neurologischer Symptomatik [130]. Diese Werte geben das ungefähre Risiko am deutlichsten 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 fünf Fällen (5,2%) postoperativ neue Radikulopathien auf, bei drei Patienten (3,1%) waren sie bis zur Nachuntersuchung persistierend.

Bei 10,3 % der Patienten persistierte eine Symptomatik im Versorgungsgebiet des N. cutaneus femoris lateralis auch noch am Tag der Nachuntersuchung. 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 Beckenkammspäne gewonnen werden musste. Dies erhöht das Risiko für Läsionen und Einblutungen im Beckenkammbereich mit der Möglichkeit einer nachfolgenden Nervenirritation.

Wichtig zur Vermeidung von neurologischen Komplikationen bei der Pedikelschraubenimplantation, ist neben operativer Erfahrung, die schrittweise Lagekontrolle mittels bildgebender Verfahren in zwei Ebenen. In der Anfangsphase der persönlichen Erfahrung beim Setzen der Pedikelschrauben berichten verschiedene Autoren über gehäufte Komplikationen [131]. Eine Schraubenfehlplatzierung geht nicht zwangsläufig mit einer Nervenwurzelläsion

einher. Mediale Pedikelperforationen haben zwar dabei das höchste potenzielle Risiko für eine Nervenläsion, aber auch in diesen Fällen wurden Schädigungen erst ab einer Überschreitung des medialen Pedikels von mehr als 6 mm berichtet [132]. In Zukunft werden computergestützte Navigationssysteme dieses Risiko weiter minimieren [133].

5.2.3 Schmerzsituation

Es lässt sich aus den gewonnenen Ergebnissen sagen, dass sich die präoperativ vorhandene Schmerzstärke durch die Operation für die Patienten insgesamt verringert hat. Dies gilt sowohl für die Rücken-, als auch für die Beinschmerzen. Beim Rückenschmerz kam es durchschnittlich zu einer Besserung um 41,7%, beim Beinschmerz um 42,9%.

Während sich bei Patienten mit Spondylolisthesis vera oder Osteochondrose sogar eine Besserung von bis zu 50% durch die Operation einstellte, kam es bei Patienten mit einem Postnukleotomie-Syndrom nur zu einer Besserung der Beschwerden von ungefähr 15% sowohl für die Bein- als auch für die Rückenschmerzen. Buttermann et al. analysierten in einer retrospektiven Studie die Schmerzsituation nach lumbaler Fusionsoperation in Abhängigkeit von verschiedenen Diagnosegruppen. Dabei besserte sich durch die Operation die Schmerzsituation der Patienten mit Spondylolisthesis vera weit mehr als die der Patienten mit Postdiskektomie-Syndrom und degenerativen Erkrankungen [134]. Die Hypothese, dass Patienten mit isthmischer Spondylolisthese im Hinblick auf die Schmerzsituation weit mehr von einer Fusionsoperation profitieren als Patienten mit degenerativen Erkrankungen, konnte jedoch auch durch Ergebnisse anderer Autoren widerlegt werden [135].

Bei allen drei Operationstechniken kam es zu einer Reduktion der Schmerzintensität sowohl der Bein-, als auch der Rückenschmerzen. Bezüglich der Operationsart konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Schmerzveränderung festgestellt werden. In einer prospektiven Studie mit 88 Spondylolisthese-Patienten verglichen Ekman et al. dorsolaterale und posterior interkorporelle Fusionsoperationen miteinander. Dabei ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in beiden Gruppen bezüglich der Schmerzreduktion oder des

funktionellen Ergebnisses [136]. Diese Beobachtung bestätigen auch Studien von Kim et al. [137] und Lidar [138] et al. In einer Studie von Krismer et al., welche 122 konsekutive Fällen mit Spondylolisthese einschließt, von denen 76 der Patienten mit einer dorsolateralen und 46 weitere mit einer ventrodorsalen Fusionsoperation versorgt wurden, war der Schmerz in der kombinierten Gruppe signifikant mehr gebessert als in der dorsal operierten Gruppe, wobei keine signifikanten Unterschiede bezüglich der funktionalen Verbesserung feststellbar waren [139].

Bei mono-, bi und polysegmentaler Fusion war jeweils eine signifikante Schmerzreduktion von prä- zu postoperativ festzustellen. Die Patientengruppen mit unterschiedlich großen Fusionslängen zeigten jedoch untereinander keine wesentlichen Unterschiede im Ausmaß der Schmerzreduktion. Die Anzahl der versteiften Segmente korrelierte dabei nicht mit dem Schmerzausmaß.

5.2.4 Funktionelles Ergebnis

In der vorliegenden Untersuchung wurde zum Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien der „Oswestry Pain Disability Index“ gewählt, da dieser in den letzten 20 Jahren zu den am häufigsten verwendeten Bewertungssystemen für eine funktionelle Ergebnisbeurteilung in der Wirbelsäulenchirurgie zählt [140].

In der Gesamtheit kam es zu einer Reduktion des Oswestry-Disability-Scores von präoperativ 50,7% zu postoperativ 37,3%. Damit verbesserten sich die funktionellen Einschränkungen im Alltag durch die Operation wesentlich, die Patienten fühlten sich in ihrem Alltag jedoch noch mäßig eingeschränkt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen zwei große prospektive Studien der letzten Jahre.

Glassmann et al. untersuchten in einer randomisierten prospektiven Studie das funktionelle Outcome von 497 Patienten nach lumbaler Fusionsoperation unabhängig von der präoperativen Diagnose. Insgesamt lag der präoperative Score bei etwa 50%, postoperativ bei 30%. Die Patienten waren also postoperativ in der Einteilung nach Fairbank [141] mäßig eingeschränkt. Der ODS wurde ein Jahr und

zwei Jahre postoperativ erfragt, wobei sich keine signifikanten Unterschiede ergaben [142].

In einer ebenfalls prospektiven Studie von Fritzell et al. lag der präoperative Score von 294 Patienten bei durchschnittlich 47,6%, der postoperative bei 36,2% [143].

Insbesondere Patienten mit einer isthmischen Spondylolisthese scheinen hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses von einer lumbalen Spondylodese zu profitieren [144;145]. So wiesen in einer retrospektiven Nachuntersuchung von Buttermann et al. die Patienten mit einer isthmischen Spondylolisthese nach einer lumbalen Fusionsoperation signifikant bessere klinische Ergebnisse im ODS auf als Patienten mit Osteochondrose oder Postdiskektomie-Syndrom [146]. Es wurden jedoch auch Studien publiziert, die keinen Zusammenhang zwischen Ausgangsdiagnose und funktionellem Outcome fanden [147]. In unserer Studiengruppe wiesen die Patienten mit isthmischer Spondylolisthese postoperativ ebenfalls deutlich niedrigere Werte im Oswestry Disability Score auf, als Patienten mit anderen Diagnosen. Auch im Hinblick auf die Verbesserung der Schmerzsituation können wir durch die von uns ermittelten Daten die Hypothese bestätigen, dass Patienten mit isthmischer Spondylolisthese von einer lumbalen Fusionsoperation im Langzeitverlauf am meisten profitieren. 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 eventueller interkorporeller Abstützung weitestgehend reduziert.

Alle drei der hier vorgestellten Operationsarten führten zu einer Verbesserung der funktionellen Einschränkung der Patienten. Es konnten jedoch keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Operationsarten untereinander festgestellt werden. Fritzell et al. untersuchten bei 249 Patienten mit Spondylose und chronischen Rückenschmerzen einen möglichen Unterschied im klinischen Ergebnis bei unterschiedlichen Operationsarten. Dabei ergaben sich ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede zwischen ventrodorsalen und dorsolateralen Fusionsarten [148]. In einer Studie von La Rosa et al. erhielten 18 von 35 Patienten

mit isthmischer Spondylolisthese eine einfache posterolaterale Fusion, während die übrigen 17 mittels PLIF versorgt wurden. Hinsichtlich des klinischen Outcomes ergaben sich auch hier keine Unterschiede zwischen den Fusionstechniken [149]. In einer randomisierten prospektiven Studie mit 148 Patienten kamen Viedebaek et al. jedoch zu dem Schluss, dass die dorsoventrale Fusionstechnik gegenüber der posterolateralen signifikant bessere Ergebnisse aufweist. Hierbei wurde nicht nach unterschiedlichen Diagnosegruppen unterschieden. Die sog. 360°-Fusion sei der posterolateralen Fusion sowohl bezüglich des funktionellen Outcomes als auch im Hinblick auf die Reduktion des Rückenschmerzes signifikant überlegen [150].

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 zusätzlichen interkorporellen Fusion. Eine Pseudarthrose nach interkorporeller Fusion 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 in einigen Studien unterstützen auch die These, dass nicht nur die Konsolidierung, sondern auch die Entfernung der Bandscheibe als mögliche Schmerzquelle einen Teil des Operationserfolges ausmacht.

Aus den bisher vorliegenden Daten kann nicht eindeutig geschlossen werden, dass eines der operativen Verfahren bevorzugt werden sollte [151]. Zu beachten ist auch, dass eine zusätzliche ventrale Fusion die Operationszeit beinahe verdoppelt und eine zusätzliche Quelle für Komplikationen darstellt [152]. Da oft kein massiver Vorteil des kombinierten Vorgehens dokumentiert werden kann, halten wir eine differenzierte Indikationsstellung für notwendig. Bewegungssegmente mit einem starken Abrutsch sollten wohl weiterhin kombiniert fusioniert werden, bei jenen mit höhenreduzierter degenerativ veränderter Bandscheibe ohne Abrutsch oder Instabilität sollte das dorsale Verfahren gewählt werden.

Sowohl durch die mono-, die bi- als auch die polysegmentalen Fusionsoperationen konnte der Oswestry-Disability-Score von präoperativ zu postoperativ gebessert werden. Zwischen den drei Gruppen konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Das klinische Outcome, gemessen mittels Oswestry Disability Questionnaire zeigte keine Abhängigkeit von der Anzahl der versteiften Segmente. Auch im Hinblick auf die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule, gemessen anhand des Fingerbodenabstandes, konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen mono-, bi- oder polysegmentalen Fusionsoperationen gefunden werden. Dies weist darauf hin, dass Patienten mit größerem Operationsumfang keine grundsätzlich geringere funktionelle Verbesserungsmöglichkeit durch eine Operation haben als Patienten mit kurzstreckiger Spondylodese.

