

II. Grundlagen

1. Historischer Rückblick – Spondylodese und Osteosynthese im Bereich der Wirbelsäule

(3, 9, 10, 16, 18, 24, 37, 38, 39, 40, 49, 51, 52, 58, 59, 60, 87, 100)

Die erste Beschreibung einer inneren Stabilisierung der lumbalen Wirbelsäule reicht ein gutes Jahrhundert zurück. Im Jahre 1897 versorgte B. F. Wilkins (100) aus Ottawa in Kansas eine dislozierte Wirbelfraktur im Bereich des thorako-lumbalen Überganges mit einem um die Pedikel geschlungenen Silberdraht.

Nach diesem Beispiel wendete Berthold Hadra 1891 (37) erfolgreich Drahtcerclagen bei der Versorgung von cervicalen Frakturen an. Fritz Lange (52) aus München verwendete 1909 bei eigenen Versuchen einer Wirbelsäulenstabilisierung erstmals Metallstangen, die er zunächst mit Seidenfäden, später mit Drähten fixierte. Die von Henle (40) erstmals 1911 publizierte Methode, eine Knochenspanne aus der Tibia bei der Versorgung einer HWK 6 Kompressionsfraktur zu implantieren, wurde in den folgenden Jahrzehnten auf alle Wirbelsäulenabschnitte – ventral und dorsal – erweitert.

Erste Anwendungen einer transarticulären Facettenverschraubung wurden von Don King (49) aus San Francisco 1944 veröffentlicht. Die Technik einer posterioren intercorporellen Fusion unter Verwendung autologer Beckenkamminterponate wurde 1943 von Cloward (16) entwickelt.

Boucher (9) aus Vancouver stabilisierte 1959 erstmals eine Wirbelsäule transpediculär. Als neues Verfahren, das seine Hauptindikation in der operativen Korrektur von thorakalen und thorako-lumbalen Skoliosen hatte, führte Harrington (39) 1962 eine Stabilisierung mit Haken und Stäben durch.

Alternativen und Weiterentwicklungen bei der operativen Therapie der Skoliosen stellten die Spondylodeseverfahren nach Luque (59) mit sublaminären Drähten und das Verfahren nach Cotrel und Dubousset (18) mit einem stabilen Korrekturstab für die Derotation dar.

Magerl (60) beschrieb 1970 percutane und offene Verfahren einer transpediculären Fixation von Schanz-Schrauben. Die eigentliche Technik geht dabei auf Lambotte (51) zurück, der bereits 1902 den Fixateur externe einführte.

Nach der Entwicklung eines Fixateur interne durch Dick (24), wurden in der Folgezeit weitere ähnliche interne Fixationsysteme von Louis (58), Harms (38) und Roy-Camille (87) beschrieben.

Begleitend erfolgte bei zunehmender Verbreitung von Pedikelschraubenimplantaten die Entwicklung von intercorporellen Platzhaltern, sogenannten Cages (cage = Käfig). In Zusammenarbeit mit dem Veterinärmediziner Grant entwickelte Bagby (3) aufgrund klinischer Studien an Pferden einen Edelstahl-Cage und publizierte seine Ergebnisse 1988. Erste Ergebnisse mit eigenknochengefüllten Carbon-cages veröffentlichten Brantigan und Steffee 1993 (10). Die zuletzt erwähnte, sogenannte „open box“ Konfiguration setzte sich in einer mittlerweile kaum mehr überschaubaren Typenvielzahl bei unterschiedlichen Herstellern bis heute durch. In Form einer rechteckigen Rahmenkonstruktion bietet diese Form des Platzhaltes bei ausreichender Kontaktfläche zum Fusionsbett zudem die Möglichkeit, zerkleinertes Eigenknochenmaterial aus spongiösen Knochenresten des operativen Zugangsweges aufzunehmen.

Abb.1: Röntgenbild PLIF L4/5



Gegenüber dem ansonsten bei Fusionen verwendeten Eigenknochen bieten Cages den Vorteil sofortiger Stabilität im Bewegungssegment mit adäquatem Widerstand gegen die einwirkenden Scherkräfte. An Materialien werden heutzutage bei der Cage-Produktion neben den erwähnten Kohlenstoffen häufig auch Metalle, insbesondere Titan, verwendet.

Ein idealer intervertebraler cage sollte eine hohe Gewebeverträglichkeit aufweisen und röntgendurchlässig sein. Weiterhin sollte er eine hohe Primärstabilität aufweisen und sich im Lauf der Zeit selbst abbauen, wenn der körpereigene Knochen die Funktion der Abstützung übernommen hat.

Auch wenn diese ideale Form noch nicht verwirklicht werden konnte, so sind, entsprechend den unterschiedlichen Bedürfnissen und Einsatzbereichen, Cages mittlerweile in unterschiedlichsten Größen und Keilformen mit verschiedenen Winkelgraden erhältlich. Wie mittlerweile anhand diverser Studien belegt werden konnte, wird jedoch die größte Stabilität bei einer Fusionsoperation nicht nur durch die alleinige Verwendung von cages, sondern durch zusätzliche dorsale Instrumentierung erreicht.

2. Anatomische Grundlagen

a) Anatomie der Lendenwirbelsäule

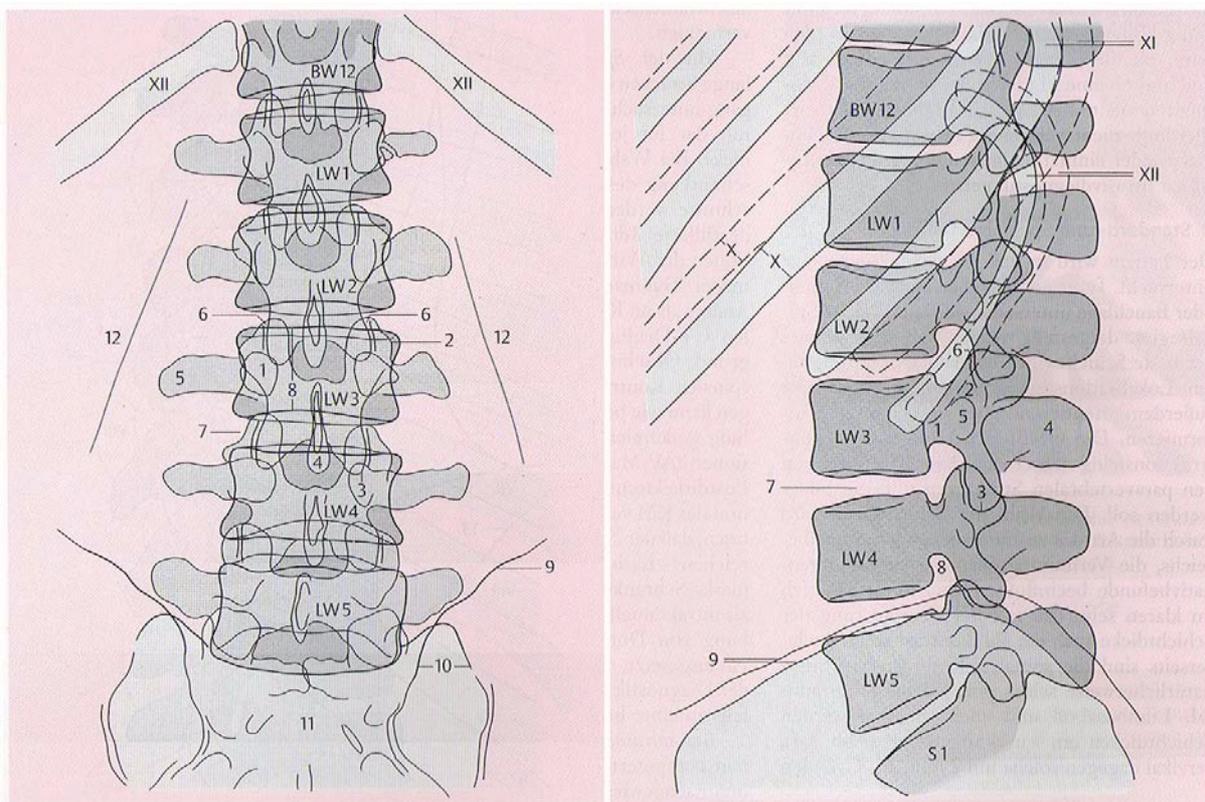
(30)

Die lumbale Wirbelsäule besteht in der Regel aus fünf freien Lendenwirbeln. Jeder Wirbel besteht aus zwei Hauptteilen: dem kurzen, zylinderförmigen Wirbelkörper (*corpus vertebrae*) und dem schlankeren, spangenartigen Wirbelbogen (*arcus vertebrae*). Wurzelstück (*pediculus arcus vertebrae*) und dorsal anschließend Seitenstück bilden die paarigen Bogenanteile, die durch das unpaare Schlußstück (*lamina arcus vertebrae*) verbunden werden. Die einander zugewendeten Aussparungen zweier benachbarter Wirbelkörper begrenzen unter- und oberhalb der Bogenwurzeln jeweils ein Zwischenwirbelloch (*foramen intervertebrale*), durch das ein Spinalnerv aus dem Wirbelkanal austritt. Das Seitenstück des Wirbelbogens trägt zwei Gelenkfortsätze, einen nach cranial gerichteten *Proc. articularis superior* und einen nach caudal vorspringenden *Proc. articularis inferior*, deren überknorpelte Gelenkfläche mit den

Gelenkflächen der angrenzenden Wirbel artikuliert. Nach lateral geht von jedem Wirbelbogen ein Querfortsatz ab. Das unpaare Schlußstück des Bogens läuft in einem median gelegenen Dornfortsatz (processus spinosus) aus, der den Wirbelkanal von dorsal überdeckt.

