

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

Campus Großhadern

Direktor: Prof. Dr. med. Jörg-Christian Tonn



***Die mikrochirurgische Entfernung  
intra-/extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle:  
Der laterale Pars interarticularis Zugang***

Dissertation

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

vorgelegt von

Vanessa Elisabeth Henseli

aus

München

2023

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Erster Gutachter: Prof. Dr. med. Stefan Zausinger

Zweiter Gutachter: Priv. Doz. Dr. med. Sebastian Siller

Dritter Gutachter: Prof. Dr. Frank Staub

ggf. weitere Gutachter: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Mitbetreuung durch den Dr. med. Philipp Tanner  
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.06.2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung:</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract (English):</b> .....	<b>7</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>11</b>
1.1 Bandscheibenvorfall allgemein .....	11
1.1.1 Definition und Epidemiologie .....	11
1.1.2 Symptome .....	11
1.1.3 Diagnostik .....	12
1.1.4 Klassifikation .....	12
1.2 Intra- und/oder extraforaminale Bandscheibenvorfälle .....	14
1.2.1 Epidemiologie .....	14
1.2.2 Symptome .....	15
1.3 Therapieoptionen des Bandscheibenvorfalls .....	15
1.3.1 Konservative Therapie .....	15
1.3.2 Operative Therapie .....	16
1.4 Operationstechniken intra- und/ oder extraforaminaler Bandscheibenvorfälle .....	16
1.4.1 Erweiterte interlaminäre Fensterung .....	17
1.4.2 Posterolateraler transmuskulärer Zugang .....	17
1.4.3 Translaminäre Fensterung .....	18
1.4.4 Laterale Fensterung der Pars interarticularis .....	18
<b>2. Ziel der Studie</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>24</b>
3.1 Patienten .....	24
3.2 Studienablauf .....	24
3.3 Radiologische Diagnostik .....	25
3.4 Fragebögen .....	26
3.4.1 Visuelle Analogskala VAS .....	26
3.4.2 Oswestry Disability Index – Deutsche Version (ODI-D) .....	26
3.4.3 Short Form-36 Health Survey 2 – Deutsche Version (SF-36v2) .....	27
3.5 Statistische Methoden .....	28
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>30</b>
4.1 Demographische Ergebnisse .....	30
4.1.1 Patientencharakteristika .....	30
4.1.2 Begleiterkrankungen .....	30

4.1.3	Voroperationen im gleichen Wirbelsäulensegment .....	31
4.2	Radiologische Ergebnisse .....	31
4.2.1	Operations-Diagnose .....	31
4.2.2	Segmentlokalisierung der Pathologie .....	31
4.2.3	Axiale Lokalisation der Pathologie .....	32
4.2.4	Spondylolisthesis .....	32
4.3	Operationsspezifische Ergebnisse .....	32
4.3.1	Symptomdauer und präoperative Symptomatik.....	32
4.3.2	Postoperative Symptomatik .....	34
4.4	Reoperationen .....	34
4.4.1	Nachblutung .....	35
4.4.2	Rezidive .....	35
4.4.3	Sekundäre Spondylodese.....	36
4.5	Ergebnisse der Fragebögen .....	36
4.5.1	Ergebnisse Visuelle Analogskala.....	37
4.5.2	Ergebnisse Oswestry Disability Index – Deutsche Version (ODI-D) .....	38
4.5.3	Ergebnisse Short Form-36 Health Survey 2 – Deutsche Version (SF-36v2) .....	39
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>46</b>
5.1	Diskussion der patientenbezogenen Daten .....	46
5.1.1	Demographie.....	46
5.1.2	Symptome .....	46
5.2	Diskussion der radiologischen Daten und der klinischen Verläufe .....	47
5.2.1	Segmentale Verteilung.....	47
5.2.2	Instabilität und Spondylolisthesis .....	49
5.2.3	Rezidive .....	52
5.3	Diskussion der Fragebögen-Ergebnisse.....	53
5.3.1	ODI.....	53
5.3.2	SF-36 .....	53
5.4	Zusammenfassende Beurteilung der Operationstechniken.....	54
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>57</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
	<b>Anhang A: SF-36 Bogen (Selbstbeurteilungsbogen, Zeitfenster 4 Wochen, Seite 1-4)</b> .....	<b>66</b>
	<b>Anhang B: Oswestry Disability Index – Deutsche Version Seite 1 .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anhang B: Oswestry Disability Index – Deutsche Version Seite 2 .....</b>	<b>71</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>72</b>
	<b>Affidavit .....</b>	<b>73</b>
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>74</b>

**Publikationsliste.....76**

## Zusammenfassung:

**Einleitung:** Bandscheibenvorfälle sind häufige degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule und betreffen zumeist die Lendenwirbelsäule. Man unterscheidet lokalisatorisch zwischen im Spinalkanal gelegenen, intraspinalen, und außerhalb des Spinalkanal gelegenen, extraspinalen Vorfällen, wobei letztere intra- und/oder extraforaminale, d.h. inner- und/oder außerhalb des foraminale Nervenwurzelaustrittskanals lokalisierte Bandscheibenvorfälle umfassen.

Obwohl die Entfernung intra-/extraforaminaler Bandscheibenvorfälle nur einen geringen Anteil aller Bandscheibenoperationen ausmacht, sind die verwendeten Verfahren häufig besonders herausfordernd als Folge der schwierigeren anatomischen Orientierung und des höheren Risikos einer Gelenkdestruktion mit der potenziellen Folge einer spinalen Instabilität. In der Literatur beschriebene Operationstechniken für intra-/extraforaminale Bandscheibenvorfälle umfassen die erweiterte interlaminäre Fensterung, den posterolateralen transmuskulären Zugang, die translaminäre Fensterung und die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Als ein vielversprechender Ansatz wurde der laterale Pars interarticularis Zugang beschrieben: Nach subperiostaler Präparation wird die laterale Lamina im inferioren Bereich der Pars interarticularis und kranial des Facettengelenks gefenstert, die austretende Nervenwurzel mit dem Spinalganglion dargestellt, und der meist kaudal lokalisierte Sequester kann mobilisiert und entfernt werden.

Ziel der retrospektiven Studie war die systematische Analyse des klinischen und bildgebenden Outcome unserer mit dieser Technik operierten Patient:innen mit intra-/extraforaminalen lumbalen Bandscheibenvorfällen inklusive des long-term Outcome und der Quality of Life.

**Material/Methode:** Die Aufzeichnungen von 167 Patient:innen, die zwischen 2012 und 2021 operiert wurden, wurden ausgewertet. Patienten- und Pathologie-Charakteristika, der klinische Verlauf mit Erfassung von Reoperationen, und die Quality of Life im Langzeitverlauf wurden erhoben.

**Ergebnisse:** Das Durchschnittsalter betrug 61,5 Jahre, es überwogen männliche Patienten (59% : 41%). Die meistbetroffenen Segmente waren LWK 3/4 (30,5%), LWK 4/5 (52,7%) und LWK 5/SWK 1 (7,2%); 10,6% der Indikationen entfielen auf foraminale Stenosen und Synovialzysten. Präoperativ vorhandene Paresen verbesserten sich im postoperativen Verlauf hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) von einem medianen Paresegrad KG 4/5 (range 2/5–5/5) auf 5/5 (range 4/5–5/5). 9/167 (5,4%) aller Patient:innen mussten reoperiert werden, davon 5 Patient:innen aufgrund eines Rezidiv-Vorfalles, 3 Patient:innen aufgrund einer Stenose und 1 Patientin aufgrund einer Synovialzyste, überwiegend zu einem späten Zeitpunkt nach  $19,3 \pm 19$  Monaten. Sieben Patient:innen (4,2%) mussten im postoperativen Verlauf in dem betroffenen Segment stabilisiert werden, im Durchschnitt nach  $25,5 \pm 26,1$  Monaten. Vier der sieben Patient:innen wiesen präoperativ in dem Segment eine Spondylolisthesis Grad I auf. Die Langzeitverläufe lagen vor von 135 Patient:innen (80,8%), die durchschnittliche Follow-up Dauer waren 46,4 Monate. Der ODI-Score war  $11 \pm 13$  (0-100; 0-20: minimale Beeinträchtigung). Entsprechend der Quality of Life Erhebung (SF-36) ergaben die körperlichen ( $47,7 \pm 9,6$ ) und die psychischen Summenskalen ( $53,8 \pm 9,0$ ) Werte im Bereich der jeweiligen Normstichproben ( $50 \pm 10,0$ ).

**Diskussion:** Unsere Ergebnisse zeigen, dass der laterale Pars interarticularis Zugang einen sicheren und effektiven mikrochirurgischen Zugangsweg bei der chirurgischen Behandlung intra-

/extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle darstellt. Die Präparation entlang knöcherner Strukturen bietet eine stabile anatomische Orientierung und führt zu einer suffizienten Exposition dieser Bandscheibenvorfälle. Die Risiken eines Rest- oder Rezidiv-Sequesters und einer postoperativen Instabilität sind gering. Im postoperativen Langzeitverlauf ermöglichte der Zugang eine zufriedenstellende neurologische Erholung und Quality of Life.

## Abstract (English):

**Introduction:** Herniated discs are common degenerative diseases of the spine and mostly affect the lumbar spine. In terms of location, a distinction is made between intraspinal prolapses located in the spinal canal and extraspinal prolapses located outside the spinal canal, the latter including intra- and/or extraforaminal disc prolapses, i.e. disc prolapses located inside and/or outside the foraminal canal.

Although intra-/extraforaminal disc herniations make up only a minor portion of discectomies, the surgical procedures involved are often challenging due to impaired anatomical orientation and higher risk of spinal instability from facet joint disruption. To tackle these issues a lateral pars interarticularis approach has been described: After subperiosteal dissection the lateral aspect of the lamina is removed in the inferior region of pars interarticularis and cranial to the facet joint. Following resection of the ligamentum flavum below, the exiting nerve root and the ganglion are exposed and the sequester can be mobilized and extracted.

The goal of the retrospective study was the systematic analysis of the clinical and imaging outcome of our patients with intra-/extraforaminal lumbar herniated discs who had been operated on using this technique, including the long-term outcome and the quality of life.

**Methods:** The medical records of 167 patients undergoing surgery using this approach from 2012 to 2021 were assessed. Patient and pathology characteristics and clinical course including frequency of reoperations and long-term Oswestry-Disability-Index (ODI) and Quality of Life (QOL SF-36) were analysed.

**Results:** Mean age was 61.5 years with a predominance of the male sex (59% : 41%). Main locations of herniations were the levels L3/4 (30.5%), L4/5 (52.7%) and L5/S1 (7.2%); 10.6% of all indications were foraminal stenoses or synovial cysts. Over-all, the median MRC grade at the last follow-up was 5/5 (range 4/5–5/5), which had improved by 1 grade compared with the preoperative grade (median of 4/5, range 2/5–5/5). The improvement of motor function between the latest follow-up examination and the preoperative status reached significance ( $p < 0.001$ ). 9/167 (5.4%) patients had to be reoperated at the same level, thereof 5 patients due to a recurrent disk prolapse, 3 patients due to stenosis and 1 patient due to synovial cyst, the most lately after a mean period of  $19.3 \pm 19$  months. Seven patients (4.2%) had to be stabilized at the same level after  $25.5 \pm 26.1$  months (mean), 4/7 patients had suffered from preoperative spondylolisthesis grade I. Long-term evaluation was available in 135 patients (80.8%) with a mean follow-up of 46.4 months. The ODI score at the final follow-up was  $11 \pm 13$  (0-100; 0-20: minimal disability). According to the SF-36, the mean

physical health composite score in the long-term questionnaire evaluation was  $47.7 \pm 9.6$  and the mean mental health composite score was  $53.8 \pm 9.0$ , indicating a physical and mental health in the average population range ( $50 \pm 10.0$ ).

**Discussion:** Our observations suggest that the lateral pars interarticularis approach is safe and effective in the surgical management of intra-/extraforaminal lumbar disc herniations. The preparation along bony structures provides a stable anatomical orientation and leads to a sufficient exposure of these herniated discs. The risks of residual or recurrent disc herniations and postoperative instability are low. In the long-term follow-up, the approach enabled a satisfactory neurological recovery and Quality of Life.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Axiale Darstellung und exemplarische MRT-Bilder: A (orange): mediolateraler, B (grün): intraforaminaler, C (gelb): intra-/extraforaminaler, D (blau): extraforaminaler Bandscheibenvorfall	12
Abb. 2	LWK 3 bis LWK 5 von dorsal mit Darstellung der erweiterten interlaminären Fensterung (blau), des translaminären Zugangs (gelb), des posterolateralen, transmuskulären Zugangs (grün). Die Bandscheiben sind gestrichelt dargestellt	16
Abb. 3	Knie-Ellenbogen-Lagerung	18
Abb. 4	Röntgenkontrolle mit dem C-Bogen, Spinalkanülen (rot) markieren die Unterkante des Pedikels LWK 4 und das Bandscheibenfach LWK 4/5	19
Abb. 5	A: Darstellung des Zugangs über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Gestrichelter Ausschnitt wird im Folgenden detailliert dargestellt. Rot: Zugang im Bereich der Pars interarticularis. Gelb: austretende Nervenwurzel im Neuroforamen. Grau: Sequester.	19
Abb. 6	B: Darstellung des lateralen Randes des Isthmus. C: Ausdünnen der Pars interarticularis mit der High-speed-Fräse und Stanzen bis das Ligamentum flavum sichtbar ist	20
Abb. 7	D: Nach Entfernung des Ligamentum flavum stellt sich in der Tiefe die Nervenwurzel dar, welche durch einen nach kranio-lateral luxierten Sequester bedrängt wird. E: Nach vollständiger Entfernung des Sequesters stellt sich die Nervenwurzel befreit dar	20
Abb. 8	Visuelle Analogskala	25
Abb. 9	Vergleich der prä- und postoperativen Paresegrade, * $p < 0,001$	33
Abb. 10	Vergleich der prä- und postoperativen VAS Rücken, * $p < 0,001$	36
Abb. 11	Vergleich der prä- und postoperativen VAS Bein, * $p < 0,001$	37
Abb. 12	Vergleich der von uns erhobenen Daten KSK Studie mit den KSK Werten der deutschen Normstichprobe Gesamtbevölkerung, Altersgruppe 61-70 und der Gruppe mit Rückenschmerzen, Ischias und Bandscheibenschaden aus 1994.	42
Abb. 13	Vergleich der von uns erhobenen Daten KSK Studie mit den KSK Werten der deutschen Normstichprobe Gesamtbevölkerung, Altersgruppe 61-70 und der Gruppe mit Rückenschmerzen, Ischias und Bandscheibenschaden aus 1994.	42
Abb. 14	Korrelation der KSK Werte der Studie mit den ODI Werten der Studie: hohe KSK Werte korrelierten mit niedrigen ODI Werten, wohingegen niedrige KSK Werte mit hohen ODI Werte korrelierten, $p < 0,001$	43
Abb. 15	Korrelation der PSK Werte der Studie mit den ODI Werten der Studie: hohe PSK Werte korrelierten mit niedrigen ODI Werten, wohingegen niedrige PSK Werte mit hohen ODI Werte korrelierten, $p = 0,045$	44
Abb. 16	Vergleich der prozentualen Verteilung der betroffenen Segmente, schwarz: in der Literatur, siehe Tab. 2, grau: in unserer Patientenkohorte	47

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Einteilung der Lokalisation der Bandscheibenvorfälle	11
Tab. 2	Verteilung der Segmentlokalisierung intra-/extraforaminaler Bandscheibenvorfälle in der Literatur	13
Tab. 3	Gewichtsverteilung der Patient:innen	29
Tab. 4	Verteilung der betroffenen Segmente in unserer Patientenkohorte	31
Tab. 5	Kraftgrade nach Janda	32
Tab. 6	Diagnosen der Reoperationen	35
Tab. 7	Prozentuale Verteilung der Patient:innen bei dem ODI	38
Tab. 8	Vergleich der Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscores der Gesamtstichprobe der deutschen Normalbevölkerung von 1994	39
Tab. 9	Vergleich der von uns erhobenen Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscores der deutschen Normstichprobe 1994: Männer & Frauen; Altersgruppe 6 (61-70 Jahre)	40
Tab. 10	Vergleich der von uns erhobenen Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscores der deutschen Normstichprobe 1994: Patienten mit Rückenschmerzen, Ischias, Bandscheiben-schaden	41
Tab. 11	Zusammenfassung der Fälle mit sekundärer Spondylodese. FS= Foramenstenose, NPP= Nucleus pulposus Prolaps, ie= intra-/extraforaminal, i= intraforaminal	51

# 1. Einleitung

## 1.1 Bandscheibenvorfall allgemein

### 1.1.1 Definition und Epidemiologie

Ein Bandscheibenvorfall oder -prolaps bezeichnet das Austreten von Teilen des Nucleus pulposus durch den Anulus fibrosus. Im Gegensatz zur Bandscheibenprotrusion besteht bei einem -prolaps eine ganze oder teilweise Unterbrechung der Faserkontinuität des Anulus fibrosus, während das hintere Längsband intakt bleiben kann. Ein freier Sequester besteht, wenn das prolabierte Bandscheibenmaterial seinen Kontakt zur Donorbandscheibe verloren hat.

In den meisten Fällen liegt einem Bandscheibenprolaps eine Degeneration des Bandscheibengewebes zugrunde, eine rein traumatische Genese ist sehr selten. Die Degeneration der Bandscheibe wird durch segmentale Belastung und verminderten Stoffaustausch des bradytrophen Bandscheibengewebes bedingt. Ab dem 20. Lebensjahr kommt es zu einer Rückbildung der Gefäßversorgung der Bandscheibe, zu einer Abnahme des Flüssigkeitsgehalts und Umstrukturierung der kollagenen Fasern. In der 2. bis 6. Dekade kommt es infolge des degenerativen Alterungsprozesses zu Radiärrissen des Anulus fibrosus, die eine Verlagerung des Nucleus pulposus begünstigen [82]. Zu den Risikofaktoren, welche den degenerativen Alterungsprozess verstärken oder beschleunigen können, zählen neben genetischer Prädisposition Übergewicht, mangelnde Bewegung, erhöhte biomechanische Belastung und durchblutungskompromittierende Faktoren wie Diabetes mellitus und Nikotinabusus.

Etwa 60% der Bandscheibenvorfälle finden sich im Bereich der Lendenwirbelsäule, vor allen in den Segmenten LWK 4/5 und LWK 5/SWK 1 (zusammen 90%), gefolgt von ca. 35% im Bereich der Halswirbelsäule. Im Bereich der Brustwirbelsäule sind Bandscheibenvorfälle mit ca. 2% selten [47]. Die Jahresprävalenz des lumbalen Bandscheibenvorfalls liegt in den G7-Ländern zwischen 1 und 2,5%. Bei unter 35-Jährigen ist die Lebenszeitprävalenz mit 3,5% relativ niedrig, bei 45- bis 55-Jährigen liegt sie bei 20%. Der Peak liegt zwischen dem 45. und 55. Lebensjahr, Männer sind etwa doppelt so häufig betroffen wie Frauen [68].

Das Krankheitsbild "Bandscheibenvorfall" nimmt einen hohen sozioökonomischen Stellenwert ein. So beträgt die Summe aus direkten und indirekten Krankheitskosten in Deutschland mehr als 20 Mrd. Euro pro Jahr [68]. Im Jahr 2019 erfolgte in Deutschland bei insgesamt mehr als 152 000 Patient:innen (etwas mehr Männer als Frauen) im Rahmen einer spinalen Operation die Kodierung der OPS 5-831 „Exzision von erkranktem Bandscheibengewebe“ [92].

### 1.1.2 Symptome

Ein Bandscheibenprolaps führt nicht immer zu Symptomen, so bestehen bei ca. 30% der von einem Bandscheibenvorfall betroffenen Menschen keine Schmerzen oder sonstige radikuläre

Symptome [82]. Im symptomatischen Verlauf zeigt sich durch die Überdehnung und Reizung des hinteren Längsbandes oder aufgrund der Höhenminderung des Bandscheibenfaches und resultierender Belastung der Facettengelenke ein oft tiefsitzender Rückenschmerz. Besteht eine Kompression im Bereich einer Nervenwurzel, kann dies zu einer Radikulopathie führen. Der lumbale Bandscheibenvorfall ist der häufigste Grund für eine Radikulopathie mit ausstrahlenden Schmerzen und ggf. sensomotorischen Defiziten. Der radikuläre Schmerz ist definiert als ein „durch Affektion eines Spinalnerven hervorgerufener Schmerz im Versorgungsgebiet des korrespondierenden Dermatoms“ [79]. Sensible Defizite im jeweiligen Dermatome treten in ca. 45% und motorische Defizite der Kennmuskeln in ca. 28% der Patient:innen auf [79].

### 1.1.3 Diagnostik

Eine gezielte Anamnese, die klinisch-neurologische Untersuchung und bildgebende Verfahren führen zur Diagnosestellung. Die Magnetresonanztomographie gilt aufgrund ihrer hohen Genauigkeit, ihrer fehlenden Strahlenexposition und Invasivität als Verfahren der Wahl für die Diagnose von Bandscheibenvorfällen. Alternativ kommen Computertomographie und, in Ausnahmefällen, Myelographie zum Einsatz [37].

### 1.1.4 Klassifikation

Bandscheibenvorfälle können nach ihrer Lokalisation in Bezug zum Spinalkanal eingeteilt werden. So unterscheidet man zwischen intraspinalen und extraspinalen Vorfällen. Intraspinale Vorfälle liegen im Spinalkanal und werden nach der axialen Bildgebung weiter unterteilt in medial oder mediolateral gelegene Vorfälle. Extraspinale Bandscheibenvorfälle liegen außerhalb des Spinalkanals und werden nach der axialen Bildgebung auch als laterale Vorfälle bezeichnet. Diese lateralen Bandscheibenvorfälle werden weiter unterteilt entsprechend ihrer Lage zum Neuroforamen. Das Neuroforamen erstreckt sich zwischen dem medialen und dem lateralen Rand des Pedikels. Intraforaminale Bandscheibenvorfälle liegen zwischen dem medialen und lateralen Rand des Pedikels, intra-/extraforaminale Bandscheibenvorfälle liegen sowohl auf Höhe des Pedikels als auch lateral davon und extraforaminale Vorfälle liegen lateral des lateralen Randes des Pedikels (Tab.1 und Abb.1).

Lage zum Spinalkanal	Lage in der axialen Schicht	Lage zum Neuroforamen	Definition
intraspinal	medial		
	mediolateral		
extraspinal	lateral	intraforaminal	zw. medialen und lateralen Pedikelrand
		intra-/extraforaminal	auf Pedikelhöhe und lateral davon
		extraforaminal	lateral des lateralen Pedikelrandes

Tab. 1: Einteilung der Lokalisation der Bandscheibenvorfälle

Aufgrund der zahlreichen, vor allem im englischen Sprachgebrauch, oft nicht simultan verwendeten Begriffe für die Lagebeziehungen der Bandscheibenvorfälle zu den umgebenden Strukturen, publizierte die Combined Task Force der North American Spine Society, der American Society of Spine Radiology und der American Society of Neuroradiology 2014 eine neue Vereinheitlichung der Nomenklatur [26]. Diese Einteilung ist die derzeit gebräuchlichste und wird im Rahmen der Studie als lokalisatorische Klassifikation verwendet [5, 52, 94].