5.2.5 Allgemeiner Gesundheitszustand

In unserer Studie kam es durch die Operation zu einer Verbesserung der körperlichen und psychischen Gesundheit der Patienten. Der Gesamtwert des SF-36 für die körperliche Gesundheit lag in der Studiengruppe präoperativ bei 31,3 und postoperativ bei 34,3. Für die psychische Gesundheit ergab sich präoperativ ein Wert von 32,2 und postoperativ von 45,9. Im Vergleich zu veröffentlichten Werten einer altersentsprechenden Normalbevölkerung zeigt sich eine eingeschränkte Lebensqualität der untersuchten Patienten, wobei dieser aus epidemiologischer Sicht generell fraglich zu sein scheint [153]. In der schon angesprochenen prospektiven Studie von Glassmann mit 497 Patienten, die mittels einer lumbalen Fusionsoperation versorgt wurden, wurde neben dem funktionellen Ergebnis auch der allgemeine Gesundheitszustand der Patienten mittels SF-36 gemessen. Der durchschnittliche Wert für den körperlichen Gesundheitszustand lag dabei präoperativ bei 28 und postoperativ bei etwa 35 [154]. Mit diesem Ergebnis sind die von uns ermittelten Daten durchaus vergleichbar. Auf die Ermittlung des psychischen Summenscores wurde von Glassmann verzichtet. Gerade im Hinblick auf die psychische Gesundheit kam es jedoch in unserer Studiengruppe durch die Operation zu einer wesentlichen Verbesserung. Auch Viedebaek et al. kommen in

ihrer Nachuntersuchung von 148 Patienten mit dorsalen und ventralen Fusionsoperationen zu ähnlichen Ergebnissen [155].

Insgesamt gesehen wird der SF-36-Score erst in den letzten acht Jahren vermehrt für die Evaluation des Ergebnisses nach Fusionsoperationen verwendet. Deshalb fehlen vor allem Langzeitstudien, die sowohl den präoperativen als auch den postoperativen Gesundheitszustand abfragen. Somit ist es schwer, die eigenen prä- und postoperativen Ergebnisse mit denen anderer Studien zu vergleichen. In Studien mit einem kurzen Follow-up wurde der SF-36 jedoch schon erfolgreich eingesetzt, um die Lebensqualität bei Patienten vor und nach lumbalen Fusionsoperationen zu vergleichen oder nur postoperativ zu bestimmen [156;157]. Auch aufgrund der retrospektiven Datenerhebung ist die Vergleichbarkeit der von uns gewonnenen Ergebnisse mit anderen Studien problematisch.

5.2.6 Subjektive Erfolgseinschätzung

Auf die Frage, ob sich die Patienten aus heutiger Sicht erneut dem Eingriff unterziehen würden, antworteten 76,3% von ihnen mit ja, die übrigen 23,7 % lehnten dies ab. Unsere Ergebnisse sind damit durchaus mit denen anderer Studien zu vergleichen. 82 % der von Atlas et al. aufgrund einer Spinalkanalstenose behandelten Patienten gaben an, sich in gleicher Situation demselben Eingriff nochmals zu unterziehen [158]. Auf ein noch höheres Ergebnis, nämlich 94%, kommen Boos et al. bei der Befragung von 50 Patienten mit Spondylolisthese, die mittels dorsolateraler Spondylodese versorgt wurden [159]. Viele Autoren machen jedoch hierzu keine Angaben.

Auf die Frage nach dem Nutzen der Operation gaben 85,6% unserer Patienten an, dass ihnen die Operation geholfen hat. 14,4% ließen verlauten, nicht von der Operation profitiert zu haben, oder sogar Schaden davon getragen zu haben. Bei den von Ekman et al. nachuntersuchten Patienten mit lumbaler Fusionsoperation gaben 74% der Befragten an, dass ihnen die Operation geholfen hat. Bei 26% der Patienten führte die Operation zu keinem Nutzen oder hatte ihnen geschadet [160].

Trotz der im Literaturvergleich guten Ergebnisse ist es nicht leicht nachzuvollziehen, dass sich in unserer Studie 76,3% der Patienten für eine Eingriffswiederholung entscheiden, obwohl viele Patienten postoperativ subjektiv noch über erhebliche Beschwerden klagen. Möglicherweise liegt dies daran, dass die postoperativen Beschwerden in der Rückschau schlecht mit den präoperativen Schmerzen verglichen werden können. Eine andere Erklärung könnte sein, dass der Rückgang der Schmerzen immerhin so deutlich war, dass trotz unbefriedigendem Gesamtergebnis ein Benefit vorhanden war.

Die Gründe für persistierende Schmerzen und Invalidität nach Fusionsoperationen sind vielschichtig und nicht immer abhängig von sicher nachweisbaren pathomorphologischen Korrelaten. So kann z.B. ein Zusammenhang zwischen einem laufenden Rentenverfahren und den damit angegebenen postoperativen Beschwerden bestehen. Desweiteren kann eine lange präoperative Leidenszeit schon zur Chronifizierung der Schmerzen geführt haben und daraus resultierend für den Patienten keine oder nur eine geringe postoperative Besserung eingetreten sein. Erkenntnisse aus der Schmerzforschung belegen, dass ein starker, afferenter Schmerzreiz über lange Zeit im Projektionsneuron des Hinterhorns zu einer neuronalen Plastizität führt, d.h. dass selbst ein chirurgisch gutes Ergebnis mit eventuell nur geringen Residuen zu einer starken Schmerzsymptomatik über die funktionell veränderte Nervenzelle führen kann. Zudem können natürlich auch noch psychische sowie psychosomatische Prozesse und Frustrationserlebnisse eine entscheidende Rolle bei der Schmerzentstehung spielen [161].

5.3 Radiologische Ergebnisse

5.3.1 Fusions-/Pseudarthroseraten

Wenn man die Pseudarthroseraten, bzw. die erzielten Konsolidierungsergebnisse in einzelnen Studien vergleicht, finden sich stark abweichende Ergebnisse. Die Fusionsraten variieren in der Literatur je nach Operationsart und präoperativer Diagnose zwischen 40% und 90% [162]. Die höheren Fusionsraten werden in der Regel durch interkorporelle Operationsverfahren erzielt [163]. Zu demselben Ergebnis kommt auch eine retrospektive Datenanalyse von Bono et al., in der 84 Artikel bezüglich erzielter Fusionsraten analysiert wurden. Insgesamt waren hierbei 7043 Patienten von 1979 bis 2000 mit einer lumbalen Fusionsoperation versorgt worden. Die erzielten Fusionsraten lagen beim dorsolateralen Verfahren im Durchschnitt bei etwa 85%, bei den interkorporellen Verfahren zwischen 86 und 91% [164].

Die Ergebnisse unserer Studie liegen im Bereich der in der Literatur berichteten Ergebnisse über durch Pedikelschraubeninstrumentation unterstützte Fusionen. Die Fusionsrate lag in unserer Studie bei insgesamt 85,6%. Die interkorporellen Fusionsoperationen wiesen dabei die besten Ergebnisse auf, mit einer Fusionsrate von 89,5% beim ventrodorsalen Vorgehen bzw. mit 92,1% beim posterioren interkorporellen Verfahren. Bei der dorsolateralen Fusionsoperation lag die Pseudarthroserate jedoch bei 20%. Auch die Studienlage der letzten Jahre zeigt ähnliche Ergebnisse, was aus untenstehender Tabelle ersichtlich wird.

Studie	n	Operationsart	Follow-Up (y)	Fusionsrate	Patienten-Selektion
Yuan 1994 [165]	2177	dorsolateral	> 2	89,1%	retrospektiv
Suk 1997 [166]	40	PLIF	5,4	92,5%	retrospektiv
Krismer 1997 [167]	76	dorsolateral	>2	95%	retrospektiv
	46	ventrodorsal		100%	
Kim 1999 [168]	20	PLIF	2,3	95%	retrospektiv
Madan 2003 [169]	39	ventrodorsal	4	100%	prospektiv

Lamberg 2005 [170]	78	dorsolateral	20,9	83%	retrospektiv
Kim 2006 [171]	62	dorsolateral	>3	92%	prospektiv
	57	PLIF		95%	
Inamdar 2006 [172]	10	dorsolateral	4	100%	prospektiv
	10	PLIF		100%	

Tab.41: Pseudarthrosraten verschiedener Studien mit Pedikelschrauben-instrumentierung

In der vorliegenden Studie konnte kein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer Pseudarthrose und einem schlechten klinischen Outcome aufgezeigt werden. In der Literatur wurde bereits des Öfteren darauf hingewiesen, dass eine gesicherte radiologische Fusion nicht zwangsläufig mit einem guten klinischen Ergebnis korreliert [173-175].

5.3.2 Sagittales Alignment

Literaturangaben zufolge liegt die durchschnittliche radiologisch bestimmte Gesamtlordose bei 62 +/- 11°, wobei sich die stärkste Ausprägung der lumbalen Lordose in den untersten zwei Etagen befindet [176;177]. Exakte Normwerte lassen sich in der Literatur nicht finden. In unserer Studiengruppe betrug der Gesamtlordosewinkel präoperativ durchschnittlich 52,2° und postoperativ 49,3°, wobei es durch die Operation insgesamt zu keiner signifikanten Abnahme kam.

Eigene Untersuchungen zeigen, dass der Lordosewinkel von der präoperativen Diagnose abhängig ist. Die Ausprägung des Lordosewinkels korreliert signifikant mit der präoperativen Diagnose ($p < 0,001^{***}$). Die größeren Lordosewinkel weisen dabei Patienten mit einer Spondylolisthese auf, die kleineren Lordosewinkel Patienten mit Osteochondrose und Spinalkanalstenose. Dies wird eindeutig, wenn man sich die pathomorphologischen Veränderungen bei der Spondylolisthese vor Augen führt. So kommt es in den meisten Fällen zu einer Retrolisthese, die mit einer Vergrößerung des Lordosewinkels einhergeht. Untersuchungen von Przybilski et al. [178] untermauern die These, dass die Winkelverhältnisse von der Diagnose abhängig

sind. So war der Lordosewinkel bei Bandscheibendegenerationen und Skoliosen erniedrigt, während er bei Spondylolisthesen erhöht war.

Gerade eine Imbalance des sagittalen Alignements scheint eine Ursache für die Entstehung einer Nachbarsegmentdegeneration zu sein [179]. Durch die rigide Instrumentierung kommt es, wie auch in unserer Studie, in den meisten Fällen zu einer Abnahme des Fusionswinkels und somit der Gesamtlordose. Experimentelle Studien zeigen, dass im Falle einer Entlordosierung im fusionierten Segment eine Verstärkung der Scherkräfte auf die angrenzenden Laminae und eine Zunahme der Beweglichkeit im angrenzenden Segment zu verzeichnen ist [180;181]. Die Zunahme der Beweglichkeit in den Anschlusssegmenten wird wiederum als eine mögliche Ursache für eine Anschlussdegeneration angesehen [182]. Diese Hypothese konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden. Die Richtung der Veränderung des Lordosewinkels hatte in unserem Fall keinen Einfluss auf die Entstehung einer Nachbarsegmentdegeneration.

