

Klinische und radiologische 1-Jahres Ergebnisse eines minimal-invasiven
lumbalen Fusionsverfahren (EMAP-LIF) im Vergleich zur herkömmlichen
posterolumbalen interkorporellen Fusion (PLIF)

- eine prospektive Untersuchung-

Inauguraldissertation

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von Andrea Schmieder

aus Dresden

Gießen, 2010

Aus dem Orthopädisch-Traumatologischen Zentrum
der Zentralklinik Bad Berka mit der Klinik für Wirbelsäulen Chirurgie und
Querschnittgelähmte (Chefarzt Dr. H. Böhm) und
der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie (Chefarzt Prof. Dr. med. O. Kilian)

Gutachter: Prof. Dr. Kilian

Gutachter: Prof. Dr. Melzer

Tag der Disputation: 12.03.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Anatomische Grundlagen.....	8
1.1.1	Die Lendenwirbelsäule und der lumbale Spinalkanal	8
1.1.2	Das Bewegungssegment.....	9
1.1.3	Verfahrensbezogen relevante Anatomie.....	9
1.2	Pathophysiologie der degenerativen lumbalen Spinalkanalstenose mit und ohne Instabilität.....	14
1.3	Klinische Symptome und radiologische Zeichen des degenerativen Umbaus eines Bewegungssegmentes... ..	16
1.4	Entwicklung der operativen Therapie von degenerativ bedingten lumbalen Wirbelsäulensyndromen..	17
1.5	Entwicklung und Anwendung der EMAP-LIF-Technik... ..	20
1.6	Fragestellung.....	23
2.	Material und Methode.....	24
2.1	Aufbau der Untersuchungen.....	24
2.2	Patienten.....	25
2.3	Klinische Untersuchung und Dokumentation.....	26
2.4	Neurologische Untersuchung.....	26
2.5	Ein- und Ausschlusskriterien.....	27
2.6	Diagnosen und Segmentverteilung.....	27
2.7	Radiologische Diagnostik.....	29
2.7.1	Röntgenologische Untersuchungen.....	29
2.7.2	Weiterführende bildgebende Diagnostik.....	29
2.7.3	Radiologische Fusionskriterien.....	30
2.7.3.1	Erhebung des Grundplatten-Deckplatten-Winkels.....	31
2.8	Perioperative und postoperative Parameter.....	31
2.9	Operationsmethoden.....	32
2.10	Postoperative klinische Daten.....	37
2.10.1	ODI-Score	37
2.10.1.1	Oswestry-Disability-Index: Aufbau.....	37
2.10.1.2	Theoretische Auswertungen des ODI.....	40

2.10.1.3	Klinische Bewertungen des ODI.....	40
2.10.2	Evaluation des Schmerzempfindens durch die VAS.....	41
2.11	Statistische Auswertung.....	41
3.	Ergebnisse.....	42
3.1	Intraoperativ erhobene Werte und Ergebnisse	42
3.2	Postoperative neurologische Ergebnisse.....	48
3.3	Radiologische Ergebnisse.....	50
3.3.1	Differenz des Grundplatten-Deckplatten-Winkels	50
3.3.2	Radiologische Beurteilung der intersegmentalen Ossifizierung.....	50
3.3.3	Radiologische Beurteilung der Ossifizierung im Cage.....	54
3.3.4	Computertomographische Beurteilung der Ossifizierung	56
3.4	Entwicklung der knöchernen Fusion.....	57
3.5	Postoperative Ergebnisse im 1 Jahres Follow up	59
3.5.1	Klinischer postoperativer Verlauf.....	59
3.5.2	Klinisches Outcome im ODI-Score und der VAS-Skala....	64
3.6	Komplikationen.....	69
3.6.1	Intraoperative Komplikationen.....	70
3.6.2	Postoperative Frühkomplikationen	72
3.6.3	Spätkomplikationen.....	73
4	Diskussion.....	74
5.	Zusammenfassung.....	92
6.	Literaturverzeichnis.....	94
7.	Tabellenverzeichnis.....	102
8.	Abbildungsverzeichnis.....	104
9.	Abkürzungsverzeichnis.....	108

10.	Eidesstattliche Erklärung.....	110
11.	Lebenslauf.....	111
12	Danksagung.....	112

1. Einleitung

Innerhalb der westlichen Bevölkerung erleiden mindestens 80 Prozent eine akute Lumbalgie in ihrem Leben [41]. Operative Behandlungsmethoden, wie die minimal-invasiven Eingriffe an der Wirbelsäule zur Therapie akuter oder chronischer Rückenschmerzen, haben in den letzten Jahren sprunghaft zugenommen [54]. Viele Konzepte sind zur Behandlung der Symptome und Ursachen entstanden auch im konservativen Bereich. Hier hat die Entwicklung der Manuellen Therapie einen großen Vorschub bekommen und Beitrag geleistet. Aber auch andere Techniken aus der Krankengymnastik und der physikalischen Therapie finden wir heute fest verankert im multimodalen Therapiekonzept der Rückenschmerzbehandlung.

Neben der Profilierung neuer schmerztherapeutischer Methoden und der Optimierung der konservativen Therapiemöglichkeiten kam es auch immer wieder zu neuen Ansätzen und Weiterentwicklungen der Operationsverfahren von Wirbelsäulenerkrankungen, seit den ersten inneren lumbalen Stabilisierungen von 1897 durch Wilkins in Ottawa [64], und der ersten Verwendung von Metallstäben zur dorsalen Stabilisierung der LWS durch Lange 1909 in München [43].

Im Folgenden wurden viele Methoden zur Stabilisierung und Korrektur der Wirbelsäule entwickelt. Diese umfassten transpedikuläre, interspinöse und posterolaterale Stabilisierungen bis hin zu der ersten intersomatischen Fusion der Anterioren Lumbalen Intersomatischen Fusion (ALIF) ohne dorsale Stabilisierung durch Burns 1933 [10].

Weiterentwicklungen der ALIF wie die Posteriore Lumbale Intersomatische Fusion (PLIF) und letztlich die Transforaminale Lumbale Intersomatische Fusion (TLIF) sind Ausdruck für das Bestreben zur Optimierung der operativen Therapie. Einerseits sollen Komplikationsraten vermindert werden, andererseits soll der Zugangsweg so atraumatisch wie möglich gestaltet werden.

Parallel wuchsen auch das Wissen und das Verständnis in der Biomechanik und Pathophysiologie über die Wirbelsäule und Ihrer Erkrankungen. Die Bedeutung der autochtonen Rückenmuskulatur verbunden mit der Bauch- und Beckenbodenmuskulatur wurde immer häufiger in die Überlegung der Entwicklung von wirbelsäulenchirurgischen Operationsmethoden einbezogen und berücksichtigt. Lösungen wurden und werden daher in der minimal-invasiven Chirurgie gesucht, um den operativen Eingriff für die stabilisierenden Strukturen, wie die Muskulatur und die Bänder, so gering wie möglich zu halten.

Umgesetzt wurden diese Therapielösungen bereits in der Bandscheibenchirurgie, in dem sich zunächst die mikrochirurgische Nukleotomie, später die perkutane Nukleotomie [59] bis hin zur Mikroskopisch Assistierte Perkutanen Nukleotomie (MAPN –Technik) [24], als minimal-invasive Techniken im operativen Alltag etablierten.

Die Optimierung der Operationsmethoden, die Entwicklung des multimodalen Therapiekonzeptes mit Schmerztherapie und Physiotherapie sowie die ständige Zunahme von Wirbelsäulenzentren beschreiben den wachsenden Bedarf und Nachfrage nach Therapieoptionen bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen.

1.1 Anatomische Grundlagen

1.1.1 Die Lendenwirbelsäule und der lumbale Spinalkanal

Die Lendenwirbelsäule ist mit 5 Lendenwirbelkörpern der am stärksten druckbelastete Anteil der Gesamtwirbelsäule. Diese besteht aus 7 Zervicalwirbelkörpern, 12 Thorakalwirbelkörpern, 5 Lumbalwirbelkörpern, 5 verknöcherten Sacral- und 4-5 rudimentären Steißbeinwirbeln. Die Wirbel gliedern sich in einen ventral gelegenen Wirbelkörper, zwei laterale Bogenwurzeln und den dorsalen Wirbelbogen mit den Facettengelenken und Fortsätzen. Diese Strukturen umschließen den Spinalkanal, das Foramen vertebrale. Der lumbale Spinalkanal beinhaltet das Rückenmark, am häufigsten bis zur Höhe Th12-L2, Spinalnerven in Form der Cauda equina, die Hirnhäute und Liquor.

Die Form des Spinalkanals ändert sich von oval (L1, thorakolumbalen Übergang) zu elliptisch L2/3 bis hin zu dreieckig in Höhe L4/5 [5].

Die Lendenwirbelkörper stehen nahezu quadratisch plan übereinander, wobei L5 durch eine von anterior nach posterior abnehmende Höhe schon den Lumbosacralwinkel bildet (Abb.1).

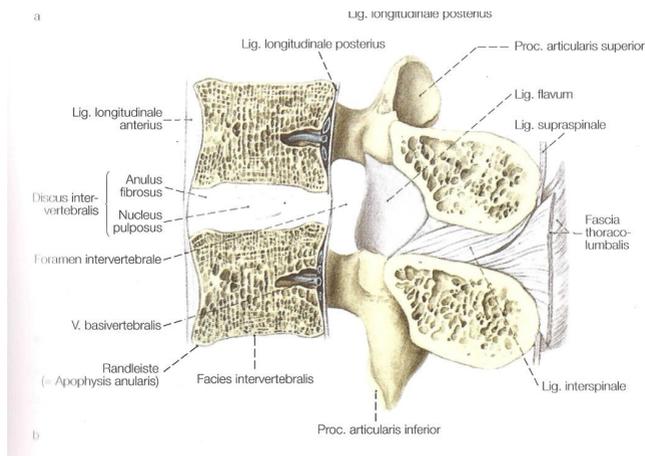
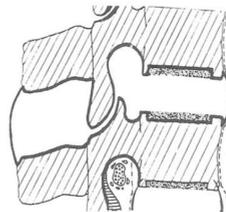


Abb.1 schematische Darstellung der Anatomie der LWS, Putz [53] in Benninghoff

1.1.2 Das Bewegungssegment

Die Zusammenfassung der anatomischen Strukturen der Wirbelsäule und deren Funktion erlauben in einer funktionellen Betrachtung, die Bezeichnung als Bewegungssegment. Dieses wurde durch Junghans [35] beschrieben. Es setzt sich aus 2 Wirbelkörpern zusammen, deren Facettengelenken, der zwischengelagerten Bandscheibe, den segmental stabilisierenden Bändern und Muskeln, sowie dem Rückenmark und den beiderseitigen Spinalnervenpaar (Abb.2).

Abb.2 schematische Darstellung eines Bewegungssegmentes, nach Junghans [35] in Kaltenborn et al. [36]



1.1.3 Verfahrensbezogen relevante Anatomie

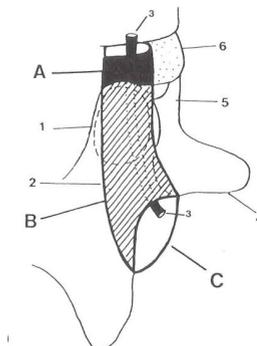
Für diese Arbeit ist eine Herausstellung der anatomischen Gegebenheiten im Bereich des Operationssitus wichtig. Aufgrund der Anwendung eines minimal-invasiven chirurgischen Verfahrens ist die genaue Kenntnis des „kleinen“ Sichtfeldes notwendig. Daher wird im folgenden Abschnitt der Recessus lateralis, das Foramen intervertebrale, die Facettengelenke, die Bandscheibe, die Muskulatur und die Ligamente näher beschrieben.

Recessus lateralis

Der Recessus lateralis (Abb.3) stellt die Übergangszone zwischen dem Spinalkanal und dem Foramen intervertebrale dar und ist der mittlere Bestandteil vom Wurzelkanal. Dieser ist in 3 Anteile unterteilbar. Er beginnt mit dem retrodiskalen Anteil, hier liegt die Wurzeltasche an der hinteren Bandscheibenfläche an. Es folgt der mittlere Abschnitt, der Recessus lateralis, der in das Foramen vertebrale übergeht [5]. Der Inhalt des Recessus lateralis wird durch die Nervenwurzel, die zugehörige Dura und durch das epidurale Fett gebildet. Das epidurale Fettgewebe übernimmt eine Schutzfunktion für die nervalen Strukturen vor den knöchernen Wänden. Im epiduralen Fettgewebe befinden sich aber auch die Plexus venosi vertebralis und die Äste des N. sinus vertebralis. Die engste Stelle im Wurzelkanal wird durch den Recessuseingang dargestellt. Das Foramen intervertebrale, dass den Ausgang des Wurzelkanals darstellt, ist oval und in vertikaler Ausdehnung größer als in ventro-dorsaler. Im oberen Anteil des Foramen befindet sich die Nervenwurzel.

Abb.3 Der lumbale Wurzelkanal nach Vital et al. [62] von dorsal in Benini [5]

- A: Retrodiskaler Abschnitt des Wurzelkanals, wo die Wurzel (3) an der Dorsalfäche der Bandscheibe anliegt.
- B: Recessus lateralis
- C: Foramen intervertebrale
- 1: Kranialer Gelenkfortsatz
- 2: Zwischenwirbelgelenkstück
- 3: Nervenwurzel
- 4: Querfortsatz
- 5: Bogenwurzel
- 6: Bandscheibe



Articulatio Vertebrae

Der Recessus lateralis wird durch die Wirbelbögen mit ihren Gelenkfortsätzen, den Facettengelenken begrenzt. Dabei weist jeder Lendenwirbelkörper 2 superiore und 2 inferiore Processi articulares mit den entsprechenden Facies articulares auf. Um die Facettengelenke befinden sich bindegewebige Gelenkkapseln. Die Gelenkflächen sind elliptisch und stehen im Bereich der Lendenwirbelsäule in der Sagittalebene, bis auf L5/S1, die häufig in Frontalebene stehen. Sie lassen somit nur Flexion/Extension als Bewegungen zu. Die minimale Seitneigung ist als Beteiligung durch Caudal/Cranial-Gleiten und dem elastischen Nachgeben der Gelenkkapsel zu interpretieren. Wie jedes andere Gelenk enthält das Facettengelenk viele propriozeptorische Rezeptoren, die Informationen über Stellung im Raum, Druckbelastung des Gelenkes und damit einwirkende Kraft auf die Gelenkflächen liefern. Die Abbildung 4 zeigt die unterschiedliche Lage der Facettengelenke je nach Wirbelsäulenabschnitt und erklärt die dadurch bedingte spezifische Beweglichkeit der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte.

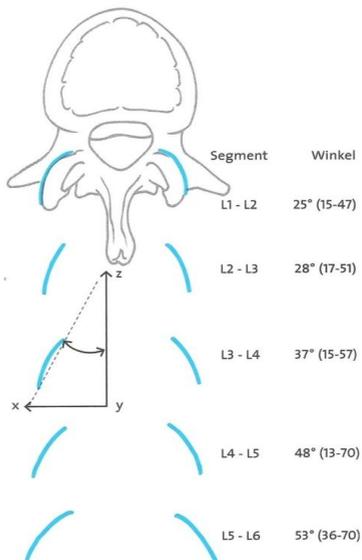


Abb.4 Winkelstellung der Facettengelenke der LWS, Jerosch [32]

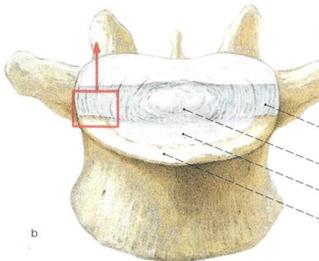
Discus intervertebralis

Zwischen den Wirbelkörpern befindet sich die Bandscheibe, der Discus intervertebralis (Abb.5). Dieser wird druck-, zug-, biegungs- und rotationsbelastet. Eine solch hohe Belastungsmöglichkeit ist dem einzigartigen strukturellen Aufbau geschuldet. Eine Dreiteilung in Nucleus pulposus (der Gallertkern), dem Anulus fibrosus (der Faserring), und den funktionell dazugehörig zu betrachtenden Knorpelplatten. Der wasserreiche (75% - 90%) Nucleus pulposus liegt nicht unmittelbar mittig sondern etwas dorsal und ist verformbar aber nicht komprimierbar [5,53].



Abb.5 Aufbau des Discus intervertebralis, Putz [53] in Benninghoff

a Ausschnitt aus b mit der lamellanartigen Gliederung des Anulus Fibrosus



b 3. Lendenwirbel mit gestufter Aufsicht auf die zugehörige Bandscheibe

Die konzentrisch angeordneten Bindegewebslamellen bilden den Faserring. Diese Lamellen haften an den Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper über eine hyaline Deckplatte, der Knorpelscheibe. Ihre Fasern verlaufen in einem 30° Winkel und sind von Lamelle zu Lamelle gegenläufig angeordnet. Durch diese Anordnung werden vor allem Schubkräfte aufgenommen und die Kräfte des nicht komprimierbaren Nucleus pulposus auf alle Fasern im Ring gleichmäßig verteilt.

Bis zum 2. Lebensjahr hat die Bandscheibe eine eigene Blutversorgung. Später erfolgt die Ernährung der Bandscheibe durch Diffusion und Osmose und ist somit abhängig vom Wechselspiel zwischen Bewegung und Ruhe [5,53].

Autochtone Muskulatur und Ligamente

Die das lumbale Bewegungssegment stabilisierenden Strukturen sind in den folgenden Abbildungen aufgeführt (Abb. 6 und 7). Neben den ligamentären Strukturen und der autochtonen Rückenmuskulatur, sind die Bauchmuskeln und die Fascie thoracolumbalis zu nennen.

Zusammenfassend muss die bewegungslimitierende und richtungsgebende Funktion der Facettengelenke hervorgehoben werden. Ohne ein solch stabilisierendes Moment wäre die Wirbelsäule durch die bewegliche Verbindung der einzelnen Wirbelkörper mittels Bandscheibe hochgradig instabil, was sich im Bild der degenerativen Instabilität widerspiegelt [5].

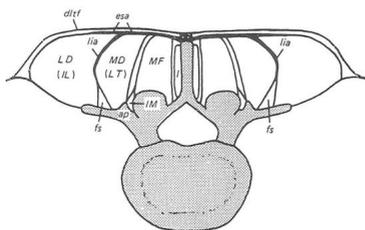


Abb.6 Schematischer Querschnitt der kaudalen Lendenregion mit Muskeln, Fascien und Aponeurosen nach Bogduk et al. [6] in Benini [5] Esa: lumbale Aponeurose des M. erector spinae lumbalis, die die Mm. Interspinalis (I), multifidus (MF) und den medialen Anteil des

M. erector spinae lumbalis (MD), Fortsetzung des M. longissimus thoracis (LT) deckt.; lia: Lumbo-intermuskuläre Aponeurose, Fortsetzung nach ventral von esa, die sich zwischen medialem (MD, bzw. LT) und lateralem (LD, bzw. IL als M. iliocostalis lumborum) Anteil des M. erector spinae befindet. Fs: Fett ausgefüllter Raum; ap: Hauptansatz des medialen Anteil des M. erector spinae im medialen Abschnitt des Querfortsatzes, IM: Ansatz des medialen Anteil des M. intertransversarius

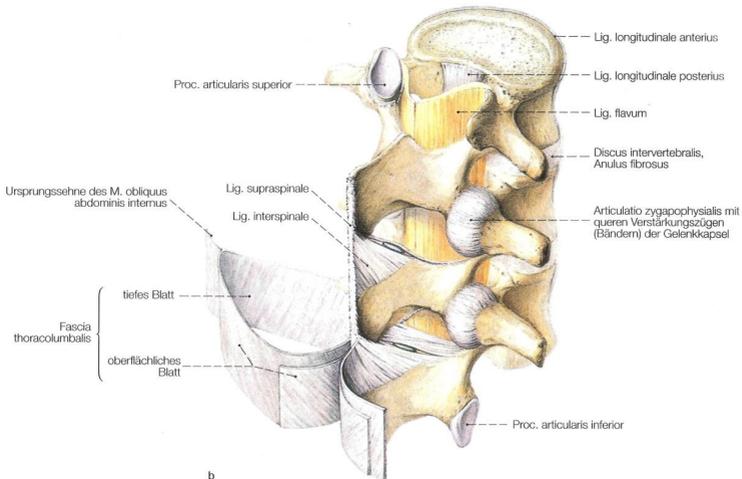


Abb.7 Darstellung der stabilisierenden Ligamente an der Lendenwirbelsäule, Putz [53] in Benninghoff

1.2 Pathophysiologie der degenerativen lumbalen Spinalkanalstenose mit und ohne Instabilität.

Bei der Betrachtung dieses Themas ist die Differenzierung des sich vielseitig zusammensetzenden Kreuzschmerzes erforderlich. Man unterscheidet das lokale lumbale Schmerzsyndrom und das lumbale Schmerzsyndrom mit radikulärer Ausstrahlung.

Wobei die klassische Ischialgie mit Ausstrahlung in die untere Extremität durch eine Kompression des Spinalnervs schon erklärt ist, ist die Pathogenese des lokalen Kreuzschmerzes ohne ausstrahlende Schmerzen in die untere Extremität noch nicht endgültig beschrieben. Er wird zum Teil als reine Folge der isolierten Bandscheibendegeneration gesehen, aber auch durch Abnutzung der Facettengelenke und im Verlauf durch die segmentale Instabilität erklärbar. Hinzu kommen Sonderformen wie angeborene Fehlbildung der Wirbelsäule, Spondylolyse, M. Baastrup oder auch Skoliose [5]. Diese Sonderformen hier unberücksichtigt gelassen, betrachtet man das große Feld der degenerativen Veränderungen an der Wirbelsäule.

Alle diese verschiedenen Krankheitsbilder zeigen eine ähnliche Pathophysiologie und treten daher häufig in Kombination oder als Abfolge auf [15].

Den Kernpunkt der Pathogenese stellt die Altersinvolution der Bandscheibe dar. Die Dehydrierung des bei Geburt bestehenden Wassergehaltes von bis zu 80% im Anulus fibrosus und 90% im Nucleus pulposus führt zu einer Höhenminderung des Zwischenwirbelraumes. Die Dehydrierung findet zunächst im Nucleus pulposus statt, welcher folgend Einsprossung von Kollagenfasern zeigt. Damit gehen seine elastischen Eigenschaften verloren. In der Mitte des Lebens ist das Bandscheibengewebe mehrfach gerissen und strukturell umgebaut, besonders im dorsalen Drittel. Hinteres Längsband und das Lig. Flavum bleiben in ihrer Länge bestehen und bilden eine Vorwölbung ein Bulging in den Spinalkanal. Das allein kann eine Verengung des Spinalkanales und des Recessus lateralis mit Kompression des Spinalnervens hervorrufen [15,17]. Zusätzlich komprimieren kann eine Diskushernie aus degenerativem Bandscheibenmaterial. Durch stabilisierende Umbauten wirkt der Körper dieser Pathogenese zunächst entgegen. Dazu gehören muskuläre Anspannungen der autochtonen Muskulatur in diesem Bereich. Es gehört weiterhin die Verdickung des Lig. Flavum verbunden mit Elastizitätsverlust und Sklerosierungen der Facettengelenke für eine größere Kohäsion und Osteophytenanbau zur Verhinderung des Segmentgleitens, je nach Ausmaß der sagittalen Ausrichtung der Gelenkflächen dazu. Diese Umbauarbeiten des Körpers führen jedoch wiederum zu eigenen Symptomen, wie der intraneuralen Fibronisierung, der venösen Stase verbunden mit arterieller Minderperfusion und der intraspinalen Enge. Die Folgen sind vermehrte ektopische neurale Entladungen, neurale Ischämien, epidurale Druckerhöhung, Belastungen von schmerzfaserreichen Strukturen, wie Gelenkkapseln. Neben den Symptomen einer Claudicatio intermittens spinalis können auch isolierte Symptome einer Claudicatio intermittens radicularis auftreten. Das richtet sich nach der Lage der Stenose [15,17].

1.3 Klinische Symptome und radiologische Zeichen des degenerativen Umbaus eines Bewegungssegmentes

Die bereits beschriebene Pathologie der lumbalen Degeneration äußert sich je nach Krankheitsstadium in folgenden Symptomen [1,5,46]:

- Claudicatio spinalis und/oder radicularis
- Rezidivierende Blockierungen
- Schmerzbedingte Gehstreckeneinschränkung
- Dreh- und Erschütterungsschmerzen bei Pressen, Husten und Niesen
- Belastungsabhängige lumbale Schmerzen bei längerem Sitzen und Stehen mit und ohne radikulärer Symptomatik

Bei einer klinischen Untersuchung finden sich typische Merkmale wie [1,5,46]

- lokaler Druck- und Klopfschmerz
- paravertebrale muskuläre Dysbalancen
- schmerzhafte Bewegungseinschränkung der LWS
- Fehlhaltung
- einem Dermatome zuteilbare Parästhesien oder Paresen

Bildgebende Kriterien sind in der Röntgendiagnostik und im MRT/CT zu finden:

Röntgenologisch [16,45]

- Verschmälerung des Zwischenwirbelraumes
- Olisthese des kranialen Wirbelkörpers mit Subluxation des Gelenkes
- Osteophytenanbau als „Traction spurs“ nach Macnab [47]
- Spondylolisthese Grad I-II nach Meyerding (Abb.8)

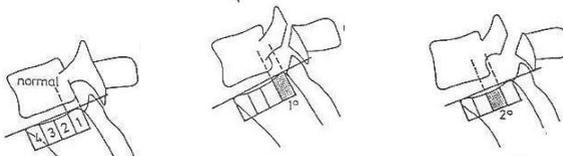


Abb.8 schematische Darstellung der Grad Einteilung der Spondylolisthese nach Meyerding [51]

Kernspintomographisch/Computertomographie [45]

- black disc
- Spinalkanalstenose durch Hypertrophie der ligamentären Strukturen
- Spinalkanalstenose durch Hypertrophie und Deformierung der Facettengelenke
- Spinalkanalstenose durch breitbasige Protrusion der Bandscheibe
- Recessusstenose durch laterale Protrusion der Bandscheibe
- Recessusstenose durch Subluxation der Facettengelenke
- Atrophie der autochtonen Muskulatur
- Ausbildung von Gelenkszysten

1.4 Entwicklung der operativen Therapie von degenerativ bedingten lumbalen Wirbelsäulenschmerzsyndromen

Nach dem aus der Pathogenese und der Klinik ersichtlich wurde, dass die isolierten lumbalen Schmerzen ohne Radikulopathie im fortgeschrittenen Stadium hauptsächlich in der Instabilität begründet sind, setzten sich in der operativen Therapie verschiedene Spondylodeseverfahren durch (Abb.9). Ziel der Spondylodese ist, die Wirbelsäuleninstabilität zu beseitigen und mit einer Korrektur eine mögliche Fehlstellung auszugleichen. Im folgenden Schema ist die Entwicklung der Spondylodese aufgeführt.