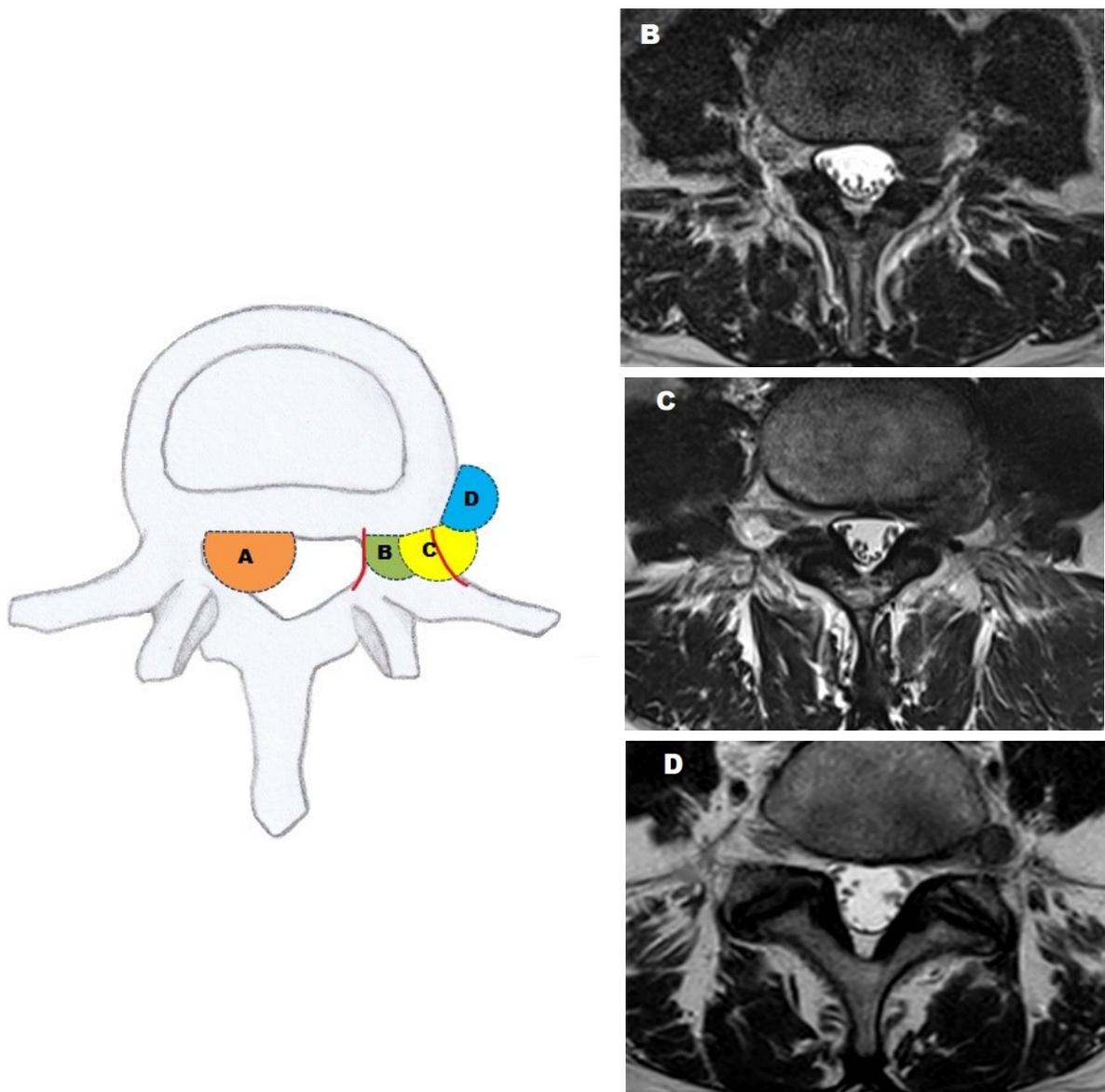


Abb. 1: Axiale Darstellung und exemplarische MRT-Bilder: A (orange): mediolateraler, B (grün): intraforaminaler, C (gelb): intra-/extraforaminaler, D (blau): extraforaminaler Bandscheibenvorfall

## 1.2 Intra- und/oder extraforaminale Bandscheibenvorfälle

### 1.2.1 Epidemiologie

1974 beschreibt Abdullah erstmals die Entität der lateralen Bandscheibenvorfälle [1]. In verschiedenen chirurgischen und radiologischen Studien liegt deren Anteil an der Gesamtinzidenz zwischen 0,7 und 12% [2, 4, 22, 43, 52]. Siebner et al. fanden 1990 in einer großen Patientenkohorte von 694 Patient:innen mit lumbalen Bandscheibenvorfälle bei 3% der Patient:innen intraforaminale und bei 4% extraforaminale Bandscheibenvorfälle [90]. Nach Epstein et al. und Kotil et al. liegen auch ca. 4% intra- und extraforaminal [22, 46].

Intra-/extraforaminale Bandscheibenvorfälle treten mit einer Häufigkeit von ca. 45% im Segment LWK 4/5 auf, gefolgt von den Segmenten LWK 3/4 und LWK 5/SWK 1 mit jeweils ca. 25%. Die Segmente LWK 1/2 und LWK 2/3 sind zusammengenommen in ca. 5% der Fälle betroffen (Tab. 2).

Studie	LWK 1/2	LWK 2/3	LWK 3/4	LWK 4/5	LWK 5/SWK1	Fallzahl
Bae et al., J Korean Neurosurg Soc. 2016	0	4	23	86	121	234
Porchet et al., Neurosurg., 1999	1	9	48	86	58	202
Epstein et al., Spine, 1993	2	4	63	68	33	170
Abdullah et al., Neurosurgery, 1988	1	11	35	82	9	138
Marquardt et al., Eur Spine J, 2012	0	5	46	56	31	138
Yüce et al., J NS A Cent Eur Neurosurg, 2021	0	11	35	44	17	107
Papavero et al., Neurosurg., 2008	0	7	23	46	28	104
Miller et al., SAS J, 2011	1	3	26	39	31	100
Frankenhauser et al., Br J Neurosurg. 1987	0	1	17	36	41	95
Lejeune et al., Spine, 1994	1	2	8	43	29	83
Hassler et al., Acta Neurochir (Wien), 1996	0	1	20	38	14	73
Osborn et al., AJNR, 1988	0	6	17	19	8	50
Epimenio et al., J Spinal Disord Tech. 2003	0	0	18	22	6	46
Postacchini et al., J Bone Joint Surg Br. 1998	0	4	12	24	3	43
Garrido et al., Neurosurg 1991	0	1	10	17	13	41
Zindrick et al. Lumbar Spine Surg, 1987	0	0	7	25	7	39
Salame et al., Acta Neurochir (Wien), 2001	0	1	17	7	6	31
Soldner et al., Acta Neurochir (Wien), 2002	0	2	8	17	3	30
Donaldson et al., Spine 1993	0	1	9	17	2	29
Di Lorenzo et al., Neurosurgery. 1998	0	4	8	12	4	28
Maroon et al., J Neurosurg, 1990	0	0	7	12	6	25
Darden et al., Spine, 1995	0	2	6	13	4	25
Bernucci et al., Spine 2007	0	6	6	10	2	24
Park et al., Korean Spine J, 2013	0	2	3	9	6	20
Vogelsang et al., Zentralbl Neurochir., 2007	0	0	5	8	2	15
<b>totals</b>	<b>6 (0,3%)</b>	<b>87 (4,6%)</b>	<b>477 (25,3%)</b>	<b>836 (44,2%)</b>	<b>484 (25,6%)</b>	<b>1890 (100%)</b>

Tab. 2: Verteilung der Segmentlokalisierung intra-/extraforaminaler Bandscheibenvorfälle in der Literatur

## 1.2.2 Symptome

Ein intraspinaler Bandscheibenprolaps betrifft die im Segment auf Höhe der Bandscheibe den Duralsack verlassende Nervenwurzel, während ein intra- und/oder extraforaminaler Bandscheibenprolaps die Nervenwurzel betrifft, welche im Segment den Spinalkanal verlässt. Das Neuroforamen, durch welches die Nervenwurzel hindurchtritt, ist etwas kranial der Bandscheibe lokalisiert. Die klinischen Symptome korrelieren mit der Kompression der austretenden Nervenwurzel und des Spinalganglions. So zeigt sich bei einem intra- oder extraforaminalen Bandscheibenvorfall auf Höhe LWK 4/5 eine L4-Klinik. Ein intraspinaler Bandscheibenvorfall auf der gleichen Höhe betrifft die Nervenwurzel L5. Ein intra- oder extraforaminaler Bandscheibenvorfall auf Höhe LWK 5/SWK1 betrifft die im Neuroforamen bis extraforaminal verlaufende L5-Wurzel [22]. Da die Nervenwurzel im Neuroforamen wenig Platz zum Ausweichen hat und das Spinalganglion oft direkt komprimiert wird, verursachen intra- und/oder extraforaminale Bandscheibenvorfälle oft starke radikuläre Schmerzen [66, 98].

Neurologische Defizite mit motorischen oder sensiblen Ausfällen und erloschenen Reflexen treten bei ca. 75% aller Patient:innen mit intra- und/oder extraforaminalem Bandscheibenprolaps auf [22]. Die Symptomatik wird aggraviert durch die direkte Kompression des Spinalganglions, welches von Weinstein als "Gehirn des Bewegungssegmentes der Wirbelsäule" beschrieben wird [98]. Ein positives Lasègue- Zeichen ist bei lateralen Bandscheibenvorfällen im Allgemeinen seltener mit einer Inzidenz von 10% bis 53 % [13, 30, 32, 38, 40].

## 1.3 Therapieoptionen des Bandscheibenvorfalls

### 1.3.1 Konservative Therapie

Die initiale Behandlung des lumbalen Bandscheibenvorfalls ist in der Regel eine Domäne der konservativen Therapie. Diese umfasst in der akuten Schmerzphase Stufenbettlagerung, analgetische und antiphlogistische Medikation in Anlehnung an das WHO-Stufenschema und ggf. eine systemische oder lokale Steroidtherapie [85]. Periradikuläre Infiltrationen (PRT) mit Lokalanästhetika und Kortikosteroiden können sowohl diagnostisch als auch therapeutisch nützlich sein. Diese Behandlung kann dazu beitragen zum einen die schmerzverursachende Nervenwurzel zu identifizieren, zum anderen Schmerzen zu lindern, Nervenreizungen zu reduzieren und die lokale Perfusion zu verbessern [86]. Nach Besserung der akuten Schmerzsituation, sollten physiotherapeutische Maßnahmen und Verhaltenstherapie Teil des konservativen Behandlungsplans sein. Bei ca. 60% der Patient:innen bewirkt die konservative Therapie eine rasche Besserung der Beschwerden. 70 bis 90% der lumbalen Bandscheibenvorfälle sprechen innerhalb eines Jahres gut auf eine konservative Therapie an [84].

### 1.3.2 Operative Therapie

Die Frage der Überlegenheit eines operativen Vorgehens gegenüber einer konservativen Therapie ist in der Literatur nicht vollumfassend geklärt. Studien zeigen, dass sich die guten Outcome-Ergebnisse der operierten Patient:innen bzgl. Schmerzreduktion, verbesserter Funktion und Zufriedenheit im mittel- und längerfristigen Verlauf an die Ergebnisse nach konservativer Therapie anpassen, wobei jedoch häufig ein Wechsel des initial konservativ therapierten Patient:innen in die operative Gruppe vorliegt [66]. Lequin et al. zeigten in ihrer Vergleichsstudie der operativen vs. konservativen Therapie nach 5 Jahren, dass Patient:innen mit fortbestehenden Symptomen ein schlechteres Ergebnis erzielen, wenn die Operation erst verzögert durchgeführt wurde [50]. Petr et al. beschrieben eine bessere Erholung von Patient:innen mit höhergradiger Lähmung ab Kraftgrad 3/5 nach Operation [74]. Thomé et al. stellten fest, dass die Erholungsraten von Paresen erheblich von dem Schweregrad beeinflusst werden und empfahlen somit die operative Therapie innerhalb von 3 Tagen nach Auftreten von höher- (KG 3/5) und hochgradigen Paresen (KG  $\leq$  2/5), um bestmöglich eine vollständige Erholung der Kraft zu gewährleisten. Bei leichtgradiger Parese (KG 4/5) sollte die operative Therapie innerhalb von 8 Tagen erfolgen [96].

Die S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Neurologie zur lumbalen Radikulopathie definiert relative und absolute Operationsindikationen. Eine relative Operationsindikation ergibt sich laut Leitlinie bei „therapierefraktären oder progredienten radikulären Schmerzen bei zur Klinik passender bildmorphologisch gesicherter Wurzelkompression trotz ausgeschöpfter konservativer Therapie über einen Zeitraum von 6-12 Wochen.“ Absolute Indikationen für eine Operation bestehen bei „Vorliegen eines Conus- oder Cauda-Syndroms mit akuter Paraparese, Blasen- und Mastdarmlähmungen oder progredienten und akut aufgetretenen schweren, funktionell relevanten motorischen Ausfälle (schlechter als KG 3/5)“ [85].

## 1.4 Operationstechniken intra- und/ oder extraforaminaler Bandscheibenvorfälle

Die intra- oder extraspinale Lokalisation des Bandscheibenvorfalles bestimmt sowohl die Symptomatik je nach betroffener Nervenwurzel als auch die Wahl der Operationstechnik. Für die operative Therapie der extraspinalen Bandscheibenvorfälle wurden mehrere chirurgische Techniken beschrieben und untersucht. Die chirurgische Exposition und Resektion dieser Bandscheibenvorfälle ist durch deren anatomische Beziehung lateral, bzw. ventrolateral des Facettengelenks technisch anspruchsvoll.

Die seit der Erstbeschreibung der Entität der extraspinalen Bandscheibenvorfälle durch Abdullah [1] verwendeten Operationstechniken umfassen als meistverwendete Zugänge (Abb. 2):

- die erweiterte interlaminäre Fensterung
- den posterolateralen transmuskulären Zugang
- die translaminäre Fensterung
- die laterale Fensterung der Pars interarticularis.

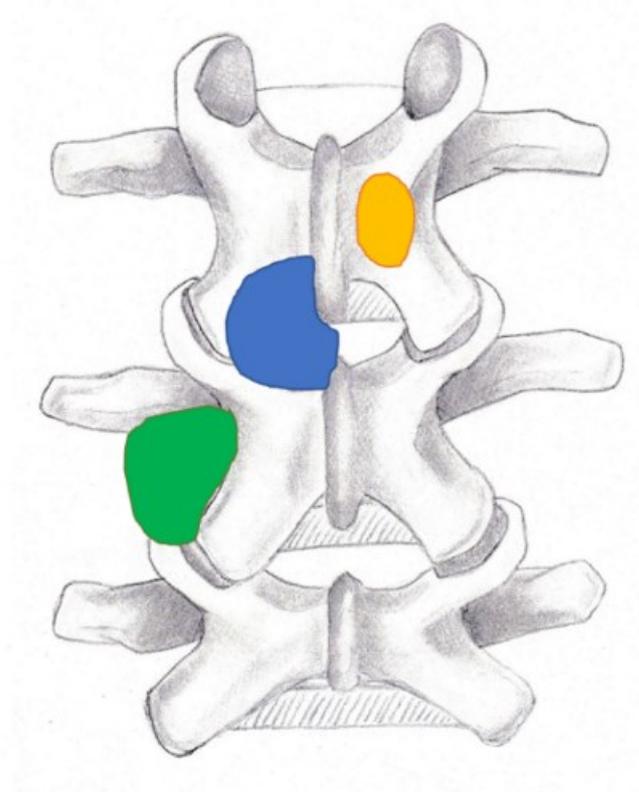


Abb. 2: LWK 3 bis LWK 5 von dorsal mit Darstellung der erweiterten interlaminären Fensterung (blau), des translaminären Zugangs (gelb), des posterolateralen, transmuskulären Zugangs (grün). Die Bandscheiben sind gestrichelt dargestellt.

### 1.4.1 Erweiterte interlaminäre Fensterung

Initial wurden extraspinale Bandscheibenvorfälle in der Regel über eine erweiterte interlaminäre Fensterung zwischen den Wirbelbögen via Mittellinienschnitt entfernt. In den meisten Fällen musste zur suffizienten Dekompression der Nervenwurzel die Basis des Processus articularis inferior entfernt werden, was in einer medialen oder vollständigen Facettektomie resultieren kann [1, 2, 20, 21, 27, 38, 39, 57, 60, 62, 65, 71].

### 1.4.2 Posterolateraler transmuskulärer Zugang

Der posterolaterale transmuskuläre Zugang war ursprünglich von Wiltse et al. für die lumbale Arthrodesis entwickelt worden [100]. Recoules-Arche berichtete 1985 über seine Erfahrungen mit dem transmuskulären Zugang für die chirurgische Behandlung foraminale und extraforaminale Bandscheibenvorfälle [78]. 1988 publizierte Wiltse die überarbeitete Version seines Zugangs [101], welcher im Verlauf in vielen Studien zur operativen Therapie extraforaminale Bandscheibenvorfälle verwendet wurde [13, 16, 19, 20, 21, 27, 48, 57, 62, 65, 66, 95].

Durch die Spaltung der Mm. longissimus und multifidus wird die intertransversale Region freigelegt. Dieser Zugang stellt Processus transversus, Ligamentum intertransversum, Isthmus und Facettengelenk und die Extraforaminalregion von lateral kommend dar. Bei Vorliegen intra- und extraforaminaler Bandscheibenvorfälle wird der kombinierte Zugang von posterolateral und interlaminär ebenfalls in mehreren Studien verwendet [33, 39, 71, 72].

### 1.4.3 Translaminäre Fensterung

Di Lorenzo führte 1998 die translaminäre Fensterung im Bereich des Halbbogens, mediokraniel angrenzend an das Facettengelenk, ein [17]. Zielbereich sind Bandscheibenvorfälle, die im lateralen Spinalkanal und insbesondere im Forameneingangs- oder intraforaminalen Abschnitt lokalisiert sind. Zur Entdachung dorsal des Bandscheibenvorfalles wird eine eiförmige Fensterung von ca. 10 x 5 mm im Bereich des Halbbogens medial und leicht kaudal unter der lateralen Isthmuskerbe gefräst [17]. Diese Technik benötigt nur eine geringe Knochenresektion und bewahrt in der Regel die Stabilität des Facettengelenks, wobei insbesondere weiter intraforaminal oder bis extraforaminal reichende Vorfälle ohne eine weiter nach lateral, d.h. artikulär reichende ossäre Resektion häufig nur schwer visualisiert, bzw. mobilisiert werden können [10, 16, 17, 35, 72, 61].

### 1.4.4 Laterale Fensterung der Pars interarticularis

Erstmals beschrieb Scoville 1966 den Zugang zum Spinalganglion über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Er verwendete diesen Zugang zur Rhizotomie dorsaler Spinalnerven [89]. 1976 griffen Osgood et al. diesen Zugang zur mikrochirurgischen lumbosakralen Ganglionektomie wieder auf [69]. Im Zeitraum von 1983 bis 1987 haben Ebling et al. [18], Frankenhauser et al. [25] und Recoules-Arche et al. [78] den Zugang separat voneinander erstmals für die Entfernung extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle verwendet. 1998 stellte Benini diesen Zugang zur Entfernung intra- und extraforaminal gelegener Bandscheibenvorfälle in detaillierten Arbeitsschritten vor [8]. Er beschreibt einen Mittellinienschnitt, um die Identifikation und Visualisierung des lateralen Isthmusrandes als Markierungslinie zur exakten Freilegung der Nervenwurzel zu erleichtern. Die paramediane Muskulatur wird unter Erhalt und Schonung der Muskelbäuche von den Dornfortsätzen abgelöst, so dass die Gefahr der Muskelatrophie minimiert wird [5, 6, 94, 99]. Die auf den Mittellinienschnitt folgende Präparation nach lateral stellt das intervertebrale Kompartiment und die Pars interarticularis dar. Der Isthmus wird von lateral eingekerbt, so erreicht man eine gezielte Darstellung des extraspinalen Endes des Neuroforamens und damit des intra- und extraforaminal prolabierte Bandscheibenmaterials, der Nervenwurzel und des Spinalganglions unter Erhalt des Facettengelenkes. Al-Khawaja et al. griffen diese Technik 2016 auf und beschrieben eine „Safe Zone“ im Bereich des lateralen Isthmus, in welcher die Fensterung mittels High-speed-Fräse erfolgen kann. In dieser Zone der Pars interarticularis sind sowohl die Verletzungsgefahr der darunter liegenden Nervenwurzel als auch die Frakturgefahr des Isthmus minimiert [5].

#### 1.4.4.1 Operationsschritte des Zugangs über die laterale Fensterung der Pars interarticularis

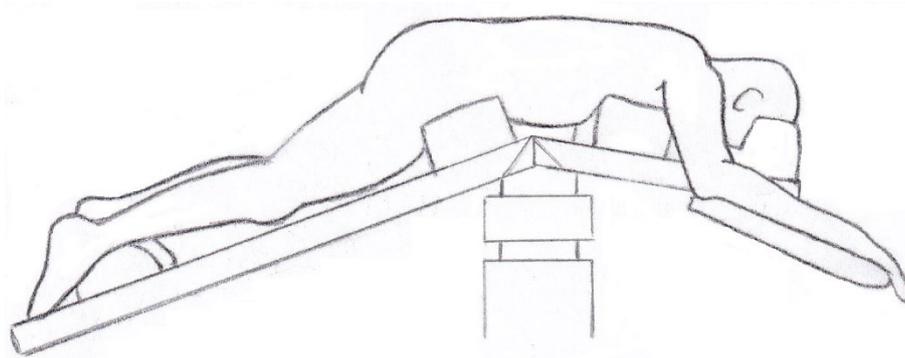


Abb. 3. Knie-Ellenbogen-Lagerung

Zur Entlordosierung der Lendenwirbelsäule erfolgt die Lagerung in der Knie-Ellenbogen- oder Heidelberger-Lagerung (Abb. 3). Bei der Knie-Ellenbogen-Lagerung wird der Patient zunächst auf dem Lagerungstisch in Rückenlage intubiert, bevor er auf den Operationstisch in Bauchlage gedreht wird. Beckengürtel und oberer Thorax werden durch ein Becken- bzw. Thoraxkissen unterpolstert, damit das Abdomen freiliegt. Die Hüftgelenke werden bis zu einem Winkel von  $110^\circ$  bis  $120^\circ$  gebeugt. Die Ellenbogen des Patienten werden auf Armstützen in Pronationsstellung gelegt und die Schultergelenke möglichst  $70^\circ$  bis  $90^\circ$  abduziert. Für den Kopf bietet sich entweder Neutral-Null-Stellung oder Kopfseitenlage an. Die Hyperextension der HWS ist zu vermeiden, sowie auf Druckentlastung von Ohren, Augen und Nase zu achten.

Es folgen die Hautdesinfektion, die Höhenlokalisierung mittels C-Bogen und Spinalkanülen, das Einzeichnen der Schnitfführung und, nach erneuter Hautdesinfektion, das sterile Abdecken des Operations-Gebietes. Präoperatives konsiliarisches Gespräch mit dem Anästhesisten, Team Time Out.

Nun folgen die Hautinzision, Präparation bis zur Fascia thorakolumbalis, Eröffnen der Faszie und Abpräparation der autochthonen Rückenmuskulatur. Die Präparation der autochthonen Rückenmuskulatur muss im Vergleich zur Präparation für eine interlaminäre Fensterung weiter nach lateral erfolgen, um den lateralen Rand des Isthmus, hier von LWK 4, suffizient darzustellen. Man orientiert sich sowohl am Gelenk LWK 3/4 als auch am Gelenk LWK 4/5; der Isthmus des vierten Lendenwirbels liegt dazwischen. Es folgt das Einsetzen des Spekulum, bzw. Muskelretraktors, wobei sich ein längerer Gegensperrer bewährt hat (Abb. 5).

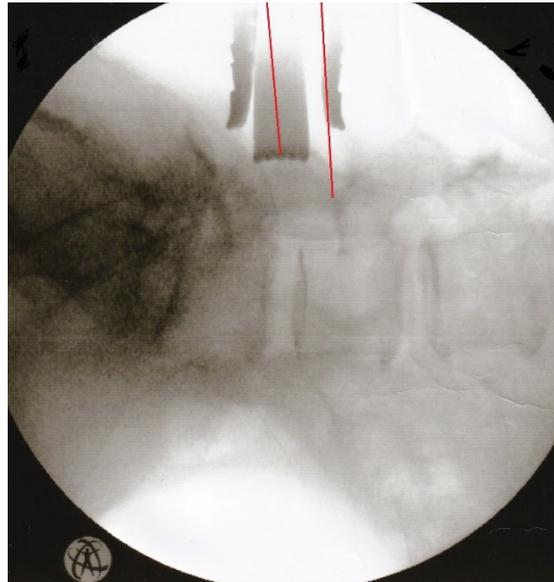


Abb. 4. Röntgenkontrolle mit dem C-Bogen, Spinalkanülen (rot) markieren die Unterkante des Pedikels LWK 4 und das Bandscheibenfach LWK 4/5

Nochmalige Röntgenkontrolle mit dem C-Bogen und Dokumentation desselbigen. In diesem Bereich sind das Neuroforamen und der Bandscheibenvorfall lokalisiert (Abb.4).