5.3.3 Nachbarsegmente

Viele Autoren befassen sich mit der Entstehung einer Degeneration in den der Fusion benachbarten Segmenten. Für die Evaluation und Definition einer solchen Degeneration werden jedoch selten reproduzierbare Kriterien verwendet [183]. Deshalb entschieden wir uns für die Klassifikationen nach Pathria und Gishelli [184;185].

Der Grad der Arthrose des Intervertebralraumes gemäß UCLA Grading-Scale nahm für das kraniale Segment von prä- zu postoperativ um durchschnittlich 0,7 Einheiten zu. Der Arthrosegrad des kaudalen Segmentes nahm um 0,8 zu. Vergleichbare Ergebnisse nach lumbaler Fusionsoperation liefern auch Gishelli et al. [186;187].

Es zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen der präoperativen Diagnose und dem Ausprägungsgrad der Spondylosis deformans ($p=0,314$) oder dem Ausprägungsgrad der Facettengelenksarthrose ($p=0,67$). Auch Okuda et al. und Gishelli et al. konnten keinen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der

Nachbarsegmentdegeneration und der präoperativen Diagnose finden [188;189]. Es gibt jedoch auch andere Autoren, die der Meinung sind, dass die Diagnose bei Erstfusion Einfluss auf die spätere Entstehung einer Degeneration der Nachbarsegmentbandscheibe hat. So kommen Etebar et al. [190] in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Diagnose einer degenerativen Instabilität bei Indikation zur Fusionsoperation mit einer häufigeren Inzidenz einer Nachbarsegmentdegeneration vergesellschaftet zu sein scheint als zum Beispiel bei einer Spondylolisthesis vera.

Interessant ist die Beobachtung, dass in unserer Studie Patienten mit einer ausgeprägten Spondylosis deformans auch einen höheren Wert im Oswestry-Disability Score aufwiesen, also bezüglich des funktionellen Ergebnisses schlechter abschnitten. Dies gilt jedoch nicht für die Facettengelenksarthrose. Die Diskrepanz zwischen dem klinischen Ergebnis bei Facettengelenksarthrose und bei Degeneration des Intervertebralraumes lässt sich nur unzureichend erklären. Wobei jedoch die vorliegende Studie zum ersten Mal explizit zwischen diesen beiden Formen der Anschlussdegeneration unterscheidet. Eine Erklärung könnte sein, dass das Vorliegen einer Zwischenwirbeldegeneration die Funktionsfähigkeit möglicherweise stärker beeinflusst als das Vorhandensein einer Facettengelenksarthrose.

In mehreren Studien wurde bereits das klinische Ergebnis in Abhängigkeit von radiologischen Veränderungen der Nachbarsegmente untersucht. Wie für den Nachweis einer Pseudarthrose gilt auch hier, dass eine radiologisch nachgewiesene Nachbarsegmentdegeneration nicht zwangsläufig mit einem schlechten klinischen Ergebnis einhergeht [191;192].

Auch bezüglich der Abhängigkeit der Entstehung einer Nachbarsegment-Degeneration von der Anzahl der versteiften Segmente besteht Uneinigkeit unter vielen Autoren. Kettler et al. beschreiben eine häufigere Nachbarsegmentdegeneration bei Fusionsstrecken mit mindestens zwei Segmenten als bei monosegmentalen Spondylodesen [193]. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Etebar et al. und Lettice et al. [194;195]. In einigen Literaturstellen wird jedoch

von einer erhöhten Belastung der Nachbarsegmente bei kurzstreckigen Spondylodesen berichtet [196;197]. In unseren Untersuchungen fanden wir eine hoch signifikant positive Korrelation zwischen dem Ausprägungsgrad der Spondylosis deformans und der Anzahl der versteiften Segmente ($p=0,007^{**}$). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Grad der Facettengelenksarthrose und der Anzahl der versteiften Segmente konnte jedoch nicht gefunden werden.

5.4 Prädiktoren

Generelle Risikofaktoren für Schmerzen an der Lendenwirbelsäule, unabhängig einer stattgehabten Operation, wurden bereits in vielen bevölkerungsbezogenen prospektiven Studien untersucht [198;199]. Bisher gibt es jedoch nur wenige Studien, die sich mit etwaigen Prädiktoren für das klinische und radiologische Langzeitergebnis nach lumbalen Fusionsoperationen befassen.

Als Risikofaktor für ein schlechtes klinisches Ergebnis wird häufig das weibliche Geschlecht genannt [200]. Der Faktor weiblich, insbesondere postmenopausal, wird auch als prädisponierend für eine Nachbarsegmentdegeneration angesehen. In vielen Studien zeigt sich ein Verhältnis männlich zu weiblich von 1:2 bei Patienten mit Nachbarsegmentdegeneration [201;202]. Diese Beobachtung konnte durch unsere Studie nicht bestätigt werden. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Geschlecht und klinischem oder radiologischem Langzeitergebnis aufgezeigt werden.

Degenerative Veränderungen der Facettengelenke und der Bandscheibe kommen ubiquitär vor und sind besonders häufig in der älteren Generation vertreten [203]. Deswegen ist das Alter verständlicherweise ein Haupt-Risikofaktor für die Entstehung einer Nachbarsegmentdegeneration [204]. Auch wir fanden einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und der Ausprägung der Facettengelenksarthrose sowie der Spondylosis deformans der angrenzenden Segmente. Auf das klinische Langzeitergebnis hatte jedoch das Alter keinen signifikanten Einfluss, wie es von De Berard et al. angenommen wird [205].

Dass man eine Nachbarsegment-Degeneration aber nicht nur als einen natürlichen Verlauf im Alterungsprozess ansehen kann, zeigte eine Langzeit-Studie von Kumar et al. [206]. Hier wurden zwei Patientengruppen mit Osteochondrose gegenübergestellt. Bei der einen Gruppe erfolgte eine Fusionsoperation, die andere Gruppe wurde konservativ therapiert und beide wurden über mehr als 20 Jahre hinweg nachuntersucht. Dabei zeigte sich bei den fusionierten Patienten eine mehr als doppelt so hohe Inzidenz an radiologischen Veränderungen in den Nachbarsegmenten.

Nikotinabusus und ein hoher Body Mass Index werden auch häufig als Risikofaktoren für ein schlechteres postoperatives Ergebnis angesehen [207-209], was durch unsere Studie nicht bestätigt werden konnte.

6 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 und Langzeitergebnisse stehen noch aus.

In der hier vorgestellten Arbeit sollten die Langzeitergebnisse nach Fusionsoperationen mittels Pedikelschraubeninstrumentierung in einer breiten klinischen Anwendung bei Patienten mit den Ausgangsdiagnosen Spondylolisthese (n=37), Postnukleotomiesyndrom (n=11), Osteochondrose (n=27) und degenerativ bedingter segmentaler Instabilität (n=17) evaluiert werden. Weiterhin sollten etwaige Prädiktoren für das klinische und radiologische Langzeitergebnis erarbeitet werden. Hier liegt eine retrospektive, monozentrische Beobachtungsstudie dieses Patientenkollektivs vor.

Im Zeitraum der Jahre 1990 bis 2000 wurden in der Orthopädischen Klinik des Universitätsklinikums Großhadern insgesamt 178 Patienten aufgrund einer der o.g. Diagnosen operiert, von denen 97 Patienten in die vorliegende Studie aufgenommen wurden. Das durchschnittliche Follow-up lag bei 9,1 Jahren, das Durchschnittsalter bei 63,3 Jahren.

Durch die Fusionsoperation kam es zu einer hoch signifikanten Schmerzreduktion und Abnahme der funktionellen Einschränkungen im Alltag. Dabei profitierten Patienten mit Spondylolisthesis vera am meisten von der Operation. Die Betrachtung der klinischen Langzeitergebnisse lässt nicht den Schluss zu, dass ein bestimmtes Operationsverfahren bevorzugt werden sollte. Auch die Anzahl der versteiften Segmente hat keinen wesentlichen Einfluss auf das klinische Langzeitergebnis. Insgesamt besserte sich der allgemeine Gesundheitszustand durch die Operation signifikant, war jedoch noch deutlich schlechter als der einer gesunden altersentsprechenden Referenzpopulation. Die meisten Patienten profitierten von der Operation. Nur 14,4% gaben an, dass ihnen die Operation nicht geholfen hat.

Die Fusionsrate in der vorliegenden Untersuchung liegt bei 85,6%, wobei die interkorporellen Verfahren die höchsten Fusionsraten aufwiesen. Insgesamt ist dieses Ergebnis mit den meisten Fusionsraten anderer Studien zu vergleichen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer Pseudarthrose und einem schlechten klinischen Outcome gefunden werden.

Der Ausprägungsgrad einer Spondylosis deformans in den Nachbarsegmenten korrelierte signifikant positiv mit dem Alter der Patienten und der Anzahl der versteiften Segmente. Patienten mit stark ausgeprägter Spondylosis deformans wiesen auch ein schlechteres funktionelles Ergebnis auf. Schon allein die Tatsache, dass eine Spondylosis deformans signifikant positiv mit der Anzahl der versteiften Segmente korreliert, macht deutlich, dass eine Degeneration im benachbarten Segment nicht allein als natürlicher Prozess im Verlauf des Alterns angesehen werden kann. Durch die Bewegungsunfähigkeit in den versteiften Segmenten

kommt es abhängig von der Fusionslänge zu einem signifikant häufigeren Auftreten einer Spondylosis deformans in den der Fusion benachbarten Segmenten.

Der Ausprägungsgrad der Facettengelenksarthrose in den Nachbarsegmenten korrelierte jedoch nur mit dem Alter der Patienten und hatte ebenfalls keine Auswirkungen auf das klinische Ergebnis. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Ausprägungsgrad der Facettengelenksarthrose und der Anzahl der versteiften Segmente konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Somit kann das Auftreten einer Facettengelenksarthrose anders als das Auftreten einer Spondylosis deformans eher als natürlicher Verlauf im Alterungsprozess angesehen werden.

7 ANHANG

Im Folgenden sind die Fragebögen abgedruckt, die den Patienten vorgelegt wurden. Auf eine unterschiedliche Farbgebung wurde hier jedoch verzichtet.