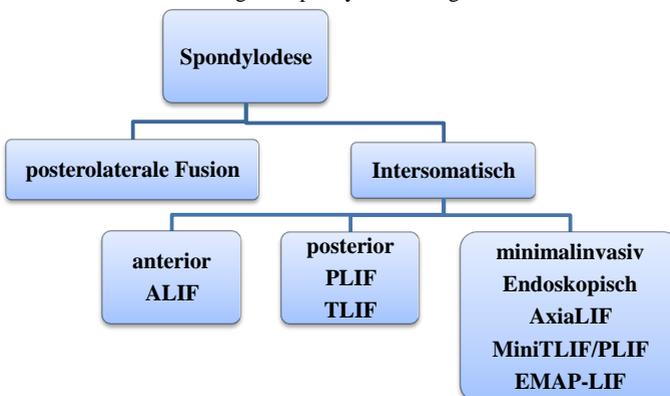


Abb.9 graphische Darstellung der historischen Entwicklung der Spondylodese

Die ersten Versteifungen erfolgten noch ohne Instrumentation über die knöchernen Überbrückung der dorsolateralen Strukturen, den Processus Transversi und der Processus Spinosi. Durch die Amerikaner Hibbs und Albee wurde 1911 dieses Verfahren fast zeitgleich postuliert [3,28]. Hibbs [28] trennte dazu die Processus spinosi in ihrer Basis ab und verband die benachbarten Wirbel mittels der Dornfortsätze zwischen den Processi transversii. Albee [3] implantierte einen autologen Tibiaspan zwischen die Dornfortsätze. Mit diesen beiden Methoden begann die eigentliche Ära der dorsalen Spondylodese. Postoperativ erfolgte eine sehr lange Immobilisation in einem Gipsbett und anschließend in einem Korsett. Diese Anfänge der Spondylodeseverfahren zeigten eine hohe Pseudarthrose-Rate, eine unzureichende Versteifung und Dekompression von neuralen Strukturen.

1933 wurde durch Burns [10] erstmalig eine ventrale Fusion, damals noch ohne posteriore Stabilisierung, beschrieben, die als ALIF bezeichnet wurde [33,34]. Die ersten Instrumentationen erfolgten 1943 über die Verschraubung der Facettengelenke, mit und ohne Einziehen der Pedikel, durch Toumey [60].

Der Zugang für die ALIF erfolgte von ventral und ermöglichte eine komplette Ausräumung des Bandscheibenfaches und Einbringen von Knochenmaterialien. Nachteil dieses Verfahrens stellt die Zerstörung des Lig. longitudinale vertebrale anterior dar, womit ein Verlust der ventralen Grenze und Stabilität verbunden ist. Zusätzlich birgt der anteriore Zugang an sich schon hohe Risiken. Es kann zu Verletzungen der Harnröhre, der iliakalen Gefäße und des präsakralen Nervenplexus kommen [19,66].

Durch einen posterioren Zugang konnten diese Risiken ausgeschaltet werden. Cloward [13] beschrieb 1943 erstmalig die posteriore lumbale intersomatische Fusion. Sie ermöglichte eine 360° Fusion. Steffee [58] verfeinerte die dorsale Technik zur reproduzierbaren dorsalen Fusion mit Instrumentation (Schrauben-Platten-System), welche mit Modifikationen auch gegenwärtig angewendet wird. Anstelle der Steffee-Platten haben sich die als Längsträger variablen Stäbe durchgesetzt. Diese Technik zeigt eine Reihe von Komplikationsmöglichkeiten aufgrund der partiellen oder vollständigen Laminektomie, der intra- und postoperativen epiduralen

Blutung, verbunden mit Narbenbildung und Arachnopathie. Außerdem können Verletzungen der Dura auftreten [13,25]. Jedoch konnte eine Fusionsrate von 85-90% erreicht werden und zeigte damit höhere Werte als die ALIF Fusionsrate von 70-80% [40].

Eine Weiterentwicklung der dorsalen intersomatischen Fusion konnte durch den transforaminalen Zugang, das TLIF-Verfahren erreicht werden, veröffentlicht durch Jeszensky und Harms 1998 [26,33]. Grundsätzlich wird über den weit lateral liegenden Zugang eine Eröffnung des Foramen intervertebrale möglich. Somit kann auf den traumatisierenden Zugang wie bei der PLIF, die oft eine Laminektomie einschloss, verzichtet werden. Über diesen lateral gelegenen Zugang ist eine Dekompression des Spinalnervs erreicht und die Möglichkeit, das Bandscheibenfach zu präparieren und zu fusionieren, gegeben. Das offene Vorgehen von dorsal bedeutet aber auch eine erhebliche Schädigung der Muskulatur, was selbst wieder eine Ursache für postoperative Schmerzen sein kann [40]. Zdeblick [66] bezeichnete diese Symptome als „Fusions disease“ infolge der Abtrennung der autochtonen Muskulatur bis hin zu den Querfortsätzen und dem Anwenden von großen Wundspreizern zur Muskelretraktion als Auslöser von lokalen Druck-Ischämien. Arbeiten durch Kawaguchi [37] zeigten einen direkten Zusammenhang von intraoperativ eingesetzten Wundspreizern und dem während der Operation abgenommenen MM-Isoenzym. Eine Traumatisierungsmöglichkeit des Spinalnervs, eine unzureichende Ausräumung des Bandscheibenfaches und eine begrenzte Korrekturmöglichkeit sind als mögliche Nachteile ebenfalls mit aufzuführen.

Somit stellte einen Hauptgrund für die Entwicklung der minimal-invasiven Wirbelsäulenchirurgie die Minimierung des Muskeltraumas durch den operativen Zugangsweg dar [2,8,21]. Angefangen bei den ersten perkutanen Pedikelschrauben, in Form eines Fixateurs extern, durch Magerl [48], bis hin zur Verfeinerung der renommierten offenen Techniken. Der ALIF wurde als laparoskopisch transperitoneal und endoskopisch retroperitoneal in Kombination mit perkutanem Stab-Schraubensystem minimalisiert. Auch die PLIF Technik konnte durch die Anwendung von Dilatatoren und perkutanen Pedikelschrauben als minimal-invasive Technik optimiert

werden. Hierbei wird durch Zylinder (METRx dilators) die erforderliche Hemilaminektomie ausgeführt. Um an das Bandscheibenfach zu gelangen, werden zusätzlich die dorsal stabilisierenden Bandstrukturen eröffnet. Erste Daten zu Operationszeit, Blutverlust und Fusion wurden 2003 von Foley et al. [20] veröffentlicht. Bei allen 15 operierten Patienten konnte eine vollständige Fusion festgestellt werden. Während bei der minimal invasiven PLIF Technik weiterhin häufig eine Laminektomie stattfand, konnte bei der minimalinvasiven TLIF Technik auf Grund des seitlicheren Zuganges darauf verzichtet werden. Nach kompletter Resektion der Wirbelsäulengelenke erfolgte die Darstellung des Spinalnervs und der dorsalen Bandstrukturen. Diese wurden eröffnet, um das Bandscheibenfach auszuräumen, für die Fusion vorzubereiten und durchzuführen. In Kombination mit der perkutanen dorsalen Instrumentation genügte bei einseitiger Schmerzausstrahlung ein unilaterales Vorgehen. Schwender et al. [57] beschrieben 2005 erste 2 Jahresergebnisse zu Fusion und intraoperativen Daten dieser Technik.

1.5 Entwicklung und Anwendung der EMAP-LIF-Technik

Durch die MAPN Technik konnte erstmals ein 3 dimensional visualisierbarer minimal-invasiver perkutaner Zugang zum Bandscheibenfach durchgeführt werden [24]. Während die Standard-MAPN Technik ihren Zugang über das interlaminäre Fenster zum Lig. flavum hat, kann über einen lateral der Gelenke gelegenen extraforaminalen Zugang das Bandscheibenfach ebenfalls erreicht werden.

Diese Herangehensweise machte man sich für die EMAP-LIF Technik zu Nutze. Dadurch fällt verfahrensbedingt keine knöcherne Resektion an Lamina oder Facettengelenken an. Die stabilisierenden Ligamente werden lediglich im Bereich des Lig. longitudinale posterior eröffnet, was dem Prinzip der minimal-invasiven Chirurgie entspricht.

In Abb. 10 sind die verschiedenen möglichen Zugänge der minimalinvasiv assistierten perkutanen Nukleotomietechnik zum Bandscheibenfach, in Abhängigkeit der Lage der Stenose, dargestellt.

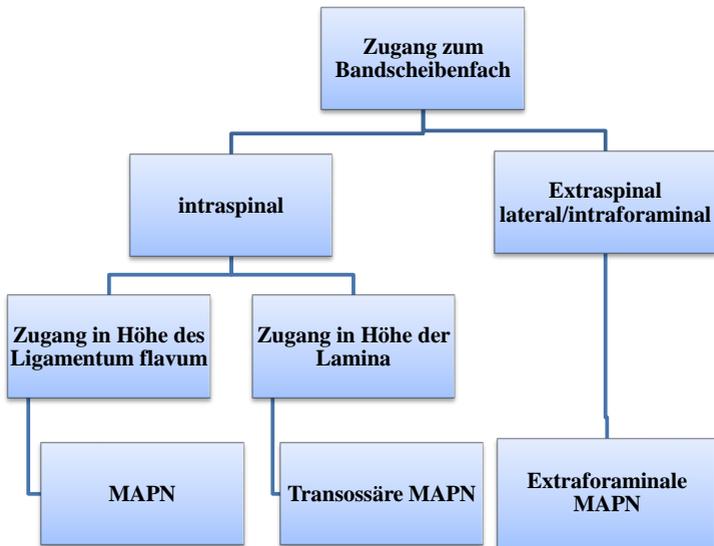


Abb.10 Zugang zum Bandscheibenfach in Abhängigkeit zur Stenose

Die extraforaminale MAPN Technik bietet dabei nicht nur einen Zugang, um eine Dekompression des Spinalnervs zu erreichen, sondern auch gleichzeitig eine Möglichkeit, ein Ausräumen des Bandscheibenfaches zu realisieren. Mit autologen Knochenmaterial gefüllte Cages werden zur Fusion eingesetzt. In Kombination mit dem perkutanen Pedikel-Stab-System ist eine perkutane 360° Versteifungsoperation gut durchführbar.

Diese Eingriffe sind bei folgenden Diagnosen indiziert:

- Segmentinstabilität bei Spondylolyse
- zentrale/laterale lumbale Spinalkanalstenose bei Osteochondrose mit/ohne Spondylolisthese
- Spinalkanalstenose infolge einer Fraktur oder Degeneration
- degenerative Lumbalskoliose mit Instabilität und Spinalkanalstenose
- Spinalkanalstenose wegen Spondylodiszitis oder einem Tumorleiden

Um ein homogenes Untersuchungsgut für diese Untersuchung zu gewinnen, wurden die Indikationen selektiert und reduziert auf die monosegmentale Osteochondrose mit/ohne Spondylolisthese Grad I-II nach Meyerding mit/ohne Radikulopathie, bzw. einer Claudicatio radicularis.

Da die Patienten mit beiden OP-Techniken operabel sein sollten, wurden die Grenzen der Indikationen und der Operationsmöglichkeit vorwiegend durch die minimal-invasive Technik bestimmt.

Daraus ergaben sich folgende technikabhängige Kontraindikationen:

- zentrale Spinalkanalstenose
- absolute Spinalkanalstenose
- mehrsegmentale (ab bisegmental) Spinalkanalstenose
- mehrsegmentale (ab bisegmental) Spondylolisthese
- knöcherner Recessusstenose durch laterale Osteophyten
- Spondylolisthese ab Grad III-IV
- Traumatische Spondylolisthese
- Voroperation in dem zu fusionierenden Segment

und technikunabhängige Kontraindikationen:

- Spondylodiszitis
- Cauda Equina Syndrom
- Tumorleiden
- Höhergradige und medikationspflichtige Osteoporose
- Polyneuropathie
- Medikamentenpflichtige Depression und psychologische Erkrankungen

1.6 Fragestellung

Diese klinisch prospektive Untersuchung, mit einem 1- Jahr Follow up, hat das Ziel, folgende Fragen in Zusammenhang mit der Entwicklung einer neuen operativen Versteifungstechnik zu beantworten:

1. Kann die mikroskopische durchgeführte EMAP-LIF Methode eine vergleichbare Fusion des Segmentes erreichen wie die herkömmliche PLIF Methode?
2. Kann der weniger traumatische Zugangsweg der EMAP-LIF Technik auch ein intraoperativ geringeren Blutverlust, eine geringere Operationszeit, eine kürzere postoperative Krankenhausverweildauer und niedrigere Komplikationsrate aufweisen?
3. Bringt der minimalinvasive Ansatz ein besseres klinisches Outcome gemessen am Oswestry Disability Index (ODI) und der Visuellen Analogen Schmerz-Skala (VAS) als die etablierte offene PLIF-Technik?
4. Wie äußert sich das klinische Outcome und welche Komplikationen können auftreten?

2. Material und Methode

2.1 Aufbau der Untersuchungen

Es handelte sich um eine prospektive, randomisierte klinische Untersuchung. Diese wurde mit dem Aktenzeichen 1140/07/111 bei der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Thüringen eingereicht und unter deren Auflagen durchgeführt.

Präoperativ erfolgten nach klinischer Untersuchung und Anamnese die bildgebende Diagnostik und die fachärztliche neurologische Untersuchung. Bei positivem Befund konnte die Operationsindikation gestellt werden. Erst danach fand die Zuordnung per Zufallsprinzip in die Operationsgruppe statt. Die Patienten wurden im Vorfeld über die freiwillige Teilnahme an dieser Untersuchung mit 1-jährigem Follow up sowie den beiden Operationstechniken aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Den Patienten wurde nach Indikationsstellung freigestellt, an der Randomisierung teilzunehmen oder nach herkömmlicher operativer Technik versorgt zu werden.

Perioperativ wurden die Operationszeit, der intraoperative Blutverlust, die IMC-Liegedauer, die postoperative Krankenhausverweildauer, die Komplikationen und das klinische Outcome untersucht. Die Grundlage dieser Untersuchungen bildet neben der Erfassung des klinischen Ergebnisses auch die Erhebung der knöchernen Durchbauung des versteiften Segmentes bei beiden Operationsmethoden. Dazu erfolgte nach 4, 6 und 12 Monaten jeweils eine klinische und radiologische Verlaufskontrolle. Zur Halbjahreskontrolle wurden eine neurologische Wiedervorstellung und eine CT-Untersuchung zusätzlich zu der regulär durchgeführten radiologischen Kontrolle wie dem Röntgen der LWS in 2 Ebenen und in Funktion durchgeführt. Um das klinische Outcome besser zu erfassen, wurde präoperativ, 6 und 12 Monate postoperativ der Oswestry-Disability-Index (ODI) und die Visuell Analog Schmerz Skala (VAS) erhoben.

Beide Operationstechniken wurden durch erfahrene Operateure und gleichbleibende Teams ausgeführt.

2.2 Patienten

In die Untersuchung wurden 20 Patienten (Tab.1) eingeschlossen, die im Zeitraum von November 2007 bis Juli 2009 entweder mit der PLIF Methode oder der EMAP-LIF Technik operiert wurden. Die Operationen fanden im Zentralklinikum Bad Berka in der Abteilung für Wirbelsäulenchirurgie und Querschnittgelähmte statt. Bei den 20 Studienpatienten handelt es sich um 14 Frauen und 6 Männern. Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt betrug 57,25 Jahre (Varianz 38-80 Jahre). Bis Juli 2010 konnten alle Patienten im Rahmen eines 1- Jahr Follow up nachuntersucht werden. Dabei wurden die Teilnehmer nach 4 ,6 und 12 Monaten ambulant wieder einbestellt.

Tab.1 Darstellung Patientenzahl, Diagnose, Alter, Operationsmethode
(OCH= Osteochondrose, Olist= Olisthese, Rad= Radikulopathie)

Pat.	Initial.	Geschl	Alter	Operation	Segment	Diagnose
1	MK	M	61	PLIF	L 4-5	OCH mit Rad.
2	RB	W	49	PLIF	L 4-5	OCH ohne Rad.
3	MI	W	46	PLIF	L 3-4	Mono Olist. I ohne Rad.
4	BC	W	47	PLIF	L 4-5	Mono Olist. II mit Rad.
5	MK	W	70	PLIF	L 4-5	Mono Olist. I ohne Rad.
6	TC	W	48	PLIF	L 4-5	Mono Olist. I mit Rad.
7	RC	W	70	PLIF	L 4-5	Mono Olist. I ohne Rad.
8	KG	W	66	PLIF	L 4-5	Mono Olist. I mit Rad.
9	SM	W	42	PLIF	L 4-5	Mono Olist. I ohne Rad.
10	FS	W	45	PLIF	L 2-3	OCH mit Rad.
11	WM	W	49	EMAP-LIF	L 2-3	Mono. Olist. I mit Rad.
12	FR	W	64	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist I mit Rad.
13	EB	M	80	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist. I mit Rad.
14	LH	M	71	EMAP-LIF	L 3-4	Mono. Olist. I mit Rad.
15	RC	W	60	EMAP-LIF	L 4-5	OCH mit Rad.
16	SW	M	58	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist. I mit Rad.

17	KK	W	73	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist. I mit Rad.
18	SM	W	54	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist. I mit Rad.
19	ZM	M	54	EMAP-LIF	L 2-3	OCH mit Rad.
20	FS	M	38	EMAP-LIF	L 4-5	Mono. Olist. I mit Rad.

2.3 Klinische Untersuchung und Dokumentation

Die Indikation zur Fusion und Dekompression im Bereich der LWS wurde unabhängig vom Operationsverfahren gestellt. Vorausgesetzt wurde dabei das Auftreten von klinischen Symptomen. Dazu wurden die Patienten nach Erhebung der Anamnese klinisch untersucht. Die Ergebnisse wurden im kliniktypischen Untersuchungsprotokoll dokumentiert. Zur Beurteilung der Statik des Patienten erfolgte zunächst eine Haltungsanalyse mit Schulter- und Beckenstand, mit Achsenabweichung und Schonhaltung. Funktionell wurde der Bewegungsausschlag der Lendenwirbelsäule nach Schober und Ott, Finger-Boden-Abstand und nach der Neutral-Null-Messmethode ermittelt. Zur Beurteilung der Sensibilität wurden die Dermatome auf Berührung, Temperatur und Schmerzen hin überprüft. Zusätzlich sicherte der Reflexstatus und Zeichen nach Lasegue oder Bragard eine eventuell vorliegende Radikulopathie. Für eine abschließende funktionelle Befunderhebung wurde das Gangbild mit differenzierten Gang- und Standarten auf Pathologien untersucht. Zusätzlich wurde der ODI Fragebogen und die VAS durch den Patienten selbständig ausgefüllt.

2.4 Neurologische Untersuchung

Im Anschluss an der klinischen Aufnahme wurden die Patienten präoperativ im Rahmen eines neurologischen Konsils im Zentralklinikum fachärztlich untersucht. Hier erfolgte neben der Erhebung des neurologischen Status eine EMG/ENG Messung bei nicht eindeutig zuteilbarer Pathologie und Höhenlokalisation, um eine Radikulopathie zu diagnostizieren. Nach 6 Monaten postoperativ wurden die Patienten erneut neurologisch vorgestellt. Zu diesem Zeitpunkt interessierten der

postoperative neurologische Status und das eventuelle Auftreten einer Radikulopathie nach operativer Versorgung.

2.5 Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Teilnahme an der Untersuchung galten folgende Einschlusskriterien:

- Chronischer Verlauf einer schmerzhaften monosegmentalen Osteochondrose der LWS mit und ohne Radikulopathie
- Chronischer Verlauf einer schmerzhaften monosegmentalen Olisthese bis maximal Grad II nach Meyerding mit und ohne Radikulopathie
- Erfolgreiche konservative Therapieversuche.

Als Ausschlusskriterien galten die technikabhängigen und technikunabhängigen Kontraindikationen.

2.6 Diagnosen und Segmentverteilung

Nach Befunderhebung wurden die Diagnosen erstellt. Anschließend erfolgte die Zuteilung per Zufallsprinzip in die beiden Operationsgruppen.

Zuvor versicherte der Patient die freiwillige Teilnahme an der Studie und ihren Bedingungen. Als häufigste Diagnose mit 50% (10 Patienten) wurde die monosegmentale Olisthese Grad I nach Meyerding mit Radikulopathie gestellt. Wobei 8 Patienten aus der EMAP Gruppe mit dieser Diagnose operiert wurden. Eine monosegmentale Olisthese Grad I nach Meyerding ohne Radikulopathie wurde bei 20% (4 Patienten) erhoben. Alle 4 Patienten wurden mittels posteriorer lumbaler intersomatischer Fusion operiert. Vier weitere Patienten (20 %) zeigten nach Diagnostik eine monosegmentale Osteochondrose mit Radikulopathie, wobei 2 Patienten mittels EMAP-LIF versorgt wurde. In der PLIF-Gruppe fand sich weiterhin 1 Patient mit einer monosegmentalen Olisthese Grad II nach Meyerding mit Radikulopathie und 1 Patient mit einer monosegmentalen Osteochondrose ohne Radikulopathie (Tab.1+2).

Tab.2 Aufzählung der präoperativen Diagnosen in der EMAP-LIF und PLIF (numerisch, Prozentangabe)

Diagnose - Operationsart Kreuztabelle		OP Methode	
		EMAPLIF	PLIF
Monosegmentale Olisthese Grad I mit Radikulopathie	Anzahl (Prozent)	8 (80%)	2 (30%)
Monosegmentale Olisthese Grad I ohne Radikulopathie	Anzahl (Prozent)	0 (0%)	4 (40%)
Monosegmentale Olisthese Grad II mit Radikulopathie	Anzahl (Prozent)	0 (0%)	1 (10%)
Monosegmentale Osteochondrose mit Radikulopathie	Anzahl (Prozent)	2 (20%)	2 (20%)
Monosegmentale Osteochondrose ohne Radikulopathie	Anzahl (Prozent)	0 (0%)	1 (10%)

Innerhalb des gesamten Patientengutes wurde am häufigsten das Segment LWK 4/5 operiert. In der EMAP-LIF Gruppe wurden 70% und in der PLIF Gruppe wurden 80 % in dieser Höhe fusioniert. Weitere 15% wurden im Segment LWK 2/3 operiert, 2 Patienten im minimal-invasiven Verfahren und 1 Patient mit der offenen Technik. Mit der Segmenthöhe LWK3/4 wurde je 1 Patient in den beiden Operationsgruppen therapiert (Tab.1 und Abb.11).

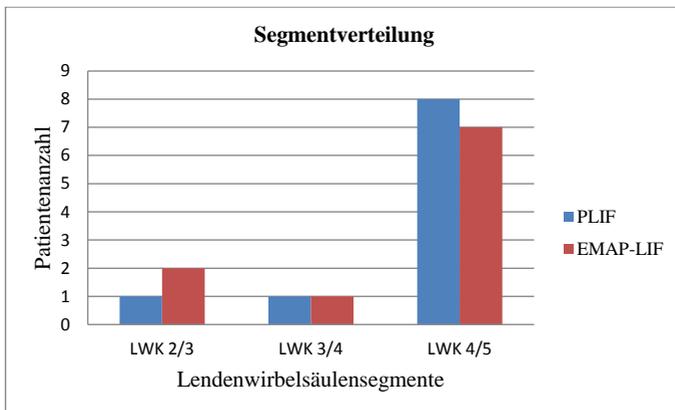


Abb. 11 graphische Darstellung der Segmentverteilung

2.7 Radiologische Diagnostik

2.7.1 Röntgenologische Untersuchungen

Zur radiologischen Diagnostik wurde die Lendenwirbelsäule präoperativ in 2 Ebenen und in Funktion geröntgt. Die Funktionsaufnahmen in In- und Reklination erfolgten im Liegen. Am ersten postoperativen Tag fand eine röntgenologische Kontrolle der Instrumentation und der LWS in 2 Ebenen statt. Im postoperativen Verlauf wurden die Lendenwirbelsäulen der Patienten nach 4, 6 und 12 Monaten in 2 Ebenen und zusätzlich in Funktion nach 6 und 12 Monaten geröntgt. Präoperativ wurde die Bildgebung zur Diagnostik durchgeführt, um eine Osteochondrose, eine Spondylolisthese, eine Spondylolyse, eine Facettengelenksarthrose, eine degenerative Skoliose oder eine Instabilität festzustellen.