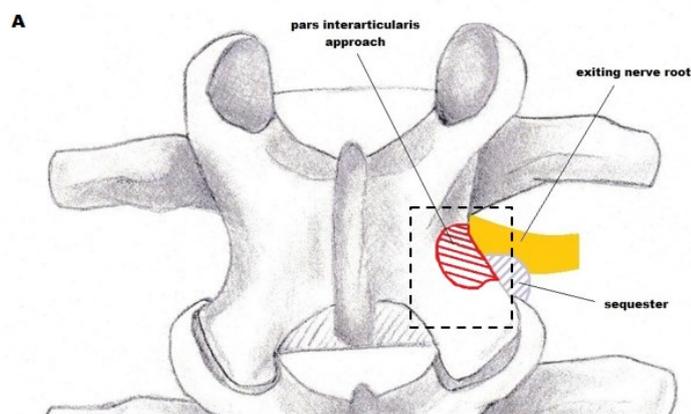


Abb. 5. A: Darstellung des Zugangs über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Gestrichelter Ausschnitt wird im Folgenden detailliert dargestellt. Rot: Zugang im Bereich der Pars interarticularis. Gelb: austretende Nervenwurzel im Neuroforamen. Grau: Sequester.

Nach Einschwenken des Mikroskops zeigt sich der Halbbogen LWK 4 und der laterale Rand des Isthmus. Nun wird mit einer Fräse die Pars interarticularis ausgedünnt, schließlich kann mit einer Kerrison-Stanze eingegangen und der Knochen entfernt werden. Es wird bis zum Ansatz des Ligamentum flavum präpariert, ohne das Facettengelenk LWK 4/5 zu verletzen (Abb. 6 B und C).

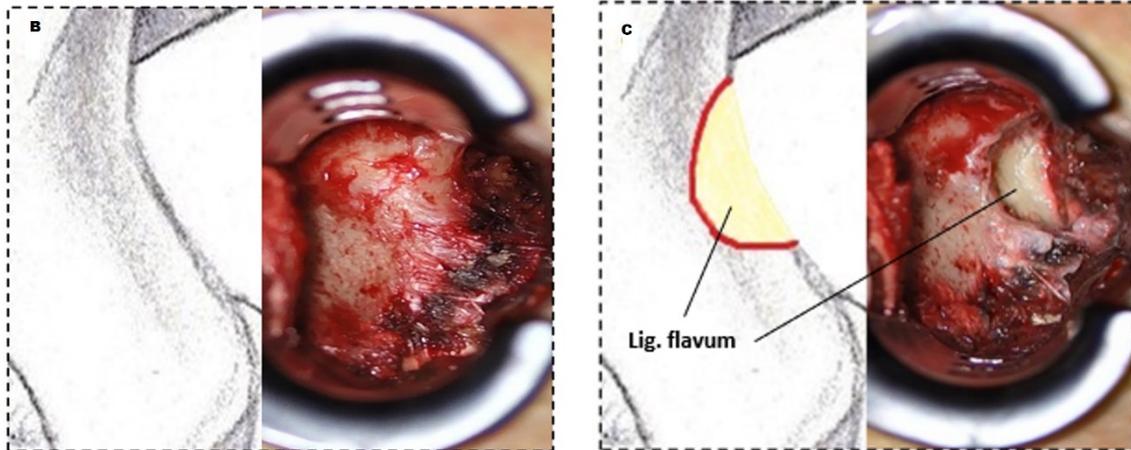


Abb. 6. B: Darstellung des lateralen Randes des Isthmus. C: Ausdünnen der Pars interarticularis mit der High-speed-Fräse und Stanzen bis das Ligamentum flavum sichtbar ist.

Im Anschluss wird nach lateral im Wurzelverlauf entlang das Flavum entfernt. Der Pedikel kann mit einem Häkchen getastet und dargestellt werden. Es zeigt sich in der Tiefe die Nervenwurzel, diese ist meist nach kranial disloziert durch den in der Regel auf Höhe der Bandscheibe oder nach kranial sequestrierten Bandscheibenvorfall. Auf das nahegelegene Spinalganglion muss besonders geachtet werden. Die Nervenwurzel und das Ganglion werden im intervertebralen Kompartiment ggf. zusätzlich mittels Wurzelhaken geschützt und leicht nach kranio-lateral verschoben, so dass der Bandscheibenvorfall zur Darstellung kommt. In der Mehrzahl der Fälle liegt der Sequester medial des Ganglions. Die Membran kann mit einem Bandscheibenmesserchen geöffnet werden, um die Bandscheibenfragmente schließlich mit einem Häkchen zu mobilisieren und mithilfe kleiner Rongeurzangen zu entfernen. Es erfolgt die vollständige Neurolyse der Nervenwurzel (Abb. 7 D und E).

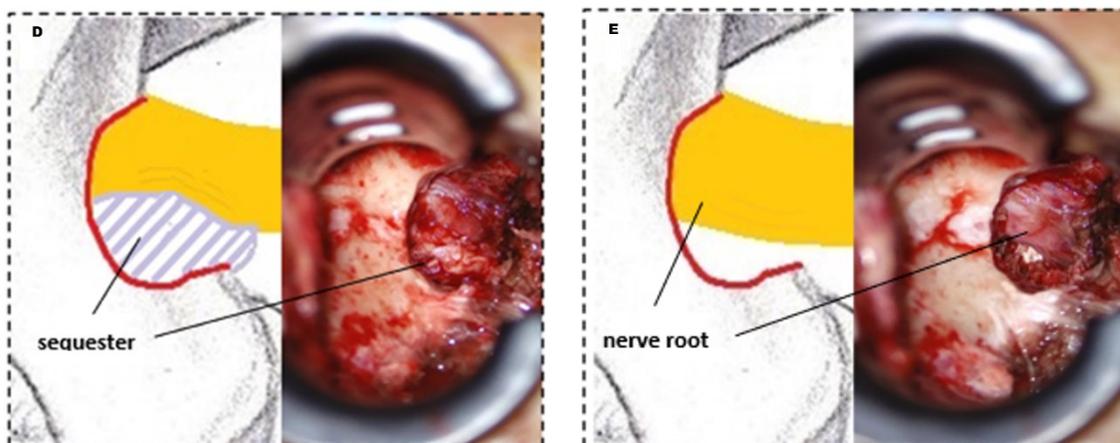


Abb. 7. D: Nach Entfernung des Ligamentum flavum stellt sich in der Tiefe die Nervenwurzel dar, welche durch einen nach kranio-lateral luxierten Sequester bedrängt wird. E: Nach vollständiger Entfernung des Sequesters stellt sich die Nervenwurzel befreit dar.

Nach Entfernung des komprimierenden Sequesters können Blutungen aus den epiduralen Venen auftreten. Diese müssen sorgfältig gestillt werden. Bei Bluttrockenheit können eine Flavum-Plastik mit Fett aus dem Zugangsbereich aufgebracht oder im Fensterungsdefekt ein Gelatineschwämmchen eingebracht werden, ggf. kann die Einlage einer Drainage vor dem schichtweisen Wundverschluss erforderlich sein.

## 2. Ziel der Studie

Nach unserer Erfahrung und den bisher sehr wenigen in der Literatur beschriebenen Anwendungsbeobachtungen ermöglicht der operative Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis in der "Safe Zone" eine gute Exposition intra-, intra-/extra- und extraforaminaler Bandscheibenvorfälle, welche unter direkter Sicht ohne übermäßige Manipulation des Spinalganglions entfernt werden können.

Nur wenige Studien befassen sich bisher mit dem Outcome nach dem Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. In der Studie von Benini 1998 wurden 342 Patient:innen von 1986 bis 1993 mit diesem Zugang operiert. 302 Patient:innen wurden mit einem Follow-up von 14 bis 108 Monaten erfasst. Indikationen für Reoperationen (n=18) waren die primäre Operation des falschen Segmentes (3), Hernien mediolateral im gleichen Segment (6), echte Rezidivhernien (7) und Spondylodesen (2) [8]. Al-Khawaja beschrieb 2016 den Zugang bei 16 Patient:innen, ein Follow-up wurde nicht durchgeführt [5].

Ziel unserer retrospektiven Studie war die systematische Analyse einer Patientenkohorte mit der operativen Therapie eines intra-, intra-/extraforaminalen oder extraforaminalen lumbalen Bandscheibenvorfalles über den Zugang über den lateralen Teil der Pars interarticularis. Hierzu sollen folgende Parameter erfasst werden:

- Gewinnung epidemiologischer und klinischer Daten der Studienkohorte
- Erfassung und Kategorisierung der präoperativen bildgebenden Befunde
- Erfassung des prä- und postoperativen neurologischen Status und der Entwicklung des Schmerzsyndroms
- OP-bedingte Komplikationen und Reoperationen im gleichen Segment
- Erhebung des postoperativen Langzeitverlaufs, der Lebensqualität, der Alltagskompetenz und der schmerzbedingten Einschränkungen inkl. funktioneller Scores (u.a. Short-Form 36v2, Oswestry Disability Index [ODI], Visuelle Analogskala [VAS]) durch Telefoninterviews/ Fragebögen und / oder einer klinisch- körperlichen Untersuchung im Rahmen einer routinemäßig anstehenden, postoperativen Nachsorgeuntersuchung nach expliziter Einverständniserklärung des jeweiligen Patienten/Probanden.

Ziel der Studie war die Erfassung des postoperativen klinischen Verlaufs nach Dekompression einer lumbalen Nervenwurzel über die laterale Fensterung der Pars interarticularis inklusive der Evaluation von Einschränkungen im Alltag und Lebensqualität im long-term Outcome. Zusätzlich sollte die Frage geklärt werden, ob sich in unserer Patientenkohorte korrelierende Risikofaktoren für ein schlechtes Outcome und Reoperationen definieren lassen.

## 3. Material und Methoden

Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität vorgelegt und von ihr genehmigt (Projekt- Nr.: 21-0876).

### 3.1 Patienten

Das Studiendesign ist retrospektiv. Es handelt sich um eine monozentrische Studie. Die Analyse umfasst Datensätze von 167 Patient:innen der Praxis Neurochirurgie am Stachus Dr. med. Tanner und Prof. Dr. med. Zausinger, die zwischen März 2012 und November 2021 im Isar Klinikum und der Privatklinik Josephinum in München mittels dieses Zugangs operativ versorgt wurden. Zugrundeliegende Diagnosen waren ein/e intra-, intra-/extra-, oder extraforaminale/r 1) Bandscheibenvorfall, 2) Synovialzyste oder 3) Neuroforamenstenose.

Die Diagnose wurde klinisch gestellt und mittels magnetresonanz- oder (ggf. bei Kontraindikationen) computertomographischer Bildgebung gesichert.

Einschlusskriterien waren Patient:innen mit bildmorphologisch nachgewiesenen o.g. Diagnosen und relativer oder absoluter Operationsindikation, Einverständniserklärung des/der Patient:in zur operativen Therapie und Einwilligungsfähigkeit.

Ausschlusskriterien waren ein fehlender prä- und postoperativer neurologischer Status sowie Bildgebung und ein Alter < 18 Jahre.

### 3.2 Studienablauf

Die retrospektiv eingeschlossenen Patient:innen, die für eine Erhebung des aktuellen postoperativen Langzeitverlaufs und der aktuellen Lebensqualität zur Verfügung standen, wurden vor der pseudonymisierten Datenerfassung explizit aufgeklärt und mussten hierfür ihr Einverständnis erklären; hierzu gaben sie ihre schriftliche Einwilligung im Rahmen der „Patienten-/Probandeninformation und Einwilligungserklärung“ ab.

Aus der praxisinternen Patientendokumentations-Datenbank wurden folgende demographische Daten entnommen: Geschlecht, Alter bei Operation und Body-Mass-Index (BMI). Als Begleiterkrankungen wurde Adipositas Grad I-III, Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, kardiovaskuläre Vorerkrankungen mit antikoagulativer Medikation, Depression und Nikotinabusus erfasst. Voroperationen im gleichen Wirbelsäulensegment bzw. Rezidiv-Operationen wurden ebenfalls dokumentiert. Operationsspezifische Daten umfasste die Symptombdauer in Tagen, die visuelle Analogskala (VAS) präoperativ, die Operationsdiagnose (Bandscheibenvorfall, Synovialzyste oder Neuroforamenstenose), die Lokalisation der Pathologie gemäß der Combined Task Force (intra-, intra-/extraforaminal oder extraforaminal) [26] und die Segmenthöhe. Das Vorliegen einer präoperativen Parese und des Kraftgrades sowie von Sensibilitätsstörungen im entsprechenden

Dermatom wurden dokumentiert. Ergänzend wurde eine präoperativ bestehende Spondylolisthesis (Grad nach Meyerding) festgehalten. Die postoperativen Daten umfassten die Revisions-Operationen aufgrund von Nachblutung, Rezidiven und Instabilität mit der Dauer bis zum Auftreten. Die Patient:innen stellten sich zur regulären postoperativen Kontrolluntersuchung in der Praxis vor nach 1, 6 und 12 postoperativen Wochen. Die Entwicklung der Sensibilitätsstörungen und Paresen mit Kraftgrad im postoperativen Verlauf wurde dokumentiert.

Die Erhebung des postoperativen Langzeitverlaufs und der aktuellen Lebensqualität erfolgte bei anwesenden Patient:innen durch eine klinische-körperliche Untersuchung und mittels standardisierter Fragebögen im Sinne einer postoperativen Langzeit-Outcome Verlaufsanalyse. Die Patient:innen, welche mittels Telefoninterview teilnahmen, erhielten zuvor nach Terminvereinbarung postalisch die Patienten-/Probandeninformation und Einwilligung und die Fragebögen sowie einen frankierten Rückumschlag zugeschickt. Die Fragebögen umfassten die visuelle Analogskala, den Oswestry Disability Index (ODI) und den SF-36-Fragebogen Version 2.

### 3.3 Radiologische Diagnostik

Die bildgebenden Befunde der Patient:innen wurden aus der praxisinternen Bilddokumentations-Datenbank entnommen und ausgewertet. Präoperativ lag von jedem/jeder Patient:in eine radiologische Diagnostik vor, in der Regel eine Magnetresonanztomographie (MRT) oder, bei Kontraindikationen zum MRT, eine Computertomographie. Anhand der sagittalen und axialen Schnittbilder (T2-Wichtung im MRT) erfolgte die Definition der Operationsdiagnose (Bandscheibenvorfall, Synovialzyste oder Neuroforamenstenose), die Lokalisation der Pathologie (intra-, intra-/extraforaminal oder extraforaminal) [26] und die Bestimmung der Segmenthöhe.

Zusätzlich wurde auf das Vorhandensein einer Spondylolisthesis geachtet und diese gemäß der Klassifikation nach Meyerding eingeteilt: Grad 1: unter 25 % Verschiebung, Grad 2: 25–50 % Verschiebung, Grad 3: 50–75 % Verschiebung, Grad 4: über 75% Verschiebung, Grad 5: Spondyloptose. Bei Vorliegen einer Spondylolisthesis wurde eine Röntgenfunktionsaufnahme der LWS ergänzt, um die Stabilität der Wirbelsäule zu beurteilen.

Eine postoperative Bildgebung erfolgte bei persistierenden Restbeschwerden und neu aufgetretenen Symptomen.

### 3.4 Fragebögen

Die folgenden Fragebögen wurden bei der persönlichen Nachuntersuchung oder im Rahmen der Telefoninterviews von dem/der Patient:in ausgefüllt.

#### 3.4.1 Visuelle Analogskala VAS

Scott et al. beschrieben 1976 in ihrer Studie zur graphischen Darstellung von Schmerzempfinden die visuelle Analogskala [88]. Die damit gemessene Schmerzintensität zeigte eine sehr gute Korrelation mit der Schmerzstärke, die durch eine deskriptive Schmerzskala quantifiziert wurde. Die visuellen analogen und grafischen Bewertungsskalen waren empfindlicher als die traditionelle einfache beschreibende Schmerzskala. Die meisten Patienten konnten visuelle analoge und grafische Bewertungsskalen problemlos verwenden, auch beim Erstgebrauch.

Die VAS ist eine einfache, universell verständliche Skala zur subjektiven Bewertung des Schmerzempfindens. Die Skala reicht von 0 = kein Schmerz bis 10 = schlimmster vorstellbarer Schmerz. Wir erhoben prä- und postoperativ jeweils den Wert für Rückenschmerzen (VAS Rücken) und den Wert für radikuläre (Bein-)schmerzen (VAS Bein) (Abb. 8).

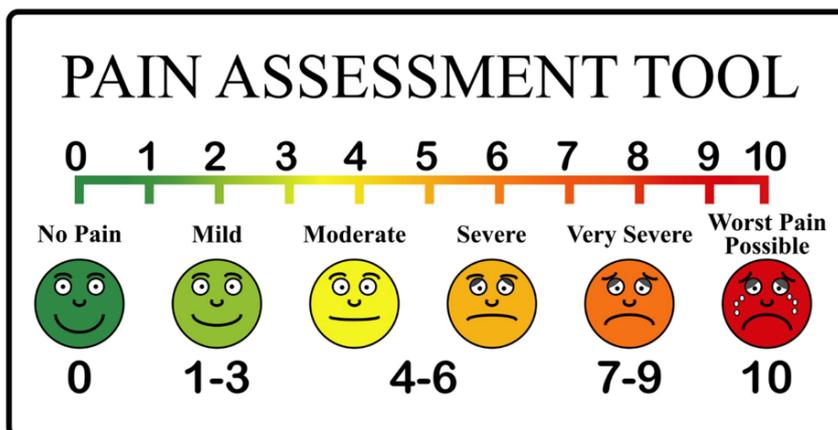


Abb. 8: Visuelle Analogskala

#### 3.4.2 Oswestry Disability Index – Deutsche Version (ODI-D)

Ebenfalls im Jahr 1976 führte O'Brien den Oswestry Disability Questionnaire oder Index (ODI) zur Beurteilung der mit lumbalen Schmerzen einhergehenden Beeinträchtigung ein. Im Jahr 1980 wurde die erste Version des Fragebogens veröffentlicht, der seitdem mehrere Überarbeitungen und Übersetzungen durchlaufen hat [24, 54, 55, 70].

Wir verwendeten die von Mannion et al. 2006 veröffentlichte Deutsche Version ODI-D [54]. Der ODI ist weltweit ein beliebtes Messinstrument in der Forschung und im klinischen Umfeld, um den funktionellen Status von Patient:innen, die an Rückenschmerzen, Erkrankungen oder Verletzungen des Rückenmarks leiden, zu beurteilen und ihre Einschränkung der Lebensqualität zu quantifizieren. Er gibt Aufschluss darüber, wie die Rücken- (oder Bein-) Schmerzen die Fähigkeit des/der Patient:in beeinträchtigen, den Alltag zu bewältigen, bezogen auf den aktuellen/„heutigen“ Zustand.

Der Fragebogen umfasst zehn Bereiche des täglichen Lebens mit jeweils sechs Antwortmöglichkeiten für die Patient:innen je nach subjektivem Empfinden bezogen auf die Stärke der Einschränkung. Die Bereiche sind: Schmerzstärke, Körperpflege (Waschen, Anziehen etc.), Heben, Gehen, Sitzen, Stehen, Schlafen, Sexualleben (falls zutreffend), Sozialleben und Reisen.

Die sechs Antwortmöglichkeiten werden mit den Punkten 0 bis 5 bewertet, entsprechend 0 = keine Einschränkung bis 5 = maximale Einschränkung, mit einem maximalen Punktwert von 50. Sollte eine Frage nicht beantwortet werden -dies betrifft meist die Frage zum Sexualleben- so ist der maximale Punktwert 45. Die Summe der erreichten Punkte wird durch den maximalen Punktwert geteilt und mit 100 multipliziert, um die Prozentzahl zu erhalten. Diese wird aufgerundet und gibt schließlich den Grad der Beeinträchtigung an:

- 0 – 20 %: leichtgradige Funktionseinschränkung
- 21 – 40 %: mittelgradige Funktionseinschränkung
- 41 – 60 %: starke Funktionseinschränkung
- 61 – 80 %: invalidisierend/sehr starke Funktionseinschränkung
- 81 – 100 %: bettlägerig, pflegebedürftig oder funktionelle Störung

### 3.4.3 Short Form-36 Health Survey 2 – Deutsche Version (SF-36v2)

Der Short Form-36 Health Survey (SF-36) ist ein Instrument, das dazu entwickelt wurde, die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu erfassen. Es ist unabhängig von bestimmten Krankheiten und gibt Einblick in den individuellen Gesundheitszustand und Belastungen durch Krankheiten bei Patient:innen. Es wird weltweit regelmäßig in Klinik und Forschung zur Therapiekontrolle verwendet und ist ein wichtiges Instrument zur Messung von Patient Reported Outcomes (PROs) in klinischen Studien.

Die deutsche Version des SF-36 Health Survey erschien erstmals 1998, wir verwendeten die zweite überarbeitete Version aus dem Jahr 2011 [61]. Dieser lizenzierten Version liegen zur Interpretation und Vergleich der Werte Rohdaten einer amerikanischen Normstichprobe aus dem Jahr 1990 und einer deutschen Normstichprobe aus dem Jahr 1994 bei. Wir verwendeten die Daten der deutschen Normstichprobe aus dem Jahr 1994.

Der SF-36 misst acht Aspekte der subjektiven Gesundheit mittels 35 Items. Körperliche Funktionsfähigkeit (10 Items), körperliche Rollenfunktion (4 Items), körperliche Schmerzen (2 Items),

allgemeine Gesundheitswahrnehmung (5 Items), Vitalität (4 Items), soziale Funktionsfähigkeit (2 Items), emotionale Rollenfunktion (3 Items) und psychisches Wohlbefinden (5 Items) bilden die acht Subskalen (34 Items). Die erste Frage bezieht sich ergänzend auf den Vergleich des aktuellen Gesundheitszustandes zum letzten Jahr (1 Items). Die acht Subskalen lassen sich zwei übergeordneten Summenskalen der subjektiven Gesundheit zuordnen: der körperlichen (KSK) und der psychischen (PSK) Summenskala.

Die Interpretation der SF-36-Subskalen erfolgte wie folgt: Die 35 Items wurden mittels lizenzierter Software [61] in Rohskalenwerte transformiert, der maximal erreichbare Wert war 100 und der minimal erreichbare Wert 0 Punkte. Werte zwischen den Extremwerten 0 und 100 stellen den prozentuellen Anteil der höchstmöglichen mit dem SF-36 messbaren gesundheitsbezogenen Lebensqualität in einer Skala dar.

Die Auswertung erfolgte gemäß dem Manual [61]: Bei den Werten der zwei übergeordneten Summenskalen (KSK und PSK) handelt es sich um R-Werte mit Mittelwerten um die 50 und Standardabweichung um die 10 Punkte, die bei der Standardauswertung auf Parametern der deutschen Normstichprobe von 1994 basieren. Werte über 60 liegen über einer Standardabweichung über dem Mittelwert der Normstichprobe und sind somit überdurchschnittlich. Wert unter 40 liegen unter einer Standardabweichung unter dem Mittelwert der Normstichprobe und gelten als unterdurchschnittlich [61].

### 3.5 Statistische Methoden

Die statistischen Analysen erfolgten mit den Softwareprogrammen IBM SPSS Statistics Version 28 und 29 für Windows (IBM Corp., Armonk, NY), Excel Microsoft Office 365 für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) und DATAtab (DATAtab Team (2023). DATAtab: Online Statistics Calculator. DATAtab e.U. Graz, Austria).

Für den Vergleich prä- und postoperativer Werte auf Unterschiede wurde der t-Test für numerische Werte und der Wilcoxon-Rangsummentest, auch Mann-Whitney-U-Test, für unabhängige ordinal skalierte Variablen verwendet.

Zur Untersuchung von potenziellen Risikofaktoren, die möglicherweise mit Komplikationen oder Reoperationen verbunden sind, sowie für die Korrelation der sekundären Outcome-Parameter, wurden die Korrelationsanalyse nach Spearman für bivariate Tests verwendet. Der Korrelationskoeffizient von Spearman misst die Beziehung zwischen zwei Variablen und wird in der Regel durch den griechischen Buchstaben  $\rho$  (rho) abgekürzt. Der Wert des Koeffizienten liegt zwischen  $-1$  und  $+1$ , wobei ein perfekter positiver Zusammenhang durch  $+1$  beschrieben wird, eine perfekte Antikorrelation durch  $-1$  und kein Zusammenhang durch  $0$ .

