

Aus der Radiologie in München Harlaching

Leiter: Prof. Dr. med. Axel Stäbler

**Lumbosakrale Übergangsvarianten:  
Prävalenz, Nomenklatur und klinische Relevanz  
Auswertung anhand von 1500 MRT-Untersuchungen  
der Lendenwirbelsäule**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Susanne Seegmüller

aus

Nördlingen

2009

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Axel Stäbler

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Stefan Zausinger

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

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 2009

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		Seite
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>		5
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	6
<b>2.</b>	<b>Material und Methodik</b>	11
2.1.	Patienten	11
2.2.	Untersuchungstechnik	11
2.3.	Bildanalyse	12
2.3.1.	Identifizierung des untersten Lendenwirbels	12
2.3.2.	Identifizierung eines lumbosakralen Übergangswirbels	13
2.3.2.1.	Coronare Aufnahme	13
2.3.2.2.	Axiale Aufnahme	17
2.3.2.3.	Sagittale Aufnahme	17
2.4.	Statistische Auswertung	21
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	22
3.1.	Untersuchte Patienten	22
3.2.	Klassifikation	22
3.3.	Thorakolumbaler Übergang	24
3.4.	Lokalisation der paraspinalen Strukturen	25
3.4.1.	Crista iliaca	26
3.4.2.	Rechte Nierenarterie	27
3.4.3.	Aortenbifurkation	29
3.4.4.	Ligamentum iliolumbale	31
3.5.	Verhältnis Deck- zu Bodenplattenlänge („Squaring“)	32
3.6.	Lumbosakraler Winkel	33
3.7.	Form der Bandscheibe unterhalb des lumbosakralen Übergangswirbels	34
3.8.	Bandscheibendegeneration im vorletzten angelegten Segment	35
3.9.	Detektion bzw. korrekte Bezeichnung des Übergangswirbels ohne coronare Schichten	37
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	38
4.1.	Thorakolumbaler Übergang	38

4.2.	Lumbosakraler Übergang	40
4.3.	Embryologie	41
4.4.	Phylogenese	43
4.5.	Klassifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels	44
4.6.	Nearthros: Definition und Vorkommen	46
4.7.	Vorkommen des lumbosakralen Übergangswirbels	48
4.8.	Identifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels	51
4.8.1.	„Squaring“	51
4.8.2.	Form der letzten angelegten Bandscheibe	53
4.8.3.	Lumbosakraler Winkel	55
4.8.4.	Weitere Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf sagittalen Aufnahmen	57
4.8.5.	Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf axialen Aufnahmen	58
4.8.6.	Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf coronaren Aufnahmen	60
4.8.7.	Weitere Vorteile einer coronaren MRT-Schichtung	62
4.8.8.	Fazit zur Identifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels	62
4.9.	Korrekte Bezeichnung des lumbosakralen Übergangswirbels	63
4.9.1.	Klassifikation des lumbosakralen Übergangswirbels mittels paraspinaler Strukturen	65
4.9.1.1.	Rechte Nierenarterie	67
4.9.1.2.	Aortenbifurkation	70
4.9.1.3.	Ligamentum iliolumbale	72
4.9.1.4.	Lage des lumbosakralen Übergangswirbels in Relation zum Beckenskelett	74
4.9.1.5.	Schlussfolgerung zur Nomenklatur	75
4.9.	Lumbosakraler Übergangswirbel und assoziierte Pathologie	78
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>85</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>87</b>
<b>7.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>100</b>

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
CT	Computertomographie
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
ILL	„Iliolumbar ligament“, Ligamentum iliolumbale
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
LÜW	Lumbosakraler Übergangswirbel
MRT	Magnetresonanztomographie bzw. Magnetresonanztomogramm
RAA	„Right renal artery“, rechte Nierenarterie
SPECT	Single Photon Emission Computed Tomography

# 1. Einleitung

Übergangswirbel sind eine häufige angeborene Anomalie der Wirbelsäule, deren Häufigkeit für den lumbosakralen Übergang in der Literatur durchschnittlich mit etwa 10% angegeben wird. Zahlreiche Versuche einer korrekten Nomenklatur wurden in der Vergangenheit unternommen, ohne dass bisher ein Konsensus und eine allgemein gültige und in der Praxis anwendbare Anleitung gefunden wurde (Mitchell 1936, Southworth 1950, Tini 1977, Wigh 1980, Hahn 1992, Ralston 1992, Peh 1999, Lee 2004, Hughes 2004, Milicic 2006, Hughes 2006, Bron 2007, Lee 2007).

Seit Anfang des vergangenen Jahrhunderts wird kontrovers über die Rolle von Übergangsvarianten bei Lumbago diskutiert, und es wurden zahlreiche Studien über die Assoziation mit degenerativen Veränderungen veröffentlicht (Tini 1977, Castellvi 1984, Elster 1989, Hsieh 2000, Otani 2001, Luoma 2004, Aihara 2005, Bron 2007).

Eine normale Wirbelsäule besteht aus 33 Wirbeln, davon sind sieben Halswirbel, zwölf Brustwirbel, fünf Lendenwirbel, fünf Kreuzbeinwirbel und vier Steißbeinwirbel. In etwa 20% gibt es angeborene Variationen. Ein Übergangswirbel liegt dann vor, wenn ein zwischen verschiedenen Abschnitten gelegener Wirbelkörper gleichzeitig morphologische Charakteristika beider benachbarter Abschnitte besitzt.

Die Gesamtzahl der Wirbelkörper ist dabei meist konstant und das Fehlen eines Wirbelkörpers in einem Abschnitt der Wirbelsäule wird in der Regel durch einen zusätzlichen Wirbelkörper in einem anderen Abschnitt ausgeglichen (Brash 1915, Mitchell 1936). Ein zusätzlich angelegtes Segment ist deutlich seltener und wird nur vereinzelt in der Literatur beschrieben (Brash 1915, Decker 1915, Luboga, 2000).

Die Halswirbelsäule besteht konstant aus sieben Wirbeln, wobei der unterste nur in seltenen Fällen Rippen besitzt („Halsrippe“). Ein Fehlen von Rippen am ersten Brustwirbel, d.h. eine Verlängerung der Halswirbelsäule wird nur gelegentlich in der Literatur erwähnt (Brash 1915). Am thorakolumbalen Übergang finden sich häufig Varianten, d.h. die Rippen an BWK 12 können sehr klein sein oder es gibt zusätzliche Rippen bzw. gelenkig angebundene Querfortsätze an LWK 1. Die

meisten Variationen finden sich sakrokokzygeal (Shore 1930, Mitchell 1936), sind jedoch ohne klinische Relevanz. Zudem wird diese Region mittels Bildgebung nur sehr selten untersucht.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem Vorkommen der ebenfalls häufigen lumbosakralen Übergangsvarianten sowie mit der Schwierigkeit ihrer Identifizierung und genauen Definition auf magnetresonanztomographischen Aufnahmen. Dieser Abschnitt der Wirbelsäule wird am häufigsten untersucht, und es kommt oft zu Schwierigkeiten in der genauen Nomenklatur und der Zuordnung von radiologischem und klinischem Befund.

Bis heute fehlen vergleichbare Untersuchungsergebnisse über die Prävalenz in einem größeren Patientengut. Sie variiert von 3 -35 % (Tini 1977, Hahn 1992, Elster 1989, Castellvi 1984, Lee 2007). Die einzige Studie mit hoher Patientenzahl (2000 Patienten) wurde von Elster 1989 durchgeführt, wobei nur 500 Patienten mit Magnetresonanztomographie (MRT) mit einer Magnetfeldstärke von max. 0,5 Tesla und die übrigen 1500 Patienten mit Computertomographie (CT) untersucht worden waren.

Die Problematik der bisher durchgeführten Studien liegt neben einer zu geringen Patientenzahl an fehlenden einheitlichen Kriterien für die Definition eines lumbosakralen Übergangswirbels (LÜW). Die Daten sind daher nicht miteinander vergleichbar.

Hahn schrieb 1992, dass die tatsächliche Häufigkeit der lumbosakralen Übergangsvarianten seines Wissens nach bisher nicht exakt geklärt wurde, obwohl ihre Existenz schon seit dem Mittelalter bekannt sei. Spirnak (1995) sieht die Ursache der großen Varianz in der festgestellten Häufigkeit neben der Vielzahl verschiedener Klassifikationen auch in der individuellen Wahrnehmung eines Übergangswirbels durch den Befunder.

Warum kann man einen solchen Wirbel, wenn man ihn identifiziert hat, bei der Befundung nicht einfach als „lumbosakralen Übergangswirbel“ ohne weitere

Erklärung bezeichnen? Warum ist es wichtig, den jeweiligen Wirbel genauer zu beschreiben und zu klassifizieren? Eine falsche Zuordnung der Wirbel, nicht nur des Übergangswirbels, sondern auch der an ihn grenzenden Lumbal- und Sakralwirbel im MRT (und ebenso in jeder anderen Art der Bildgebung), führt zu einer mangelhaften Korrelation zwischen bildgebendem und klinischem Befund. Für eine korrekte Zuordnung der Segmente und der entsprechenden Nervenwurzel zur Pathologie ist eine exakte Höhenlokalisierung unabdingbar.

In der Literatur wurden Fälle von Operationen im falschen Segment aufgrund lumbosakraler Übergangsvarianten beschrieben (Wigh 1980, Malanga 2004). Wigh stellte in einer Studie von 1980 fest, dass bei 100 operierten Patienten in 22 Fällen die Segmente von Chirurgen und Radiologen falsch bezeichnet wurden. Bei vier dieser Patienten mit LÜW wurde die Bandscheibe im falschen Segment operiert. Aber nicht nur der Chirurg, sondern auch der konservativ therapierende bzw. diagnostizierende Orthopäde ist bei lokaler Injektion auf die exakte Höhenlokalisierung des pathologischen Segments angewiesen.

Weitere klinische Bedeutung hat die bei Übergangsvariante veränderte Anatomie der prävertebralen Gefäße. Eine Gefäßverletzung stellt eine der am meisten gefürchteten Komplikationen bei Fusion mit ventralem Zugang dar. Weiner fand in seiner 2001 veröffentlichten Studie in zehn von elf Fällen bei LÜW eine Variation der Gefäßanatomie, die einen veränderten operativen Zugangsweg erforderte. Auch aus diesem Grund ist die Kenntnis der Existenz eines LÜW für den Operateur von großer Bedeutung.

Eine falsche Nomenklatur führt außerdem zu neurologischer Verwirrung, was die Zuordnung der Dermatome betrifft (Wigh 1980). McCulloch (1980), Postacchini (1982), Young (1983) und Kim (2008) haben festgestellt, dass es zu Variationen der Muskelinnervation insbesondere im Bereich der L5 oder S1 Nervenwurzeln kommen kann, die in der Regel mit knöchernen Segmentationsstörungen assoziiert sind. Bereits 1891 schrieb Birmingham aufgrund seiner Studien an Präparaten, dass bei Vorliegen von sechs freien Lendenwirbelkörpern und sechs angenommenen Lendennerven (bzw. einem lumbalisierten SWK 1) der Nervus ischiadicus statt aus



den Segmenten L4 bis S3 aus den Segmenten L4, L5, L6, S1 und S2 gebildet wird und der Nervus pudendus nur aus S2 und S3 statt aus S2 bis S4.

Über die korrekte Nomenklatur bei LÜW wurden in der Vergangenheit bereits zahlreiche Studien veröffentlicht (Mitchell 1936, Southworth 1950, Tini 1977, Wigh 1980, Hahn 1992, Ralston 1992, Peh 1999, Lee 2004, Hughes 2004, Milicic 2006, Hughes 2006, Bron 2007, Lee 2007).

Es wird von vielen Autoren angenommen, dass eine richtige Bezeichnung nur mithilfe eines Übersichtsbildes der gesamten Wirbelsäule und einer kraniokaudalen Zählweise möglich ist (Hahn 1992, Mitchell 1936, Tini 1977). Da die Durchführung eines Topogramms der gesamten Wirbelsäule in der Praxis technisch zu aufwendig ist, stellte sich die Frage, ob es mithilfe benachbarter bzw. angrenzender anatomischer Strukturen möglich ist, zumindest in den meisten Fällen die Lenden- bzw. Kreuzbeinwirbel korrekt zu identifizieren. Ziel dieser Studie war es, bei Vorkommen eines Übergangswirbels eine Anleitung für eine exakte, in späterer Bildgebung und intraoperativ nachvollziehbare Befundung zu erstellen, damit eine Operation im falschen Segment in Zukunft verhindert wird.

Dazu wurden zunächst die in der Literatur beschriebenen Kriterien zur Identifizierung, Klassifikation und korrekten Nomenklatur eines LÜW anhand des vorliegenden Bildmaterials nachvollzogen. Die paraspinalen Strukturen wurden identifiziert sowie in ihrer Höhe lokalisiert und die in der Literatur erhältlichen Angaben mit diesen Ergebnissen verglichen. Für fragliche Fälle wurden nach abgeschlossener Auswertung die bekannten Kriterien angewandt und untersucht, ob mit deren Hilfe eine zweifelsfreie Identifikation gelingen kann.

Dabei beschäftigte sich diese Studie auch mit der Bedeutung der Untersuchungstechnik, insbesondere der hier verwendeten speziellen Technik der hochaufgelösten coronaren Schichtung mit dünner Schichtdicke und welche Kriterien diese Sequenz erfüllen muss. Es wurde auch eine Antwort gesucht auf die Frage, ob und wie häufig die coronare Schichtung relevante Informationen bei der Detektion und Nomenklatur eines Übergangswirbels liefert.

Die Debatte, ob ein LÜW prinzipiell mit vermehrter Lumbago assoziiert ist, hält seit der erstmaligen Beschreibung des „Bertolotti’s Syndrom“ von 1917 an, benannt nach dem italienischen Radiologen Mario Bertolotti vor fast einem Jahrhundert (Elster 1989, Frymoyer 1984, Bron 2007), kann aber anhand des vorliegenden Patientenguts aus ausschließlich symptomatischen Patienten nicht geklärt werden.

Zuletzt wurde eine mögliche, bereits in mehreren Studien beschriebene, assoziierte Bandscheibendegeneration bei LÜW diskutiert (Castellvi 1984, Elster 1989, Desmond 1993, Luoma 2004, Aihara 2005, Bron 2007). Es wurde untersucht, ob das oberhalb des LÜW gelegene Segment im Vergleich zu den anderen Segmenten der LWS (Lendenwirbelsäule) auch bei den MRT-Untersuchungen dieser Studie vermehrte degenerative Veränderungen erkennen lässt.

## 2. Material und Methodik

### 2.1. Patienten

Ausgewertet wurden 1500 symptomatische Patienten, die sich von 2003 bis 2007 aufgrund einer Lumbalgie bzw. Lumboischialgie einer MRT-Untersuchung der Lendenwirbelsäule unterzogen. Das Durchschnittsalter betrug 54,3 Jahre mit einer Standardabweichung von 13,2 Jahren und einer Spannweite von 14 bis 94 Jahren.

### 2.2. Untersuchungstechnik

Die Magnetresonanztomographie wurde ausgeführt an einem 1,5 T Gerät Somatom Symphony. Es wurden Bilder mittels T2-gewichteter und T1-gewichteter Turbospin-Echo Sequenz sowie Short T1 Inversion-Recovery (STIR)- Sequenz in sagittaler Schichtführung, mittels T2-gewichteter Turbospin-Echo-Sequenz in axialer Schichtführung und mittels protonengewichteter Turbospin-Echo-Sequenz in coronarer Schichtführung akquiriert.

Sequenz	Matrix	Schichtdicke	Repetitionszeit	Echozeit
T2 tse sagittal	448 x 448	4,0 mm	3690 ms	110 ms
T1 tse sagittal	384 x 284	4,0 mm	577 ms	14 ms
T2 tse axial	320 x 320	4,0 mm	7210 ms	106 ms
T2 stir sagittal	512 x 512	4,0 mm	3680 ms	64 ms
PD tse coronar	448 x 448	3,0 mm	2470 ms	14 ms

Tab. 1: MRT-Untersuchungsparameter

Die coronaren und sagittalen Aufnahmen wurden routinemäßig so durchgeführt, dass am oberen Bildrand BWK 12 abgebildet wurde und am unteren Bildrand das Os sacrum bis etwa Höhe SWK 3 dargestellt wurde. Die axialen Aufnahmen erfassten die Zwischenwirbelräume mindestens von LWK 3 bis SWK 1. Bei einer auf den sagittalen Topogrammen bzw. sagittalen Schichten aufgefallenen Pathologie in einem weiter kranial gelegenen Segment wurden die axialen Schichten auf diese Segmente ausgedehnt.

Röntgenaufnahmen der LWS bzw. des lumbosakralen Überganges lagen nicht vor.

## **2.3. Bildanalyse**

### **2.3.1. Identifizierung des untersten Lendenwirbels**

Um Variationen der lumbosakralen Wirbelsäule zu erkennen, musste zunächst der letzte echte Lendenwirbel vom Os sacrum bzw. einem möglicherweise vorliegenden Übergangswirbel abgegrenzt werden.

Der letzte richtige LWK zeichnet sich auf dem coronaren Bild durch zwei normal große Querfortsätze aus, die nicht mit dem Os sacrum artikulieren. Ein vergrößerter Querfortsatz liegt nach Southworth und Bersack (1950) ab einer Höhe von 19 mm vor.

Auf dem sagittalen Bild besitzen Deck- und Bodenplatte annähernd den gleichen Durchmesser, die Wirbelkörpervorderkante des Lendenwirbels steht annähernd vertikal im Verhältnis zu der Deck- und Bodenplatte und ist annähernd gleich hoch wie die Hinterkante. Unterhalb des letzten Lendenwirbels ist in der Regel eine normale Bandscheibe angelegt, und man erkennt beidseitige Facettengelenke (McCulloch 1980). Vom letzten Lendenwirbel aus wurde nach kranial die Anzahl der Lendenwirbel abgezählt. Der erste Lendenwirbel ist der auf der coronaren Aufnahme erkennbare oberste Wirbel ohne Rippengelenke mit beidseitigen Querfortsätzen. Der letzte Lendenwirbel entspricht bei normaler Anatomie LWK 5. In seltenen Fällen gibt es eine sechsgliedrige Lendenwirbelsäule ohne erkennbaren thorakolumbalen oder lumbosakralen Übergangswirbel (Decker 1915, Luboga, 2000).

Entsprach der Wirbel kaudal des letzten unauffälligen Lendenwirbels nicht einem normalen Sakralwirbel, wurde ein lumbosakraler LÜW nach mehreren Kriterien identifiziert, wie nachfolgend erläutert:

## 2.3.2. Identifizierung eines lumbosakralen Übergangswirbels

### 2.3.2.1. Coronare Aufnahme

Die Analyse der **Querfortsätze** des unterhalb des letzten echten Lendenwirbels gelegenen Wirbels erfolgte anhand coronarer Aufnahmen. Zeichen eines LÜW sind ein- oder beidseitig vergrößerte Querfortsätze, die ein- oder beidseits mit dem Os sacrum bzw. dem Os ilii artikulieren oder mit ihm verschmolzen sind. In letzterem Fall ist oft eine quer durch das Os sacrum verlaufende signalarme Fusionslinie/Segmentationslinie vorhanden. Zusätzlich kann man meist eine nach oben konvexe Form der kranialen Begrenzung des Os sacrum erkennen - auch „Flaring“ genannt (Wigh 1980).

In früher durchgeführten Studien wurden die lumbosakralen Übergangswirbel nach Analyse der Querfortsätze in verschiedene Gruppen eingeteilt (meist I-IV) und zwar je nachdem ob die Processus transversi mit dem Os sacrum verschmolzen sind, ob die Veränderungen ein- oder beidseitig bestehen, oder ob noch weitere morphologische Veränderungen des Wirbels vorliegen (Tini 1977, Castellvi 1984). Die meisten Autoren lehnen ihre Klassifikation an die nach Castellvi 1984 an (z.B. Lee 2007). In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls die Einteilung nach Castellvi unter Berücksichtigung von Lumbalisation und Sakralisation in folgender abgewandelter Form angewandt:

Eine Sakralisation liegt dann vor, wenn die Form des letzten Lendenwirbels Eigenschaften eines Sakralwirbels aufweist. Eine Lumbalisation liegt dann vor, wenn der erste Sakralwirbel Eigenschaften eines Lumbalwirbels aufweist.

In beiden Gruppen wurden die Übergangswirbel je nach Ausprägung dieser Eigenschaften im Bereich der Querfortsätze in jeweils vier Untergruppen eingeteilt:

## **Sakralisation:**

- 1. Komplet:** Komplette Fusion beider vergrößerter Querfortsätze mit der Massa lateralis des Os sacrum.
- 2. Inkomplet:** Gelenkverbindung eines oder beider vergrößerter Querfortsätze mit der Massa lateralis.
- 3. Gemischt:** Auf der einen Seite komplette knöcherne Fusion des vergrößerten Querfortsatzes mit dem Os sacrum, auf der anderen Seite inkomplette Fusion (Gelenkverbindung) oder normal großer Querfortsatz.
- 4. Beginnend (Minimalform):** Vergrößerte Querfortsätze beidseits, die in der Regel mit kräftigen Bändern nicht nur an das Os ilii (Ligamentum iliolumbale), sondern auch an das Os sacrum angebunden sind.

## **Lumbalisation:**

- 1. Komplet:** An beiden Querfortsätzen fehlende knöcherne Fusion bzw. fehlende Gelenkverbindung mit dem Os sacrum, wobei diese Variante bei nicht vergrößerten Querfortsätzen einer sechsgliedrigen LWS entspricht, unter der Annahme, dass keine thorakolumbale Übergangsvariante vorliegt. Dies ist ohne Topogramm der gesamten Wirbelsäule meist nicht eindeutig feststellbar.
- 2. Inkomplet:** Ein- oder beidseitige Gelenkverbindung mit dem Os sacrum, die andere Seite ist bei einseitiger Gelenkverbindung knöchern fusioniert.
- 3. Gemischt:** Auf einer Seite fehlende knöcherne Fusion/Gelenk mit dem Os ilii, auf der andere Seite Gelenk oder knöcherne Fusion.
- 4. Beginnend (Minimalform):** Auf beiden Seiten Fusion der Massa lateralis wie ein normaler Sakralwirbel, allerdings auf der sagittalen Aufnahme „Squaring“ (s.u.) und akzessorische hypoplastische Bandscheibe zwischen SWK 1 und SWK 2. Manchmal auf der coronaren Aufnahme in der Massa lateralis ein- oder beidseitig erkennbare Fusionslinie/Segmentationslinie.

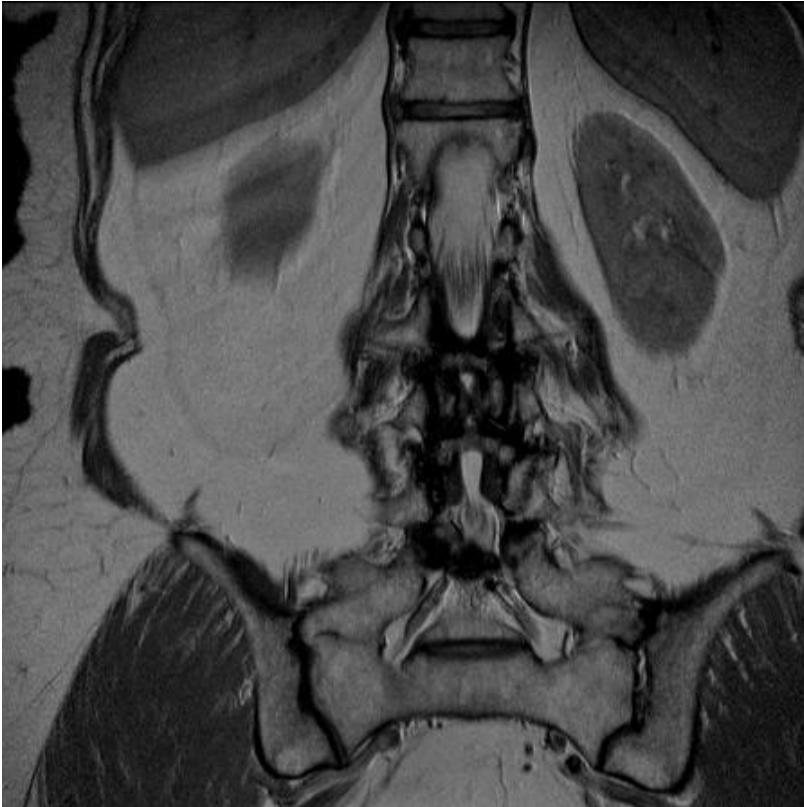


Abb. 1: Sakralisation mit knöcherner Fusion beidseits (Untergruppe 1, komplett)



Abb. 2: Sakralisation mit einseitiger Gelenkverbindung (Untergruppe 2, inkomplett)



Abb. 3: Sakralisation mit einseitiger knöcherner Fusion (Untergruppe 3, gemischt)



Abb. 4: Sakralisation mit vergrößerten Querfortsätzen bds. (Untergruppe 4, beginnend)



### 2.3.2.2. Axiale Aufnahme

Die Analyse der axialen Schichten erfolgte immer in Korrelation zu den sagittalen Schichten, um die Höhe des jeweiligen Segments zu bestimmen. Dabei wurde die Form der Querfortsätze des Wirbels zwischen den letzten beiden Segmenten beurteilt. Wenn erkennbar, wurde ein vergrößerter Querfortsatz bzw. ein akzessorisches Gelenk oder eine knöcherne Fusion eines vergrößerten Querfortsatzes mit dem Os sacrum bzw. Os ilii dokumentiert.

### 2.3.2.3. Sagittale Aufnahme

Auf den sagittalen Aufnahmen wurde zunächst die Form der letzten angelegten **Bandscheibe** beurteilt und festgestellt, ob unterhalb des als letzter echter Lendenwirbel mit kaudal angrenzender normkalibriger Bandscheibe identifizierten Segmentes eine weitere evtl. hypoplastische Bandscheibe angelegt ist. Nach McCulloch (1980) weist jede zusätzliche Bandscheibe unterhalb des letzten vollständig angelegten Segments auf einen Übergangswirbel hin und kann sich entweder in den verschiedenen Abstufungen einer inkompletten Segmentation des Bandscheibenraumes oder der posterioren Elemente des Wirbels äußern.

Für die Einteilung der Bandscheibe gibt es in der Literatur verschiedene Klassifikationen (O'Driscoll 1996, Desmond 1993).

In Anlehnung daran wurden die Bandscheiben in dieser Arbeit je nach Morphologie in folgende **Gruppen** eingeteilt:

- 1: Kleines Bandscheibenrudiment
- 2: Höhenreduzierte Bandscheibe mit ventral und/oder dorsal knöcherner Verbindung der Abschlussplatten
- 3: Höhenreduzierte Bandscheibe ohne knöcherne Verbindung der angrenzenden Abschlussplatten
- 4: Normale Bandscheibe

Da die Übergänge zwischen den Gruppen fließend sind, wurden zusätzlich zur präziseren Beurteilung auch Untergruppen zwischen den Gruppen 1-4 erstellt.