2.7.2 Weiterführende Bildgebende Diagnostik

Neben der röntgenologischen Bildgebung erfolgte die MRT und CT-Diagnostik. Im Zentralklinikum wird die MRT- Bildgebung mittels eines Siemens-Symphonie 1,5 Tesla Gerätes durchgeführt. Die Computertomographie erfolgte im 10 Zeilen-Gerät, Somatom-Sensation 10 (Fa. Siemens, München).

Die Magnet-Resonanz-Tomographie war für die Diagnostik entscheidend, um eine laterale Stenose festzustellen und eine zentrale Stenose auszuschließen. Neben der Beurteilung des Spinalkanales ist auch der Spinalnerv im Verlauf einsehbar und die Facettengelenke mit ihren Gelenkkapseln. Man gewinnt einen Eindruck über die autochtone Muskulatur mit einer eventuellen fettigen Degeneration.

Die Computertomographie wurde präoperativ durchgeführt, um eine ossäre laterale Stenose am Foramen intervertebrale auszuschließen. Laterale Osteophyten würden ein minimal-invasives Vorgehen nach der EMAP-Technik unmöglich machen. Im postoperativen Verlauf wurde nach 6 Monaten eine erneute CT-Bildgebung durchgeführt, um eine genaue Beurteilung der knöchernen Durchbauung zu gestatten. Dadurch war es möglich, den Intervertebralraum und den Cage-Inhalt in 3 Ebenen einzusehen. Ebenso war eine Aussage über eventuelle Lysesäume um den Cages und den Pedikelschrauben realisierbar.

2.7.3 Radiologische Fusionskriterien

Im postoperativen Röntgen wurde die Lage der Instrumentation und der Cages kontrolliert. Es wurde die Fusion anhand der Mineralisation und eventuell vorhandener Lysezeichen im zu versteifenden Segment und im Cage beurteilt (Tab.3). Eine fehlende Fusion konnte durch die Ermittlung der Differenz des Grundplatten-Deckplatten-Winkels in den Funktionsaufnahmen erfasst werden. Die Beurteilung der knöchernen Fusion erfolgte anhand folgender Kriterien:

Tab.3 Darstellung der bildgebenden Kriterien einer knöchernen Fusion [23]

Fusionsgrad	Fusionskriterien
Komplette Fusion Grad I	Sichtbare Knochenspanne in den Röntgenbildern, CT, oder 2-D-Rekonstruktion Durchbauungszeichen im Implantat Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3° Keine Lysezeichen
Inkomplette Fusion Grad II	Unvollständiger Umbau bzw. nicht vollständig durchgehende Knochenspanne Inkompletter Durchbau im Implantat Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3° Keine Lysezeichen erkennbar
Wahrscheinlich keine Fusion Grad III	Weder durchgehende Knochenspanne noch Durchbauungszeichen innerhalb des Implantats Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3° Lysezeichen im cranialen und kaudalen Bereich des Implantates nachweisbar
Keine Fusion Grad IV	Weder Umbauzeichen noch Durchbauungszeichen im Implantat erkennbar Differenz des GDW in Flexion und Extension >3° Lysezeichen waren deutlich erkennbar

2.7.3.1 Erhebung des Grundplatten-Deckplatten-Winkels

Die Funktionsaufnahmen dienen der Ermittlung des Grundplatten-Deckplattenwinkels, der Auskunft über eine eventuelle Beweglichkeit des fusionierten Segmentes gibt. Dabei gilt als knöchern durchbaut, wenn die Differenz dieser Winkel in Extension und Flexion nicht größer als 3° beträgt.

Bild des GDW: Differenz 0°

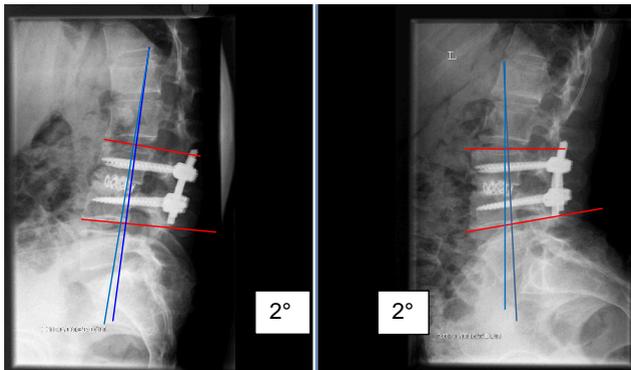


Abb.12 Röntgenologische Darstellung des Grundplatten-Deckplatten- Winkels in Inklination 2° und in Reklination 2° , Differenz 0°

2.8 Perioperative und postoperative Parameter

Neben präoperativen personenbezogenen Daten, wurden intraoperativ die Operationszeit, der Blutverlust, die Röntgenzeit und die Reposition ermittelt. Postoperativ interessierten die Krankenhausverweildauer nach der Operation und eventuell aufgetretene Komplikationen. Im 1- Jahr Follow up wurde für das klinische Outcome der ODI durchgeführt und die VAS-Skala ermittelt. Die zusätzlich durchgeführte fachärztliche neurologische Untersuchung unterstützte dabei die Diagnosestellung präoperativ und den postoperativen Verlauf bei eventuell aufgetretenen Komplikationen. Weiterhin wurde die postoperative Beschwerdesymptomatik der Patienten beurteilt.

2.9 Operationsmethoden

Die Lagerung und Vorbereitung war bei beiden Techniken gleich.

Die Operationen erfolgten in Bauchlage auf einen Rahmen, um den Bauch frei zu halten und eine Kompression der Gefäße und den damit verbundenen erhöhten intraabdominellen Druck zu vermeiden. Die Beine wurden abgewinkelt, die Beckenkämme mit Kissen unterlagert, um eine Kyphosierung des Segmentes zu erreichen. Die Abpolsterung der Kniegelenke und Füße erfolgten durch Unterlagerung mit Gelpolstern.

Die Operation wurde in Allgemeinanästhesie mit Intubationsnarkose durchgeführt.

Die Technik der posterioren lumbalen intersomatischen Fusion wurde bereits durch Cloward [13] und Steffee [58] publiziert und ist in vielen wirbelsäulenchirurgischen Einrichtungen allgemeiner Standard. Die Dekompression bei den durch PLIF operierten 10 Patienten erfolgte durch eine bilaterale Lamino-Facetektomie. Als Spacer wurden zwei mit autologem Knochenmaterial gefüllte Titan-Harms-Cage verwendet.

Die extraforaminal mikroskopisch assistierte perkutane lumbale intersomatische Fusion ist eine Weiterentwicklung aus zwei bereits bekannten und etablierten Operationstechniken: der extraforaminalen MAPN Technik und der perkutanen Instrumentation (Tab.4 und Abb. 13-25).

Tab.4 Operationstechnik
EMAP-LIF

Operationsschritt 1:

Perkutane
Spongiosaentnahme mittels
Hohlbohrer, Aufbewahrung
des Materials und steriles
Abdecken



Abb.13 Lokalisation der perkutanen
Spongiosaentnahme

Operationsschritt 2

Kennzeichnung (Abb.14) der
Schnittführung 1 cm lang,
Inzision 6-7 cm lateral der
Mittellinie in Höhe der
Querfortsätze oberhalb des
Facettengelenkes



Abb.14 Markierung des dorsalen Zuganges

Operationsschritt 3

Durch Einbringen von
Dilatatoren erfolgt der
transmurale Zugang und die
Darstellung des lateralen
Einganges zum Foramen
intervertebrale (Abb.15-16)



Abb.15 Markierung des Segmentes

Nach anschließender
Röntgenkontrolle wird das
Mikroskop positioniert



Abb.16 intraoperatives Röntgenbild,
mit eingebrachten Arbeitskanal

Operationsschritt 4

Zunächst werden die anatomischen Grenzen aufgesucht:

Processus transversus- cranial,
Facettengelenk –
mediocaudal.

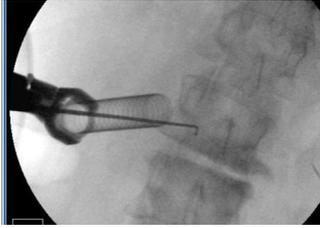


Abb.17 intraoperative intersegmentale Überprüfung mit Tasthäkchen

Nach Darstellung des Spinalnervens wird dieser mobilisiert und unter einem Haken aus dem Operationsfeld gehalten und somit geschützt.

Eine Röntgenkontrolle sichert die korrekte Position (Abb.17) und Höhe des Segmentes.



Abb.18 intraoperative röntgenologische Kontrolle nach Eröffnung/Ausräumung des Bandscheibenfaches

Operationsschritt 5

Nun kann das Bandscheibenfach eröffnet und bis zur Mittellinie ausgeräumt werden.

Anschließendes Anrauhern der Grund- und Deckplatten und Abtragen der knorpeligen Anteile (Abb.18-19).

Mittels einer Stanze wird eine Foraminotomie durchgeführt.



Abb.19 intraoperativ, Anfrischen der Grund- und Deckplatten mittels Meißel unter Schutz des Spinalnervens mittels Haken (Pfeilmarkierung)

Operationsschritt 6

Es erfolgt das Einbringen von autologer Spongiosa und des mit autologen Knochenmaterials gefüllten und vorgeformten Cages (Abb. 20-21). Dieser wird positioniert und pressfit mit Hilfe eines Stößels eingeschlagen. Die korrekte Lage wird röntgenologisch gesichert.

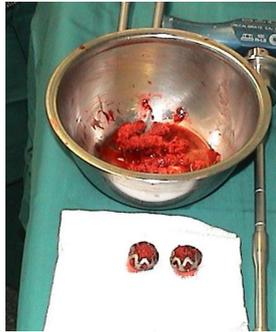


Abb.20 autologe Spongiosa und gefüllte Harm-Cages

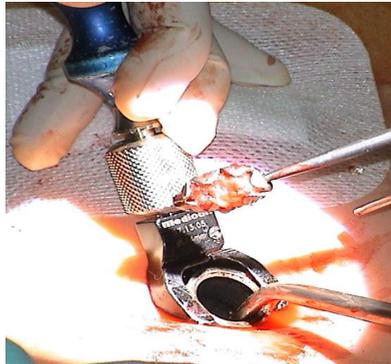


Abb.21 intraoperativ, Einbringen des mit Spongiosa gefüllten Cages

Operationsschritt 7

Unter röntgenologischer Sicht werden die Pedikel aufgesucht und Yamshidi- Kanülen eingebracht. (Abb.22).

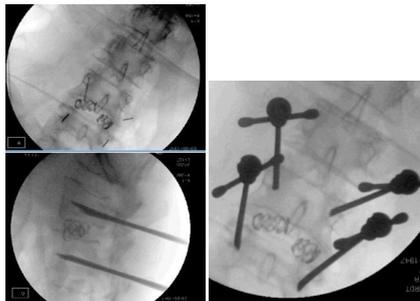


Abb.22 intraoperativ, Lokalisation der Pedikel

Operationsschritt 8

Über die Kanülen werden nun die Führungsdrähte in die Pedikel eingebracht. Anschließend können die Kanülen entfernt werden. Aufgesetzte Bougies dilatieren schrittweise in die Tiefe, über die Führungsdrähte können kanulierte Schrauben gesetzt werden (Abb.23-24). Die röntgenologische Kontrolle sichert die korrekte Lage, so dass die Führungsdrähte entfernt werden können.

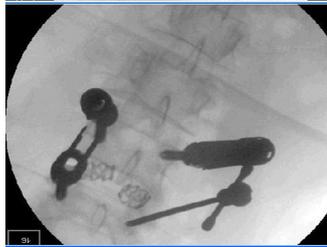


Abb.23 und 24 intraoperatives Röntgen, Einbringen des Stabsystems

Operationsschritt 9

Nach dem die beiden Verbindungsstäbe eingebracht und die Pedikelschrauben festgezogen wurden, erfolgt eine erneute abschließende röntgenologische Kontrolle (Abb.25).



Abb.25 intraoperativ, Abschlusskontrolle

Operationsschritt 10

Der Wundverschluss findet über Subcutannähte und Hautadaptation per Steristrips statt (Abb.26)



Abb.26 Wundverschluss 3 Monate postoperativ

2.10 Postoperative klinischen Daten

2.10.1 ODI Score

2.10.1.1 Oswestry-Disability-Index: Aufbau

Der Oswestry Disability-Fragebogen (ODI) wurde durch Fairbanks 1980 [18] zum ersten Mal veröffentlicht.

Der Fragebogen stellt ein international standardisiertes Element zur Erfassung der Wirbelsäulenschmerzen und der damit verbundenen alltäglichen Einschränkung dar. Er beschreibt somit eine Einteilung der klinischen Behinderung.

Der Fragebogen (Tab.5) besteht aus 10 Fragen, welche je 6 Antwortmöglichkeiten haben, die in ihrer Schwere aufsteigend angeordnet sind. Jede Antwort entspricht einem Punktwert (0-5). Der Fragebogen wurde präoperativ, 6 und 12 Monate postoperativ durch den Patienten selbständig ausgefüllt.

Tab.5 Fragebogen ODI

	Punkte
1. Schmerzintensität	
- Ich toleriere den Schmerz gut ohne Gebrauch von Schmerzmedikamenten	0
- Der Schmerz ist stark, aber ich komme ohne Schmerzmittel aus	1
- Schmerzmittel führen zur Kompletten Beschwerdefreiheit	2
- Schmerzmittel führen zur Beschwerdeminderung	3
- Schmerzmittel führen nur wenig zur Beschwerdeminderung	4
- Schmerzmedikamente führen zu keiner Beschwerdeminderung und führen zu nichts	5
2. Körperpflege	
- ich kann mich gut selbst versorgen ohne zusätzlichen Schmerz zu verursachen	0
- ich kann mich gut selbst versorgen, aber es erzeugt zusätzlichen Schmerz	1
- es ist schmerzhaft sich selbst zu versorgen, ich bin langsam und vorsichtig	2
- ich brauche manchmal Hilfe, aber ich versorge mich meistens allein	3
- ich braue jeden Tag Hilfe in den meisten Angelegenheiten der Pflege	4
- ich kann mich nicht selbst anziehen, waschen mit Schwierigkeiten und bleibe im Bett	5

3. Gewichte heben	Punkte
- ich kann schwere Gewichte heben ohne zusätzlichen Schmerz	0
- ich kann schwere Gewichte heben, aber mit zusätzlichen Schmerz	1
- Schmerzen halten mich vom Heben schwerer Gewichte ab, aber ich kann es machen wenn sie günstig liegen, z.B. auf dem Tisch	2
- Schmerzen halten mich vom Heben schwerer Gewichte ab, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gewichte heben wenn sie günstig liegen	3
- ich kann nur sehr leichte Gewichte heben	4
- ich kann gar nichts heben oder tragen	5

4. Gehstrecke/Hilfen	Punkte
- ich habe überhaupt keine Schmerzen beim Gehen	0
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 1000 m gehen	1
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 500 m gehen	2
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 200 m gehen	3
- ich kann nur mit Gehstock oder Stütze laufen	4
- ich liege die meiste Zeit im Bett und muss zur Toilette kriechen	5

5. Sitzen	Punkte
- ich kann in jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte	0
- ich kann nur in einem speziellen Stuhl so lange sitzen wie ich möchte	1
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 1 Stunde sitzen	2
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 1/2 Stunde sitzen	3
- ich kann vor Schmerzen nicht mehr als 10 min sitzen	4
- ich kann vor Schmerzen überhaupt nicht sitzen	5

6. Stehen	Punkte
- ich kann stehen solange ich möchte ohne zusätzlichen Schmerzen	0
- ich kann stehen solange ich möchte aber mit zusätzlichen Schmerzen	1
- ich kann vor Schmerzen nicht länger als 1 Stunde stehen	2
- ich kann vor Schmerzen nicht länger als 1/2 Stunde stehen	3
- ich kann vor Schmerzen nicht länger als 10 min stehen	4
- ich kann vor Schmerzen überhaupt nicht stehen	5

7. Schlafen	Punkte
- Schmerzen stören meinen Schlaf nicht	0
- Ich kann nur gut schlafen wenn ich Tabletten einnehme	1
- selbst wenn ich Tabletten einnehme kann ich nicht mehr als 6 h schlafen	2
- selbst wenn ich Tabletten einnehme kann ich nicht mehr als 4 h schlafen	3
- selbst wenn ich Tabletten einnehme kann ich nicht mehr als 2 h schlafen	4
- ich kann vor Schmerzen kaum schlafen	5

8. Sexualleben	Punkte
- mein Sexualleben ist normal und verursacht keine zusätzlichen Schmerzen	0
- mein Sexualleben ist normal, aber es verstärkt Schmerzen	1
- mein Sexualleben ist nahezu normal, aber es ist schmerzhaft	2
- mein Sexualleben ist durch Schmerzen erheblich eingeschränkt	3
- mein Sexualleben ist nahezu unmöglich durch Schmerzen	4
- Schmerzen lassen kein Sexualleben zu	5

9. Soziale Stellung	Punkte
- mein Sozialleben ist normal und verursacht keine zusätzlichen Schmerzen	0
- mein Sozialleben ist normal aber es verstärkt meine Schmerzen	1
- Schmerzen haben keine wesentlichen Auswirkungen auf mein soziales Leben, abgesehen von Einschränkungen meiner sportlichen Tätigkeiten	2
- Schmerzen schränken mein sozialen Leben ein, ich gehe selten aus	3
- Schmerzen beschränken mein soziales Leben auf zu Hause	4
- ich habe durch meine Schmerzen kein soziales Leben	5

10. Mobilität	Punkte
- ich kann überall hinfahren ohne zusätzlichen Schmerzen	0
- ich kann überall hinfahren aber es verursacht zusätzliche Schmerzen	1
- Der Schmerz ist schlimm aber ich kann mehr als 2 Stunden fahren	2
- Schmerzen halten mich von Fahrten, die mehr als 1 Stunde dauern, ab	3
- Schmerzen beschränken mich auf kurze Fahrten unter 30 min	4
- Schmerzen lassen gerade nur Fahrten zum Krankenhaus und zum Arzt zu	5

2.10.1.2 Theoretische Auswertung des ODI

Der Oswestry Disability Index erfasst die auf Grund von Rückenbeschwerden empfundene Behinderung im alltäglichen Leben [18]. Zu jeder Frage bestehen 6 Antwortmöglichkeiten mit einer Punktbewertung von 0-5. Die Maximalpunktzahl beträgt nach Addition aller Antworten also 50, das entspricht 100%. Werden alle Fragen beantwortet aber nicht mit dem Maximalwert von 5, wird durch Addieren und Verdoppeln der Prozentwert ermittelt.

Beispiel: Summe 16 (Punktwert von 10 beantworteten Fragen) x 2= 32%

Sollte eine Frage nicht beantwortet werden, muss die Summe der Antworten durch den maximal erreichbaren Punktwert dividiert und mit 100 multipliziert werden, um den entsprechenden Prozentwert zu erhalten.

Beispiel: 1 Frage nicht beantwortet:

Die Summe der 9 beantworteten Fragen ergibt 20. Der maximal erreichbare Punktwert ist bei neun beantworteten Fragen 45.

Formel: erreichte Punkte/maximal erreichbare Punkte x 100= Prozentwert
 20/45 x 100= 44%

2.10.1.3 Klinische Bewertung des ODI

Die berechneten Prozentwerte werden in fünf Gruppen eingeteilt, welche den Grad der Behinderung auf Grund von Rückenschmerzen beurteilen und beschreiben [18].

1. 0-20% = minimale Behinderung
2. 20-40% = mäßige Behinderung
3. 40-60% = starke Behinderung
4. 60-80% = invalidisiert
5. 80-100% = bettlägerig

2.10.2 Evaluation des Schmerzempfindens durch die VAS-Skala

Ergänzt wurde der Fragebogen durch die Angabe der Schmerzintensität der Patienten anhand der Visuellen Analogen Schmerz Skala (VAS, Abb.27). Der Wert 1 bedeutet keine Schmerzen und 10 soll mit stärksten Schmerzen assoziiert sein.

Dabei wurde die Skala als Lineal mit einem 1 cm Abstand graphisch dargestellt. Der Patient sollte seine Schmerzen als Ganze Zahlen graduieren und kennzeichnen.

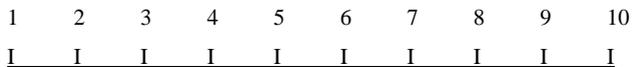


Abb.27 Visuelle Analoge Schmerz-Skala

2.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Informatik der Justus Liebig Universität in Giessen (kommissarischer Leiter: Prof. Dr. T. Eikmann).

Zunächst wurden alle Daten über Excel erfasst. Anschließend konnte mit Hilfe von SPSS Häufigkeitsverteilungen und Signifikanzen errechnet werden. Die Signifikanz wurde mittels Kreuztabelle, Chi-Quadrat-Test und Fischer-Test ermittelt. Mittelwerte, Standardabweichung und Medianwerte wurden tabellarisch zusammengefasst.

3. Ergebnisse

Von den 20 untersuchten Patienten konnten alle im 1-Jahr Follow-up eingeschlossen werden. In der EMAP-LIF Gruppe wurde bei einem Patienten keine 4 Monatskontrolle durchgeführt. Der Patient befand sich zu diesem Zeitpunkt in einer rehabilitativen Maßnahme. Die anschließenden Untersuchungen konnten zu den Zeitpunkten 6. und 12. Monat postoperativ eingehalten werden.

3.1 Intraoperativ erhobene Werte und Ergebnisse

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der intraoperativen Daten zusammengefasst.

Tab.6 Aufzählung der Ergebnisse für die Operationszeit, dem intraoperativen Blutverlust, der intraoperativen Röntgenzeit und der postoperativen Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit der Operationsmethode

	Pat. Nr.	Operationszeit in min	Intraop. Blutverlust in ml	Intraop. Röntgenzeit in ms	Postoperative Krankenhausverweildauer in d
PLIF	1	100	350	8	8
	2	125	500	10	12
	3	120	200	14	13
	4	165	600	6	12
	5	160	800	8	12
	6	150	250	8	12
	7	130	300	12	12
	8	105	150	5	14
	9	225	300	4	14
	10	115	400	11	13
EMAP-LIF	11	200	700	66	7
	12	155	300	36	10
	13	180	550	28	8
	14	160	150	39	12

15	210	300	93	15
16	190	300	94	12
17	165	250	93	6
18	175	350	94	6
19	170	500	75	10
20	170	250	52	6

Im Folgenden werden die Mittelwerte, der Medianwert, der Minimum- und Maximalwert sowie die Standardabweichung in der Tab. 7 für die Operationszeit, dem intraoperativen Blutverlust, der intraoperativen Röntgenzeit und der postoperativen Liegezeit aufgeführt.

Tab.7 Mittelwerte, Standardabweichung und Median der OP-Zeit, intraoperativer Blutverlust, intraoperative Röntgenzeit und postoperative Liegezeit in Abhängigkeit von den Operationsmethoden

Operationsart		Operationszeit (Minuten)	Intraop Blutverlust (ml)	Intraop Röntgenzeit (ms)	Postoperative Liegezeit (Tagen)
PLIF	Mittelwert	139,50	385,0	8,6	12,20
	Standardabweichung	37.301	198,676	3,169	1,687
	Minimum/Maximum	100/225	150/800	4/14	8/8
	Median	127,50	325,00	8,00	12,0
EMAP LIF	Mittelwert	177,50	365,00	67,00	9,20
	Standardabweichung	17,678	166,750	26,596	3,120
	Minimum/Maximum	155/210	150/700	28/94	6/15
	Median	172,50	300	70,50	9,00
Insgesamt	Mittelwert	158,50	375,00	37,80	10,70
	Standardabweichung	34,454	178,812	35,176	2,886
	MinimumMaximum	100/225	150/800	4/94	6/15
	Median	162,50	300	21,00	12,00

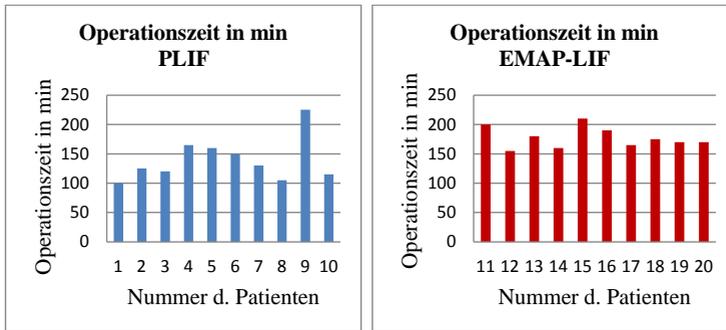


Abb.28 Operationszeiten pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsart

Der EMAP-LIF Eingriff benötigte eine Operationszeit von maximal 210 und minimal 155 min, dieses bedeutet im Durchschnitt eine Dauer von 177,5 min. Für die PLIF-Technik wurden minimal 100 bis maximal 225 min benötigt, dieses bedeutet einen Durchschnitt von 139,50 min. Der Medianwert der EMAP-Fusion betrug 172,5 min, in der PLIF-Technik konnte er mit 158,5 min ermittelt werden. Innerhalb der PLIF Technik gibt es auf Grund einer einmalig hohen Operationszeit von 200 min eine große Standardabweichung von 37 min während die homogenere EMAP-Gruppe eine Standardabweichung von 17,7 min zeigte (Tab.7, Abb.28).

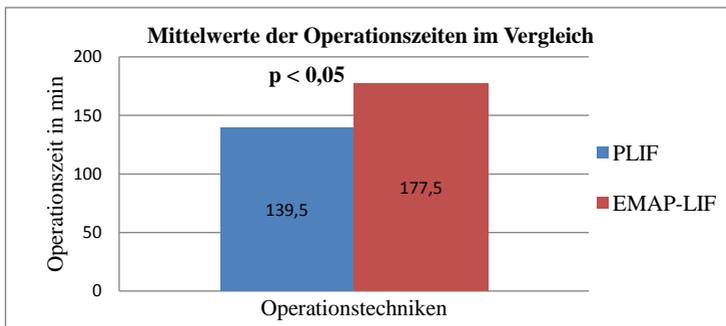


Abb.29 Vergleich der Mittelwerte der Operationszeiten in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Im Vergleich der beiden Techniken (Abb.29) besteht eine signifikant geringere Operationszeit innerhalb der PLIF-Technik ($p < 0,05$).