Mit Hilfe einer standardisierten, validierten Auswertungssoftware des Hogrefe Verlags in Göttingen haben wir die körperlichen und psychischen Gesamtskalen (KSK und PSK) für den SF-36v2 berechnet. Nach Codierung der 36 Items gemäß den Vorgaben wurden SPSS und DATAtab zur Verarbeitung verwendet. Die Interpretation bezieht sich auf den Vergleich der Summenskalenwerte (KSK und PSK) unserer Studienkohorte zu den Daten der gesamten Stichprobe der

Normalbevölkerung aus 1994, folgend zu der altersentsprechenden Referenzstichprobe aus 1994 und der Referenzstichprobe mit dem Erkrankungsbild „Rückenschmerzen, Ischias, Bandscheibenschaden“ aus 1994. Unter Verwendung des t-Tests für unabhängige Stichproben und des Levene-Tests wurden die Mittelwerte und Varianzen der Studienstichprobe mit den jeweiligen Werten der Referenzstichprobe verglichen. Vom t-Test für unabhängige Stichproben wird eine Varianzhomogenität angenommen, d.h. ein fehlender Unterschied zwischen den Werten. Unter Verwendung der Nullhypothese, dass sich die Varianzen nicht unterscheiden, kann mit dem Levene-Test überprüft werden, ob die Varianzen homogen sind. Wenn der Test nicht signifikant ist, unterscheiden sich die Varianzen nicht, so dass Varianzhomogenität vorliegt. Wenn der Test signifikant ist, wird Varianzheterogenität angenommen.

Eine statistische Signifikanz liegt vor, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 ist. Dies wird entweder durch den exakten p-Wert (z.B.  $p = 0,004$ ) oder das Signifikanzniveau (z.B.  $p < 0,01$ ) angegeben. Für diese Studie gilt:  $p \geq 0,05$  = nicht signifikant,  $p < 0,05$  = signifikant und  $p < 0,001$  = höchst signifikant.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Demographische Ergebnisse

#### 4.1.1 Patientencharakteristika

Zwischen März 2012 und November 2021 wurden insgesamt 167 Patient:innen in der Isar Klinik und der Privatklinik Josephinum durch zwei Operateure (Dr. Philipp Tanner von 03/2012 bis 11/2021 und Prof. Dr. Stefan Zausinger 04/2020 bis 11/2021) über einen Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis operiert. Von diesen Patient:innen waren 99 (59,3%) männlich und 68 (40,7%) weiblich, das Verhältnis von Männern zu Frauen betrug somit ca. 1,5:1. Das Durchschnittsalter der Patient:innen bei der Operation betrug 61,5 Jahre mit einer Range von 30,7 bis 88,3 Jahren. Der durchschnittliche Body-Mass-Index lag bei 26,1 kg/m<sup>2</sup> mit einer Range von 17,9 bis 42 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Begleiterkrankungen

Ein durchschnittlicher BMI von 26,1 kg/m<sup>2</sup> bedeutet Übergewicht. Die differenzierte Gewichtsverteilung der Patient:innen zeigt Tabelle 3. Insgesamt waren 30 Patient:innen (18,0%) adipös mit einem BMI >30 kg/m<sup>2</sup>.

Grad	BMI in kg/m <sup>2</sup>	Patientenzahl
Untergewicht	<18	1 (0,6%)
Normalgewicht	18,5 – 24,9	74 (44,3%)
Übergewicht	25 – 29,9	62 (37,1%)
Adipositas Grad I	30 – 34,9	22 (13,2%)
Adipositas Grad II	35 – 39,9	6 (3,6%)
Adipositas Grad III	>40	2 (1,2%)

Tab. 3: Gewichtsverteilung der Patient:innen

Von 167 Patient:innen hatten 72 Patient:innen (43,1%) eine arterielle Hypertonie mit antihypertensiver Medikation, 32 Patient:innen (19,2%) nahmen antikoagulative Medikamente aufgrund kardialer oder vaskulärer Vorerkrankungen. Bei 16 Patient:innen (9,6%) bestand ein Diabetes mellitus, davon waren 2 Patient:innen insulinpflichtig. Eine Depression war bei 12 Patient:innen (7,2%) diagnostiziert. Bei 24 Patient:innen (14,4%) war zum Operationszeitpunkt ein Nikotinabusus dokumentiert.

Geschlecht, Alter und Begleiterkrankungen wurden hinsichtlich eines möglichen Zusammenhangs mit Komplikationen und Reoperationen analysiert. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

### **4.1.3 Voroperationen im gleichen Wirbelsäulensegment**

18 Patient:innen (10,8%) waren extern im gleichen Wirbelsäulensegment voroperiert, keine/r davon mittels Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Von diesen 18 Patient:innen mussten 10 Patient:innen (6%) aufgrund eines Rest- oder Rezidiv-Prolapses an gleicher Stelle reoperiert werden, 8 Patient:innen wegen einer neu aufgetretenen oder verbliebenen Neuroforamenstenose. Der Zeitraum zwischen der externen Voroperation und der Operation über die laterale Fensterung der Pars interarticularis war durchschnittlich  $15,0 \pm 29,3$  Monate.

## **4.2 Radiologische Ergebnisse**

### **4.2.1 Operations-Diagnose**

Die Auswertung der bildgebenden Befunde der 167 Patient:innen ergab als Operations-Diagnose bei 149 Patient:innen (89,2%) einen Bandscheibenvorfall, bei 14 Patient:innen (8,4%) eine Neuroforamenstenose und bei 4 Patient:innen (2,4%) eine Synovialzyste.

### **4.2.2 Segmentlokalisierung der Pathologie**

Die am häufigsten betroffenen Wirbelkörpersegmente waren LWK 4/5 bei 88 Patient:innen (52,7%), LWK 3/4 bei 51 Patient:innen (30,5%) und LWK 5/SWK 1 bei 18 Patient:innen (10,8%). Bei 2 Patient:innen (1,2%) lag ein doppelter Bandscheibenvorfall in den Segmenten LWK 3/4 und LWK 4/5 vor. Beide Höhen wurden in einer Operation jeweils mit dem Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis operiert. Tabelle 4 zeigt die Verteilung der betroffenen Segmente.

<b>Segment</b>	<b>Patientenzahl</b>
LWK 1/2	3 (1,8%)
LWK 2/3	5 (3,0%)
LWK 3/4	51 (30,5%)
LWK 4/5	88 (52,7%)
LWK 5/SWK 1	18 (10,8%)
LWK 3/4 und LWK 4/5	2 (1,2%)

Tab. 4: Verteilung der betroffenen Segmente in unserer Patientenkohorte

### 4.2.3 Axiale Lokalisation der Pathologie

Die Auswertung der axialen Schichten der Bildgebung gemäß der Klassifikation der Combined Task Force (CTF) [26] ergab eine intraforaminale Lokalisation der Pathologie bei 95 Patient:innen (56,9%), eine intra-/extraforaminale Lokalisation bei 65 Patient:innen (38,9%) und eine rein extraforaminale Lokalisation bei 7 Patient:innen (4,2%).

### 4.2.4 Spondylolisthesis

Die Auswertung der sagittalen Schichten der Bildgebung zeigte bei 18 Patient:innen (10,8%) präoperativ eine Spondylolisthesis im operierten Segment. In diesen Fällen wurde eine Röntgenfunktionsaufnahme der Lendenwirbelsäule in Flexion und Extension ergänzt, um eine Makroinstabilität des Wirbelkörpersegmentes zu diagnostizieren. Bei allen Patient:innen handelte es sich um eine degenerative Pseudospondylolisthesis Meyerding Grad 1 ohne Hinweis auf eine pathologische Hypermobilität.

## 4.3 Operationsspezifische Ergebnisse

### 4.3.1 Symptombdauer und präoperative Symptomatik

Alle Patient:innen stellten sich vor aufgrund lumboischialgieformier Schmerzen. Die durchschnittliche Symptombdauer der Patient:innen bis zur Operation betrug  $2,6 \pm 4,9$  Monate. Der

präoperative mediane VAS Rücken lag bei 6 (25. Perzentile 5, 75. Perzentile 8), der präoperative mediane VAS Bein bei 8 (25. Perzentile 7, 75. Perzentile 10).

Von 167 Patient:innen gaben 91 Patient:innen (54,5%) präoperativ Sensibilitätsstörungen im entsprechenden Dermatome an. Zu Sensibilitätsstörungen zählten Hyp-, Dys- und Parästhesien, Taubheitsgefühl und Hyperalgesie.

Bei 122 Patient:innen (73,1%) bestand präoperativ eine radikuläre Parese, welche auf die aktuelle intra-, intra-/extra- oder extraforaminale Nervenwurzelkompression zurückzuführen war. Hier von zeigten 81 Patient:innen (66,4%) eine Kniestrecker- und/oder Hüftbeugerparese, entsprechend einer L3/L4-Parese. Bei 34 Patient:innen (27,9%) lag eine Fußheber-, Zehenheber- und/oder Hüftabduktionsparese, entsprechend einer L5-Parese, vor. 7 Patient:innen (5,7%) wiesen eine kombinierte Parese der Nervenwurzeln L4 und L5 auf.

Diese Verteilung spiegelt die Verteilung der betroffenen Segmente wider. Hier dominierte das Segment LWK 4/5 mit der betroffenen Nervenwurzel L4 mit 52,7%, gefolgt von LWK 3/4 mit der betroffenen Nervenwurzel L3 mit 30,5% und LWK 5/SWK 1 mit der betroffenen Nervenwurzel L5 mit 10,8%.

Die Paresen wurden entsprechend der Kraftgrade nach Janda in einer Skala von 0 bis 5 eingeteilt. (Tab. 5)

<b>Kraftgrad</b>	<b>Beschreibung</b>
0 - Plegie	Keine Muskelkontraktion spürbar
1 - Spur	Spürbare Muskelkontraktion ohne daraus resultierende Gelenkbewegung
2 - Sehr schwach	Volle Bewegung im Gelenk nur bei aufgehobener Schwerkraft möglich
3 - Schwach	Volle Bewegung im Gelenk gegen Schwerkraft aber nicht gegen Widerstand möglich
4 - Gut	Herabgesetzte Muskelkraft, volle Bewegung im Gelenk nur gegen leichten Widerstand möglich
5 - Normal	Volle Muskelkraft, volle Bewegung im Gelenk auch gegen starken Widerstand möglich

Tab. 5: Kraftgrade nach Janda

Bei den 122 Patient:innen mit präoperativ aufgetretener Parese zeigte sich bei 65 Patient:innen (53,3%) eine leichtgradige Parese Kraftgrad (KG) 4/5. Bei 54 Patient:innen (44,3%) bestand eine höhergradige Parese mit KG 3/5 und bei 3 Patient:innen (2,4%) lag eine hochgradige Parese mit KG 2/5 vor.

### 4.3.2 Postoperative Symptomatik

Im postoperativen Verlauf besserten sich die Sensibilitätsstörungen hochsignifikant ( $p < 0,001$ ). Im Vergleich zu präoperativ 91 Patient:innen (54,5%) mit Sensibilitätsstörungen beschrieben postoperativ noch 25 Patient:innen (15,0%) Sensibilitätsstörungen im entsprechenden Dermatom.

Bezüglich Paresen zeigt sich ebenfalls eine deutliche Verbesserung nach der Operation. Postoperativ bestand nur noch bei 22 Patient:innen (13,2%) eine leichtgradige Parese KG 4/5. Präoperativ vorhandene Paresen verbesserten sich im postoperativen Verlauf hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) von einem medianen Paresegrad KG 4/5 (range KG 2/5 bis 5/5) auf KG 5/5 (range KG 4/5 bis 5/5) (Abb. 9).

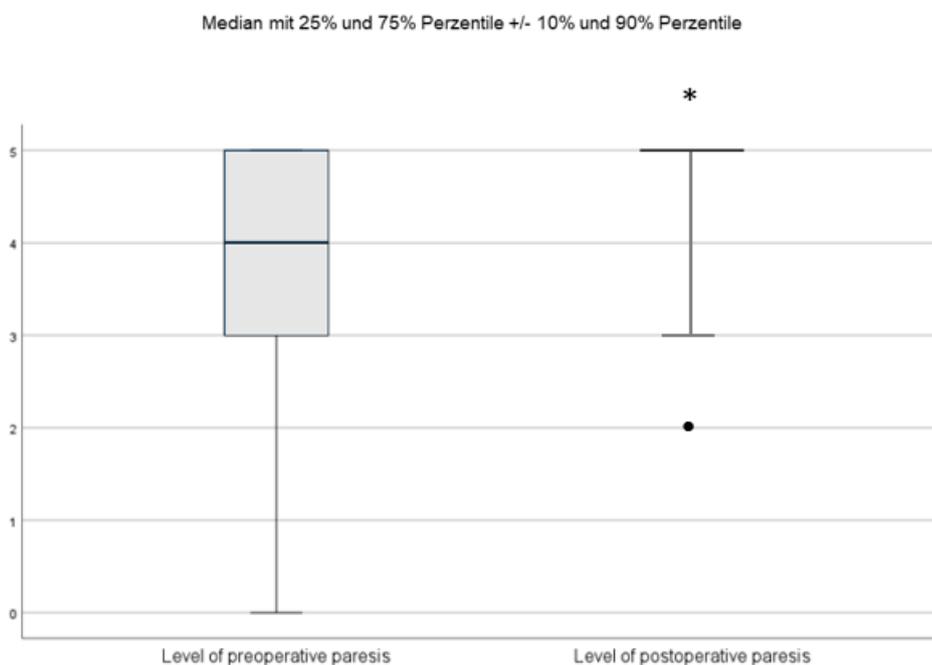


Abb. 9: Vergleich der prä- und postoperativen Paresegrade, \*  $p < 0,001$

## 4.4 Reoperationen

Reoperationen in unserer Patientenkohorte erfolgten aufgrund von Nachblutungen, Rezidiven und sekundärer Instabilitätskriterien. Eine revisionsbedürftige Liquorleckage oder Wundheilungsstörung traten im postoperativen Verlauf nicht auf. Zwei Patient:innen wiesen postoperativ ein prolongiertes subkutanes Serom auf, welches punktiert wurde. Ein Patient wurde aufgrund einer oberflächlichen Wundheilungsstörung antibiotisch behandelt.

#### 4.4.1 Nachblutung

Von 167 Patient:innen kam es bei 3 Patient:innen (1,8%) zu einer revisionsbedürftigen Nachblutung. Keiner der betroffenen Patient:innen stand unter antikoagulativer Medikation. Bei einem Patienten kam es im unmittelbaren postoperativen Verlauf zu erneuten starken ischialgieformen Schmerzen, so dass die Indikation zur Revision unmittelbar am gleichen Tag gestellt wurde. Ein Patient beklagte drei Tage nach der Operation progrediente Beschwerden, so dass eine Kontroll-MRT der LWS erfolgte, welche ein Hämatom offenbarte. Eine Patientin stürzte zwölf Tage nach der Operation und beklagte daraufhin erneute progrediente Beschwerden. Auch bei ihr zeigte die Kontroll-MRT ein revisionsbedürftiges Hämatom.

#### 4.4.2 Rezidive

Von 167 Patient:innen traten bei 5 Patient:innen (3,0%) revisionsbedürftige Rezidive intra- und intra-/extraforaminaler Bandscheibenvorfälle auf. Betroffen waren 4 Männer und eine Frau. Der Zeitraum bis zum Auftreten der Rezidiv-Vorfälle und der zweiten Operation betrug durchschnittlich  $26,7 \pm 21,7$  Monate. Bei diesen Patient:innen erfolgte die Reoperation über einen erneuten Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis. Ein zweites Rezidiv trat bei keiner:m Patient:in auf.

Ergänzend zu erwähnen sind 4 Patient:innen, 3 Männer und eine Frau, welche aufgrund einer anderen Diagnose als der Primärdiagnose im gleichen Segment und auf der gleichen Seite reoperiert wurden. Hier betrug die durchschnittliche Zeit bis zur Folgeoperation  $10,1 \pm 12,1$  Monate:

Bei einem Patienten erfolgte im September 2012 die laterale Fensterung der Pars interarticularis aufgrund einer Neuroforamenstenose. 6 Monate später zeigte sich ein Bandscheibenvorfall, welcher über eine interlaminäre Fensterung operativ angegangen wurde.

Eine Patientin wurde im April 2015 aufgrund eines intra-/extraforaminalen Bandscheibenvorfalles mittels Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis operiert. 1,4 Monate später erfolgte die erneute Operation über diesen Zugang aufgrund einer symptomatischen Neuroforamenstenose.

Ein Patient wurde im April 2016 aufgrund eines intraforaminalen Bandscheibenvorfalles operiert. Nach 5 Monaten zeigte sich eine intraforaminale Synovialzyste auf der gleichen Seite, welche über die Re-Fensterung der Pars interarticularis entfernt wurde.

Ein Patient wurde im Februar 2019 aufgrund eines intraforaminalen Bandscheibenvorfalles operiert. Er war zuvor bereits zweimalig auswärtig im gleichen Segment, jedoch auf der Gegenseite, operiert worden. Nach 28 Monaten kam es zu einer symptomatischen Spinalkanalstenose des insgesamt dreimalig operierten Segmentes. Es folgte eine mikrochirurgische interlaminäre Dekompression der Spinalkanalstenose.

### 4.4.3 Sekundäre Spondylodese

Im postoperativen Verlauf mussten 7 Patient:innen (4,2%) aufgrund einer symptomatischen segmentalen Instabilität fusioniert werden. Betroffen waren hiervon 4 Männer und 3 Frauen. Die Patient:innen beklagten erneute lumboischialgieforme Beschwerden. Die Bildgebung zeigte in diesen Fällen eine neu aufgetretene, persistierende oder progrediente Spondylolisthesis und/oder Neuroforamenstenose. Der Zeitraum bis zur Spondylodese betrug durchschnittlich  $25,5 \pm 26,2$  Monate.

Auffällig war das Vorliegen einer präoperativen Spondylolisthesis Meyerding Grad 1 bei 4 der 7 Fälle, welche eine Spondylodese benötigten. In der bivariaten Korrelationsanalyse nach Spearman zeigte sich eine positive Korrelation der Variablen präoperative Spondylolisthesis und Spondylodese mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,313. Die Korrelation ist signifikant ( $p < 0,01$ ).

Tabelle 6 zeigt die Verteilung der zu Reoperationen führenden Diagnosen in unserer Patientenkohorte.

Reoperationsdiagnose	Patientenzahl
Nachblutung/ epidurales Hämatom	3 (1,8%)
Rezidiv-Prolaps	5 (3,0%)
Andere Diagnose (Foramen-, Spinalkanalstenose und Synovialzyste), gleiches Segment	4 (2,4%)
Sekundäre Instabilität/ Spondylodese	7 (4,2%)

Tab. 6: Diagnosen der Reoperationen

## 4.5 Ergebnisse der Fragebögen

Bei allen Patienten waren die vollständigen präoperativen und patientenbezogenen Langzeitergebnisse für die Auswertung des VAS vorhanden. Von 167 Patient:innen standen 135 Patient:innen (80,8%) persönlich oder telefonisch für die fragebogenbasierte Auswertung und das Follow-up zur Verfügung, welches von Januar bis Mai 2022 stattfand. 32 Patient:innen (19,2%) waren lost to follow-up aufgrund fehlender aktueller Kontaktdaten, Absage der Teilnahme oder Tod. Die durchschnittliche Follow-up Dauer waren 46,4 Monate (range 3 bis 119 Monate).

Die Geschlechterverteilung der 135 Patient:innen spiegelte die Geschlechterverteilung der gesamten Patientenkohorte wider: 81 Männer (60%) und 53 Frauen (40%) nahmen teil, was einem Verhältnis von 1,5:1 entspricht.

### 4.5.1 Ergebnisse Visuelle Analogskala

Die Bewertung der lumboischialgieformen Schmerzen erfolgte mittels Visueller Analogskala (VAS). Die Patienten gaben jeweils präoperativ und postoperativ im Rahmen der Follow-Up Untersuchungen ihr subjektives Schmerzempfinden auf einer Skala von 0 bis 10 an (Abb.8). Es wurde nach der Stärke der Rückenschmerzen (VAS Rücken) und nach der Stärke der Beinschmerzen (VAS Bein) gefragt.

Der VAS Rücken verbesserte sich im postoperativen Verlauf von einem medianen Wert von 6 (range 5 bis 8) auf einen medianen Wert von 0,50 (range 0,00 bis 2,75) nach dem Wilcoxon-Test hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) (Abb. 10).

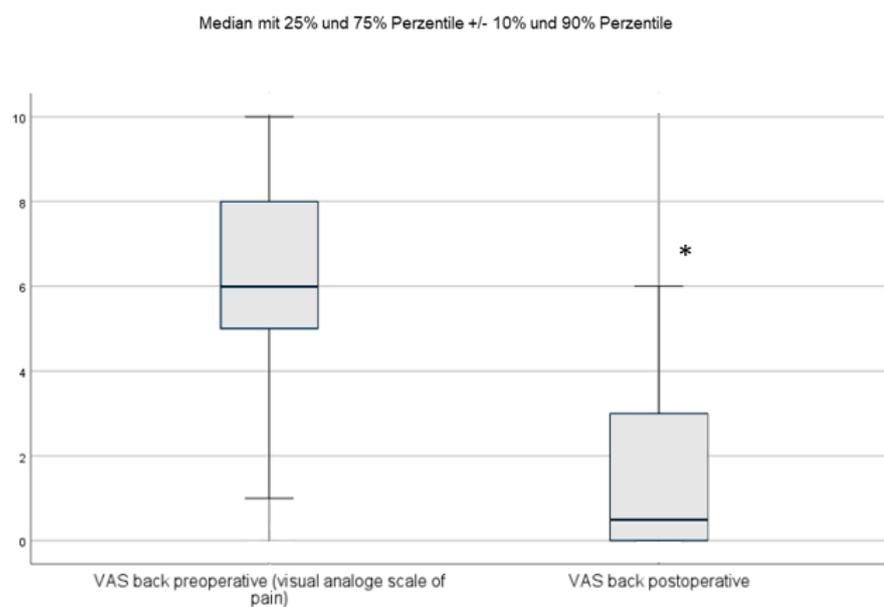


Abb. 10 Vergleich der prä- und postoperativen VAS Rücken, \*  $p < 0,001$

Der VAS Bein verbesserte sich von einem medianen Wert von 8 (range 7 bis 10) auf einen medianen Wert von 0 (range 0 bis 2) nach dem Wilcoxon-Test hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) (Abb. 11).

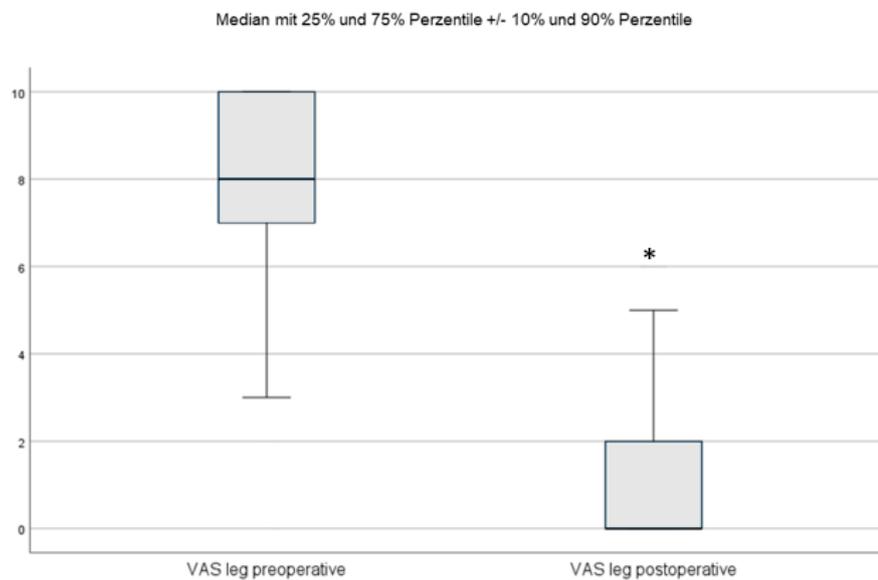


Abb. 11 Vergleich der prä- und postoperativen VAS Bein, \*  $p < 0,001$

#### 4.5.2 Ergebnisse Oswestry Disability Index – Deutsche Version (ODI-D)

Der Oswestry Disability Index zeigt die Einschränkungen im Alltag aufgrund von Schmerzen. Die Auswertung ergab einen durchschnittlichen ODI von  $11 \pm 13$ . Dieser Wert entspricht einer leichtgradigen Funktionseinschränkung (0 – 20%). Abb. 13 zeigt die prozentuale Verteilung der Patient:innen bei diesem Fragebogen.