<p style="text-align: center;">Fragebogen I</p> <p style="text-align: center;">Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire</p> <p style="text-align: center;">nach Fairbank et al.</p> <p style="text-align: center;">[Literatur: Fairbank, J.C.T.; Couper, J.; Davies, J.B.; O'Brien, J.P. (1980): The Oswestry low back pain questionnaire. Physiotherapy 66: 271-273]</p>

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung Ihrer Funktionseinschränkung im Alltag. Der Bogen ermöglicht es nachzuvollziehen, wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede Kategorie von 1 bis 10 mit jeweils nur einem Kreuz, indem Sie eine der grau unterlegten Nummern (0-5) ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

Datum:

Vorname:

Name:

Geburtsdatum:

Bitte hier ankreuzen ▼

1. Schmerzintensität

Ich halte meine Schmerzen aus, ohne Schmerzmittel einnehmen zu müssen	0
Der Schmerz ist schlimm aber ich komme ohne Schmerzmittel aus	1
Schmerzmittel verschaffen mir vollkommene Linderung	2
Schmerzmittel verschaffen mir leichte Linderung	3
Schmerzmittel verschaffen mir nur sehr wenig Linderung	4
Schmerzmittel wirken bei meinen Schmerzen nicht, daher nehme ich keine Schmerzmittel	5

2. Körperpflege (Waschen, Anziehen, usw.)

Ich kümmere mich selbst um meine Körperpflege ohne dabei Schmerzen zu verspüren	0
Ich kümmere mich selbst um meine Körperpflege, habe dabei aber Schmerzen	1
Die Körperpflege ist schmerzhaft, deswegen bin ich langsam und vorsichtig dabei	2
Ich benötige etwas Hilfe, schaffe aber fast alles selbst	3
Ich benötige jeden Tag Hilfe, und zwar in allen Bereichen der Körperpflege	4
Ich bin bettlägerig, kann mich nicht selbständig ankleiden und werde gewaschen	5

3. Heben von Gewichten

Ich kann schwere Gewichte heben ohne dabei Schmerzen zu verspüren	0
Ich kann schwere Gewichte heben, habe aber dabei Schmerzen	1
Wegen der Schmerzen kann ich keine schweren Gewichte vom Boden aufheben. Es sei denn, das Gewicht liegt günstig (z.B. auf dem Tisch)	2
Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt keine schweren Gewichte heben. Aber ich kann leichte bis mittelschwere Gewichte heben, wenn sie gut positioniert sind	3
Ich kann nur sehr leichte Gewichte heben	4
Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen	5

4. Gehen

Ich kann ohne Schmerzen weite Strecken gehen	0
Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 1,5 Kilometer zu gehen	1
Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 800 Meter zu gehen	2
Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 400 Meter zu gehen	3
Ich kann nur mit einem Stock oder mit Krüken gehen	4
Die meiste Zeit liege ich im Bett und kann nur mit Schwierigkeiten auf die Toilette gehen	5

5. Sitzen

Ich kann auf jeder Art von Stuhl sitzen solange ich will	0
Ich kann nur auf einem bestimmten (bequemen) Stuhl so lange sitzen wie ich will	1
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1 Stunde sitzen	2
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1/2 Stunde sitzen	3
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 10 Minuten sitzen	4
Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht sitzen	5

6. Stehen

Ich kann ohne Schmerzen solange stehen bleiben wie ich will	0
Ich kann solange stehen bleiben wie ich will, verspüre dabei aber Schmerzen	1
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1 Stunde stehen	2
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 30 Minuten stehen	3
Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 10 Minuten stehen	4
Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht stehen	5

7. Schlafen

Schmerzen halten mich nicht davon ab, gut zu schlafen	0
Ich kann nur gut schlafen, wenn ich Tabletten einnehme	1
Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 6 Stunden	2
Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 4 Stunden	3
Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 2 Stunden	4
Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht mehr schlafen	5

8. Sexualeben

Mein Sexualeben gestaltet sich völlig normal und ich verspüre dabei auch keine Schmerzen	0
Mein Sexualeben gestaltet sich normal, ich verspüre dabei aber manchmal Schmerzen	1
Mein Sexualeben gestaltet sich nahezu normal ist aber sehr schmerzhaft	2
Mein Sexualeben ist durch die Schmerzen stark eingeschränkt	3
Mein Sexualeben ist wegen der Schmerzen nahezu unmöglich	4
Wegen der Schmerzen habe ich überhaupt kein Sexualeben mehr	5

9. Sozialleben

Mein Sozialleben gestaltet sich normal und bringt keine zusätzlichen Schmerzen mit sich	0
Mein Sozialleben gestaltet sich normal, ist aber mit vermehrten Schmerzen verbunden	1
Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, solange ich nicht an anstrengenden Aktivitäten (z.B. Tanzen, usw.) teilnehme	2
Schmerzen schränken mein Sozialleben ein und deswegen gehe ich nicht mehr so oft aus	3
Wegen der Schmerzen bleibt mein Sozialleben auf mein Zuhause beschränkt	4
Wegen der Schmerzen habe ich überhaupt kein Sozialleben mehr	5

10. Mobilität

Ich kann überall hin verreisen, ohne zusätzliche Schmerzen	0
Ich kann überall hin verreisen. Dies ist aber mit zusätzlichen Schmerzen verbunden	1
Die Schmerzen sind schlimm, aber ich schaffe Ausflüge bis zu 2 Stunden	2
Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf Ausflüge von weniger als 1 Stunde	3
Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf die nötigsten Erledigungen, die dann nicht länger als 1/2 Stunde dauern	4
Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf Arzt- und Klinikbesuche	5

Vielen Dank für Ihre Mühe.

Folgende Angaben sind vom Untersucher Auszufüllen.

Ergebnis = Gesamtpunktzahl / höchstmögliche Punktzahl (50) x 100 [%]

Persönliches Ergebnis: _____ [%]

Fragebogen II

Short-Form 36

dt. Form nach Bullinger, M. und Kirchberger, I.

[Literatur: Bullinger, M.; Kirchberger, I. (1998): Der SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand: Handbuch für die deutsch-sprachige Fragebogenversion. Hogrefe, Göttingen]

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede der Fragen mit nur einem Kreuz, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft:

Datum:

Vorname:

Name:

Geburtsdatum:

z.B. hier ankreuzen:

	Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Schlecht
1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im allgemeinen beschreiben?	1	2	3	4	5

	Derzeit viel besser	Derzeit etwas besser	Etwa wie vor einem Jahr	Derzeit etwas schlechter	Derzeit viel schlechter
2. Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?	1	2	3	4	5

Im folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.			
3. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die für Sie am besten zutrifft)	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3.a) anstrengende Tätigkeiten , z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
3.b) mittelschwere Tätigkeiten , z.B. einen Tisch verschieben, Staubsaugen, Kegeln, Golf spielen	1	2	3
3.c) Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
3.d) mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
3.e) einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
3.f) sich beugen, knien, bücken	1	2	3
3.g) mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
3.h) mehrere Strassenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.i) eine Strassenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.j) sich baden oder anziehen	1	2	3

Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?	Ja	Nein
4.a) Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
4.b) Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
4.c) Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
4.d) Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung	1	2

Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?	Ja	Nein
5.a) Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
5.b) Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
5.c) Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

	Überhaupt nicht	Etwas	Mäßig	Ziemlich	Sehr
6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

	Keine Schmerzen	Sehr leicht	Leicht	Mäßig	Stark	Sehr stark
7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?	1	2	3	4	5	6

	Überhaupt nicht	Ein bißchen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).						
9. Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen...	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
9.a) ...voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
9.b) ...sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
9.c) ...so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?	1	2	3	4	5	6
9.d) ...ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
9.e) ...voller Energie?	1	2	3	4	5	6
9.f) ...entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
9.g) ...erschöpft?	1	2	3	4	5	6
9.h) ...glücklich?	1	2	3	4	5	6
9.i) ...müde?	1	2	3	4	5	6

	Immer	Meistens	Manchmal	Selten	Nie
10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen vier Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf sie zu?	trifft ganz zu	trifft weitgehend zu	weiß nicht	trifft weitgehend nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
11.a) Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5
11.b) Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
11.c) Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	1	2	3	4	5
11.d) Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

Vielen Dank für Ihre Mühe!

8 Literaturverzeichnis

References

- [1] Nachemson,A. (1985) Recent advances in the treatment of low back pain. *Int. Orthop.*, **9**, 1-10.
- [2] Sternbach,R.A. (1986) Pain and 'hassles' in the United States: findings of the Nuprin pain report. *Pain*, **27**, 69-80.
- [3] Goebel,H. (2001) Epidemiology and costs of chronic pain syndromes exemplified by specific and unspecific low back pain. *Schmerz*, **15**, 92-98.
- [4] Andersson,G.B. (1999) Epidemiological features of chronic low-back pain. *Lancet*, **354**, 581-585.
- [5] Schumacher,J. (1999) The prevalence of pain in the German Population: Results of population based studies with the Giessen Subjective Complaints List (Gießener Beschwerdebogen GBB). *Schmerz*, **13**, 375-384.
- [6] Manchikanti,L. (2000) Epidemiology of low back pain. *Pain Physician*, **3**, 167-192.
- [7] Kohlmann,T., Deck,R., & Raspe,H. (1995) Prävalenz und Schweregrad von Rückenschmerzen in der Lübecker Bevölkerung. *Aktuelle Rheumatologie*, **29**, 99-104.
- [8] Statistisches Bundesamt (1999) Kosten nach Krankheitsarten. Kurzfassung. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. pp. 11-13.
- [9] Taylor,V.M., Deyo,R.A., Cherkin,D.C., & Kreuter,W. (1994) Low back pain hospitalization. Recent United States trends and regional variations. *Spine*, **19**, 1207-1212.
- [10] Boszczyk,B.M., Boszczyk,A.A., & Putz,R. (2001) Comparative and functional anatomy of the mammalian lumbar spine. *Anat. Rec.*, **264**, 157-168.

- [11] Putz,R.L. & Muller-Gerbl,M. (1996) The vertebral column--a phylogenetic failure? A theory explaining the function and vulnerability of the human spine. *Clin. Anat.*, **9**, 205-212.
- [12] Rosenberg,N.J., Bargar,W.L., & Friedman,B. (1981) The incidence of spondylolysis and spondylolisthesis in nonambulatory patients. *Spine*, **6**, 35-38.
- [13] Jackson,D.W., Wiltse,L.L., & Cirincoine,R.J. (1976) Spondylolysis in the female gymnast. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 68-73.
- [14] Boos,N., Weissbach,S., Rohrbach,H., Weiler,C., Spratt,K.F., & Nerlich,A.G. (2002) Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs: 2002 Volvo Award in basic science. *Spine*, **27**, 2631-2644.
- [15] Putz,R.L. (2005) Funktionelle Anatomie der Lendenwirbelsäule. In *Lendenwirbelsäule* (Hildebrandt,J., Müller,G., & Pflingsten,M., eds), pp. 68-75. Elsevier, München.
- [16] Boszczyk,B.M., Boszczyk,A.A., Korge,A., Grillhosl,A., Boos,W.D., Putz,R., Milz,S., & Benjamin,M. (2003) Immunohistochemical analysis of the extracellular matrix in the posterior capsule of the zygapophysial joints in patients with degenerative L4-5 motion segment instability. *J. Neurosurg.*, **99**, 27-33.
- [17] Willburger,R.E., Kramer,J., & Wiese,M. (2005) [Surgical anatomy of the lumbar spine]. *Orthopade*, **34**, 970-975.
- [18] Magerl,F., Aebi,M., Gertzbein,S.D., Harms,J., & Nazarian,S. (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur. Spine J.*, **3**, 184-201.
- [19] Junghanns,H. (1966) Entwicklungsgeschichte, Anatomie und Physiologie der Wirbelsäule. In *Klinische Chirurgie für die Praxis; Bewegungsapparat und Wirbelsäule* (Diebold,O., Junghanns,H., & Zuckerschwerdt,L., eds), Thieme, Stuttgart.
- [20] White,A. & Panjabi,M. (1990) *Clinical biomechanics of the spine*, 2 edn. J.B. Lippincott Company, Philadelphia.
- [21] Nachemson,A. & MORRIS,J.M. (1964) IN VIVO MEASUREMENTS OF INTRADISCAL PRESSURE. DISCOMETRY, A METHOD FOR THE DETERMINATION OF PRESSURE IN THE LOWER LUMBAR DISCS. *J. Bone Joint Surg. Am.*, **46**, 1077-1092.