Wirbelkörper und Wirbelbogen begrenzen zusammen das Wirbelloch (foramen vertebrale). Der Wirbelkanal ist dabei in den verschiedenen Regionen der Wirbelsäule ungleich weit, wobei die größten Durchmesser im unteren Hals- und im oberen Lendenbereich zu finden sind.

Abb.2: Anatomie der Lendenwirbelsäule



- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 Bogenwurzel von LWK 3 | 7 Discus intervertebralis |
| 2 Oberer Gelenkfortsatz von LWK 3 | 8 Wirbelkörperhöhe mit oberer u. unterer Begrenzung |
| 3 Unterer Gelenkfortsatz von LWK 3 | 9 Crista iliaca |
| 4 Dornfortsatz von LWK 3 | 10 Iliosakralgelenk |
| 5 Processus costarius (Querfortsatz) | 11 Kreuzbein |
| 6 Zwischenwirbelgelenk | 12 Psoasrand |

Die Spongiosabälkchen der Wirbelkörper sind vorwiegend vertikal und horizontal ausgerichtet. Ihre Anordnung und Dichte entspricht den in Modellversuchen nachgewiesenen Hauptspannungsrichtungen und der Beanspruchungsverteilung.

Die auf axialen Druck beanspruchten Körper der präsakralen Wirbel sind funktionell angepaßt. Sie nehmen von cranial nach caudal an Höhe und Flächengröße zu. Beim fünften Lendenwirbel und ersten Kreuzwirbel ist die Vorderfläche höher als die Hinterfläche. Beide Wirbelkörper und die sie verbindende Bandscheibe sind keilförmig konfiguriert. Durch die angedeutete Keilform auch der übrigen lumbalen Bandscheiben beschreibt die Lendenwirbelsäule physiologischerweise eine Lordose.

Insbesondere für den fünften Lendenwirbelkörper besteht daher schon anatomisch bedingt in der relativ beweglichen Lumbosakralverbindung die Gefahr, auf der gegen die Horizontale um etwa 35° nach ventral geneigten Kranialfläche des ersten Sakralwirbels nach vorne abzugleiten.

Die Wirbelkörper stehen durch faserknorpelige Zwischenwirbelscheiben, die Wirbelbögen über Gelenkfortsätze sowie jeweils durch Bandzüge miteinander in Verbindung. Die Bandscheiben bestehen aus dem Faserring (anulus fibrosus), der sich aus konzentrisch geschichteten Bindegewebslamellen und Faserknorpel zusammensetzt und dem zentral gelegenen Gallertkern (nucleus pulposus), der vornehmlich aus Chondromukoid-Gallerten besteht. Außer durch die Zwischenwirbelscheiben werden die Wirbelkörper durch ein vorderes (Lig. longitudinale anterius) und ein hinteres Längsband (Lig. longitudinale posterius) verbunden.

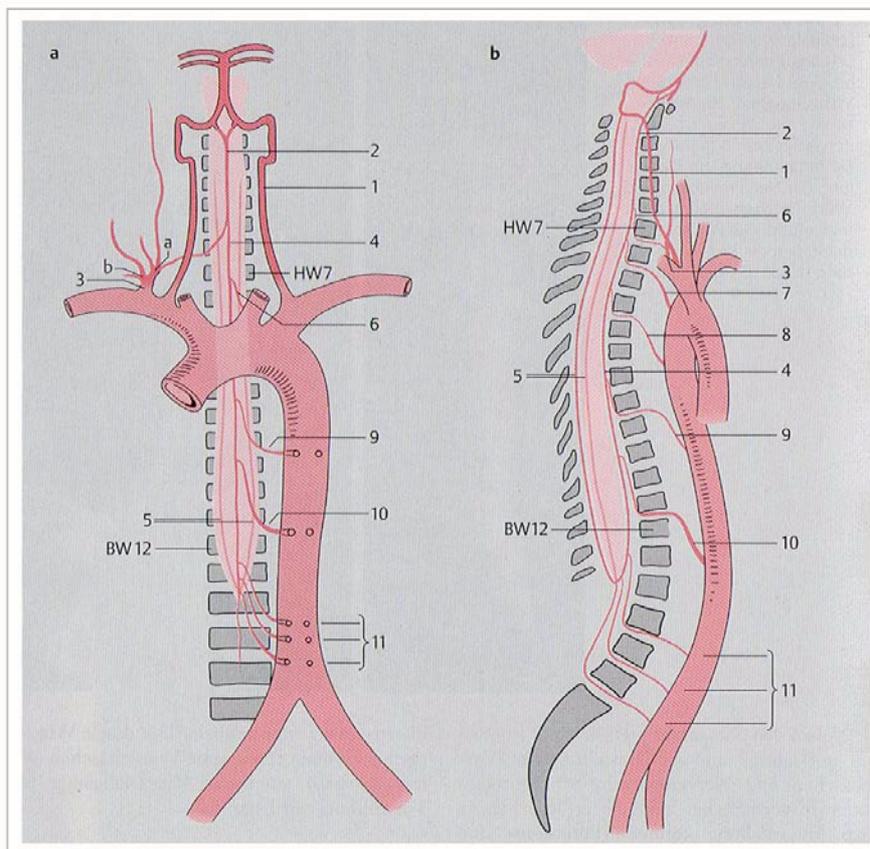
Die Wirbelbögen der Lendenwirbelsäule stehen in den Wirbelbogengelenken und zwischen den Wirbelbögen durch Bandstrukturen untereinander in Verbindung. Der ligamentäre Apparat besteht aus den elastischen Fasern der sogenannten gelben Bänder (Ligg. flava), den Bändern zwischen den Dornfortsätzen (Ligg. interspinalia), einem Band über den Dornfortsätzen (Lig. supraspinale) und schwachen Bandzügen zwischen den Querfortsätzen (Ligg. intertransversaria).

Die Muskulatur im dorsalen Bereich der Wirbelsäule besteht im wesentlichen aus der autochthonen Rückenmuskulatur. Sie wird im Gegensatz zur übrigen somatischen Muskulatur von den Rr. dorsales der Spinalnerven innerviert und in ihrer Gesamtheit als M. erector spinae bezeichnet. Beim M. erector spinae wird ein medialer von einem lateralen Trakt unterschieden. Der mediale Trakt wird gebildet vom relativ schwach ausgeprägten spinalen System, bestehend aus dem M. spinalis und den Mm. interspinales und dem kräftigen transversospinalen System, das sich im wesentlichen

aus dem M. transversospinalis, den Mm. rotatores, dem M. multifidus und dem M. semispinalis zusammensetzt. Der laterale Trakt besteht aus den Mm. intertransversarii posteriores, dem M. obliquus capitis superior sowie dem sakrospinalen und dem spinotransversalen System. Das sakrospinale Muskelsystem setzt sich dabei aus dem M. iliocostalis und dem M. longissimus zusammen, das spinotransversale System besteht nur aus dem M. splenius.