Bei 112 Patient:innen (83,0%) ergaben sich Werte zwischen 0 – 20%, entsprechend einer leichtgradigen Funktionseinschränkung, wovon 45 Patient:innen mit 0% keinerlei Einschränkungen im Alltag angaben. Bei 18 Patient:innen (13,3%) resultierte eine mittelgradige Funktionseinschränkung und 5 Patient:innen (3,7%) zeigte sich eine starke Funktionseinschränkung im Alltag aufgrund von Schmerzen. Eine sehr starke, invalidisierende Funktionseinschränkung oder eine Pflegebedürftigkeit bestanden nicht (Tabelle 7).

<b>Schweregrade</b>	<b>Definition</b>	<b>Patientenzahl</b>
0 – 20 %	leichtgradige Funktionseinschränkung	112 (83,0%)
21 – 40 %	mittelgradige Funktionseinschränkung	18 (13,3%)
41 – 60 %	starke Funktionseinschränkung	5 (3,7%)
61 – 80 %	invalidisierend/sehr starke Funktionseinschränkung	0
81 – 100 %	pflegebedürftig/bettlägerig o. funkt. Störung, psychosozial extrem überlagert	0

Tab. 7: Prozentuale Verteilung der Patient:innen bei dem ODI

### **Starke Funktionseinschränkung**

Betrachtet man die 5 Patient:innen mit einer starken Funktionseinschränkung im Alltag, so waren 2 Männer und 3 Frauen betroffen. Das durchschnittliche Patientenalter bei Operation lag bei 64,5 Jahren. Der durchschnittliche BMI lag mit 32 kg/m<sup>2</sup> im Bereich der Adipositas Grad I. Die durchschnittliche Symptombdauer war  $4,4 \pm 4,7$  Monate. Präoperativ zeigte sich bei 2 Patient:innen eine Parese mit KG 4/5, postoperativ zeigte sich in dieser Patientengruppe keine Parese mehr. Eine Patientin wurde sekundär fusioniert.

In dieser Patientengruppe verbesserte sich der VAS Rücken im postoperativen Verlauf von einem medianen Wert von 7,50 (range 6,25 bis 9,50) auf einen medianen Wert von 5,00 (range 4,50 bis 5,50), nach dem Wilcoxon-Test nicht signifikant ( $p = 0,068$ ). Der VAS Bein verbesserte sich im postoperativen Verlauf von einem medianen Wert von 8,50 (range 8,00 bis 9,75) auf einen medianen Wert von 5,00 (range 1,50 bis 5,50), ebenfalls nicht signifikant ( $p = 0,068$ ).

### **4.5.3 Ergebnisse Short Form-36 Health Survey 2 – Deutsche Version (SF-36v2)**

Die Analyse der Quality-of-Life-Erhebung mittels SF-36v2 erbrachte folgende Ergebnisse: Der errechnete Wert für die körperliche Summenskala (KSK) in unserer Patientenkohorte lag bei  $47,7 \pm 9,6$ . Der psychische Summenskalen-Wert (PSK) betrug  $53,8 \pm 9,0$ .

Als nächster Schritt wurden die von uns erhobenen Daten der SF-36 Summenskalen (KSK und PSK) mit den SF-36 Summenskalenwerten der deutschen Normalbevölkerung verglichen. 1994 wurde vom statistischen Bundesamt eine SF-36 genormte Gesundheitsumfrage der deutschen Bevölkerung ( $n = 2870$ ) durchgeführt. Hierbei wurden Normwerte für die Normalbevölkerung

sowie nach Altersgruppen und für verschiedenste Krankheiten erhoben. Diese Rohdatensätze liegen der lizenzierten Variante des SF-36 Health Survey zur Auswertung bei [61].

### Vergleich Studiengruppe mit Normalbevölkerung

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik zeigten für die Gruppe KSK Studie niedrigere Werte für die abhängige Variable ( $47,7 \pm 9,6$ ) als für die Gruppe KSK Gesamtbevölkerung ( $49,2 \pm 10,9$ ). Bei dem Levene-Test der Varianzgleichheit ergab sich ein p-Wert von 0,107, damit über dem Signifikanzniveau von 5%. Der Levene-Test war nicht signifikant und die Nullhypothese, dass alle Varianzen der Gruppen gleich sind, wird beibehalten. Damit besteht in den Stichproben Varianzgleichheit. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben (gleiche Varianzen angenommen) zeigte, dass der Unterschied zwischen KSK Studie und KSK Gesamtbevölkerung in Bezug auf die abhängige Variable statistisch nicht signifikant war [ $t(2994) = -1,6$ ,  $p = 0,11$ , 95% Konfidenzintervall  $[-3,41, 0,35]$ ]. Die Nullhypothese wird damit beibehalten.

Die Auswertung der PSK Werte erbrachte in der Gruppe PSK Studie höhere Werte ( $53,8 \pm 9,0$ ) als in der Gruppe PSK Gesamtbevölkerung ( $51,0 \pm 8,8$ ). Bei dem Levene-Test ergab sich ein p-Wert von 0,835 und war somit nicht signifikant. Somit wird die Nullhypothese, dass alle Varianzen der Gruppen gleich sind, beibehalten. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben zeigte, dass der Unterschied zwischen PSK Studie und PSK Gesamtbevölkerung in Bezug auf die abhängige Variable statistisch nicht signifikant war [ $t(2994) = 3,6$ ,  $p = 0,055$ , 95% Konfidenzintervall  $[1,27, 4,3]$ ] (Tab. 8).

	<b>Patientenkohorte Studie</b>	<b>Deutsche Normalbevölkerung 1994</b>	<b>Levene-Test p-Wert</b>	<b>t-Test für unabhängige Stichproben p-Wert</b>
<b>KSK-Körperliche Summenskala</b>	$47,7 \pm 9,6$	$49,2 \pm 10,9$	0,107	0,11
<b>PSK-Psychische Summenskala</b>	$53,8 \pm 9,0$	$51,0 \pm 8,8$	0,835	0,055

Tab. 8: Vergleich der Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscorewerten der Gesamtstichprobe der deutschen Normalbevölkerung von 1994 [61]

### Vergleich Studiengruppe mit entsprechender Altersgruppe

Als nächster Schritt erfolgte der statistische Vergleich der in unserer Long-term Follow-Up Untersuchung erhobenen KSK- und PSK-Werte mit denen der entsprechenden Altersgruppe der deutschen Normalbevölkerung 1994. Das durchschnittliche Patientenalter unserer Patientenkohorte betrug bei der Follow-up Untersuchung im Rahmen der Studie  $65,8 \pm 11,8$  Jahre. Der Vergleich unserer Werte mit denen der „deutschen Normstichprobe 1994: Männer & Frauen; Altersgruppe 6, 61-70 Jahre“ zeigte, dass die Gruppe KSK Studie höhere Werte ( $47,7 \pm 9,6$ ) aufwies als die Gruppe KSK Altersgruppe 61-70 ( $43,7 \pm 11,7$ ). Der Levene-Test zeigte sich signifikant ( $p = 0,002$ ) und es bestand keine Varianzhomogenität. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben zeigte, dass der Unterschied zwischen KSK Studie und KSK Altersgruppe 61-70 in Bezug auf die abhängige Variable statistisch hochsignifikant war [ $t(268,35) = 3,93$ ,  $p < 0,001$ , 95% Konfidenzintervall [1,95, 5,9]].

Der Wert der Gruppe PSK Studie ( $53,8 \pm 9,0$ ) fiel höher aus als der PSK der Altersgruppe 61-70 ( $52,4 \pm 9,4$ ). Der Levene-Test war nicht signifikant ( $p = 0,658$ ), damit bestand in den Stichproben Varianzgleichheit. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben (gleiche Varianzen angenommen) zeigte, dass der Unterschied zwischen PSK Studie und PSK Altersgruppe 61-70 in Bezug auf die abhängige Variable statistisch nicht signifikant war [ $t(567) = 1,51$ ,  $p = 0,131$ , 95% Konfidenzintervall [-0,42, 3,19]] (Tab. 9).

	Patientenkohorte Studie	Männer und Frauen Altersgruppe 6	Levene-Test p-Wert	t-Test für unabhängige Stichproben p-Wert
<b>KSK-Körperliche Summenskala</b>	$47,7 \pm 9,6$	$43,7 \pm 11,7$	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>PSK-Psychische Summenskala</b>	$53,8 \pm 9,0$	$52,4 \pm 9,4$	0,658	0,131

Tab. 9: Vergleich der von uns erhobenen Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscorewerten der deutschen Normstichprobe 1994: Männer & Frauen; Altersgruppe 6 (61-70 Jahre) [61]

### Vergleich Studiengruppe mit krankheits-gemachter Gruppe

Ergänzend erfolgte der statistische Vergleich KSK und PSK Studie mit denen der Gruppe „Patienten mit Rückenschmerzen, Ischias, Bandscheibenschaden“, deren Normwerte, wie in Tabelle 10 genannt, im Rahmen einer Gesundheitsumfrage 1994 durch das statistische Bundesamt erhoben wurden:

Die deskriptive Statistiken zeigten, dass die Gruppe KSK Studie höhere Werte für die abhängige Variable ( $47,7 \pm 9,6$ ) hat als die Gruppe KSK Rückenschmerzen ( $43,4 \pm 11,9$ ). Der Levene-Test war hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und die Varianzen nicht homogen. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben zeigte, dass der Unterschied zwischen KSK Studie und KSK Gruppe Rückenschmerzen in Bezug auf die abhängige Variable statistisch signifikant war [ $t(188,71) = 4,73$ ,  $p < 0,001$ , 95% Konfidenzintervall  $[2,47, 6,04]$ ].

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik zeigten, dass die Gruppe PSK Studie höhere Werte für die abhängige Variable ( $53,8 \pm 9,0$ ) aufweist als die PSK Gruppe Rückenschmerzen ( $49,7 \pm 9,8$ ). Der Levene-Test ergab einen signifikanten p-Wert von 0,039, die Nullhypothese wird zurückgewiesen. Somit gilt: In den Stichproben besteht keine Varianzgleichheit. Ein t-Test hat ergeben, dass der Unterschied zwischen PSK Studie und PSK Gruppe Rückenschmerzen in Bezug auf die abhängige Variable statistisch signifikant ist [ $t(175,11) = 4,92$ ,  $p < 0,001$ ] (Tab. 10).

	<b>Patientenkohorte Studie</b>	<b>Pat. mit Rückenschmerzen, Ischias, Bandscheibenschäden</b>	<b>Levene-Test p-Wert</b>	<b>t-Test für unabhängige Stichproben p-Wert</b>
<b>KSK-Körperliche Summenskala</b>	$47,7 \pm 9,6$	$43,4 \pm 11,9$	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>PSK-Psychische Summenskala</b>	$53,8 \pm 9,0$	$49,7 \pm 9,8$	<b>0,039</b>	<b>&lt;0,001</b>

Tab. 10: Vergleich der von uns erhobenen Daten „Patientenkohorte Studie“ der SF-36 Summenscores KSK und PSK mit den SF-36 Summenscorewerten der deutschen Normstichprobe 1994: Patienten mit Rückenschmerzen, Ischias, Bandscheibenschaden [61]

In den Abbildungen 12 und 13 wird der Vergleich der vier o.g. Gruppen dargestellt.

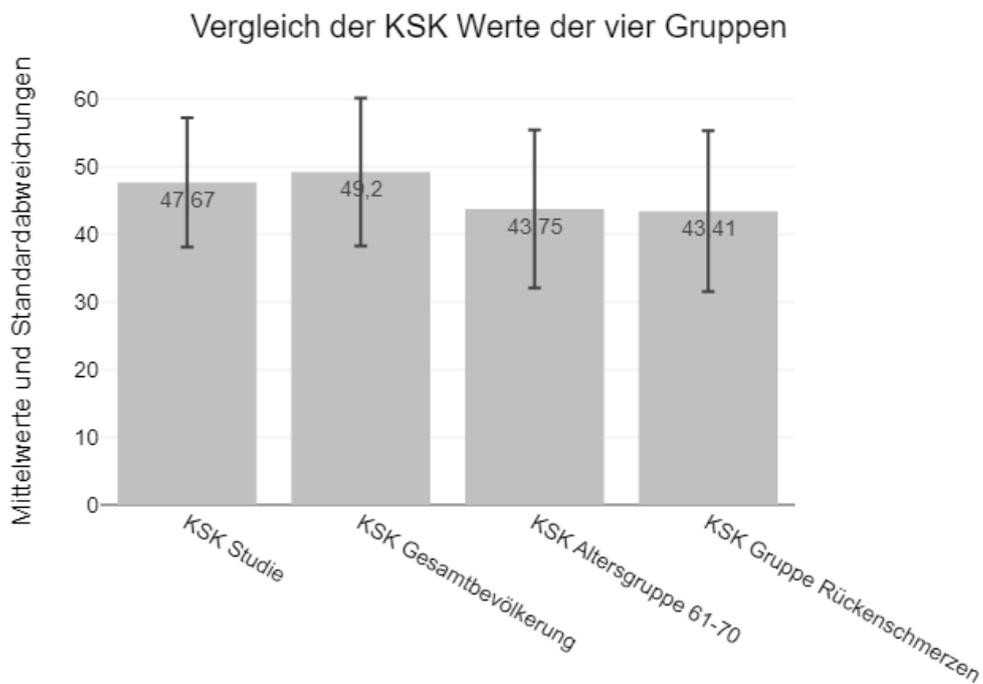


Abb. 12: Vergleich der von uns erhobenen Daten KSK Studie mit den KSK Werten der deutschen Normstichprobe Gesamtbevölkerung, Altersgruppe 61-70 und der Gruppe mit Rückenschmerzen, Ischias und Bandscheibenschaden aus 1994.

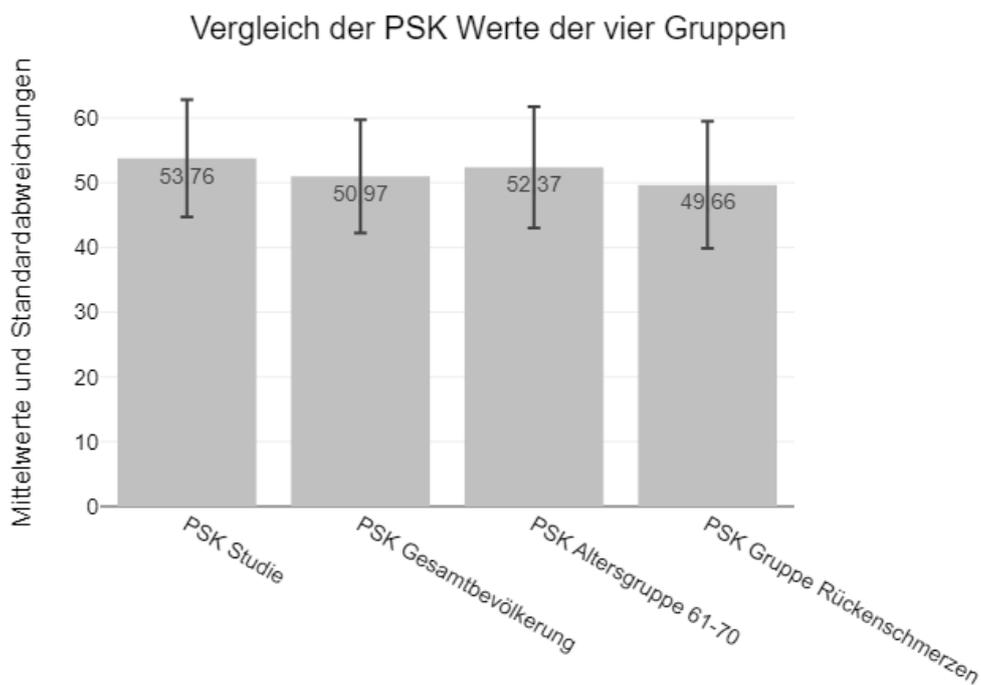


Abb. 13: Vergleich der von uns erhobenen Daten KSK Studie mit den KSK Werten der deutschen Normstichprobe Gesamtbevölkerung, Altersgruppe 61-70 und der Gruppe mit Rückenschmerzen, Ischias und Bandscheibenschaden aus 1994.

### Korrelation ODI und SF-36 KSK und PSK Studie

Die Auswertung zeigte eine Korrelation zwischen dem ODI und den KSK und PSK Werten im Rahmen der Studie. Hohe KSK und PSK Werte, entsprechend einer guten Quality of Life, korrelierten mit niedrigen ODI Werten, entsprechend einer geringen Funktionseinschränkung, und umgekehrt: Eine Spearman-Rangkorrelation wurde durchgeführt, um zu testen, ob ein Zusammenhang zwischen KSK Studie und ODI in % (erreichte Punktezah/50 x 100=%) besteht. Das Ergebnis der Spearman-Rangkorrelation zeigte einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen KSK Studie und ODI ( $p < 0,001$ ). Zwischen den Variablen KSK Studie und ODI liegt mit  $r = -0,76$  eine hohe, negative Korrelation vor (Abb. 14).

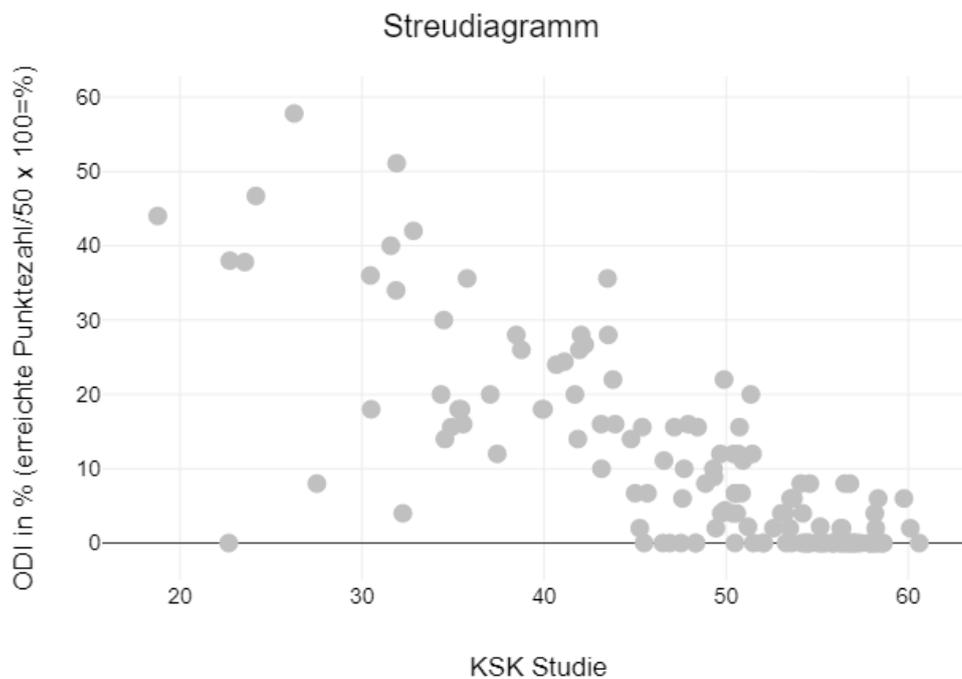


Abb. 14: Korrelation der KSK Werte der Studie mit den ODI Werten der Studie: hohe KSK Werte korrelierten mit niedrigen ODI Werten, wohingegen niedrige KSK Werte mit hohen ODI Werte korrelierten,  $p < 0,001$ .

Um zu überprüfen, ob eine Korrelation zwischen PSK-Studie und ODI besteht, wurde eine Spearman-Rangkorrelation durchgeführt. Die Auswertung zeigte, dass es einen signifikanten, aber schwachen negativen Zusammenhang gab [ $r (133) = -0.17$ ,  $p = 0.045$ ] (Abb. 15).

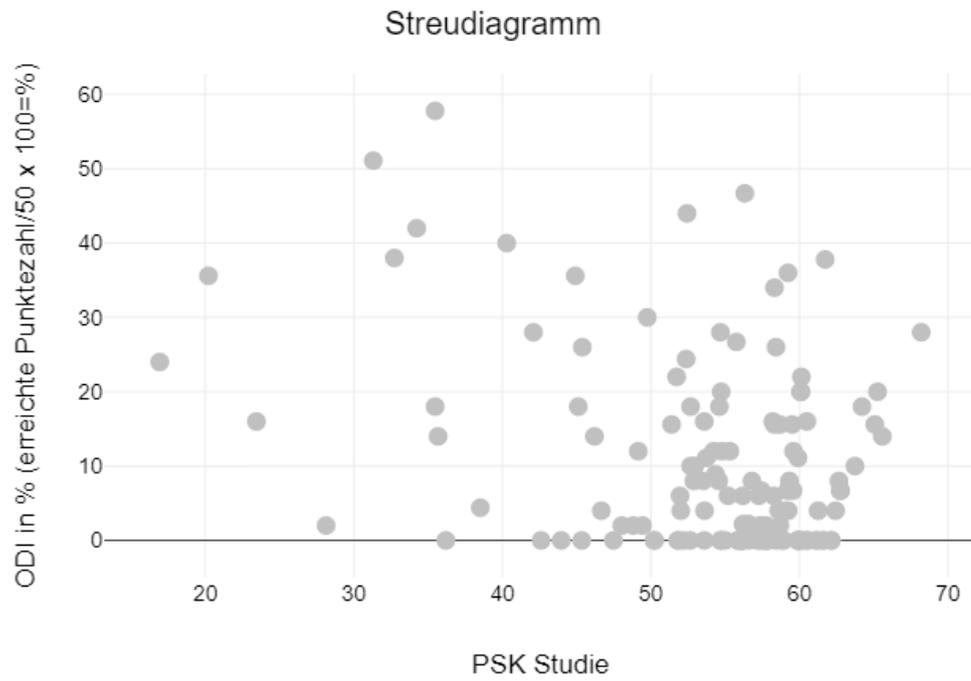


Abb. 15: Korrelation der PSK Werte der Studie mit den ODI Werten der Studie: hohe PSK Werte korrelierten mit niedrigen ODI Werten, wohingegen niedrige PSK Werte mit hohen ODI Werten korrelierten,  $p = 0,045$ .

## 5. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde eine retrospektive Analyse an 167 Patient:innen durchgeführt, die zwischen März 2012 und November 2021 in der Isar Klinik und der Privatklinik Josephinum mit dem Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis operativ versorgt wurden. Die zu dieser Operation führenden Diagnosen waren intra-, intra-/extra- oder extraforaminalen Bandscheibenvorfälle, Synovialzysten und Neuroforamenstenosen.

### 5.1 Diskussion der patientenbezogenen Daten

#### 5.1.1 Demographie

Der Häufigkeitsgipfel intraspinaler Bandscheibenvorfälle betrifft das mittlere Lebensalter (45 – 55 Jahre) [79]. Mit zunehmendem Alter verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines Bandscheibenvorfalles, denn durch altersbedingte Bandscheibendegeneration nehmen das Volumen und die Elastizität des Gallertkernes ab. Dahingegen führt die Degeneration zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von Neuroforamenstenosen und Synovialzysten aufgrund der Verschmälerung des Bandscheibenfaches und der erhöhten Belastung der Facettengelenke mit resultierender Spondylarthrose. Extraspinale Bandscheibenvorfälle sowie Synovialzysten und Neuroforamenstenosen betreffen eher ältere Patient:innen mit einem Häufigkeitsgipfel in der sechsten Dekade [21, 37, 63]. Diese Beobachtung in der Literatur deckt sich mit dem durchschnittlichen Patientenalter in unserer Studie. Ein vermehrtes Auftreten im männlichen Geschlecht konnten wir auch in unserer Studie sehen.