Der intraoperativ ermittelte Blutverlust (Tab.6+7 und Abb.30) zeigte in der PLIF Technik einen Minimalwert von 150 ml und ein Maximum von 800 ml. Bei der EMAP-Methode wurden minimal 150 ml und maximal 700 ml festgestellt. Beide Gruppen zeigen eine vergleichbare Standardabweichung und Medianwert.

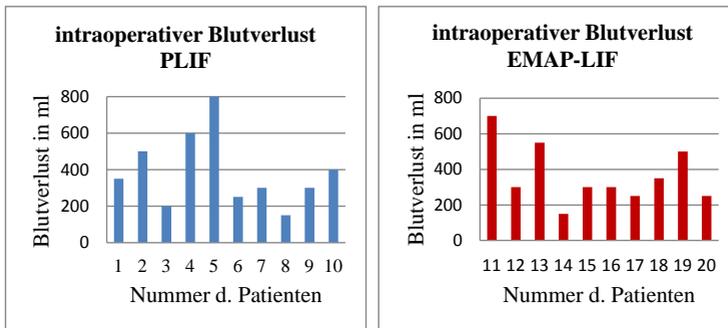


Abb.30 Intraoperativer Blutverlust pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode

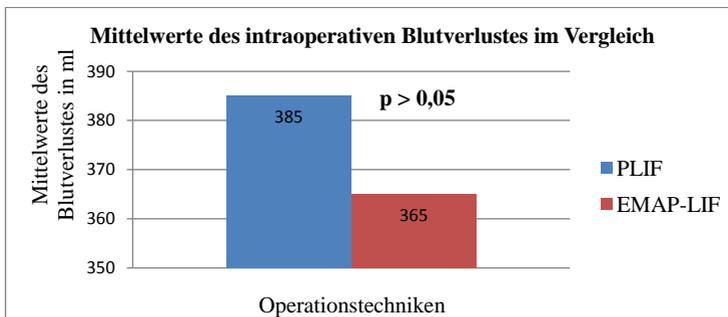


Abb.31 Vergleich der Mittelwerte des intraoperativen Blutverlustes in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Beim Vergleich der Operationsmethoden (Tab.6+7 und Abb.30+31) ist nur ein geringer Unterschied der Mittelwerte der Blutverluste zu Gunsten des EMAP-LIF Verfahrens mit 365 ml im Vergleich zum PLIF Verfahren mit 385ml festzustellen. Somit konnte kein signifikanter Unterschied im intraoperativen Blutverlust zwischen den Verfahren festgestellt werden ($p > 0,05$).

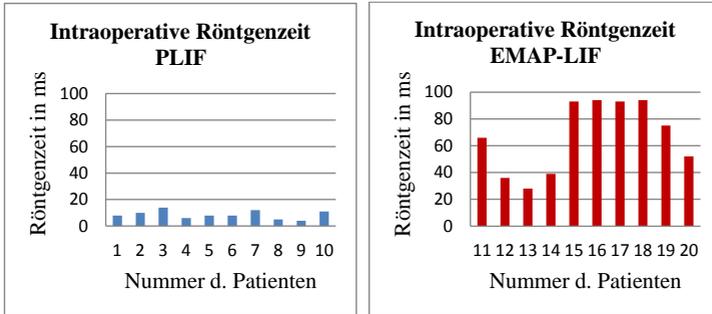


Abb.32 Intraoperative Röntgenzeit pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode

In den Tabellen 6 und 7 sowie in der Abbildung 32 sind die niedrigen Minimal- und Maximalwerte der PLIF Technik für die intraoperative Röntgenzeit ersichtlich. Es wurde minimal 4 ms und maximal 14 ms zum Röntgen aufgewandt. Für die EMAP-LIF Technik wurden minimal 28 ms und maximal 98 ms zum intraoperativen Röntgen benötigt. Der Minimalwert der EMAP-Technik ist somit doppelt so hoch wie der Maximalwert der PLIF Technik. Die hohe Standardabweichung der minimal-invasiven Technik bestätigt die hohe Varianz dieser Werte. Die PLIF-Methode zeigt eine homogene Datengruppe mit einer Streubreite von 3,2 ms.

Beim Vergleich (Abb.33) der intraoperativ benötigten Röntgenzeit war innerhalb der PLIF Methode eine signifikant geringere ($p < 0,05$) Zeit angewandt wurden als in der EMAP-LIF Gruppe.

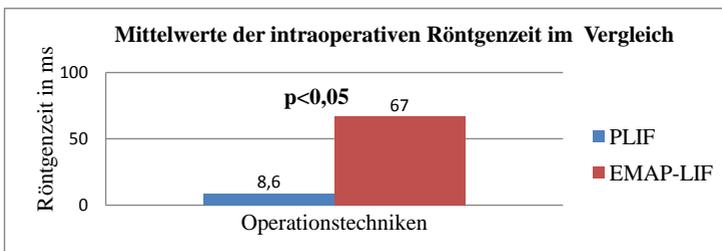


Abb.33 Vergleich der Mittelwerte der intraoperativen Röntgenzeit in Abhängigkeit von der Operationsmethode

In der Aufzählung der Ergebnisse (Tab.6+7) zur postoperativen Krankenhausverweildauer zeigen sich maximale Aufenthaltszeiten von 15 Tagen innerhalb der minimal-invasiv versorgten Patientengruppe. Der Minimalwert betrug 6 Tage. Die Standardabweichung konnte mit 3,1 Tagen ermittelt werden. Die per PLIF operierten Patienten waren maximal bis zu 14 Tagen und minimal bis zu 8 Tagen postoperativ im Krankenhaus. Die Standardabweichung ist mit 1,7 Tagen geringer (Abb.34).

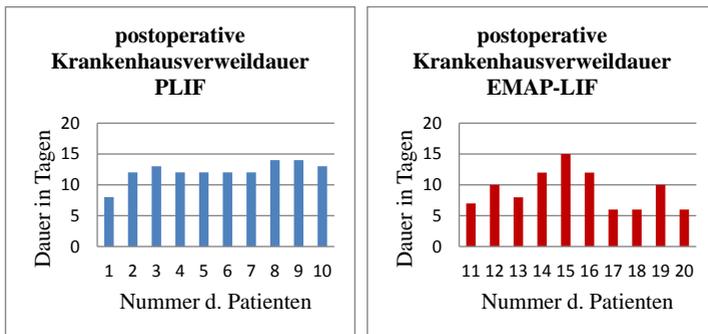


Abb.34 postoperative Krankenhausverweildauer pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode

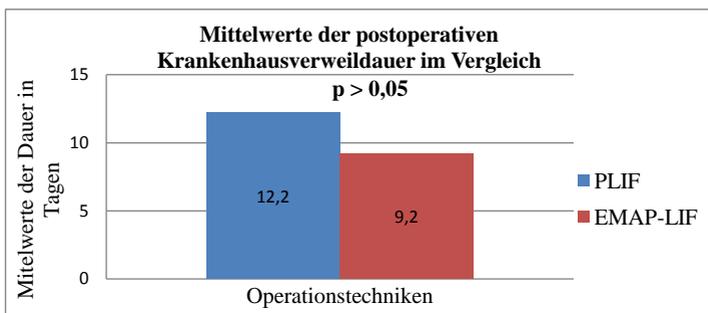


Abb.35 Vergleich der Mittelwerte der Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Die durchschnittliche postoperative Verweilzeit im Krankenhaus betrug im Patientengut der EMAP- fusionierten Patienten 9,2 Tage, bei den PLIF operierten Patienten wurden 12,2 Tage ermittelt (Abb.35). Ein signifikanter Unterschied in der Krankenhausverweildauer zwischen beiden Gruppen besteht nicht ($p > 0,05$).

3.2 Postoperative neurologische Ergebnisse

In Tab.8 ist der 6 Monate postoperative neurologische Status der Patienten dargestellt. Es fanden sich in der PLIF Gruppe zu diesem Zeitpunkt keine Zeichen einer Radikulopathie, während in der EMAP-LIF Gruppe 6 der 10 Patienten eine Radikulopathie des versorgten Segmentes aufwiesen (Tab.8+9 und Abb. 36+37).

Tab.8 Darstellung der neurologischen Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Neurologischer Status 6 Monate postoperativ					
PLIF	Patient (Nr.)	Neurologie 6 Monate po.	EMAP-LIF	Patient (Nr.)	Neurologie 6 Monate po.
	1	2		11	2
	2	2		12	2
	3	2		13	1
	4	2		14	1
	5	2		15	2
	6	2		16	1
	7	2		17	1
	8	2		18	1
	9	2		19	2
	10	2		20	1

Legende: 1= Radikulopathie 2= keine Radikulopathie

Tab.9 Ergebnisse der neurologischen Nachuntersuchung 6 Monate postoperativ in Abhängigkeit der Operationsmethode

Neurologischer Status nach 6 Monaten postoperativ		Operationsart	
		EMAP-LIF	PLIF
Keine Radikulopathie	Anzahl	4	10
	% innerhalb der Operationsart	40,0%	100,0%
Radikulopathie	Anzahl	6	0
	% innerhalb der Operationsart	60,0%	0%

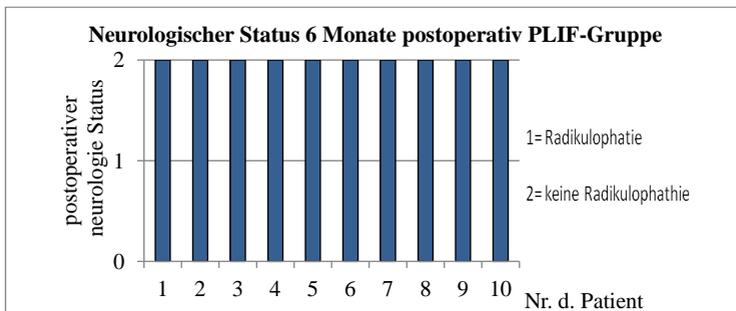


Abb.36 Neurologische Verlaufskontrolle 6 Monate postoperativ in der PLIF Gruppe

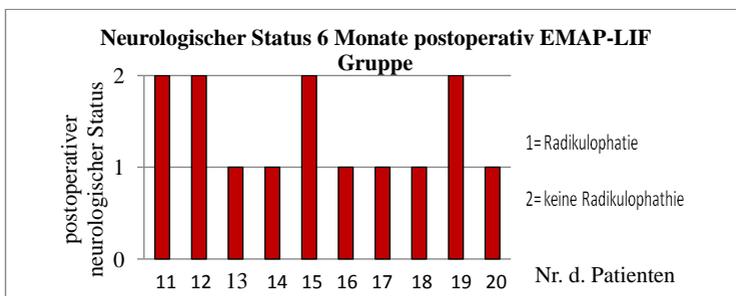


Abb.37 Neurologische Verlaufskontrolle 6 Monate postoperativ in der EMAP-LIF Gruppe

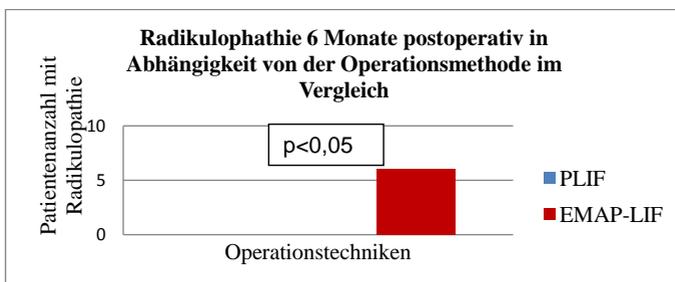


Abb.38 Vergleich des Auftretens von Radikulopathien nach 6 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Beim Vergleich der Ergebnisse, ist ein signifikant ($p < 0,05$) höheres Auftreten einer postoperativen Radikulopathie in der EMAP-LIF Gruppe sichtbar (Abb.38).

3.3 Radiologische Ergebnisse

3.3.1 Differenz des Grundplatten-Deckplatten-Winkels

Die ermittelten Daten zeigten bei keinem Patienten im postoperativen Verlauf eine Differenz des GDW über 3° (Tab.10). Bei den Patienten 2, 16 und 18 konnten teilweise keine GDW ermittelt werden, da die Funktionsaufnahmen fehlten.

Tab.10 Differenzen der GDW nach 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

PLIF	6Monate	12Monate
1	1°	2°
2	2°	-
3	2°	3°
4	0°	0°
5	3°	1°
6	1°	1°
7	0°	0°
8	3°	3°
9	3°	3°
10	2°	2°

EMAP-LIF	6 Monate	12 Monate
11	1°	1°
12	3°	3°
13	2°	3°
14	0°	0°
15	3°	2°
16	-	2°
17	2°	2°
18	-	1°
19	1°	0°
20	2°	3°

3.3.2 Radiologische Beurteilung der intersegmentalen Ossifizierung

Die postoperativen radiologischen Ergebnisse nach 4, 6 und 12 Monaten wurden in der Tab.11 aufgelistet. Röntgenologisch und computertomographisch wurde die Mineralisation durch die sichtbare Knochenspanne intersegmental und im Cage beurteilt sowie durch eventuell vorhandene Lysezeichen.

Tab.11 Radiologische Mineralisationszeichen nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Pat. Nr.		Röntgen sichtbare Knochenspange intersegmental			CT Knochenspange intersegmental	Röntgen Ossifizierung im Cage			CT Ossifizierung im Cage	Lysezeichen		
		4	6	12		4	6	12		4	6	12
PLIF	1	2	1	1	1	2	2	1	1	4	4	4
	2	2	1	1	1	2	2	1	1	4	4	4
	3	2	2	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	4	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
	5	2	1	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	6	1	1	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	7	2	1	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	8	2	2	2	2	2	2	1	1	5	4	4
	9	3	3	3	3	2	1	1	1	4	4	4
	10	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
EMAP-LIF	11	2	2	1	1	2	2	1	1	4	5	4
	12	2	2	2	2	2	2	2	1	4	5	4
	13	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
	14	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4	4
	15	K	2	2	1	K	1	1	1	k	4	4
	16	1	1	1	1	2	1	2	1	4	4	4
	17	2	1	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	18	2	2	2	2	2	1	1	1	5	4	4
	19	2	1	1	1	2	1	1	1	4	4	4
	20	2	2	2	1	2	1	1	1	4	4	4

Legende: 1= eindeutige Mineralisation 2= angedeutete Mineralisation
 3= keine Mineralisation 4= keine Lysezeichen
 5= Lysezeichen vorhanden K= keine Untersuchung
 I°= Fusionsgrad I° II°=Fusionsgrad II°

Nach 4 Monaten postoperativ konnten bei 30 % der PLIF - operierten Patienten und bei 20% der EMAP-LIF Patienten eine intersomatische Knochenspange röntgenologisch nachgewiesen werden. Bei 80% der minimal-invasiv fusionierten Patienten war die Knochenspange nicht eindeutig nachweisbar, sondern nur angedeutet, ebenso bei 70% der Patienten, die offen operiert wurden. Bei einem Patienten aus der PLIF Gruppe konnte keine intersomatische Knochenspange nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ nachgewiesen werden. Nach 6 Monaten postoperativ zeigte sich eine Steigerung der röntgenologisch nachweisbaren Knochenspange innerhalb der PLIF Gruppe auf 70% und nach 1 Jahr postoperativ auf 80%. Innerhalb der EMAP-LIF operierten Patienten konnten bei 50% nach 6 und nach 12 Monaten postoperativ eine intersomatische Knochenspange röntgenologisch nachgewiesen werden. Bei beiden Operationstechniken zeigten sich nach einem Jahr postoperativ keine Lysezeichen. (Tab.11+12).

Tab.12 Röntgenologisch sichtbare Ossifizierung intersegmental von 4,6 und 12 Monaten postoperativ in der PLIF- und EMAP-LIF Gruppe

Röntgenkriterium		Monate postoperativ		
		4	6	12
PLIF	Patienten mit knöcherner Spange intersomatisch vorhanden	3	7	8
	Patienten mit knöcherner Spange intersomatisch angedeutet, schwach mineralisiert	6	2	1
	Patienten ohne knöcherner Spange	1	1	1
EMAP-LIF	Patienten mit knöcherner Spange intersomatisch vorhanden	2	5	5
	Patienten mit knöcherner Spange intersomatisch angedeutet, schwach mineralisiert	8	5	5
	Patienten ohne knöcherner Spange	0	0	0

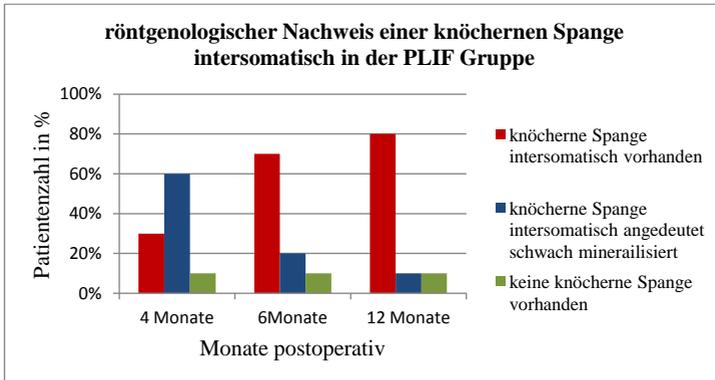


Abb.39 Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren intersegmentalen Ossifizierung im postoperativen Verlauf, PLIF Gruppe von 4,6 und 12 Monaten postoperativ

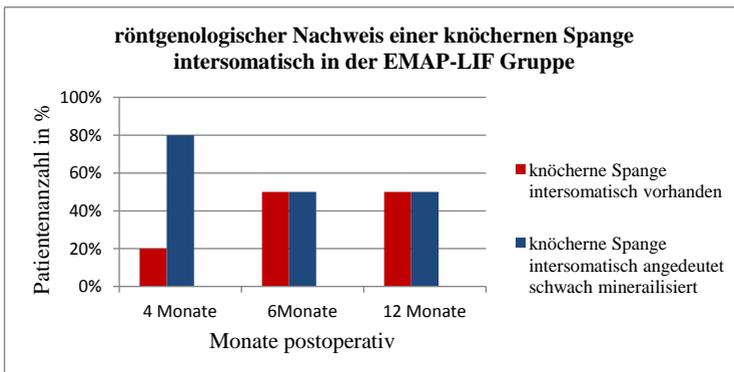


Abb.40 Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren intersegmentalen Ossifizierung im postoperativen Verlauf, EMAP-LIF Gruppe von 4,6 und 12 Monaten postoperativ

Bei dem Vergleich beider Gruppen (Abb.39+40), zeigen sich Unterschiede zwischen beiden Gruppen, hinsichtlich der postoperativen Ausbildung von Ossifizierungen. Die intersegmentale Knochenspange wird röntgenologisch innerhalb der PLIF-Patientengruppe zu jedem postoperativ röntgenologischen Kontrolltermin häufiger dargestellt. Während sich in der minimal-invasiv operierten Patientengruppe kein Patient ohne röntgenologische Darstellung der

Knochenspange befand, konnte innerhalb der offen operierten Patientengruppe ein Patient (Patient Nr. 9) ermittelt werden.

3.3.3 Röntgenologische Beurteilung der Ossifizierung im Cage

Tab.13 Röntgenologisch sichtbare Ossifizierung im Cage nach 4, 6 und 12 Monaten Postoperativ in der PLIF- und EMAP-LIF Gruppe

Röntgenkriterium		Monate postoperativ		
		4	6	12
PLIF	Patienten mit eindeutiger Ossifizierung im Cage	2	7	10
	Patienten mit angedeuteter Ossifizierung im Cage, schwach mineralisiert	8	3	0
	Patienten ohne Ossifizierung im Cage	0	0	0
EMAP-LIF	Patienten mit eindeutiger Ossifizierung im Cage	1	7	8
	Patienten mit angedeuteter Ossifizierung im Cage, schwach mineralisiert	9	3	2
	Patienten ohne Ossifizierung im Cage	0	0	0

Aus den tabellarisch aufgeführten Daten (Tab.11+13) zur postoperativen Entwicklung der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Harms-Cage ist ersichtlich, dass bei allen operierten Patienten eine Ossifizierung nachweisbar war. Bei den offen operierten Patienten konnte nach 6 Monaten ein Anstieg der Knochenbildung im Cage von 20% zur 4 Monatskontrolle auf 70% festgestellt werden. Nach 1 Jahr postoperativ zeigten alle 10 PLIF operierten Patienten eine röntgenologisch eindeutige Knochenbildung im Cage. Ein Anstieg der eindeutig röntgenologisch sichtbaren Knochenbildung im Cage wurde auch in der EMAP-LIF Gruppe ermittelt, von 10 % nach 4 Monaten auf ebenfalls 70% nach 6 Monaten. Nach einem Jahr postoperativ konnte in der minimal-invasiv operierten Patienten Gruppe nur noch ein Anstieg von 10% auf insgesamt 80% nachgewiesen werden. Die verbliebenen Patienten zeigten eine angedeutete Ossifizierung, die röntgenologisch nicht ganz eindeutig war.

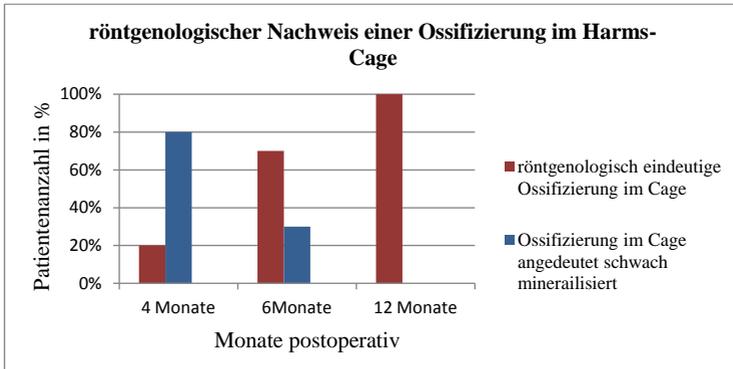


Abb.41 Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Cage in der PLIF Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ

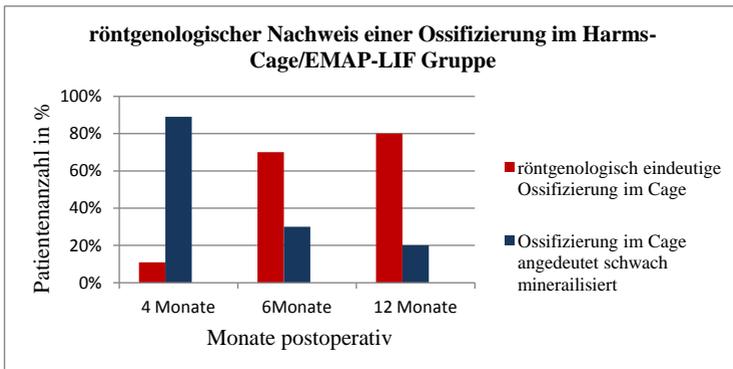


Abb.42 Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Cage in der EMAP-LIF Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ

Die Abbildungen 41 und 42 zeigen den unterschiedlichen Anstieg der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Cage bei den verschiedenen Operationsgruppen. Innerhalb der ersten 6 Monate postoperativ waren die Anstiege gleich. Dieser Verlauf flachte bei der minimal-invasiven Patientengruppe deutlich ab. In der EMAP-LIF Gruppe wurde in den letzten 6 postoperativen Monaten eine 10%ige Steigerung auf 70% erreicht, in der PLIF Gruppe eine 30%ige Steigerung auf insgesamt 100%.

3.3.4 Computertomographische Beurteilung der Ossifizierung

In beiden Operationsgruppen konnte eine vollständige knöcherne Durchbauung der Cages im CT nachgewiesen werden (Tab.11). Während die intersegmentale vollständige knöcherne Durchbauung nach 6 Monaten postoperativ nur zu 80% in der PLIF Gruppe und nur zu 70% in der EMAP-LIF Gruppe ermittelt wurde. Innerhalb der PLIF Gruppe konnte durch die CT Untersuchung bei weiteren 10% eine teilweise knöcherne Durchbauung und eine 10%ige fehlende knöcherne Durchbauung dokumentiert werden. In der minimal-invasiv operierten EMAP-LIF Gruppe zeigten die verbliebenen 30% im CT eine teilweise stattgefunden knöcherne Durchbauung (Abb.43).