Als weiteres Kriterium galt die Form des letzten freien Wirbels. Das **Verhältnis zwischen Deck- und Bodenplatte** wurde bestimmt. Ein Hinweis auf einen LÜW gibt das „**Squaring**“ nach Wigh 1980. Die Durchmesser der Deck- und Bodenplatte nähern sich an und besitzen ein Verhältnis von  $<1,38$  zueinander. Ein LÜW ist von lateral betrachtet nicht mehr trapezförmig wie ein Sakralwirbel (Wigh 1981). In den vor 1980 durchgeführten Studien wurde lediglich auf die Veränderung bzw. Variation der Querfortsätze eingegangen. Die Tatsache, dass der gesamte Wirbel eine Formveränderung durchmachen kann, die auf sagittalen oder axialen Aufnahmen erkennbar ist, wurde in Untersuchungen vor 1980 nicht berücksichtigt.

Voraussetzung für die Einstufung eines Wirbels als LÜW anhand des Kriteriums des „Squaring“ ist, dass die Höhe der Vorderkante die Ausdehnung der Deckplatte nicht überschreitet.

Des Weiteren wurde der **lumbosakrale Winkel** gemessen. Er ist definiert als „der von der Längsachse des 5. Lenden- und 1. Kreuzbeinwirbels eingeschlossene, nach hinten offene Winkel“ (Roche Lexikon der Medizin 2003, S. 1133). Er beträgt normalerweise ca. 135 Grad (Roche) und nach Nakipuglu 2008 etwa 140 Grad. Lax fand in seiner 1988 veröffentlichten Untersuchung einen vergrößerten lumbosakralen Winkel bei Patienten mit Übergangswirbel.

Ein weiteres Indiz für einen Übergangswirbel auf sagittalen Aufnahmen ist, falls man BWK 12 anhand möglicherweise miterfasster Anteile der Rippengelenke identifizieren kann, die **Anzahl der Wirbel ohne angebundene Rippen**. Da diese aber nicht regelmäßig abgebildet sind, ist dies ohne die Berücksichtigung der coronaren Schichten ein sehr unsicheres Kriterium.

Wenn anhand der oben genannten Kriterien ein Übergangswirbel identifiziert werden konnte, wurde die **Lage bzw. Höhenlokalisierung mehrerer anatomischer Strukturen** in Relation zur Wirbelsäule festgestellt.

### 1. Ursprung des **Ligamentum iliolumbale**:

Das Ligamentum iliolumbale („iliolumbar ligament – ILL“) reicht als hypointenses Band vom Processus transversus bis zur posteromedialen und anteromedialen Seite der Crista iliaca auf der gleichen Seite. In der Regel entspringt es vom Querfortsatz des LWK 5 und mit einigen dünneren Fasern auch vom Querfortsatz des LWK 4 (Brailsford 1929, Uhthoff 1993, Hartford 2000, Pool-Goudzward 2001). In einer von Hughes 2006 veröffentlichten Studie wurde es auf speziell dafür angefertigten axialen Schichten auf Höhe des Querfortsatzes dargestellt und beurteilt. Da sich routinemäßig gemessene axiale Schichten auf den Intervertebralraum beschränken und das Band daher axial nur teilweise erkennbar ist, wurde es in dieser Studie auf den coronaren Aufnahmen identifiziert.

### 2. Höhenlokalisierung des Abganges der **rechten Nierenarterie**:

Der Abgang der rechten Nierenarterie (Arteria renalis dextra, „right renal artery – RAA“) wurde hier definiert als der Punkt, an dem auf der sagittalen Aufnahme eine runde Signalauslöschung zwischen Aorta abdominalis und der auf den weiter rechts gelegenen Schichten dargestellten Vena cava inferior zu erkennen ist.

### 3. Höhenlokalisierung der **Aortenbifurkation**:

Die Höhe der Aortenbifurkation wurde in dieser Arbeit definiert als der Punkt, an dem auf der axialen Aufnahme statt des einen Lumens der Aorta zwei separate Lumina der beiden Iliakalarterien abgegrenzt werden können. Auf der sagittalen Aufnahme gelingt dies meist nicht eindeutig, da sich die längsverlaufenden Lumina meist erst im Verlauf weiter distal ab einer gewissen räumlichen Trennung mit dazwischenliegendem Fettgewebe voneinander unterscheiden lassen.

### 4. Höhenlokalisierung der **Crista iliaca**:

Auf den coronaren Schichten wurde eine Linie zwischen dem höchsten Punkt beider Cristae iliaca gezogen und die Höhe der Linie in Relation zum mittleren Abschnitt des entsprechenden Wirbelkörpers bzw. der entsprechenden Bandscheibe bestimmt.

Von einer Höhenbestimmung des Conus medullaris wurde abgesehen, da er eine zu starke Varianz besitzt und als Orientierungshilfe nicht geeignet ist (Lee 2007, Hughes 2006).

Ebenso wurde auf die Analyse von Truncus coeliacus und Arteria mesenterica superior verzichtet, da der Abgang dieser beiden Gefäße in der Literatur teilweise auf Höhe von BWK 11 bzw. BWK 12 beschrieben ist und dieser Abschnitt der Wirbelsäule bei den vorliegenden Untersuchungen routinemäßig nicht immer vollständig erfasst wurde.

Zur Höhenlokalisierung der paraspinalen Strukturen wurde die Wirbelsäule in einzelne Abschnitte eingeteilt. Die am weitesten kranial gelegene Struktur ist der Abgang der rechten Nierenarterie mit höchstmöglicher Lokalisation auf Höhe des Bandscheibenraums BWK 12/LWK 1. Die am tiefsten gelegene Struktur, die Crista iliaca, die sich normalerweise im Segment LWK 4/5 befindet, wurde im Extremfall auf Höhe von LWK 5/SWK 1 lokalisiert. Unter der Annahme, dass die Höhe eines Bandscheibenraums etwa ein Drittel der Höhe eines Wirbelkörpers beträgt (Benninghoff 2003), wurden 21 etwa gleich hohe Abschnitte der Wirbelsäule definiert. Für die statistische Analyse der Daten wurde jedem Abschnitt eine Zahl zugeordnet, d.h. die Zahl 1 dem Abschnitt BWK 12/LWK 1 und die Zahl 21 dem Abschnitt LWK 5/SWK 1.

Mithilfe der Bestimmung des thorakolumbalen Überganges und der Lage der paraspinalen Strukturen wurde eine Klassifikation des Wirbels in eine der oben genannten Kategorien angestrebt. Dazu wurde als erstes die Anzahl der freien Lendenwirbel abgezählt, welche ohne Übergangsvariante fünf beträgt. Die Fälle, in denen LWK 1 eindeutig identifiziert werden konnte und in denen die Lage der paraspinalen Strukturen den in der Literatur angegebenen Werten entsprach (Chithriki 2002, Hughes 2004 und 2006, Lee 2007), wurden als sicher klassifizierbar entweder als Sakralisation oder als Lumbalisation eingestuft. Zu einer dritten Kategorie wurden die Fälle gezählt, in denen eine sichere oder sehr wahrscheinliche Einstufung nicht möglich war und mehrere Möglichkeiten der Benennung in Frage kamen.

Auf der Grundlage dieser Einteilung wurde die Lage der paraspinalen Strukturen der einzelnen Gruppen miteinander verglichen und untersucht, ob es anhand von Indizien nicht doch möglich ist, nomenklaturisch zunächst unklare Fälle genauer zu definieren.

Neben dem Vorkommen und der Nomenklatur des lumbosakralen Übergangswirbels wurde der Grad der Degeneration der vorletzten angelegten Bandscheibe in Relation zu den übrigen Bandscheiben der LWS festgestellt.

Des Weiteren wurde die Hypothese, dass ein Übergangswirbel ohne coronare Schichtung auf ausschließlich sagittalen und axialen Aufnahmen oft nicht erkannt wird bzw. nicht korrekt benannt werden kann, auf ihre Richtigkeit im vorliegenden Patientengut getestet.

#### **2.4. Statistische Auswertung**

Um zu überprüfen, ob sich die Messwerte in der Gruppe der lumbalisierten Sakralwirbel statistisch signifikant von denen in der Gruppe der sakralisierten Lendenwirbel unterscheiden, wurde der t-Test durchgeführt.

Um zu testen, ob sich die Messwerte in den Untergruppen statistisch signifikant voneinander unterscheiden, wurde der Anova Test für einen Faktor (One-way-ANOVA) durchgeführt.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Untersuchte Patienten**

Von den 1500 untersuchten Patienten besaßen 156 eine lumbosakrale Übergangsvariante, was 10,4% entsprach. Unter diesen 156 Patienten waren 71 Frauen und 85 Männer. Das Durchschnittsalter der Patienten mit LÜW betrug 56,6 Jahre mit einer Standardabweichung von 16,5 Jahren und einer Spannbreite von 14 bis 87 Jahren.

#### **3.2. Klassifikation**

Von den 156 Patienten mit LÜW konnten 124 (79,5%) eindeutig klassifiziert werden. Dabei wurden 67 Patienten (42,9%) in die Kategorie Sakralisation (Gruppe 1) und 57 Patienten (36,5%) in die Kategorie Lumbalisation (Gruppe 2) eingeordnet. Bezogen auf die sicher klassifizierten 124 Patienten betragen die Prozentsätze für Sakralisation 54,0% versus 46,0% für Lumbalisation.

Unter den 67 Patienten mit Sakralisation fanden sich zehn Patienten (14,9%) mit beidseits knöchern fusioniertem Os sacrum (Untergruppe 1), 45 Patienten (67,2%) mit inkompletter Fusion, also gelenkig angebundenem vergrößertem Querfortsatz (Untergruppe 2), davon acht Patienten (11,9%) mit beidseitigem Gelenk und 37 Patienten (55,2%) mit einseitiger Gelenkverbindung, sieben Patienten (10,4%) mit einseitiger kompletter Fusion und auf der anderen Seite gelenkig angebundenem oder freiem Querfortsatz (Untergruppe 3) sowie fünf Patienten (7,5%) mit beginnender Sakralisation, also beidseits vergrößerten Querfortsätzen (Untergruppe 4).

Unter den 57 Patienten mit Lumbalisation waren 17 Patienten (29,8%) mit inkompletter Lumbalisation, d.h. ein- oder beidseits gelenkig angebundenem Querfortsatz (Untergruppe 2) und 16 Patienten (28,1%) mit einseitiger kompletter Lumbalisation, d.h. einem freien Querfortsatz und auf der anderen Seite gelenkig oder knöchern angebundenem Querfortsatz (Untergruppe 3). 24 Patienten (42,1%)

wiesen die Minimalform der Lumbalisation auf (Untergruppe 4), d.h. eine beidseits knöchern fusionierte Massa lateralis, jedoch eine zusätzlich angelegte Bandscheibe und ein „Squaring“ des Wirbels, eines der oben beschriebenen Merkmale eines Übergangswirbels auf der seitlichen Aufnahme. Die Maximalform der Lumbalisation aufgrund einer eindeutigen lumbosakralen Übergangsvariante (Untergruppe 1) konnte bei keinem der Patienten mit Sicherheit festgestellt werden (s.u.), weshalb kein Patient in diese Kategorie eingestuft wurde.

32 Fälle (20,5%) mit LÜW konnten nicht exakt definiert werden, da es bei ihnen in der Regel zwei, gelegentlich auch drei alternative mögliche Einstufungen gab.

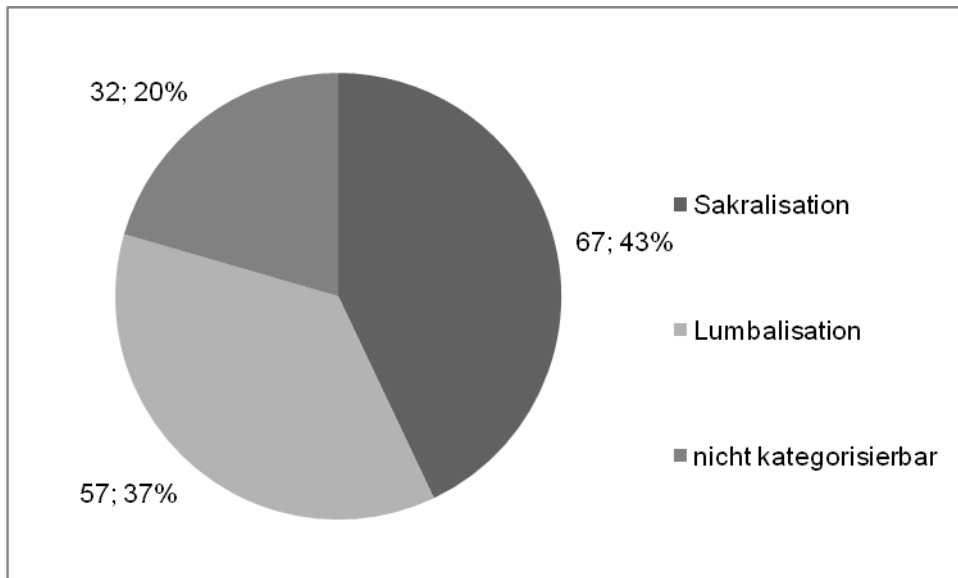


Abb. 5: Kategorien des lumbosakralen Übergangswirbels und Verteilung mit Angabe der Anzahl der Patienten

Zusätzlich fanden sich sechs Patienten mit einer sechsgliedrigen LWS. Bei vier dieser Patienten war aufgrund der Position der Lendenwirbelkörper und der Anordnung der paraspinalen Strukturen am ehesten eine Variation im Bereich des thorakolumbalen Überganges anzunehmen, bei zwei dieser Patienten war eine weitere Zuordnung nicht möglich.

Bei drei Patienten wurde ein fraglicher Übergangswirbel festgestellt, dessen Querfortsatz nur geringfügig vergrößert war und der eher im Sinne eines Nearthros beginnend gelenkig angebunden war.

Weitere 70 Patienten wiesen ein ein- oder beidseitiges, teilweise degenerativ verändertes Nearthros mit der Massa lateralis des Os sacrum auf, ohne dass die Querfortsätze von LWK 5 vergrößert waren. Unter diesen insgesamt 73 Patienten mit Nearthros waren 36 Frauen und 37 Männer, das Durchschnittsalter betrug  $71,3 \pm$  (=Standardabweichung) 9,5 Jahre, wobei der jüngste Patient mit Nearthros 50 Jahre und der älteste 94 Jahre alt war.

### **3.3. Thorakolumbaler Übergang**

Der thorakolumbale Übergang war in der Gruppe der sicher sakralisierten Übergangswirbel in 46 Fällen (68,7%) unauffällig, in der Gruppe der sicher lumbalisierten Übergangswirbel wies er in 38 Fällen (66,7%) keine Variationen auf. Bei den übrigen Patienten dieser beiden Gruppen waren Varianten wie kurze Rippen oder gelenkig angebundene Querfortsätze zu erkennen, BWK 12 bzw. LWK 1 konnten dennoch sicher identifiziert werden.

Auch in der Gruppe der 32 Fälle mit nicht sicher klassifizierbarem Übergangswirbel konnte der thorakolumbale Übergang in 12 Fällen (37,5%) eindeutig bestimmt werden. Eine sichere Zuordnung in die Gruppe der Sakralisation oder Lumbalisation war bei diesen Patienten aufgrund der Lage der paraspinalen Strukturen dennoch nicht möglich. In 20 Fällen (62,5%) lag eine thorakolumbale Übergangsanomalie vor, die in sechs Fällen (18,8%) genauer bezeichnet werden konnte. In 14 Fällen (43,8%) konnte der thorakolumbale Übergang nicht definiert werden.



### 3.4. Lokalisation der paraspinalen Strukturen

		Crista Sakr	Crista Lumb	RAA Sakr	RAA Lumb	AO Sakr	AO Lumb
Th12/L1	<b>1</b>			6			
L1o	<b>2</b>			6	2		
L1m	<b>3</b>			21	2		
L1u	<b>4</b>			22	6		
L1/2	<b>5</b>			11	20		
L2o	<b>6</b>			1	12		
L2m	<b>7</b>				11		
L2u	<b>8</b>				2		
L2/3	<b>9</b>				1		
L3o	<b>10</b>						
L3m	<b>11</b>					3	
L3u	<b>12</b>					3	
L3/4	<b>13</b>	6				17	
L4o	<b>14</b>	11				15	4
L4m	<b>15</b>	15				15	13
L4u	<b>16</b>	21	3			8	17
L4/5	<b>17</b>	12	16			6	14
L5o	<b>18</b>	2	20				4
L5m	<b>19</b>		9				4
L5u	<b>20</b>		6				
L5/S1	<b>21</b>		2				

Tab. 2: Verteilung der Höhenlokalisierung der paraspinalen Strukturen (Crista iliaca, rechte Nierenarterie, Aortenbifurkation) mit Angabe der Anzahl der Patienten bei sakralisiertem und lumbalisiertem Übergangswirbel

Bei der Auswertung der Lokalisation der paraspinalen Strukturen sowie der übrigen Parameter wurde ein Patient (Nr. 223) aus der Gruppe der Lumbalisation, der zusätzlich Blockwirbel sowie mehrfache stattgehabte Operationen und dadurch eine sehr komplexe Anatomie aufwies, ausgenommen. Die zu untersuchenden Strukturen waren in diesem Fall nicht eindeutig erkennbar und die Messwerte zu ungenau.

### 3.4.1. Crista iliaca

Die Crista iliaca war in der Gruppe der Sakralisation im Durchschnitt im Abschnitt 15,4  $\pm$ 1,3, also zwischen dem mittleren und dem unteren Bereich von LWK 4 lokalisiert. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 1 14,8  $\pm$ 1,1, für die Untergruppe 2 15,6  $\pm$ 1,3, für die Untergruppe 3 14,7  $\pm$ 1,3 und für die Untergruppe 4 15,6  $\pm$ 0,9.

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
L3/4	<b>13</b>	1	4	1	
L4o	<b>14</b>	3	4	3	1
L4m	<b>15</b>	4	11		
L4u	<b>16</b>	1	13	3	4
L4/5	<b>17</b>	1	11		
L50	<b>18</b>		2		

Tab. 3: Verteilung der Höhenlokalisierung der Crista iliaca mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel

In der Gruppe der Lumbalisation war die Crista iliaca im Mittelwert im Abschnitt 18,1  $\pm$ 1,2, also im oberen Bereich von LWK 5 lokalisiert. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2 18,6  $\pm$ 1,3, für die Untergruppe 3 18,2  $\pm$ 1,1 und für die Untergruppe 4 17,7  $\pm$ 1,0.

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
L4u	<b>16</b>		1	1	1
L4/5	<b>17</b>		1	2	13
L5o	<b>18</b>		8	8	4
L5m	<b>19</b>		3	1	5
L5u	<b>20</b>		2	3	1
L5/S1	<b>21</b>		2		

Tab. 4: Verteilung der Höhenlokalisierung der Crista iliaca mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel

Die Werte von Sakralisation und Lumbalisation wiesen dabei einen statistisch signifikanten Unterschied auf ( $p < 0,05$  bzw.  $p < 0,01$ ). Die Untergruppen unterschieden sich voneinander nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ).

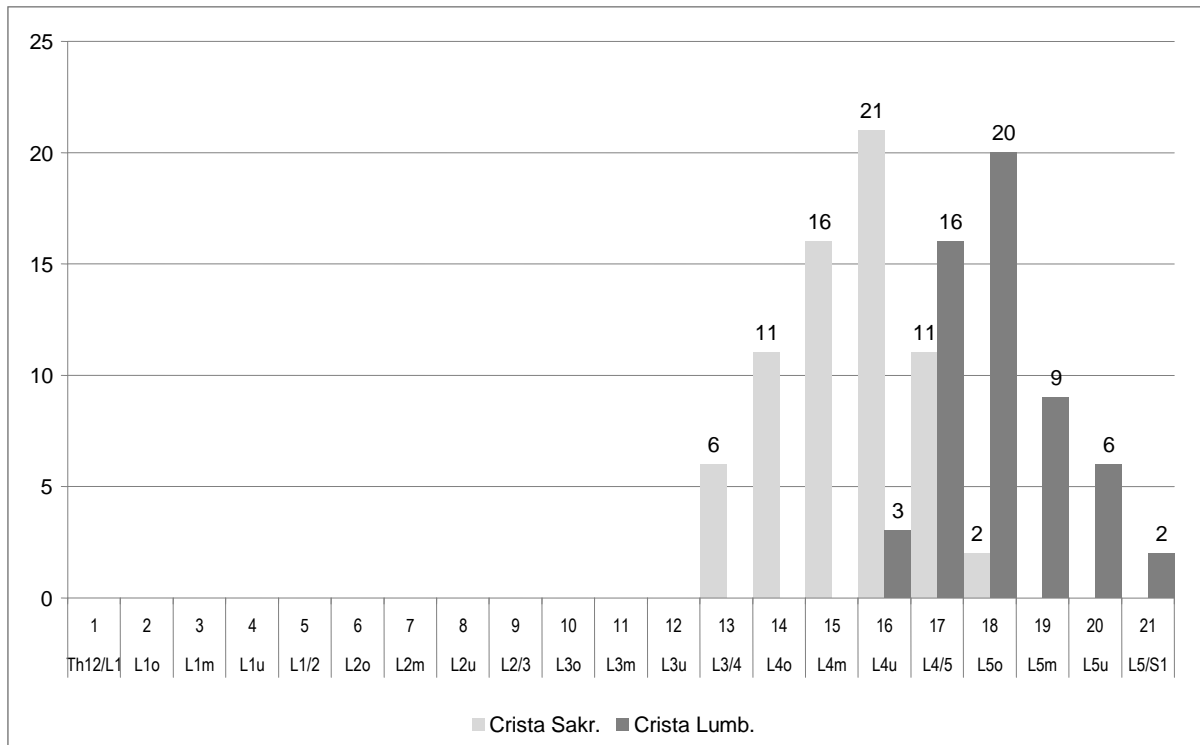


Abb. 6: Verteilung der Höhenlokalisierung der Crista iliaca mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten und lumbalisierten Übergangswirbel

### 3.4.2. Rechte Nierenarterie

Der Abgang der RAA war in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel durchschnittlich im Abschnitt  $3,4 \pm 1,2$ , also an der Grenze zwischen mittlerem und unterem Drittel von LWK 1 lokalisiert. Die Mittelwerte betragen dabei für die Untergruppe 1  $3,3 \pm 0,9$ , für die Untergruppe 2  $3,5 \pm 1,2$ , für die Untergruppe 3  $3,3 \pm 1,5$  und für die Untergruppe 4  $3,4 \pm 0,9$ .

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
Th12/L1	<b>1</b>	1	4	1	
L1o	<b>2</b>		4	1	1
L1m	<b>3</b>	4	14	2	1
L1u	<b>4</b>	5	13	1	3
L1/2	<b>5</b>		9	2	
L2o	<b>6</b>		1		

Tab. 5: Verteilung der Höhenlokalisierung des Abganges der rechten Nierenarterie mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel

Bei den lumbalisierten Übergangswirbeln befand sich der Abgang der RAA durchschnittlich im Abschnitt  $5,5 \pm 1,4$ , also auf Höhe der Oberkante von LWK 2. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $5,7 \pm 1,6$ , für die Untergruppe 3  $5,5 \pm 1,5$  und für die Untergruppe 4  $5,4 \pm 1,2$ .

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
L1o	<b>2</b>		1		1
L1m	<b>3</b>			1	1
L1u	<b>4</b>		1	4	1
L1/2	<b>5</b>		6	3	11
L2o	<b>6</b>		5	2	5
L2m	<b>7</b>		2	4	5
L2u	<b>8</b>		1	1	
L2/3	<b>9</b>		1		

Tab. 6: Verteilung der Höhenlokalisierung des Abganges der rechten Nierenarterie mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel

Die Werte bei Sakralisation und Lumbalisation wiesen einen statistisch signifikanten Unterschied auf ( $p < 0,05$ ). Die Untergruppen unterschieden sich voneinander nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ).

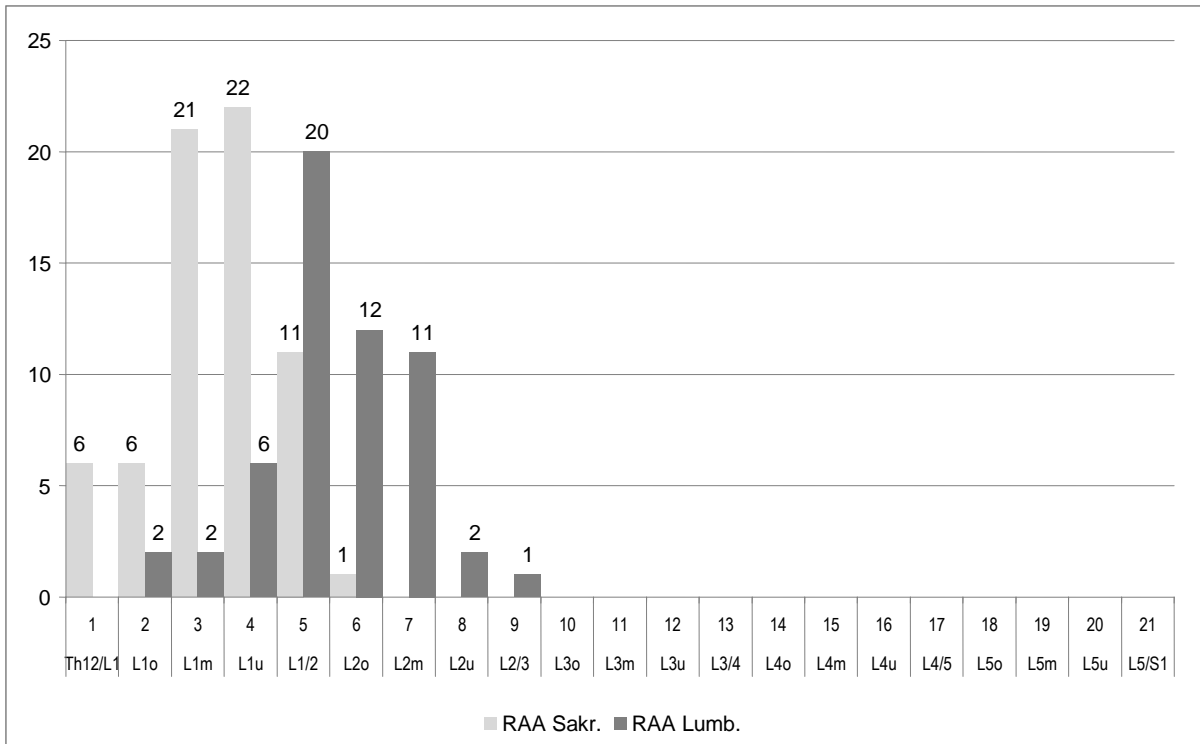


Abb. 7: Verteilung der Höhenlokalisierung des Abganges der rechten Nierenarterie mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten und lumbalisierten Übergangswirbel

### 3.4.3. Aortenbifurkation

Die Aortenbifurkation befand sich bei den sakralisierten Übergangswirbeln im Mittel auf Höhe von Abschnitt 14,3, also auf Höhe des oberen Drittels von LWK 4, wobei die Standardabweichung im Kollektiv der sakralisierten Wirbel 1,5 betrug. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 1  $13,8 \pm 1,2$ , für die Untergruppe 2  $14,5 \pm 1,6$ , für die Untergruppe 3  $14,0 \pm 0,6$  und für die Untergruppe 4  $13,6 \pm 1,7$ .