#### 5.1.2 Symptome

Da intra-, intra-/extra- und extraforaminale Bandscheibenvorfälle die austretende Nervenwurzel und das Spinalganglion komprimieren, beinhaltet das klinische Erscheinungsbild häufig starke radikuläre Schmerzen und sensomotorische Defizite, während Rückenschmerzen oft als leicht bis mittelschwer eingestuft werden [66]. Epstein et al. berichteten in ihrer Studie mit 170 Patient:innen von motorischen Defiziten in 74% und sensiblen Defiziten in 79% der Fälle [21]. Garrido et al. fanden in ihrer Patientenkohorte aus 41 Patient:innen bei 56% der Fälle motorische Defizite [29]. Siebner et al. beschrieben bei den 40 Patient:innen mit intra-, intra-/extra- und extraforaminalen Bandscheibenvorfällen bei jeweils 32 Patient:innen Paresen und Sensibilitätsstörungen, d.h. bei 80% ihrer Patient:innen [90]. In unserer Patientenkohorte bestätigen sich diese Zahlen: von 167 Patient:innen bestand bei 73% eine Parese und bei 55% eine Sensibilitätsstörung. Passend zu den in unserer Patientenkohorte am häufigsten betroffenen Segmenten LWK 4/5, gefolgt

von LWK 3/4, dominierte eine L3/L4-Klinik mit Hüftbeuger- und Kniestreckerparese in ca. 66% der Paresen.

Die ausgeprägte Symptomatik wird erklärt durch die Kompression der Nervenwurzel im knöchernen Neuroforamen, in welchem die Nervenwurzel regulär etwa 30% des verfügbaren Platzes einnimmt [40]. Die räumliche Beziehung des Spinalganglions zum Neuroforamen spielt zudem eine wesentliche Rolle. Die Neurone innerhalb des Spinalganglions sind für die sensorische Übertragung und Schmerzwahrnehmung verantwortlich [9, 23, 40, 98]. North et al. publizierten 2019 eine Studie zur Korrelation von elektrophysiologischen Prozessen und mRNA-Expression von Neuronenzellen des Spinalganglions bei neuropathischen Schmerzen. Sie fanden eine starke Korrelation zwischen radikulären/ neuropathischen Schmerzen, radiologischer Nervenwurzelkompression, elektrophysiologischen Auffälligkeiten und spontaner Aktivität in den Spinalganglionneuronen [64].

## **5.2 Diskussion der radiologischen Daten und der klinischen Verläufe**

### **5.2.1 Segmentale Verteilung**

In der Literaturrecherche bestätigte sich das Auftreten extraspinaler Bandscheibenvorfälle betont in der unteren Lendenwirbelsäule, dominierend im Segment LWK 4/5, gefolgt von LWK 3/4 und LWK 5/SWK 1. Wie in Tabelle 2 detailliert dargestellt, treten intra-/extraforaminale Bandscheibenvorfälle zu ca. 45% im Segment LWK 4/5 auf, gefolgt von den Segmenten LWK 3/4 und LWK 5/SWK 1 mit jeweils ca. 25% und LWK 1/2 und LWK 2/3 zusammengenommen mit ca. 5%. Abbildung 16 zeigt die prozentuale Verteilung der Segmenthöhen in der Literatur und in unserer Patientenkohorte. Wir stellten ein Überwiegen der Segmente LWK 3/4 und LWK 4/5 fest, wohingegen LWK 5/SWK 1 in unserer Kohorte seltener betroffen war (Abb. 16).

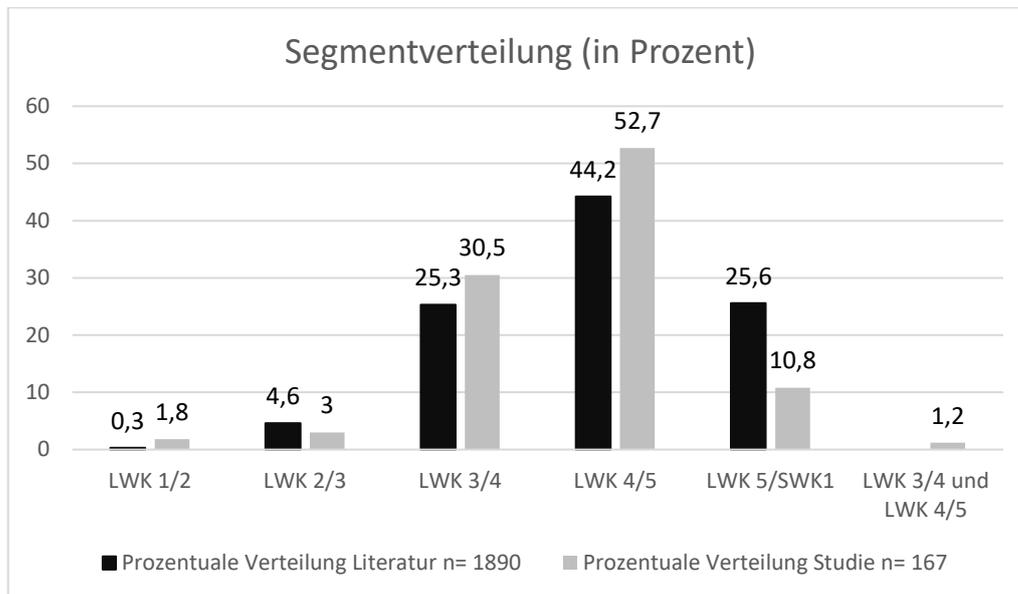


Abb. 16: Vergleich der prozentualen Verteilung der betroffenen Segmente, schwarz: in der Literatur, siehe Tab. 2, grau: in unserer Patientenkohorte

In unserer Studie wurde das Segment LWK 5/SWK 1 in ca. 11% der Fälle operiert, was tendenziell niedriger ausfiel als in der Literatur. Das Segment LWK 5/SWK 1 wird in zahlreichen Studien als das operativ anspruchsvollste Segment angesehen [10, 49, 53]. Grund hierfür sind die höhenabhängigen Veränderungen des Arcus vertebrae. In kranial-kaudaler Richtung, von LWK 1 nach SWK 1, erstreckt sich der Isthmus allmählich weiter lateral und bedeckt schließlich die Taille des jeweiligen Wirbelkörpers, das Facettengelenk bewegt sich nach oben und bedeckt den Bandscheibenraum und der Querfortsatz bewegt sich allmählich nach kaudal. Der Beckenkamm und prominente Alae sacralis erschweren die Darstellung des lateralen interpedikulären Raumes und somit die Darstellung intra- und intra-/extraforaminal gelegener Pathologien. Von interlaminär kommend, ist das Erreichen derartiger Pathologien nur durch vermehrte Knochenresektion bis hin zur Facettektomie möglich.

Aufgrund der erschwerenden Bedingungen im Segment LWK 5/SWK 1, ergänzen wir in diesen Fällen die MRT-Bildgebung mit einer Computertomographie der Lendenwirbelsäule als Volumendatensatz. Diese ermöglicht die 3D-Rekonstruktion der knöchernen Strukturen und das Ausmessen der Breite der Lamina, des Pedikels und der Strecke bis zur komprimierenden Pathologie im Bereich des Neuroforamens. Nagamatsu et al. beschrieben 2022 den Nutzen kombinierter 3D-rekonstruierter CT- und MRT- Bilder [63]. Sie zeigten, dass lumbale 3D-CT/MRT-Fusionsbilder die kombinierte Weichteil-/Knochenbeurteilung des Kambin-Dreiecks und intra-/extraforaminaler Bandscheibenvorfälle erleichtern und dadurch geringer invasive und zielgenauere Zugänge ermöglichen.

Seit der Erstbeschreibung durch Abdullah 1974 [1] erhielten die extraspinalen Bandscheibenvorfälle in der englischsprachigen Literatur unterschiedliche Bezeichnungen ohne einheitlich definierte Lagebeziehung: „far-lateral lumbar disc herniations, extreme-far-lateral lumbar disc herniations, laterally herniated discs, intracanalicular disc herniations“. Ihr Anteil an der Gesamtinzidenz aller Bandscheibenvorfälle wird zwischen 0,7 und 12% angegeben [2, 4, 22, 43], wobei

kumulativ rein intraforaminale Vorfälle ca. 3%, rein extraforaminale Vorfälle ca. 4% und intra-/extraforaminale Vorfälle ca. 4% von allen lumbalen Bandscheibenvorfällen ausmachen [22, 46, 90]. In unserer Studie dominierten innerhalb der in die Studie eingeschlossenen intra- bis extraforaminalen lumbalen Bandscheibenvorfälle die intraforaminalen Vorfälle mit einem Anteil von 57%, gefolgt von den intra-/extraforaminalen Vorfällen mit 39%. Rein extraforaminale Vorfälle waren mit ca. 4% selten. Dieser deutliche Unterschied unserer beobachteten Verteilung zu der nahezu gleichen Verteilung der intra-, intra-/extra- und extraforaminalen Vorfällen in den o.g. älteren Studien [22, 46, 90] ist a.e. durch die Einführung der vereinheitlichten Klassifikation durch die Combined Task Force 2014 [26] erklärt, wodurch die Lagebeziehung eines Bandscheibenvorfalles im Bezug zum medialen und lateralen Pedikelrand klar definiert und die Interobserver Reliabilität verbessert wird.

## 5.2.2 Instabilität und Spondylolisthesis

Im Rahmen der operativen Versorgung lumbaler ossärer oder diskogener Foramenstenosen, werden hauptsächlich zwei chirurgische Zugangsmethoden beschrieben: die totale Facettektomie mit oder ohne Fusion und die facettenerhaltende mikrochirurgische oder endoskopische Foraminotomie über einen lateralen Zugang.

Die totale Facettektomie wurde nach der Erstbeschreibung der intra-, intra-/extra- und extraforaminalen Bandscheibenvorfälle durch Abdullah [1] zahlreich verwendet und ermöglicht eine übersichtliche Dekompression der austretenden Nervenwurzel im Bereich des Neuroforamens [29], wird jedoch als mögliches Risiko für eine sekundäre Instabilität angesehen [21, 48]. Epstein beschrieb in ihrer Studie von 1990 eine sekundäre Fusion bei 60 Patient:innen (1,7%), in der Studie von 1995 trat bei 7/170 Patient:innen (4%) eine sekundäre, fusionswürdige Instabilität nach totaler Facettektomie auf [21]. Garrido et al. berichteten von einer Fusion bei 41 Patient:innen (2,4%) nach totaler Facettektomie nach einer durchschnittlichen Follow-up Zeit von 22,4 Monaten (4 – 60 Monate) [29]. Bei ihrer Long-term Follow-up Studie mit einer durchschnittlichen Follow-up Zeit von 7 Jahren (1 – 17 Jahre) beschrieben Pichelmann et al. nach totaler unilateraler lumbaler Facettektomie eine "mutmaßlich chirurgisch induzierte Instabilität mit Indikation zum Zweiteingriff mittels Fusion" bei 13/187 Patient:innen (7,0%) [75]. Kunogi et al. kamen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass ein schlechtes Outcome mit der totalen Facettektomie ohne ergänzende Fusion zusammenhing, da selbst eine minimale postoperative Wirbelsäuleninstabilität den pathologischen Zustand der Nervenwurzel im Neuroforamen nachteilig beeinflussen könnte [48]. Auch Bae et al. untersuchten das klinische Outcome nach dem erweiterten interlaminären Zugang für die Entfernung extraspinaler Bandscheibenvorfälle. Sie zeigten eine negative Korrelation zwischen dem Ausmaß der Facettektomie und den klinischen Ergebnissen und empfahlen, dass mindestens 60 % des Facettengelenks erhalten bleiben sollten [7].

Im Tiermodell wiesen Fukui et al. 2017 strukturelle Veränderungen in den Bandscheiben und Wirbelendplatten aufgrund einer Destabilisierung des Bewegungssegments nach Facettektomie nach und postulierten eine bedeutende Rolle im pathophysiologischen Mechanismus und der beobachteten schmerzbedingten Gangstörungen nach totaler Facettektomie [28].

Biomechanisch betrachtet zeigten Abumi et al. in ihrer Kadaver-Studie, dass die totale unilaterale Facettektomie in dem Segment zu einer Instabilität bei Rotation und Flexion führte und empfahlen die zusätzliche Fusion [3]. Okawa et al. fanden dagegen keinen signifikanten Einfluss der Facettektomie auf die Flexion, jedoch auf die Kompression und Extension [67]. Neuere biomechanische Studien nutzten die Möglichkeiten von Finite-Elemente-Modellen (FEM), ein numerisches Verfahren, das im Rahmen von Simulationen zur gezielten Strukturanalyse sowie zur Berechnung komplexer Belastungen verwendet wird. Ahuja et al. [4] untersuchten den Zusammenhang zwischen lumbaler Instabilität und abgestufter unilateraler und bilateraler Facettektomie im FEM. Ziel war die segmentale Instabilität, die Belastung der Facettengelenke und den intradiskalen Druck nach Entfernung von 30%, 45%, 60% und 100% des Facettengelenkes einseitig und beidseitig, zu beurteilen. Sie zeigten eine Erhöhung der Wirbelsäulenmobilität, der Facettenbelastung und des intradiskalen Drucks bei mehr als 30% Facettektomie. Bei totaler unilateraler Facettektomie zeigte sich eine bis zu 80% erhöhte Wirbelsäulenmobilität, eine Erhöhung der Facettengelenkbelastung um 100% bei Extension und eine Erhöhung des intradiskalen Drucks um bis zu 70% bei Flexion [4]. Zeng et al. zeigten im FEM nach unilateraler Facettektomie eine um 12% gesteigerte intervertebrale Rotation des betroffenen Segmentes unter Extension und einen um 11% erhöhten intradiskalen Druck, unter axialer Scherbewegung wurde die intervertebrale Rotation um über 100% gesteigert [104]. Die biomechanischen Studien bestätigen somit die klinischen Ergebnisse und unterstreichen die Bedeutung des Erhalts der Facettengelenke hinsichtlich des Erhalts der segmentalen Stabilität.

Die in unserer Studie verwendete Operationstechnik ermöglicht durch die laterale, kranial des Gelenks gelegene Fensterung die Dekompression des Neuroforamens und Entfernung intra-, intra-/extra- und extraforaminaler Bandscheibenvorfälle unter Erhalt des Facettengelenkes. Dennoch wurde bei 7/167 Patient:innen (4,2%) eine Fusions-Operation bei wiederkehrenden radikulären Schmerzen im Verlauf nötig. Von diesen 7 Patient:innen waren 5 zwei- (3) bzw. dreimal (2) vor der Fusions-Operation in dem entsprechenden Segment voroperiert und die Spondylodese erfolgte aufgrund einer symptomatischen Foramenstenose. Aus den 7 Patient:innen bestand bei 4 Patient:innen eine präoperative Spondylolisthesis Meyerding Grad 1 und bei 2 Patient:innen zusätzlich eine Skoliose. Zur Frage, ob die genannten anatomischen Veränderungen und die vorbestanden Läsionen in dem betroffenen Segment kausal mit der Notwendigkeit einer sekundären Fusions-Operation zusammenhängen: Chang et al. untersuchten mögliche Risikofaktoren für ein schlechtes Outcome aufgrund persistierender oder wiederkehrender radikulärer Schmerzen nach Entfernung eines extraspinalen Bandscheibenvorfalles oder Dekompression einer Neuroforamenstenose über den posterolateralen Zugang nach Wiltse [13]. Sie berichteten ein nicht zufriedenstellendes Outcome bei 21,7% der Patient:innen, wobei die dominierende Ursache die Entwicklung einer Foramenstenose durch Höhenverlust der Bandscheibe war, in 6 Fällen bestand ein Rezidiv-Prolaps [13]. Selbst eine initial gut entlastete Nervenwurzel kann wieder von einer Foramenstenose betroffen werden, da die Weite des Neuroforamens eng mit dem Höhenverlust der Bandscheibe zusammenhängt [32]. In 12,5% dieser Fälle bestand eine präoperative Spondylolisthesis, jedoch war der Zusammenhang nicht signifikant. 9/184 Patient:innen (4,9%) mussten revidiert werden, davon 7 (3,8%) mittels Fusion [13]. Cho et al. berichteten von einem schlechten Outcome bei 33,0% ihrer Patient:innen, 10,0% mussten sekundär fusioniert werden. Sie fanden einen Zusammenhang zwischen einem schlechten Outcome und einem hohen lordotischen Winkel, jedoch keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Vorliegen einer

Spondylolisthesis [14]. Bae et al. sahen eine präoperative Spondylolisthesis als möglichen Risikofaktor für ein schlechtes Outcome an, auch wenn sich diesbezüglich keine statistische Signifikanz ergab [7]. Dennoch konnten Yeo et al. das Ausmaß der präoperativen Spondylolisthesis als statistisch signifikanten Faktor definieren, der mit einer zusätzlichen Operation verbunden war [103]. Yamada et al. postulierten, dass eine degenerative Lumbalskoliose ein Risikofaktor für schlechte Ergebnisse nach mikrochirurgischer Foraminotomie sei. Sie stellten fest, dass die Rezidivrate bei Patienten mit degenerativer lumbaler Skoliose erheblich höher und die klinische Besserung signifikant geringer ausfiel als bei Patienten ohne degenerative lumbale Skoliose [102]. Auch Chang et al. bestätigten den Zusammenhang schlechter Ergebnisse mit dem Vorliegen einer Skoliose [12].

Zusammenfassend können wir die o.g. Risikofaktoren auch in unserer Fusions-Kohorte finden und somit einen kausalen Zusammenhang postulieren. 5/7 Patient:innen (71,4%) wurden zwei- bzw. dreimal in dem Segment voroperiert, wodurch es zu einem Höhenverlust des Bandscheibenfachs gekommen ist und eine Neuroforamenstenose resultierte. Zudem zeigte sich bei 4 Patient:innen präoperativ eine Spondylolisthesis und bei 2 Patient:innen eine Skoliose. In unserer Studie korrelierte eine präoperative Spondylolisthesis signifikant mit einer sekundären Fusion. Im zukünftigen Verlauf sollten diese Kriterien bei der Wahl der Operationsmethode gegebenenfalls berücksichtigt und eine Spondylodese primär erwogen werden. Selbstverständlich wurden unsere Patient:innen präoperativ regulär über das Risiko einer sekundären Instabilität und möglichen Spondylodese aufgeklärt. Nach unserer Erfahrung stehen viele Patient:innen einer Spondylodese sehr distanziert gegenüber und wählen zunächst die mikrochirurgische Operationstechnik. Tabelle 11 zeigt die Zusammenfassung der Fälle mit Spondylodese im Verlauf.

Nr.	Alter bei OP	Geschlecht	Initiale Diagnose	Anzahl Vor-Ops vor Fusion	Spondylolisthesis	Skoliose	Dauer bis Fusion (Monate)	VAS präop Bein	VAS postop Bein	VAS präop Rücken	VAS postop Rücken	ODI	SF36 KSK	SF36 PSK
1	51,8	m	FS	2	nein	nein	60	10	0	10	3	22	43,8	60,1
2	52,8	w	FS	3	nein	nein	8	6	-	5	-	-	-	-
3	57,1	m	NPP ie	2	nein	nein	49	8	2	5	4	12	37,4	54,2
4	67,2	m	NPP i	3	ja	nein	48	10	0	8	2	18	30,5	64,2
5	75,7	w	NPP ie	2	ja	nein	0,9	7	5	6	4	57,8	26,3	35,5
6	60,4	w	NPP ie	1	ja	ja	0,6	10	-	8	-	-	-	-
7	56,1	m	FS	1	ja	ja	10	7	3	6	0	26	38,8	58,4

Tab. 11: Zusammenfassung der Fälle mit sekundärer Spondylodese. FS= Foramenstenose, NPP= Nucleus pulposus Prolaps, ie= intra-/extraforaminal, i= intraforaminal.

### 5.2.3 Rezidive

5/167 Patient:innen in unserer Studie mussten aufgrund eines Rezidiv-Bandscheibenvorfalles erneut operiert werden, durchschnittlich nach  $26,7 \pm 21,7$  Monaten. Unsere Rezidivrate von 3,0% fiel in unserem Long-term Follow-up gering aus, vergleicht man diese mit der berichteten Rezidivrate von 5,0 bis 15,0% bei intraspinalen Bandscheibenvorfällen [34, 51, 93]. Die Rezidivrate extraspinaler Bandscheibenvorfälle wird zwischen 3,0 bis 18% angegeben [21, 22, 58, 76, 83].

Betrachtet man die verschiedenen Operationstechniken für die Entfernung intra-, intra-/extra- und extraforaminaler Bandscheibenvorfälle, so zeigt sich eine tendenziell geringere Rezidiv-Rate bei der erweiterten interlaminären Fensterung. Abdullah berichtete von einer Rezidivrate von 0,7% (1/138) [1], Epstein beschrieb ein revisionswürdiges Rezidiv bei 3,5% (6/170) ihrer Patient:innen [21]. Postacchini et al. fanden eine Rezidivrate von 2,3% (1/43) [77], Garrido [29] und Kunogi et al. [48] hatten keine Rezidive zu verzeichnen. Diese geringen Rezidivraten lassen sich a.e. durch die gute Übersicht und Erreichbarkeit des intra- und extraforaminalen Raumes nach Facettektomie erklären, dem gegenüber ist jedoch die in den o.g. biomechanischen Studien festgestellte Destabilisierung des Segmentes zu stellen [4, 104].

In größeren Studien, die den posterolateralen Zugang nach Wiltse verwendeten, ließen sich tendenziell etwas höhere Rezidivraten finden. Bae et al. berichteten von einer Rezidivrate von 2,6% (6/234) [7], Porchet et al. beschrieben eine Rezidivrate von knapp 5,0% (10/202) [76] und Yeo et al. kamen auf 8,8% (6/68) [103]. In der Long-term Studie von Marquardt et al. mit einer durchschnittlichen Follow-up Zeit von 12,2 Jahren wurden 15 Rezidive bei 138 Patient:innen berichtet, was einer Rezidivrate von 10,9% entspricht [58]. Die Ursache für die etwas höheren Rezidivraten mag gegebenenfalls in der weichteilbegrenzten Präparation durch die Mm. longissimus und multifidus mit einer höheren Gefahr einer erschwerten Darstellung der Zielstrukturen liegen. Nachteilig könnte hieraus eine insuffiziente Darstellung des intraforaminalen Abschnitts resultieren, so dass intraforaminale Sequester verbleiben können.

Die Rezidivrate der Studien, welche den translaminären Zugang verwendeten, reichte von 0 – 7,0%. Di Lorenzo et al. [17] und Vogelsang et al. [97] beschrieben kein Rezidiv, Soldner et al. berichteten von 1/30 Patient:innen mit Rezidivprolaps, 3,3%, nach 10 Tagen [91] und Papavero et al. kamen auf eine Rezidivrate von 7,0% [73]. Der translaminäre Zugang ist eine sehr gezielte Technik mit nur geringer Knochenresektion und Erhalt der Facettengelenke, ist jedoch vor allem für weit kranialateral oder foraminal sequestrierte Vorfälle praktikabel. Di Lorenzo et al. schlossen für diesen Zugang die Fälle aus, welche durch weitere Befunde wie eine Spondylolisthesis, Rezessus- oder Foramenstenose erschwert waren [17]. Der Grund für die höhere Rezidivrate bei Papavero et al. mag darin liegen, dass das Hauptaugenmerk auf der Entfernung des Sequesters lag. So wurde das Bandscheibenfach nur in 15% der Fälle auf intradiskale Sequester inspiziert [73]. Da dieser Ansatz keine ausreichende Exploration des ursprünglichen Bandscheibenraums erlaubt, sollte er auf Patienten ohne signifikante Vorwölbung der Bandscheibe selbst beschränkt werden.

## 5.3 Diskussion der Fragebögen-Ergebnisse

### 5.3.1 ODI

Die Auswertung des ODI ergab einen durchschnittlichen Wert von  $11 \pm 13$ , was einer leichtgradigen Funktionseinschränkung (0 – 20%) entspricht. 5 Patient:innen (3,7%) verzeichneten eine starke Funktionseinschränkung mit Werten zwischen 41 – 60%. In dieser Patientengruppe fiel ein höherer durchschnittlicher BMI von  $32 \text{ kg/m}^2$  auf als in den Gruppen mit einer leicht- bzw. mittelgradigen Funktionseinschränkung, hier lag der durchschnittliche BMI bei jeweils  $26 \text{ kg/m}^2$ . Aimar et al. untersuchten in einer aktuellen Studie aus dem Jahre 2021 mit 1001 Patient:innen prädiktive Faktoren für eine schlechtes Outcome nach lumbaler Operation mittels ODI und postulierten einen  $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$  als einen negativen Prädiktor [6]. Chan et al. untersuchten in einer multizentrischen Studie die Auswirkungen von Adipositas auf postoperative Ergebnisse bei lumbaler Fusion bei Spondylolisthese und stellten fest, dass die Patientengruppe mit  $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$  im Vergleich insbesondere bei radikulären Schmerzen geringere Verbesserungen erzielte [11], Rhin et al. [81] und McGuire et al. [58] ergänzten auch eine höhere Reoperationsrate adipöser Patienten nach Fusion bei Spondylolisthesis. Knutsson et al. berichteten eine Korrelation zwischen Adipositas und geringerer postoperativer Zufriedenheit und schlechteren Ergebnissen bei Patienten, die aufgrund einer Spinalkanalstenose dekomprimiert wurden [44]. Weitere einheitliche mögliche Prädiktoren für einen hohen ODI und damit einer starken Funktionseinschränkung im Alltag ließen sich in dieser kleinen Patientengruppe unserer Studie nicht identifizieren.