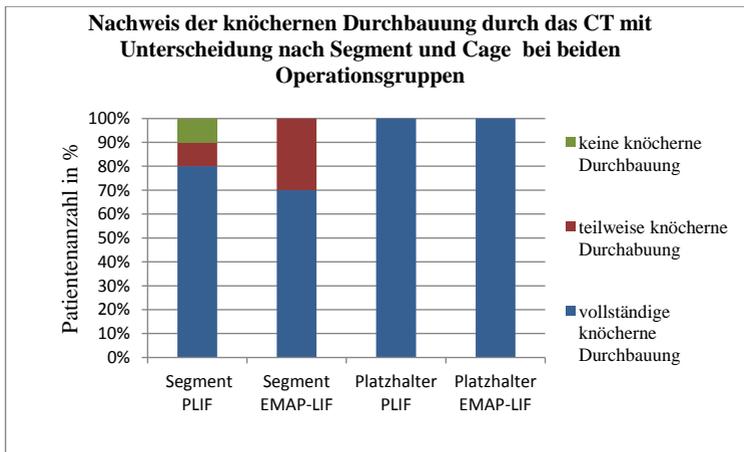


Abb.43 CT- Beurteilung der Ossifizierung intersegmental und im Cage in der PLIF und EMAP-LIF Gruppe nach 6 Monaten postoperativ

3.4 Entwicklung der Knöchernen Fusion

Tab.14 Entwicklung des Fusionsgrades nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Pat. Nr.		Fusionsgrad			Pat. Nr.		Fusionsgrad		
		4	6	12			4	6	12
		Monate postoperativ					Monate postoperativ		
PLIF	1	II°	I°	I°	EMAP-LIF	11	II°	I°	I°
	2	II°	I°	I°		12	II°	II°	II°
	3	II°	I°	I°		13	I°	I°	I°
	4	I°	I°	I°		14	II°	II°	II°
	5	II°	I°	I°		15	-	I°	I°
	6	I°	I°	I°		16	II°	I°	I°
	7	II°	I°	I°		17	II°	I°	I°
	8	II°	II°	II°		18	II°	II°	I°
	9	II°	I°	I°		19	II°	I°	I°
	10	I°	I°	I°		20	II°	I°	I°

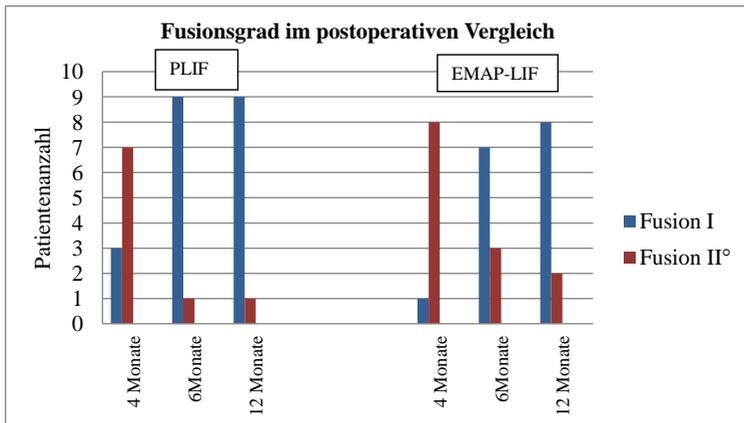


Abb.44 Vergleich der Fusionsraten in Abhängigkeit von der Operationsmethode nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ

Von insgesamt 20 operierten Patienten zeigten 15 Patienten bereits nach 4 Monaten Zeichen für eine beginnende Ossifizierung. Hier konnte eine Einteilung in den Fusionsgrad II° erfolgen. 4 Patienten zeigten eine vollständige Fusion des Segmentes. Davon wurden 3 Patienten per PLIF Verfahren operiert. Auffällig ist, dass bei keinem Patienten in der röntgenologischen Untersuchung nach 4 Monaten Zeichen für eine Lockerung wie Lysesäume um die Schrauben/Cage oder Dislokation der Instrumentation vorlagen. Nach 6 Monaten waren 90 % der mit PLIF operierten Patienten vollständig fusioniert. Von den minimal-invasiv fusionierten Patienten zeigten 70% zu diesem Zeitpunkt ebenfalls Kriterien einer I° Fusion. Die 3 restlichen Patienten wiesen zwar Zeichen für eine Fusion auf, aber ein noch nicht vollständig durchbautes Segment und wurden in Grad II eingeordnet. Zwischen den Operationsmethoden bestanden zu diesem Zeitpunkt kein signifikanter Unterschied bei $p > 0,05$ im Test nach Fischer. Nach 12 Monaten postoperativ sind weiterhin in der PLIF Gruppe 90 % vollständig fusioniert, in der EMAP-LIF Gruppe 80%. Die restlichen 3 Patienten (PLIF 1 Patient, EMAP-LIF 2 Patienten) zeigten Zeichen einer momentan stattfindenden Durchbauung. Auch zur 1 Jahres-Kontrolle besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationstechniken (Tab.14, Abb.44).

3.5 Postoperative Ergebnisse im 1 Jahres Follow up

3.5.1 Klinischer postoperativer Verlauf

In Tabelle 15 ist der klinische postoperative Verlauf innerhalb der beiden Operationsgruppen dargestellt und in Tabelle 16 für die PLIF Gruppe zusammengefasst.

Tab.15 Klinische Befunde nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

		Postoperativer klinischer Verlauf											
		4 Monate postop.				6 Monate postop.				12 Monate postop.			
	Patientennummer	Asymptomatisch	Beschwerdelinderung	Persistenz der lumb. Beschwerden ohne neurologisches Defizit	Beschwerdelinderung aber noch neurologisches Defizit	asymptomatisch	Beschwerdelinderung	Persistenz der lumb. Beschwerden ohne neurologisches Defizit	Beschwerdelinderung aber noch neurologisches Defizit	asymptomatisch	Beschwerdelinderung	Persistenz der lumb. Beschwerden ohne neurologisches Defizit	Beschwerdelinderung aber noch neurologisches Defizit
		PLIF	1	0	X	0	0	0	X	0	0	0	0
2	0		X	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0
3	0		X	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0
4	0		X	0	0	0	X	0	0	X	0	0	0
5	0		X	0	0	0	X	0	0	X	0	0	0
6	0		X	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0
7	0		X	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0
8	0		X	0	0	0	X	0	0	X	0	0	0
9	0		X	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0
10	0		X	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0
EMAP-LIF	11	0	X	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0
	12	0	X	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0
	13	0	0	X	0	0	0	X	0	0	X	0	0

14	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0	0	0
15	-	-	-	-	0	X	0	0	0	X	0	0
16	0	0	0	X	0	0	X	0	0	0	0	0
17	0	X	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
18	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0	0	0
19	0	X	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0
20	0	0	X	0	0	X	0	0	0	X	0	0

Tab.16 Postoperativer klinischer Verlauf in der PLIF Gruppe

Postoperativer klinischer Verlauf	4 Monate	6 Monate	12 Monate
Patienten die asymptomatisch und beschwerdefrei sind	0	3	6
Patienten mit Beschwerdelinderung	10	7	4
Patienten mit Persistenz der lumbalen Beschwerden ohne neurologisches Defizit	0	0	0
Patienten mit Beschwerdelinderung aber mit neurologischen Defiziten	0	0	0

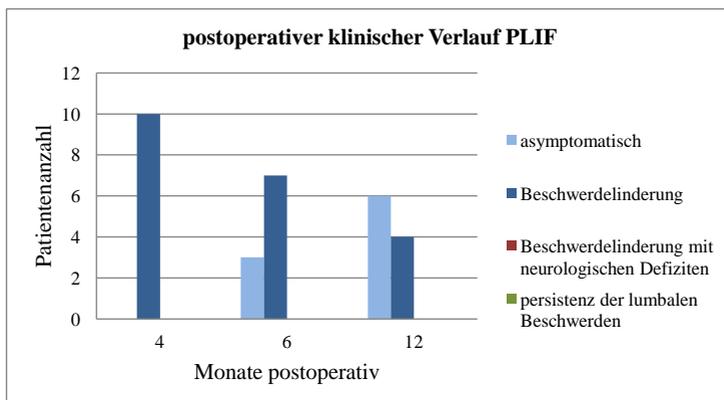


Abb.45 Darstellung des postoperativen klinischen Verlaufes in der PLIF Gruppe nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ

Nach 4 Monaten beschrieben 100% der mit der PLIF Technik versorgten Patienten eine Linderung der Beschwerden. Zu diesem Zeitpunkt war noch kein

operierter Patient völlig beschwerdefrei. Neurologische Defizite im Sinne einer dermatombezogenen Hyperalgesie oder Hyposensibilität wurden durch die Patienten nicht beschrieben. Persistierende lumbale Beschwerden, wie sie präoperativ empfunden wurden, waren bei keinem der PLIF operierten Patienten aufgetreten. Nach 6 Monaten konnte bei 4 Patienten eine völlige Beschwerdefreiheit erreicht werden. Die verbliebenen 60% der offen chirurgisch fusionierten Patienten beschrieben eine Beschwerdelinderung ohne neurologische Defizite. Ein Rezidiv der lumbalen Schmerzen war bei keinem der Patienten aufgetreten. Zur 1 Jahres Verlaufskontrolle gaben 40% eine Beschwerdelinderung an, während 60% der Patienten innerhalb dieser Gruppe völlig schmerzfrei waren (Tab.15+16, Abb.45+46).

Tab.17 Postoperativer klinischer Verlauf in der EMAP-LIF Gruppe

Postoperativer klinischer Verlauf	4 Monate	6 Monate	12 Monate
Patienten die asymptomatisch und beschwerdefrei sind	0	0	0
Patienten mit Beschwerdelinderung	4	4	6
Patienten mit Persistenz der lumbalen Schmerzen ohne neurologisches Defizit	1	0	0
Patienten mit Beschwerdelinderung aber mit neurologischem Defizit	4	6	6

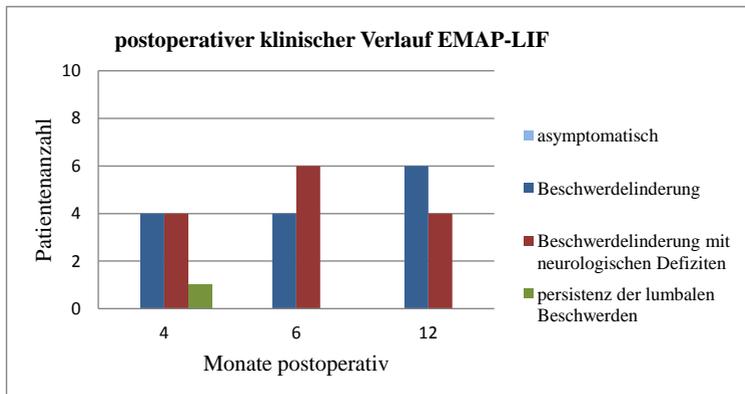


Abb.46 Darstellung des postoperativen klinischen Verlaufes in der EMAP-LIF Gruppe nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ

Zu keinem Zeitpunkt der Verlaufskontrollen waren Patienten aus der minimal-invasiv operierten Gruppe völlig schmerz- und beschwerdefrei (Tab.15+17, Abb.46). Nach 4 Monaten postoperativ waren 4 von 9 untersuchten Patienten beschwerdegelindert und beschrieben keine neurologischen Defizite. Weitere 4 Patienten beschrieben zu diesem Zeitpunkt neben einer Verbesserung der präoperativen Symptome auch neurologische Defizite. Davon beklagten 2 Patienten eine dermatombezogene Hyperalgesie und 2 Patienten eine dermatombezogene Hyposensibilität mit Mißempfindungen. Aus der Untersuchungsgruppe beschrieb 1 Patient persistierende lumbale Schmerzen im Vergleich zu präoperativ. Neurologische Defizite führte dieser Patient nicht auf.

Nach 6 Monaten postoperativ beschrieben in der EMAP-LIF Gruppe 60 % der Patienten eine Linderung der präoperativen Schmerzen und Verbesserung der Gehstrecke. Zusätzlich beschrieben diese 6 Patienten auch neurologische Defizite. Weitere 40% zeigten ebenfalls eine Beschwerdelinderung mit Verbesserung der Gehstrecke und Schmerzreduktion. Neurologische Defizite schilderten diese 4 Patienten nicht. Festzuhalten ist, dass 100% der minimal-invasiv operierten Patienten eine Beschwerdelinderung angaben. Lumbale Beschwerden, wie sie präoperativ bestanden, traten zu diesem Zeitpunkt nicht mehr auf.

Im 1-Jahres Follow up bestätigte sich die 100%- ige Beschwerdelinderung. Zu diesem Zeitpunkt konnte eine Verbesserung hinsichtlich der neurologischen Defizite festgestellt werden, denn die Anzahl der Patienten mit neurologischen Symptomen reduzierte sich auf 40%. Persistierende lumbale Beschwerden wurden 1 Jahr postoperativ von keinem Patienten angegeben (Abb.46).

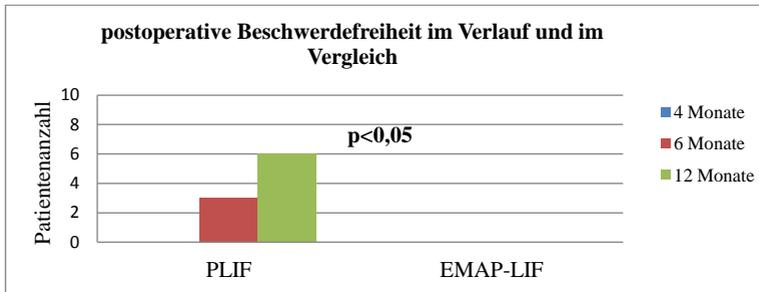


Abb.47 Vergleich des postoperativen klinischen Verlaufes zwischen den beiden Operationsgruppen nach 1 Jahr postoperativ

Im 1-Jahres Follow-up beschrieben die offen chirurgisch fusionierten Patienten einen signifikant ($p=0,01$) besseren Verlauf, indem 60% der Patienten dieser Gruppe beschwerdefrei wurden. Dahingegen war in der EMAP-LIF Gruppe kein Patient nach 1 Jahr asymptomatisch (Abb.47).

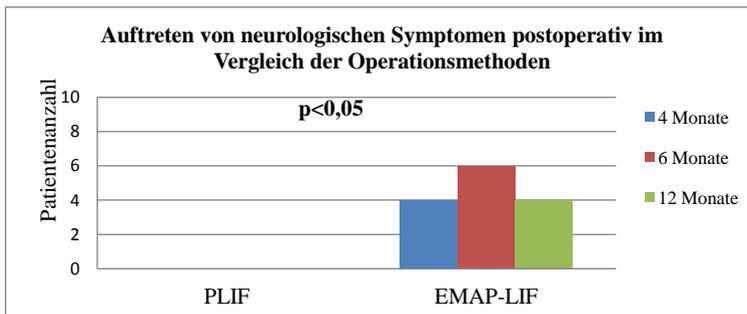


Abb.48 Darstellung des postoperativen Verlaufes der Beschwerdelinderung mit aufgetretenen neurologischen Symptomen im Vergleich

Die EMAP-LIF Patienten wiesen im Verlauf signifikant ($p<0,05$) mehr neurologische Defizite auf als die Patienten der PLIF-Gruppe (Abb.48).

3.5.2 Klinisches Outcome im ODI-Score und der VAS-Skala

Aus der tabellarischen (Tab.18+19) und graphischen Darstellung (Abb.49+50) des ODI-Scores im Verlauf der Untersuchung sind konforme Ausgangswerte bei beiden Operationsgruppen ersichtlich. Der Behinderungsgrad 4 ist in beiden Gruppen der Maximalwert. In der PLIF-Operationsgruppe wurde die geringste Reduzierung auf Grad 2 und die höchste Reduzierung auf Grad 0 erreicht. In der EMAP-LIF Operationsgruppe wurde die geringste Reduzierung auf Grad 3 und die höchste Reduzierung auf Grad 1 erreicht. Die Patienten in der PLIF Gruppe zeigten im postoperativen Verlauf eine geringere Standardabweichung als die minimal-invasiv operierten Patienten, so dass die postoperativen Medianwerte in der EMAP-LIF Gruppe mit 2,0 und 2,5 auch deutlich höher lagen als in der offen chirurgisch versorgten Patientengruppe.

Während nach 6 Monaten eine Senkung der ODI-Werte in beiden Operationsgruppen gesichert werden konnte, ist nach 1 Jahr postoperativ ein leichter Wiederanstieg der ODI Werte bei den minimal-invasiv operierten Patienten zu beobachten (Tab.18).

Tab.18 ODI und VAS Ergebnisse präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Pat. Nr.	ODI			VAS			
	präop	6 Monate	12 Monate	präop	6 Monate	12 Monate	
PLIF	1	2	1	1	4	1	1
	2	4	1	2	7	2	2
	3	4	1	1	7	1	2
	4	3	2	0	7	2	1
	5	3	1	1	8	3	1
	6	3	2	2	8	4	3
	7	3	0	0	6	1	1
	8	3	2	2	7	3	2
	9	3	1	1	6	2	2
	10	4	2	2	8	3	3

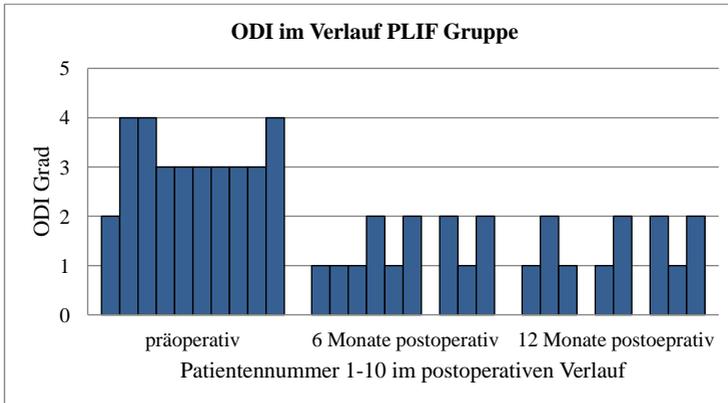


Abb.49 Klinischer Behinderungsgrad (ODI-Score) in der PLIF-Gruppe nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ

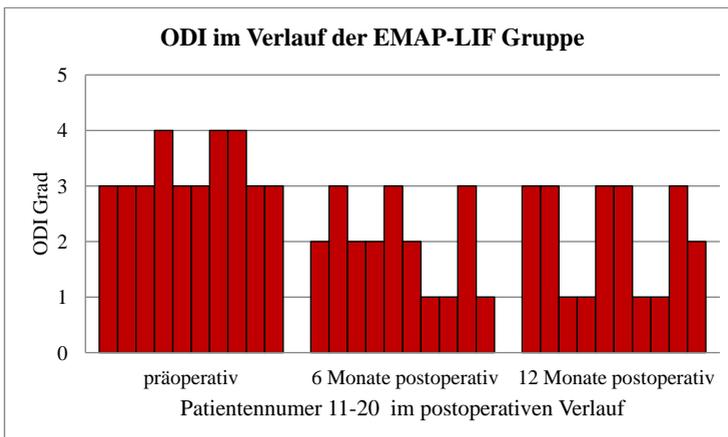


Abb.50 Klinischer Behinderungsgrad (ODI-Score) in der EMAP-LIF- Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ

Nach 6 Monaten postoperativ konnte kein signifikanter Unterschied bei $p=0,069$ der Mittelwerte des ODI Behinderungsgrades zwischen den Operationsmethoden festgestellt werden. Der präoperativ bestandene Mittelwert innerhalb der PLIF Patientengruppe konnte von 3,2 auf 1,3 reduziert werden. Die EMAP-LIF Operation erbrachte eine Minderung des Mittelwertes von 3,3 auf 2.

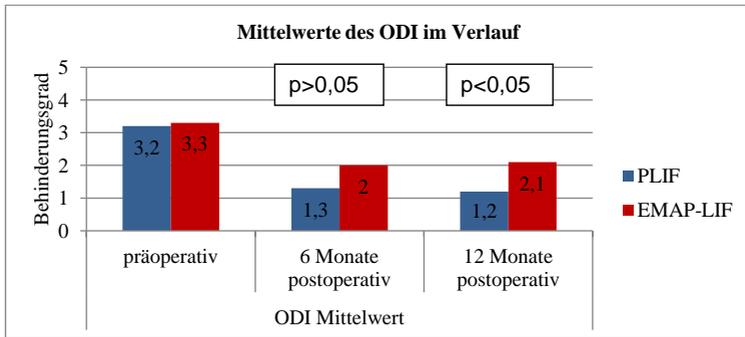


Abb.51 Vergleich der ODI Mittelwerte beider Operationstechniken präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ

Nach 1 Jahr konnte ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den beiden Gruppen ermittelt werden. Während der Behinderungsgrad durch die PLIF Operation weiter auf 1,2 abfiel, war ein Anstieg des ODI Mittelwertes auf 2,1 in der EMAP-LIF Patientengruppe zu beobachten (Abb.49-51).

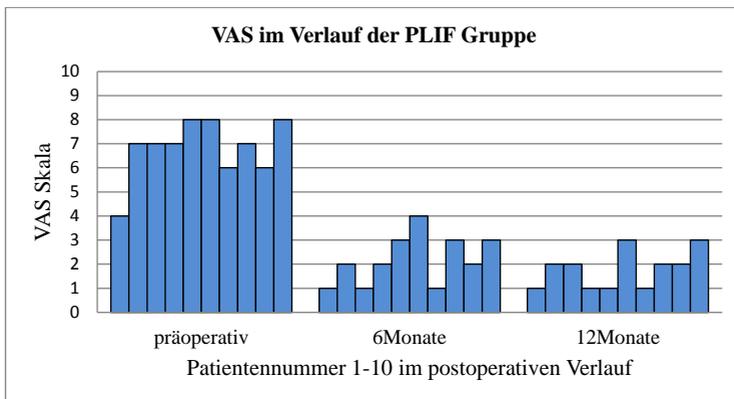


Abb.52 Darstellung der VAS Werte der PLIF Gruppe präoperativ, nach 6 und 12 Monate postoperativ

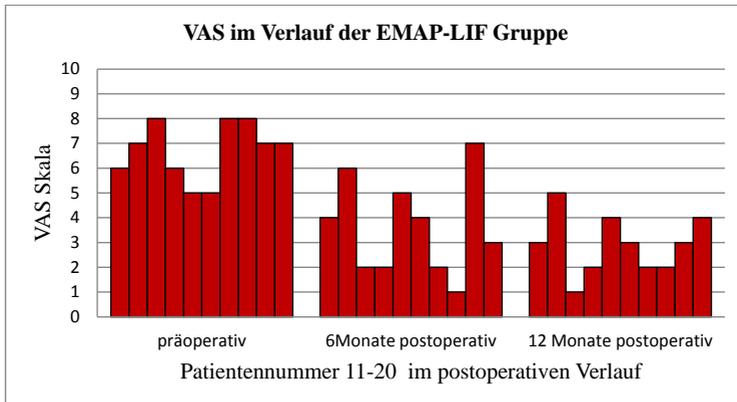


Abb.53 Darstellung des VAS Werte der EMAP-LIF Gruppe präoperativ, nach 6 und 12 Monate postoperativ

Aus den Abb. 52 und 53 und den Tab. 18 und 19 ist ersichtlich, dass bei beiden Operationsgruppen ein kongruenter präoperativer Ausgangswert von durchschnittlich 6,8 in der PLIF Gruppe und von 6,7 im EMAP-LIF Patientengruppe vorlag. Generell zeigten beide Gruppen eine Reduzierung der VAS-Werte im postoperativen Verlauf. Die minimal-invasiv operierten Patienten wiesen dabei eine höhere Standardabweichung bei jeweils größerer Varianz als die Patienten der PLIF Gruppe (Tab.19) auf. Mit der Technik der extraforaminal mikroskopisch assistierten perkutanen lumbalen Fusion konnte eine Reduzierung des präoperativen VAS Wertes von 6,7 auf 3,6 nach 6 Monaten und auf 2,9 nach 12 Monaten postoperativ erzielt werden. Durch die PLIF-Operation konnte eine Reduzierung von 6,8 präoperativ auf 2,2 nach 6 Monaten und auf 1,8 nach 12 Monaten erreicht werden.

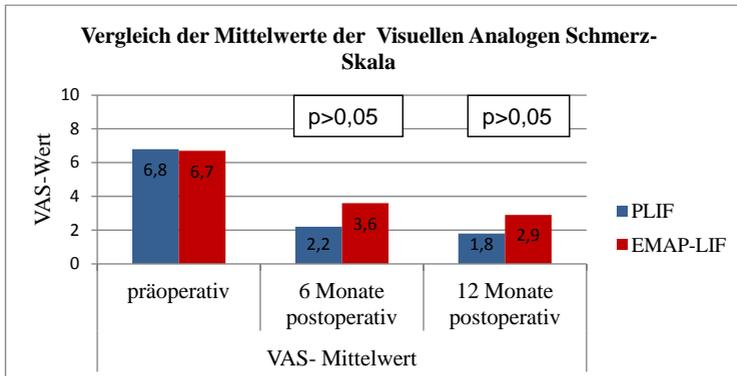


Abb.54 Vergleich der VAS Mittelwerte beider Operationstechniken präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ

Ein signifikanter Unterschied lag zwischen den beiden Operationsgruppen nicht vor (Abb.54).

3.6 Komplikationen

In Tabellen 20-22 sind alle ermittelten Komplikationen zusammengefasst. Bei 3 von 10 PLIF Patienten traten Komplikationen auf, während bei 8 von 10 EMAP-LIF Patienten Komplikationen erfasst wurden.

Tab.20 Intraoperative, Früh- und Spätkomplkationen in Abhängigkeit von der Operationsmethode

	Pat. Nr.	Intraoperative Komplikationen	Frühkomplkationen	Spätkomplkationen
PLIF	1	0	0	
	2	0	0	postop. R o MD
	3	0	0	
	4	0	0	
	5	0	0	
	6	0	0	
	7	0	0	

	8	0	0	
	9	intra NL	postop. SMD	
	10	0	WDH	
EMAP-LIF	11	intraop. PFL	0	
	12	0	0	
	13	0	0	postop. R o MD
	14	0	postop. R oSMD	postop. R o MD
	15	0	postop. R oSMD	
	16	0	postop. R oSMD	postop. R o SMD/Pers. LS
	17	0	postop. R oMD	postop. R o SMD
	18	0	0	postop. R o MD
	19	0	0	
	20	0	0	postop. R o MD

Legende: intra und postoperative Komplikationen

Läsion Spinalnerv = intraop. NL

Fehlposition von Pedikelschrauben = intraop. PFL

Wundheilungsstörung = WDH

postop. sensomotorisches Defizit = postop. SMD

postop. Radikulopathie ohne motorisches Defizit = postop. R o MD

postop. Radikulopathie ohne sensomotorisches Defizit = postop. R o SMD

persistierende lumbale Schmerzen = pers. LS

3.6.1 Intraoperative Komplikationen

Tab.21 Intraoperative Komplikationen beider Operationsverfahren

Intraoperative Komplikationen	EMAP-LIF (N=10)	PLIF (N=10)
Blutung durch Verletzung von Gefäßen	0	0
Verletzung Dura	0	0
Verletzung Spinalnerv	0	0
Druck/Traktionsschädigung Spinalnerv	0	1
Fraktur	0	0
Cauda-Equina Verletzung	0	0
Schraubenfehlage	1	0

Bei einem Patienten, der minimal-invasiv operiert wurde, kam es zu einer Schraubenfehlage mit Positionierung lateral extrapedikulär. Die Fehllage wurde erst zur postoperativen CT - Kontrolle bemerkt. Da es aber nach der Operation zu keiner Wurzelirritation gekommen war, erfolgte keine Revision. Bei den 10 minimal-invasiven operativen Eingriffen kam es zu keiner makroskopisch sichtbaren Läsion des Spinalnervens, Verletzung der Dura oder intraoperativen Verletzung von größeren Gefäßen mit anhaltender Blutung. Cauda equina Verletzungen oder Wirbelkörperfrakturen traten bei dieser Operationsmethode nicht auf. Die intraoperative Komplikationsrate lag bei 10% (Tab.20+21).