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
L3m	<b>11</b>		2		1
L3u	<b>12</b>	1	2		
L3/4	<b>13</b>	4	11	1	1
L4o	<b>14</b>	2	7	5	1
L4m	<b>15</b>	2	10	1	2
L4u	<b>16</b>	1	7		
L4/5	<b>17</b>		6		

Tab. 7: Verteilung der Höhenlokalisierung der Aortenbifurkation mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel

Bei den lumbalisierten Übergangswirbeln ergab sich eine durchschnittliche Höhenlokalisierung von  $16,3 \pm 1,3$ ; dies entspricht dem unteren Drittel von LWK 4. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $16,7 \pm 1,3$  für die Untergruppe 3  $16,5 \pm 1,5$  und für die Untergruppe 4  $15,8 \pm 1,2$ .

	<b>Höhenlok.</b>	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
L4o	<b>14</b>				4
L4m	<b>15</b>		2	5	6
L4u	<b>16</b>		7	3	6
L4/5	<b>17</b>		5	4	6
L5o	<b>18</b>			2	2
L5m	<b>19</b>		3		
L5u	<b>20</b>			1	

Tab. 8: Verteilung der Höhenlokalisierung der Aortenbifurkation mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel

Die Werte von Sakralisation und Lumbalisation wiesen auch für diesen Parameter einen statistisch signifikanten Unterschied auf ( $p < 0,05$ ). Die Untergruppen unterschieden sich voneinander nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ).

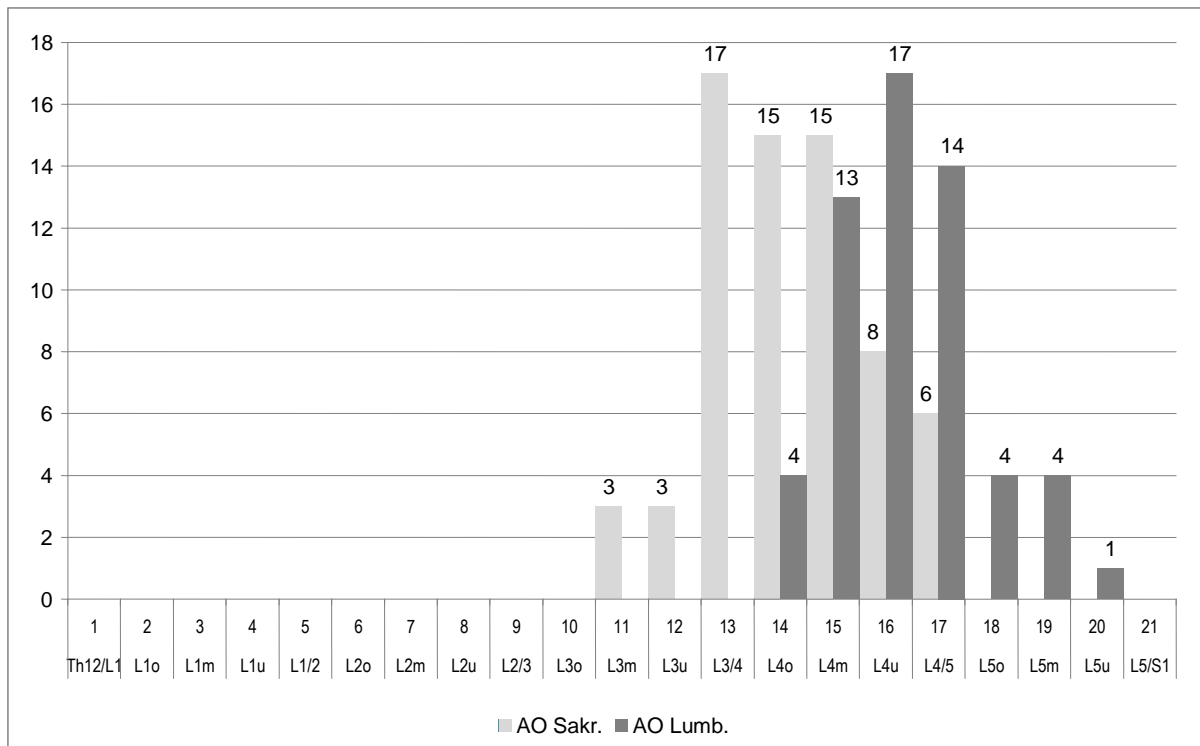


Abb. 8: Verteilung der Höhenlokalisierung der Aortenbifurkation mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten und lumbalisierten Übergangswirbel

### 3.4.4. Ligamentum iliolumbale

In der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel entsprang das ILL in 33 Fällen (49,3%) an den Querfortsätzen von LWK 5. In 31 Fällen (46,3%) entsprang das ILL sowohl von LWK 5 als auch von LWK 4, wobei in 20 Fällen von LWK 4 nur zarte Fasern wegführten. In 3 Fällen (4,5%) hatte das ILL seinen Ursprung ausschließlich von LWK 4. In keinem einzigen Fall ging es von SWK 1 aus.

	Ursprung d. ILL	Untergr.1	Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
1	nur an L5	1	28		4
2	an L5, zart auch an L4	5	9	5	1
3	an L4 und L5 gleich stark	2	6	2	
4	nur an L4	2	1		

Tab. 9: Verteilung des Ansatzes des Ligamentum iliolumbale mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel

In der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel entsprang das ILL in 44 Fällen (78,6%) ausschließlich vom Querfortsatz des LWK 5. In 6 Fällen (10,7%) entsprang es von LWK 5 und SWK 1 und in zwei Fällen (3,6%) ausschließlich von SWK 1. In keinem einzigen Fall hatte das ILL im Falle eines lumbalisierten Übergangswirbels seinen Ausgangspunkt von LWK 4. Die einzelne Verteilung der Untergruppen ist aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich:

	Ursprung des ILL		Untergr.2	Untergr.3	Untergr.4
1	nur an L5		12	9	23
2	an L5, zart auch an L4				
5	an L5 und S1		4	5	1
6	nur an S1		1	1	

Tab. 10: Verteilung des Ansatzes des Ligamentum iliolumbale mit Angabe der Anzahl der Patienten in der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel

### 3.5. Verhältnis Deck- zu Bodenplattenlänge („Squaring“)

Das Verhältnis der Deck- zur Bodenplatte des lumbosakralen Übergangswirbels betrug in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel  $1,03 \pm 0,07$ . Die Werte reichten von 0,92 bis 1,29. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 1  $1,10 \pm 0,08$ , für die Untergruppe 2  $1,01 \pm 0,06$ , für die Untergruppe 3  $1,05 \pm 0,09$  und für die Untergruppe 4  $1,00 \pm 0,03$ .

In der Gruppe der lumbalisierten Übergangswirbel lag der Wert geringfügig höher, und zwar bei  $1,08 \pm 0,11$ . Die Werte reichten in dieser Gruppe von 0,90 bis 1,36. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $1,00 \pm 0,06$ , für die Untergruppe 3  $1,10 \pm 0,12$  und für die Untergruppe 4  $1,13 \pm 0,10$ .

Die Werte für Sakralisation und Lumbalisation unterschieden sich statistisch signifikant. Auch in den jeweiligen Untergruppen konnte ein statistisch signifikanter Unterschied errechnet werden.



### 3.6. Lumbosakraler Winkel

Der lumbosakrale Winkel („lumbosacral angle“, LSA) wurde bei den sakralisierten Wirbeln im Schnitt mit  $156,3 \pm 10,0$  Grad gemessen, die Messwerte reichten von 136 bis 185 Grad. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 1  $169,9 \pm 7,4$  Grad, für die Untergruppe 2  $152,9 \pm 7,6$  Grad, für die Untergruppe 3  $163,4 \pm 8,4$  Grad und für die Untergruppe 4  $151,2 \pm 9,2$  Grad.

Bei den lumbalisierten Übergangswirbeln wurden zwei Messwerte erhoben, und zwar der Winkel des letzten angelegten Segments mit meist hypoplastischer Bandscheibe, das dem Segment SWK 1/2 entspricht, sowie der Winkel zwischen LWK 5 und SWK 1. Fünf Patienten mussten wegen Spondylolisthesis vera von der Messung ausgeschlossen werden. Die Werte lagen für das Segment SWK 1/2 im Durchschnitt bei  $167,4 \pm 6,3$  Grad mit Werten von 156 bis 180 Grad. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $163,5 \pm 4,9$  Grad, für die Untergruppe 3  $167,9 \pm 5,9$  Grad und für die Untergruppe 4  $170,1 \pm 6,2$  Grad. Für das Segment LWK 5 /SWK 1 lag der Messwert im Durchschnitt bei  $151,3 \pm 6,2$  Grad mit Werten von 140 bis 163 Grad. Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $151,6 \pm 5,8$  Grad, für die Untergruppe 3  $148,6 \pm 4,9$  Grad und für die Untergruppe 4  $152,4 \pm 6,9$  Grad.

Die Messwerte der Gruppe der sakralisierten Lendenwirbel, der Gruppe der lumbalisierten Sakralwirbel im Segment SWK 1/2, sowie die Werte der lumbalisierten Sakralwirbel im Segment LWK 5/SWK 1 unterschieden sich dabei statistisch signifikant. Die Messwerte der Untergruppen der lumbalisierten Sakralwirbel im Segment LWK 5/SWK 1 wiesen keinen statistisch signifikanten Unterschied auf, die Messwerte der Untergruppen der beiden anderen Kategorien differierten jedoch statistisch signifikant. Der kritischen p-Wert wurde wie bei den übrigen Messungen bei  $<0,05$  festgesetzt.

Auch in der Gruppe der Patienten mit Nearthros wurde der lumbosakrale Winkel gemessen. Er lag im Durchschnitt bei  $143,5 \pm 5,0$  Grad, wobei die Messwerte von 136 bis 151 Grad reichten.

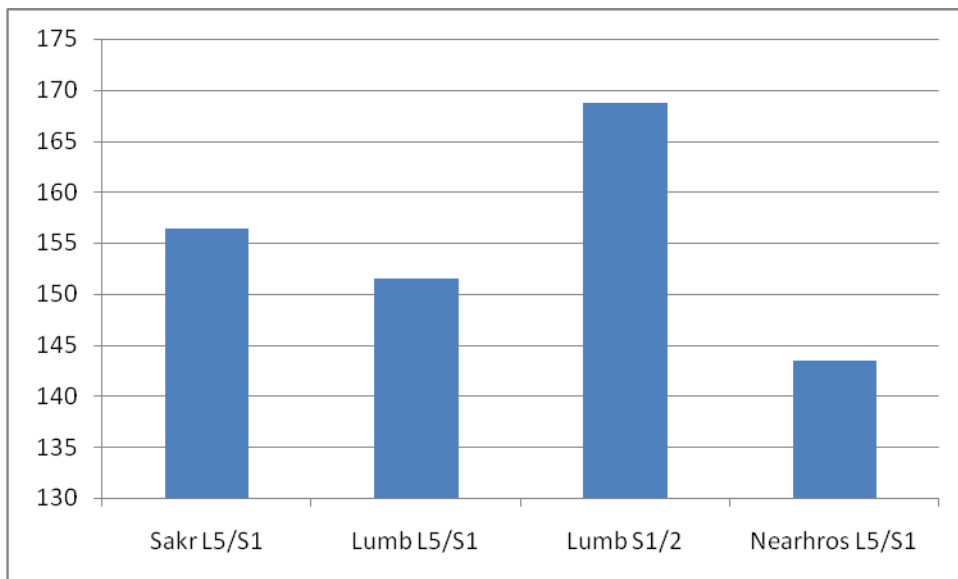


Abb. 9: Mittelwert für den lumbosakralen Winkel bei Sakralisation und Lumbalisation, Mittelwert für den Winkel des letzten angelegten Segments bei Lumbalisation und Mittelwert des lumbosakralen Winkels bei Nearthros (in Grad)

### 3.7. Form der Bandscheibe unterhalb des lumbosakralen Übergangswirbels

Die letzte angelegte, unterhalb des lumbosakralen Übergangswirbels gelegene Bandscheibe ist häufig hypoplastisch.

Bei den sakralisierten Lendenwirbeln ergab sich ein Durchschnittswert von  $3,28 \pm 0,79$  für die in dieser Studie erstellten Kategorien 1 bis 4 (Erläuterung der Einteilung s. Kapitel 2.3.2.3.). Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 1  $2,25 \pm 0,98$ , für die Untergruppe 2  $3,57 \pm 0,51$ , für die Untergruppe 3  $2,64 \pm 0,63$  und für die Untergruppe 4  $3,70 \pm 0,45$ .

Bei den lumbalisierten Sakralwirbeln fand sich eine meist noch deutlicher hypoplastische Bandscheibe mit einem Durchschnittswert von  $2,15 \pm 0,73$ . Die Mittelwerte betragen für die Untergruppe 2  $2,53 \pm 0,74$ , für die Untergruppe 3  $2,23 \pm 0,82$  und für die Untergruppe 4  $1,90 \pm 0,51$ .

Die Werte von Sakralisation und Lumbalisation sowie die Untergruppen wiesen dabei einen statistisch signifikanten Unterschied auf ( $p < 0,05$ ).

	Sakr.					Lum.		
Kategorie Bandsch. / Untergruppe	1	2	3	4		2	3	4
<b>1</b>	2					1	1	3
<b>1-2</b>	1		1				3	8
<b>2</b>	2					6	6	8
<b>2-3</b>	3	3	3			4	1	4
<b>3</b>		11	2	1		3	2	1
<b>3-4</b>	2	8		1		2	1	
<b>4</b>	1	23		3		1	1	

Tabelle 11: Verteilung der Form der Bandscheiben in den einzelnen Kategorien mit Angabe der Anzahl der Patienten bei Sakralisation und Lumbalisation und den jeweiligen Untergruppen

### 3.8. Bandscheibendegeneration im vorletzten angelegten Segment

Im Falle einer Sakralisation ist das letzte Segment LWK 5/SWK 1 bei Untergruppe 1 bis 3 durch eine knöchernen Fusion oder ein Gelenk mechanisch geschützt. Die Bandscheibe in diesem Segment wies bei keinem der hier untersuchten Patienten wesentliche degenerative Veränderungen auf. Auch bei der Minimalform der Sakralisation (Untergruppe 4) fanden sich kräftige Bänder zum Os ilii, die einen gewissen mechanischen Schutz boten und die letzte angelegte Bandscheibe war auch in diesen Fällen nicht wesentlich degeneriert.

Die vorletzte Bandscheibe war bei den Patienten mit sakralisiertem Übergangswirbel in 32 Fällen (48,8%) mehr als die weiter kranial gelegenen Segmente der Lendenwirbelsäule oder als einzige degeneriert. Bei 24 Patienten (35,8%) war sie genauso stark degeneriert und in fünf Fällen war sie weniger degeneriert als weiter kranial gelegene Segmente (7,5%). In drei Fällen konnte die Bandscheibendegeneration nicht gewertet werden, z.B. weil die darüberliegenden Segmente aufgrund einer Fusion nicht frei beweglich waren. In drei weiteren Fällen waren bei einem Patientenalter zwischen 19 und 33 Jahren in keinem Segment degenerative Veränderungen erkennbar.

Im Falle der Lumbalisation fanden sich ebenfalls keine degenerativen Bandscheibenveränderungen im mechanisch geschützten letzten angelegten Segment mit hypoplastischer Bandscheibe. Degenerative Veränderungen waren vor allem im vorletzten Segment, welches in diesem Fall LWK 5/SWK 1 entspricht, zu erkennen. Die vorletzte angelegte Bandscheibe war in 29 von 56 Fällen (51,8%) als einzige oder stärker als die weiter kranial gelegenen Segmente degeneriert. In 18 Fällen (32,1%) war sie gleich stark degeneriert und in nur zwei Fällen weniger als im darüberliegenden Segment. Vier Fälle konnten nicht gewertet werden und in drei Fällen waren keine degenerativen Veränderungen nachweisbar.

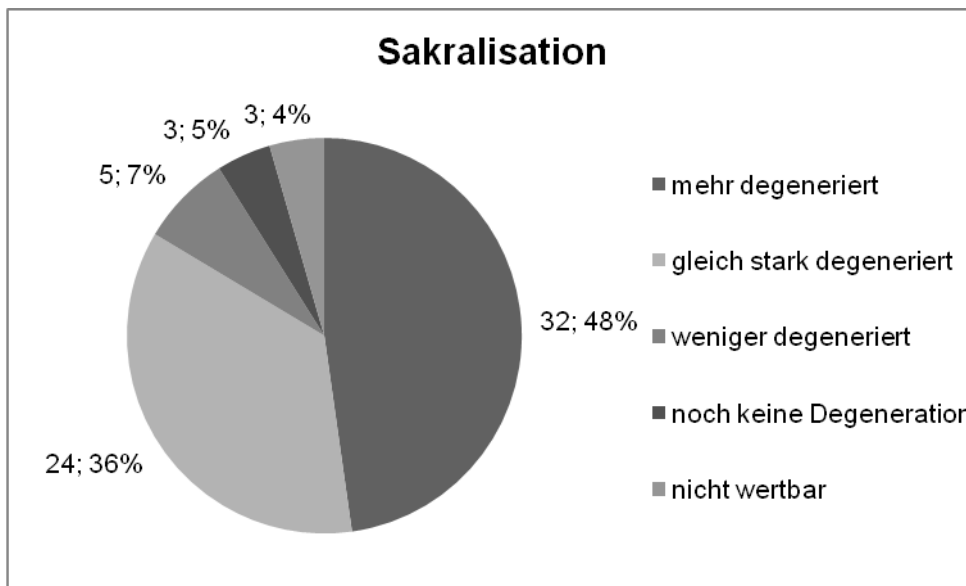


Abb. 10: Bandscheibendegeneration im Segment oberhalb des lumbosakralen Übergangswirbels im Vergleich zu weiter cranial gelegenen Segmenten mit Angabe der Anzahl der Patienten bei Sakralisation

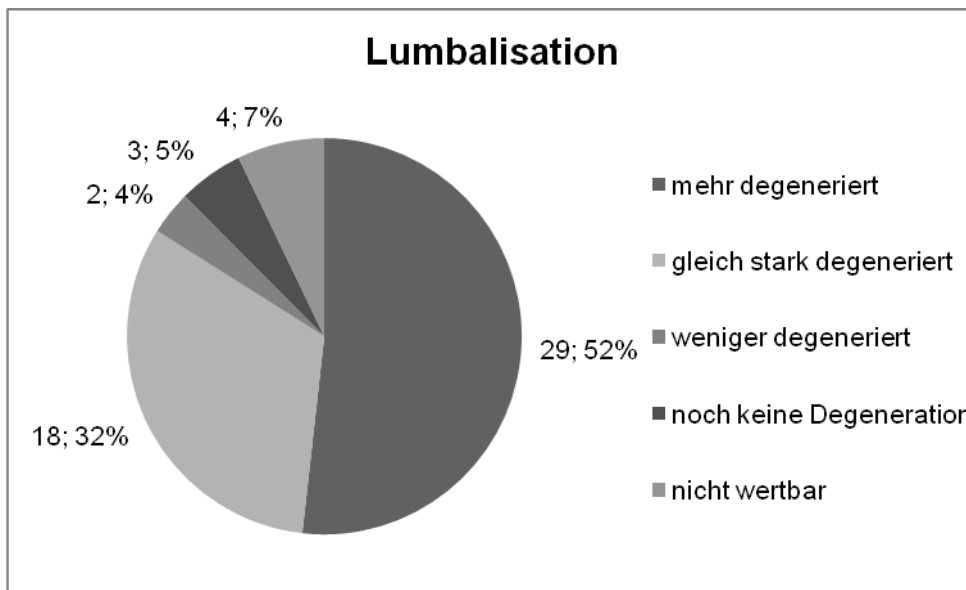


Abb. 11: Bandscheibendegeneration im Segment oberhalb des lumbosakralen Übergangswirbels im Vergleich zu weiter cranial gelegenen Segmenten mit Angabe der Anzahl der Patienten bei Lumbalisation

### 3.9. Detektion bzw. korrekte Bezeichnung des Übergangswirbels ohne coronare Schichten

Bei lediglich sechs der 156 Patienten (3,8%) konnte der Übergangswirbel ohne coronare Schichten erkannt und eindeutig bezeichnet werden. In 37 Fällen (23,7%) bestand aufgrund der axialen und/oder sagittalen Bilder der Verdacht auf einen Übergangswirbel, eine sichere Aussage über seine Existenz konnte in diesen Fällen jedoch nicht gemacht werden.

Bei 100 Patienten (64,1%) konnte aufgrund der sagittalen und/oder axialen Bilder ein lumbosakraler Übergangswirbel festgestellt werden. Es war allerdings nicht möglich festzustellen, ob die Veränderungen ein- oder beidseits vorlagen bzw. ob es sich um einen lumbalisierten Sakralwirbel oder einen sakralisierten Lumbalwirbel handelte.

In 13 Fällen (8,3%) wurde der Übergangswirbel ohne coronare Bilder auch retrospektiv überhaupt nicht erkannt.

## 4. Diskussion

Übergangswirbel sind ein bei bildgebender Diagnostik häufig anzutreffender Befund mit kontrovers diskutierter klinischer Relevanz, es fehlen jedoch bis heute einheitliche Kriterien zur Identifizierung und Nomenklatur. Wirbelsäulenerkrankungen betreffen am häufigsten die distale Lendenwirbelsäule, weshalb die meisten diagnostischen Untersuchungen in diesem Abschnitt der Wirbelsäule durchgeführt werden. Die vorliegende Studie setzt sich aus diesem Grund mit der Identifizierung, Nomenklatur und klinischen Relevanz von Übergangswirbeln bei MRT-Untersuchungen der LWS auseinander.

### 4.1. Thorakolumbalen Übergang

Für eine korrekte Bezeichnung des lumbosakralen Überganges ist es zunächst wichtig, den thorakolumbalen Übergang zu definieren und einen möglichen thorakolumbalen Übergangswirbel zu erkennen und zu berücksichtigen. Ein lumbosakraler Übergangswirbel kann nur im Zusammenhang mit dem thorakolumbalen Übergang beurteilt werden.

*„These (the thoracolumbal) complexities, although significant, are actually lesser in extent than those at the lumbosacral transitional level, but they should be understood before developing a supplementary language for both (the thoracolumbal and the lumbosacral) areas. Very frequently the anomalies are present in both transitional areas, ..., producing further nomenclature confusion“ (Wigh 1980, S.217).*

Ein echter Lendenwirbel liegt vor, wenn beidseits ein Querfortsatz ohne Gelenkverbindung zu Rippen oder einem benachbarten Wirbelkörper identifiziert werden kann. Echte Rippen haben immer ein Gelenk und die Länge der Rippen beträgt bei 99,4 % der Menschen mindestens 38 mm (Wigh 1980). Sie sind bei entsprechender Untersuchungstechnik mit coronarer Bildgebung, d.h. MR-tomographisch in ausreichend dünner Schichtung oder röntgenologisch, klar zu erkennen.

Embryogenetisch besitzt der erste Lendenwirbelkörper als einziger ein separates Ossifikationszentrum für die Ausbildung eines Rippenfortsatzes, welches normalerweise im Laufe der Fetalzeit mit dem Querfortsatz verschmilzt (Wigh 1980). Eine höhere Inzidenz von lumbosakralen Übergangsvarianten bei Vorliegen einer rudimentären Rippe an LWK 1 wurde auch von MacGibbon 1979 beschrieben. Laut Southworth (1950) besitzt bei 2% der Bevölkerung der 19. Wirbel (BWK 12) keine Rippen und bei 6-8% der Bevölkerung besitzt der 20. Wirbel (LWK 1) Rippenstummel.

Das Vorgehen von Wigh (1980) bezüglich der Nomenklatur des thorakolumbalen Überganges ohne vorliegende Aufnahmen der gesamten Wirbelsäule wurde, falls bildmorphologisch nachvollziehbar, zur Klassifizierung eines thorakolumbalen Übergangswirbels in dieser Arbeit übernommen:

Falls das letzte Paar Rippen ungewöhnlich kurz ist, jedoch eindeutige Rippengelenke vorliegen, wurde der letzte Brustwirbelkörper als BWK 12 bezeichnet, und der darauf folgende Wirbel entspricht LWK 1. Falls jedoch gelenkig angebundene Querfortsätze vorhanden sind und der Befunder bzgl. deren Lage und Ausrichtung sicher gehen konnte, dass diese nicht-verschmolzenen Ossifikationskernen (s.o.) und nicht kurzen Rippen entsprachen, wurde der Wirbel als LWK 1 bezeichnet. Falls diese Kriterien nicht erfüllt wurden, konnte der thorakolumbale Übergang nicht exakt definiert werden.

In der vorliegenden Studie konnte mithilfe dieses Vorgehens in der Gruppe der sicher klassifizierbaren lumbosakralen Übergangswirbel in 67,8% der Fälle der thorakolumbale Übergang eindeutig definiert werden. In den übrigen Fällen gab es Variationen im thorakolumbalen Übergang wie kurze Rippen an BWK 12 oder gelenkig angebundene Querfortsätze an LWK 1. BWK 12 und LWK 1 konnten jedoch dennoch sicher bestimmt werden.

In der Gruppe der nicht sicher klassifizierbaren lumbosakralen Übergangswirbel war der thorakolumbale Übergang nur in zwölf von 32 Fällen, d.h. bei 38%, sicher

bestimmbar. Die übrigen 20 Patienten besaßen einen thorakolumbalen Übergangswirbel. Bei 15 Patienten war eine Einordnung nicht möglich.

#### **4.2. Lumbosakraler Übergang**

Bei einem LÜW handelt es sich entsprechend dem thorakolumbalen Übergang entweder um eine Sakralisation eines Lendenwirbels oder eine Lumbalisation eines Sakralwirbels (Spirnak 1995, Hughes 2006, Bron 2007). In fast allen Studien wird die Sakralisation als die häufigere Variante beschrieben, was sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt (54% Sakralisation, 46% Lumbalisation).

Was bedeuten nun genau „Sakralisation“ und „Lumbalisation“? Ein Übergangswirbel besitzt Eigenschaften, die charakteristisch für einen Wirbel des benachbarten Wirbelsäulenabschnittes und normalerweise an Lenden- bzw. Sakralwirbeln nicht vorhanden sind.

Im Falle einer Sakralisation eines Lendenwirbels bedeutet dies, dass die Querfortsätze vergrößert sind bis hin zu einer wie eine echte Massa lateralis imponierenden Knochenformation. Im Falle einer Lumbalisation bedeutet dies, dass die Massa lateralis des betroffenen Wirbels nicht mehr ohne sichtbare Fusionslinie/Segmentationslinie mit dem übrigen Os sacrum verbunden ist und, je deutlicher die Lumbalisation ausgeprägt ist, zunehmend verkleinert und separiert vom übrigen Os sacrum und dem Os ilii wie ein Querfortsatz imponiert. Sie kann jedoch weiterhin knöchern fusioniert sein bzw. eine Artikulation mit dem restlichen Os sacrum bzw. dem Os ilii aufweisen. Die Veränderungen bei Sakralisation und Lumbalisation können jeweils ein- oder beidseits vorkommen.