Die arterielle Versorgung der Wirbelsäule erfolgt aus Ästen segmentaler Arterien der betreffenden Region. Die Lendenwirbelsäule wird dabei durch Äste der Aa. lumbales und iliolumbalis, das Kreuzbein durch Äste der Aa. sacralis lateralis und sacralis mediana versorgt. Äste des periostalen Gefäßnetzes versorgen den Knochen. Hierbei sichern Anastomosennetze auf der Vorderseite der Wirbelkörper sowie Längs- und Queranastomosen auf ihrer Hinterfläche und im Bogenbereich einen ausreichenden Kollateralkreislauf. Die durch die Foramina nutritia eintretenden Gefäße versorgen das Knochenmark. Die Versorgung der gefäßlosen Bandscheiben erfolgt durch Diffusion aus dem Spongiosabereich der Wirbelkörper.

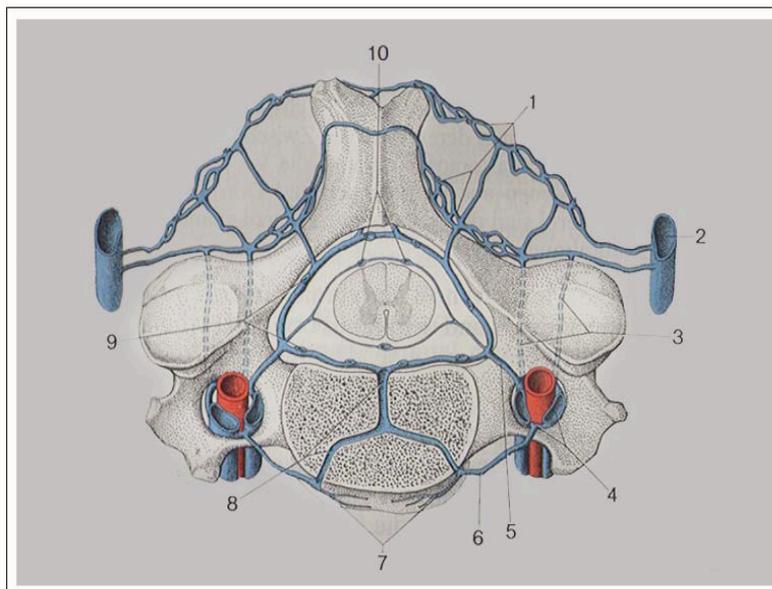
Abb.3: Gefäßversorgung des Rückenmarks (arteriell)



- a Ansicht von vorn**
b Ansicht von der Seite
- 1 A. vertebralis
 - 2 Oberer Ursprung der A. spinalis ant.
 - 3 a, b**
 Truncus thyrocervicalis
 Truncus costocervicalis
 - 4 A. spinalis ant.
 - 5 Aa. spinalis posteriores
 - 6-11** Aa. radicales
 - 10** A. radicularis magna (Adamkiewicz)

Das Venenblut wird aus den Wirbeln über die klappenlosen Plexus venosi vertebrales externi und interni abgeleitet und von dort den Vv. vertebrales und lumbales, sowie über den Plexus venosus sacralis der V. sacralis mediana und den Vv. sacrales laterales zugeführt. Zusätzlich beteiligt am venösen Rückstrom sind der Plexus venosus vertebralis externus anterior an der Vorderseite der Wirbelkörper und der Plexus venosus vertebralis externus posterior im Bereich der Wirbelbögen. Die Wirbelvenenplexus können Blut sowohl an die obere als auch an die untere Hohlvene abgeben. Da der Blutstrom in den Plexus nicht durch Venenklappen gerichtet ist, stellen sie somit auch wichtige Umgehungsstraßen bei Abflußbehinderungen im Bereich der V. cava und des Azygossystemes dar.

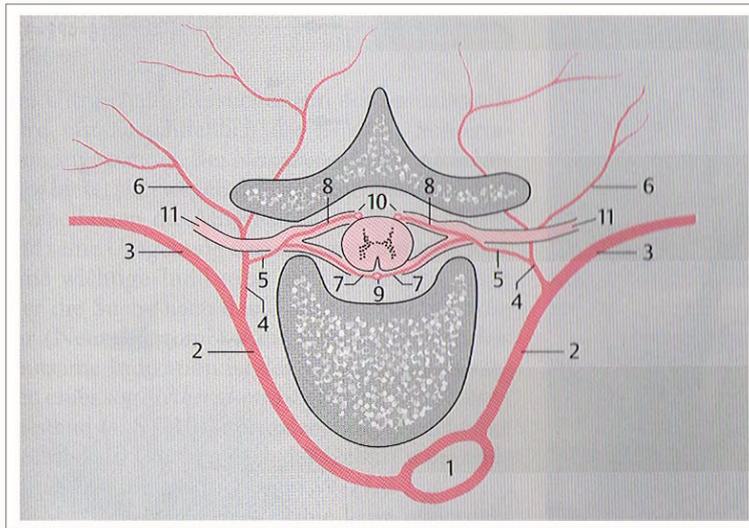
Abb.4: Gefäßversorgung des Rückenmarks (venös)



- 1 Plexus venosus vert. extern.post.
- 2 V.cervicalis profunda
- 3 Segmentale Zuflüsse zur V.vertebralis aus dem Plexus venosus vert. ext. post.
- 4 Vv. Vertebrales
- 5 Segmentaler Zufluß zur V.vertebralis aus den Plexus venosi vert. int.
- 6 Segmentaler Zufluß zur V.vertebralis aus dem Plexus venosus vert. ext. ant.
- 7 Plexus venosus vert. ext.ant.
- 8 Vv. Basivertebrales
- 9 Plexus venosus vert. int.
- 10 Vv. spinales

Die Hinterfläche der Wirbelkörper und alle übrigen Abschnitte des Spinalkanals werden, ebenso wie die Gelenkkapseln der Wirbelbogengelenke, von Ästen des R. meningeus der Spinalnerven versorgt, der durch das Foramen intervertebrale in den Wirbelkanal eintritt.

Abb.5: Gefäßversorgung des Rückenmarks (arteriell)



- 1 Aorta
- 2 A. intercostalis
- 3 Ast der A. intercostalis zur Thoraxwand
- 4+5 Aa. radicales
- 6 Muskeläste
- 7 Vorderer Ast der A. radiculomedullaris
- 8 Hinterer Ast der A. radiculomedullaris
- 9 A.spinalis anterior
- 10 Aa. spinalis posteriores
- 11 N. spinalis

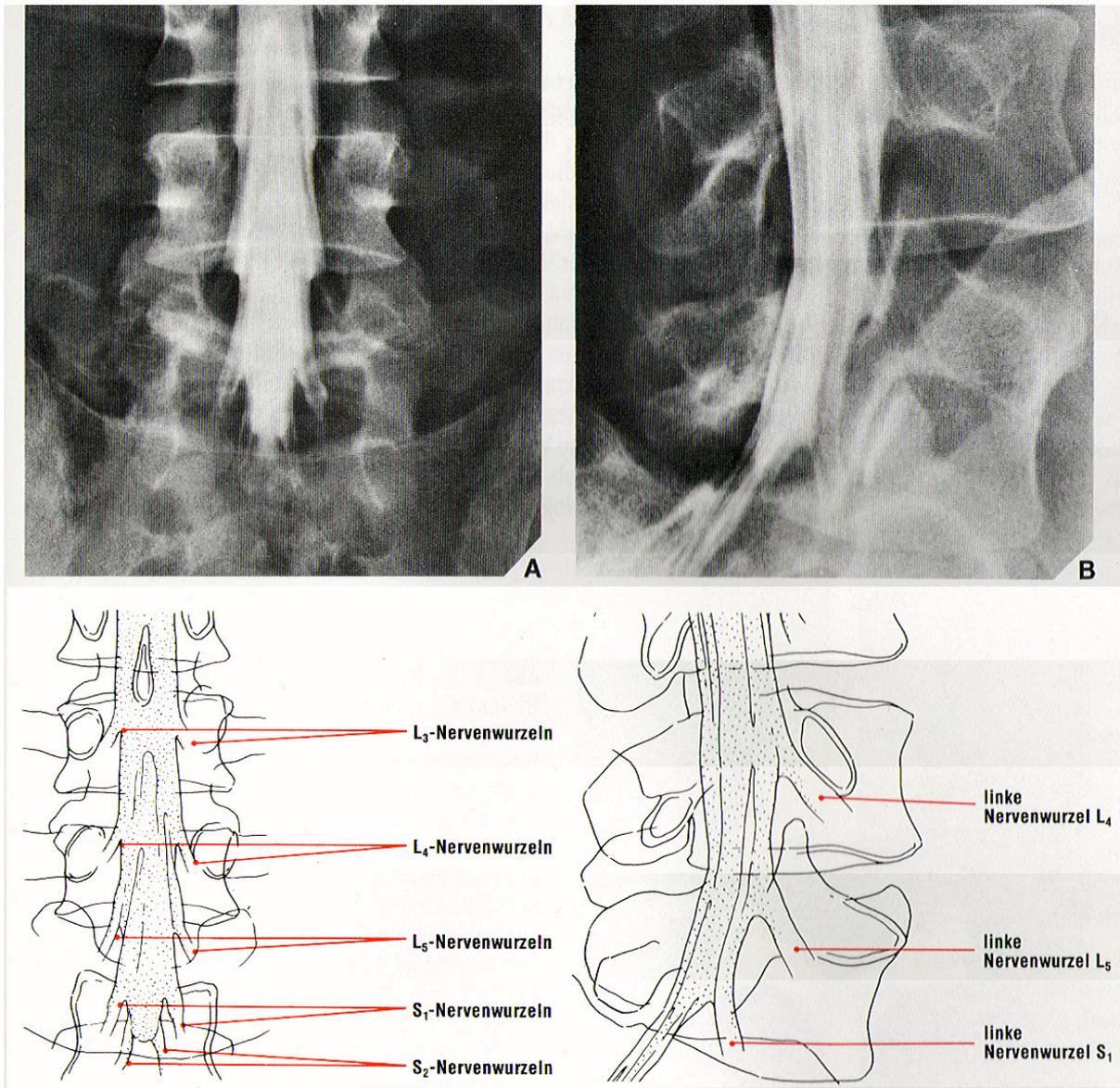
Der Wirbelkanal steht cranial über das Foramen magnum mit der Schädelhöhle in Verbindung und reicht caudal bis zum Hiatus sacralis. Im Wirbelkanal befindet sich der aus den längs verlaufenden Bindegewebszügen der Dura mater spinalis gebildete Duralschlauch. Er wird von der Wand des Wirbelkanals durch den Epiduralraum (Cavitas epiduralis) getrennt und endet ca. in Höhe des zweiten oder dritten Sakralwirbels. Die caudale Fortsetzung des Duralschlauchs, das Filum spinale, heftet sich meist am zweiten Steißwirbel fest.