- [22] Wilke,H., Neef,P., Hinz,B., Seidel,H., & Claes,L. (2001) Intradiscal pressure together with anthropometric data--a data set for the validation of models. *Clin. Biomech. (Bristol. , Avon.)*, **16 Suppl 1**, S111-S126.
- [23] Kummer,B. (1977) Biomechanics of the mammalian skeleton. Problems of static stress. *Fortschr. Zool.*, **24**, 57-73.
- [24] Kummer,B. (2005) *Biomechanik; Form und Funktion des Bewegungsapparates*, 1 edn. Deutscher Ärzteverlag, Köln.
- [25] Kumar,M.N., Jacquot,F., & Hall,H. (2001) Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur. Spine J.*, **10**, 309-313.
- [26] Lamberg,T.S., Remes,V.M., Helenius,I.J., Schlenzka,D.K., Yrjonen,T.A., Osterman,K.E., Tervahartiala,P.O., Seitsalo,S.K., & Poussa,M.S. (2005) Long-term clinical, functional and radiological outcome 21 years after posterior or posterolateral fusion in childhood and adolescence isthmic spondylolisthesis. *Eur. Spine J.*, **14**, 639-644.
- [27] Boos,N., Weissbach,S., Rohrbach,H., Weiler,C., Spratt,K.F., & Nerlich,A.G. (2002) Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs: 2002 Volvo Award in basic science. *Spine*, **27**, 2631-2644.
- [28] Wiltse,L.L., Newman,P.H., & Macnab,I. (1976) Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 23-29.
- [29] Wiltse,L.L., Newman,P.H., & Macnab,I. (1976) Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 23-29.
- [30] Wynne-Davies,R. & Scott,J.H. (1979) Inheritance and spondylolisthesis: a radiographic family survey. *J. Bone Joint Surg. Br.*, **61-B**, 301-305.
- [31] Jackson,D.W., Wiltse,L.L., & Cirincoine,R.J. (1976) Spondylolysis in the female gymnast. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 68-73.
- [32] Wiltse,L.L., Widell,E.H., Jr., & Jackson,D.W. (1975) Fatigue fracture: the basic lesion is isthmic spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, **57**, 17-22.
- [33] Fredrickson,B.E., Baker,D., McHolick,W.J., Yuan,H.A., & Lubicky,J.P. (1984) The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, **66**, 699-707.

- [34] Wittenberg,R.H., Willburger,R.E., & Kramer,J. (1998) [Spondylolysis and spondylolisthesis. Diagnosis and therapy]. *Orthopade*, **27**, 51-63.
- [35] Wynne-Davies,R. & Scott,J.H. (1979) Inheritance and spondylolisthesis: a radiographic family survey. *J. Bone Joint Surg. Br.*, **61-B**, 301-305.
- [36] Farfan,H.F. (1980) The pathological anatomy of degenerative spondylolisthesis. A cadaver study. *Spine*, **5**, 412-418.
- [37] Wittenberg,R.H., Willburger,R.E., & Kramer,J. (1998) [Spondylolysis and spondylolisthesis. Diagnosis and therapy]. *Orthopade*, **27**, 51-63.
- [38] Meyerding,H.W. (1932) Spondylolisthesis. Surgical treatment and results. *Surg Gynecol Obstet*, **54**, 371-377.
- [39] Wiltse,L.L. & Winter,R.B. (1983) Terminology and measurement of spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg Am.*, **65**, 768-772.
- [40] Fredrickson,B.E., Baker,D., McHolick,W.J., Yuan,H.A., & Lubicky,J.P. (1984) The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, **66**, 699-707.
- [41] Saraste,H. (1987) Long-term clinical and radiological follow-up of spondylolysis and spondylolisthesis. *J. Pediatr. Orthop.*, **7**, 631-638.
- [42] Wittenberg,R.H., Willburger,R.E., & Kramer,J. (1998) [Spondylolysis and spondylolisthesis. Diagnosis and therapy]. *Orthopade*, **27**, 51-63.
- [43] Benini,A. (1997) [Stenosis of the lumbar spinal canal. Pathophysiology, clinical aspects and therapy]. *Orthopade*, **26**, 503-514.
- [44] Arnoldi,C.C., Brodsky,A.E., Cauchoix,J., Crock,H.V., Dommissse,G.F., Edgar,M.A., Gargano,F.P., Jacobson,R.E., Kirkaldy-Willis,W.H., Kurihara,A., Langenskiold,A., Macnab,I., Mclvor,G.W., Newman,P.H., Paine,K.W., Russin,L.A., Sheldon,J., Tile,M., Urist,M.R., Wilson,W.E., & Wiltse,L.L. (1976) Lumbar spinal stenosis and nerve root entrapment syndromes. Definition and classification. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 4-5.
- [45] Benini,A. (1997) [Stenosis of the lumbar spinal canal. Pathophysiology, clinical aspects and therapy]. *Orthopade*, **26**, 503-514.
- [46] Hanley,E.N., Jr. & Shapiro,D.E. (1989) The development of low-back pain after excision of a lumbar disc. *J. Bone Joint Surg Am.*, **71**, 719-721.

- [47] Slipman,C.W., Shin,C.H., Patel,R.K., Isaac,Z., Huston,C.W., Lipetz,J.S., Lenrow,D.A., Braverman,D.L., & Vresilovic,E.J., Jr. (2002) Etiologies of failed back surgery syndrome. *Pain Med.*, **3**, 200-214.
- [48] Slipman,C.W., Shin,C.H., Patel,R.K., Isaac,Z., Huston,C.W., Lipetz,J.S., Lenrow,D.A., Braverman,D.L., & Vresilovic,E.J., Jr. (2002) Etiologies of failed back surgery syndrome. *Pain Med.*, **3**, 200-214.
- [49] Waguespack,A., Schofferman,J., Slosar,P., & Reynolds,J. (2002) Etiology of long-term failures of lumbar spine surgery. *Pain Med.*, **3**, 18-22.
- [50] Agazzi,S., Reverdin,A., & May,D. (1999) Posterior lumbar interbody fusion with cages: an independent review of 71 cases. *J. Neurosurg.*, **91**, 186-192.
- [51] Frymoyer,J.W., Matteri,R.E., Hanley,E.N., Kuhlmann,D., & Howe,J. (1978) Failed lumbar disc surgery requiring second operation. A long-term follow-up study. *Spine*, **3**, 7-11.
- [52] Andersen,T., Christensen,F.B., Hansen,E.S., & Bunger,C. (2003) Pain 5 years after instrumented and non-instrumented posterolateral lumbar spinal fusion. *Eur. Spine J.*, **12**, 393-399.
- [53] Lehmann,T.R. & LaRocca,H.S. (1981) Repeat lumbar surgery. A review of patients with failure from previous lumbar surgery treated by spinal canal exploration and lumbar spinal fusion. *Spine*, **6**, 615-619.
- [54] Polly,D.W., Jr., Santos,E.R., & Mehbod,A.A. (2005) Surgical treatment for the painful motion segment: matching technology with the indications: posterior lumbar fusion. *Spine*, **30**, S44-S51.
- [55] Polly,D.W., Jr., Santos,E.R., & Mehbod,A.A. (2005) Surgical treatment for the painful motion segment: matching technology with the indications: posterior lumbar fusion. *Spine*, **30**, S44-S51.
- [56] Gibson,J.N., Grant,I.C., & Waddell,G. (1999) The Cochrane review of surgery for lumbar disc prolapse and degenerative lumbar spondylosis. *Spine*, **24**, 1820-1832.
- [57] Wang,J.C., Mummaneni,P.V., & Haid,R.W. (2005) Current treatment strategies for the painful lumbar motion segment: posterolateral fusion versus interbody fusion. *Spine*, **30**, S33-S43.

- [58] Albee, F.H. (1972) The classic. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease. A preliminary report. *Jama*, 57: 885, 1911. *Clin. Orthop. Relat Res.*, **87**, 5-8.
- [59] Hadra, B.E. (1975) The classic: Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fracture and Potts' disease. Berthold E. Hadra. *Med Times and Register*, Vol22, May 23, 1891. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 4-8.
- [60] Lange, F. (1910) Support of the spondylitic spine by means of buried steel bars attached to the vertebrae. *Am. J. Orthop. Surg.*, **8**, 344.
- [61] Hibbs, R.A. & Swift, W.E. (1929) Developmental abnormalities at the lumbosacral juncture causing pain and disability. *Surg Gynecol Obstet*, **48**, 604-612.
- [62] Humphries, A., Hawk, W.A., & Berndt, A.L. (1961) Anterior interbody fusion of lumbar vertebrae: a surgical technique. *Surg. Clin. North Am.*, **41**, 1685-1700.
- [63] Luque, E.R. (1986) Segmental spinal instrumentation of the lumbar spine. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 126-134.
- [64] Harrington, P.R. (1967) Instrumentation in spine instability other than scoliosis. *S. Afr. J. Surg*, **5**, 7-12.
- [65] Roy-Camille, R., Roy-Camille, M., & Demeulenaere, C. (1970) [Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses]. *Presse Med.*, **78**, 1447-1448.
- [66] Boden, S.D., Kang, J., Sandhu, H., & Heller, J.G. (2002) Use of recombinant human bone morphogenetic protein-2 to achieve posterolateral lumbar spine fusion in humans: a prospective, randomized clinical pilot trial: 2002 Volvo Award in clinical studies. *Spine*, **27**, 2662-2673.
- [67] Tajima, N., Chosa, E., & Watanabe, S. (2004) Posterolateral lumbar fusion. *J. Orthop. Sci.*, **9**, 327-333.
- [68] Wang, J.C., Mummaneni, P.V., & Haid, R.W. (2005) Current treatment strategies for the painful lumbar motion segment: posterolateral fusion versus interbody fusion. *Spine*, **30**, S33-S43.
- [69] Cloward, R.B. (1985) Posterior lumbar interbody fusion updated. *Clin. Orthop.*, **193**, 16-19.