Während einer PLIF Operation kam es bei Patient Nummer 9 zu einer Wurzelirritation mit postoperativer Parese des Fußhebers mit Muskelkraftwert 2 nach Janda. Diese Situation verbesserte sich noch während des postoperativen stationären Aufenthaltes auf den Kraftwert M5 (Maximalwert). Somit war auch hier eine Revisionsoperation nicht notwendig. Die intraoperative Komplikationsrate betrug auch in dieser Gruppe 10% (Tab.21).

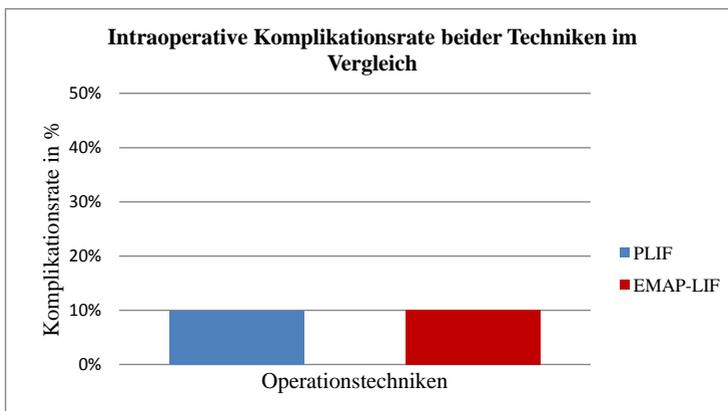


Abb.55 Vergleich der intraoperativen Komplikationsraten in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Es lassen sich tendenziell keine Unterschiede zwischen den Operationsgruppen hinsichtlich der intraoperativen Komplikationsrate feststellen (Abb.55).

3.6.2 Postoperative Frühkomplikationen

Aus Tab. 20 und 22 sind als aufgetretene Frühkomplikationen eine Wundheilungsstörung und postoperative radikuläre Läsionen zu entnehmen.

Bei einem Patienten, welcher mit der PLIF Technik versorgt wurde, konnte eine verzögerte Wundheilung festgestellt werden, welche aber nicht revisionspflichtig war. Andere postoperative Frühkomplikationen sind nicht aufgetreten.

Insgesamt kam es bei 5 Patienten zu postoperativen radikulären Schmerzen wobei 4 Patienten minimal-invasiv versorgt wurden. Davon zeigten 3 Patienten ausschließlich eine Schmerzsymptomatik ohne motorische oder sensible Ausfälle nur 1 Patient wies neben den radikulären Schmerzen auch ein sensibles Defizit im Sinne einer Hyposensibilität auf. Patient Nummer 9 aus der PLIF Gruppe mit der beschriebenen Parese wurde hier nicht aufgelistet. Alle Patienten mit diesen Frühkomplikationen wurden nicht operativ revidiert (Tab.21).

Tab.22 Postoperative Frühkomplikationen in Abhängigkeit von der Operationsmethode

Mögliche postoperative Frühkomplikationen	EMAP-LIF	PLIF
Wundheilungsstörung	0	1
Spondylitis	0	0
Thrombose/Lungenembolie	0	0
Transfusionspflicht von Erythrozytenkonzentraten	0	0
Auftreten von radikulären Schmerzen ohne sensomotorische Ausfälle	3	0
Auftreten von radikulären Schmerzen mit sensiblen Defizit	1	0

3.6.3 Spät komplikationen

Tab.23 Postoperative Spät komplikationen in Abhängigkeit der Operationsmethode

Mögliche postoperative Spät komplikationen	EMAP-LIF	PLIF
Schraubendislokation	0	0
Cagedislokation	0	0
Spondylitis	0	0
Pseudarthrose	0	0
Radikulopathie ohne motorisches Defizit	6	0

Als Spät komplikationen traten radikuläre Symptome ausschließlich in der EMAP-LIF Gruppe auf. Dislokation der Implantate, Schrauben- oder Stabbruch wurden nicht festgestellt. Auch Spätinfektionen im Sinne einer Spondylitis waren in beiden Gruppen nicht zu verzeichnen (Tab.23).

4. Diskussion

Hauptziel einer Spondylodese ist, durch die Fusion eine Schmerzlinderung oder sogar eine Schmerzfreiheit zu erreichen. Manchmal ist dazu eine Formkorrektur, wie bei der degenerativen Skoliose, oder auch eine Reposition, wie bei der Olisthese, erforderlich.

In der Literatur sind immer wieder neue Operationswege beschrieben und aufgezeichnet wurden. [2,20,24,40,50]. Kennzeichnend ist dabei der Weg von den offenen Methoden hin zu minimal-invasiven Techniken. Doch was bedeutet „minimal-invasiv“? Röllinghoff et al. [54] bezeichneten als minimal-invasiv eine Operationstechnik, durch die das Operationstrauma durch die Wahl eines möglichst kleinen Zugangsweges minimiert wird. Immer wieder werden Schäden beschrieben, die nur durch den operativen Zugangsweg zustande kommen, durch Zdeblick [66] auch als „Fusions Disease“ bezeichnet. Schon 1997 wurden durch Weber [63,54] postoperative schmerzhafte Fibrosen in der lumbalen autochtonen Muskulatur dargestellt, die durch das Ablösen der Muskulatur von den Dornfortsätzen bis auf die Querfortsätze und durch den Druck von Haltehaken und Retraktoren ischämisch wurden. Ein direkter Nachweis dieser Aussage erfolgte durch die Messung des Kreatinphosphokinase MM Isoenzym (CK-MM) als Indikator der Muskelschädigung durch Kawagucchi [37]. Kim et al. [39] stellten in der postoperativen MRT-Bildgebung eine geringere Muskelatrophie der autochtonen Muskulatur fest, wenn die Patienten mit perkutan gesetzten Pedikelschrauben versorgt wurden.

Scheufler [56] sieht das Potential der minimal-invasiven Chirurgie in der Beseitigung eben diese Schwäche des dorsalen Eingriffes, um damit bessere Ergebnisse zu erzielen. Dazu ist es aber unerlässlich, auch eine vergleichbare Fusion zu erzielen.

Ziel dieser Arbeit war es neben der Beschreibung einer neuen minimal-invasiven lumbalen Fusionstechnik auch deren Qualität in einer prospektiv randomisierten Untersuchung zu überprüfen.

Die Anwendung der EMAP-LIF Technik war von L1-L5 möglich. Der extraforaminale Zugang zum Segment L5/S1 konnte bisher noch nicht sicher reproduzierbar angewendet werden. Grund sind die räumlichen Grenzen durch die Beckenkämme, die den extrem lateralen Zugang der Arbeitskanäle zur

Wirbelsäule beschränken. Die Segmenthäufung von L4/5 mit 75% (80% in der EMAP-Gruppe und 70% in der PLIF Gruppe) geht konform mit den operierten Segmenthöhen in anderen Studien [31,42,44] und ist auf die besonderen biomechanischen Belastbarkeit des Segmentes zurückzuführen und korreliert mit der Prozentzahl von degenerativen Pathologien in diesem Bereich.

Auf Grund des extraforaminalen Zugangs wurden die Indikationen zur EMAP-LIF Technik deutlich minimiert gegenüber den Indikationen des herkömmlichen offenen PLIF Verfahrens. Durch das laterale Herangehen an den Recessus lateralis und dessen Foraminotomie mit Dekompression der Nervenwurzel konnte eine laterale Stenose im Spinalkanal behoben werden [24]. Daher waren degenerative zentrale Spinalkanalstenosen keine Indikation für einen EMAP-LIF. Diese Technik stand als Alternative für eine notwendige Fusion bei Krankheitsbildern wie segmentale Instabilität ohne zentrale Stenose mit Facettengelenksschmerzen zur Verfügung. Eine weitere Limitierung der Indikation entstand durch die Anwendung der perkutanen Schrauben. Degenerative Lumbalskoliosen, höhergradige Spondylolisthesen über Meyerding Grad II waren nicht ausreichend versorgt hinsichtlich der Korrektur und Reposition. Außerdem limitiert eine Deformierung der Anatomie des Neuroforamens und des Recessus lateralis, den Zugang für die Arbeitskanäle und damit die EMAP-LIF Technik. Aus diesen Gründen erfolgte die Beschränkung der Indikation auf die Diagnosen monosegmentaler degenerativer Olisthesen Grad I-II nach Meyerding mit/ ohne Radikulopathie und monosegmentaler lumbaler Osteochondrosen mit/ohne Radikulopathie.

Unter Radikulopathie versteht man sensible und/oder motorische Störungen. Die reinen radikulären Schmerzen oder die eingeschränkte Gehstrecke infolge radikulärer Schmerzen (Claudicatio intermittens radicularis) sind ebenfalls Symptome der Radikulopathie.

Die Ergebnisse zeigten, dass im EMAP-LIF-Patientenkollektiv 10 Patienten Symptome einer Radikulopathie aufwiesen. Weitere 5 Patienten mit Radikulopathie wurden durch das PLIF Verfahren operiert. 8 EMAP-LIF Patienten zeigten auch eine monosegmentale Olisthese Grad I nach Meyerding. Diese Gruppe stellt die Hauptgruppe der operierten Patienten dar.

Ein vergleichbares Verfahren stellt der TLIF als offene und minimal-invasive Technik, aufgrund der Resektion der Wirbelgelenke und der damit verbundenen Dekompression des Recessus lateralis dar. In der Literatur wurden als häufigste Diagnosen für die Indikation zum (minimal-invasiven) TLIF der degenerative Bandscheibenschaden (bei Olisthese und Osteochondrose) mit Herniation und daraus resultierender Stenose gestellt. [20,26,57]. Diese Diagnosen fanden sich bei 16 von 20 Patienten innerhalb der Untersuchungsgruppe. Da die zentrale Stenose als Ausschlusskriterium galt, war es nicht verwunderlich, dass ein hoher Prozentanteil, nämlich 80%, eine Radikulopathie zeigten.

Neue Verfahren werden und sollten an ihrer Praktikabilität und den Ergebnissen gemessen werden. Kriterien der Praktikabilität sind dabei die Operationsdauer, der Blutverlust, die Röntgenbelastung, das Auftreten von Komplikationen und die postoperative Krankenhausverweildauer.

Operationszeit

Hee et al. [27] veröffentlichten einen retrospektiven Vergleich zwischen den offenen ALIF/PLIF versus TLIF Verfahren. Darin beschrieben sie eine durchschnittliche Operationszeit für den A/PLIF (N=53) von 280 min (150-450 min) und beim TLIF (N= 111) von 172 min (73-340 min). In der A/PLIF Gruppe wurden im Rahmen dieser Untersuchung 18 Patienten monosegmental, 28 Patienten bisegmental und 7 Patienten über 3 Segmente fusioniert. In der TLIF Gruppe waren 50 Patienten monosegmental, 48 Patienten bisegmental, 8 Patienten über 3 Segmente und 5 Patienten über 4 Segmente fusioniert. Diese hohe Anzahl der Segmente erklärt auch die große Streubreite der Operationszeit.

In den Untersuchungen von Humphrey et al. [29] wurden bei den Angaben der Operationszeiten zwischen der Anzahl der fusionierten Levels unterschieden. Dabei wurde eine durchschnittliche Operationszeit von 144,4 min (107-214 min) beim monosegmentalen TLIF Verfahren und beim monosegmentalen PLIF durchschnittlich 159 min (100-380 min) festgestellt.

Beim Literaturvergleich der Operationszeiten der offen chirurgischen Techniken untereinander wird deutlich, dass der in der vorliegenden Untersuchung erhobene Mittelwert im PLIF Verfahren mit 139,50 min nicht von anderen Ergebnissen abweicht. Jedoch wurde in der Literatur nicht immer differenziert, ob eine One-level Fusion oder eine mehrsegmentale Fusion stattfand.

Bei den minimal-invasiven Fusionstechniken wie dem AxiaLIF wird als Durchschnittswert für die OP-Zeit durch Aryan et al. [4] 42 Minuten angegeben. Zu berücksichtigen ist bei diesem niedrigen Wert, dass dieser die reine Operationszeit für die Fusion angibt und eine transpedikuläre Stabilisierung nicht mit erfasst. Mayer [50] benötigte dagegen für die MiniALIF retroperitoneal 111 Minuten und transperitoneal 134 Minuten im Durchschnitt. Retroperitoneal erfolgte keine genauere Ausarbeitung zwischen mono- und mehrsegmentaler Fusion. Hingegen wurde beim transperitoneal operierten Patientenkollektiv nur die Höhe L5/S1 versorgt. Lee et al. [44] kamen im Durchschnitt auf eine Operationszeit von 210 min für den MiniALIF in Kombination mit perkutan gesetzter Instrumentation.

Schwender et al. [57] benötigten für den minimalinvasiven TLIF, monosegmental durchgeführt, im Durchschnitt 240 min (110-310min). Foley et al. [20] beschrieben bei den ersten Ergebnissen des minimalinvasiven TLIF einen Mittelwert der OP-Zeit von 290 min. Bei diesen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass nicht immer Cages eingebaut wurden und das autologe Knochenmaterial teils mit BMP vermischt nicht immer durch einen zusätzlichen Situs im Bereich des Beckenkammes exploriert wurde.

Vergleicht man nun die Angaben der Operationszeiten der minimal-invasiven Techniken untereinander, sieht man auch hier ein sehr breites Spektrum. Das ist sicher in den verschiedenen Techniken begründet, aber auch den sehr unterschiedlichen Studien [20,30,50,57]. Nicht immer erfolgte eine Auflistung der Operationszeiten nach Anzahl der fusionierten Segmente. Mitunter wurde die Operationszeit ohne die perkutane Schraubensetzung angegeben. Auch hier ordnen sich die Ergebnisse der minimal-invasiven EMAP-LIF Technik mit 177,50 min ein.

Insgesamt sind Angaben über eine generelle längere Operationszeit bei den minimal-invasiven Techniken, in der Literatur zu finden, was durch die vorliegende Untersuchung zusätzlich bestätigt wurde.

Gründe für die längeren Operationszeiten bei der EMAP-LIF Technik sind einerseits der höhere technische Aufwand mit Operationsmikroskop und 2 C-Bögen im Vergleich zu den offenen Verfahren.

Andererseits bedingt die minimal-invasive Operationstechnik durch 2 dorsale minimal-invasive Eingriffe und den perkutan gesetzten Schrauben an sich schon

eine längere Operationszeit als die PLIF Technik, bei der über einen Zugang alle Arbeitsschritte absolviert werden können.

Intraoperative Blutverlust

Der in dieser Untersuchung erfasste intraoperative durchschnittliche Blutverlust war in der EMAP-LIF Gruppe bei 365 ml und in der PLIF Gruppe bei 385 ml. Die Maximalwerte betragen dabei 700 ml (EMAP) und 800 ml (PLIF). Es besteht somit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Schwender et al. [57] berichteten von einem durchschnittlichen Blutverlust von 140 ml beim minimal-invasiven TLIF Verfahren. Foley et al. [20] verzeichneten mit der gleichen Technik einen durchschnittlichen Blutverlust von 190 ml. Im retroperitoneal durchgeführten MiniALIF konnte Mayer [50] einen Blutverlust von durchschnittlich 146,6 ml gegenüber dem beim transperitonealen MiniALIF ermittelten 340 ml Wert feststellen. Aryan et al. [4] beschreiben sogar einen Maximalwert von 30 ml Blutverlust während der Axia-LIF (n=35). Aufgrund der noch begrenzten Studienlage und der sehr unterschiedlichen Zugänge im Bereich der minimalinvasiven Fusionstechniken sehen wir hier eine hohe Varianz der Ergebnisse. Eine Erklärung für unseren hohen Wert könnte sein, dass es sich um eine Summe des Blutverlustes aus Fusion, Beckenkammspanentnahme und perkutane Schraubensetzung handelt. Die 365 ml Blutverlust sind mit den Angaben des MiniALIF transperitoneal vergleichbar. Weitere Gründe für die hohe Varianz sind die intraindividuellen Unterschiede in der Anatomie der Patienten und der Lernkurve durch den Operateur (N=10 im EMAP Verfahren). Khoo et al. [38] beschrieben einen mittleren Blutverlust von ca. 185 ml beim minimal-invasiven PLIF. Villavicencio et al. [61] hatten in einer retrospektiven Untersuchung die Angaben zum Blutverlust bei unterschiedlichen Operationstechniken aufgearbeitet. Dabei wurde ein durchschnittlicher Blutverlust von 170 ml (25-400ml) im One-Level MiniTLIF festgestellt, demgegenüber standen durchschnittliche 356 ml (100-1000ml) im One-Level Open TLIF und durchschnittliche 535 ml (400-900 ml) in der One-Level offenen Anterior/Posterioren Fusion. In dieser Arbeit war der geringere Blutverlust im minimal-invasiven Verfahren gegenüber den herkömmlichen offenen Techniken deutlich ersichtlich. Auch der durchschnittliche Blutverlust der EMAP-Fusion in

der vorliegenden Untersuchung ist mit 365 ml niedriger als die Werte des offenen chirurgischen TLIF und der anterior/posterioren Fusion.

Intraoperative Röntgenzeit

Ein Vergleich der ermittelten intraoperativen Röntgenzeit mit Literaturangaben ist so gut wie nicht möglich. Eine ausreichende Datenlage liegt zu diesem Zeitpunkt nicht vor. Foley et al. und Schwender et al. [20,57] beschrieben eine durchschnittliche Röntgenzeit von 121 ms für die minimal invasive posteriore lumbale transforaminale interkorporelle Fusion (METRX-System). Die intraoperative Röntgenzeit in der EMAP-LIF Gruppe lag mit einem Mittelwert von 68 ms deutlich darunter.

Beim direkten Vergleich innerhalb unserer Nachuntersuchung fiel auf, dass ein erheblich geringerer Zeitaufwand zum Röntgen in der PLIF Gruppe benötigt wurde. Ein übersichtlicher Einblick auf den Operationssitus und das offene Setzen der Schrauben begründen diese Ergebnisse.

Postoperative Krankenhausverweildauer

Der durchschnittliche postoperative stationäre Aufenthalt lag beim offenen PLIF Verfahren bei 12,2 Tagen. Hee et al. [27] ermittelten Werte von 9 Tagen (4-45d) bei der anterioren/posterioren Fusion und 5,2 Tage (3-21d) innerhalb der transforaminalen lumbalen Fusion.

Jetten [33] berichtet in einer retrospektiven Studie über klinische Ergebnisse des TLIF-Verfahrens mit einer durchschnittlichen Krankenhausverweildauer von 15, 2 Tagen. Die in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Zeiten der postoperativen Verweildauer von 9,2 Tagen beim minimal-invasiv operierten Patienten und 12,2 Tage bei Patienten, die posterolumbal intersomatisch fusioniert wurden, liegen ebenso in diesem Bereich. In der Literatur findet man über den AxiaLIF als minimalinvasives Verfahren einen durchschnittlichen Wert von 2,2 Tagen. Foley et al. [20] beschrieben 1,7 Tage und Schwender et al. [57] 1,9 Tage als postoperative stationäre Verweildauer. Villavicencio [61] ermittelte für den

minimal-invasiven TLIF (monosegmental) eine Verweildauer von 2,8 Tagen. Im Vergleich dazu stehen in seiner Studie der monosegmentale offene TLIF mit 3,6 Tagen und die anterior/posteriore lumbale Fusion (monosegmental) mit 7,2 Tagen. Diese extremen Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit einer solchen Bandbreite von postoperativen Krankenhaustagen ist sicher nicht nur auf die Operationstechnik zurückzuführen, sondern auch den unterschiedlichen Gesundheits- und Sozialsystemen geschuldet.

Diskussion der radiologischen Ergebnisse

Fraglich war, ob der minimalisierte Eingriff auch den erforderlichen Überblick und den notwendigen Raum schaffen kann, um das Bandscheibenfach vollständig auszuräumen und Knochenmaterial und Platzhalter einzubringen. Bisher veröffentlichte Studien über minimal invasive Fusionstechniken zeigen eine vergleichbare Fusionsrate wie die herkömmlichen Operationstechniken [4,20,57]. Dabei ist mittlerweile jede offene Fusionstechnik bereits „minimalisiert“. Der ALIF wird sogar endoskopisch, offen minimal-chirurgisch oder als präsakral minimal-invasiv durchgeführt. Mayer et al. [50] beschrieben eine minimal-invasive Fusion in Form einer mikrochirurgischen anterioren lumbalen interkorporellen Fusion durch einen lateralen Zugang zu den Höhen L2-L5. Nach retroperitonealer Präparation kann der Zugang unter mikroskopischer Sicht auf die ventrale Wirbelsäule geschaffen werden. Die Grenze stellt die mono- maximal bisegmentale Versorgung sowie die Unkorrigierbarkeit einer möglichen Skoliose oder Deformität dar.

Die typischen Risiken infolge des anterioren Zugangs bleiben aber erhalten. In seiner Arbeit verglichen Mayer et al. [50] den retroperitonealen (n=20) mit dem transperitonealen mikrochirurgischen anterioren lumbalen (n=5) Zugang. Die Fusion wurde jeweils zu 100% erreicht. Der Nachuntersuchungszeitraum erstreckte sich über ein Jahr. Die Fusion wurde durch Röntgen und CT gesichert. Der Axia-LIF als präsakrale minimal-invasive Technik wurde 2006 durch Marotta et al. [49] beschrieben und 2004 bereits durch Cragg [14]. Eine Fusion durch diese Technik ist nur in den Segmenten L4/5 und L5/S1 möglich [55]. Eine Beurteilung über die Fusionsraten konnte zu diesem Zeitpunkt noch nicht gegeben

werden, da zunächst nur Einzelfälle beschrieben wurden. Durch Aryan et al. [4] wurden eine retrospektive Arbeit über 35 Fälle der Axia-LIF Operation veröffentlicht. Die Fusionsrate bei Axia-LIF mit Pedikelschrauben (n=21) konnte mit 100% und ohne Pedikelschrauben immerhin mit 80% angegeben werden.

Die PLIF und TLIF Technik wurde minimalisiert durch die Anwendung von perkutanen Schraubensystemen in Kombination mit Minireraktoren wie der Quadrant Retraktor oder Tubes (Durchmesser bis zu 26 mm) als Zugangssystem zum Spinalkanal der Firma Medtronic. Foley et al. [20] konnten bereits 2003 erste Ergebnisse beider Techniken in „minimalisierter“ Variante beschreiben. Die minimal-invasive Form der PLIF (n=15) und TLIF (n=12) zeigten jeweils eine 100%ige Fusion. Bei beiden Techniken wurden nicht immer Platzhalter zur interkorporellen Fusion angewandt, sondern teilweise alleiniges mit BMP angereichertes Knochengewebe. Schwender et al. [57] veröffentlichten die Fortsetzung und erste Langzeitergebnisse von 49 Patienten bei Anwendung beider Techniken mit weiterhin gleichbleibender Fusionsrate von 100%. Die aufgeführten Arbeiten sind retrospektiv und nicht randomisiert, direkt vergleichend mit einer offenen Technik.

Um eine knöcherne Fusion radiologisch zu beurteilen, verwendeten wir die in der Literatur gängigen Kriterien, wie den Nachweis der durchgängigen knöchernen Brücke und die Beweglichkeit des versteiften Segmentes, gemessen in den Funktionsaufnahmen. Brantigan und Steffee [9] beurteilten die Fusion allein durch den Nachweis, ob ein knöcherne Brücke zwischen beiden Wirbelkörpern vorhanden ist und teilten die Fusion als vorhanden und nicht vorhanden ein. Diese Einteilung vernachlässigt jedoch den dynamischen Prozess einer Fusion. Hiermit korreliert, dass häufig radiologische Befunde nicht eindeutig in die beiden Gruppen fusioniert und nicht fusioniert eingeteilt werden können. Im Zuge der technischen Weiterentwicklung der radiologischen Diagnostik konnte durch die CT-Bildgebung ein zusätzliches Mittel zur Beurteilung einer knöchernen Durchbauung herangezogen werden. Für die weitere Beurteilung der knöchernen Fusion erwies sich, die Erhebung des Grund- und Deckplatten Winkels als nützlich.

Die Arbeitsgruppe um Görler [23] berücksichtigte für die Bewertung der Fusion die computertomographisch beurteilbare knöcherne Spange zwischen den Wirbelkörpern und innerhalb des Platzhalters. Es wurde zusätzlich die Differenz

des GDW in Flexion und Extension mit einbezogen, die eine eventuelle Beweglichkeit des Segmentes abbilden würde. Dabei diente die Differenz von 0-3° als Kriterium für eine gelungene Fusion. Diese Bewertung der knöchernen intersegmentalen Fusion berücksichtigt den dynamischen Prozess einer Fusion am ehesten und wurde zur Beurteilung der Fusion in der gegenwärtigen Untersuchung übernommen.