Sackförmige Fortsätze des Duralschlauchs ziehen zu den Foramina intervertebralia und schließen die Spinalwurzeln ein. Im Epiduralraum bilden lockeres, faseriges Bindegewebe, Fettgewebe und Venengeflechte ein Schutzpolster für den Inhalt des Spinalkanals.

Die Arachnoidea des Rückenmarks ist extrem kapillararm, nervenfrei und liegt mit ihrem äußeren Blatt der Dura unmittelbar an. Die Pia mater spinalis als nerven- und gefäßreiche Bindegewebsschicht liegt der gliösen Grenzmembran des Rückenmarks auf. Durch das als Halteeinrichtung des Rückenmarks dienende Lig. denticulatum steht die Pia mater mit der Dura in Verbindung.

Der Subduralraum des Rückenmarks kommuniziert cranial mit dem Subduralraum des Gehirns, enthält den Liquor cerebrospinalis und endet wie der Duralschlauch in Höhe des zweiten Sakralwirbels.

Abb.6 : Lumbale Myelographie



Das Rückenmark, beim Erwachsenen ca. 45 cm lang, endet mit dem zugespitzten Conus medullaris in Höhe des ersten bis zweiten Lendenwirbels. Der Conus medullaris setzt sich in das fadenförmige Filum terminale fort, das sich bis zur Hinterfläche des Steißbeins verfolgen lässt.

Die 31 paarigen Spinalnerven entstehen jeweils aus der Vereinigung der vorderen und hinteren Wurzel zum Truncus nervi spinalis im Foramen intervertebrale.

Unmittelbar proximal der Vereinigungsstelle ist die hintere Wurzel zum Spinalganglion verdickt. Die vordere Wurzel ist rein motorisch, die hintere Wurzel überwiegend sensibel, der Spinalnerv somit nach seiner Faserzusammensetzung gemischt.

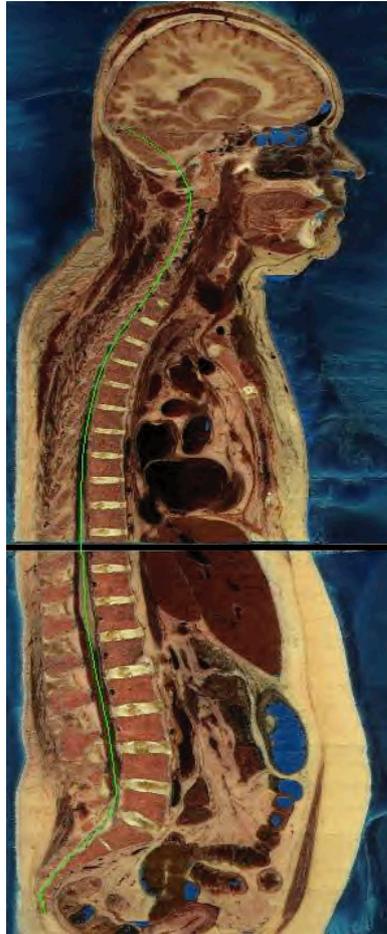
Die Wurzeln der Spinalnerven, die ursprünglich annähernd horizontal zu den Foramina intervertebralia ziehen, verlaufen beim Erwachsenen, etwa ab dem fünften Cervicalnerven, zunächst schräg und dann zunehmend steiler eine immer längere Strecke im Wirbelkanal abwärts, um das entsprechende Foramen intervertebrale zu erreichen. Caudal vom ersten Lendenwirbel ziehen Vorder- und Hinterwurzeln dicht gedrängt um das Filum terminale abwärts und bilden die Cauda equina.

b) Topographie (26,30,36,85)

Anhand der anatomischen Gegebenheiten lassen sich schon Rückschlüsse auf potentielle Komplikationsmöglichkeiten ziehen. Insbesondere bei Gefäß-, Nerven- und Organschädigungen, aber auch bei epiduralen Hämatomen erklären sich oftmals die klinischen Auswirkungen durch die topographische Lage der einzelnen anatomischen Strukturen. Im Bereich der lumbalen Wirbelsäule sind neben Spinalnerven und Duralschlauch insbesondere Aorta, Vena cava, Arteria und Vena iliaca communis und interna, als auch Ureter und Ileum verletzungsgefährdet (siehe hierzu auch Abb. Nr. 7).

Die Aorta verläuft als Pars descendens aortae nach dem Durchtritt durch den Hiatus aorticus auf der Vorderfläche der Lendenwirbelkörper leicht nach links verschoben. Im Bereich des unteren Anteils des vierten Lendenwirbelkörpers gabelt sie sich in die rechte und linke Arteria iliaca communis. Die Arteria iliaca communis zieht am medialen Rand des Musculus psoas unter dem Peritoneum ein kurzes Stück abwärts vor das Sakroiliacalgelenk und teilt sich wiederum in die Arteria iliaca interna und externa auf.

Abb.7 : Topographie gefährdeter Strukturen bei PLIF-Operationen
(siehe Text)



Rechts neben der Aorta verläuft die Vena cava. Die Vena cava inferior entsteht aus ihren beiden Ursprungsvenen, der Vena iliaca dextra und sinistra, rechts vor dem vierten bzw. fünften Lendenwirbelkörper. Ihre Aufteilung entspricht damit in Bezug auf die Höhenlokalisation ihrer Bifurkation in etwa der Aorta. Die Vena iliaca communis entsteht dorsal und medial von der Arteria iliaca communis aus dem Zusammenfluß der Vena iliaca interna und externa. Bei Frauen und älteren Menschen mit Aortenelongationen können die genannten Teilungsstellen jedoch auch tiefer liegen (30).

Die Ureter verlaufen nach ihrem Abgang am Nierenhilus retroperitoneal dorsal hinter den Blutgefäßen und ziehen annähernd parallel zu den Enden der Procc. costarii der Lendenwirbel schräg über die Faszie des M.psoas hinweg. In Höhe L4/5 kreuzen sie die Arteria und Vena iliaca communis und münden, bei weiterem medialen Verlauf auf dem ligamentären Apparat der Wirbelsäule, schließlich im kleinen Becken in die Harnblase.

Das Ileum füllt mit seinen Schlingen den rechten und unteren Teil des Unterbauchs aus und reicht bis ins Becken. Ungefähr in Höhe L5/S1 liegt das Ileum unmittelbar vor der Wirbelsäule. Durch erhöhten intraabdominellen Druck, z.B. bedingt durch die Operationslagerung, wird es an die Wirbelsäule gepresst, wodurch bei einer instrumentellen Perforation des Ligamentum longitudinale auch eine Darmverletzung möglich wird.