- [70] Brislin,B. & Vaccaro,A.R. (2002) Advances in posterior lumbar interbody fusion. *Orthop. Clin. North Am.*, **33**, 367-374.
- [71] Mummaneni,P.V., Haid,R.W., & Rodts,G.E. (2004) Lumbar interbody fusion: state-of-the-art technical advances. Invited submission from the Joint Section Meeting on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves, March 2004. *J. Neurosurg. Spine*, **1**, 24-30.
- [72] Florence,J.M., Pandya,S., King,W.M., Robison,J.D., Baty,J., Miller,J.P., Schierbecker,J., & Signore,L.C. (1992) Intrarater reliability of manual muscle test (Medical Research Council scale) grades in Duchenne's muscular dystrophy. *Phys. Ther.*, **72**, 115-122.
- [73] Deyo,R.A., Battie,M., Beurskens,A.J., Bombardier,C., Croft,P., Koes,B., Malmivaara,A., Roland,M., Von Korff,M., & Waddell,G. (1998) Outcome measures for low back pain research. A proposal for standardized use. *Spine*, **23**, 2003-2013.
- [74] Haefeli,M. & Elfering,A. (2006) Pain assessment. *Eur. Spine J.*, **15 Suppl 1**, S17-S24.
- [75] Huskisson,E.C. (1974) Measurement of pain. *Lancet*, **2**, 1127-1131.
- [76] Fairbank,J.C., Couper,J., Davies,J.B., & O'Brien,J.P. (1980) The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*, **66**, 271-273.
- [77] Mannion,A.F., Junge,A., Fairbank,J.C., Dvorak,J., & Grob,D. (2006) Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. *Eur. Spine J.*, **15**, 55-65.
- [78] Mannion,A.F., Junge,A., Grob,D., Dvorak,J., & Fairbank,J.C. (2006) Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 2: sensitivity to change after spinal surgery. *Eur. Spine J.*, **15**, 66-73.
- [79] Fairbank,J.C., Couper,J., Davies,J.B., & O'Brien,J.P. (1980) The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*, **66**, 271-273.
- [80] Ware,J.E., Jr. & Sherbourne,C.D. (1992) The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med. Care*, **30**, 473-483.
- [81] Grevitt,M., Khazim,R., Webb,J., Mulholland,R., & Shepperd,J. (1997) The short form-36 health survey questionnaire in spine surgery. *J. Bone Joint Surg Br.*, **79**, 48-52.

- [82] Bullinger, M. & Kirchberger, I. (1998) *Der SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36): Handbuch für die deutsch-sprachige Fragebogenversion*. Hogrefe, Göttingen.
- [83] Radoschewski, M. & Bellach, B.M. (1999) [The SF-36 in the Federal Health Survey--possibilities and requirements for application at the population level]. *Gesundheitswesen*, **61 Spec No**, S191-S199.
- [84] Boden, S.D. (1998) Outcome assessment after spinal fusion: why and how? *Orthop. Clin. North Am.*, **29**, 717-728.
- [85] Walsh, T.L., Hanscom, B., Lurie, J.D., & Weinstein, J.N. (2003) Is a condition-specific instrument for patients with low back pain/leg symptoms really necessary? The responsiveness of the Oswestry Disability Index, MODEMS, and the SF-36. *Spine*, **28**, 607-615.
- [86] La Rosa, G., Conti, A., Cacciola, F., Cardali, S., La Torre, D., Gambadauro, N.M., & Tomasello, F. (2003) Pedicle screw fixation for isthmic spondylolisthesis: does posterior lumbar interbody fusion improve outcome over posterolateral fusion? *J. Neurosurg.*, **99**, 143-150.
- [87] Lamberg, T.S., Remes, V.M., Helenius, I.J., Schlenzka, D.K., Yrjonen, T.A., Osterman, K.E., Tervahartiala, P.O., Seitsalo, S.K., & Poussa, M.S. (2005) Long-term clinical, functional and radiological outcome 21 years after posterior or posterolateral fusion in childhood and adolescence isthmic spondylolisthesis. *Eur. Spine J.*, **14**, 639-644.
- [88] Wiltse, L.L. & Winter, R.B. (1983) Terminology and measurement of spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg Am.*, **65**, 768-772.
- [89] Frymoyer, J.W., Hanley, E.N., Jr., Howe, J., Kuhlmann, D., & Matteri, R.E. (1979) A comparison of radiographic findings in fusion and nonfusion patients ten or more years following lumbar disc surgery. *Spine*, **4**, 435-440.
- [90] Hambly, M.F., Wiltse, L.L., Raghavan, N., Schneiderman, G., & Koenig, C. (1998) The transition zone above a lumbosacral fusion. *Spine*, **23**, 1785-1792.
- [91] Wiltse, L.L. & Winter, R.B. (1983) Terminology and measurement of spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg Am.*, **65**, 768-772.
- [92] Dabbs, V.M. & Dabbs, L.G. (1990) Correlation between disc height narrowing and low-back pain. *Spine*, **15**, 1366-1369.

- [93] Pope,M.H., Hanley,E.N., Matteri,R.E., Wilder,D.G., & Frymoyer,J.W. (1977) Measurement of intervertebral disc space height. *Spine*, **2**, 282-286.
- [94] Pathria,M., Sartoris,D.J., & Resnick,D. (1987) Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment. *Radiology*, **164**, 227-230.
- [95] Pathria,M., Sartoris,D.J., & Resnick,D. (1987) Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment. *Radiology*, **164**, 227-230.
- [96] Nathan,H. (1962) Osteophytes of the vertebral column. *J. Bone Joint Surg Am.*, **44-A**, 243-268.
- [97] Ghiselli,G., Wang,J.C., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2003) L5-S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4-L5 isolated fusion. *Spine*, **28**, 1275-1280.
- [98] Ghiselli,G., Wang,J.C., Bhatia,N.N., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [99] Ghiselli,G., Wang,J.C., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2003) L5-S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4-L5 isolated fusion. *Spine*, **28**, 1275-1280.
- [100] Ghiselli,G., Wang,J.C., Bhatia,N.N., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [101] Wiltse,L.L., Widell,E.H., Jr., & Jackson,D.W. (1975) Fatigue fracture: the basic lesion is inthmic spondylolisthesis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, **57**, 17-22.
- [102] Farfan,H.F. (1980) The pathological anatomy of degenerative spondylolisthesis. A cadaver study. *Spine*, **5**, 412-418.
- [103] Fairbank,J.C., Couper,J., Davies,J.B., & O'Brien,J.P. (1980) The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*, **66**, 271-273.
- [104] Ware,J.E., Snow,K.K., & Kosinski,M. (1993) *SF-36 Health Survey, Manual and Interpretation Guide*, Boston.

- [105] Ware, J.E., Jr. & Sherbourne, C.D. (1992) The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med. Care*, **30**, 473-483.
- [106] Lee, C.K. (1988) Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion. *Spine*, **13**, 375-377.
- [107] Nagata, H., Schendel, M.J., Transfeldt, E.E., & Lewis, J.L. (1993) The effects of immobilization of long segments of the spine on the adjacent and distal facet force and lumbosacral motion. *Spine*, **18**, 2471-2479.
- [108] Etebar, S. & Cahill, D.W. (1999) Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J. Neurosurg.*, **90**, 163-169.
- [109] Pathria, M., Sartoris, D.J., & Resnick, D. (1987) Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment. *Radiology*, **164**, 227-230.
- [110] Ghiselli, G., Wang, J.C., Bhatia, N.N., Hsu, W.K., & Dawson, E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [111] Remes, V., Lamberg, T., Tervahartiala, P., Helenius, I., Schlenzka, D., Yrjonen, T., Osterman, K., Seitsalo, S., & Poussa, M. (2006) Long-term outcome after posterolateral, anterior, and circumferential fusion for high-grade isthmic spondylolisthesis in children and adolescents: magnetic resonance imaging findings after average of 17-year follow-up. *Spine*, **31**, 2491-2499.
- [112] Reimer, M. (2005) *Die Zuverlässigkeit des autobiographischen Gedächtnisses und die Validität retrospektiv erhobener Lebensverlaufsdaten (LV-CC)*. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin.
- [113] Cakir, B., Ulmar, B., Koepp, H., Huch, K., Puhl, W., & Richter, M. (2003) [Posterior dynamic stabilization as an alternative for dorso-ventral fusion in spinal stenosis with degenerative instability]. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, **141**, 418-424.
- [114] Wu, C.H., Kao, Y.H., Yang, S.C., Fu, T.S., Lai, P.L., & Chen, W.J. (2008) Supplementary pedicle screw fixation in spinal fusion for degenerative spondylolisthesis in patients aged 65 and over: outcome after a minimum of 2 years follow-up in 82 patients. *Acta Orthop.*, **79**, 67-73.

- [115] Freeman,B.J., Licina,P., & Mehdian,S.H. (2000) Posterior lumbar interbody fusion combined with instrumented postero-lateral fusion: 5-year results in 60 patients. *Eur. Spine J.*, **9**, 42-46.
- [116] McCulloch,J.A. (1998) Microdecompression and uninstrumented single-level fusion for spinal canal stenosis with degenerative spondylolisthesis. *Spine*, **23**, 2243-2252.
- [117] Gibson,J.N., Grant,I.C., & Waddell,G. (1999) The Cochrane review of surgery for lumbar disc prolapse and degenerative lumbar spondylosis. *Spine*, **24**, 1820-1832.
- [118] Turner,J.A., Ersek,M., Herron,L., Haselkorn,J., Kent,D., Ciol,M.A., & Deyo,R. (1992) Patient outcomes after lumbar spinal fusions. *JAMA*, **268**, 907-911.
- [119] Bortz,J., Osterreich,R., & Vogelbusch,W. (1979) [The development of tables for optimal sample sizes using tests based on binomial distributions (author's transl)]. *Arch. Psychol. (Frankf)*, **131**, 267-292.
- [120] Turner,J.A., Ersek,M., Herron,L., Haselkorn,J., Kent,D., Ciol,M.A., & Deyo,R. (1992) Patient outcomes after lumbar spinal fusions. *JAMA*, **268**, 907-911.
- [121] Howe,J. & Frymoyer,J.W. (1985) The effects of questionnaire design on the determination of end results in lumbar spinal surgery. *Spine*, **10**, 804-805.
- [122] Martin,B.I., Mirza,S.K., Comstock,B.A., Gray,D.T., Kreuter,W., & Deyo,R.A. (2007) Reoperation rates following lumbar spine surgery and the influence of spinal fusion procedures. *Spine*, **32**, 382-387.
- [123] Greiner-Perth,R., Boehm,H., Allam,Y., ElSaghir,H., & Franke,J. (2004) Reoperation rate after instrumented posterior lumbar interbody fusion: a report on 1680 cases. *Spine*, **29**, 2516-2520.
- [124] Deyo,R.A., Ciol,M.A., Cherkin,D.C., Loeser,J.D., & Bigos,S.J. (1993) Lumbar spinal fusion. A cohort study of complications, reoperations, and resource use in the Medicare population. *Spine*, **18**, 1463-1470.
- [125] Thalgott,J., LaRocca,H., Gardner,V., Wetzel,T., Lowery,G., White,J., & Dwyer,A. (1991) Reconstruction of failed lumbar surgery with narrow AO DCP plates for spinal arthrodesis. *Spine*, **16**, S170-S175.
- [126] Inamdar,D.N., Alagappan,M., Shyam,L., Devadoss,S., & Devadoss,A. (2006) Posterior lumbar interbody fusion versus intertransverse fusion in