Einige Autoren, z.B. Hughes (2006) definieren LÜW als eine Vergrößerung der Querfortsätze des letzten Lendenwirbels mit variierendem Grad der Fusion mit dem ersten Sakralwirbel. Diese Definition ist jedoch nicht vollständig, da sie die Möglichkeit eines lumbalisierten Sakralwirbels nicht berücksichtigt.



Bron (2007) stuft einen „kompletten“ Übergangswirbel in eine dritte Kategorie ein, aus dem eine veränderte Anzahl von Wirbelkörpern resultiert. Ein zusätzlich angelegter Wirbelkörper wird in der Literatur allerdings nur sehr selten beschrieben. Falls die Anzahl der Brust- oder Lendenwirbel vermehrt ist, kann dies auch durch einen fehlenden Wirbel im Bereich des Kreuz- oder Steißbeins ausgeglichen werden. Die Gesamtzahl der Wirbelkörper bleibt trotz Variationen der einzelnen Segmente meist gleich (Brash 1915, Mitchell 1936).

### **4.3. Embryologie**

Wie kommt es embryologisch zur Ausbildung von Übergangsvarianten? Das Nervensystem wird beginnend mit dem 18.Tag angelegt, d.h. noch bevor sich aus dem Mesoderm Somiten gebildet haben. Dabei bilden sich als erstes die Neuralrinne und seitlich die Neuralwülste als Auffaltung des Ektoderms. Sie schieben sich zur Mitte hin vor und verkleben letztendlich miteinander, was zur Bildung des Neuralrohres führt.

Eine Zellformation löst sich kurz vor Vereinigung der Neuralwülste vom Ektoderm und wächst nach peripher mit persistierendem Kontakt zum Neuralrohr. Aus dieser Zellformation entsteht eine Gewebeplatte, die Neuralleiste, auch Crista neuralis genannt. Deren Zellen gruppieren sich im Rumpfbereich zu segmental angeordneten Knoten, den späteren Spinalganglien. Direkt nach Schluss des Neuralrohres am Ende des ersten Entwicklungsmonats, und zwar des Neuroporus rostralis am 25. Embryonaltag und des Neuroporus caudalis am 27. Embryonaltag, beginnt die Entwicklung des Rückenmarkes und der Spinalnerven.

Die seltenen Varianten in der Gesamtzahl der Wirbel entstehen im Stadium der Somitenbildung, der Segmentation des Mesenchyms. Diese gliedern sich in Dermatome, Myotome und Sklerotome. Aus dem Sklerotom, dem ventromedialen Abschnitt, entstehen die „Hartsubstanzen“, also Knorpel, Knochen und Bänder des Achsenskeletts. In diesem Entwicklungsstadium entstehen auch Halbwirbel oder Blockwirbel wie bei Klippel-Feil-Syndrom (Rohen 2001, Schiebler, 2005).

Im vorletzten Jahrhundert ging Birmingham in einem Artikel von 1891 noch davon aus, dass die Segmentation des Nervensystems vor der Segmentation der Wirbelsäule stattfindet. Er argumentierte, falls ein zusätzliches Segment zwischen LWS und Os sacrum eingefügt worden wäre, müsste in diesem Segment der entsprechende Spinalnerv fehlen.

Heute weiß man, dass die Entwicklung des Nervensystems wie oben beschrieben vor der Somitenbildung beginnt, und zwar während der Gastrulation in Woche zwei bis drei. Die Entwicklung der Wirbelkörper ist verknüpft mit der Entwicklung des Rückenmarks und der Spinalnerven. Die Nervenwurzeln entwickeln sich aus somatischen Motoneuronen. Daher betrifft z.B. eine segmentale spinale Dysgenese immer ein Segment der Wirbelsäule und entsprechend auch das Rückenmark mit dem Fehlen oder der Hypoplasie eines Abschnittes der Wirbelsäule, des Rückenmarkes und der Nervenwurzeln (Tortori-Donati 1999).

Von Stempel (2003) beschreibt eine von der Entwicklung des Beckenskeletts abhängige Entwicklung bzw. Verschmelzung der Sakralwirbel: Während der Embryogenese wandert das untere Extremitätenpaar nach kranial. Zum gleichen Zeitpunkt wie sich der knorpelige Beckengürtel schließt und je nachdem, auf welcher Höhe der Kontakt besteht, fusionieren die Wirbel zum Kreuzbein. Befindet sich die Kontaktzone weiter kranial als die Norm, bildet sich ein sakralisierter Lendenwirbel; liegt sie weiter kaudal, kommt es zur Lumbalisation eines ursprünglichen Sakralwirbels. Ist die Kontaktzone asymmetrisch, bildet sich entsprechend auch eine asymmetrische Übergangsvariante aus, die Hemilumbalisation bzw. Hemisakralisation.

Dieser Theorie entgegen stehen Untersuchungen u.a. von Wellik (2003) und Carapuco (2005). Sie identifizierten eine spezifische Kombination von Hox-Genen im präsomitischen Mesoderm als verantwortlich für die Ausbildung der jeweiligen Wirbelkategorie, der sogenannten „segmentalen bzw. axialen Identität“. Die Anwesenheit von Hox10- und Hox11-Genen ist erforderlich, um Lenden- bzw. Sakralwirbel zu bilden. Falls das Hox10-Gen fehlt, bilden sich keine Lumbalwirbel. Stattdessen besitzen alle Wirbel, auch die Sakralwirbel, ektopische Rippen. Dennoch fusionieren die Sakralwirbel an ihrem seitlichen Rand und bilden ein

„Pseudosakrum“. Die Anwesenheit des Hox10- Gens führt also dazu, dass die Bildung von Rippen im Bereich der Lendenwirbelsäule unterdrückt wird. Gleichzeitig unterdrückt das Hox11- Gen im Bereich des Os sacrum das Hox10- Gen und es bilden sich eine Art modifizierte Rippen, nämlich die fusionierten vergrößerten Querfortsätze. Mäuse, bei denen das Hox11-Gen mutiert wurde, bilden keine Sakralwirbel, sondern an deren Stelle Lendenwirbel aus. Dazu passen die Ergebnisse von Erken (2002), der eine signifikante Assoziation zwischen Sakralisation und Halsrippe feststellte. Möglicherweise liegt ein ähnlicher Mechanismus der Unterdrückung der Bildung von Halsrippen und der Unterdrückung der Bildung von modifizierten Rippen im Bereich der Lendenwirbelsäule zugrunde. Die Mutanten im Hox11-Gen zeigen gleichzeitig auch Veränderungen in der Morphologie des Beckenskeletts. Die Beckenknochen und hinteren Extremitäten sind jedoch trotz fehlender typischer Sakralwirbel an der richtigen Stelle an die Wirbelsäule angebunden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Position des Beckenskeletts und der unteren Extremitäten nicht von Hox10- oder Hox11-Genen bestimmt wird und embryologisch nicht in Zusammenhang mit dem LÜW zu sehen ist (Wellik 2003). Bei keiner dieser genannten Untersuchungen von Wellik und Carapuco wurde aufgrund der Genmutation eine veränderte Gesamtzahl der Wirbelkörper festgestellt.

#### **4.4. Phylogenese**

Wenn auch die Gesamtzahl der Wirbelkörper in der Regel konstant ist, kommen Varianten in der Anzahl der Brust- und Lendenwirbel relativ häufig vor. Wigh (1980) beschrieb drei phylogenetische Kategorien der Wirbelsäule, basierend auf 23, 24 oder 25 präsakralen Wirbeln. Er bezog sich in seinen Untersuchungen auf frühere Studien, u.a. von Mitchell (1925). Von den fünf Sakralwirbeln artikulieren in der Regel drei mit dem Os ilii. Es gibt keinen bekannten Fall mit 22 oder 26 präsakralen Wirbeln, außer bei bestimmten Missbildungen der Halswirbelsäule, wie z.B. Klippel-Feil-Syndrom oder Turner-Syndrom. Die Halswirbelsäule besteht beim Menschen normalerweise konstant aus sieben Wirbeln. Übergangsanomalien wie eine Assimilation des Atlas oder eine akzessorische Halsrippe beeinflussen nicht die Anzahl der Halswirbelkörper. Die Variationen in der Anzahl liegen meist im Bereich

der Brustwirbelsäule mit elf bis 13 Wirbeln und im Bereich der Lendenwirbelsäule mit vier bis sechs Wirbeln. Manchmal wird bereits in der präsakralen Wirbelsäule das Fehlen eines Wirbels in einem Abschnitt durch einen zusätzlichen Wirbel in einem anderen Abschnitt oder erst im Bereich des Os sacrum bzw. Os coccygis ausgeglichen.

In der präsakralen Wirbelsäule sind also folgende Varianten möglich:

7 HWK – 11 BWK – 5 LWK → 23 präsakrale Wirbelkörper

7 HWK – 12 BWK – 5 LWK → 24

7 HWK – 13 BWK – 5 LWK → 25

7 HWK – 12 BWK – 4 LWK → 23

7 HWK – 12 BWK – 5 LWK → 24

7 HWK – 12 BWK – 6 LWK → 25

Die Variationen verteilen sich inklusive Kreuzbein laut Moore (2003) wie folgt: 95% der Bevölkerung haben sieben HWK, zwölf BWK, fünf LWK und fünf SWK, 3% haben einen oder ganz selten zwei Wirbel mehr und 2% haben einen Wirbel weniger. Laut Bornstein (1966) weicht die Anzahl der präsakralen Wirbel in dem von ihm untersuchten Patientengut in 17% von der Norm mit 7 + 12 + 5 ab. Dabei besitzen 11% der gesamten Patienten einen präsakralen Wirbel mehr oder weniger. Bei diesen Daten fehlen jedoch Angaben zu Übergangsanomalien und ihrer Einteilung.

#### **4.5. Klassifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels**

Es gibt verschiedene Ausprägungen des LÜW. Die am häufigsten verwendete Klassifizierung erfolgt anhand der vier Typen nach Castellvi (1984). Eine ähnliche Klassifikation hat bereits 1977 Tini erstellt. Alle bekannten Klassifikationen beziehen sich auf die Form der Processus transversi.

Die am geringsten ausgeprägte Form ist eine ein- oder beidseitige Vergrößerung des Querfortsatzes von LWK 5 bzw. des letzten „freien“ Wirbels, die ausgeprägteste Form eine komplette Fusion des Querfortsatzes mit dem Os sacrum.

Nach Southworth (1950), Tini (1977) und Castellvi (1984) wird also bereits ein LWK, der vergrößerte, dreieckförmige Querfortsätze besitzt als LÜW bezeichnet („forme fruste“, Castellvi 1984). Die Studien von Castellvi und Tini beziehen sich in ihrer Klassifikation auf das in der oben erwähnten Studie von Southworth (1950) eingeführte Kriterium einer Breite des Querfortsatzes >19 mm. Alternativ dazu kann bei Patienten mit großen Knochen ein Verhältnis der Breite der Querfortsätze von LWK 5 zu LWK 4 von 19:13 (1,46 entsprechend) als Indiz für einen LÜW gesehen werden. Die Breite wird definiert als größte Ausdehnung senkrecht zur Längsachse. Die meisten Autoren (s. Tabelle 13) haben nur Übergangswirbel ab Typ II nach Castellvi als echte Übergangswirbel bezeichnet, da ihrer Meinung nach vergrößerte Querfortsätze nicht zu einer veränderten Biomechanik führen und sie daher keine klinische Relevanz haben. Die hier vorliegende Studie bezog auch die Übergangswirbel mit vergrößerten Querfortsätzen mit ein; sie stellten in der im Kapitel „Material und Methodik“ beschriebenen Einteilung Untergruppe 4 der sakralisierten Lendenwirbel dar. Ein Grund dafür war, dass es sich auch bei vergrößerten Querfortsätzen um eine Übergangsvariante handelt und diese Übersicht vollständig sein sollte; es wurden auch entsprechend beginnend lumbalisierte Lendenwirbel mit akzessorischer hypoplastischer Bandscheibe berücksichtigt. Ein weiterer Grund war, dass durch die meist kräftigen Bänder zwischen dem Querfortsatz und dem Os ilii auch bei beginnender Sakralisation eine veränderte Biomechanik nicht auszuschließen ist, was auf die Lokalisation einer etwaigen Bandscheibendegeneration Einfluss haben könnte.

<p>CLASSIFICATION OF LUMBOSACRAL TRANSITIONAL VERTEBRAE ACCORDING TO CASTELLVI:</p> <p>Type Ia: Unilateral dysplastic transverse process, triangular, measuring at least 19 mm in width  Type Ib: Bilateral dysplastic transverse process  Type IIa: Enlarged transverse process which forms a unilateral diarthrodial joint with the adjacent sacral ala  Type IIb: Enlarged transverse process which forms a bilateral diarthrodial joint with the adjacent sacral ala  Type IIIa: Enlarged transverse process which has a unilateral true bony union with the adjacent sacral ala  Type IIIb: Enlarged transverse process which has a bilateral true bony union with the adjacent sacral ala  Type IV: Type IIa on one side and type IIIa on the other</p>
---

Tab .12: Klassifikation des LÜW nach Castellvi (1984)

Die in dieser Arbeit verwendete Klassifikation wurde in Anlehnung an die nach Castellvi erstellt. Wie bei Lee (2007) wurden jedoch Sakralisation und Lumbalisation unterschieden und es wurden jeweils vier Untergruppen gebildet. Diese reichten von der Minimalform bis zur Maximalform, d.h. im Falle der Sakralisation von vergrößerten Querfortsätzen bis zur beidseitigen knöchernen Fusion und im Falle der Lumbalisation von noch knöchern fusionierten Sakralwirbeln mit Squaring und akzessorischer Bandscheibe bis zu freien Gelenkfortsätzen.

#### **4.6. Nearthros: Definition und Vorkommen**

Bei der Bildanalyse stellte sich die Frage, ob man auch dann von einer Übergangsvariante spricht, wenn eine akzessorische, oft degenerativ veränderte Gelenkverbindung zwischen einem nicht vergrößerten Querfortsatz des letzten Lendenwirbelkörpers und der Massa lateralis des ersten Kreuzbeinwirbelkörpers vorhanden ist. Ist es möglich zu unterscheiden, ob diese Gelenkverbindung ein erworbenes Nearthros oder möglicherweise doch eine angeborene Gelenkverbindung ist?

Eines der Merkmale eines angeborenen Übergangswirbels sind nach Southworth und Bersack (1950) vergrößerte Querfortsätze mit einer Höhe von mindestens 19 mm. Diese Vergrößerung der Querfortsätze ist bei einem erworbenen Nearthros nicht zu erkennen. Avrahami (1986) beschrieb ein durch den vergrößerten Querfortsatz geformtes Neuroforamen ähnlich wie im Os sacrum als anatomisches Kennzeichen eines Übergangswirbels. Laut Lanier (1954) gibt es bei einem erworbenen Nearthros im Gegensatz zu einer angeborenen Gelenkverbindung oder Fusion keine pathologische Knochenformation mit vergrößerten Querfortsätzen und der Bildung von sakralen Foramina. Ein Nearthros fand sich in seiner Studie mit 793 Skeletten nur in Skeletten ab 40 Jahren, dabei in 1,2% der Gruppe der 40 bis 59-Jährigen, in 2,9% der 60 bis 79-Jährigen und in 2,7% der 80 bis 117-Jährigen. In dieser Studie besaßen 70 (4,7%) der 1500 untersuchten Patienten ein Nearthros ohne vergrößerte Querfortsätze. Weitere drei Patienten besaßen ein Nearthros mit nur geringfügig vergrößerten Querfortsätzen. Ein Hinweis auf die erworbene Genese eines Nearthros ist die Tatsache, dass die letzte angelegte Bandscheibe bei diesen

Patienten oft degenerative Veränderungen aufweist. Diese Degenerationen sind vermutlich vor Bildung des Nearthros entstanden, d.h. bevor diese Bandscheibe durch das Gelenk einen gewissen mechanischen Schutz erhielt. Außerdem fand sich bei keinem der Patienten, die jünger waren als 50 Jahre, ein Nearthros, was ebenfalls dafür spricht, dass diese Veränderungen tatsächlich erworben sind und nicht zu den angeborenen lumbosakralen Übergangsanomalien gehören.



Abb. 12: Degenerativ verändertes Nearthros rechts bei Skoliose, Querfortsätze von LWK 5 nicht vergrößert

#### 4.7. Vorkommen des lumbosakralen Übergangswirbels

Die Prävalenz des lumbosakralen Übergangswirbels in der Literatur beträgt 4,3 bis 30,0%. In dem hier untersuchten Patientengut fand sich eine Prävalenz von 10,4%.

Jahr	Autor	Pat.	Anzahl d. LÜW	Methode	Lumb.	Sakr.	Anmerkungen
2008	Murtau.	232	22 (9,5%)	Rö			
2007	Lee	534	127 (23,8%)	MRT ax, sag, cor, Rö LWS u. Thorax	53 (9,9%)	74 (13,9%)	ab Typ 2 nach Castellvi , zusätzl 153 (37,8%) Pat. mit dysplast. QF (Typ 1)
2006	Quinlan	769	35 (4,6%)	MRT cor, sag, ax			unter 30-jährige 11,4%, ab Typ 2
2006	Hughes	500	67 (13,4%)	MRT sag u. ax	21 (4,2%)	46 (9,2%)	ab Typ 2
2006	Delpont	300	90 (30,0%)	Rö			ab Typ 2
2005	Peterson	353	43 (12,2%)	Rö			58% Typ 2
2005	Milicic	26	17 (65,4%)	Rö ap, MRT sag			nur Kinder
2005	Taskayn.	881	48 (5,4%)	Rö	8 (0,9%)	40 (4,5%)	nur Männer
2004	Chang	62	10 (16,0%)	Rö, CT oder MRT			nur Pat mit operiertem BSP
2004	Luoma	163	49 (30,0%)	MRT sag u. cor			alle Arten von LÜW
2004	Lee	210	20 (9,5%)	MRT sag u. ax	11 (5,2%)	9 (4,3%)	
2003	Steinb.	464	85 (18,3%)	Rö	20 (4,3%)	65 (14%)	
2003	Kim	690	41 (5,9%)	Rö ap, MRT sag	29 (4,2%)	12 (1,7%)	
2002	Chithriki	441	37 (8,4%)	MRT sag u. ax	15 (3,4%)	22 (5,0%)	
2002	Otani	1009	119 (11,8%)	CT oder MRT, Rö ap			ab Typ 2
2002	Oguz	100	17 (17,0%)	Rö, CT			nur Frauen 18-20J ab Typ 2
2001	Santiago	138	26 (18,4%)	CT	10 (7,2%)	16 (11,6%)	
2000	Hsieh	1668	71 (4,3%)	Rö			ab Typ 2 mit Einteilung in Subgruppen
1999	Peh	129	17 (13,0%)	MRT sag u. cor	9 (7,0%)	8 (6,2%)	
1999	Dai	460	126	Rö			



			(27,4%)				
1997	Cadeddu	299	16 (5,3%)	Rö			
1997	Vergau.	350	53 (15,1%)	CT			ab Typ 2
1996	O'Drisc.	100	15 (15,0%)	MRT sag u. ax, Rö ap 30°			ab Typ 2, eingeteilt in Subgruppen
1995	Spirnak	107	11 (10,3%)	MRT	8 (7,5%)	3 (2,8%)	
1995	Hald	10922	1496 (13,7%)	Rö	644 (5,9%)	852 (7,8%)	
1992	Hahn	106	13 (12,3%)	MRT sag	8 (7,5%)	5 (4,7%)	Folgestudie
1992	Hahn	200	24 (12,0%)	MRT sag	9 (4,5%)	15 (7,5%)	
1989	Elster	2000	140 (7,0%)	MRT (500 P.) oder CT (1500 P.)			ab Typ 2
1989	Leboef	530	61 (11,5%)	Rö	32 (6%)	29 (5,5%)	
1989	Paajan.	109	9 (8,3%)	Rö, MRT 0,02T	2 (1,9%)	7 (6,4%)	
1984	Castellvi	200	60 (30,0%)	Rö			davon Typ 1: 25 Pat., 6 LWK: 4 Pat.
1981	Wigh	200	42 (21,0%)	Rö			
1977	Tini	4000	269 (6,7%)	Rö			Ab Typ 2
1966	Ford	1611	135 (8,4%)	Rö	6 (0,4%)	129 (8,0%)	zusätzl. 68 Pat. mit 4 LWK, 48 Pat. mit 6 LWK
1950	Southw.	550	46 (8,4%)	Rö	11 (2%)	35 (6,4%)	ab Typ 2, zusätzl. 4 Pat. mit vergr.QF (Typ 1)
1930	Shore	80	11 (13,8%)	Leichen			
1929	Brailsfo.	>3000	8,1%	Rö			nur „Sakralisation“
1925	Moore	1104	37 (3,4%)	Rö			nur „Sakralisation“ Typ 2-4

Tab. 13: Häufigkeit des LÜW in der Literatur und jeweilige Untersuchungsmethode

Die Durchsicht der Literatur zeigt, dass uneinheitliche Kriterien für die Definition eines LÜW verwendet wurden, die in den einzelnen Studien nicht immer eindeutig beschrieben wurden. Auch die verwendeten Sequenzen im MRT wurden nicht immer einzeln aufgeführt. Einige Autoren wie Southworth (1950) und Castellvi (1984)

unterschieden die Prävalenz von Typ 1 und Typ 2 bis 4 nach Castellvi, andere wie Luoma (2004) und Lee (2007) schlossen alle Typen mit ein wie in der vorliegenden Studie, die meisten berücksichtigen jedoch nur Typ 2 bis 4. Außerdem wurden unterschiedliche Methoden angewandt: manche Studien basierten nur auf Röntgenbildern, andere, vor allem neuere Studien, verwendeten auch Schnittbildverfahren.

Auf einem Röntgenbild in anterior-posteriorer Projektion kann beispielsweise eine akzessorische Gelenkverbindung mit der Überprojektion eines spatelförmigen Gelenkfortsatzes oder mit seiner knöchernen Fusion mit dem Os sacrum verwechselt werden (Hsieh 2000). Außerdem kann durch luftgefüllte Darmschlingen ein vergrößerter Querfortsatz überlagert werden. In einer Studie von Conolly (2003) wurden 23% der lumbosakralen Übergangswirbel auf Röntgenaufnahmen übersehen. Diese Zahl erscheint allerdings sehr hoch, denn Peterson (2005) bezeichnet die Detektion eines LÜW auf einem Röntgenbild als eine „easy radiographic diagnosis“ (s. Peterson 2005, S. 571).

Zahlreiche Studien über lumbosakrale Übergangsvarianten wurden ohne coronare Aufnahmen durchgeführt, d.h. es lag weder eine Röntgenaufnahme in anterior-posteriorer Projektion noch ein MRT in coronarer Schichtung vor (z.B. Hahn 1992, Chitriki 2002, Lee 2004, Hughes 2006). Dabei kann eine nicht unerhebliche Anzahl von Übergangswirbeln unentdeckt bleiben. In der vorliegenden Untersuchung wurde von einem erfahrenen Befunder ohne coronare Aufnahmen, d.h. nur mit sagittalen und axialen Bildern, auch retrospektiv in 13 Fällen (8,3%) die Übergangsanomalie nicht detektiert. Dies bedeutet, dass auf den sagittalen und axialen Bildern keinerlei Hinweise auf einen Übergangswirbel vorlagen.

Des Weiteren wurde in den verschiedenen Studien ein unterschiedliches Patientengut untersucht. Die oben aufgelisteten Veröffentlichungen rekrutierten Patienten aus unterschiedlichen Bevölkerungs- und Altersgruppen. Außerdem beinhalteten sie teils symptomatische, teils asymptomatische Patienten. Das hier analysierte Datenmaterial erstreckt sich ausschließlich auf symptomatische Patienten, d.h. Frauen und Männer, die wegen Lumbalgie bzw. Lumboischialgie eine

MRT-Untersuchung erhielten. Ob ein LÜW mit Beschwerden assoziiert ist oder sein kann, ist ein vieldiskutiertes Thema. In der durchgesehenen Literatur existieren dazu zahlreiche Veröffentlichungen mit uneinheitlichen Ergebnissen, die in dem Kapitel „Lumbosakraler Übergangswirbel und assoziierte Pathologie“ genauer erläutert werden. Ziel der vorliegenden Studie war jedoch nicht festzustellen, ob ein Übergangswirbel Beschwerden verursacht oder verursachen kann, sondern wie man ihn möglichst sicher identifizieren und korrekt bezeichnen kann. Da eine MRT-Untersuchung der Lendenwirbelsäule in der Praxis normalerweise aufgrund einer Lumbalgie bzw. Lumboischialgie erfolgt und ein LÜW nur bei symptomatischen Patienten identifiziert werden muss, stellt das selektive Patientengut für diese Studie keinen Nachteil dar.

#### **4.8. Identifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels**

Die Identifizierung eines lumbosakralen Übergangswirbels erfolgte ohne Schnittbilddiagnostik mittels Röntgenaufnahmen in anterior-posteriorer und lateraler Projektion. Zur Klassifikation wurden die anterior-posterioren Aufnahmen herangezogen, da die Einteilung aufgrund der Form der Querfortsätze vorgenommen wurde.

Auch in dieser Studie erfolgte die endgültige Identifizierung und Klassifikation eines LÜW auf den Bildern in coronarer Schichtführung. Coronare MRT-Aufnahmen wurden und werden jedoch nicht immer routinemäßig durchgeführt. Viele in der Vergangenheit durchgeführte Studien beziehen sich ausschließlich auf sagittale und axiale Aufnahmen (z.B. Hahn 1992, Chitriki 2002, Lee 2004, Hughes 2006). Von der Seite gesehen kann ein LÜW leicht mit einem normalen Lendenwirbel verwechselt werden. Es gibt jedoch mehrere Hinweise im **sagittalen** MRT-Bild und entsprechend auch auf einem seitlichen Röntgenbild:

##### **4.8.1. „Squaring“**

Ein LÜW liegt dann vor, wenn das Verhältnis zwischen dem anterior-posterioren Durchmesser der Deckplatte des Wirbels zu dem der Bodenplatte 1,38 oder weniger

beträgt. Dieses Kriterium wurde 1980 von Wigh beschrieben. Er bezeichnete es als „Squaring“, da der LÜW eine quadratähnliche Form aufweist. Im Gegensatz dazu besitzt ein echter Sakralwirbel eine Trapezform. In späteren Untersuchungen wurde dieses Kriterium u.a. von Nicholson (1988) und von Hughes (2006) angewandt.

Spirnak (1995) zählte mithilfe eines cervikothorakalen Scouts von kranial nach kaudal. Wenn sich der 25. Wirbel „über das verschmolzene Sakrum erhebt und eine eher quadratische Form ähnlich wie ein LWK aufweist“ (S. 285), handelte es sich seiner Meinung nach um einen lumbalisierten Sakralwirbel. Er maß in seiner Studie jedoch nicht das genaue Verhältnis zwischen Deck- und Bodenplatte, sondern berücksichtigte nur das allgemeine Erscheinungsbild des Lendenwirbelkörpers.