Der Pediculus arcus vertebrae liegt in enger Nachbarschaft zum Duralschlauch und der austretenden Spinalwurzel. Nach den Untersuchungen von Ebraheim et al. (26) weist die interpediculäre Distanz dabei von cranial nach caudal eine leichte Zunahme von 23.5 mm bei LWK 2, bis auf 24,4 mm bei LWK 5 auf. Der Wurzelabgangswinkel zeigt im Bereich der Lendenwirbelsäule den kleinsten Wert mit 33.7 Grad bei der Wurzel L2 und den größten Wert mit 39.2 Grad bei der Wurzel L5.

Die transversalen Durchmesser der lumbalen Pedikel zeigen eine Variationsbreite von 7.4 mm beim LWK 2 bis zu 18.3 mm beim LWK 5. Aufgrund der vorliegenden anatomischen Berechnungen wird deutlich, daß der sicherste Eintrittspunkt für die Pedikelschrauben in Bezug auf die neuralen Strukturen zentral im Pedikel liegt (85).

3. Pathomorphologie und operative Therapie der Spondylolisthesen

a) Biomechanik der lumbosakralen Wirbelsäule

(94)

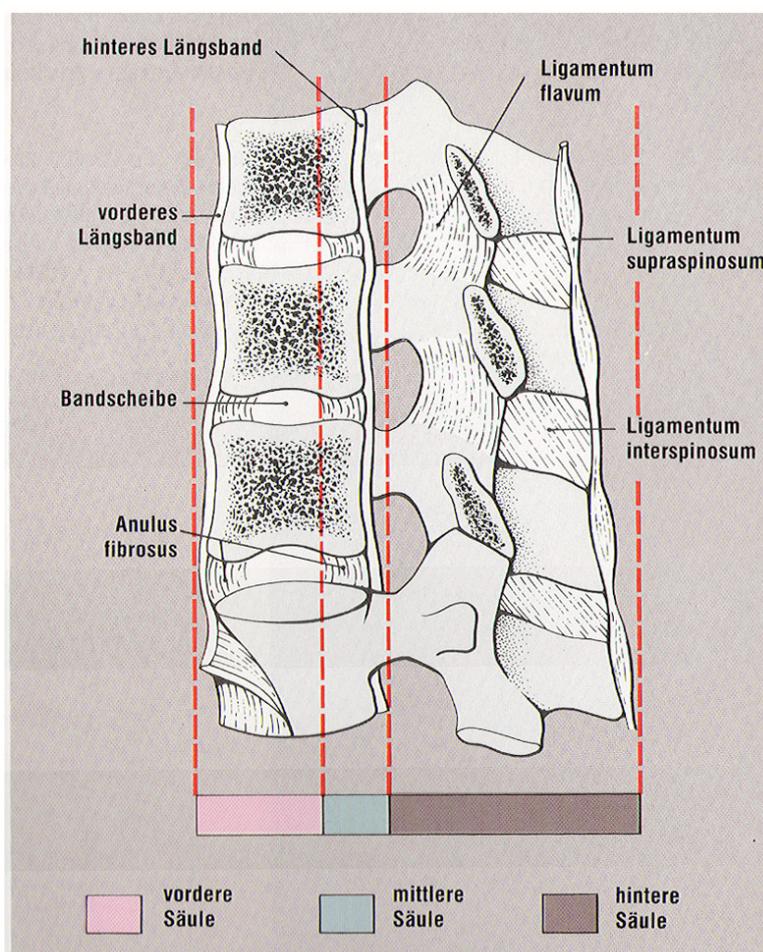
Die unteren Wirbelsäulensegmente, insbesondere der lumbosakrale Übergang, bilden einen Schwachpunkt im Bereich der Wirbelsäulenstatik. Bedingt durch die Neigung des Kreuzbeinplateaus ergibt sich die Tendenz des LWK 5, nach vorne unten zu gleiten.

Die spezielle Architektur der Interartikularportion sowie der Facettengelenke sind speziell dazu geeignet, in Kombination mit den ventralen und dorsalen ligamentären Strukturen, diese nach vorne gerichteten Scherkräfte zu kompensieren. Auch die Konstruktion der Bandscheibe ist so gestaltet, dass nicht nur Kompressionskräfte an der ventralen Wirbelsäule abgefangen werden, sondern auch Scher- und Torsionskräfte kompensiert werden.

Der anatomische Aufbau der genannten Strukturen wird als Säulenkonzept bezeichnet und dient insbesondere in der Wirbelsäulentraumatologie zur Stabilitätsbeurteilung (siehe hierzu auch Abb. 8).

Diese passiven Kompensationsmechanismen können ihre volle Wirkung jedoch nur unter Mitwirkung und Unterstützung eines funktionierenden Zuggurtungssystems der dorsalen Muskelgruppen entfalten. Die Interaktion zwischen passiven und aktiven Mechanismen wirkt sich dabei sowohl an der anterioren wie der posterioren Wirbelsäule aus.

Abb.8: Das Säulenkonzept der Wirbelsäule



Die Beanspruchung der aktiven und passiven Zuggurtungsmechanismen, vertreten durch die dorsale Muskulatur, die Facettengelenke, die Interartikularportionen und die Ligamente, ist auch von den Flexionsmöglichkeiten jedes einzelnen Segmentes abhängig. Pathologische Bewegungsmuster erklären sich durch Degenerationen oder Defekte in diesen Strukturen.

b) Pathomechanische Veränderungen bei verschiedenen Formen von Spondylolisthesen

(64, 70, 86)

Bei der dysplastischen (kongenitalen) Spondylolisthese ist die dorsale Interartikularportion aufgrund einer angeborenen Anomalie verlängert oder dysplastisch, wobei meistens auch die Facettengelenke mit betroffen sind. Hierdurch kommt es zu einer Kyphosierung und Erhöhung der Scherkräfte sowie zu einer frühzeitigen Degeneration und Dekompensation der Bandscheibe. Gleichzeitig tritt durch die permanente Fehlbelastung frühzeitig eine Abrundung des S1-Plateaus auf, wodurch eine Erhöhung der Scherkräfte resultiert und die Kyphose verstärkt wird. Durch die kongenitale Dysplasie von Wirbelbögen und Gelenken kommt es dadurch bei dieser Form häufig zu Rotationsfehlstellungen und statischen Skoliosen (siehe auch Abb.10 A).

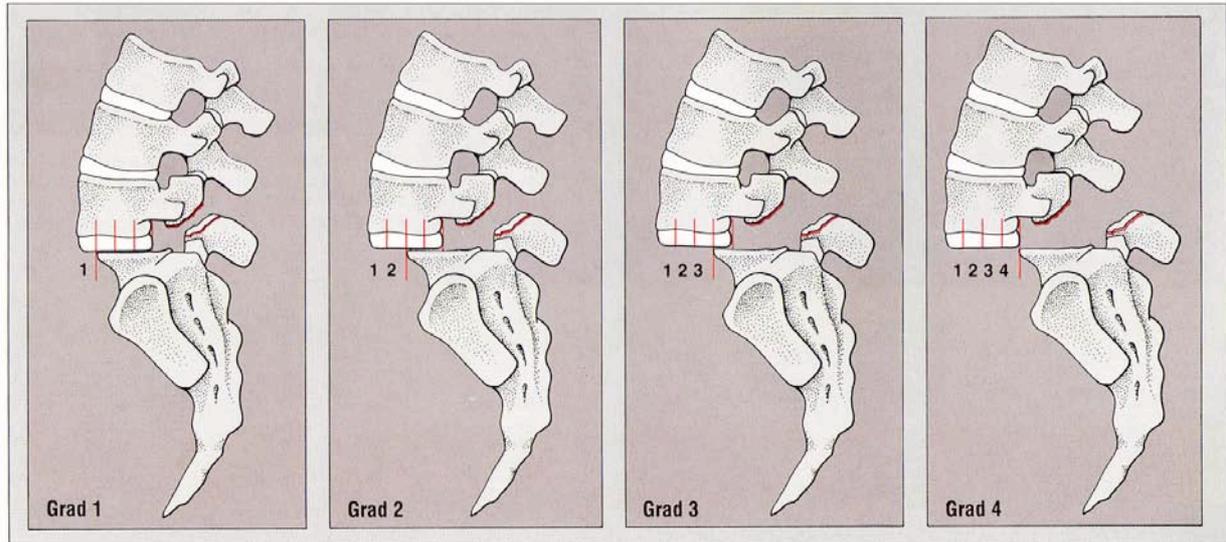
Eine isthmische (spondylolytische) Spondylolisthese ist bedingt durch einen Defekt der Interartikularportion mit daraus entstehenden Störungen bei der notwendigen Neutralisation auftretender Scherkräfte. Zunächst müssen erhaltene anatomische Strukturen sowie die intakte Bandscheibe und die als Zuggurtung wirkende dorsale Muskulatur die erhöhten Scherkräfte kompensieren. Bei ungünstiger anatomischer Schrägstellung des Sakrums versagen die erhaltenen anatomischen Strukturen oft frühzeitig und es kommt zur Degeneration der Bandscheibe mit gleichzeitiger Zunahme des Gleitvorganges und einer Dekompensation der Zuggurtungsmuskulatur.