- the treatment of lumbar spondylolisthesis. *J. Orthop. Surg (Hong. Kong.)*, **14**, 21-26.
- [127] Zucherman,J., Hsu,K., White,A., & Wynne,G. (1988) Early results of spinal fusion using variable spine plating system. *Spine*, **13**, 570-579.
- [128] Yuan,H.A., Garfin,S.R., Dickman,C.A., & Mardjetko,S.M. (1994) A Historical Cohort Study of Pedicle Screw Fixation in Thoracic, Lumbar, and Sacral Spinal Fusions. *Spine*, **19**, 2279S-2296S.
- [129] Esses,S.I., Sachs,B.L., & Dreyzin,V. (1993) Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members. *Spine*, **18**, 2231-2238.
- [130] Greiner-Perth,R., Boehm,H., Allam,Y., ElSaghir,H., & Franke,J. (2004) Reoperation rate after instrumented posterior lumbar interbody fusion: a report on 1680 cases. *Spine*, **29**, 2516-2520.
- [131] 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., & 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**, 2006-2015.
- [132] Schulze,C.J., Munzinger,E., & Weber,U. (1998) Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement. A computed tomographic-supported analysis. *Spine*, **23**, 2215-2220.
- [133] Gebhard,F., Weidner,A., Liener,U.C., Stockle,U., & Arand,M. (2004) Navigation at the spine. *Injury*, **35 Suppl 1**, S-45.
- [134] Buttermann,G.R., Garvey,T.A., Hunt,A.F., Transfeldt,E.E., Bradford,D.S., Boachie-Adjei,O., & Ogilvie,J.W. (1998) Lumbar fusion results related to diagnosis. *Spine*, **23**, 116-127.
- [135] Niemeyer,T., Bovingloh,A.S., Halm,H., & Liljenqvist,U. (2004) Results after anterior-posterior lumbar spinal fusion: 2-5 years follow-up. *Int. Orthop.*, **28**, 298-302.
- [136] Ekman,P., Moller,H., Tullberg,T., Neumann,P., & Hedlund,R. (2007) Posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine*, **32**, 2178-2183.

- [137] Kim,K.T., Lee,S.H., Lee,Y.H., Bae,S.C., & Suk,K.S. (2006) Clinical outcomes of 3 fusion methods through the posterior approach in the lumbar spine. *Spine*, **31**, 1351-1357.
- [138] Lidar,Z., Beaumont,A., Lifshutz,J., & Maiman,D.J. (2005) Clinical and radiological relationship between posterior lumbar interbody fusion and posterolateral lumbar fusion. *Surg Neurol.*, **64**, 303-308.
- [139] Krismer,M., Auckenthaler,T., Gruber,R., Wimmer,C., Sterzinger,W., & Ogon,M. (1997) [Lumbar fusion in adults--dorsal or combined ventral/dorsal approach?]. *Orthopade*, **26**, 568-571.
- [140] Beurskens,A.J., de Vet,H.C., Koke,A.J., van der Heijden,G.J., & 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**, 1017-1028.
- [141] Fairbank,J.C., Couper,J., Davies,J.B., & O'Brien,J.P. (1980) The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*, **66**, 271-273.
- [142] Glassman,S., Gornet,M.F., Branch,C., Polly,D., Jr., Pelozo,J., Schwender,J.D., & Carreon,L. (2006) MOS short form 36 and Oswestry Disability Index outcomes in lumbar fusion: a multicenter experience. *Spine J.*, **6**, 21-26.
- [143] Fritzell,P., Hagg,O., Wessberg,P., & Nordwall,A. (2002) Chronic low back pain and fusion: a comparison of three surgical techniques: a prospective multicenter randomized study from the Swedish lumbar spine study group. *Spine*, **27**, 1131-1141.
- [144] Ishihara,H., Osada,R., Kanamori,M., Kawaguchi,Y., Ohmori,K., Kimura,T., Matsui,H., & Tsuji,H. (2001) Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for isthmic spondylolisthesis. *J. Spinal Disord.*, **14**, 91-99.
- [145] Moller,H. & Hedlund,R. (2000) Instrumented and noninstrumented posterolateral fusion in adult spondylolisthesis--a prospective randomized study: part 2. *Spine*, **25**, 1716-1721.
- [146] Buttermann,G.R., Garvey,T.A., Hunt,A.F., Transfeldt,E.E., Bradford,D.S., Boachie-Adjei,O., & Ogilvie,J.W. (1998) Lumbar fusion results related to diagnosis. *Spine*, **23**, 116-127.
- [147] Gehrchen,P.M., Dahl,B., Katonis,P., Blyme,P., Tondevoid,E., & Kiaer,T. (2002) No difference in clinical outcome after posterolateral lumbar fusion

between patients with isthmic spondylolisthesis and those with degenerative disc disease using pedicle screw instrumentation: a comparative study of 112 patients with 4 years of follow-up. *Eur. Spine J.*, **11**, 423-427.

- [148] Fritzell,P., Hagg,O., Wessberg,P., & Nordwall,A. (2002) Chronic low back pain and fusion: a comparison of three surgical techniques: a prospective multicenter randomized study from the Swedish lumbar spine study group. *Spine*, **27**, 1131-1141.
- [149] La Rosa,G., Conti,A., Cacciola,F., Cardali,S., La Torre,D., Gambadauro,N.M., & Tomasello,F. (2003) Pedicle screw fixation for isthmic spondylolisthesis: does posterior lumbar interbody fusion improve outcome over posterolateral fusion? *J. Neurosurg.*, **99**, 143-150.
- [150] Videbaek,T.S., Christensen,F.B., Soegaard,R., Hansen,E.S., Hoy,K., Helmig,P., Niedermann,B., Eiskjoer,S.P., & Bunger,C.E. (2006) Circumferential fusion improves outcome in comparison with instrumented posterolateral fusion: long-term results of a randomized clinical trial. *Spine*, **31**, 2875-2880.
- [151] Jacobs,W.C., Vreeling,A., & de Kleuver,M. (2006) Fusion for low-grade adult isthmic spondylolisthesis: a systematic review of the literature. *Eur. Spine J.*, **15**, 391-402.
- [152] Inamdar,D.N., Alagappan,M., Shyam,L., Devadoss,S., & Devadoss,A. (2006) Posterior lumbar interbody fusion versus intertransverse fusion in the treatment of lumbar spondylolisthesis. *J. Orthop. Surg (Hong. Kong.)*, **14**, 21-26.
- [153] Radoschewski,M. & Bellach,B.M. (1999) [The SF-36 in the Federal Health Survey--possibilities and requirements for application at the population level]. *Gesundheitswesen*, **61 Spec No**, S191-S199.
- [154] Glassman,S., Gornet,M.F., Branch,C., Polly,D., Jr., Pelozo,J., Schwender,J.D., & Carreon,L. (2006) MOS short form 36 and Oswestry Disability Index outcomes in lumbar fusion: a multicenter experience. *Spine J.*, **6**, 21-26.
- [155] Videbaek,T.S., Christensen,F.B., Soegaard,R., Hansen,E.S., Hoy,K., Helmig,P., Niedermann,B., Eiskjoer,S.P., & Bunger,C.E. (2006) Circumferential fusion improves outcome in comparison with instrumented posterolateral fusion: long-term results of a randomized clinical trial. *Spine*, **31**, 2875-2880.

- [156] Briem,D., Linhart,W., Lehmann,W., Bullinger,M., Schoder,V., Meenen,N.M., Windolf,J., & Rueger,J.M. (2003) [Investigation of the health-related quality of life after a dorso ventral stabilization of the thoracolumbar junction]. *Unfallchirurg*, **106**, 625-632.
- [157] Linhardt,O., Kruger,A., & Krodel,A. (2004) [Differences between anteroposterior and posterior spondylodesis in clinical scores]. *Unfallchirurg*, **107**, 593-600.
- [158] Atlas,S.J., Keller,R.B., Wu,Y.A., Deyo,R.A., & Singer,D.E. (2005) Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of lumbar spinal stenosis: 8 to 10 year results from the maine lumbar spine study. *Spine*, **30**, 936-943.
- [159] Boos,N., Marchesi,D., & Aebi,M. (1991) Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis with Cotrel-Dubousset instrumentation: a preliminary report. *J. Spinal Disord.*, **4**, 472-479.
- [160] Ekman,P., Moller,H., Tullberg,T., Neumann,P., & Hedlund,R. (2007) Posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine*, **32**, 2178-2183.
- [161] Picavet,H.S. & Schouten,J.S. (2003) Musculoskeletal pain in the Netherlands: prevalences, consequences and risk groups, the DMC(3)-study. *Pain*, **102**, 167-178.
- [162] Jacobs,W.C., Vreeling,A., & de Kleuver,M. (2006) Fusion for low-grade adult isthmic spondylolisthesis: a systematic review of the literature. *Eur. Spine J.*, **15**, 391-402.
- [163] Mummaneni,P.V., Haid,R.W., & Rodts,G.E. (2004) Lumbar interbody fusion: state-of-the-art technical advances. Invited submission from the Joint Section Meeting on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves, March 2004. *J. Neurosurg. Spine*, **1**, 24-30.
- [164] Bono,C.M. & Lee,C.K. (2004) Critical analysis of trends in fusion for degenerative disc disease over the past 20 years: influence of technique on fusion rate and clinical outcome. *Spine*, **29**, 455-463.
- [165] Yuan,H.A., Garfin,S.R., Dickman,C.A., & Mardjetko,S.M. (1994) A Historical Cohort Study of Pedicle Screw Fixation in Thoracic, Lumbar, and Sacral Spinal Fusions. *Spine*, **19**, 2279S-2296S.
- [166] Suk,S.I., Lee,C.K., Kim,W.J., Lee,J.H., Cho,K.J., & Kim,H.G. (1997) Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and