### 5.3.2 SF-36

Die Auswertung des SF-36-Fragebogens ergab in unserer Patientenkohorte einen KSK-Wert von  $47,7 \pm 9,6$ . Der PSK-Wert betrug  $53,8 \pm 9,0$ .

Im Vergleich zu Daten der Normalbevölkerung unterschieden sich der KSK und PSK Wert unserer Studie nicht signifikant, d.h. die Operation wirkte sich nicht negativ auf die Long-term Quality of Life aus. Im Vergleich zu der entsprechenden Altersgruppe fiel der KSK-Wert unserer Patientengruppe signifikant besser aus und im Vergleich zu den Werten der „Patienten mit Rückschmerzen, Ischias und Bandscheibenschaden“ fielen sowohl der KSK, als auch der PSK Wert hochsignifikant bzw. signifikant besser aus (Tabellen 8-10). Der Grund für die besseren Werte unserer Gruppe im Vergleich zu den alters- und krankheits-gematchten Gruppen aus der Normalbevölkerung mag an dem Erhebungsjahr des Gesundheitssurveys 1994 liegen. Untersuchungen haben gezeigt, dass in den letzten Jahrzehnten eine subjektive „Verjüngung des Alters“ stattgefunden hat [42] und dass ältere Menschen nun länger bei besserer Gesundheit leben [56]. Gerstorf et al. bestätigten in ihren Berlin Aging Studies (BASE I und II), welche erstmals 1993 (I) und zum zweiten Mal 2014 (II) durchgeführt wurde, bei den jeweils durchschnittlich 75-jährigen Teilnehmern eine bessere kognitive Leistungsfähigkeit und ein größeres Wohlbefinden in der später geborenen Gruppe (II) [30]. Um unsere Daten besser zu vergleichen, wären Daten einer Kontrollgruppe aus der heutigen Zeit hilfreich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Im Rahmen dieser Studie wurden erstmals im Langzeitverlauf Daten zur Quality of Life mittels SF-36v2 und ODI erhoben. Die Quality of Life nach dieser Operationstechnik ist gut und die Werte für die körperliche und psychische Lebensqualität entsprechen auch im Long-term Follow-up denen einer gesunden Normalbevölkerung.

## 5.4 Zusammenfassende Beurteilung der Operationstechniken

Ein Großteil älterer Studien zu der operativen Versorgung extraspinaler Bandscheibenvorfälle verwendet die erweiterte interlaminäre Fensterung, welche initial die vollständige Facettektomie bis hin zur Hemilaminektomie umfasste [2, 16, 21, 31]. Dabei sehen Ebeling et al. zur suffizienten Entfernung eines extraspinalen Bandscheibenvorfalles eine knöcherne Resektion von 10-15 mm x 5-10 mm als notwendig an [18]. Die Basis des Processus articularis inferior hat jedoch gemäß der Studie eine durchschnittliche Breite von 14 mm in LWK 1-4 bzw. 17 mm in LWK 5 und SWK 1, so dass die knöcherne Resektion in der Regel eine Entfernung oder Diskonnektion des Gelenkfortsatzes beinhaltet, um einen intra-/extraforaminal oder extraforaminal gelegenen Bandscheibenvorfall zu entfernen. Die umfangreiche knöcherne Resektion ermöglicht zwar eine gute Übersicht und Darstellung des Operationsgebietes, birgt jedoch aus biomechanischer Sicht das Risiko einer Destabilisierung des Segments [3, 4, 103].

Der posterolaterale transmuskuläre Zugang nach Wiltse [100] mit Präparation durch die Mm. longissimus und multifidus stellt durch die Weichteilbegrenzung und das weitgehende Fehlen ossärer Orientierungspunkte eine anspruchsvolle Präparation mit einer höheren Gefahr einer insuffizienten Darstellung der Zielstrukturen dar. Im Vergleich dazu ermöglicht der im Rahmen unserer Studie verwendete Mittellinienzugang stets die Orientierung an den knöchernen Strukturen der Lamina, der Facettengelenke bis hin zum lateralen Rand des Isthmus. Dies bietet auch weniger erfahrenen Wirbelsäulenchirurg:innen Sicherheit bei der Präparation. Wir favorisieren daher den Mittellinienzugang für die Darstellung des lateralen Randes des Isthmus zur Entfernung intra- oder extraforaminal gelegener Bandscheibenvorfälle gegenüber dem posterolateralen Zugang nach Wiltse.

Die translaminäre Fensterung der Pars interarticularis kann zwar eine schonende Entfernung von intraforaminalen und nach kranial sequestrierten Bandscheibenvorfällen ermöglichen, kommt aber bei lateral des Pedikels gelegenen, extraforaminalen Bandscheibenvorfällen an ihre Grenzen [17, 73, 91]. Dies trifft vor allem in den unteren Segmenten der LWS mit breiterer Lamina zu.

Reinshagen et al. stellten 2015 erstmals eine translaminäre kontralaterale Technik zur Entfernung intra- und intra-/extraforaminal gelegener Bandscheibenvorfälle vor [80]. Im Jahr 2022 publizierten Jesse et al. darauf aufbauend den interlaminären kontralateralen Zugang, welcher mit der Technik der Cross-over-Dekompression bei Spinalkanalstenosen vergleichbar ist [41]. Die kontralaterale Lamina wird trans- bzw. interlaminär gefenstert, epidural dorsal osteoligamentär dekomprimiert, der Duralschlauch nach ventral gehalten und der Operationstisch und das Mikroskop so weit gekippt bis der Blick in den Eingang des Neuroforamens möglich ist. So können frei nach kranial lateral sequestrierte frische intraforaminale Bandscheibenvorfälle unter Erhalt der stabilisierenden knöchernen Strukturen entfernt werden. Zudem kann so bei vor-operierten

Patient:innen die Präparation direkt durch das Narbengewebe umgangen werden [41, 80]. Der kontralaterale Zugang kommt jedoch bei extraforaminalen Bandscheibenvorfällen an seine Grenze, zudem können harte Bandscheibenvorfälle nicht ausgeschnitten und zusätzliche subligamentäre oder intradiskale Sequester nicht entfernt werden, da ein Austasten des Defekts im Anulus fibrosus nicht möglich ist. Dieser Zugang ist technisch sehr anspruchsvoll und bietet nur einen engen tiefen Arbeitskanal, welcher durch eine zusätzliche knöcherne Neuroforamenstenose weiter erschwert sein kann. Blutungen aus den durch das Bandscheibengewebe gestauten epiduralen Venen oder Duraläsionen auf Seiten des Bandscheibenvorfalles können nicht unter direkter Sicht versorgt werden [41, 80]. Größere Langzeit-Studien zu dieser Technik bzgl. Outcome und Rezidivraten fehlen bisher.

Der Zugang über die laterale Fensterung der Pars interarticularis über einen Mittellinienzugang ist die von uns verwendete Technik der Wahl zur Entfernung intra-, intra-/extra- und extraforaminaler Bandscheibenvorfälle. Die Präparation wird erleichtert durch die Führung anhand der bekannten knöchernen Strukturen hin zum lateralen Rand des Isthmus. Durch Einfräsen der Pars interarticularis und folgender Resektion des Ligamentum flavum von lateral wird die direkte Einsicht in das Neuroforamen und die Aufsicht auf die austretende Nervenwurzel und das Spinalganglion gewährt. Eine schonende Resektion dort lokalisierter Sequester ist sicher möglich und die Gefahr des Verbleibs von Restsequestern ist dadurch reduziert. In der Regel erfolgt nur eine geringe Knochenresektion im Bereich des Isthmus der Pars interarticularis unter vollständigem Erhalt des Facettengelenkes und ohne Eröffnung des Spinalkanals. Dadurch ergibt sich eine geringere Gefahr der postoperativen, segmentalen Instabilität und der periradikulären Fibrose. Als potenzieller, jedoch bisher nicht detailliert untersuchter Nachteil dieser Technik kann die Schwächung der Pars interarticularis mit möglicher resultierender Fraktur angesehen werden. Ivanov et al. wiesen nach Entfernung von 50% des lateralen Teils der LWK 3- bzw. LWK 4- Pars interarticularis einen Spannungsanstieg im Bereich der Lamina auf 35% und 40% nach. Nach Entfernung von nur 25% des lateralen Teils der Pars interarticularis waren die Werte vergleichbar mit denen der intakten Wirbelsäule [36]. Ivanov et al. nutzen ein Finite-Elemente-Modell. Sari et al. zeigten am Schafsknochen, dass mit zunehmendem Resektionsanteil des Isthmus ein signifikanter Widerstandsverlust vor allem bei lateraler Biegebelastung bestand. Der zu 50% resezierte Wirbel brach signifikant leichter im Vergleich zu dem zu 25% resezierten Wirbel [87]. Wir streben daher ein Resektionsausmaß der Pars interarticularis an, welches 25% nicht übersteigt. In unserem Long-term Follow-up trat in unserer beobachteten Patientenkohorte keine Fraktur des Isthmus auf.

Die aktuelle Studie weist Limitationen auf, da sie als eine retrospektive Kohortenstudie konzipiert wurde. Potenzielle Variablen, die Auswirkungen auf die postoperativen Ergebnisse der Patienten haben könnten, wurden mithilfe umfangreicher Datenerhebung der präoperativen Befunde erfasst und auf Signifikanz untersucht. Wir haben alle verfügbaren Risikofaktoren und bekannten potenziellen Störfaktoren in unserer Auswertung berücksichtigt. Es ist jedoch möglich, dass unbekannte oder nicht dokumentierte Variablen einen bedeutenden Einfluss auf unsere Ergebnisse haben, den wir nicht definieren können. Eine mögliche Ursache für Fehler kann die Unvollständigkeit der ursprünglichen Patientendaten sein, zum Beispiel durch den Recall-Bias bei der Anamnese. Darüber hinaus sind mögliche Zufallsfehler bei der Aufnahme und Dokumentation der Daten nicht mehr nachvollziehbar, wenn die Daten retrospektiv betrachtet werden. Es handelt sich um eine monozentrische Studie einer Operationstechnik ohne Randomisierung der

Patientenkohorte. Wir haben den ODI und den SF-36 nur postoperativ erhoben und können somit keinen prä- und postoperativen Vergleich dazu aufstellen.

## 6. Zusammenfassung

Lumbale Bandscheibenvorfälle sind zu ca. 10 % intra-, intra-/extra- oder extraforaminal lokalisiert. Der laterale Pars interarticularis Zugang ermöglicht eine hochsignifikante Besserung der Rücken- und Beinschmerzen und der Paresen im postoperativen Verlauf. Wegen eines Rezidivvorfalls mussten 3,0% aller Patient:innen reoperiert werden, durchschnittlich zu einem späten Zeitpunkt nach ~ 19 Monaten. Wegen einer sekundären Instabilität mussten 4,2 % aller Patient:innen im gleichen Segment stabilisiert werden, im Durchschnitt nach ~ 25 Monaten. Als mögliche Risikofaktoren für eine sekundäre Instabilität und folgender Spondylodese sahen wir in dieser Patientengruppe zwei- bzw. dreifache Vor-Operationen in dem Wirbelsäulensegment, das Vorliegen einer Skoliose und Spondylolisthesis. Jedoch ist diese Patientenzahl zu klein, um eine Kausalität herstellen zu können. Im Langzeitverlauf nach 46 Monaten lag der ODI Score im Bereich einer minimalen Beeinträchtigung und die Quality of Life Erhebung (SF-36) im Bereich der jeweiligen Normstichproben. In der Patientengruppe mit schlechten Outcome-Ergebnissen zeigte sich ein durchschnittlicher BMI von 32 kg/m<sup>2</sup>. Dieser Zusammenhang deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Literatur, wonach ein BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> ein signifikanter negativer Prädiktor für ein schlechtes Outcome nach lumbaler Chirurgie ist.

Die minimalinvasive Zugangstechnik über die laterale Fensterung der Pars interarticularis ermöglicht nach unserer Erfahrung eine gute Exposition und suffiziente Entfernung von intraforaminalen und intra- /extraforaminalen Bandscheibenvorfällen. Sie gewährleistet einen Einblick in das Neuroforamen, wodurch eine schonende Resektion dort lokalisierter Sequester sicherer möglich ist, die Gefahr des Verbleibs von Restsequestern ist dadurch reduziert. Der zu untersuchende operative Zugangsweg zu intra- und extraforaminalen lumbalen Bandscheibenvorfällen benötigt in der Regel nur eine geringe Knochenresektion im Bereich des Isthmus der Pars interarticularis unter vollständigem Erhalt des Facettengelenkes und ohne Eröffnung des Spinalkanals. Die Risiken postoperativer segmentaler Instabilität und periradikulärer Fibrose werden somit reduziert.

Der laterale Pars interarticularis Zugang stellt einen sicheren und effektiven mikrochirurgischen Zugangsweg bei der chirurgischen Behandlung intra-, intra-/extra- oder extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle dar. Als Folge seiner relativ einfachen und stabilen anatomischen Orientierung birgt der Zugang nach unserer Erfahrung die Perspektive einer steilen Lernkurve und kurzer Operationszeiten.

## Literaturverzeichnis

1. Abdullah AF, Ditto EW 3rd, Byrd EB, Williams R. Extreme-lateral lumbar disc herniations. Clinical syndrome and special problems of diagnosis. *J Neurosurg.* 1974 Aug;41(2):229-34.
2. Abdullah AF, Wolber PG, Warfield JR, Gunadi IK. Surgical management of extreme lateral lumbar disc herniations: review of 138 cases. *Neurosurgery.* 1988 Apr;22(4):648-53.
3. Abumi K, Panjabi MM, Kramer KM, Duranceau J, Oxland T, Crisco JJ. Biomechanical evaluation of lumbar spinal stability after graded facetectomies. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990 Nov;15(11):1142-7.
4. Ahuja S, Moideen AN, Dudhniwala AG, Karatsis E, Papadakis L, Varitis E. Lumbar stability following graded unilateral and bilateral facetectomy: A finite element model study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020 May; 75:105011.
5. Al-Khawaja DO, Mahasneh T, Li JC. Surgical treatment of far lateral lumbar disc herniation: a safe and simple approach. *J Spine Surg.* 2016 Mar;2(1):21-4.
6. Aimar E, Iess G, Gaetani P, Galbiati TF, Isidori A, Lavanga V, Longhitano F, Menghetti C, Messina AL, Zekaj E, Broggi G. Degenerative Lumbar Stenosis Surgery: Predictive Factors of Clinical Outcome-Experience with 1001 Patients. *World Neurosurg.* 2021 Mar;147:e306-e314
7. Bae JS, Kang KH, Park JH, Lim JH, Jang IT. Postoperative Clinical Outcome and Risk Factors for Poor Outcome of Foraminal and Extraforaminal Lumbar Disc Herniation. *J Korean Neurosurg Soc.* 2016 Mar;59(2):143-8.
8. Benini A. Der Zugang zu den lateralen lumbalen Diskushernien am Beispiel einer Hernie L4/L5. *Oper Orthop Traumatol.* 1998 Jun;10(2):103-16.
9. Berger AA, Liu Y, Possoit H, Rogers AC, Moore W, Gress K, Cornett EM, Kaye AD, Imani F, Sadegi K, Varrassi G, Viswanath O, Urits I. Dorsal Root Ganglion (DRG) and Chronic Pain. *Anesth Pain Med.* 2021 Mar 28;11(2): e113020.
10. Bernucci C, Giovanelli M. Translaminar microsurgical approach for lumbar herniated nucleus pulposus (HNP) in the "hidden zone": clinical and radiologic results in a series of 24 patients. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007 Jan 15;32(2):281-4.
11. Chan AK, Bisson EF, Bydon M, et al. Obese patients benefit, but do not fare as well as nonobese patients, following lumbar spondylolisthesis surgery: An analysis of the quality outcomes database. *Neurosurgery.* 2020; 86:80-87.
12. Chang HS, Baba T, Matsumae M. Long-term Outcomes after Microsurgical Decompression of Lumbar Foraminal Stenosis and Adverse Effects of Preoperative Scoliosis: A Prospective Cohort Study. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2021 Oct 15;61(10):598-606.
13. Chang SB, Lee SH, Ahn Y, Kim JM. Risk factor for unsatisfactory outcome after lumbar foraminal and far lateral microdecompression. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006 May 1;31(10):1163-7.

14. Cho SI, Chough CK, Choi SC, Chon JY. Microsurgical Foraminotomy via Wiltse Paraspinal Approach for Foraminal or Extraforaminal Stenosis at L5-S1 Level: Risk Factor Analysis for Poor Outcome. *J Korean Neurosurg Soc.* 2016 Nov;59(6):610-614
15. Darden BV 2nd, Wade JF, Alexander R, Wood KE, Rhyne AL 3rd, Hicks JR (1995) Far lateral disc herniations treated by microscopic fragment excision. Techniques and results. *Spine (Phila Pa 1976)* 20:1500-1505
16. De Bonis P, Musio A, Mongardi L, Lofrese G, La Marca F, Visani J, Cavallo MA, Scerrati A. Transpars approach for L5-S1 foraminal and extra-foraminal lumbar disc herniations: technical note. *J Neurosurg Sci.* 2020 Dec 9
17. Di Lorenzo N, Porta F, Onnis G, Cannas A, Arbau G, Maleci A. Pars interarticularis fenestration in the treatment of foraminal lumbar disc herniation: a further surgical approach. *Neurosurgery.* 1998 Jan;42(1):87-90.
18. Ebeling U, Reulen HJ: Der laterale lumbale Bandscheibenvorfall. *Nervenarzt* 54:521-524, 1983
19. Epimenio RO, Giancarlo D, Giuseppe T, Raffaelino R, Luigi F (2003) Extraforaminal lumbar herniation: „Far lateral“ microinvasive approach retrospective study. *J Spinal Disord Tech* 16:534-538
20. Epstein NE. Different surgical approaches to far lateral lumbar disc herniations. *J Spinal Disord.* 1995 Oct;8(5):383-94.
21. Epstein NE. Evaluation of varied surgical approaches used in the management of 170 far-lateral lumbar disc herniations: indications and results. *J Neurosurg.* 1995 Oct;83(4):648-56.
22. Epstein NE. Foraminal and far lateral lumbar disc herniations: surgical alternatives and outcome measures. *Spinal Cord.* 2002 Oct;40(10):491-500.
23. Esposito MF, Malayil R, Hanes M, Deer T. Unique characteristics of the dorsal root ganglion as a target for neuromodulation. *Pain Med.* 2019;20(Suppl 1): S23–30.
24. Fairbank J, Couper J, Davies J et al. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy* 1980; 66: 271-273
25. Fankhauser H, de Tribolet N: Extreme lateral lumbar disc herniation. *Br J Neurosurg* 1:111-129, 1987
26. Fardon DF, Williams AL, Dohring EJ, Murtagh FR, Gabriel Rothman SL, Sze GK. Lumbar disc nomenclature: version 2.0: Recommendations of the combined task forces of the North American Spine Society, the American Society of Spine Radiology and the American Society of Neuroradiology. *Spine J.* 2014 Nov 1;14(11):2525-45.
27. Faust SE, Ducker TB, VanHassent JA. Lateral lumbar disc herniations. *J Spinal Disord.* 1992 Mar;5(1):97-103.
28. Fukui D, Kawakami M, Cheng K, Murata K, Yamada K, Sato R, Yoshida M, Yamada H, Inoue N, Masuda K. Three-dimensional micro-computed tomography analysis for spinal instability after lumbar facetectomy in the rat. *Eur Spine J.* 2017 Aug;26(8):2014-2020.

29. Garrido E, Connaughton PN. Unilateral facetectomy approach for lateral lumbar disc herniation. *J Neurosurg.* 1991 May;74(5):754-6.
30. Gerstorf, Denis; Hülür, Gizem; Drewelies, Johanna; Eibich, Peter; Duezel, Sandra; Demuth, Ilja; Ghisletta, Paolo; Steinhagen-Thiessen, Elisabeth; Wagner, Gert G.; Lindenberger, Ulman (2015). Secular changes in late-life cognition and well-being: Towards a long bright future with a short brisk ending?. *Psychology and Aging*, 30(2), 301–310.
31. Gioia G, Mandelli D, Capaccioni B, Randelli F, Tessari L (1999) Surgical treatment of far lateral lumbar disc herniation. Identification of compressed root and discectomy by lateral approach. *Spine (Phila Pa 1976)* 24:1952-1957
32. Hasegawa T, An HS, Haughton VM, et al. Lumbar foraminal stenosis: critical heights of the intervertebral discs and foramina. A cryomicrotome study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am* 1995; 77:32–8
33. Hassler W, Brandner S, Slansky I. Microsurgical management of lateral lumbar disc herniations: combined lateral and interlaminar approach. *Acta Neurochir (Wien).* 1996;138(8):907-10
34. Huang W, Han Z, Liu J, Yu L, Yu X. Risk Factors for Recurrent Lumbar Disc Herniation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore).* 2016 Jan;95(2):e2378.
35. Ikuta K, Tono O, Senba H, Kitamura T, Kamiya N, Oga M, Shidahara S. Translaminar micro-endoscopic herniotomy for cranially migrated lumbar disc herniations encroaching on the exiting nerve root in the preforaminal and foraminal zones. *Asian Spine J.* 2013 Sep;7(3):190-5.
36. Ivanov AA, Faizan A, Ebraheim NA, Yeasting R, Goel VK. The effect of removing the lateral part of the pars interarticularis on stress distribution at the neural arch in lumbar foraminal micro-decompression at L3-L4 and L4-L5: anatomic and finite element investigations. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007 Oct 15;32(22):2462-6.
37. Jackson RP, Cain JE Jr, Jacobs RR, Cooper BR, McManus GE. The neuroradiographic diagnosis of lumbar herniated nucleus pulposus: II. A comparison of computed tomography (CT), myelography, CT-myelography, and magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976).* 1989 Dec;14(12):1362-7.
38. Jackson RP, Glah JJ. Foraminal and extraforaminal lumbar disc herniation: diagnosis and treatment. *Spine (Phila Pa 1976).* 1987 Jul-Aug;12(6):577-85.
39. Jane JA, Haworth CS, Broaddus WC, Lee JH, Malik J. A neurosurgical approach to far-lateral disc herniation. Technical note. *J Neurosurg.* 1990 Jan;72(1):143-4.
40. Jenis LG, An HS. Spine update. Lumbar foraminal stenosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000 Feb 1;25(3):389-94.
41. Jesse CM, Raabe A, Ulrich CT. The Contralateral Approach to intra- and Extraforaminal Lumbar Disk Herniations: Surgical Technique and Review of Surgical Procedures. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2022 Nov;83(6):511-515
42. Jessica Polzyn, Alte Menschen gestern und heute - Zum Wandel der Altersbilder, München, GRIN Verlag 2005

43. Khan JM, McKinney D, Basques BA, Louie PK, Carroll D, Paul J, Varthi A, Iyer S, An HS. Clinical Presentation and Outcomes of Patients With a Lumbar Far Lateral Herniated Nucleus Pulposus as Compared to Those With a Central or Paracentral Herniation. *Global Spine J.* 2019 Aug;9(5):480-486.
44. Knutsson B, Michaëlsson K, Sandén B. Obesity is associated with inferior results after surgery for lumbar spinal stenosis: A study of 2633 patients from the Swedish spine register. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013; 38: 435-441.
45. Kornberg M. Extreme lateral lumbar disc herniations. Clinical syndrome and computed tomography recognition. *Spine (Phila Pa 1976).* 1987 Jul-Aug;12(6):586-9.
46. Kotil K, Akcetin M, Bilge T. A minimally invasive transmuscular approach to far-lateral L5-S1 level disc herniations: a prospective study. *J Spinal Disord Tech.* 2007 Apr;20(2):132-8.
47. Kramer J Bandscheibenbedingte Erkrankungen. 5. Auflage, Thieme Stuttgart, New York, 2006
48. Kunogi J, Hasue M. Diagnosis and operative treatment of intraforaminal and extraforaminal nerve root compression. *Spine (Phila Pa 1976).* 1991 Nov;16(11):1312-20.
49. Lee DY, Lee SH. Microdecompression for extraforaminal L5-s1 disc herniation; the significance of concomitant foraminal disc herniation for postoperative leg pain. *J Korean Neurosurg Soc.* 2008;44(1):19-25.
50. Lequin MB, Verbaan D, Jacobs WC, Brand R, Bouma GJ, Vandertop WP, Peul WC, Leiden-The Hague Spine Intervention Prognostic Study G, Wilco CP, Bart WK, Ralph TWMT, Wilbert BvdH, Ronald B. Surgery versus prolonged conservative treatment for sciatica: 5-year results of a randomised controlled trial. *BMJ Open* 2013;3
51. Leven DM, Passias PG, Errico TJ, et al. Risk factors for reoperation in patients treated surgically for intervertebral disc herniations: a subanalysis of the eight-year data from the sport trial. *Spine J* 2014; 14: S95–S96.
52. Lofrese G, Mongardi L, Cultrera F, Trapella G, De Bonis P. Surgical treatment of intraforaminal/ extraforaminal lumbar disc herniations: Many approaches for few surgical routes. *Acta Neurochir (Wien).* 2017 Jul;159(7):1273-1281
53. Lübbers T, Abuamona R, Elsharkawy AE. Percutaneous endoscopic treatment of foraminal and extraforaminal disc herniation at the L5-S1 level. *Acta Neurochir (Wien).* 2012 Oct;154(10):1789-95.
54. Mannion AF, Junge A, Fairbank JC, Dvorak J, Grob D. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. *Eur Spine J* 2006; 15:55-65
55. Mannion AF, Junge A, Grob D, Dvorak J, Fairbank JC. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 2: sensitivity to change after spinal surgery. *European spine journal.* 2006 Feb;15(1):66-73.