So konnten nach einem Jahr postoperativ eine Fusionsrate von 90% Grad I durch die PLIF Technik erzielt werden und 80% Grad I durch die EMAP-LIF Technik.

Bereits nach 4 Monaten waren in der offen chirurgischen Technik 30 % knöchern voll fusioniert und 70 % zeigten eine inkomplette Fusion. In der minimal-invasiven Operationsgruppe waren 8 von 9 Patienten inkomplett fusioniert, und 1 Patient war knöchern durchbaut.

Da es speziell zu der Fragestellung, ob die minimal-invasive Operationstechnik eine vergleichbare Fusion wie die herkömmlichen offenen Techniken erzielt, noch wenig veröffentlichte Studien gibt, werden die Fusionsraten der verschiedenen Operationstechniken aus der Fachliteratur einzeln aufgeführt.

Kyung et al. [42] veröffentlichten eine retrospektive Studie mit einem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren bei 251 per PLIF fusionierten Segmenten. Es konnte eine Fusionsrate von 84,9% nachgewiesen werden. Als Kriterien der Fusion wurden die von Brantigan und Steffee [9] inaugurierten Parameter benutzt, d.h. das Knochenmaterial innerhalb des Segmentes stellte sich im Röntgen und im Verlauf dichter und mineralisierter dar als die ersten postoperativen Röntgenbilder. Es fand sich kein Lockerungssaum um die Platzhalter und es konnte eine vollständige knöcherne Brücke zwischen den Segmenten nachgewiesen werden. War eines dieser Kriterien nicht erfüllt, so wurde der Patient als nicht fusioniert bewertet. Zur Ergänzung dieser Klassifikation erfolgte die Beurteilung im CT, womit die knöcherne Brücke auch auf ihre Qualität hin beurteilt werden konnte- mit dem Zusatz komplett oder inkomplett. Bei den nicht fusionierten 15,1% (38 Segmente) wurden in 20 (52,6%) Fällen sogenannte Traction spurs nachgewiesen und als Zeichen für eine fortbestehende Instabilität gewertet. Yadav [65] beschrieb diesen Zusammenhang erstmals 1973, und erklärte den erhöhten Stabilitätsbedarf des Segmentes mit der Entstehung von Knochensporen als knöcherne Reaktion des Körpers. Diese Traction spurs

wurden bei keinem als fusioniert beurteilten Fall nachgewiesen. In der Arbeit von Chitnavis et al. [12] von 2001 wurden die Kriterien von Brantigan und Steffee [9] in Fusionsgrade von 1-5 eingeteilt, demnach wurden bei 95% von 50 Patienten nach 2 Jahren eine vollständige Fusion Grad 5 erreicht. Diese Studie befasste sich ausschließlich mit Reoperationen, Pedikelschrauben wurden nicht immer verwendet. Cloward [13] beschrieb 1984 eine 94% Fusionsrate bei 165 PLIF operierten Patienten mit Spondylolisthese.

Die Arbeit von Lee et al. [44] verglich neben dem klinischen Outcome auch die Fusionsrate nach einer anterioren lumbalen Fusion mit perkutaner Schraubenfixation und offener Schraubenfixation untereinander. Für eine knöcherne Fusion musste dabei eine kontinuierliche ossäre Brücke zwischen beiden Segmenten sein und es durfte keine Bewegung in der Funktionsaufnahme nachgewiesen werden. Von 44 Patienten mit perkutaner Schraubenfixation und ALIF zeigten 95,8% eine knöcherne Fusion, innerhalb der Gruppe mit offener Schraubenfixation konnte eine signifikant höhere Fusionsrate von 97,5% festgestellt werden.

Mofidi et al. [52] beschrieben eine 98% ige Fusionsrate nach PLIF verbunden mit einer 85%gen Zufriedenheitsrate. Brantigan [9] berichtete über eine 100% -ige Fusionsrate beim PLIF mit Verwendung von Carbon Fibre Cages. Diese hohen Fusionsraten entsprechen auch unseren Erfahrungen, mit einer 90% Fusionsrate Grad I in der PLIF Gruppe. Dagegen konnte nur eine 80% Fusionsrate Grad I durch die EMAP Operation erzielt werden. Mayer et al. [50] verzeichnete eine 100%-ige Fusion durch den MiniALIF (retroperitoneal wie transperitoneal). Lee et al. [44] beschrieben für den MiniALIF eine 97,3%-ige Fusionsrate. Aryan [4] konnte eine 100%-ige Fusion bei seinen AxiaLIF Patienten feststellen. Vergleichbar mit der EMAP-LIF Technik ist die minimal-invasive TLIF Technik, hier beschrieben Schwender et al. [57] eine 100%-ige Fusionsrate, bei 45 mittels minimalinvasiver TLIF operierten Patienten. Zur Beurteilung der Fusion verwendete er ähnliche Kriterien, wie das Vorhandensein einer knöchernen Brücke, intakte Instrumentation und einem GDW von unter 3° in den Funktionsaufnahmen. Außer in der Studie von Schwender [57] wurden sonst im Bereich der minimal-invasiven lumbalen Fusionschirurgie bisher wenige Studien veröffentlicht, welche die Fusion durch diese Technik untersuchen und bestätigen. Die wenigen veröffentlichten Zahlen zeigten jedoch ähnliche Werte. Die EMAP-

LIF Technik steht mit einer 80% Fusionsrate (geringe Teilnehmerzahl n=10) eher etwas unter den bisher veröffentlichten Zahlen. Der Hauptgrund liegt wohl in den räumlich begrenzten Möglichkeiten für das Anrauen der Grund- und Deckplatten, dem Desklerosieren. Denn damit ist eine gut durchblutete Ausgangsfläche für eine knöcherne Fusion verbunden. Außerdem besteht nur wenig Raum über den Zugangsweg, dem Foramen intervertebrale, so dass das Einbringen von autologen Knochenmaterial und mit Spongiosa gefüllten Cages erschwert und begrenzt ist. Die Erwartung, dass durch den Erhalt der stabilisierenden Strukturen, wie das dorsale und anteriore Längsband, den Facettengelenken und der autochtonen Muskulatur, eine schnellere Fusion erreicht wird, konnte nicht belegt werden.

Postoperatives Klinisches Outcome

Zur besseren Beurteilung der klinischen Ergebnisse werden seit Jahren standardisierte Fragebögen wie der ODI verwendet. Sie beziehen sich auf den Grad der Behinderung und der funktionellen Einschränkung auf Grund von Rückenschmerzen. Wir verwendeten zur besseren Beurteilung der Schmerzen zusätzlich die Visuelle Analoge Schmerz-Skala. In beiden Operationsgruppen bestand eine eindeutige Reduktion der präoperativen Ausgangswerte. Entgegen der Annahme, dass ein minimal-invasives Verfahren einen steileren Rückgang des ODI-Wertes und der VAS-Skala nach sich zieht, war zu beobachten, dass die Patienten mit der herkömmlichen PLIF Operation eine markantere Verminderung des ODI Wertes und der VAS Skala zeigten. Mit einem ähnlichen Ausgangsmittelwert bei beiden Operationsgruppen konnte durch die minimal-invasive Operation eine deutliche Senkung nach 6 Monaten erzielt werden. Im weiteren Verlauf kam es jedoch zu einem geringen Anstieg in der 1 Jahres-Kontrolle. Dahingegen reduzierte sich der ODI Grad kontinuierlich im postoperativen Verlauf der PLIF Gruppe. Hier spiegelt sich auch das Ergebnis der subjektiven Beschreibung durch die Patienten des postoperativen klinischen Ergebnisses wieder. Bestätigt wurden diese Werte in beiden Operationsgruppen durch die erhobenen Mittelwerte der VAS-Skala im postoperativen Verlauf nach 1 Jahr, wobei die Reduktion innerhalb der PLIF Gruppe deutlicher ausfiel als in der

EMAP-LIF Gruppe. Das korreliert mit der von allen Patienten beschriebenen Beschwerdelinderung, und bestätigt andererseits dass kein Patient aus der EMAP-LIF Gruppe vollständig asymptomatisch war.

In der Literatur fanden sich viele Angaben über kürzere Krankenhausverweildauer, weniger Blutverlust und gute Schmerzreduktion als Zeichen für ein gutes klinisches Outcome. Direkte Vergleiche zwischen einem minimal-invasiven und einer herkömmlichen offenen lumbalen Fusionstechnik, die der Fragestellung eines möglich besseren Outcome zu Gunsten der minimal-invasiven Technik nachgehen (bestätigt durch einen Fragebogen), waren bisher nicht dokumentiert. Schwender et al. [57] beschrieben für den minimal-invasiven TLIF ein ODI und VAS Follow-up innerhalb von einem Jahr mit Werten von präoperativ ODI = 46% (Grad 3) zu 18% (Grad 1) postoperativ. Der VAS-Wert senkte sich von 7,2 auf 2,2 innerhalb eines Jahres. Diese Werte sind in etwa vergleichbar mit Werten aus der EMAP-LIF operierten Patientengruppe. Somit müssen diese Ergebnisse und die von Schwender et al. [57] mit bisher veröffentlichten Werten von offen operierten Patienten verglichen werden. Dabei ist festzustellen, dass die ermittelte Reduktion des ODI-Wertes aus dem PLIF-Patientengut von 3,2 zu 1,2 ein sehr gutes Ergebnis darstellt. Ein Beispiel sind die Studien von Freeman et al. [22] und Buttermann [11]. Sie berichteten über eine Reduktion des ODI Wertes von 63% (Grad 4) präoperativ auf 33% (Grad 2) postoperativ bei 35 Patienten, die mit ALIF und PLIF operiert wurden. Jetten [33] dokumentierte in ihrer Arbeit eine minimale Verbesserung des ODI, durch eine TLIF erreicht (N=15), mit einer Senkung von 50% (Grad 4) präoperativ zu 35,5% (Grad2) postoperativ. In dieser Studie wurden neben monosegmentalen Eingriffen auch mehrsegmental fusioniert. Bei genauer Betrachtung ist eine stärkere Senkung des ODI Wertes zu beobachten, wenn die monosegmentalen Eingriffe einzeln betrachtet wurden. Hier konnte der präoperative Wert von 48,47% (Grad 4) auf postoperativ 26,18% (Grad2) innerhalb 1 Jahres gesenkt werden. Dies entspricht auch den Werten der vorhandenen Untersuchung. Auf Grund der unübersichtlichen Studienlage, gemeint ist dabei die unterschiedliche Verwendung von Fragebögen (ODI, MacNab u.a.), der unterschiedlichen Anwendung der VAS (0-5, 0-8, 0-10), aber auch durch die unterschiedlich angewandten Operationstechniken bei verschiedenartigen Diagnosen und

Fusionslevel, gestaltet sich ein Vergleich des klinischen Outcome untereinander sehr schwierig.

Das erwartete Ergebnis der minimal-invasiven Technik, nämlich eine besseres klinisches Outcome, das auch verbunden ist mit einer schnelleren Rehabilitation bleibt zunächst aus. Mit einer Reduktion des ODI auf Grad 2 kann man durchaus zufrieden sein, nur liefert der direkte Vergleich zur herkömmlichen PLIF Technik ein besseres Ergebnis bei ODI und VAS. Somit bleibt die PLIF Technik als bewährtes Operationsverfahren der neuen minimal-invasiven EMAP-LIF Technik hinsichtlich des klinischen Outcome überlegen.

Das Auftreten von radikulären Schmerzen und sensiblen Defiziten spiegelte sich dann auch in dem subjektiven klinischen Outcome wieder. Da diese Daten subjektiv sind und aus den Anamnesen der Patienten während der Verlaufskontrolle entnommen wurden, kann man hier nicht von standardisierten Angaben ausgehen. Es gibt nur wenige Studien, welche die klinischen Angaben der Patienten als postoperatives Resultat auswerteten. Lee et al. [44] fassten die Ergebnisse seiner retrospektiven Studie über 73 Patienten, welche per MiniALIF operiert wurden, in einer ähnlichen Art zusammen. Dabei stellte er fest, dass 35,6% ein exzellentes Ergebnis zeigten. Darunter verstand Lee, dass die Patienten schmerzfrei waren, keine Einschränkung der Mobilität aufwiesen und sich wieder im Arbeits- und Alltagsleben befanden. Weitere 58,9% wiesen ein gutes Ergebnis auf. Darunter waren gelegentliche nichtradikuläre Schmerzen, eine Linderung der präoperativen Symptome und Rückkehr in ein modifiziertes Arbeitsleben zu verstehen. Ein zufriedenstellendes Ergebnis wurde bei 4,1% festgestellt. Hierzu zählte eine verbesserte Funktionalität zu präoperativ aber noch vorhandene Schmerzen mit Behinderung und Arbeitslosigkeit und/oder Krankschreibung. In dieser Studie gab es einen Patienten, welcher ein schlechtes Ergebnis vorwies, verbunden mit Fortbestehen der präoperativen Beschwerden mit radikulärer Symptomatik und Revisionspflichtigkeit.

Die weiterhin bestehenden radikulären Schmerzen mit teilweisen sensiblen Defiziten, zwar in gelinderter Form, waren auch die Beschwerden der durch EMAP fusionierten Patienten. Eine mögliche Erklärung, warum die PLIF

Methode eine höhere Patientenzufriedenheit aufweist, kann im Fusionsgrad liegen, und in der operationsbedingten besseren Möglichkeit zur Dekompression, denn innerhalb dieser Gruppe wurden 6 Monate postoperativ keine Radikulopathien mehr festgestellt.

Komplikationen und postoperatives Neurologisches Outcome

Komplikationen intra- sowohl postoperativ sind zur Beurteilung eines neuen Operationsverfahrens sehr wichtig. Sie geben Auskunft über die Praktikabilität und Zuverlässigkeit der Operation, und helfen beim Abwägen über Risiko und Nutzen vor einer Operation. Für die herkömmlichen offenen Verfahren wurden bereits Studien mit Komplikationsraten veröffentlicht. Schon allein aus den Operationszugängen und –techniken ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten für Komplikationen. Als nicht vordergründig operationsspezifische Komplikationen können Wundheilungsstörungen, tiefe Infektionen mit Abszessbildung und damit verbundene Materialdislokationen auftreten. Weiterhin sind allgemeine Operationsrisiken zu nennen, welche z.B. durch die Operationsdauer beeinflusst werden können. Dazu zählen die tiefe Venenthrombose, die Lungenembolie und kardiale Komplikationen. Verletzungen oder Irritationen im Bereich der Nervenwurzel und im Bereich der Dura sind wiederum technikspezifisch.

Für die anteriore intersomatische lumbale Fusion wurden als spezifische intraoperative Komplikationen die Verletzung von großen Blutgefäßen und des präsakralen Nervenplexus, mit der möglichen Folge einer retrograden Ejakulation beschrieben [49]. Zusätzlich wurden beim anterioren Zugang auch Verletzungen des Ureters festgestellt. Hee et al. [27] verglichen die Komplikationsraten der TLIF Technik mit der anterior/posterioren Fusionstechnik. Sie beschrieben eine Komplikationsrate von 51% in der anterior/posterioren Fusionsgruppe. Die Wundinfektion ist mit 11% dabei die häufigste perioperative Komplikationsmöglichkeit. Gefolgt von der Radikulopathie (nach 3 Monaten bestehend) mit 9%, der Fehlposition von Pedikelschrauben (3%) und Fehllage des Implantates (3%). Das Auftreten der Pseudarthrose mit 15% gehörte zu den Spätkomplikationen. Villavicenco [61] beschrieb Komplikationsraten von 76,7%

bei der offenen anterioren/posterioren Fusionstechnik. Dazu zählte er die allgemeinen Komplikationen mit 62,8% (wie z.B. tiefe Beinvenenthrombose, Embolie, postoperativer Hirninfarkt) und die spezifischen mit 13,9 % (Duraleck, neurologisches Defizit und Anämie).

Durch die Minimalisierung des anterioren Zuganges konnte Zdeblick [66] eine Verkleinerung der Komplikationsrate auf 4% von 20% feststellen. Er dokumentierte trotzdem noch eine 6%-ige Rate von retrograder Ejakulation nach laparoskopischer ALIF.

Mayer [50], der Erstbeschreiber der MiniALIF, stellte ebenfalls eine geringer ausfallende Komplikationsrate fest. Bei den 5 Patienten mit MiniALIF via transperitoneal sind keine Komplikationen aufgetreten, 3 Patienten zeigten im Follow up aber noch persistierend geringe Rückenschmerzen. Bei den 20 Patienten via retroperitonealem Zugang operiert, kam es intraoperativ in einem Fall zu einer Verletzung/Irritation des N.cutaneus femoris lateralis. Es wiesen 3 von 20 Patienten ein geringfügiges sensibles Defizit der Wurzel L5 auf. Mayer [50] schließt daraus, dass das Auftreten von Komplikationen nur eine unbedeutende Rolle spielte. Lee et al. [44] bestätigten in ihrer Studie mit 73 MiniALIF die niedrige Komplikationsrate von insgesamt 16,4 Prozent, wobei 8,2 % je auf den Teil der Fusion und auf den Teil das Setzen der perkutanen Pedikelschrauben fiel. Ein neurologisches Defizit hatten sie in den Fällen nicht gesehen.

Bei einer großangelegten Studie zur Nachuntersuchung von 1680 PLIF operierten Patienten auf Komplikation- und Reoperationsrate, konnte Greiner-Perth [25] festhalten, dass 221 (13,2%) Reoperation bei 206 (12,2%) Patienten erforderlich waren. Hier wurde auch zwischen mono/ bisegmental und mehrsegmentalen Eingriffen unterschieden. Die 1 und 2 Level-Fusionen zeigten eine Reoperationsrate von 12,9%, die Mehretagenfusion zeigte eine Rate von 14,4%. Die Ergebnisse waren aber mit $p=0,46$ nicht signifikant unterschiedlich. Bei der Beurteilung, warum diese Reoperationen notwendig waren, stellte sich als Revisionsdiagnose die Pseudarthrose mit 76 Fällen (4,5%) an erste Stelle, gefolgt von der Anschlußdekompensation mit 2,8%. Interessant war die Herausarbeitung des signifikant höheren Anteils der Anschlußdekompensation bei Mehretagenfusionen (5,1%) als bei mono/bisegmentaler Fusion (2,3%). Mit 1,6% konnte eine persistierende Reststenose mit Revisionspflicht festgestellt werden.

Wundheilungsstörungen ohne tiefe Infektion, welche ebenfalls reoperiert wurden, kamen bei 1,5% der Patienten vor. Materialinsuffizienzen machten 1,2% und Schraubenfehlagen machten 1% der Revisionen aus. Postoperative Blutung und Spondylitis wurden bei insgesamt 6 Patienten festgestellt. Intraoperative Komplikationen wurden mit 3,8% angegeben und waren Nervenwurzelirritationen (0,3%), Cauda equina Syndrom (0,06%) und Duraverletzungen (3,3%). Was die postoperative Blutung (2%) und das neurologische Defizit (3,9%) anging, konnten ähnliche Zahlen wie beim offenen TLIF Verfahren durch Villavicenco et al. [61] festgehalten werden (Gesamtkomplikationsrate 35,5%). Jedoch waren hier die Zahlen für die Schraubenfehlage (9,8%) und Duraverletzung mit 19,6% wesentlich höher.

Auch bei den dorsalen Eingriffen erbrachte die Minimalisierung der Zugänge eine niedrigere Komplikationsrate. Foley et al. [20] verzeichneten beim minimal-invasiven PLIF (METRx-System) bei 15 Patienten keine intraoperativen Komplikationen, ebenso bei den 12 Patienten mit minimal-invasiver TLIF Technik (METRx Tube). Schwender et al. [57] beschrieben hingegen beim minimal-invasiven TLIF eine Komplikationsrate von 8,8%, dabei waren bei 2 Patienten eine Fehlposition der Pedikelschrauben zu sehen und bei 2 weiteren Patienten entwickelte sich eine postoperative Radikulopathie. Villavicenco et al. [61] schilderten zwar auch erniedrigte Komplikationsraten für den MiniTLIF, welche aber erneut über den von Foley et al [20] und Schwender et al. [57] bereits beschriebenen Raten liegen. Er formulierte eine Gesamtkomplikationsrate für den minimal-invasiven TLIF von 29,3%, wobei insgesamt 8 von 73 Patienten ein neurologisches Defizit zeigten. Diese Komplikation kam nur 5mal im anterioren/posterioren Fusionsverfahren und 1mal im offenen TLIF Verfahren vor.

Beim Betrachten dieser Zahlen stellt sich eindeutig eine große Breite der Komplikationsraten heraus. Es ist schwierig, die angegebenen Zahlen direkt zu vergleichen. Insbesondere aufgrund unterschiedlicher Definition und Zuteilung in Komplikationsgruppen. Einige Studien erfassten keine perioperativen Komplikationen. Leider gibt es nicht viele Studien, die offene und minimalinvasive Techniken direkt vergleichen. Aber insgesamt betrachtet, treten prozentual weniger Komplikationen im minimalinvasiven Operationsverfahren auf.

Bei der Beurteilung der Komplikationsrate in der vorliegenden Untersuchung stellte sich heraus, dass es beim offenen PLIF-Verfahren bei einem Patienten zu einer Wurzelirritation mit anschließendem motorischem Defizit gekommen war. Dieses erholte sich noch innerhalb des stationären Verlaufes auf normale Kraftwerte. Weiterhin kam es in der PLIF Gruppe zu einer verzögerten Wundheilung ohne Revisionspflicht. Die extraforaminal mikroskopisch assistierte perkutane lumbale intersomatische Fusion zeigte eine falsch positionierte Pedikelschraube, die ohne Wurzelirritation auch nicht revisionspflichtig war. Jedoch zeigte sich im Verlauf eine deutlich höhere Rate von Radikulopathien im Patientenkollektiv der EMAP-Fusionen. Nach 6 Monaten konnten 6 Patienten mit einer Radikulopathie beobachtet werden, 2 davon zeigten sensible Defizite zu den reinen radikulären Schmerzen, die anderen beschrieben dermatombezogene Schmerzen, welche unmittelbar postoperativ nicht mehr vorhanden waren und nun in gelinderter Form zu präoperativ bestünden. In der Gruppe der herkömmlich offen operierten Patienten wurden keine radikulären Schmerzen beschrieben. Aus all diesen Fällen ergab sich keine Revisionspflicht. Es muss aber festgehalten werden, dass 60% der Patienten, die mit der EMAP Technik operiert wurden, persistierende radikuläre Schmerzen aufwiesen, während keine Patienten im offenen Verfahren diese Komplikation zeigten. Es bestand somit eine signifikant höhere Komplikationsrate in der EMAP-Technik als in der offenen posterolumbalen Fusion hinsichtlich der Radikulopathie. Jedoch kritisch hinterfragt, zeigt sich bei der präoperativen Diagnostik, dass 5 Patient radikuläre Beschwerden innerhalb der PLIF Gruppe angab, aber in der EMAP Gruppe bei allen Patienten eine Radikulopathie diagnostiziert wurde. Eine mögliche Erklärung für diese hohe Rate (60% nach 6 Monaten und 40% nach 12 Monaten) der aufgetretenen postoperativen Radikulopathien muss man in der Operationstechnik suchen. Durch das Schützen des Nervens, in dem er unter einem Nervenwurzelhaken aus dem Operationsfeld gehalten wird, entsteht eine hohe Traktion. Zusätzlich kann durch den Arbeitskanal unerkannt ein Druck auf den unter Zug stehenden Nerven ausgeübt werden. Diesbezüglich spielt sicherlich die Lernkurve und die Hauptlokalisation bei L4-5 eine wesentliche Rolle. Dafür spricht die Analyse einer anderen Patientengruppe durch Böhm et al. [7], die wegen Spondylodiszitis mit weit weniger radikulären Komplikationen nach dem EMAP-Verfahren operiert wurde.

Außerdem könnte bei Verletzung von Venen, mit einer eventuell unzureichender Blutstillung, infolge eines eingegrenzten Sichtfeldes und dem Weglassen von Drainagen, eine postoperative Narbenbildung begünstigt werden. Die wiederum zu einer Radikulopathie führen kann. Für diese Theorie spricht das sich Entwickeln von radikulären Schmerzen im postoperativen Beobachtungszeitraum. Eine weitere Ursache für die Zunahme von Radikulopathien im Verlauf könnte der Umstand sein, dass im Vergleich zur Standard PLIF Operation die Segmenthöhe nicht so vollständig wiederhergestellt werden konnten. Nimmt dann im Verlauf einer langsameren knöchernen Konsolidierung die Segmenthöhe erneut etwas ab, sind die Nervenwurzeln mehr gefährdet, sekundär eingeeengt zu werden.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser prospektiven und randomisierten Untersuchung war es, die perioperativen Daten und die klinischen sowie radiologischen Ergebnisse einer extraforaminal von lateral durchgeführten minimalinvasiven lumbalen Fusion mit denen einer posterior intersomatischen lumbalen Fusion zu vergleichen. Die Annahme war, dass es möglich ist, durch die Extraforaminale Mikroskopisch Assistierte Perkutane Lumbale Intersomatische Fusion (EMAP-LIF) das operative Trauma geringer zu halten und somit auch ein besseres klinisches Outcome zu erzielen. Weiterhin sollte überprüft werden, ob die minimalinvasive Technik eine strukturelle Fusion erzielen kann. In die Untersuchung wurden 20 Patienten eingeschlossen, nach Diagnostik und Indikationsstellung erfolgte die Randomisierung, per Zufallsprinzip wurden die Patienten den Operationstechniken zugeteilt. Die Operationszeit der EMAP-LIF Methode verglichen mit der offenen PLIF Technik war signifikant höher. Ein Unterschied im intraoperativen Blutverlust konnte in dieser Untersuchung nicht ermittelt werden. Jedoch zeigt sich beim Vergleich des Blutverlustes der EMAP-Technik mit anderen Werten aus der Fachliteratur für minimalinvasive Eingriffe, eher ein erhöhter Wert mit 365 ml. Intraoperativ benötigte die minimalinvasive Technik deutlich mehr Röntgenzeit als die PLIF Technik. Die Krankenhausverweildauer fiel nicht signifikant geringer aus als im Patientengut der EMAP-Fusion.