- posterolateral fusion after decompression in spondylolytic spondylolisthesis. *Spine*, **22**, 210-219.
- [167] Krismer,M., Auckenthaler,T., Gruber,R., Wimmer,C., Sterzinger,W., & Ogon,M. (1997) [Lumbar fusion in adults--dorsal or combined ventral/dorsal approach?]. *Orthopade*, **26**, 568-571.
- [168] Kim,N.H. & Lee,J.W. (1999) Anterior interbody fusion versus posterolateral fusion with transpedicular fixation for isthmic spondylolisthesis in adults. A comparison of clinical results. *Spine*, **24**, 812-816.
- [169] Madan,S.S. & Boeree,N.R. (2003) Comparison of instrumented anterior interbody fusion with instrumented circumferential lumbar fusion. *Eur. Spine J.*, **12**, 567-575.
- [170] Lamberg,T.S., Remes,V.M., Helenius,I.J., Schlenzka,D.K., Yrjonen,T.A., Osterman,K.E., Tervahartiala,P.O., Seitsalo,S.K., & Poussa,M.S. (2005) Long-term clinical, functional and radiological outcome 21 years after posterior or posterolateral fusion in childhood and adolescence isthmic spondylolisthesis. *Eur. Spine J.*, **14**, 639-644.
- [171] Kim,K.T., Lee,S.H., Lee,Y.H., Bae,S.C., & Suk,K.S. (2006) Clinical outcomes of 3 fusion methods through the posterior approach in the lumbar spine. *Spine*, **31**, 1351-1357.
- [172] Inamdar,D.N., Alagappan,M., Shyam,L., Devadoss,S., & Devadoss,A. (2006) Posterior lumbar interbody fusion versus intertransverse fusion in the treatment of lumbar spondylolisthesis. *J. Orthop. Surg (Hong. Kong.)*, **14**, 21-26.
- [173] Flynn,J.C. & Hoque,M.A. (1979) Anterior fusion of the lumbar spine. End-result study with long-term follow-up. *J. Bone Joint Surg Am.*, **61**, 1143-1150.
- [174] Hahnel,H., Muschik,M., Zippel,H., & Gutsche,H. (1991) [Lumbar segmental spondylodesis--isolated ventral or combined dorsoventral? A comparison of results]. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, **129**, 197-203.
- [175] Lamberg,T.S., Remes,V.M., Helenius,I.J., Schlenzka,D.K., Yrjonen,T.A., Osterman,K.E., Tervahartiala,P.O., Seitsalo,S.K., & Poussa,M.S. (2005) Long-term clinical, functional and radiological outcome 21 years after posterior or posterolateral fusion in childhood and adolescence isthmic spondylolisthesis. *Eur. Spine J.*, **14**, 639-644.

- [176] Gelb,D.E., Lenke,L.G., Bridwell,K.H., Blanke,K., & McEney,K.W. (1995) An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine*, **20**, 1351-1358.
- [177] Jackson,R.P. & McManus,A.C. (1994) Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine*, **19**, 1611-1618.
- [178] Przybylski,G.J. (2000) The biomechanics of lumbar interbody fusion and sagittal plane balance. *Clin. Neurosurg.*, **47**, 461-469.
- [179] Kumar,M.N., Baklanov,A., & Chopin,D. (2001) Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur. Spine J.*, **10**, 314-319.
- [180] Lazennec,J.Y., Ramare,S., Arafati,N., Laudet,C.G., Gorin,M., Roger,B., Hansen,S., Saillant,G., Maurs,L., & Trabelsi,R. (2000) Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur. Spine J.*, **9**, 47-55.
- [181] Umehara,S., Zindrick,M.R., Patwardhan,A.G., Havey,R.M., Vrbos,L.A., Knight,G.W., Miyano,S., Kirincic,M., Kaneda,K., & Lorenz,M.A. (2000) The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments. *Spine*, **25**, 1617-1624.
- [182] Schlegel,J.D., Smith,J.A., & Schleusener,R.L. (1996) Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar, lumbar, and lumbosacral fusions. *Spine*, **21**, 970-981.
- [183] Park,P., Garton,H.J., Gala,V.C., Hoff,J.T., & McGillicuddy,J.E. (2004) Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine*, **29**, 1938-1944.
- [184] Ghiselli,G., Wang,J.C., Bhatia,N.N., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [185] Pathria,M., Sartoris,D.J., & Resnick,D. (1987) Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment. *Radiology*, **164**, 227-230.

- [186] Ghiselli,G., Wang,J.C., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2003) L5-S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4-L5 isolated fusion. *Spine*, **28**, 1275-1280.
- [187] Ghiselli,G., Wang,J.C., Bhatia,N.N., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [188] Ghiselli,G., Wang,J.C., Bhatia,N.N., Hsu,W.K., & Dawson,E.G. (2004) Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg Am.*, **86-A**, 1497-1503.
- [189] Okuda,S., Iwasaki,M., Miyauchi,A., Aono,H., Morita,M., & Yamamoto,T. (2004) Risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF. *Spine*, **29**, 1535-1540.
- [190] Etebar,S. & Cahill,D.W. (1999) Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J. Neurosurg.*, **90**, 163-169.
- [191] Lidar,Z., Beaumont,A., Lifshutz,J., & Maiman,D.J. (2005) Clinical and radiological relationship between posterior lumbar interbody fusion and posterolateral lumbar fusion. *Surg Neurol.*, **64**, 303-308.
- [192] Throckmorton,T.W., Hilibrand,A.S., Mencio,G.A., Hodge,A., & Spengler,D.M. (2003) The impact of adjacent level disc degeneration on health status outcomes following lumbar fusion. *Spine*, **28**, 2546-2550.
- [193] Kettler,A., Wilke,H.J., Haid,C., & Claes,L. (2000) Effects of specimen length on the monosegmental motion behavior of the lumbar spine. *Spine*, **25**, 543-550.
- [194] Etebar,S. & Cahill,D.W. (1999) Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J. Neurosurg.*, **90**, 163-169.
- [195] Lettice,J.J., Kula,T.A., Derby,R., Kim,B.J., Lee,S.H., & Seo,K.S. (2005) Does the number of levels affect lumbar fusion outcome? *Spine*, **30**, 675-681.
- [196] Kahanovitz,N., Bullough,P., & Jacobs,R.R. (1984) The effect of internal fixation without arthrodesis on human facet joint cartilage. *Clin. Orthop. Relat Res.*, 204-208.

- [197] Whitecloud,T.S., III, Davis,J.M., & Olive,P.M. (1994) Operative treatment of the degenerated segment adjacent to a lumbar fusion. *Spine*, **19**, 531-536.
- [198] George,C. (2002) The six-month incidence of clinically significant low back pain in the Saskatchewan adult population. *Spine*, **27**, 1778-1782.
- [199] Picavet,H.S. & Schouten,J.S. (2003) Musculoskeletal pain in the Netherlands: prevalences, consequences and risk groups, the DMC(3)-study. *Pain*, **102**, 167-178.
- [200] Gehrchen,P.M., Dahl,B., Katonis,P., Blyme,P., Tondevold,E., & Kiaer,T. (2002) No difference in clinical outcome after posterolateral lumbar fusion between patients with isthmic spondylolisthesis and those with degenerative disc disease using pedicle screw instrumentation: a comparative study of 112 patients with 4 years of follow-up. *Eur. Spine J.*, **11**, 423-427.
- [201] Kumar,M.N., Jacquot,F., & Hall,H. (2001) Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur. Spine J.*, **10**, 309-313.
- [202] Schlegel,J.D., Smith,J.A., & Schleusener,R.L. (1996) Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar, lumbar, and lumbosacral fusions. *Spine*, **21**, 970-981.
- [203] Boden,S.D., Davis,D.O., Dina,T.S., Patronas,N.J., & Wiesel,S.W. (1990) Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J. Bone Joint Surg Am.*, **72**, 403-408.
- [204] Kumar,M.N., Jacquot,F., & Hall,H. (2001) Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur. Spine J.*, **10**, 309-313.
- [205] DeBerard,M.S., Masters,K.S., Colledge,A.L., Schleusener,R.L., & Schlegel,J.D. (2001) Outcomes of posterolateral lumbar fusion in Utah patients receiving workers' compensation: a retrospective cohort study. *Spine*, **26**, 738-746.
- [206] Kumar,M.N., Jacquot,F., & Hall,H. (2001) Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur. Spine J.*, **10**, 309-313.
- [207] Soegaard,R., Bungler,C.E., Christiansen,T., & Christensen,F.B. (2007) Determinants of cost-effectiveness in lumbar spinal fusion using the net

benefit framework: a 2-year follow-up study among 695 patients. *Eur. Spine J.*, **16**, 1822-1831.

- [208] Trief,P.M., Ploutz-Snyder,R., & Fredrickson,B.E. (2006) Emotional health predicts pain and function after fusion: a prospective multicenter study. *Spine*, **31**, 823-830.
- [209] Flamme,C.H. (2005) [Obesity and low back pain--biology, biomechanics and epidemiology]. *Orthopade*, **34**, 652-657.

9 Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Christoph von Schulze Pellengahr danke ich ganz herzlich für die Überlassung des Themas und die außerordentlich gute Betreuung dieser Arbeit. Seine Motivation und auch seine ausdauernde Förderung zur Fertigstellung dieser Arbeit waren beispielhaft.

Herrn Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. V. Jansson, Direktor der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Universität München, sei für die Unterstützung und Förderung zur Fertigstellung dieser Arbeit besonders gedankt.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Ulrich Geitner, der bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit jederzeit geduldig Hilfestellung gab.

Die Vorbereitung und Durchführung der klinischen Untersuchung erfolgte in der Klinik für Orthopädie am Universitätsklinikum Großhadern (Direktor Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. V. Jansson). Den Mitarbeitern dieser Klinik, insbesondere Herrn Dr. Wolfgang Mayer, gilt mein Dank für ihre Unterstützung.

Herrn Lars Schliack, EDV-Beauftragter der Orthopädischen Klinik, danke ich für die freundliche Unterstützung in allen EDV-Fragen und für die unermüdliche Hilfe, technische Probleme schnell zu lösen.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, meinen Brüdern und meiner Freundin Nina, die mich während der Fertigstellung der Arbeit zu jeder Zeit motiviert und unterstützt haben.

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Boris Michael Holzapfel
Geburtsdatum:	7. November 1979
Geburtsort:	München
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Eltern:	Dr. med. Erwin Holzapfel (FA für Allgemeinmedizin) Oresia Holzapfel (Med. tech. Radiologieassistentin)
Geschwister:	Dominik Emanuel Holzapfel (Student der Humanmedizin) Magnus Maria Holzapfel (Student der Regiewissenschaften)

Ausbildung

1986-1990	Grundschule Bad Füssing
1990-1999	Maristengymnasium Fürstzell (Humanistischer Zweig, Ablegung der allgemeinen Hochschulreife)
1999-2000	Zivildienst Klinikum Passau
WS 2000-SS 2002	Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg (Physikum Note: 2,0)
WS 2002-SS 2007	Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München (Gesamtnote: 1,83)

Berufspraxis

Approbation am 26. April 2007

Seit Mai 2007 Assistenzarzt der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums rechts der Isar der Technischen Universität München (Direktor Prof. Dr. med. R. Gradinger)

München, im Mai 2007