Bei höheren Gleitgraden entwickelt sich zusätzlich eine frühe Kyphosierung im Bewegungssegment, wodurch die Scherkräfte jedoch weiter erhöht werden. Unter dem entstandenen pathologischen Druck- und Bewegungsmuster entwickelt sich eine Abrundung des Sakrums, was sowohl eine Zunahme der Kyphose und Scherkräfte bedingt. Ist eine Kompensation durch eine dadurch mittlerweile entstandene Hyperlordosierung der Lendenwirbelsäule nicht mehr möglich, kommt es zu einer Inklination des Sakrums gleichsam als letzten, wenn auch frustrierten Versuch einer Kompensation (64).

Um das Ausmaß der Spondylolisthese zu beschreiben, hat sich weitgehend die Meßmethode nach Meyerding durchgesetzt. Hierbei wird der unter dem abgeglittenen Wirbel liegende Wirbelkörper in vier gleiche Teile geteilt. Der Grad der Listhese wird

dann ausgedrückt als Anzahl der Viertel, um die der abgerutschte Wirbel zum darunterliegenden versetzt ist (siehe hierzu auch Abb.9).

Abb.9: Schweregrade der Spondylolisthese (nach Meyerding)



Erworbene Spondylolisthesen nach Trauma, Operationen (insbesondere ausgedehnten dorsalen Decompressionen mit Laminektomien unter Einschluß von großen Anteilen der Facettengelenke), Infektionen, Tumoren oder anderen knöchernen Destruktionen wie z.B. bei Neurofibromatose, Hyperthyreoidismus oder bei M.Paget, sind auf eine Mischung von Defekten im Bereich des komplexen dorsalen Zuggurtungssystems oder Dysplasien im Bereich der ventralen Anteile zurückzuführen.

Die sogenannte degenerative Form ist primär gekennzeichnet durch die Zunahme der Scherkräfte und die daraus resultierende Spondylolisthese, aufgrund einer Degeneration der entsprechenden Bandscheibe. Auch ohne eine Unterbrechung der Interartikularportion überfordert die permanente Instabilität die posterioren stabilisierenden Strukturen der Wirbelsäule (siehe Abb.10 B).

Eine wesentliche Folge aus den geschilderten degenerativen Veränderungen von Gelenkfacetten, Bandapparat, Wirbelkörper und Bandscheibe ist die Entstehung einer meist klinisch symptomatischen Spinalkanalstenose. Das Segment L4/5 ist hierbei mindestens sechsmal häufiger betroffen als die übrigen Etagen.

Im Bereich der lumbalen Wirbelsäule unterscheidet man dabei gemeinhin zwischen zwei Stenoseformen. Eine Verengung des Spinalkanals, bedingt durch eine degenerative Hypertrophie und Arthrose der Zwischenwirbelgelenke in Kombination mit einer Vorwölbung oder einem Prolaps der Bandscheibe, wird als zentrale oder globale Stenose bezeichnet.

Unter einer lateralen Stenose versteht man die knöchern oder ligamentär bedingte Einengung des Recessus lateralis unter einen kritischen Wert von 2-3 mm. Dies führt in der Regel zu einer Kompression derjenigen Nervenwurzel, die unter der nächst tieferen Bogenwurzel aus dem Foramen intervertebrale austritt.

Beim Krankheitsbild der degenerativen Spondylolisthese sind in der Regel beide Stenoseformen vereint.

4. Indikationen zur PLIF-Operation und Therapieziel

(42,61,63, 64, 68, 86)

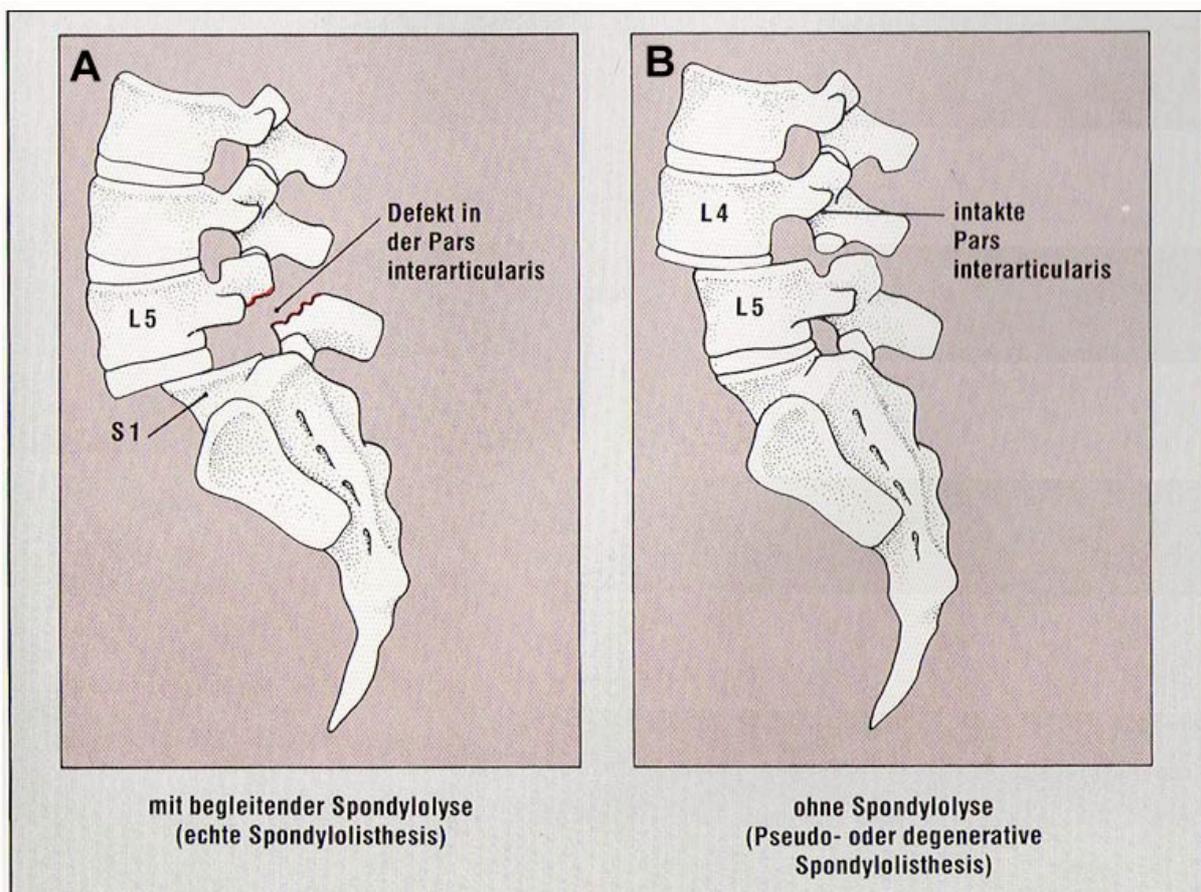
Vor jeglicher Indikationsstellung zu einer PLIF-Operation muß die Erkenntnis stehen, daß nur ein kleiner Teil der Patienten mit einer Spondylolisthese einer operativen Behandlung bedarf. Jeder erfahrene Wirbelsäulenchirurg kennt Patienten mit schweren Spondylolisthesen, die ein Leben lang asymptomatisch geblieben sind. Zusätzlich ist wohl allgemein bekannt, dass die statistisch häufigsten Ursachen lumbaler Beschwerden in der radiologischen Bildgebung sicher weniger beeindruckend wirken als eine Spondylolisthesis. Wenn daher bei einem Patienten keine eindeutigen, zur Operation zwingenden neurologischen Ausfälle bzw. Symptome bestehen und auch der Gleitweg der Listhese nicht rasch progredient zunimmt, so sollte vor jeglicher operativer Intervention erst ein ausführlicher ambulanter oder stationärer konservativer Therapieversuch unternommen werden. Erst wenn nach solchem Ablauf bei Ausschöpfung der konservativen Möglichkeiten genügend Hinweise dafür gesammelt werden konnten, dass der Patient von einer Fusionsoperation profitieren wird, sollte die Indikation zur Operation gestellt werden (61, 63, 64), wobei die Lebensqualität des Patienten einen wichtigen Faktor abgibt.