Die in dieser Studie durchgeführten Messungen ergaben bei allen detektierten Übergangswirbeln ein Verhältnis des Durchmessers der Deck- zur Bodenplatte  $<1,38$  mit einem Mittelwert von 1,06. Die Messwerte reichten dabei von 0,90 bis 1,36. Einschränkend gilt, dass das Kriterium des „Squarings“ nur bei der Identifizierung eines LÜW weiterhilft, wenn es sich um einen lumbalisierten Sakralwirbel handelt. Ein Lendenwirbel weist immer ein Verhältnis der Deck- zu Bodenplatte von  $<1,38$  auf, auch wenn er Kriterien eines sakralisierten Übergangswirbels besitzt. Ein sakralisierter Lendenwirbel lässt sich durch dieses Kriterium nicht von einem „normalen“ Lendenwirbel unterscheiden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Höhe der Vorderkante die Länge der oberen Abschlussplatte des Wirbels nicht übersteigt, da manche unauffällige Sakralwirbel ein Verhältnis von Deck- zu Bodenplatte  $<1,38$  besitzen, d.h. eine eher parallelogrammartige Form aufweisen.

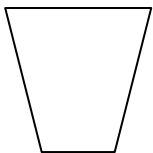


Abb 13: Trapezoidform

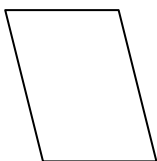


Abb 14: Parallelogrammform mit gleich langer Ober- und Unterkante

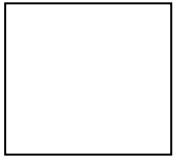


Abb 15: Quadratform wie ein lumbalisierter Sakralwirbel mit „Squaring“ bzw. normaler Lendenwirbel

#### **4.8.2. Form der letzten angelegten Bandscheibe**

Die Bandscheiben zwischen einem lumbosakralen Übergangswirbel und dem ersten wirklichen Sakralwirbel können in ihrer Morphologie erheblich variieren, wobei die Übergänge fließend sind. Die Varianten reichen von einem kleinen Bandscheibenrudiment mit knöcherner Begrenzung bis zu einer normal angelegten Bandscheibe (Hughes 2004).

Es gibt in der Literatur verschiedene Einteilungen, z.B. von Wigh (1981) in vier Typen. Typ 1, der einer schmalen, bikonvexen, von einer knöchernen Kapsel umgebenen Bandscheibe entspricht, fand sich bei Wigh in ca. 40% der untersuchten Patienten. Die anderen drei Typen besaßen ein Vorkommen von jeweils ca. 20%. Typ 1 trat dabei immer bei beidseitiger knöcherner Fusion der Querfortsätze auf.

Desmond (1993) beschrieb zwei Typen von Bandscheiben unterhalb eines Übergangswirbels. Typ 1 ist eine „Übergangsbandscheibe“, die kleiner erscheint als im benachbarten mobilen Segment und keine Zeichen einer Fusion zwischen den Vorderkanten der Wirbelkörperabschlussplatten zeigt. Dieser Typ war in seiner Studie bei partieller Fusion bzw. bei einem Nearthros zu erkennen. Typ 2 ist eine rudimentäre Bandscheibe, die kleiner ist als die oben beschriebene Übergangsbandscheibe. Die vorderen Anteile der Wirbelkörperabschlussplatten zeigen bei diesem Typ Zeichen einer knöchernen Fusion und beide Endplatten sind konkav gegenüber der Bandscheibe. Dieser Typ fand sich in seinen Untersuchungen bei kompletter Fusion des Übergangswirbels.

O`Driscoll erstellte 1996 ebenfalls eine Einteilung der verschiedenen Arten von Bandscheibenmaterial zwischen SWK 1 und dem übrigen Sakrum in vier Typen. Diese reichten von einer signalarmen Linie bis zu einer „gut geformten, residuellen

Bandscheibe“ (s. o´Driscoll 1996 S. 227). Er fand dabei eine hohe Korrelation zwischen einer Typ 4-Bandscheibe und einem knöchern fusionierten Übergangswirbel. Ein gelenkig angebundener vergrößerter Querfortsatz konnte mit dieser Methode nicht zuverlässig erkannt werden.

Auch Hsieh fand in seiner Studie 2001 eine deutlich höhenreduzierte Bandscheibe unterhalb eines LÜW. Die Höhe der Bandscheibe zeigte in seinen Untersuchungen eine signifikante Abhängigkeit von der Art des Übergangswirbels, d.h. unterhalb einer knöchernen Fusion ohne Bewegungsmöglichkeit war die Bandscheibe schmaler als unterhalb eines Segments mit zumindest einem freien Querfortsatz. Laut Elster (1989) bestehen die Bandscheiben unterhalb eines LÜW oft aus fibrösem Material und enthalten einen kleinen oder gar keinen Nucleus pulposus.

Die Patienten der vorliegenden Studie wurden, angelehnt an die Klassifikationen von Wigh und O´Driscoll, in vier Gruppen eingeteilt. Die Patienten mit komplett sakralisierten Übergangswirbeln besaßen wie in den oben genannten Studien eine signifikant kleinere, hypoplastische Bandscheibe. Die Patienten mit Minimalform, d.h. lediglich vergrößerten Querfortsätzen, besaßen eine im Durchschnitt fast normal geformte Bandscheibe. Entsprechend verhielt es sich bei den Patienten mit Lumbalisation. Diese Patienten besaßen insgesamt eine signifikant kleinere Bandscheibe als Patienten mit Sakralisation.

Wie stark wurde der Durchschnittswert in der Gruppe der lumbalisierten Sakralwirbel durch das Fehlen von Messwerten der Untergruppe 1, d.h. der Maximalform der Lumbalisation, beeinflusst? Wenn man entsprechend die Werte für die Minimalform der Sakralisation unberücksichtigt ließ, ergab sich ein geringfügig niedrigerer, statistisch nicht signifikant unterschiedlicher Mittelwert von 3,2 anstatt 3,3. Die Messwerte in der Untergruppe 4 der sakralisierten Lendenwirbel waren mit durchschnittlich 3,7 am höchsten, die Patientenzahl in dieser Untergruppe mit fünf jedoch sehr gering (7,5% der 67 Patienten mit Sakralisation).

Warum die Bandscheibenhöhe bei lumbalisierten Sakralwirbeln deutlich niedriger ist als bei sakralisierten Lumbalwirbeln, wurde in früheren Studien nicht erörtert. Die

bisher veröffentlichten Studien über die Bandscheibenhöhe im Segment unterhalb eines LÜW unterschieden nicht zwischen sakralisierten und lumbalisierten Lendenwirbeln. Über die Ursachen lassen sich lediglich Vermutungen anstellen. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei einer Lumbalisation, d.h. im Segment SWK 1/2, normalerweise gar keine Bandscheibe angelegt ist und im Falle einer Sakralisation, d.h. im Segment LWK 5/SWK 1, normalerweise eine vollständige Bandscheibe vorgesehen war. In der Gruppe der Patienten mit lumbalisiertem Sakralwirbel besaß lediglich ein einziger Patient aus der Untergruppe 3 (Pat. Nr. 444) eine normal hohe Bandscheibe, in der Gruppe der sakralisierten Lendenwirbel waren 27 Patienten mit vollständig ausgebildeter Bandscheibe.

Prinzipiell schließt eine normal angelegte Bandscheibe einen Übergangswirbel nicht aus. Man kann allerdings auch nicht wie Desmond (1993) beim Vorliegen eines Bandscheibenrudiments (Typ 1) von vornherein auf einen LÜW schließen, da es häufig residuelles Bandscheibenmaterial zwischen SWK 1 und 2 gibt (O'Driscoll 1996). Wenn allerdings eine hypoplastische Bandscheibe vom Typ 2 oder Typ 3 vorhanden ist, kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit von einem LÜW ausgehen.

#### **4.8.3. Lumbosakraler Winkel**

Als nächstes wurde der lumbosakrale Winkel untersucht. In der Literatur gibt es dazu uneinheitliche Angaben über Messmethoden und Normwerte.

In vielen Studien wurde er als der (röntgenologische) Winkel zwischen der Bodenplatte von LWK 5 bzw. der Deckplatte von SWK 1 und der Horizontalen gemessen. Er wird dann auch als „Ferguson-Winkel“ bzw. Kreuzbeinbasiswinkel bezeichnet. Die Normwerte werden angegeben mit durchschnittlich 41 Grad bei Messwerten zwischen 26 und 57 Grad (Hellems 1971, Pate 1991, Berufskrankheiten der Wirbelsäule 2004, Nakipoglu 2008). Dieser Winkel wurde auf im Stehen aufgenommenen Röntgenbildern gemessen, er kann im Liegen (und somit mittels Kernspintomographie) nicht erfasst und gewertet werden.

Eine weitere Methode, von Jackson (1994) angewandt, ist die Messung des Winkels der Deckplatte von LWK 5 und SWK 1. Die Normwerte betragen 24,6 Grad bei gesunden Probanden und 21,5 Grad bei Patienten, 28 Grad laut Bernhardt und Bridwell (1989) und bis 21 Grad laut Stagnara (1982).

Alternativ wird der Winkel zwischen der Bodenplatte des LWK 5 und der Deckplatte des SWK 1 als Lumbosakralwinkel bezeichnet. Für den Normwert dieses Winkels fehlen allerdings ausreichende Daten bzw. gibt es wenige Studien. Nach Evcik (2003), der diese Messmethode anwandte, beträgt der Normwert zwischen 15 und 19 Grad. Abitbol (1987) maß den Lumbosakralwinkel aus dem Lot zur „lumbar line“, einer Tangente angelegt an die Hinterkante von LWK 3 und dem Lot zur „sacral line“, einer Tangente angelegt an die Vorderkante von SWK 1 bis 3.

Laut Definition des Roche Lexikon der Medizin (2003) und Junghanns (1928) wird der Lumbosakralwinkel aus den beiden Längsachsen des fünften Lendenwirbels und des ersten Kreuzbeinwirbels gebildet. Diese Messmethode wird auch Lumbosakralwinkel nach Junghanns genannt. Junghanns fand eine Schwankungsbreite des Lumbosakralwinkels bei Erwachsenen von 123 bis 164 Grad, wobei bei seinen 155 untersuchten Fällen (Röntgenbilder im Liegen und anatomische Präparate) keine lumbosakrale Übergangsanomalie beschrieben wurde. Nach Beninghoff (2003) beträgt der Normwert für diesen Winkel 120 bis 164 Grad, durchschnittlich 129 Grad, nach Wottke (2004) und nach Nakipoglu (2008) 140 Grad.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Methode nach Junghanns die gebräuchlichste und bei Messungen im Liegen am häufigsten angewandte darstellt, weshalb sie hier verwendet wurde.

Ist ein abgeflachter lumbosakraler Winkel wie vermutet tatsächlich ein Hinweis auf einen LÜW? Die Auswertung zeigte, dass der Lumbosakralwinkel bei Sakralisation durchschnittlich 156,3 Grad betrug (bei Messwerten zwischen 136 Grad und 185 Grad). Die Messwerte bei Lumbalisation betragen für den Winkel im letzten angelegten Segment, also zwischen SWK 1 und SWK 2, durchschnittlich 167,4 Grad,



wobei die Werte zwischen 156 Grad und 180 Grad lagen. Zwischen LWK 5 und SWK 1, d.h. im vorletzten angelegten Segment, wurde ein Winkel von 151,3 Grad, mit Messwerten von 140 Grad bis 163 Grad, festgestellt. Sämtliche Messwerte waren also deutlich erhöht im Vergleich zum Normwert von ca. 135 Grad nach Junghanns.

Junghanns (1928) brachte den auch bei Messungen an MRT-Aufnahmen nachvollziehbaren Einwand, dass es vor allem bei älteren Patienten mit spondylophytären Anbauten an den Wirbelkörpern schwierig sei, den lumbosakralen Winkel korrekt zu messen, und dass alle Winkelmessungen an der Wirbelsäule immer nur als Annäherungswerte aufgefasst werden könnten. Bei einer größeren Anzahl von Patienten wie in dieser Studie sollten diese Messungenauigkeiten jedoch nicht allzu sehr ins Gewicht fallen, da sie die Messwerte sowohl negativ als auch positiv beeinflussen können. Wie sehr die Winkel der Lenden- und Kreuzbeinwirbel zueinander auch von der individuellen Muskelspannung abhängen, zeigt eine im Rahmen der vorliegenden Studie am gleichen Probanden durchgeführte Messung im Liegen unter Anspannung verschiedener Muskelgruppen. Diese ergaben bei drei verschiedenen Messungen Werte zwischen 135 Grad und 150 Grad.

Und so schreibt auch Moore in Zusammenhang mit dem lumbosakralen Übergangswirbel schon 1925 vage: *“The lumbosacral angle is somewhat greater than the normal...”* (S. 273). Fazit ist: ein vergrößerter lumbosakraler Winkel ist zwar kein Beweis der Existenz eines LÜW, falls jedoch ein abgeflachter Winkel auf dem sagittalen Bild auffällt, muss ein Übergangswirbel in jedem Fall ausgeschlossen werden.

#### **4.8.4. Weitere Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf sagittalen Aufnahmen**

In dieser Studie hat sich gezeigt, dass es auf sagittalen Aufnahmen, wenn man sie komplett durchsieht und nicht nur ein Übersichtstopogramm betrachtet, neben einem „Squaring“, dem abgeflachten Lumbosakralwinkel und einer zusätzlich angelegten Bandscheibe weitere Indizien für einen LÜW geben kann:

Wenn so weit nach lateral geschichtet wurde, dass BWK 12 anhand der Rippenfortsätze identifiziert werden kann, ist es möglich, die Anzahl der Wirbel bis zur letzten vollständig angelegten Bandscheibe abzuzählen. Falls diese Anzahl von fünf abweicht, spricht dies für die Existenz eines Übergangswirbels. Ein weiterer Hinweis ist auch eine außergewöhnlich geringe Degeneration der Bandscheibe im untersten Segment bei gleichzeitiger Degeneration der übrigen Bandscheiben bzw. insbesondere der vorletzten angelegten Bandscheibe.



Abb.16: Fehlende Degeneration der Bandscheibe des letzten angelegten Segments bei LÜW (in diesem Fall Lumbalisation von SWK 1 mit einseitigem Gelenk und normal großem Querfortsatz auf der Gegenseite)

#### **4.8.5. Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf axialen Aufnahmen**

Gibt es auch auf axialen Bildern Hinweise auf einen lumbosakralen Übergangswirbel? In der durchgesehenen Literatur wurden dazu keine Ausführungen gefunden, obwohl viele der zitierten Studien Schnittbilduntersuchungen in axialer Schichtführung beinhalten.

In der vorliegenden Studie wurden auch die axialen Aufnahmen auf die Merkmale eines LÜW hin überprüft. In 75 Fällen (48%) konnte ein ein- oder beidseitig vergrößerter Querfortsatz mit Gelenkverbindung oder knöcherner Fusion mit dem Os sacrum festgestellt werden. Bei 21 Patienten (13,5%) gelang die Identifikation eines LÜW ausschließlich anhand der axialen Aufnahmen, ohne dass Indizien auf sagittalen Aufnahmen vorhanden waren. Von diesen 21 Patienten stammten 17 Patienten aus der Gruppe der Sakralisation, ein Patient aus der Gruppe der Lumbalisation und drei Patienten aus der Gruppe der nicht klassifizierbaren Übergangswirbel.

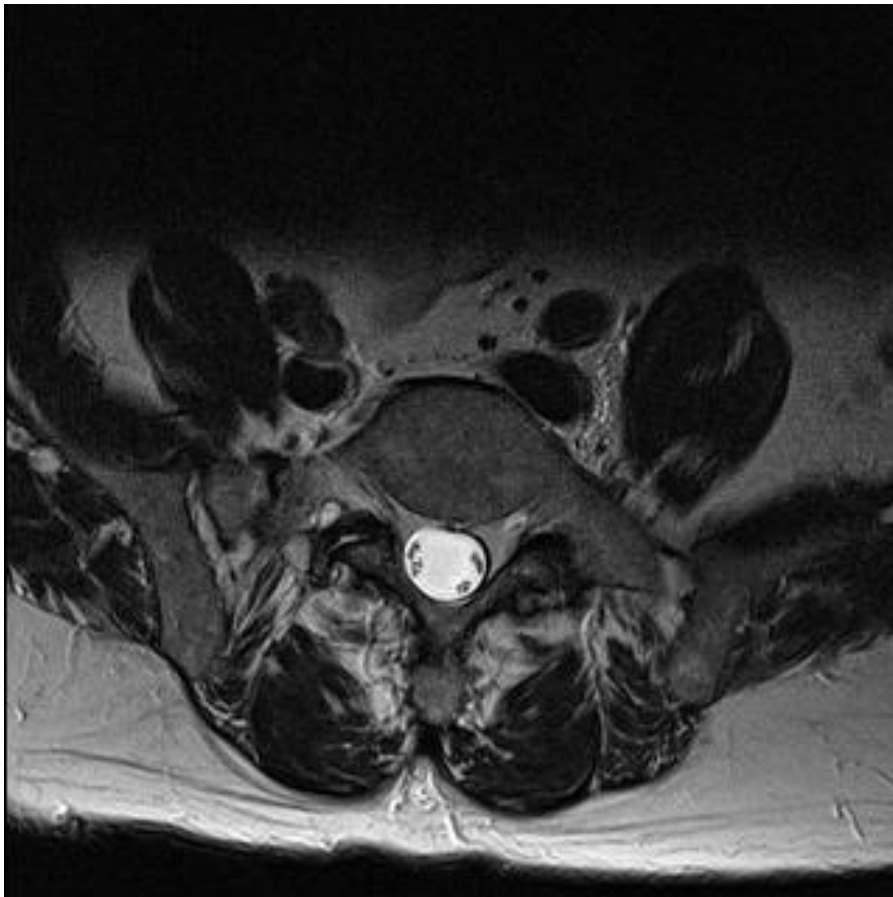


Abb. 17: Auf der axialen Aufnahme erkennbare Gelenkverbindung des vergrößerten Querfortsatzes LWK 5 mit der Massa lateralis rechts bei inkompletter Sakralisation von LWK 5 mit Gelenk bds. (Untergruppe 2). Auf den sagittalen Aufnahmen kein eindeutiger Hinweis auf den Übergangswirbel.

Der Übergangswirbel wurde jedoch nicht immer in axialer Schichtung erfasst. Oft beschränkten sich diese Aufnahmen auf die letzten drei vollständig angelegten

Segmente. Dies war insbesondere der Fall bei einer deutlich höhengeminderten, rudimentären Bandscheibe unterhalb eines LÜW, welche vor allem bei Lumbalisation zu finden war. Die routinemäßig durchgeführten axialen Aufnahmen waren außerdem auf den Intervertebralraum limitiert, sodass der Querfortsatz des Übergangswirbels oft nicht komplett dargestellt wurde und daher nicht immer ausreichend beurteilt werden konnte. Häufig war ein Nearthros auf den axialen Aufnahmen erkennbar, man konnte jedoch in vielen Fällen nicht erkennen, ob der benachbarte Querfortsatz vergrößert war oder nicht.

Van Schaik untersuchte 1985 die Morphologie der Lendenwirbelkörper auf axialen computertomographischen Aufnahmen. Ein LWK 5 zeigte in seiner Studie einen ausschließlich positiven Winkel der an den Wirbelkörpern im hinteren Abschnitt seitlich angelegten Tangenten (18 Grad bis 88 Grad), ein LWK 4 zeigte Messwerte von -24 Grad bis +37 Grad. Der Autor schlug vor, dass diese Messwerte im Falle einer Übergangsanomalie zur Identifizierung der Segmente dienen könnten. In der vorliegenden Studie konnte in einzelnen Fällen dadurch ein oberhalb eines sakralisierten Übergangswirbels gelegener Wirbel als LWK 4 identifiziert werden. Bei der Einordnung der zweifelhaften Fälle war diese Methode jedoch nicht hilfreich. Entweder wies der fragliche Wirbelkörper positive Messwerte auf und ein LWK 4 unterschied sich dadurch nicht von einem möglichen LWK 5, oder die axialen MRT-Aufnahmen bildeten die Wirbelkörper nicht ausreichend ab, sodass der von van Schaik definierte Winkel daher nicht gemessen werden konnte.

#### **4.8.6. Kriterien eines lumbosakralen Übergangswirbels auf coronaren Aufnahmen**

Im Normalfall liegt dem Befunder eine MRT-Untersuchung der Lumbosakralregion in axialer und sagittaler Schichtführung ohne Röntgenaufnahmen in anterior-posteriorer Projektion bzw. ohne Darstellung der gesamten Wirbelsäule vor. Hughes schrieb 2004, dass ohne Röntgenaufnahmen des thorakolumbalen Überganges eine Identifizierung des lumbosakralen Überganges nicht möglich sei, was durch das Vorliegen einer thorakolumbalen Übergangsanomalie erschwert werde. Auch Spirnak (1995) und O'Driscoll (1996) stellten fest, dass ohne coronare Bilder die Identifikation

eines LÜW deutlich seltener gelinge. Spirnak war der Meinung, dass die Quote der nicht erkannten Übergangswirbel im MRT-Zeitalter, wenn keine coronaren Sequenzen zur Verfügung stehen und Röntgenaufnahmen zunehmend nicht mehr vorliegen, weiter ansteigen werde, da der weiter lateral gelegene Querfortsatz auf sagittalen Bildern nicht ausreichend beurteilt werden könne. Dies führte auch in seiner Studie zu einer sehr niedrigen Anzahl detektierter sakralisierter Übergangswirbel (drei sakralisierte Übergangswirbel versus acht lumbalisierte Übergangswirbel aus 107 MRT-Untersuchungen). Die Ergebnisse dieser Gruppe konnten daher statistisch nicht weiter verwendet werden, was er auch selbst als das große Manko dieser Untersuchungstechnik ansah.

In der coronaren Sequenz wurde in der vorliegenden Studie ein LÜW wie oben beschrieben in den meisten Fällen sicher aufgrund des Vorkommens ein- oder beidseits vergrößerter Querfortsätze identifiziert, die ein- oder beidseits mit dem Os sacrum artikulieren oder mit ihm fusioniert sind. Anhand der coronaren Bilder erfolgte auch die Einteilung in eine der vier Gruppen nach der oben beschriebenen Klassifikation (s. Kapitel „Material und Methodik“). Wenn beide Querfortsätze mit dem Os sacrum verschmolzen sind, kann es allerdings auch auf dem coronaren Bild Schwierigkeiten bei der Identifizierung eines LÜW geben; es existieren jedoch in coronarer Schichtführung weitere Indizien für dessen Existenz.

Ein Hinweis ist, dass ein lumbalisierter Sakralwirbel im Vergleich zu anderen anatomischen Strukturen wie der Crista iliaca eine Tendenz zur Kranialisation aufweist. Ein weiterer Hinweis ist die Existenz einer sklerotischen Fusionslinie/Segmentationslinie. Auf diese Fusionslinie muss genau geachtet werden, da sie leicht übersehen werden kann bzw. bei jungen Patienten nicht mit einer noch nicht vollständigen Ossifikation verwechselt werden darf.

Die Ergebnisse der Bildanalyse zeigten, dass mittels coronarer Bilder 13 (9,1%) mehr lumbosakrale Übergangswirbel detektiert wurden als in ausschließlich axialer und sagittaler Schichtführung, wobei meist die coronare Sequenz zur Identifizierung ausreichte.

#### **4.8.7. Weitere Vorteile einer coronaren MRT-Schichtung**

Eine coronare Schichtung hat nicht nur Vorteile bei der Identifizierung und wie im Folgenden ausgeführt bei der Nomenklatur eines LÜW, sondern auch bei der Detektion einer möglichen assoziierten Pathologie. Hashimoto (1996) untersuchte neun Patienten mit lumbosakraler Übergangsanomalie und fand auf den coronaren MRT-Aufnahmen zehn extraforaminale Stenosen. Die Nervenwurzeln wurden in allen diesen Fällen zwischen dem Processus transversus des letzten LWK und dem Os sacrum komprimiert. Sämtliche Stenosen waren auf sagittalen und axialen Bildern nicht zu erkennen. In sechs Fällen wurde die Stenose intraoperativ bestätigt, in den übrigen vier Fällen durch Nervenwurzelinjektion in Kombination mit einem Nervenwurzelblock.

#### **4.8.8. Fazit zur Identifizierung des lumbosakralen Übergangswirbels**

Vor allem von weniger erfahrenen Befundern wird ein Übergangswirbel auf der seitlichen Aufnahme gerne übersehen, insbesondere wenn er an eine normal ausgebildete Bandscheibe grenzt. Daher müssen axiale und sagittale sowie, wenn vorhanden, coronare Schichten immer miteinander korreliert werden. Um so viele Übergangswirbel wie möglich zu erkennen, muss man stets alle Bilder einer sagittalen Serie bis zum Rand analysieren und, falls coronare Schichten fehlen, versuchen, die Form des Querfortsatzes auf den axialen Aufnahmen zu bestimmen. Dennoch blieben in der vorliegenden Untersuchung, selbst wenn alle Kriterien auf sagittalen und axialen Aufnahmen berücksichtigt wurden, von einem erfahrenen Untersucher 8,3% der insgesamt identifizierten Übergangswirbel ohne coronare Schichten unentdeckt; d.h. es gab auf diesen Bildern keinen Hinweis auf den LÜW. Eine korrekte Nomenklatur und Klassifikation, insbesondere ob die Veränderungen ein- oder beidseits vorliegen, ist ohne coronare Bilder in der überwältigenden Mehrheit der Fälle nicht möglich.

#### **4.9. Korrekte Bezeichnung des lumbosakralen Übergangswirbels**

In der durchgesehenen Literatur finden sich zahlreiche Versuche, eine Anleitung zur korrekten Nomenklatur zu erstellen. Die übliche Zählweise auf sagittalen Aufnahmen ist von kaudal nach kranial, beginnend mit dem letzten angenommenen Lendenwirbelkörper als LWK 5 am lumbosakralen Promontorium. Dies führt jedoch zu einer mangelhaften Detektion und fehlerhaften Nomenklatur einer möglichen lumbosakralen Übergangsvariante (Hahn 1992). Viele Autoren waren der Meinung, dass ohne Röntgenbilder von HWS oder BWS bzw. sagittale zervikothorakale Übersichtstopogramme eine zuverlässige Bezeichnung der Segmente nicht möglich sei (Young 1983, Hahn 1992, Ralston 1992, Vergauwen 1997, Peh 1999, Lee 2004, Lee 2007). Daher wurde in manchen Studien auf die Unterscheidung zwischen Sakralisation bzw. Lumbalisation verzichtet (z.B. Vergauwen 1997).