Das subjektiv klinische Befinden im postoperativen Verlauf zeigte eine signifikant höhere Zufriedenheit im herkömmlich offenen Fusionsverfahren, bestätigt durch die steilere Senkung der ODI- und VAS- Werte. Wobei insgesamt beide Techniken eine Verminderung der ODI und VAS Werte erzielten und vergleichbar mit anderen Studien teilweise stärkere Reduktionen aufwiesen. Hauptgrund für das bessere Abschneiden innerhalb der offenen chirurgischen PLIF-Operationsmethode, hinsichtlich des postoperativen klinischen Outcomes, liegt wohl in der hohen Rate der postoperativen Radikulopathien die innerhalb der EMAP-LIF Gruppe (40%, 1 Jahr postoperativ) auftraten. Diese äußerten sich vor allem in dermatombezogenen Schmerzen, selten noch verbunden mit einem sensorischen Defizit. Wobei die radikulären Schmerzen nach einem Jahr

postoperativ auf der VAS im Durchschnitt bei 2,9 mit einem Maximalwert von 5 lagen. Eine Revisionspflicht bestand bei keinem der operierten Patienten.

Die EMAP-LIF erreichte nach 12 Monaten bei 80% des Patientenkollektives eine erstgradige (komplette) Fusion und bei 20% eine zweitgradige (inkomplette) Fusion. Sie lag damit unter der PLIF Technik mit 90%iger kompletter Fusion und 10%iger inkompletter Fusion. Auch im Vergleich zu anderen minimalinvasiven Techniken lag die Fusionsrate unter den hier erreichten Werten. Aber analog den Fusionsraten in der Fachliteratur für die herkömmlich offenen Verfahren wie PLIF/ALIF und TLIF liegt die Fusionsrate der EMAP- Technik im selben Niveau, denn hier werden Fusionsraten von 75-100% angegeben.

Zusammenfassend muss man einschätzen, dass die neue Extraforaminale Mikroskopisch Assistierte Perkutane Lumbale Intersomatische Fusion eine Segmentversteifung an der Lendenwirbelsäule ermöglicht. Der minimalinvasive Ansatz, nämlich das geringere Zugangstrauma mit Erhalt der stabilisierenden Strukturen an der Wirbelsäule spiegelte sich jedoch nicht im klinischen Outcome wieder.

Eine Weiterentwicklung und Verfeinerung der Operationstechnik zum Schutze des Spinalnervens ist bei der EMAP-LIF unbedingt notwendig.

6. Literaturverzeichnis

1. Abel R, Breusch S, Wiedenhöfer B, Mau H. Wirbelsäule in Klinikleitfaden Orthopädie und Unfallchirurgie, München 6. Auflage: URBAN&Fischer Verlag, 2009, S.354-357
2. Ahrens M, Halm, H. Minimal invasive Zugänge an der Wirbelsäule in Minimal invasive Wirbelsäulen-Intervention, Köln 2. Auflage: Deutscher Ärzte-Verlag, 2009, S.197-208
3. Albee FH. Spondylolisthesis. J Bone Joint Surg Am 1927; 9:427-446
4. Aryan HE, Newman CB, Gold JJ, Acosta FL, Coover C, Ames CP. Percutaneous axial lumbar interbody fusion (AxiaLIF) of the L5-S1 segment: initial clinical an radiographic experience. Minim Invasive Neurosurg 2008; 51:225-230
5. Benini A. Der lumbale Bandscheibenschaden, Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag,1991:16-44
6. Bogduk N. A reappraisal of the anatomy of the human lumbar spine. J Anatom 1980; 131:525-540
7. Böhm H, Hasselbach J, El-Wakeel G, Schmieder A. Managment of spondylodisitis of lumbar spine by minimally invasive debridement and fusion via extraforaminal approach combined with percutaneous fixation from posterior. Eur Spine J 2009; 11:1731-1732
8. Borgulya J. Verfahren der Wahl: Die halboffene, perkutane, translaminäre lumbale Pin Fixation. Orthopäde im Profil 2008; 2:11-12
9. Brantigan JW, Steffee AD. A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 Patients. Spine 1993; 18:2016-2117

10. Burns BH. An operation for spondylolisthesis. *Lancet* 1933; 1:1233
11. Buttermann GR, Garvey TA, Hunt AF, Transfeldt EF, Bradford DS, Boachie-Adjei O, Ogilvie JW. Lumbar fusion results related to diagnosis. *Spine* 1998; 23:116-127
12. Chitnavis B, Barbagallo G, Selway R, Dardis R, Hussain A, Gullan R. Posterior lumbar interbody fusion for revision disc surgery: review of 50 cases in which carbon fiber cages were implanted. *J Neurosurg* 2001; 95:190-195
13. Cloward RB. Posterior lumbar interbody fusion updated. *Clin Orthop* 1985; 193:16-19
14. Cragg A, Carl A, Castaneda F, Dickmann C, Guterman L, Oliveria C. New percutaneous access method for minimally invasive anterior lumbosacral surgery. *J Spinal Disord Tech* 2004; 17:21-28
15. Drumm J, Branea I, Pitzen T. Mikrochirurgische Dekompression der lumbalen Spinalkanalstenose. *Der Orthopäde* 2010; 39:551-558
16. Endler F, Fochem K, Weil UH. Orthopädische Röntgendiagnostik. Stuttgart Thieme Verlag, 1984
17. Epstein NE, Maldonado VC, Cusick JF. Symptomatic lumbar spinal stenosis. *Surg Neurol* 1998; 50:3-10
18. Fairbanks JE, Couper JC, Davies JB. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy* 1980; 66:271-273
19. Flynn JC, Price CT. Sexual complications of anterior fusion of the lumbar spine. *Spine* 1984; 9:489-492

20. Foley KT, Holly LT, Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion. *Spine* 2003; 28:26-35
21. Franke J. Wirkliche Alternative zur offenen Technik, Die minimalinvasive lumbale transforaminale interkorporale Fusion(TLIF) der LWS, Orthopäde im Profil 2008; 2:7-8
22. Freeman BJ, Licina P, Mehdian SH. Posterior lumbar interbody fusion combined with instrumented postero-lateral fusion: 5 –year results in 60 patients. *Eur Spine J* 2000; 9:42-46
23. Görler, T. Radiologische 1-Jahres-Ergebnisse der ventralen Spondylodese bei Frakturen der BWS/LWS mit expandierbarem Cage. Diss, Charite-Universität Berlin, 2008
24. Greiner-Perth R, Böhm H, El Saghir H. Microscopically assisted percutaneous nucleotomy, an alternative minimally invasive procedure for the operative treatment of lumbar disc herniation: preliminary results. *Neurosurg Rev* 2002; 25:225-227
25. Greiner-Perth R, Böhm H, El Saghir H, Allam Y, Franke J. Reoperation rate after instrumented posterior lumbar interbody fusion. *Spine* 2004; 29:2516-2520
26. Harms JG, Jeszensky D. Die posteriore, lumbale, interkorporale Fusion in unilateraler transforaminaler Technik. *Oper Orthop Traumatol* 1998; 10:90-102
27. Hee HT, Castro FP, Majd ME, Holt RT, Myers L. Anterior/posterior lumbar fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion: analysis of complications and predictive factors. *J Spinal Disord* 2001; 14:533-540

28. Hibbs RA. An operation for progressive spinal deformities - A preliminary report of three cases from the service of the Orthopaedic hospital (New York). *J Med* 1911; 93:1013-1018.
29. Humphreys SC, Hodges SD, Patwardhan AG, Eck JC, Murphy RB, Covington LA. Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion. *Spine* 2001; 26:567-571
30. Jang SJ, Lee SH, Lim SR. Guide device for percutaneous placement of translaminar facet screws after anterior lumbar interbody fusion. Technical note *J Neurosurg* 2003; 98:100-103
31. Jang SJ, Lee SH. Clinical analysis of percutaneous facet screw fixation after anterior lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine* 2005; 3:40-45
32. Jerosch J. Facettensyndrom-Grundlagen, Operationstechnik und Ergebnisse der perkutanen Facettenkoagulation (pFK) in Minimal invasive Wirbelsäulen-Intervention, Köln 2. Auflage: Deutscher Ärzteverlag, 2009:211
33. Jetten C. Klinische Ergebnisse der transforaminalen lumbalen interkorporellen Fusion (TLIF) als neue Operationstechnik zur lumbalen Spondylodese. Diss. Universität Münster, 2004
34. Johnson JR, Kirwan EO`G. The long-term results of fusion in situ for severe spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br.* 1983; 65:43-46
35. Junghans H. Nomenclatura columnae vertebralis. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Stuttgart: Hippokrates Verlag, 1977
36. Kaltenborn FM, Zahnd F. Anatomie Wirbelsäule. Manuelle Untersuchung und Mobilisation, Oberhausen 2. Auflage: Olaf Norlis Bokhandel Verlag, 1995, S.31

37. Kawaguchi Y, Yabuki S, Styf J, Olmarker K, Rydevik B, Matsui H, Tsuji H. Back muscle injury after posterior lumbar spine surgery. Topographic evaluation of intramuscular pressure and blood flow in the porcine back muscle during surgery. *Spine* 1996; 21:2683-2688
38. Khoo LT, Palmer S, Laich DT, Fessler RG. Minimally invasive percutaneous posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurgery* 2002; 51:166-171
39. Kim DY, Lee SH, Chung SK, Lee HY. Comparison of multifidus muscle atrophy and trunk extension muscle strength: percutaneous versus open pedicle screw fixation. *Spine* 2005; 30:123-129
40. Krappel FA. Minimal Invasive Fusion (MAST) mit METRx, XTube, Quadrant und Sextant. Minimal invasive Wirbelsäulen-Intervention, Köln 2. Auflage: Deutscher Ärzte-Verlag, 2009, S.453
41. Kube A, Kossack O, Marianowicz M, Schwickal-Melot J. Percutaneous laser decompression (PLDD) mittels Diodenlaser. Minimalinvasive Wirbelsäulen-Intervention, Köln 2. Auflage: Deutsche Ärzte-Verlag, 2009, S.111
42. Kyung HK, Park JY, Chin DK. Fusion criteria for posterior lumbar interbody fusion with intervertebral cages: The significance of traction spur. *J Korean Neurosurg* 2009; 46:328-332
43. Lange F. Support of the spondylitic spine by means of buried steel bars attached. *J Bone Joint Surg Am* 1910; 8:344-361
44. Lee SH, Choi WG, Lim SR, Kang HY, Shin SW. Minimally invasive anterior lumbar interbody fusion followed by percutaneous pedicle screw fixation for isthmic spondylolisthesis. *Spine J* 2004; 4:644-649

45. Linhardt O, Grifka J. Bildgebende Diagnostik in Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Band Wirbelsäule/Thorax, Stuttgart- New York Thieme Verlag, 2004, S.37-62
46. Ludwig J, Tiedjen K, Krämer J. Ätiologie und Pathogenese der degenerativen Lendenwirbelsäulenerkrankungen, Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Wirbelsäule/Thorax, Stuttgart: Thieme Verlag 2004, S.290- 300
47. Macnab I. The Traction spur. J Bone Joint Surg Am 1971; 4:663-670
48. Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. Clin Orthop 1984; 189:125-141
49. Marotta N, Cosar M, Pimenta L, Khoo LT. A novel minimally invasive presacral approach and instrumentation technique for anterior L5-S1 intervertebral discectomy and fusion: technical description and case presentations. Neurosurg Focus 2006; 20:1-8
50. Mayer HM. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion. Spine 1997; 22:691-699
51. Meyerding HW. Spondylolisthesis. J Bone Joint Surg Am 1931; 13:39-48
52. Mofidi A, Sedhom M, O`Shea K, Fogarty EE, Dowling F. Is a high level of disability an indication for spinal fusion? Analysis of long-term outcome after posterior lumbar interbody fusion using carbon fibre cages. J Spinal Disord Tech 2005; 18:479-484
53. Putz R. Rumpf, Benninghoff Anatomie, München 15. Auflage, Urban&Schwarzenberg Verlag 1995, S.263-288

54. Röllinghoff M, Sobottke R, Koy T, Delank KS, Eysel R. Minimalinvasive Operationen an der Lendenwirbelsäule. Teil 1. Z Orthop Unfall 2008; 146:267-280
55. Salger D. AxiaLIF-ein neuer minimalinvasiver Zugang zur 360° Fusion. Minimal invasive Wirbelsäulen-Intervention, Köln , Deutsche Ärzte-Verlag 2009, S.507-514
56. Scheufler KM, Dohmen H, Vougioukas VI. Percutaneous transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar instability. Neurosurgery 2007; 60:203-212
57. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, Foley KT. Minimally transforaminal lumbar Interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. J Spinal Disord Tech 2005; 18:1-6
58. Steffee AD, Sitkowski DJ. Posterior Lumbar Interbody Fusion and Plates. Clin Orthop 1988; 227:99-102
59. Suezawa Y, Rüttiman B. Indikation, Methodik und Ergebnisse der perkutanen Nukleotomie bei lumbaler Diskushernie. Z Orthop 1983; 121:25-29
60. Toumey JW. Internal fixation in fusion of the lumbo-sacral joints. Lahey Clin Bull 1943; 3:188-191
61. Villavicenco AT, Burneikiene S, Bulsara KR, Thramann JJ. Perioperative complications in transforaminal lumbar interbody fusion versus anterior-posterior reconstruction for lumbar disc degeneration and instability. J Spinal Disord Tech 2006; 19:92-97
62. Vital JM, Lavignolle B, Grenier N, Rouais F, Malga R, Senegas J. Anatomy of the lumbar vertebral canal. Anatomia Clinica 1983; 5:141-151

63. Weber BR, Grob D, Dvorak J, Munterer M. Posterior surgical approach to the lumbar spine and its effect on the multifidus muscle. *Spine* 1997; 22:1765-1772
64. Wilkins WF. Separation of the vertebrae with protrusion of hernia between the same - operation - cure. *St. Louis Medicine and Surgery Journal* 1988; 54:340-341.
65. Yadav SS. Traction Spur. *J Postgrad Med* 1973; 19:136-138
66. Zdeblick TA, David SM. A prospective comparison of surgical approach for anterior L4-5 fusion: laparoscopic versus mini anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 2000; 25:2682-2687

7. Tabellenverzeichnis

Tab.1	Darstellung Patientenzahl, Diagnose, Alter, Operationsmethode	25
Tab.2	Aufzählung der präoperativen Diagnosen in der EMAP- LIF und PLIF	28
Tab.3	Darstellung der bildgebenden Kriterien einer knöchernen Fusion	30
Tab.4	Operationstechnik EMAP-LIF.....	33
Tab.5	Fragebogen ODI.....	37
Tab.6	Aufzählung der Ergebnisse für die Operationszeit, dem intraoperativen Blutverlust, der intraoperativen Röntgenzeit und der postoperativen Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit der Operationsmethode.....	42
Tab.7	Mittelwerte, Standardabweichung und Median der OP-Zeit, intraoperativer Blutverlust, intraoperative Röntgenzeit und postoperative Liegezeit in Abhängigkeit von den Operationsmethoden	43
Tab.8	Darstellung der neurologischen Ergebnisse 6 Monate Postoperativ.....	48
Tab.9	Ergebnisse der neurologischen Nachuntersuchung 6 Monate postoperativ in Abhängigkeit der Operationsmethode.....	48
Tab.10	Differenzen der GDW nach 6 und 12 Monaten po. der Patienten in Abhängigkeit von der Operationsmethode	50
Tab.11	Radiologische Mineralisationszeichen nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	51
Tab.12	Röntgenologisch sichtbare Ossifizierung intersegmental von 4, 6 und 12 Monaten Postoperativ in der PLIF- und EMAP-LIF Gruppe.....	52

Tab.13	Röntgenologisch sichtbare Ossifizierung im Cage nach 4,6 und 12 Monaten Postoperativ in der PLIF- und EMAP-LIF Gruppe	54
Tab.14	Entwicklung des Fusionsgrades nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	57
Tab.15	Klinische Befunde nach 4, 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	59
Tab.16	Postoperativer klinischer Verlauf in der PLIF Gruppe	60
Tab.17	Postoperativer klinischer Verlauf in der EMAP-LIF Gruppe.....	61
Tab.18	ODI und VAS Ergebnisse präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	64
Tab.19	Darstellung der Ergebnisse der ODI- und VAS-Werte in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	65
Tab.20	Intraoperative, Früh- und Spätkomplikationen in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	69
Tab.21	Intraoperative Komplikationen beider Operationsverfahren	70
Tab.22	Postoperative Frühkomplikationen in Abhängigkeit der Operationsmethode.....	72
Tab.23	Postoperative Spätkomplikationen in Abhängigkeit der Operationsmethode.....	73

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	schematische Darstellung der Anatomie der LWS.....	8
Abb. 2	schematische Darstellung eines Bewegungssegmentes, nach Junghans.....	9
Abb. 3	Der lumbale Wurzelkanal nach Vital et al.	10
Abb. 4	Winkelstellung der Facettengelenke der LWS.....	11
Abb. 5	Aufbau des Discus intervertebralis	12
Abb. 6	Schematischer Querschnitt der kaudalen Lendenregion mit Muskeln, Fascien und Aponeurosen	13
Abb. 7	Darstellung der stabilisierenden Ligamente an der Lendenwirbelsäule.....	14
Abb. 8	schematische Darstellung der Gradeinteilung der Spondylolythese nach Meyerding.....	16
Abb.9	graphische Darstellung der historischen Entwicklung der Spondylodese.....	17
Abb. 10	Zugang zum Bandscheibenfach in Abhängigkeit zur Stenose.....	21
Abb. 11	graphische Darstellung der Segmentverteilung	28
Abb. 12	Röntgenologische Darstellung des Grundplatten-Deckplatten-Winkels	31
Abb. 13	Lokalisation der perkutanen Spongiosaentnahme	33
Abb. 14	Markierung des dorsalen Zuganges	33
Abb. 15	Markierung des Segmentes.....	33
Abb. 16	intraoperatives Röntgenbild, mit eingebrachten Arbeitskanal.....	33
Abb. 17	intraoperative intersegmentale Überprüfung mit Tasthäkchen.....	34
Abb. 18	intraoperative röntgenologische Kontrolle nach Eröffnung/Ausräumung des Bandscheibenfaches	34
Abb. 19	intraoperativ, Anfrischen der Grund und Deckplatten mittels Meissel unter Schutz des Spinalnervens mittels Haken	34
Abb. 20	autologe Spongiosa und gefüllte Harm-Cages	35

Abb. 21	intraoperativ, Einbringen des mit Spongiosa gefüllten Cages	35
Abb. 22	Intraoperativ, Lokalisation der Pedikel	35
Abb. 23	intraoperatives Röntgen, Einbringen des Stabsystems.....	36
Abb. 24	intraoperatives Röntgen, Einbringen des Stabsystems.....	36
Abb. 25	intraoperativ, Abschlusskontrolle	36
Abb. 26	Wundverschluss 3 Monate postoperativ.....	36
Abb. 27	Visuelle Analoge Schmerz-Skala	41
Abb. 28	Operationszeiten pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsart.....	44
Abb. 29	Vergleich der Mittelwerte der Operationszeiten in Abhängigkeit von der Operationsmethode	44
Abb. 30	Intraoperativer Blutverlust pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode	45
Abb. 31	Vergleich der Mittelwerte des intraoperativen Blutverlustes in Abhängigkeit von der Operationsmethode.....	45
Abb. 32	Intraoperative Röntgenzeit pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode	46
Abb. 33	Vergleich der Mittelwerte der intraoperativen Röntgenzeit in Abhängigkeit von der Operationsmethode	46
Abb. 34	postoperative Krankenhausverweildauer pro Patient in Abhängigkeit von der Operationsmethode	47
Abb. 35	Vergleich der Mittelwerte der Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit von der Operationsmethode	47
Abb. 36	Neurologische Verlaufskontrolle 6 Monate postoperativ in der PLIF Gruppe	49
Abb. 37	Neurologische Verlaufskontrolle 6 Monate postoperativ in der EMAP-LIF Gruppe	49
Abb. 38	Vergleich des Auftretens von Radikulopathien nach 6 Monaten postoperativ in Abhängigkeit von der Operationsmethode	49
Abb. 39	Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren intersegmentalen Ossifizierung im postoperativen Verlauf, PLIF Gruppe von 4,6 und 12 Monaten postoperativ	53

Abb. 40	Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren intersegmentalen Ossifizierung im postoperativen Verlauf, EMAP-LIF Gruppe von 4,6 und 12 Monaten postoperativ..	53
Abb. 41	Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Cage in der PLIF Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	55
Abb. 42	Darstellung der röntgenologisch nachweisbaren Ossifizierung im Cage in der EMAP-LIF Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	55
Abb. 43	CT- Beurteilung der Ossifizierung intersegmental und im Cage, in der PLIF und EMAP-LIF Gruppe nach 6 Monaten postoperativ	56
Abb. 44	Vergleich der Fusionsraten in Abhängigkeit von der Operationsmethode nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	57
Abb. 45	Darstellung des postoperativen klinischen Verlaufes in der PLIF Gruppe nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ ...	60
Abb. 46	Darstellung des postoperativen klinischen Verlaufes in der EMAP-LIF Gruppe nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	61
Abb. 47	Vergleich des postoperativen klinischen Verlaufes zwischen den beiden Operationsgruppen nach 1 Jahr postoperativ ...	63
Abb. 48	Darstellung des postoperativen Verlaufes der Beschwerdelinderung mit aufgetretenen neurologischen Symptomen im Vergleich	63
Abb. 49	Klinischer Behinderungsgrad (ODI-Score) in der PLIF Gruppe nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	66
Abb. 50	Klinischer Behinderungsgrad (ODI-Score) in der EMAP-LIF Gruppe, nach 4,6 und 12 Monaten postoperativ	66
Abb. 51	Vergleich der ODI Mittelwerte beider Operationstechniken Präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ	67
Abb. 52	Darstellung der VAS Werte der PLIF Gruppe präoperativ, nach 6 und 12 Monate postoperativ	67

Abb. 53	Darstellung der VAS Werte der EMAP-LIF Gruppe präoperativ, nach 6 und 12 Monate postoperativ	68
Abb. 54	Vergleich der VAS Mittelwerte beider Operationstechniken präoperativ, nach 6 und 12 Monaten postoperativ.....	69
Abb. 55	Vergleich der intraoperativen Komplikationsraten in Abhängigkeit von der Operationsmethode	71

9. Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
ALIF	anteriore lumbale intersomatische Fusion
ap	anterior-posterior
AXIA LIF	Transaxiale lumbale intersomatische Fusion
BMP	Bone morphogenice-Protein
chron	chronisch
CT	Computertomographie
Dg	Diagnose
EMAP-LIF	extraforaminal mikroskopisch assistierte perkutane lumbale intersomatische Fusion
EMG	Elektromyographie
ENG	Elektroneurographie
GDW	Grundplatten-Deckplatten-Winkel
IMC	Intermediate Care- Station
intraop	intraoperativ
L	Dermatom der Lendenwirbelsäule
Lig	Ligament
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M	Musculus
MAPN	mikroskopisch assistierte perkutane Nukleotomie
MINI TLIF	minimalinvasive transforaminale lumbale intersomatische Fusion
MINI ALIF	minimalinvasive anteriore lumbale intersomatische Fusion
MINI PLIF	minimalinvasive posteriore lumbale intersomatische Fusion
monoseg	monosegmental
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Nerv
Nr	Nummer
OCH	Osteochondrose

ODI	Oswestry Low- Back Pain Disability Index
Olist	Olisthese
OP-Art	Operationsart
OP	Operation
PLIF	posteriore lumbale intersomatische Fusion
postop	postoperativ
präop	präoperativ
Rö	Röntgenuntersuchung
SPSS	statistical package for the social sciences
Sign	Signal
Segm	Segment
Tab	Tabelle
Th	Dermatom der Brustwirbelsäule
TLIF	transforaminale lumbale intersomatische Fusion
VAS	Visuelle Analog Skala

10. Eidesstattliche Erklärung

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

11. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

12. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Dr. med. H. Böhm für die Überlassung des Themas und die lehrreiche Einführung in die Wirbelsäulenchirurgie.

Für die Betreuung meiner Promotionsarbeit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. O. Kilian bedanken, mit seinen Hinweisen zu Gestaltung und Korrektur trug er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Für die ständige Gesprächsbereitschaft bin ich ihm besonders dankbar.

Herrn Oberarzt Dr. med. J. Hasselbach danke ich für die Durchführung der operativen Eingriffe, den Mitarbeitern der Abteilung Neurologie in Bad Berka, für ihre stetige konsiliarische Arbeit und den Mitarbeitern der medizinischen Bibliothek in Bad Berka für die großartige literarische Zuarbeitung. Ferner bedanke ich mich bei Herrn Pabst und dem medizinstatistischen Institut der Universität Gießen für die Hilfe bei der statistischen Aufarbeitung der Ergebnisse.

Bedanken möchte ich mich weiterhin bei allen Patienten, die ihr Einverständnis zu dieser Studie gaben und damit den Grundstein für die Durchführung der Arbeit legten.

Einen besonders herzlichen Dank gilt meinem Freund Steffen und meiner Familie, die mit ihrer Geduld und ihrem ständigen Zuspruch mich bei der Durchführung dieser Arbeit großartig unterstützten.