Die operative Behandlungsnotwendigkeit bei Kindern und Jugendlichen ergibt sich in erster Linie aus dem progredienten Gleitvorgang und der daraus resultierenden morphologischen Deformierung der Wirbelsäule mit Ausbildung von Skoliosen oder

Hyperlordosen, bzw. aus dem Auftreten von Veränderungen der Beckenstellung durch die Spondylolisthese mit Auswirkungen auf die Hüftgelenke und Entwicklung von Hüftgelenkskontrakturen. Therapieresistente neurologische Störungen sind ebenfalls eine zwingende Indikation zur Operation, die vornehmlich bei dysplastischen Spondylolisthesen auftreten. Auch therapieresistente Instabilitätsschmerzen als Ausdruck für die Überlastung der dorsalen Muskulatur können Anlaß zur Operation sein (42).

Bei Erwachsenen stehen bei der Indikation zur Operation in der Regel therapieresistente Schmerzen im Vordergrund, die einmal durch die zunehmende Instabilität infolge einer fortschreitenden Bandscheibendegeneration, sowie andererseits durch die degenerativen Reparationsvorgänge mit Ausbildung von funktionellen Stenosen im Bereich des Spinalkanals und Kompression der neuralen Strukturen bedingt sein können. Weitere Indikation stellen wie bei Kindern und Jugendlichen therapieresistente neurologische Störungen mit chronischen Wurzelirritationen bzw. Paresen im Bereich der unteren Extremitäten oder eine Claudicatio spinalis dar.

Abb. 10: Formen der Spondylolisthesis



Ziel der Operation ist die Wiederherstellung einer physiologischen anatomischen Stellung des instabilen Wirbelsäulensegments. Durch eine möglichst vollständige Reposition des Gleitwirbels wird der durch die Listhese bedingte pathologisch veränderte Hebelarm reduziert und der auf das entsprechende Segment einwirkende Kraftvektor in eine physiologische Ausrichtung gebracht. Die pathologisch veränderte dorsale Zuggurtung wird dadurch normalisiert. Um die nach erfolgter Reposition wiederum physiologisch wirkenden axialen Kräfte zu neutralisieren, muss konsequenterweise auch die sogenannte ventrale Instabilität, als Ausdruck der bestehenden Bandscheibendegeneration, durch eine Diskektomie mit anschließender Auffüllung des Intervertebralraumes durch Knochen oder einen Cage beseitigt werden. Nach Möglichkeit soll bei einer soliden Fusion des instabilen Segmentes die physiologische intersomatische Distanz der betreffenden Wirbelkörper rekonstruiert werden. Gleichzeitig soll eine suffiziente Dekompression der nervalen Strukturen erzielt werden. Die zusätzlich erfolgende dorsale Instrumentierung dient als Garant dafür, die neu geschaffene, korrigierte, möglichst korrekte anatomische und biomechanische Situation zu erhalten (61,63, 64, 86).

5. Präoperative radiologische Diagnostik

(68, 86)

Als radiologische Basisdiagnostik vor PLIF-Operationen werden in der Neurochirurgischen Abteilung des Zentralklinikums Augsburg neben einer Übersichtsaufnahme der Lendenwirbelsäule (LWS) in zwei Ebenen (a.p. und seitlich), Funktionsaufnahmen der LWS im seitlichen Strahlengang in maximaler In- und Reklination, soweit möglich im Stehen und eine Computertomographie (CT) der betroffenen Segmente in axialer Schichtführung mit einer Schichtdicke von maximal drei Millimetern durchgeführt.

Liegt eine komplexere Fragestellung vor, verbunden mit der Notwendigkeit z.B. das Ausmaß einer spinalen Stenose oder eine klinisch bestehende Wurzel-Kompressions-symptomatik auch in der Bildgebung möglichst exakt darzustellen, erfolgt an Stelle des konventionellen LWS CT eine lumbale Myelographie mit Myelo-CT.

Eine spinale Magnetresonanztomographie (MRT) wird in der präoperativen Routinediagnostik vor Fusionsoperationen im Bereich der Lendenwirbelsäule eher selten in-

diziert. Dies liegt hauptsächlich darin begründet, daß eine MRT neben verschiedenen Vorteilen (z.B. fehlende Strahlenbelastung, Möglichkeit der multiplanaren Schichtführung, Darstellung der Gesamtübersicht der thorako-lumbalen Wirbelsäule, gute Darstellbarkeit von Weichteilen), für stets auftretende spezielle Fragestellungen weniger Informationen als eine CT-Untersuchung liefern kann. Anzumerken wäre hierbei insbesondere die schlechtere Beurteilbarkeit knöcherner Strukturen und von Verkalkungen, sowie eine Limitierung in der Darstellung und Beurteilung im Falle ausgeprägter Wirbelsäulendeformitäten.

6. Operationsverfahren und Nachbehandlung

(46, 61, 63, 64, 68, 75, 94)

Nach Bauchlagerung des Patienten mit unterpolstertem Thorax -, Becken und Kniebereich auf einem Röntgentisch mit schwimmender Platte, erfolgt die standardmäßige Inzision bei PLIF Operationen unmittelbar über den betreffenden Wirbelsäulensegmenten nach Durchleuchtungskontrolle im Verlauf der Mittellinie. Die Inzision wird dabei den Weichteilverhältnissen angepaßt und entsprechend über die jeweiligen angrenzenden Segmente ausgedehnt, um einen spannungsfreien Zugang mit ausreichender Übersicht zu gewährleisten. Nach sorgfältiger subcutaner Blutstillung erfolgt eng an den Dornfortsätzen eine beidseitige parallele Inzision der Faszia thoracolumbalis. Unter Zuhilfenahme eines Raspatoriums werden die Muskelansätze der autochthonen Rückenmuskulatur angespannt und mit einer Schere an ihrem knöchernen Ursprung abgetrennt. Durch dieses Vorgehen gelingt es, die Wirbelbögen und dorsalen Abschnitte der Wirbelsäule darzustellen, ohne die nervale und vaskuläre Versorgung der Muskulatur wesentlich zu schädigen. Mit Hilfe gefalteter feuchter Kompressen erfolgt ein weiteres Abschieben der Muskulatur und gleichzeitig die primäre Blutstillung. Die Darstellung des Operationssitus nach lateral endet dabei in der Regel an der Basis der Querfortsätze. Eine Präparation über den Rand der Wirbelgelenke hinaus wird vermieden, da es hierbei meist zu Blutungen aus Gefäßen der Rr. dorsales aa.spinales kommt (68).

In Abhängigkeit von Form und Ausprägung der Spondylolisthese erfolgt im weiteren Verlauf eine angepaßte Dekompression des Spinalkanals durch eine Laminektomie im

zu fusionierenden Segment. Gelegentlich ist jedoch auch eine Eröffnung des Spinalkanals über eine beidseitige erweiterte Fensterung unter Erhaltung der Ligg. supra- und interspinalia ausreichend. Ist der Spinalkanal eröffnet, können die Pedikel auch unter Sicht instrumentiert werden, wobei es günstig ist, den Verlauf der Spinalwurzeln einzusehen bzw. auszutasten. Die Eintrittsstellen der Pedikel werden durch Kirschnerdrähte markiert, deren Lage mittels Bildwandler in zwei Ebenen kontrolliert wird. Entlang des geplanten Schraubenverlaufs wird der Pedikel mit einem Pfriem eröffnet. Danach kann der Kanal mit einer stumpfen Sonde ausgetastet werden (63, 68).

Die Eintrittsstellen der lumbalen Pedikel findet man am Schnittpunkt einer Senkrechten durch den Processus articularis superior mit einer Horizontalen durch den Querfortsatz des gleichen Wirbelkörpers. Da der Pedikel in den venösen Blutabstrom einbezogen ist, kommt es gelegentlich nach dem Eröffnen des Pedikelkanals zu einer deutlichen venösen Blutung, die in der Regel jedoch nach Einbringen der Schraube sistiert. Unter erneuter Durchleuchtung erfolgt schließlich das Eindrehen der Pedikelschrauben. Konische Schrauben, die sich hauptsächlich im Isthmus des Pedikels fixieren, brauchen dabei nur bis zu 50-70 Prozent in den Wirbelkörper eingebracht werden. Nicht-konische Schrauben bieten erst einen festen Halt, wenn sie bis zur ventralen Wirbelkörperwand vorgetrieben werden. Seit Anfang 2000 erfolgte die Implantation der Pedikelschrauben immer häufiger auch unter Verwendung eines Neuronavigationssystems, um eine Optimierung der Schraubenplatzierung zu erzielen und dem Patienten die zum Teil doch erheblichen Strahlendosen durch wiederholt nötige intraoperative Bildwandlerkontrollen zu ersparen (94).