Voraussetzung für die Zählweise von HWK 2 nach kaudal ist die Annahme, dass immer konstant sieben Halswirbelkörper und zwölf Brustwirbelkörper vorhanden sind (Lee 2007). Dies kann jedoch zu Fehlern in der Nomenklatur führen, denn die oben beschriebenen Variationen in der Anzahl der Brust- oder Lendenwirbel wie z.B. 11T/5L versus 12T/4L bzw. 11T/6L versus 12T/5L werden so nicht berücksichtigt (Wigh 1980, Spirnak 1995, O'Driscoll 1996). Mitchell (1936) sieht es für eine Einschätzung, ob es sich um eine Sakralisation oder eine Lumbalisation handelt, als hilfreich an, die Anzahl der präsakralen Wirbel zu kennen, doch zur Genauigkeit dieser Einschätzung nimmt er keine Stellung. Eine absolut sichere Methode zur korrekten Nomenklatur stellt also auch die Aufnahme der gesamten zervikalen, thorakalen und lumbalen Wirbelsäule nicht dar. Spirnak (1995) schlug zur Vermeidung von Unklarheiten vor, die Wirbel von kranial und kaudal zu nummerieren, ohne sie genauer zu bezeichnen.

Luoma (2004) bezeichnete den Wirbel oberhalb der letzten vollständig angelegten Bandscheibe, welche sich über den gesamten anterior- posterioren Durchmesser erstreckt, und bei der die Vorderkanten der Abschlussplatten keinen Kontakt zueinander haben, als LWK 5, und lehnte sich mit dieser Zählweise an Desmond (1993) und O'Driscoll (1996) an. Diese Methode der Klassifikation schließt jedoch

einen lumbalisierten SWK 1 aus. Eine vollständig angelegte Bandscheibe wurde in dieser Studie bei lumbalisiertem SWK 1 zwar nur in zwei Fällen gefunden, kann aber prinzipiell vorhanden sein.

Milicic (2006) zählte bei einer MRT-Studie mit Kindern vom Steißbein aus nach kranial und setzte voraus, dass immer fünf Sakralwirbel vorhanden seien. Der Vorteil dieser Zählweise sei deren Unabhängigkeit von einem möglichen LÜW oder einer thorakolumbalen Übergangsvariante. Die Grenze zwischen Os sacrum und Os coccygis sei bei Kindern immer eindeutig erkennbar. Es wurden in dieser Studie allerdings keinerlei Kriterien für die Identifizierung des Steißbeines und dessen Abgrenzung vom Kreuzbein genannt. Eigene Untersuchungen bei Erwachsenen haben gezeigt, dass es in der Praxis schwierig ist, auf dem sagittalen Bild das Os sacrum klar vom Os coccygis abzugrenzen. Selbst wenn dies gelingt, muss man berücksichtigen, dass es häufig sakrokokzygeale Variationen gibt, und man daher nicht annehmen kann, dass es immer fünf echte Sakralwirbel gibt (Mitchell 1936, Wigh 1980). Mitchell sagte sogar, dass im Falle einer Lumbalisation von SWK 1 das Os sacrum normalerweise immer einen Wirbel aus dem Steißbein „akquiriere“, was wiederum einen festen Verbund aus fünf Wirbeln im Bereich des Os sacrum zur Folge hätte. Shore beschrieb 1925 bei einer Analyse von 82 Skeletten, dass in fünf von insgesamt elf Fällen mit lumbosakraler Übergangsvariante ein sechsgliedriges Os sacrum vorhanden war. Unter allen von ihm untersuchten Skeletten fanden sich insgesamt 16 sechsgliedrige Kreuzbeine, wobei in zehn Fällen eine komplette Sakralisation des 30. Wirbels gefunden wurde und in sechs Fällen der erste Steißbeinwirbel mit dem Os sacrum fusioniert war. Die Methode von Milicic (2006) führt also zwangsläufig zu einer falschen Nomenklatur des lumbosakralen Überganges und ist in der Praxis nicht anwendbar.

Eine verbreitete Zählweise erfolgt mit coronaren Aufnahmen, wenn der letzte BWK und der erste LWK korrekt identifiziert werden können. Dann zählt man nach kaudal und bezeichnet den LÜW, ausgehend von einer fünfgliedrigen LWS, je nach Lage als lumbalisierten SWK 1 oder sakralisierten LWK 5 (Tini 1977, Wigh 1980, Kim 2003, Hughes 2004). O'Driscoll schrieb 1996, man könne mithilfe eines Röntgenbildes des thorakolumbalen Überganges aufgrund der sicheren Unterscheidung hypoplastischer



echter Rippen von großen Querfortsätzen den LÜW sicher benennen. Hughes (2004) sah das Problem der Nomenklatur im MRT ebenfalls darin, dass meist keine konventionellen Röntgenaufnahmen des thorakolumbalen Überganges vorhanden seien. Diese würden eine Unterscheidung zwischen hypoplastischer zwölfter Rippe und verplumptem Querfortsatz von LWK 1 möglich machen, was seiner Meinung nach wiederum zu einer exakten Einordnung des Übergangswirbels führe.

In der vorliegenden Studie wurde, da ergänzende Röntgenbilder nicht vorhanden waren, die coronare Schichtung in hochauflösender Technik durchgeführt und es wurde Wert auf die vollständige Darstellung des thorakolumbalen Überganges, insbesondere des Rippengelenks an BWK 12 gelegt. Ziel war, den thorakolumbalen Übergang komplett darzustellen und ihn möglichst korrekt zu identifizieren. Wenn lediglich MR-tomographische Übersichtstopogramme verwendet werden, kann es zu Schwierigkeiten in der Identifizierung kommen, da auf ihnen immer nur ein Teil der anatomischen Information abgebildet ist. In einer Studie von Peh (1999) konnte LWK 1 von zwei verschiedenen Untersuchern mittels Topogramm in nur 75% bzw. 81% der Fälle korrekt identifiziert werden.

Bei der Analyse der MRT-Aufnahmen hat sich jedoch gezeigt, dass die Unterscheidung eines BWK 12 von einem LWK 1 in der Praxis nicht immer sicher möglich ist. Es gibt auch mit der hochauflösenden Technik Fälle, in denen der letzte Brustwirbelkörper bzw. der erste Lendenwirbelkörper nicht eindeutig identifiziert werden können, beispielsweise beim Vorhandensein hypoplastischer Rippen (s. Kapitel 4.1. Thorakolumbalen Übergang).

#### **4.9.1. Klassifikation des lumbosakralen Übergangswirbels mittels paraspinaler Strukturen**

In der Praxis sind coronare Aufnahmen oft nicht vorhanden bzw. aufgrund unterschiedlicher Untersuchungstechnik oder im Falle einer thorakolumbalen Übergangsanomalie kann LWK 1 wie oben beschrieben nicht immer eindeutig identifiziert werden. Daher wurde aufgrund von Literaturstudien und eigenen

Messungen untersucht, ob die Höhenlokalisierung paraspinaler Strukturen hilfreich sein kann bei der Identifizierung und Nomenklatur eines LÜW.

Welche Strukturen eignen sich prinzipiell als Orientierungshilfe? Untersucht wurden in früheren Studien Abgang der rechten Nierenarterie, Aortenbifurkation, Konfluens der Vena cava inferior, Truncus coeliacus, Abgang der Arteria mesenterica superior, Ursprung des Ligamentum iliolumbale, Höhenlokalisierung der Crista iliaca und des Conus medullaris (Ralston 1992, Hahn 1992, Spirnak 1995, Chitriki 2002, Kim 2003, Lee 2004, Hughes 2006, Lee 2007).

Die Lage des Conus medullaris zeigt eine starke Variabilität und kann vom mittleren Drittel des BWK 12 bis zum oberen Drittel des LWK 3 reichen (Saifuddin 1998). In älteren Kadaverstudien befand sich die tiefstmögliche Lokalisation des Conus medullaris sogar im mittleren Drittel von LWK 3 (Reimann 1944) bzw. im unteren Drittel von LWK 3 (Needles 1935). Er wurde aufgrund der hohen Variabilität seiner Höhenlokalisierung bereits in früheren Studien als nicht geeignet als Orientierungspunkt zur Klassifikation eines LÜW eingestuft (Lee 2004) und in der vorliegenden Studie ebenfalls nicht untersucht.

Der Zusammenfluss der Iliakalvenen, der Konfluens der Vena cava, wurde von Lee (2007) in fast allen Fällen ein Segment unterhalb der Aortenbifurkation gefunden und versprach daher keine zusätzlichen Erkenntnisse. Außerdem ist er oft schwieriger zu bestimmen, weil die Vena cava inferior zum Zeitpunkt der Messung kollabiert sein kann und der Winkel der Iliakalvenen oft stumpfer ist als der Winkel der Iliakalarterien (Lee 2007). Da die Aortenbifurkation aufgrund eines gestreckteren Verlaufs der Aorta MR-tomographisch präziser zu bestimmen ist, wurde in der vorliegenden Studie deren Lokalisation festgestellt.

Wie im Kapitel „Material und Methodik“ erwähnt, wurde die Höhenlokalisierung von Truncus coeliacus und Arteria mesenterica superior in dieser Studie ebenfalls nicht bestimmt. Der Abgang dieser beiden Gefäße war aufgrund von Literaturstudien teilweise auf Höhe von BWK 11 bzw. BWK 12 zu erwarten und dieser Abschnitt der Wirbelsäule wurde routinemäßig nicht immer vollständig dargestellt.

Allgemeine Annahme in der durchgesehenen Literatur war, dass im Falle einer Lumbalisation die paraspinalen Strukturen weiter kaudal und im Falle einer Sakralisation die paraspinalen Strukturen weiter kranial gelegen sind (Hahn 1992, Spirnak 1995, Chithriki 2002, Kim 2003, Lee 2004, Hughes 2004 und 2006, Bron 2007, Lee 2007). In der vorliegenden Studie wurde überprüft, ob dies auch auf das hier untersuchte Patientengut zutrifft und ob diese anatomischen Strukturen auch ohne Vorliegen eines zervikothorakalen Übersichtsbildes an ähnlicher Stelle lokalisiert wurden wie in früheren Untersuchungen.

#### **4.9.1.1. Rechte Nierenarterie**

Laut Özkan (2006) besitzen 76% der Menschen eine Nierenarterie auf jeder Seite, die übrigen 24% zwei oder mehr Arterien je Seite. Davon befinden sich 16% auf der rechten Seite. In dieser Arbeit wurde nur die rechte Hauptarterie berücksichtigt. Die rechte Nierenarterie ist mit MRT leichter zu lokalisieren und abzugrenzen als die linke Nierenarterie, da sie länger ist und anterolateral aus der Aorta entspringt (Verschuyl 1997, Lee 2004). Bei 98% der 855 von Özkan untersuchten Patienten war der Ursprung der rechten Hauptarterie zwischen dem Oberrand von LWK 1 und dem Unterrand von LWK 2 gelegen, dabei in 68% der Fälle auf Höhe des Bandscheibenraums LWK 1/2 und angrenzend an ihn. Verschuyl (1997) lokalisierte ihren Ursprung in einer Studie mit Computertomographie ebenfalls zwischen dem unteren Drittel von LWK 1 und dem oberen Drittel von LWK 2.

Ralston (1992) fand den Abgang der RAA in 86% der von ihm untersuchten Patienten, einschließlich 5% der Patienten mit LÜW, auf Höhe oder angrenzend an den Bandscheibenraum LWK 1/2. Ihm stand allerdings kein Übersichtstopogramm zur Verifizierung der Segmente zur Verfügung und er nummerierte sie in der üblichen Zählweise anhand sagittaler und axialer Aufnahmen von kaudal nach kranial. Er nutzte den Orientierungspunkt des Abganges der RAA auf Höhe von LWK 1/2 auch im radiologischen Alltag als Hinweis auf einen Übergangswirbel bzw. um das Segment LWK 5/SWK 1 auf sagittalen Aufnahmen zu definieren.

Hahn (1992b) versuchte in einer weiteren Studie, diesen Orientierungspunkt LWK 1/2 von Ralston nachzuvollziehen und nutzte dabei eine zervikothorakale

Übersichtsaufnahme zur korrekten Bestimmung der Segmente. Er stellte fest, dass in mehreren Fällen bei Sakralisation der Abgang der rechten Nierenarterie eher im Segment BWK 12/LWK 1 gelegen war, gelegentlich auch in der Mitte von LWK 1, jedoch seltener auf Höhe von LWK 1/2. Bei Lumbalisation fand er ihn manchmal auch auf Höhe von LWK 2 oder LWK 2/3. Er kritisierte daher die Zählweise von Ralston als zu wenig sensitiv. Außerdem würde ein LÜW mit der Methode von Ralston systematisch übersehen, wenn gleichzeitig ein lumbalisierter SWK 1 vorliegt, der in der kaudokraniellen Zählweise als LWK 5 fehlinterpretiert wird. Desweiteren konnte Hahn diese Methode in 25% der Fälle nicht anwenden, weil die RAA auf seinen Aufnahmen entweder nicht zu erkennen oder genau zwischen zwei Wirbelkörpern gelegen war.

Spirnak (1995) führte eine ähnliche Studie durch wie Hahn (1992b) und lokalisierte den Abgang der RAA bei Patienten ohne LÜW auf Höhe des Bandscheibenraumes LWK 1/2, sowie im Falle einer Lumbalisation auf Höhe des oberen Drittels von LWK 2, also weiter kaudal. Er fand allerdings nur eine geringe, nicht statistisch relevante Zahl von sakralisierten Übergangswirbeln. Dies erklärt sich durch seine Zählweise anhand sagittaler Übersichtsaufnahmen, ohne die Konfiguration der Querfortsätze zu kennen, was er selbst als „imaging bias“ (S. 287) bezeichnete. Spirnak war der Meinung, dass eine korrekte Identifizierung des Levels des Abganges der RAA nur aufgrund eines Übersichtstopogramms der gesamten Wirbelsäule und nicht aufgrund des Erscheinungsbildes der Lumbosakralregion erfolgen könne. Einen statistisch relevanten Unterschied in der Höhenlokalisierung des Abganges der rechten Nierenarterie zwischen Patienten mit und ohne LÜW konnte er bisher nur in Studien finden, die mit zervikothorakaler Übersichtsaufnahme durchgeführt wurden.

Hughes (2006) fand den Abgang der rechten Nierenarterie bei 500 Patienten in 74% der Fälle auf Höhe des Bandscheibenraumes LWK 1/2 und der benachbarten Wirbelkörperabschnitte, was sich mit den Ergebnissen von Hahn 1992 deckt. In 8,5% der Fälle konnte er die RAA nicht identifizieren und in 17,5% lag sie näher an BWK 12/LWK 1 oder LWK 2/3. Er machte jedoch keine separaten Angaben zur Höhenlokalisierung der RAA bei den 13,4% der Fälle dieser Studie mit LÜW. Außerdem verwendete er kein zervikothorakales Topogramm. Aus diesen

Ergebnissen und aus Literaturstudien schlussfolgerte er genauso wie Hahn (1992), dass die untersuchten Gefäßstrukturen aufgrund der großen Variabilität keine geeignete Orientierungshilfe zur Nomenklatur eines LÜW darstellen.

In der Studie von Lee (2004) mit zervikothorakalem Topogramm fand sich der Abgang der RAA im Mittel in der unteren Hälfte von LWK 1. Auch in seiner Studie war er bei den meisten Patienten (92%) zwischen der unteren Hälfte von LWK 1 und der oberen Hälfte von LWK 2 lokalisiert. Bei Sakralisation war er bei den meisten Patienten in der oberen Hälfte von LWK 1, bei den meisten Patienten mit Lumbalisation auf Höhe von LWK 1/2 oder in der oberen Hälfte von LWK 2. Dies bedeutet eine Verschiebung um etwa ein halbes Segment nach kranial oder kaudal gegenüber seinem Normkollektiv.

In einer weiteren Studie von Lee (2007) mit zervikothorakaler Übersichtsaufnahme befand sich der Abgang der rechten Nierenarterie bei Patienten ohne Übergangsvariante in 78% der Fälle auf Höhe von LWK 1/2 und auf Höhe des oberen Drittels von LWK 2, mit einem zwischen diesen beiden Abschnitten gelegenen Mittelwert. Bei Patienten mit Sakralisation war er in 72% der Fälle auf Höhe von LWK 1 gelegen mit einem Mittelwert knapp unterhalb der Mitte von LWK 1, d.h. deutlich oberhalb des Normwertes. Bei Patienten mit Lumbalisation war er im Durchschnitt in der oberen Hälfte von LWK 2 gelegen, wobei er sich in 94% der Fälle zwischen dem Bandscheibenraum LWK 1/2 und der unteren Hälfte von LWK 2 befand, also etwa ein halbes Segment unterhalb des Normwertes.

Die oben zitierten Studien wiesen bei Sakralisation eine Tendenz zur Verschiebung des Abganges der RAA nach kranial und bei Lumbalisation eine Tendenz zur Verschiebung nach kaudal auf. Auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen diese Tendenz auf. Die Differenz im Mittelwert der Höhenlokalisierung beider Gruppen betrug etwa ein halbes Segment. Die Messwerte lagen bei Sakralisation im Abschnitt 3,4, d.h. an der Grenze zwischen mittlerem und unterem Drittel von LWK 1, bei Lumbalisation im Abschnitt 5,5, d.h. an der Oberkante von LWK 2. Bei Sakralisation erstreckten sich die Messwerte über sechs Abschnitte, und zwar vom Zwischenwirbelraum BWK 12/LWK 1 bis zum oberen Drittel von LWK 2. Bei

Lumbalisation reichten sie sogar über acht Abschnitte, und zwar vom oberen Drittel des LWK 1 bis weit kaudal zum Bandscheibenraum LWK 2/3. Dabei unterschieden sich die Ergebnisse der beiden Gruppen mit hoher Signifikanz voneinander. Allerdings zeigten sie aufgrund der großen Bandbreite der Messwerte in einem großen Bereich Überschneidungen, insbesondere im Abschnitt 4 (LWK 1 unten) und Abschnitt 5 (LWK 1/2). Diese Überschneidungen betrafen 82% der Patienten.

#### **4.9.1.2. Aortenbifurkation**

Die Aortenbifurkation liegt normalerweise auf Höhe von LWK 4 und variiert meist zwischen LWK 3 und LWK 5 (Lipshutz 1918). Kornreich (1998) fand sie mittels CT im Durchschnitt auf Höhe der unteren Hälfte von LWK 4. Die Messwerte von Kornreich zeigten eine große Varianz zwischen der oberen Hälfte von LWK 3 und der oberen Hälfte von SWK 1, wobei sie mit zunehmendem Alter des Patienten weiter kaudal gelegen waren. Er sah die Gründe zum einen in einer altersbedingten Elongation der Aorta und zum anderen in einer Verkürzung der Wirbelsäule. Eine weit kranial lokalisierte Aortenbifurkation fand sich bei ihm nur bei Patienten unter 50 Jahren und eine weit kaudal lokalisierte Aortenbifurkation bei Patienten über 80 Jahren.

Eine mögliche Fehlerquelle der genauen Höhenlokalisierung sah Chitriki (2002) bei dieser und anderen Studien in der kaudokranialen Zählweise und der fehlenden Berücksichtigung thorakolumbaler Übergangswirbel. Er nummerierte daher die Wirbelkörper in seiner Studie mithilfe eines zervikothorakalen Übersichtsbildes. Der Punkt der Aortenbifurkation wurde definiert als der in transversaler Schichtführung aufgeweitete Abschnitt der Aorta direkt proximal des Ursprungs der Aa. iliacae communes. Ohne Übergangsanomalie befand sich die Aortenbifurkation im Mittelwert etwas oberhalb der Mitte von LWK 4. Bei Patienten mit Sakralisation lag die Bifurkation etwas höher, und zwar im unteren Bereich von LWK 3. Bei Patienten mit Lumbalisation war sie im Schnitt im unteren Bereich von LWK 4 lokalisiert. Chitriki war allerdings der Meinung, dass die Lokalisation der Aortenbifurkation aufgrund der von ihm gefundenen hohen Variabilität nicht als Orientierungshilfe verwendet werden könne.

Lee stellte 2004 fest, dass der Punkt der Aortenbifurkation, den er genauso definierte wie Chitriki, in 83% der von ihm untersuchten Fälle auf Höhe von LWK 4 gelegen war, davon in 45% auf Höhe der oberen Hälfte und in 38% auf Höhe der unteren Hälfte von LWK 4. Die axiale Schicht, auf der er die A. iliaca communis am weitesten proximal abgrenzen konnte, war in 93% der Fälle LWK 4/5. Bei Sakralisation lag die Bifurkation überwiegend auf Höhe von L3/4 und bei Lumbalisation überwiegend in der unteren Hälfte von LWK 4.

In seiner 2007 veröffentlichten Studie fand Lee die Aortengabel in 95% der Fälle zwischen der oberen Hälfte von LWK 4 und dem Bandscheibenraum LWK 4/5. Bei Sakralisation war sie in 92% der Fälle zwischen dem Bandscheibenraum LWK 3/4 und der unteren Hälfte von LWK 4 lokalisiert. Bei Lumbalisation befand sie sich in 89% der Fälle im Bereich zwischen dem Bandscheibenraum LWK 4/5 und der unteren Hälfte von LWK 5. Lee definierte 2007 die Aortenbifurkation, wie in der vorliegenden Arbeit, als den Punkt, an dem die beiden Iliakalarterien auf der axialen Aufnahme als separate Lumina zu erkennen waren. Dies führte dazu, dass die Messwerte in seiner Studie von 2007 weiter kaudal gelegen sind als die in seiner Studie von 2004 und der Untersuchung von Chitriki 2002.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind bei einem Mittelwert von 14,3, d.h. dem oberen Drittel von LWK 3, im Falle einer Sakralisation vergleichbar mit den zitierten Messwerten. Bei Lumbalisation lagen sie bei einem Durchschnittswert von 16,3, was dem unteren Drittel von LWK 4 entspricht, oberhalb der von Lee (2007) gefundenen Messwerte. Die Differenz der Messwerte lag ähnlich wie beim Abgang der rechten Nierenarterie bei einem halben Segment (2,0 Abschnitte). Dabei erstreckten sich die Werte über sieben (Sakralisation) und sechs Abschnitte (Lumbalisation). Im Bereich von LWK 4 oben bis LWK 4/5 (Abschnitt 14 bis 17) fanden sich daher relativ deutliche Überschneidungen der Ergebnisse von 71% der Patienten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Höhenlokalisierung der beiden untersuchten Gefäße in den meisten Fällen bei der genauen Bezeichnung der Segmente nicht weiterhalf. Lediglich im Falle extremer, d.h. sehr weit kranial oder

kaudal gelegener Messwerte, konnte sie eine relevante Hilfestellung zur korrekten Nomenklatur geben.

#### **4.9.1.3. Ligamentum iliolumbale**

Das ILL ist eine aus mehreren Teilen bestehende Bandstruktur, welche vom vierten und fünften Lendenwirbel bis zur Crista des Os ilii reicht (Schiebler 2005). Zahlreiche anatomische Studien an Leichen bzw. mit MRT belegen, dass das ILL von der Spitze des Querfortsatzes LWK 5 mit Fasern von LWK 4 entspringt (Brailsford 1929, Uhthoff 1993, Hartford 2000, Pool-Goudzward 2001). Es gibt allerdings auch Autoren, die die Existenz von Fasern an LWK 4 nicht bestätigen konnten (Luk 1986, Basadonna 1996). Pool-Goudzward fand auch vom Os sacrum ausgehende Fasern des ILL und bezeichnete diese als sakroiliakalen Anteil des Ligamentum iliolumbale, weil sie durch Fettgewebe von den übrigen interössären sakroiliakalen Bändern separiert waren.

Zur Darstellung des ILL auf axialen Aufnahmen müssen Schichten angefertigt werden, die sich nicht ausschließlich auf den Intervertebralraum und die angrenzenden Regionen beschränken, da sonst das ILL nicht erfasst wird (Hughes 2006). Auch auf den hier analysierten Aufnahmen ist das ILL axial in der Regel nur partiell erfasst; es ist allerdings auf den in dieser Studie routinemäßig durchgeführten coronaren Schichten in der Regel gut abgrenzbar.

Die einzige Studie, die den Ursprung des Ligamentum iliolumbale bei Patienten mit und ohne lumbosakrale Übergangsvariante untersuchte und ein zervikothorakales Übersichtstopogramm verwendete, wurde von Lee (2007) durchgeführt. Lee stellte fest, dass das ILL bei 97,3% der Patienten ohne LÜW an der Spitze des Querfortsatzes von LWK 5 entsprang. In einigen wenigen Fällen entsprang es gleichzeitig auch an LWK 4, ganz selten auch an SWK 1. Er fand sogar einen Fall, in dem es ausschließlich an SWK 1 entsprang. In der Gruppe der Patienten mit Sakralisation fand er es in zwei Dritteln der Fälle an LWK 5, in 18,9% an LWK 4 und in 13,5% an LWK 4 und LWK 5 gleichzeitig. In der Gruppe der Patienten mit



Lumbalisation entsprang es in 64% der Fälle ausschließlich an SWK 1, in 26% an LWK 5 und SWK 1 und in fünf Fällen nur an LWK 5.

Hughes postulierte in zwei Veröffentlichungen 2004 und 2006 einen relativ konstanten Ursprung des ILL von LWK 5 auch im Falle eines LÜW und verwendete ihn als zuverlässiges Kriterium zur Nummerierung eines LÜW. Allerdings existierte vor 2006 keine Studie zum Ursprung des ILL bei Übergangswirbeln, weshalb seine Nummerierung offensichtlich auf einer rein hypothetischen Annahme basiert. Außerdem lässt er bei seiner Zählweise die Möglichkeit des Vorkommens einer vier- oder sechsgliedrigen LWS außer Acht, was auch Bressler (2007) bemängelte. Er kommentierte Hughes Studie von 2007 damit, dass es ja nicht immer fünf Lendenwirbel gibt – seinen Erfahrungen nach entspringt das ILL daher immer vom letzten LWK, sei es LWK 4,5 oder 6.

In der vorliegenden Studie wurde in etwa der Hälfte der Fälle mit Sakralisation der Ursprung des ILL ausschließlich am Querfortsatz von LWK 5 gefunden. In den übrigen Fällen entsprang das ILL neben dem Querfortsatz von LWK 5 mit weiteren Fasern am QF von LWK 4 und in drei Fällen nur an LWK 4. Im Falle der Lumbalisation wurde das ILL überwiegend an LWK 5 gefunden (78,6%). In Fällen einer sechsgliedrigen LWS entsprang das ILL teils an LWK 6, teils auch an LWK 5. In sechs Fällen entsprang es sowohl an LWK 5 als auch an SWK 1 und in zwei Fällen nur an SWK 1. Die Patienten mit sechsgliedriger LWS konnten jedoch nicht sicher in die Gruppe der Übergangswirbel (Untergruppe 1, komplett lumbalisierter Sakralwirbel) eingeordnet werden, da bei diesen Patienten eine thorakolumbale Übergangsanomalie als Ursache für die sechsgliedrige LWS nicht ausgeschlossen werden konnte.