56. Manton KG, Gu X, Lowrimore GR. Cohort changes in active life expectancy in the U.S. elderly population: experience from the 1982-2004 National Long-Term Care Survey. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2008 Sep;63(5): S269-81
57. Maroon JC, Kopitnik TA, Schulhof LA, Abla A, Wilberger JE. Diagnosis and microsurgical approach to far-lateral disc herniation in the lumbar spine. *J Neurosurg*. 1990 Mar;72(3):378-82.
58. Marquardt G, Bruder M, Theuss S, Setzer M, Seifert V. Ultra-long-term outcome of surgically treated far-lateral, extraforaminal lumbar disc herniations: a single-center series. *Eur Spine J*. 2012 Apr;21(4):660-5.
59. McGuire KJ, Khaleel MA, Rihn JA, et al. The effect of high obesity on outcomes of treatment for lumbar spinal conditions: Subgroup analysis of the spine patient outcomes research trial. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014; 39:1975-1980
60. Melvill RL, Baxter BL. The intertransverse approach to extraforaminal disc protrusion in the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994 Dec 1;19(23):2707-14. PMID: 7899968.
61. Morfeld M, Kirchberger I, Bullinger M: SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand, Deutsche Version des Short Form-36 Health Survey 2., ergänzte und überarbeitete Auflage. Hogrefe Verlag GmbH & Co.KG 2011
62. Müller A, Reulen HJ. A paramedian tangential approach to lumbosacral extraforaminal disc herniations. *Neurosurgery*. 1998 Oct;43(4):854-61; discussion 861-2.
63. Nagamatsu M, Maste P, Tanaka M, Fujiwara Y, Arataki S, Yamauchi T, Takeshita Y, Takamoto R, Torigoe T, Tanaka M, Tanaka R, Moriue S. Usefulness of 3D CT/MRI Fusion Imaging for the Evaluation of Lumbar Disc Herniation and Kambin's Triangle. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Apr 12;12(4):956
64. North RY, Li Y, Ray P, Rhines LD, Tatsui CE, Rao G, Johansson CA, Zhang H, Kim YH, Zhang B, Dussor G, Kim TH, Price TJ, Dougherty PM. Electrophysiological and transcriptomic correlates of neuropathic pain in human dorsal root ganglion neurons. *Brain*. 2019 May 1;142(5):1215-1226.
65. O'Brien MF, Peterson D, Crockard HA. A posterolateral microsurgical approach to extreme-lateral lumbar disc herniation. *J Neurosurg*. 1995 Oct;83(4):636-40.
66. O'Hara LJ, Marshall RW. Far lateral lumbar disc herniation. The key to the intertransverse approach. *J Bone Joint Surg Br*. 1997 Nov;79(6):943-7.
67. Okawa A, K. Shinomiya, K. Takakuda, and O. Nakai, "A cadaveric study on the stability of lumbar segment after partial laminotomy and facetectomy with intact posterior ligaments," *Journal of Spinal Disorders*, vol. 9, no. 6, pp. 518–526, 1996.
68. Orthopädie und Unfallchirurgie u2date 06/2016
69. Osgood, C.P., Dujovny, M., Faille, R. et al. Microsurgical lumbosacral ganglionectomy, anatomic rationale, and surgical results. *Acta neurochir* 35, 197–204, 1976.
70. Oswestry Low Back Disability [Internet]. Rehab.msu.edu. 2021 [cited 21 June 2021]. Available from: [https://www.rehab.msu.edu/\\_files/\\_docs/oswestry\\_low\\_back\\_disability.pdf](https://www.rehab.msu.edu/_files/_docs/oswestry_low_back_disability.pdf)

71. Ozveren MF, Bilge T, Barut S, Eras M. Combined approach for far-lateral lumbar disc herniation. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2004 Mar;44(3):118-22; discussion 123.
72. Paolini S, Ciappetta P, Raco A, Missori P, Delfini R. Combined intra-extracanal approach to lumbosacral disc herniations with bi-radicular involvement. Technical considerations from a surgical series of 15 cases. *Eur Spine J*. 2006 May;15(5):554-8
73. Papaverio L, Langer N, Fritzsche E, Emami P, Westphal M, Kothe R. The translaminar approach to lumbar disc herniations impinging the exiting root. *Neurosurgery*. 2008 Mar;62(3 Suppl 1):173-7; discussion 177-8.
74. Petr O, Glodny B, Brawanski K, Kerschbaumer J, Freyschlag C, Pinggera D, Rehwald R, Hartmann S, Ortler M, Thome C. Immediate versus Delayed Surgical Treatment of Lumbar Disc Herniation for Acute Motor Deficits: The Impact of Surgical Timing on Functional Outcome. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017.
75. Pichelmann MA, Atkinson JLD, Fode-Thomas NC, Yaszemski MJ. Total lumbar facetectomy without fusion: short and long term follow-up in a single surgeon series. *Br J Neurosurg*. 2017 Oct;31(5):531-537
76. Porchet F, Chollet-Bornand A, de Tribolet N. Long-term follow up of patients surgically treated by the far-lateral approach for foraminal and extraforaminal lumbar disc herniations. *J Neurosurg*. 1999 Jan;90(1 Suppl):59-66.
77. Postacchini F, Cinotti G, Gumina S. Microsurgical excision of lateral lumbar disc herniation through an interlaminar approach. *J Bone Joint Surg Br*. 1998 Mar;80(2):201-7
78. Recoules-Arche D: La chirurgie de la hernie discale du canal de conjugaison lombaire. *Neurochirurgie* 31:61-64, 1985
79. Reinhold M, Eicker SO, Schleicher P, Schmidt O1, Wirbelsäule kompakt. Der DWG- Pocket-guide. Schattauer, 2018
80. Reinshagen C, Ruess D, Molcanyi M, Redjal N, Walcott BP, Goldbrunner R, Rieger B. A novel translaminar crossover approach for pathologies in the lumbar hidden zone. *J Clin Neurosci*. 2015 Jun;22(6):1030-5
81. Rihn JA, Radcliff K, Hilibrand AS, et al. Does obesity affect outcomes of treatment for lumbar stenosis and degenerative spondylolisthesis? Analysis of the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1933-1946.
82. Ruchholtz S, Wirtz DC, Pflugmacher R *Orthopädie und Unfallchirurgie* 3. Auflage, Thieme Stuttgart, New York, 2019
83. Ruff J, Wirtz R Häufigkeit und Dauer neuropathischer Schmerzen nach Operationen an extraforaminalen Bandscheibenvorfällen (Universitätsklinikum Ulm Klinik für Neurochirurgie 2018)
84. Rust MS, Olivero WC. Far-lateral disc herniations: the results of conservative management. *J Spinal Disord*. 1999 Apr;12(2):138-40.
85. S2k-Leitlinie Lumbale Radikulopathie Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie, Prof. Dr. Franz X. Glocker, Freiburg, AWMF-Registernummer: 030/058 2018

86. S2k-Leitlinie zur Versorgung bei Bandscheibenvorfällen mit radikulärer Symptomatik Greitemann, 8., Schmidt, R. AWMF 09/2020
87. Sari R, Elibol FKE, Özlü EBK, Elmacı İ, Demir T. Could isthmic approach to far lateral disc hernias cause instability? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020 Jun; 76:105004
88. Scott J, Huskisson E. Graphic representation of pain. *Pain* 1976; 2: 175-184
89. Scoville WB. Extradural spinal sensory rhizotomy. *J Neurosurg*. 1966 Jul;25(1):94-5
90. Siebner HR, Faulhauer K Frequency and specific surgical management of far lateral lumbar disc herniations. *Acta Neurochir* 1990 105:124–131
91. Soldner F, Hoelper BM, Wallenfang T, Behr R. The translaminar approach to canalicular and cranio-dorsolateral lumbar disc herniations. *Acta Neurochir (Wien)*. 2002 Apr;144(4):315-20.
92. Statistisches Bundesamt, DRG-Statistik, Wiesbaden 2021
93. Swartz KR, Trost GR. Recurrent lumbar disc herniation. *Neurosurg Focus* 2003; 15:E10.
94. Tanner P, Henseli V, Siller S, Tonn JC, Zausinger S. Die mikrochirurgische Entfernung intra-/extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle – der einfache und sichere laterale Pars interarticularis Zugang, *Eur Spine J* 31, 3163–3249 (2022)
95. Tessitore E, de Tribolet N. Far-lateral lumbar disc herniation: the microsurgical transmuscular approach. *Neurosurgery*. 2004 Apr;54(4):939-42; discussion 942
96. Thomé C, Kögl N, Grassner L, Vo AK, Kramer JLK, Petr O. Motor Recovery Depends on Timing of Surgery in Patients With Lumbar Disk Herniation. *Neurosurgery*. 2022 Mar 1;90(3):347-353.
97. Vogelsang JP. The translaminar approach in combination with a tubular retractor system for the treatment of far cranio-laterally and foraminally extruded lumbar disc herniations. *Zentralbl Neurochir*. 2007 Feb;68(1):24-8
98. Weinstein J. Report of the 1985 ISSLS Traveling Fellowship. Mechanisms of spinal pain. The dorsal root ganglion and its role as a mediator of low-back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986 Dec;11(10):999-1001.
99. White AA 111, Panjabi MM: *The Problem of Clinical Instability in the Human Spine: A Systematic Approach*. Philadelphia, JB Lippincott, 1987 pp 251-264.
100. Wiltse LL, Bateman JG, Hutchinson RH, Nelson WE. The paraspinal sacrospinalis-splitting approach to the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am*. 1968 Jul;50(5):919-26.
101. Wiltse LL, Spencer CW. New uses and refinements of the paraspinal approach to the lumbar spine. *Spine*. 1988 Jun;13(6):696-706.
102. Yamada K, Matsuda H, Nabeta M, Habunaga H, Suzuki A, Nakamura H: Clinical outcomes of microscopic decompression for degenerative lumbar foraminal stenosis: a comparison between patients with and without degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J* 20: 947-953, 2011
103. Yeo CG, Jeon I, Kim SW, Ko SK, Woo BK, Song KC. Three-Years Outcome of Microdiscectomy via Paramedian Approach for Lumbar Foraminal or Extraforaminal Disc Herniations in Elderly Patients over 65 Years Old. *Korean J Spine*. 2016 Sep;13(3):107-113.

- 
104. Zeng ZL, Zhu R, Wu YC, Zuo W, Yu Y, Wang JJ, Cheng LM. Effect of Graded Facetectomy on Lumbar Biomechanics. *J Healthc Eng.* 2017;2017:7981513.

## Anhang A: SF-36 Bogen (Selbstbeurteilungsbogen, Zeitfenster 4 Wochen, Seite 1-4)

# SF-36

Matthias Morfeld  
Inge Kirchberger  
Monika Bullinger

## Fragebogen zum Gesundheitszustand

2., ergänzte und überarbeitete Auflage

<b>SELBST BEURTEILUNGSBOGEN</b>  <b>ZEITFENSTER 4 WOCHEN</b>	ID-Nummer									
	Name									
	Vorname									
	Geburtsdatum	J	J	M	M	T	T	Geschlecht	w	m
	Testdatum	J	J	M	M	T	T			

GÖTTINGEN · BERN · WIEN · PARIS · OXFORD · PRAG · TORONTO · CAMBRIDGE, MA · AMSTERDAM · KOPENHAGEN · STOCKHOLM

© Hogrefe Verlag, Göttingen  
Nachdruck und jegliche Art der Vervielfältigung verboten  
Best.-Nr. 01 195 05

HOGREFE

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

Bitte beantworten Sie jede Frage, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

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

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

Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. *Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?*

	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3.a <b>anstrengende Tätigkeiten</b> , z. B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
3.b <b>mittelschwere Tätigkeiten</b> , z. B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
3.c Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
3.d <b>mehrere</b> Treppenabsätze steigen	1	2	3
3.e <b>einen</b> Treppenabsatz steigen	1	2	3
3.f sich beugen, knien, bücken	1	2	3
3.g <b>mehr als 1 Kilometer</b> zu Fuß gehen	1	2	3
3.h <b>mehrere</b> Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.i <b>eine</b> Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.j sich baden oder anziehen	1	2	3

Hatten Sie in den *vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit* irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?

	Ja	Nein
4.a Ich konnte nicht <b>so lange</b> wie üblich tätig sein.	1	2
4.b Ich habe <b>weniger geschafft</b> als ich wollte.	1	2
4.c Ich konnte <b>nur bestimmte Dinge</b> tun.	1	2
4.d Ich hatte <b>Schwierigkeiten</b> bei der Ausführung.	1	2

Hatten Sie in den *vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme* irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?

	Ja	Nein
5.a Ich konnte nicht <b>so lange</b> wie üblich tätig sein.	1	2
5.b Ich habe <b>weniger geschafft</b> als ich wollte.	1	2
5.c Ich konnte nicht <b>so sorgfältig</b> wie üblich arbeiten.	1	2

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

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

	Überhaupt nicht	Ein bisschen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> bei der Ausübung Ihrer Alltags-tätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den *vergangenen 4 Wochen* gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).

Wie oft waren Sie *in den vergangenen 4 Wochen* ...

	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
9.a ... voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
9.b ... sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
9.c ... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?	1	2	3	4	5	6
9.d ... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
9.e ... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
9.f ... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
9.g ... erschöpft?	1	2	3	4	5	6
9.h ... glücklich?	1	2	3	4	5	6
9.i ... müde?	1	2	3	4	5	6

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

Inwieweit trifft *jede* der folgenden Aussagen auf Sie zu?

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

**Vielen Dank.**

## Anhang B: Oswestry Disability Index – Deutsche Version Seite 1

### Behinderung bei Rückenbeschwerden:

### Oswestry Disability Index – Deutsche Version (ODI-D)

Quelle: Mannion AF, Junge A, Fairbank JC, Dvorak J, Grob D. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. Eur Spine J 2006a; 15:55-65.

Name: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen aus. Er soll uns darüber informieren, wie Ihre Rücken- (oder Bein-) Probleme Ihre Fähigkeit beeinflussen, den Alltag zu bewältigen. Wir bitten Sie, jeden Abschnitt zu beantworten. Kreuzen Sie in jedem Abschnitt nur die Aussage an, die Sie heute am besten beschreibt.

#### Abschnitt 1: Schmerzstärke

- <sub>0</sub> Ich habe momentan keine Schmerzen
- <sub>1</sub> Die Schmerzen sind momentan sehr schwach
- <sub>2</sub> Die Schmerzen sind momentan mässig
- <sub>3</sub> Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark
- <sub>4</sub> Die Schmerzen sind momentan sehr stark
- <sub>5</sub> Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar

#### Abschnitt 2: Körperpflege (Waschen, Anziehen etc.)

- <sub>0</sub> Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- <sub>1</sub> Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft
- <sub>2</sub> Meine Körperpflege durchzuführen ist schmerzhaft, und ich bin langsam und vorsichtig
- <sub>3</sub> Ich brauche bei der Körperpflege etwas Hilfe, bewältige das meiste aber selbst
- <sub>4</sub> Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege
- <sub>5</sub> Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett

#### Abschnitt 3: Heben

- <sub>0</sub> Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- <sub>1</sub> Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- <sub>2</sub> Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände vom Boden zu heben, aber es geht, wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch)
- <sub>3</sub> Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen
- <sub>4</sub> Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben
- <sub>5</sub> Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen

#### Abschnitt 4: Gehen

- <sub>0</sub> Schmerzen hindern mich nicht daran, so weit zu gehen, wie ich möchte
- <sub>1</sub> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1-2 km zu gehen
- <sub>2</sub> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0.5 km zu gehen
- <sub>3</sub> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100 m zu gehen
- <sub>4</sub> Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen
- <sub>5</sub> Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen

## Anhang B: Oswestry Disability Index – Deutsche Version Seite 2

### Abschnitt 5: Sitzen

- <sub>0</sub> Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte
- <sub>1</sub> Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen wie ich möchte
- <sub>2</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu sitzen
- <sub>3</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu sitzen
- <sub>4</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu sitzen
- <sub>5</sub> Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen

### Abschnitt 6: Stehen

- <sub>0</sub> Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- <sub>1</sub> Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- <sub>2</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen
- <sub>3</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen
- <sub>4</sub> Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen
- <sub>5</sub> Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen

### Abschnitt 7: Schlafen

- <sub>0</sub> Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört
- <sub>1</sub> Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört
- <sub>2</sub> Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 6 Stunden
- <sub>3</sub> Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 4 Stunden
- <sub>4</sub> Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 2 Stunden
- <sub>5</sub> Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen

### Abschnitt 8: Sexualleben (falls zutreffend)

- <sub>0</sub> Mein Sexualleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- <sub>1</sub> Mein Sexualleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- <sub>2</sub> Mein Sexualleben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft
- <sub>3</sub> Mein Sexualleben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt
- <sub>4</sub> Ich habe auf Grund von Schmerzen fast kein Sexualleben
- <sub>5</sub> Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben

### Abschnitt 9: Sozialleben

- <sub>0</sub> Mein Sozialleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- <sub>1</sub> Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- <sub>2</sub> Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, ausser dass sie meine eher aktiven Interessen, z.B. Sport einschränken
- <sub>3</sub> Schmerzen schränken mein Sozialleben ein, und ich gehe nicht mehr so oft aus
- <sub>4</sub> Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein
- <sub>5</sub> Ich habe auf Grund von Schmerzen kein Sozialleben

### Abschnitt 10: Reisen

- <sub>0</sub> Ich kann überallhin reisen, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- <sub>1</sub> Ich kann überallhin reisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- <sub>2</sub> Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein
- <sub>3</sub> Ich kann auf Grund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein
- <sub>4</sub> Ich kann auf Grund von Schmerzen nur kurze notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen
- <sub>5</sub> Schmerzen hindern mich daran, Fahrten zu machen, ausser zur medizinischen Behandlung

## Danksagung

*„Difficulties are just things to overcome after all.“*

- **Ernest Shackleton**

Dies wäre jedoch allein nicht möglich gewesen, so dass ich mich abschließend bei all Jenen bedanken möchte, die durch ihr Mitwirken maßgeblich an der Überwindung so mancher Schwierigkeit und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen geschätzten Mentoren, Dr. Philipp Tanner und Prof. Dr. Stefan Zausinger! Ich danke für das unerschütterliche Vertrauen in mich und meine Fähigkeiten jeden einzelnen Tag.

Ich danke Herrn Dr. Philipp Tanner für die Idee zu dieser Doktorarbeit! Laut Thomas Edison liegt der Wert einer Idee in ihrer Umsetzung. Auch bei dieser erfuhr ich durch ihn uneingeschränkte Unterstützung vom Anfang bis zum Ende. Er stand mir jederzeit fachlich wie auch menschlich zur Seite und wusste stets schwierige Probleme zu lösen.

Herrn Prof. Dr. Stefan Zausinger danke ich herzlich für die Übernahme der Doktorvaterschaft und die engagierte Betreuung während des Entstehungsprozesses dieser Arbeit sowie für die Korrektur des Manuskripts. Seine wissenschaftlichen Kenntnisse und konstruktiven Ratschläge haben mich immer wieder motiviert und diese Arbeit wesentlich geprägt.

Ich möchte Herrn Prof. Dr. Jörg-Christian Tonn für die Möglichkeit zur Erstellung dieser Dissertation unter der Schirmherrschaft der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München danken. Es ist für mich eine Ehre, dass mir dies auch als externe Kollegin ermöglicht wurde.

Herrn PD Dr. Sebastian Siller danke ich für seine freundliche und stets zügige Unterstützung auf fachlicher und organisatorischer Ebene. Seine Erfahrung im wissenschaftlichen Arbeiten halfen mir meine Kenntnisse auf diesem Gebiet auszubauen.

Ich danke dem ganzen Team der Praxis Neurochirurgie am Stachus! In diesem Team werden alltägliche Schwierigkeiten überwunden und die Arbeit zur Freude.

Meiner Familie und meinem lieben Verlobten danke ich für ihre Liebe, Ermutigungen und Zusprüche während der Arbeit an dieser Dissertation.

## Affidavit



### Eidesstattliche Versicherung

Henseli, Vanessa Elisabeth

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 22.06.2023

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

Vanessa Elisabeth Henseli

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Doktorandin/Doktorand

## Lebenslauf

VANESSA ELISABETH HENSELI

---

### BERUFSERFAHRUNG

---

- 10.2020 – heute      *Ärztin in Weiterbildung Neurochirurgie, Neurochirurgie am Stachus, Dr. med. Tanner und Prof. Dr. med. Zausinger, München*
- 10.2021 – heute      *Oberärztin Orthopädie, Clinic Dr. Decker GmbH, München  
Belegklinik Neurochirurgie am Stachus, Dr. med. Tanner und Prof. Dr. med. Zausinger*
- 09.2018 – 09.2020    *Ärztin in Weiterbildung Orthopädie, Klinikum Josephinum, München*
- 07.2015 – 08.2018    *Ärztin in Weiterbildung Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinikum Dritter Orden, München*
- 03.2013 – 03.2015    *Ärztin in Weiterbildung Chirurgie, Klinik Neuperlach, München*
- 07.2012 – 03.2013    *Ärztin in Weiterbildung Chirurgie, Teamärztin der Munich Cowboys B-Jugend, Kliniken Dr. M. Schreiber, München*

---

## ALLGEMEINE UND BERUFLICHE BILDUNG

---

- 01.2021 – heute      Fachärztin für Orthopädie und Unfallchirurgie, München,  
*Bayerische Landesärztekammer*
- 07.2012              Approbation als Ärztin, München, *Ludwig-Maximilians-Uni-*  
*versität*
- 10.2005 – 05.2012   Studium der Humanmedizin, 1. und 2. Staatsexamen, Mün-  
chen, *Ludwig-Maximilians-Universität*

---

## MITGLIEDSCHAFTEN

---

- 01.2023              *DWG Deutsche Wirbelsäulengesellschaft*
- 2012 – 2021        *DGAV Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeral-*  
*chirurgie*

---

## EMPFEHLUNGEN

---

- Arbeitgeber        Dr. med. Philipp Tanner, *Neurochirurg der Praxis Neurochi-*  
*rurgie am Stachus*
- Arbeitgeber        Prof. Dr. med. Stefan Zausinger, *Neurochirurg der Praxis*  
*Neurochirurgie am Stachus, Studienleiter und Doktorvater*  
*der Promotion*

## Publikationsliste

Tanner P, Henseli V, Siller S, Tonn JC, Zausinger S. Die mikrochirurgische Entfernung intra-/extraforaminaler lumbaler Bandscheibenvorfälle – der einfache und sichere laterale Pars inter-artikularis Zugang, Eur Spine J 31, 3163–3249 (2022)