Als nächster Schritt erfolgt eine mediale Facettektomie unter Entfernung des Facettenanteils des abgeglittenen Wirbelkörpers. Häufig ist eine ausgedehnte Neurolyse der Spinalwurzeln nötig, die ggf. bis nach extraforaminal dargestellt werden. Im Falle einer bereits durch die Lagerung erfolgter, weitgehender spontaner Reposition des abgeglittenen Wirbelkörpers werden die Pedikelschrauben durch Fixationsstangen verbunden und zunächst nur im Bereich des stabilen Wirbels fixiert. Die Reposition der nach Lagerung und Dekompression verbliebenen Stufe erfolgt dann nach beidseitigem Ausräumen des Bandscheibenfaches durch Anziehen der Schrauben im Listhesewirbel. Sollte sich lagerungsbedingt noch keine Reposition der vorbestehenden Listhese

ergeben haben, wird als nächster Operationsschritt ein Repositionsinstrumentarium auf die eingebrachten Pedikelschrauben aufgesetzt und die noch verbliebene Stufe durch schrittweises Anziehen der Zugspindeln unter Bildwandlerkontrolle beseitigt (75).

Durch das Einbringen von genormten provisorischen Platzhaltern in den ausgeräumten Zwischenwirbelraum wird anschließend die Größe der benötigten Cages bestimmt. Die Implantation der entsprechenden Cages erfolgt dann wiederum bildwandlerkontrolliert. Dem verwendeten Instrumentarium kommt dabei die Aufgabe zu, das fusionierte Segment bis zur vollständigen knöchernen Durchbauung zu fixieren.

In den ersten Jahren der Fusionschirurgie im Bereich der Wirbelsäule im Zentralklinikum Augsburg fanden als Platzhalter für die ausgeräumte Bandscheibe zunächst ausschließlich Fremd- und Eigenknochen Verwendung. Bei zunehmender Verbreitung von Cages wurde der Knochen aus dieser Funktion jedoch, bis auf einzelne ausgewählte Indikationen (z.B. bei der operativen Behandlung einer Spondylodiscitis bedingten Listhese), mittlerweile nahezu vollkommen verdrängt. Fremdknochen findet heutzutage, nicht zuletzt auch aufgrund des Risikos einer potentiellen Infektübertragung durch allogenes Material, keine Verwendung mehr.

Nach einer abschließenden röntgenologischen Kontrolle in zwei Ebenen (p.a. und seitlich) mit anschließender Bilddokumentation des Operationsergebnisses intraoperativ, ausgiebiger Spülung des OP-Situs mit isotonischer Spülflüssigkeit und sorgfältiger Blutstillung werden in der Regel zwei Niedersog-Redondrainagen subfaszial eingelegt und extravulnär ausgeleitet. Nach Hautnahtfixation der Redondrainagen und Anlage eines sterilen Pflasterverbandes erfolgt die Umlagerung des Patienten mit nachfolgender Narkoseausleitung und Extubation noch im OP.

Die operierten Patienten werden nach Zug der intraoperativ eingelegten Redondrainagen innerhalb von zwei Tagen in einem präoperativ angepaßten Zwei-Schalen-Stützkorsett mobilisiert, das für mindestens vier Wochen bei funktioneller Belastung getragen werden soll. Nach Ablauf der vier Wochen Frist erfolgt im Rahmen eines ambulanten Termins eine erneute radiologische Kontrolle des Fusionsergebnisses. Bei regelrechter Wirbelsäulenstellung und Implantatlage schließt sich für die Phase der Korsettentwöhnung eine Anschlußheilbehandlung von mindestens vier Wochen an. Hierbei sollen zusätzlich Bewegungs-Koordination und Rumpfmuskulatur trainiert wer-

den, die sowohl durch die schmerzhaften Bewegungseinschränkungen präoperativ als auch durch die Immobilisationsphase während der Tragezeit des Korsetts gelitten haben.

III. Definition einer Komplikation

(83, 86, 105)

Das Roche Lexikon Medizin von 1999 definiert eine Komplikation folgendermaßen:

“Unter einer Komplikation versteht man jedes außerordentliche und meist mit besonderen Symptomen einhergehende Krankheitsgeschehen, das im Verlauf einer Grundkrankheit auftritt und deren Verlauf ungünstig gestaltet (86).“

Nahezu gleichlautend liest sich die Definition einer Komplikation im Pschyrembel (82). Im Wörterbuch der Medizin von 1992 steht unter Komplikation zu lesen: „im medizinischen Sprachgebrauch ein Ereignis, das eine Krankheit, Entbindung, unfallbedingte Verletzung, Operation oder andere therapeutische Maßnahmen ungünstig beeinflusst (105).“

Unterschieden werden unmittelbare Komplikationen, z.B. intraoperative Blutung und mittelbare Komplikationen, z.B. postoperative epidurale Nachblutungen.

Sicherlich kommt die letztere Definition dem Problem am nächsten, weil das Ineinanderübergehen von bestehender Krankheit und postoperativen Schwierigkeiten nicht gleichbedeutend sein muß mit einer neuen Erkrankung. Außerdem wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass Umstände, die mit dem ärztlichen Handeln direkt gar nichts zu tun haben, den Krankheitsverlauf ganz fatal beeinflussen können. So hat z.B. eine schwere Vorerkrankung wie ein langjähriger Diabetes mellitus unter Umständen deutliche Einwirkungen auf die Wundheilung und das Auftreten von postoperativen Infekten.

Führt man sich den Ablauf eines operativen Eingriffs vor Augen, bietet sich eine Einteilung in intraoperative Komplikationen, postoperative Komplikationen und Spätkomplika-tionen an. Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick zur genaueren Kennzeichnung dieser Untergruppen. Da für die vorliegende Arbeit nur wenige Daten über sogenannte Spätkomplika-tionen vorlagen, wurde der Einfachheit halber nur zwischen intraoperativen und postoperativen Komplikationen unterschieden.

Ein entscheidender Punkt bei der Definition von Komplikationen darf nicht unerwähnt bleiben. Neben der persönlichen Erfahrung des einzelnen Arztes bei der Beurteilung

und Einschätzung von Komplikationen sind die Ergebnisse von Publikationen über ein derartiges Thema enorm abhängig von der Ernsthaftigkeit und Ehrlichkeit, Komplikationen, Fehlergebnisse und unbefriedigende Heilergebnisse ungeschminkt darzustellen und die Gründe dafür gewissenhaft zu erforschen.

Dies wurde in der vorliegenden Arbeit nach bestem Wissen und Gewissen versucht. Die im Vergleich zur einschlägigen Literatur daher manchmal deutlich höhere Inzidenzrate einzelner Komplikationen ist oftmals mit der o.g. Vorgehensweise und mit einer gelegentlich weitergefassten Definition einer Komplikation im eigenen Patientenkollektiv zu erklären.

Tabelle 1: Definition von Komplikationen

1. Intraoperative Komplikationen

Darunter versteht man Komplikationen, die während einer Operation auftreten. Dazu zählen z.B. Blutungen, Nervenverletzungen, Gefäß-, Darm-, Ureterverletzungen, Duraeinrisse etc.

2. Postoperative Komplikationen

Dabei handelt es sich zum einen um operationsbedingte Komplikationen wie z.B. Liquorfisteln nach Duraverletzungen, Nachblutungen, neurologische Defizite durch übermäßige Repositionen und zum anderen um nicht operationsbedingte Komplikationen wie Lungenembolien, Thrombosen oder Myocardinfarkte. Entsprechende Vorerkrankungen bzw. eine Disposition des Patienten spielen eine wesentliche Rolle.

3. Spätkomplikationen

Diese sind auf eine Vermischung von verschiedenen intra- und postoperativen Komplikationen zurückzuführen. Hierzu gehört z.B. das Interponatversagen nach Fusionsoperationen oder das sogenannte Postdiscektomiesyndrom mit seinen vielzähligen Ursachen.