Diese Ergebnisse ähneln denen von Lee (2007) bei Sakralisation. Er fand allerdings eine deutlich höhere Anzahl von Fällen mit Ursprung an SWK 1 bei Lumbalisation. Aihara (2005) hat das ILL an 70 Kadavern untersucht und festgestellt, dass beim Vorliegen eines LÜW das im darüberliegenden Segment vorhandene ILL dünner und schwächer ist. Möglicherweise hat Lee bei lumbalisierten Sakralwirbeln das an LWK 5 entspringende ILL daher nicht als solches identifiziert und das Ligamentum

sacroiliacale als Ligamentum iliolumbale interpretiert. Konsens beider Studien ist jedoch, dass der Ursprung des ILL variabel ist und daher nur als Anhaltspunkt zur Nomenklatur dienen kann. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen allerdings folgenden Schluss zu: Falls man ausschließlich Fasern an SWK 1 findet, kann die Existenz eines sakralisierten Lendenwirbels ausgeschlossen werden, falls man Fasern an LWK 4 findet, kann ein lumbalisierter Sakralwirbel ausgeschlossen werden.

#### **4.9.1.4. Lage des lumbosakralen Übergangswirbels in Relation zum Beckenskelett**

Zur Feststellung der Position des lumbosakralen Übergangswirbels im Beckenskelett wurde die Höhenlokalisierung einer Verbindungslinie zwischen dem jeweils höchsten Punkt der Crista iliaca bestimmt (auch „intercrestal line“, „intercristal line“, „supracristal line“, „Jacoby’s line“ oder „Tuffier’s line“ genannt (Chakraverty 2007). Der Normwert wird in der Literatur mit LWK 4 bzw. LWK 4/5 angegeben (Lee 2004, Chakraverty 2007). In der Untersuchung von Kim (2003) lag diese Verbindungslinie im Durchschnitt auf Höhe von LWK 4/5, von LWK 3/4 bis L5/S1 reichend. Im Falle einer Sakralisation lag die „intercrestal line“ durchschnittlich auf Höhe des oberen Drittels von LWK 4 (von LWK 3/4 bis zum unteren Drittel von LWK 4 reichend), im Falle einer Lumbalisation durchschnittlich auf Höhe des mittleren Drittels von LWK 5 (von LWK 4/5 bis LWK 5/SWK 1 reichend). Southworth (1950) fand bei den 35 Patienten seiner Untersuchung mit Sakralisation den letzten Lendenwirbel in Relation zur Crista iliaca höher gelegen als einen „normalen“ Sakralwirbel. Gleichzeitig fand er bei den elf Patienten mit Lumbalisation einen ersten Sakralwirbel, der tiefer gelegen war als ein normaler letzter Lendenwirbel. Dies bedeutet gleichzeitig, dass sich die Höhenlokalisierung der „intercrestal line“ bei LÜW aufgrund seiner Messungen nicht um ein vollständiges Segment nach kranial und kaudal verlagert. Er gab allerdings keine exakten Messwerte an.

In der vorliegenden Studie lag die „intercrestal line“ bei Sakralisation zwischen dem mittleren und unteren Drittel von LWK 4 (Abschnitt 15,4) und bei Lumbalisation im oberen Drittel von LWK 5 (Abschnitt 18,1). Die Messwerte erstreckten sich von LWK

3/4 bis LWK 5 oben bzw. von LWK 4 unten bis LWK 5/SWK 1 (jeweils über sechs Abschnitte). Es zeigte sich, dass LWK 5 wie in der Studie von Kim (2003) bei Sakralisation in Relation zum Beckenskelett tiefer und bei Lumbalisation höher gelegen war. Die Differenz des Mittelwertes der Messwerte lag bei 2,7 Abschnitten, d.h. ca. zwei Drittel eines Segments. Im Vergleich zu den Gefäßstrukturen ist der Überschneidungsbereich kleiner und liegt vor allem auf Höhe des Bandscheibenraumes LWK 4/5. Die Abweichung von der Norm ist in dieser Studie allerdings nicht so ausgeprägt wie in der Untersuchung von Kim. Die Lage des letzten freien Wirbelkörpers stellt daher ein wichtiges Indiz für einen Übergangswirbel dar. Bei einem in Relation zum Beckenskelett auffällig tief bzw. hoch gelegenen LWK 5 sollten daher immer die übrigen Kriterien eines LÜW untersucht und ggf. im Befund darauf hingewiesen werden.

#### **4.9.1.5. Schlussfolgerung zur Nomenklatur**

Die Angaben der oben genannten Studien zur Identifizierung und Nomenklatur sind vielfältig und widersprechen sich teilweise.

Spirnak beispielsweise, der mit seiner Studie 1995 ursprünglich klären wollte, ob man mithilfe der Lage der paraspinalen Strukturen (Truncus coeliacus, Arteria mesenterica superior, Arteria renalis dextra) das Vorkommen eines LÜW an sich feststellen kann, sah dies aufgrund der großen Varianz und des hohen Grades der Überschneidung als keine dafür geeignete Methode an. Er stellte jedoch fest, dass die Lage paraspinaler Strukturen hilfreich sein könne, einen LÜW genauer zu identifizieren.

Lee (2004 und 2007) war im Gegensatz zu Spirnak der Auffassung, dass die Lokalisation der paraspinalen Strukturen hilfreich für die Vorhersage der Existenz eines LÜW sein kann. Wenn man annimmt, der letzte „freie Wirbel“ sei LWK 5, weise eine von der Norm abweichende Höhenlokalisierung des Abganges der RAA und der Aortenbifurkation auf eine Übergangsvariante hin. Ein weiterer Hinweis auf eine Übergangsvariante liege vor, wenn das ILL nicht von dem angenommenen LWK 5 entspringt.

Die Ergebnisse der hier präsentierten Untersuchung bestätigen, dass die paraspinale Strukturen im Falle einer Lumbalisation weiter kaudal und im Falle einer Sakralisation weiter kranial gelegen sind. Bei jedem der untersuchten Parameter Höhenlokalisierung der Crista iliaca, Abgangshöhe der RAA, Höhe der Aortenbifurkation und Lokalisation des Ursprungs des ILL unterschieden sich die Ergebnisse zwischen Sakralisation und Lumbalisation signifikant voneinander. In den untersuchten Untergruppen konnte keine statistisch signifikante Differenz zwischen den Messwerten gefunden werden.

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Kriterien wie „Squaring“ oder zusätzlich angelegte Bandscheibe stehen bei der Identifikation eines LÜW im Vordergrund, da sie schnell zu erkennen sind. Falls jedoch Schwierigkeiten bei der Nomenklatur bestehen, kann die Lage der paraspinale Strukturen ein hilfreicher Orientierungspunkt sein. Bei den zweifelhaften Fällen im vorliegenden Patientengut waren sie jedoch keine Hilfe zur korrekten Nomenklatur, da die Höhenlokalisierung der Gefäße bei beiden alternativen Zählweisen innerhalb des „passenden“ Bereiches gelegen war.

Bei Literaturstudien wurde keine Untersuchung gefunden, die die komplette Wirbelsäule untersuchte und gleichzeitig bei der Klassifizierung eines LÜW die Anzahl der Wirbelkörper, thorakolumbale Übergangsanomalien und die Anordnung der paraspinale Strukturen berücksichtigte. Alle Studien, die die Lokalisation der paraspinale Strukturen untersuchten, folgten der Zählweise sieben HWK, zwölf BWK und fünf LWK (Hahn 1992, Ralston 1992, Spirnak 1995, Chitriki 2002, Lee 2004, Lee 2007) oder wurden ohne Übersichtsaufnahme durchgeführt (Hughes 2006).

Auch in der vorliegenden Studie wurde die Höhenlokalisierung der paraspinale Strukturen auf Routineaufnahmen ohne Übersichtsaufnahme der gesamten Wirbelsäule bestimmt. Es wurden dabei, wenn vorhanden, thorakolumbale Übergangsanomalien berücksichtigt. Die genaue Nomenklatur des thorakolumbalen Überganges ist allerdings oft schwierig und war hier in 14 von 156 Fällen (9%) nicht

möglich. Hier stellt sich die Frage, ob in diesen Fällen eine Kenntnis der Anzahl der präsakralen Wirbel hilfreich gewesen wäre.

Für die Praxis ist es am wichtigsten, dass der Kliniker den vom Radiologen beschriebenen pathologischen Befund nachvollziehen kann, das entsprechende Segment intraoperativ wiederfindet und die Nervenwurzeln korrekt zuordnen kann. Daher ist es im Befund zunächst entscheidend, ausdrücklich auf eine vorhandene lumbosakrale Übergangsanomalie hinzuweisen. Falls eine thorakolumbale Übergangsanomalie vorliegt, muss diese ebenfalls erwähnt werden. Weiterhin ist es notwendig, den pathologischen Befund in Relation zu den angelegten bzw. vollständig angelegten Segmenten zu beschreiben. Diese Zählweise muss in Analogie zu einer intraoperativen Durchleuchtung von kaudal nach kranial erfolgen. Nur dann kann der Kliniker während eines operativen Eingriffs sicher sein, das korrekte Segment zu operieren. Für die Dokumentation ist es zudem hilfreich, die einzelnen Segmente korrekt zu bezeichnen. Diese Bezeichnung darf im Befund jedoch immer nur ergänzend erfolgen, da ohne Angabe der Segmente von kaudal aus gezählt der Befund von einem Zweitbefunder oder Operateur nicht sicher nachvollzogen werden und zu Verwirrung führen kann.

#### **4.9. Lumbosakraler Übergangswirbel und assoziierte Pathologie**

Abgesehen von der Schwierigkeit der Befundung im Falle eines LÜW wurde von zahlreichen Autoren dessen klinische Relevanz diskutiert (z.B. Moore 1925, Mitchell 1936, Tini 1977, Wigh 1981, MacGibbon 1979, Castellvi 1984, Frymoyer 1984, Jönsson 1989, Elster 1989, Vergauwen 1997, Hsieh 2000, Brault 2001, Weiner 2001, Oguz 2002, Conolly 2003, Steinberg 2003, Pekindil 2004, Luoma 2004, Chang 2004, Taskaynatan 2005, Aihara 2005, Peterson 2005, Delpont 2006, Murtaugh 2008).

Bereits Anfang des vergangenen Jahrhunderts wurde ein Syndrom der lumbosakralen Übergangsstörung namentlich nach dem Autor „Bertolotti’s Syndrom“ genannt, mit dem sich seither zahlreiche Autoren beschäftigt haben (z.B. Elster 1989, Brault 2001, Quinlan 2004, Ugokwe 2008, Almeida 2009, Vallejo 2009). Das „Bertolotti’s Syndrom“ ist definiert durch Beschwerden aufgrund eines vergrößerten Querfortsatzes des letzten Lumbalwirbels, der an das Os sacrum oder Os ilii gelenkig angebunden oder mit ihm fusioniert ist (Quinlan 2006). Mitchell untersuchte 1936 die bis zu diesem Zeitpunkt veröffentlichte Literatur zu diesem Thema und fand bereits damals kontroverse Ergebnisse. Aufgrund seiner Beobachtungen führte er mehrere Mechanismen auf, weswegen ein LÜW verschiedenster Ausprägung Beschwerden verursachen kann. Auch die neuere Literatur enthält zum Teil widersprüchliche Ergebnisse zur klinischen Relevanz eines LÜW. Im Rahmen dieser Studie wurde die Frage nach einer der Übergangsanomalie assoziierten Bandscheibendegeneration und deren Lokalisation untersucht. Ob ein LÜW mit vermehrten Beschwerden einhergeht, konnte anhand des hier vorliegenden ausschließlich symptomatischen Patientengutes nicht geklärt werden. Dieses Kapitel beinhaltet daher eine Zusammenfassung der wichtigsten Literatur zu diesem Thema.

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen, die sich einerseits mit der Häufigkeit von Lumbago bei Patienten mit LÜW und andererseits mit der Häufigkeit degenerativer Veränderungen, die bildmorphologisch nachvollzogen werden können, beschäftigen.

Luoma (2004) und Aihara (2005) stellten fest, dass die Bandscheibe im Segment oberhalb eines LÜW vermehrtem Stress ausgesetzt sei und deswegen anfälliger für

Degeneration in jungen Jahren. Die bei einem LÜW manchmal vorhandene Asymmetrie verstärkte diesen Effekt. Die Bandscheibe unterhalb eines Übergangswirbels ist meist höhengemindert und mechanisch geschützt, weshalb sie nur sehr selten von degenerativen Veränderungen betroffen ist (Wigh 1981, Elster 1989). Auch MacLean (2001) stellte eine Assoziation zwischen der Höhenlokalisierung einer Bandscheibendegeneration und der Position des LWK 5 im Becken fest: Im Falle eines tiefsitzenden LWK 5 war die Degeneration vermehrt im Segment LWK 4/5, im Falle eines hochsitzenden LWK 5 eher im Segment LWK 5/SWK 1 zu beobachten.

Auch alle anderen Autoren, die zu diesem Thema Studien durchgeführt haben, fanden eine erhöhte und frühere Inzidenz einer Bandscheibendegeneration im kranial des Übergangswirbels gelegenen Segment als in anderen Segmenten (z.B. Magora 1978, Jonsson 1989, Santavirta 1993). Bei Patienten ohne LÜW ist die Bandscheibendegeneration im vorletzten vollständig angelegten Segment am häufigsten (z.B. Frymoyer 1982, Castellvi 1984) bzw. in den beiden letzten vollständig angelegten Segmenten gleich häufig (MacLean 1990). In einer Untersuchung über die Bandscheibendegeneration bei beschwerdefreien Patienten (Deml 2003) wurde in der Altersgruppe 50 bis 60 Jahre, die dem Durchschnitt des in der vorliegenden Studie untersuchten Patientenguts mit LÜW von 56,6 Jahren entspricht, eine Degeneration im Segment LWK 4/5 in 78,3% der Fälle und im Segment LWK 5/SWK 1 in 75,4% der Fälle gefunden. In den darüberliegenden Segmenten nahm die Häufigkeit nach kranial hin ab bis zu 55,1% bei LWK 1/2.

Auch Vergauwen (1997) beschäftigte sich mit der Verteilung und Häufigkeit degenerativer Veränderungen bei LÜW. Er fand bei diesen Patienten insgesamt kein vermehrtes Vorkommen degenerativer Veränderungen, jedoch ebenfalls eine signifikant höhere Häufigkeit in dem direkt kranial des LÜW gelegenen Segment. Untersucht wurden Bandscheibendegeneration, Facettengelenksdegeneration, Neuroforamenstenose und Spinalkanalstenose. Seine Ergebnisse decken sich mit denen von Elster (1989), der eine etwa neunmal höhere Frequenz der Bandscheibenprotrusion oder Hernierung im Segment direkt oberhalb des LÜW als in jedem anderen Segment der LWS fand. Bei Castellvi (1984) hatten 83,4% der

Patienten mit ein- oder beidseits gelenkig angebundenem Querfortsatz eine Bandscheibenhernie oberhalb des Übergangswirbels. Patienten mit knöcherner Fusion wiesen in seiner Studie eine der Patienten ohne LÜW vergleichbare Inzidenz und Verteilung von Bandscheibenhernien auf.

In der vorliegenden Studie waren in der Gruppe der Sakralisation und der Gruppe der Lumbalisation bei etwa der Hälfte der Patienten (48,8% bzw. 51,8%) die oberhalb des LÜW gelegenen Bandscheiben als einzige oder mehr als diejenigen in den übrigen Segmenten der LWS degeneriert. In etwa einem Drittel der Fälle wiesen andere Segmente gleich starke degenerative Veränderungen auf (35,8% bzw. 32,1%). Lediglich in einzelnen Fällen (7,5% bzw. 3,5%) war die kranial des Übergangswirbels gelegene Bandscheibe weniger degeneriert als andere Segmente. Es wurde zwar keine wie bei Elster ausgeprägte Häufigkeit der Veränderungen gefunden, der Unterschied zu dem oben angegebenen Vorkommen ohne lumbosakralen Übergangswirbel ist jedoch deutlich zu erkennen.

Castellvi stellte 1984 bei 60 Patienten mit LÜW im Falle einer Typ I Übergangsstörung, also der Minimalform ohne Gelenk bzw. knöcherne Fusion, keine unterschiedliche Lokalisation der degenerierten bzw. hernierten Bandscheiben im Gegensatz zur Normalbevölkerung fest. Die vorliegende Studie wies dagegen bei Minimalform des LÜW (Sakralisation Untergruppe 4) ähnlich wie in den übrigen Untergruppen eine deutlich erhöhte Inzidenz der Bandscheibendegeneration im direkt oberhalb des LÜW gelegenen Segment auf. Eine Ursache in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel könnte die hier beobachtete, oft kräftige ligamentäre Anbindung des LÜW an das Os sacrum sein, was wohl zu einem gewissen mechanischen Schutz der untersten Bandscheibe führt.

Ursache für die vermehrte Bandscheibendegeneration ist möglicherweise eine Hypermobilität bzw. veränderte Belastung im Segment oberhalb des LÜW, ähnlich wie bei Blockwirbelbildung (Vergauwen 1997, Aihara 2005). Castellvi (1984) nennt diese veränderte Belastung „abnormale Drehmomente“ (S.494).



Dies lässt sich zum einen dadurch erklären, dass von Natur aus aufgrund der Anlage einer Bandscheibe und von Wirbelgelenken eine Beweglichkeit in dem Segment unterhalb des LÜW vorgesehen wäre. Diese Beweglichkeit wird jedoch durch eine Gelenkverbindung zwischen dem Querfortsatz und der Massa lateralis des Os sacrum eingeschränkt oder durch eine knöcherne Fusion aufgehoben. Der ursprünglich vorgesehene Bewegungsumfang muss durch das weiter kranial gelegene Segment kompensiert werden und weist daher eine Hypermobilität auf, welche zu vermehrten degenerativen Veränderungen führt.

Ein weiterer Grund für die Hypermobilität des kranial gelegenen Segments und die daraus resultierende Bandscheibendegeneration könnte ein dünneres und schwächeres Ligamentum iliolumbale sein. Das ILL stellt einen wichtigen Faktor in der Stabilisierung des lumbosakralen Überganges dar. Zum einen schränkt es die Beweglichkeit in Flexion, Extension und Lateralflexion ein, zum anderen verhindert es eine Torsionsinstabilität (Luk 1986, Rucco 1996, Pool-Goudzwaard 2001). Eine degenerative (Pseudo-)spondylolisthese ist beispielsweise im Segment LWK 4/5 sechsmal häufiger als im Segment LWK 5/SWK 1 (Luk 1986). Welche Rolle das ILL im Falle einer normal angelegten Wirbelsäule spielt, lässt sich auch an Patienten mit auffällig kräftigem ILL erkennen. Diese weisen nach eigenen Beobachtungen im Segment LWK 5/SWK 1 in der Regel eine deutlich geringere Bandscheibendegeneration auf als Patienten mit einem normal angelegten Ligament. Aihara (2005) stellte in einer Kadaverstudie fest, dass das ILL im Segment oberhalb eines LÜW deutlich dünner und schwächer war als ohne Übergangswirbel. Insbesondere der hintere Anteil des Bandes war deutlich kaliberr reduziert. In vielen Fällen fehlte das ILL oberhalb eines LÜW vollständig und die an LWK 4 angehefteten Fasern waren meist hypoplastisch. Auch in der vorliegenden Studie waren in der Gruppe der sakralisierten Übergangswirbel an LWK 4 nur bei 13 Patienten (14,7%) mindestens gleich starke Bandstrukturen erkennbar wie an LWK 5. Im Falle eines lumbalisierten Sakralwirbels entsprang bei den meisten Patienten oberhalb des LÜW, d.h. an LWK 5, ein eindeutig erkennbares ILL. Dieses zeigte aufgrund des in Relation zur Crista iliaca höher positionierten LWK 5 jedoch meist einen steileren und längeren Verlauf. Ob es dann noch die gleiche Stabilität besitzt wie bei Patienten ohne Übergangsvariante, ist fraglich.

Quinlan schrieb 2006, der Zusammenhang zwischen lumbosakralem Übergangswirbel, Lumbago und Bandscheibendegeneration sei immer noch unklar. Er fand vor allem bei jüngeren symptomatischen Patienten ein vermehrtes Vorkommen von Übergangswirbeln. Ugokwe stellte in einer Veröffentlichung von 2008 fest, dass es immer noch große Diskussionen darüber gebe, ob ein LÜW als Ursache für Lumbago gesehen werden kann.

Frymoyer (1984), Paajanen (1989), Elster (1989), MacLean (1990), van Tulder (1997), Luoma (2004), Peterson (2005) u.a. verneinten einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer Übergangsanomalie und damit verbundenen Beschwerden. In älteren Studien wie von Nachemson (1975) und Tini (1977) fand sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Vorkommen eines LÜW im symptomatischen und asymptomatischen Patientengut (6,7% versus 5%). Southworth (1950) fand in seinem bzgl. der Wirbelsäule asymptomatischen Patientengut eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer lumbosakralen Übergangsvariante (8,4% Typ II-IV). Moore schrieb 1925, dass in etwa 50% der Fälle, in denen ein sakralisierter LWK 5 gefunden wurde, Beschwerden damit verbunden sein könnten. Allerdings sah er an den untersuchten Röntgenbildern auch andere, nämlich degenerative Veränderungen, die für diese Beschwerden verantwortlich hätten sein können.

Viele Autoren sahen einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen eines LÜW und einer Lumbago (z.B. Junghanns und Tabor 1968, Schmorl 1969, Rubin 1971, Dai 1999, Brault 2001). Magora (1987) fand in seinen Untersuchungen Hinweise darauf, dass eine Lumbago stärker ausgeprägt ist, wenn sie mit einer Sakralisation assoziiert ist. Steinberg (2003) stellte fest, dass eine komplette Lumbalisation signifikant mit LBP assoziiert sei. Ford schrieb 1966, es sei unwahrscheinlich, dass ein bilateraler Übergangswirbel Probleme in diesem Segment verursache, wobei eine einseitige Sakralisation mit einer gewissen Instabilität und einer Diskusdegeneration assoziiert sein könnte. Avrahami (1986) war der Meinung, Hemisakralisation verursache früher oder später immer Lumbago. Eyo (2001) schloss aufgrund einer Häufigkeit eines LÜW von 35% in seinem symptomatischen Patientengut auf einen engen Zusammenhang zwischen LÜW und Lumbago. Seine Studie beinhaltete

jedoch keine asymptotische Kontrollgruppe, weshalb die hohe Inzidenz auch andere, z.B. genetische Gründe haben könnte.

Die Bandscheibe ist nicht die einzige Struktur, die bei LÜW degeneriert sein kann bzw. ursächlich gemacht werden kann für Beschwerden. Es wurden schon Anfang des vergangenen Jahrhunderts Patienten mit Lumboischialgie und gelenkig angebundenem vergrößertem Processus transversus operativ mittels Resektion des vergrößerten Querfortsatzes behandelt. Moore (1925) fand auf 1104 Röntgenbildern vier Fälle, bei denen der Querfortsatz entfernt worden war.

In der aktuellen Literatur gibt es mehrere Fallstudien über die Behandlung von Patienten mit mutmaßlich symptomatischem LÜW. Brault (2001) beschrieb den Fall einer 17-Jährigen, die bei rechtsseitig gelenkig angebundenem vergrößertem Querfortsatz unter Schmerzen, wohl ausgehend vom linken Facettengelenk auf gleicher Höhe, litt. Seiner Hypothese nach war dieses Facettengelenk aufgrund der eingeschränkten Beweglichkeit der Gegenseite vermehrtem Stress ausgesetzt. Daher wurde das Gelenk rechtsseitig reseziert, was zu einer deutlichen Besserung der linksseitigen Beschwerden nach einigen Wochen und langfristiger Beschwerdefreiheit führte.

Jönsson (1989) berichtete über elf Patienten mit einseitiger Gelenkverbindung bei LÜW, die mittels Resektion des Processus transversus behandelt wurden. Sieben der elf Patienten waren postoperativ beschwerdefrei; zwei weitere Patienten berichteten über eine Schmerzreduktion. Präoperativ wurden bei zehn Patienten lokale Infiltrationen mit Lokalanästhetikum vorgenommen, neun davon waren danach beschwerdefrei. Eine präoperative Szintigraphie wurde bei acht der Patienten durchgeführt, allerdings ohne pathologischen Uptake in allen acht Fällen. Conolly (2003) und Pekindil (2004) untersuchten Patienten mit LÜW anhand einer SPECT-Knochenszintigraphie und fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen Beschwerden und einer vermehrten Aktivitätsbelegung in der Region des akzessorischen Gelenks.

In einer Fallstudie von Ugokwe (2008) wurde ein Patient mit einer Hemiteilsakralisation von LWK 5 links und mutmaßlich aktivierter Gelenkverbindung zwischen Processus transversus und Massa lateralis, der unter einer einseitigen Lumboischialgie litt, mittels Resektion des Gelenks erfolgreich therapiert. Vallejo beschrieb in einer Fallstudie von 2009 die erfolgreiche Infiltration von Steroiden in eine einseitige Gelenkverbindung bei LÜW.

Ein aktiviertes einseitiges zusätzlich angelegtes Gelenk muss bei LÜW immer als eine mögliche Ursache für Lumboschialgie berücksichtigt werden, bisher fehlen jedoch Daten über dessen Häufigkeit. Auch die vorliegende Studie enthält keine Sequenz zur speziellen Darstellung eines Knochenmarködems an diesem Gelenk. Prinzipiell fand sich in keiner der recherchierten Studien mit größerem Patientengut eine klare Unterscheidung zwischen einer ein- bzw. beidseitigen Übergangsanomalie und assoziierten Beschwerden.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Bei Identifikation eines Übergangswirbels sollte das darüberliegende Segment immer genauer betrachtet und auf assoziierte degenerative Veränderungen hin untersucht werden. Es muss in jedem Fall eine Raumbeschränkung einer Nervenwurzel durch knöcherne Anbauten oder Bandscheibenprolaps ausgeschlossen werden. Falls eine Gelenkverbindung zwischen einem vergrößerten Querfortsatz und dem Os ilii bzw. dem Os sacrum besteht, muss eine Aktivierung und dadurch ausgelöste Beschwerden in die Liste der möglichen ursächlichen Differentialdiagnosen aufgenommen werden. Falls Zweifel an der Aktivierung bestehen und sonst keine für die Beschwerden ursächlichen Veränderungen zu sehen sind, sollte die Durchführung einer wassersensitiven MRT-Sequenz oder die Gabe von Kontrastmittel im MRT, ggf. auch die Durchführung einer SPECT-Szintigraphie erwogen werden. Bei Therapie eines aktivierten Querfortsatzes sollten sämtliche konservative Maßnahmen ausgeschöpft und eine Resektion nur bei Therapieresistenz diskutiert werden.

## 5. Zusammenfassung

Lumbosakrale Übergangswirbel (LÜW) sind eine angeborene Anomalie im Bereich des lumbosakralen Überganges. Dabei nimmt ein Lendenwirbel Eigenschaften eines Kreuzbeinwirbels bzw. ein Kreuzbeinwirbel Eigenschaften eines Lendenwirbels an. Es handelt sich bei einem LÜW also entweder um einen sakralisierten Lendenwirbel oder um einen lumbalisierten Kreuzbeinwirbel. Die Veränderungen können ein- oder beidseits ausgeprägt sein und reichen von einem vergrößerten Querfortsatz, über eine zusätzlich angelegte Gelenkverbindung zwischen vergrößertem Querfortsatz und Massa lateralis bis zu einer knöchernen Fusion. Lumbosakrale Übergangsvarianten werden bei der Befundung einer MRT-Untersuchung oft übersehen und in der Praxis uneinheitlich bezeichnet.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit deren Prävalenz in einem symptomatischen Patientengut, den Möglichkeiten zur Identifizierung sowie einer korrekten Nomenklatur. Außerdem wurde eine mögliche assoziierte Bandscheibendegeneration untersucht und deren Rolle bei Lumbalgie bzw. Lumboischialgie anhand von Literaturstudien diskutiert.

Dafür wurden 1500 MRT-Untersuchungen von symptomatischen Patienten, durchgeführt zwischen 2003 und 2007, analysiert und eine ausführliche Literaturrecherche zu diesem Thema durchgeführt. Dies ist die größte Anzahl von MRT-Untersuchungen in der englischsprachigen und deutschen Literatur, die bisher zu diesem Thema ausgewertet und veröffentlicht wurde.

Eine mangelnde Korrelation zwischen bildgebendem und klinischem bzw. intraoperativem Befund kann eine Therapie bzw. Operation im falschen Segment zur Folge haben. Damit dies in Zukunft auf jeden Fall verhindert wird, wurden die Kriterien zur Identifizierung und korrekten Bezeichnung eines LÜW in der MRT untersucht. Dabei fand sich in 156 Fällen, d.h. 10,4% des untersuchten Patientenguts ein LÜW. Davon konnten 124, d.h. 79,5% der Patienten mit LÜW eindeutig klassifiziert werden.

Als ein wichtiges Kriterium auf einer sagittalen MRT-Aufnahme stellte sich das sogenannte „Squaring“ heraus, d.h. eine quadratähnliche Form des LÜW, wenn das Verhältnis zwischen Deck- und Bodenplattendurchmesser nicht mehr als 1,38 beträgt. Des Weiteren lag unterhalb des LÜW eine oft hypoplastische, wenig

degenerierte Bandscheibe vor. Außerdem war der lumbosakrale Winkel, d.h. der Winkel zwischen den Längsachsen von LWK 5 und SWK 1 bzw. des letzten angelegten Segments meist vergrößert.

Auf einer axialen Aufnahme konnte ein LÜW in 75 Fällen (48%) anhand eines vergrößerten Querfortsatzes von LWK 5 bzw. einem Gelenk zwischen dem vergrößerten Querfortsatz und der Massa lateralis des Os sacrum identifiziert werden.

Eine nicht unerhebliche Anzahl von Übergangswirbeln wird jedoch auf sagittalen und axialen Aufnahmen insbesondere von einem unerfahrenen Befunder nicht erkannt bzw. in manchen Fällen fehlen die oben genannten Kriterien. In der hier vorliegenden Studie konnten von einem erfahrenen Befunder 13 der 156 Übergangsvarianten ohne coronare Aufnahmen nicht identifiziert werden (8,3%). Mit ausschließlich sagittalen und axialen Aufnahmen konnten nur sechs der 156 Übergangswirbel sicher bezeichnet werden (3,8%). Daher ist es wichtig, dass eine MRT-Untersuchung der Lendenwirbelsäule auch coronare Aufnahmen in hochauflösender Untersuchungstechnik beinhaltet. Zur Identifizierung und Nomenklatur eines LÜW ist es zudem wichtig, den thorakolumbalen Übergang zu identifizieren und mögliche thorakolumbale Übergangsvarianten zu berücksichtigen, was ausschließlich auf coronaren Aufnahmen möglich ist.

Ob die Höhenlokalisierung paraspinaler Strukturen zur korrekten Nomenklatur hilfreich sein kann, wurde in der Vergangenheit mehrfach untersucht. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie bestätigen die in früheren Studien gemachte Beobachtung, dass im Falle einer Sakralisation die paraspinalen Strukturen weiter kranial und im Falle einer Lumbalisation weiter kaudal gelegen sind. Die hier gefundene Höhenlokalisierung des Abganges der rechten Nierenarterie und der Aortenbifurkation konnten jedoch aufgrund der großen Bandbreite nur im Falle extremer Messwerte zur korrekten Bezeichnung beitragen; auch der Ursprung des Ligamentum iliolumbale konnte aufgrund seiner großen Variabilität nur als Anhaltspunkt dienen. Die Lage des LÜW in Relation zum Beckenskelett stellte ein wichtiges Indiz zu seiner Identifikation dar und war bei der korrekten Bezeichnung in manchen Fällen hilfreich. Auch wenn der Übergangswirbel zweifelsfrei bezeichnet werden kann, ist es am wichtigsten, bei der Befundung auf seine Existenz hinzuweisen und die Lage eines pathologischen Befundes in Relation zu den angelegten Segmenten von kaudal aus

gesehen zu beschreiben. Ohne diese Information ist es dem Kliniker nicht möglich, einen MR-tomographisch nachgewiesenen Befund bei einer intraoperativen Durchleuchtung sicher nachzuvollziehen, und es kann zu Verwechslungen kommen.

Ob ein LÜW mit einem erhöhten Vorkommen degenerativer Veränderungen bzw. mit vermehrter Lumbago einhergeht, wurde in der Vergangenheit immer wieder kontrovers diskutiert. Nach dem Erstbeschreiber Bertolotti wurde seit Anfang des vergangenen Jahrhunderts ein Syndrom bezeichnet, bei dem ein LÜW mit vergrößertem Querfortsatz für Beschwerden verantwortlich gemacht wird. Einig ist man sich darin, dass ein LÜW mit vermehrten degenerativen Veränderungen im Segment direkt kranial des LÜW einhergeht, was in der vorliegenden Studie anhand der gefundenen Lokalisation der Bandscheibendegeneration bestätigt wurde. Bei der Suche nach der Ursache von Rückenschmerzen bei Patienten mit LÜW sollte außerdem immer ein mögliches degenerativ verändertes oder aktiviertes Gelenk zwischen dem vergrößerten Querfortsatz des Übergangswirbels und der Massa lateralis des Os sacrum in die möglichen Differentialdiagnosen miteinbezogen und durch geeignete Untersuchungsmethoden ggf. genauer dargestellt werden.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Roche Lexikon der Medizin. 5. Auflage, München: Elsevier; 2003
2. Referenzfilme zu Berufskrankheiten der Wirbelsäule. Messmethoden an der Wirbelsäule, 2005  
([www.mydatabus.com/11z/tbbtyrznvy.pbz/179meyer/3334BerufskrankheitenderWirbelsuleBG.pdf](http://www.mydatabus.com/11z/tbbtyrznvy.pbz/179meyer/3334BerufskrankheitenderWirbelsuleBG.pdf)), aufgerufen Dez. 2008
3. Abe E, Sato K, Shimada Y, et al. Anterior decompression of foraminal stenosis below a lumbosacral transitional vertebra. A case report. Spine (Phila Pa 1976) 1997;22:823-826
4. Abitbol MM. Evolution of the lumbosacral angle. Am J Phys Anthropol 1987;72:361-372
5. Aihara T, Takahashi K, Ogasawara A, et al. Intervertebral disc degeneration associated with lumbosacral transitional vertebrae: a clinical and anatomical study. J Bone Joint Surg Br 2005;87:687-691
6. Almeida DB, Mattei TA, Soria MG, et al. Transitional lumbosacral vertebrae and low back pain: diagnostic pitfalls and management of Bertolotti's syndrome. Arq Neuropsiquiatr 2009;67:268-272
7. Avimadje M, Goupille P, Jeannou J, Gouthiere C, Valat JP. Can an anomalous lumbo-sacral or lumbo-iliac articulation cause low back pain? A retrospective study of 12 cases. Rev Rhum Engl Ed 1999;66:35-39
8. Basadonna PT, Gasparini D, Rucco V. Iliolumbar ligament insertions. In vivo anatomic study. Spine (Phila Pa 1976) 1996;21:2313-2316
9. Baur-Melnyk A, Triantafyllou M, Birkenmaier C, Reiser M. Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule: Seltene und oft verkannte Ursachen von Schmerzsyndromen. Radiologe 2006;46:454-467



10. Bene E, Megyeri A. Bedeutung der Fehlentwicklung und Variationen der lumbosakralen Wirbelsäule in der Pathogenese der Diskopathien. *Z Rheumatol* 1979;38:372-380
11. Benninghoff A, Drenckhahn D. Anatomie Band 1. 16. Auflage, München: Urban&Fischer; 2003
12. Bernhardt M, Bridwell KH. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine (Phila Pa 1976)* 1989;14:717-721
13. Bornstein PE, Peterson RR. Numerical variation of the presacral vertebral column in three population groups in North America. *Am J Phys Anthropol* 1966;25:139-146
14. Brailsford JF. Deformities of the lumbosacral region of the spine. *Br J Surg* 1929;16:562-627
15. Brash JC. Vertebral column with six and a half cervical and thirteen true thoracic vertebrae, with associated abnormalities of the cervical spinal cord and nerves. *J Anat Physiol* 1915;49 (Pt 3):243-273
16. Brault JS, Smith J, Currier BL. Partial lumbosacral transitional vertebra resection for contralateral facetogenic pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26:226-229
17. Bressler EL. Numbering of lumbosacral transitional vertebrae on MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2007;188:W210; author reply W211
18. Bron JL, van Royen BJ, Wuisman PI. The clinical significance of lumbosacral transitional anomalies. *Acta Orthop Belg* 2007;73:687-695
19. Cadeddu JA, Benson JE, Silver RI, et al. Spinal abnormalities in classic bladder exstrophy. *Br J Urol* 1997;79:975-978
20. Carapuco M, Novoa A, Bobola N, Mallo M. Hox genes specify vertebral types in the presomitic mesoderm. *Genes Dev* 2005;19:2116-2121

21. Castellvi AE, Goldstein LA, Chan DP. Lumbosacral transitional vertebrae and their relationship with lumbar extradural defects. *Spine (Phila Pa 1976)* 1984;9:493-495
22. Chakraverty R, Pynsent P, Isaacs K. Which spinal levels are identified by palpation of the iliac crests and the posterior superior iliac spines? *J Anat* 2007;210:232-236
23. Chang HS, Nakagawa H. Altered function of lumbar nerve roots in patients with transitional lumbosacral vertebrae. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:1632-1635; discussion 1635
24. Chithraki M, Jaibaji M, Steele RD. The anatomical relationship of the aortic bifurcation to the lumbar vertebrae: a MRI study. *Surg Radiol Anat* 2002;24:308-312
25. Connolly LP, d'Hemecourt PA, Connolly SA, et al. Skeletal scintigraphy of young patients with low-back pain and a lumbosacral transitional vertebra. *J Nucl Med* 2003;44:909-914
26. Dai L. Lumbosacral transitional vertebrae and low back pain. *Bull Hosp Jt Dis* 1999;58:191-193
27. Delpont EG, Cucuzzella TR, Kim N, et al. Lumbosacral transitional vertebrae: incidence in a consecutive patient series. *Pain Physician* 2006;9:53-56
28. Deml T. Normalverlauf der Bandscheibendegeneration an der Lendenwirbelsäule in der Magnetresonanztomographie bei beschwerdefreien Patienten. Diss., Medizinische Fakultät LMU München; 2003
29. Desmond PM, Buirski G. Magnetic resonance appearances of developmental disc anomalies in the lumbar spine. *Australas Radiol* 1993;37:26-29
30. Elster AD. Bertolotti's syndrome revisited. Transitional vertebrae of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1989;14:1373-1377
31. Erken E, Ozer HT, Gulek B, Durgun B. The association between cervical rib and sacralization. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27:1659-1664

32. Evcik D, Yucel A. Lumbar lordosis in acute and chronic low back pain patients. *Rheumatol Int* 2003;23:163-165
33. Ford LT, Goodman FG. X-ray studies of the lumbosacral spine. *South Med J* 1966;59:1123-1128
34. Frymoyer JW, Newberg A, Pope MH, et al. Spine radiographs in patients with low-back pain. An epidemiological study in men. *J Bone Joint Surg Am* 1984;66:1048-1055
35. Hahn P, Strobel J, Hahn F. Re: Verification of lumbar vertebral bodies. *Radiology* 1992;185:616
36. Hahn PY, Strobel JJ, Hahn FJ. Verification of lumbosacral segments on MR images: identification of transitional vertebrae. *Radiology* 1992;182:580-581
37. Hald HJ, Danz B, Schwab R, Burmeister K, Bahren W. Röntgenologisch nachweisbare Wirbelsäulenveränderungen asymptomatischer junger Männer. *Rofo* 1995;163:4-8
38. Hartford JM, McCullen GM, Harris R, Brown CC. The iliolumbar ligament: three-dimensional volume imaging and computer reformatting by magnetic resonance: a technical note. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25:1098-1103
39. Hashimoto M, Watanabe O, Hirano H. Extraforaminal stenosis in the lumbosacral spine. Efficacy of MR imaging in the coronal plane. *Acta Radiol* 1996;37:610-613
40. Hellems HK, Jr., Keats TE. Measurement of the normal lumbosacral angle. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1971;113:642-645
41. Hsieh CY, Vanderford JD, Moreau SR, Prong T. Lumbosacral transitional segments: classification, prevalence, and effect on disk height. *J Manipulative Physiol Ther* 2000;23:483-489
42. Hughes RJ, Saifuddin A. Imaging of lumbosacral transitional vertebrae. *Clin Radiol* 2004;59:984-991

43. Hughes RJ, Saifuddin A. Numbering of lumbosacral transitional vertebrae on MRI: role of the iliolumbar ligaments. *AJR Am J Roentgenol* 2006;187:W59-65
44. Ichihara K, Taguchi T, Hashida T, et al. The treatment of far-out foraminal stenosis below a lumbosacral transitional vertebra: a report of two cases. *J Spinal Disord Tech* 2004;17:154-157
45. Izci Y, Apaydin O, Ozdem T, Cerrahoglu K. The bony malformations of lumbosacral junction and sacrum: case reports and literature review. *Tohoku J Exp Med* 2003;201:277-281
46. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994;19:1611-1618
47. Jonsson B, Stromqvist B, Egund N. Anomalous lumbosacral articulations and low-back pain. Evaluation and treatment. *Spine (Phila Pa 1976)* 1989;14:831-834
48. Junghanns H. Der Lumbosakralwinkel. *Dtsch Zschr Chir* 1929:322-340
49. Kanchan T, Shetty M, Nagesh KR, Menezes RG. Lumbosacral transitional vertebra: clinical and forensic implications. *Singapore Med J* 2009;50:e85-87
50. Kim JT, Bahk JH, Sung J. Influence of age and sex on the position of the conus medullaris and Tuffier's line in adults. *Anesthesiology* 2003;99:1359-1363
51. Kim YH, Lee PB, Lee CJ, et al. Dermatome variation of lumbosacral nerve roots in patients with transitional lumbosacral vertebrae. *Anesth Analg* 2008;106:1279-1283, table of contents
52. Kornreich L, Hadar H, Sulkes J, et al. Effect of normal ageing on the sites of aortic bifurcation and inferior vena cava confluence: a CT study. *Surg Radiol Anat* 1998;20:63-68

53. Lanier RR. The presacral vertebrae of American white and Negro males. *Am J Phys Anthropol* 1939;25:341-417
54. Lanier RR. Some factors to be considered in the study of lumbosacral fusion. *Am J Phys Anthropol* 1954;12:363-367
55. Lax S, Reimann R, Thiel W. Der lumbosakrale Übergang: Morphologische Variationen und ihre funktionelle Bedeutung. *Gegenbaurs Morphol Jahrb* 1988;134:497-527
56. Leboeuf C, Kimber D, White K. Prevalence of spondylolisthesis, transitional anomalies and low intercrestal line in a chiropractic patient population. *J Manipulative Physiol Ther* 1989;12:200-204
57. Lee CH, Park CM, Kim KA, et al. Identification and prediction of transitional vertebrae on imaging studies: anatomical significance of paraspinal structures. *Clin Anat* 2007;20:905-914
58. Lee CH, Seo BK, Choi YC, et al. Using MRI to evaluate anatomic significance of aortic bifurcation, right renal artery, and conus medullaris when locating lumbar vertebral segments. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:1295-1300
59. Lipshutz B. A Composite Study of the Hypogastric Artery and Its Branches. *Ann Surg* 1918;67:584-608
60. Luboga S. Supernumerary lumbar vertebrae in human skeletons at the Galloway Osteological Collection of Makerere University, Kampala. *East Afr Med J* 2000;77:16-19
61. Luk KD, Ho HC, Leong JC. The iliolumbar ligament. A study of its anatomy, development and clinical significance. *J Bone Joint Surg Br* 1986;68:197-200
62. Luoma K, Vehmas T, Raininko R, Luukkonen R, Riihimaki H. Lumbosacral transitional vertebra: relation to disc degeneration and low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:200-205
63. MacGibbon B, Farfan HF. A radiologic survey of various configurations of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1979;4:258-266

64. MacLean JG, Tucker JK, Latham JB. Radiographic appearances in lumbar disc prolapse. *J Bone Joint Surg Br* 1990;72:917-920
65. Malanga GA, Cooke PM. Segmental anomaly leading to wrong level disc surgery in cauda equina syndrome. *Pain Physician* 2004;7:107-110
66. Marks RC, Thulbourne T. Infiltration of anomalous lumbosacral articulations. Steroid and anesthetic injections in 10 back-pain patients. *Acta Orthop Scand* 1991;62:139-141
67. McCulloch JA, Waddell G. Variation of the lumbosacral myotomes with bony segmental anomalies. *J Bone Joint Surg Br* 1980;62-B:475-480
68. Milicic G, Krolo I, Vrdoljak J, et al. Using magnetic resonance imaging to identify the lumbosacral segment in children. *Coll Antropol* 2006;30:55-58
69. Mitchell GAG. The significance of lumbosacral transitional vertebra. *British Journal of Surgery* 1936;24:147-158
70. Mitra R, Carlisle M. Bertolotti's syndrome: a case report. *Pain Pract* 2009;9:152-154
71. Moore B. Sacralization of the fifth lumbar vertebra. *J Bone Joint Surg* 1925;7:271-278
72. Moore K, TVN P. *The Developing Human: Clinically orientated Embryology*. 7 ed. Philadelphia: WB Saunders; 2003
73. Murtaugh K, Kean WF. The clinical assessment of transitional vertebrae and back pain. *Inflammopharmacology* 2008;16:278-283
74. Nachemson A. Towards a better understanding of low-back pain: a review of the mechanics of the lumbar disc. *Rheumatol Rehabil* 1975;14:129-143
75. Nakipoglu GF, Karagoz A, Ozgirgin N. The biomechanics of the lumbosacral region in acute and chronic low back pain patients. *Pain Physician* 2008;11:505-511

76. Needles J. The caudal level of the termination of the spinal cord in American whites and American negroes. *Anat Rec* 1935;63:325-425
77. Nicholson AA, Roberts GM, Williams LA. The measured height of the lumbosacral disc in patients with and without transitional vertebrae. *Br J Radiol* 1988;61:454-455
78. O'Driscoll CM, Irwin A, Saifuddin A. Variations in morphology of the lumbosacral junction on sagittal MRI: correlation with plain radiography. *Skeletal Radiol* 1996;25:225-230
79. Oguz H, Akkus S, Tarhan S, Acikgozoglul S, Kerman M. Measurement of spinal canal diameters in young subjects with lumbosacral transitional vertebra. *Eur Spine J* 2002;11:115-118
80. Otani K, Konno S, Kikuchi S. Lumbosacral transitional vertebrae and nerve-root symptoms. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83:1137-1140
81. Ozkan U, Oguzkurt L, Tercan F, et al. Renal artery origins and variations: angiographic evaluation of 855 consecutive patients. *Diagn Interv Radiol* 2006;12:183-186
82. Pate D. Stability of the Lumbar Spine. *Dynamic Chiropractic* 1991;9
83. Peh WC, Siu TH, Chan JH. Determining the lumbar vertebral segments on magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24:1852-1855
84. Pekindil G, Pekindil Y, Sarikaya A. Degenerative lumbosacral transitional articulation: atypical increased sacral uptake on planar bone scintigraphy. *Clin Nucl Med* 2002;27:840-841
85. Pekindil G, Sarikaya A, Pekindil Y, Gultekin A, Kokino S. Lumbosacral transitional vertebral articulation: evaluation by planar and SPECT bone scintigraphy. *Nucl Med Commun* 2004;25:29-37
86. Peterson CK, Bolton J, Hsu W, Wood A. A cross-sectional study comparing pain and disability levels in patients with low back pain with and without

- transitional lumbosacral vertebrae. *J Manipulative Physiol Ther* 2005;28:570-574
87. Pool-Goudzwaard AL, Kleinrensink GJ, Snijders CJ, Entius C, Stoeckart R. The sacroiliac part of the iliolumbar ligament. *J Anat* 2001;199:457-463
  88. Postacchini F, Urso S, Ferro L. Lumbosacral nerve-root anomalies. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:721-729
  89. Quinlan JF, Duke D, Eustace S. Bertolotti's syndrome. A cause of back pain in young people. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88:1183-1186
  90. Ralston MD, Dykes TA, Applebaum BI. Verification of lumbar vertebral bodies. *Radiology* 1992;185:615-616
  91. Reimann AF, Anson B. Vertebral level of termination of the spinal cord with a report of a case of sacral cord. *Anat Rec* 1944;88:127-138
  92. Rohen J. *Funktionelle Neuroanatomie*. 6. Auflage ed. Stuttgart: Schattauer; 2001
  93. Rucco V, Basadonna PT, Gasparini D. Anatomy of the iliolumbar ligament: a review of its anatomy and a magnetic resonance study. *Am J Phys Med Rehabil* 1996;75:451-455
  94. Saifuddin A, Burnett SJ, White J. The variation of position of the conus medullaris in an adult population. A magnetic resonance imaging study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1998;23:1452-1456
  95. Santavirta S, Tallroth K, Ylinen P, Suoranta H. Surgical treatment of Bertolotti's syndrome. Follow-up of 16 patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 1993;112:82-87
  96. Santiago FR, Milena GL, Herrera RO, Romero PA, Plazas PG. Morphometry of the lower lumbar vertebrae in patients with and without low back pain. *Eur Spine J* 2001;10:228-233



97. Schiebler T. Anatomie. 9. Auflage; Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 2005
98. Seyfert S. Dermatome variations in patients with transitional vertebrae. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1997;63:801-803
99. Shore LR. Abnormalities of the vertebral column in a series of skeletons of Bantu natives of South Africa. *J Anat* 1930;64:206-238
100. Southworth JD, Bersack SR. Anomalies of the lumbosacral vertebrae in 550 individuals without symptoms referable to the low back. *Am J Roentgenol Radium Ther* 1950;64:624-634
101. Spirnak JP, Nieves N, Betz TA. Identification of vascular anatomy on sagittal scout MR images. *Radiology* 1995;194:285-288
102. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, et al. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1982;7:335-342
103. Steinberg EL, Luger E, Arbel R, Menachem A, Dekel S. A comparative roentgenographic analysis of the lumbar spine in male army recruits with and without lower back pain. *Clin Radiol* 2003;58:985-989
104. Stempel von, Archibald. Die Wirbelsäule. Stuttgart, New York: Thieme; 2001
105. Taskaynatan MA, Izci Y, Ozgul A, et al. Clinical significance of congenital lumbosacral malformations in young male population with prolonged low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30:E210-213
106. Tertti MO, Salminen JJ, Paajanen HE, Terho PH, Kormano MJ. Low-back pain and disk degeneration in children: a case-control MR imaging study. *Radiology* 1991;180:503-507
107. Tini PG, Wieser C, Zinn WM. The transitional vertebra of the lumbosacral spine: its radiological classification, incidence, prevalence, and clinical significance. *Rheumatol Rehabil* 1977;16:180-185

108. Tsou PM, Yau A, Hodgson AR. Embryogenesis and prenatal development of congenital vertebral anomalies and their classification. *Clin Orthop Relat Res* 1980;211-231
109. Ugokwe KT, Chen TL, Klineberg E, Steinmetz MP. Minimally invasive surgical treatment of Bertolotti's Syndrome: case report. *Neurosurgery* 2008;62:ONSE454-455; discussion ONSE456
110. Uthoff HK. Prenatal development of the iliolumbar ligament. *J Bone Joint Surg Br* 1993;75:93-95
111. van Schaik JJ, Verbiest H, van Schaik FD. Morphometry of lower lumbar vertebrae as seen on CT scans: newly recognized characteristics. *AJR Am J Roentgenol* 1985;145:327-335
112. van Tulder MW, Assendelft WJ, Koes BW, Bouter LM. Spinal radiographic findings and nonspecific low back pain. A systematic review of observational studies. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997;22:427-434
113. Vergauwen S, Parizel PM, van Breusegem L, et al. Distribution and incidence of degenerative spine changes in patients with a lumbo-sacral transitional vertebra. *Eur Spine J* 1997;6:168-172
114. Verschuyf EJ, Kaatee R, Beek FJ, et al. Renal artery origins: location and distribution in the transverse plane at CT. *Radiology* 1997;203:71-75
115. Weiner BK, Walker M, Fraser RD. Vascular anatomy anterior to lumbosacral transitional vertebrae and implications for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J* 2001;1:442-444
116. Wellik DM, Capecchi MR. Hox10 and Hox11 genes are required to globally pattern the mammalian skeleton. *Science* 2003;301:363-367
117. Wigh RE. The thoracolumbar and lumbosacral transitional junctions. *Spine (Phila Pa 1976)* 1980;5:215-222
118. Wigh RE. Classification of the human vertebral column: phylogenetic departures and junctional anomalies. *Med Radiogr Photogr* 1980;56:2-11

119. Wigh RE. The transitional lumbosacral osseous complex. *Skeletal Radiol* 1982;8:127-131
120. Wigh RE, Anthony HF, Jr. Transitional lumbosacral discs. probability of herniation. *Spine (Phila Pa 1976)* 1981;6:168-171
121. Young A, Getty J, Jackson A, et al. Variations in the pattern of muscle innervation by the L5 and S1 nerve roots. *Spine (Phila Pa 1976)* 1983;8:616-624

## 7. Danksagung

Mein Dank gilt all den Menschen, die an der Entstehung dieser Dissertation mitgewirkt haben und mich während der Arbeit daran unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Axel Stäbler, der mir dieses interessante Thema überlassen hat, mir mit Unterstützung und Anregung zur Seite stand und das Manuskript korrigiert hat.

Mein Dank gilt meinen Eltern, die mich während meiner gesamten Ausbildung unterstützt haben, während der Erstellung dieser Dissertation ständig motiviert haben und sich zu meiner Entlastung liebevoll um ihr Enkelkind gekümmert haben. Außerdem bedanke ich mich bei meinem verstorbenen Großvater, der sich gefreut hätte, den Abschluss meiner Doktorarbeit miterleben zu dürfen.

Ich bedanke mich bei meinem Lebensgefährten Andreas und meinem Sohn Philipp für ihre nicht endende Geduld und ihre vielen Vater-Sohn-Ausflüge. Zuletzt bedanke ich mich bei Dr. Ulrike Dowie und Andreas Siemek, die mir bei der Korrektur dieses Manuskripts geholfen haben.