

A Einleitung

1. Definition der Skoliosen und Aufgabenstellung

Bei einer Skoliose handelt es sich um eine dauerhafte Krümmung des Achsenskeletts mit gleichzeitiger Rotation und Torsion infolge der Asymmetrie von Wirbelsäulenkomponenten.

Diese Krümmung geht einher mit zusätzlichen Veränderungen im sagittalen Wirbelsäulenprofil, wodurch die Skoliose als eine dreidimensionale Fehlbildung definiert ist. Zur Behandlung der Skoliosen existiert eine Vielzahl von sowohl konservativen als auch operativen Therapieformen.

Insbesondere in den letzten Jahrzehnten entwickelte sich gerade im Bereich der operativen Therapie eine Vielzahl unterschiedlichster Operationsmethoden und Instrumentarien zur Erzielung einer zufriedenstellenden Korrektur und Spondylodese in der Skoliogetherapie.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine kritische Auswertung der seit 1992 am Oskar-Helene-Heim-Berlin praktizierten kombiniert ventrodorsalen Spondylodese durch die „Ventrale Derotationsspondylodese“ nach Zielke und die „Dorsale Correcturspondylodese“ bei Patienten mit idiopathischen Skoliosen zu liefern.

Dieses ventrodorsal kombinierte Operationsverfahren findet im Oskar-Helene-Heim-Berlin nicht nur Anwendung bei der großen Gruppe der idiopathischen Skoliosen, die etwa 85% der Skoliosepopulation ausmacht, sondern ebenso bei Lähmungs- und Missbildungsskoliosen.

In die Auswertung des Patientenguts wurden neben den radiologischen Parametern ebenfalls klinische und psychosoziale Parameter zur Abschätzung des Operationsergebnisses mit einbezogen.

2. Einteilung der Skoliosen

2.1. Ätiologische Einteilung der Skoliosen nach der „Scoliosis Research Society“ (65)

Die ätiologische Einteilung der Skoliosen erfolgt nach einem Vorschlag der amerikanischen „Scoliosis research society“. In dieser Klassifikation werden die sogenannten strukturellen Skoliosen, das heißt solche, die sich durch eine Teilfixation der Krümmung auszeichnen, in 13 ätiologisch unterschiedliche Gruppen eingeordnet (65). Diese Teilfixation geschieht durch asymmetrische Konfiguration der Wirbelbogengelenke, Verkippung und keilförmige Veränderung der betroffenen Wirbelkörper, asymmetrische Verkürzung von Bändern und Entwicklung ungleichmäßiger Zugkräfte, bedingt durch asymmetrische Muskelansätze.

Von diesen strukturellen Skoliosen sind die nicht-strukturellen Skoliosen, die auch als „skoliotische Fehlhaltungen“ oder mit dem englischen Begriff „Postural scoliosis“ bezeichnet werden, abzugrenzen. Diese sind nur zum Teil fixiert und lassen sich daher passiv weitgehend ausgleichen. Sie sind meist durch Beinlängendifferenzen oder Schonhaltungen bei Ischialgien bedingt (36). Diese Form der Skoliosen weisen röntgenologisch keine Veränderungen der Wirbel und Zwischenwirbelscheiben auf.

Ein zusammenfassender Überblick über die ätiologische Einteilung der Skoliosen gemäß der „Scoliosis Research Society“ wird in der folgenden Tabelle Nr. 1 gegeben.

Tabelle Nr. 1:

Ätiologische Klassifizierung der strukturellen Skoliosen (65)

Hauptgruppe	Unterteilungen
Idiopathische Skoliosen	<u>infantil</u> (Manifestation der Skoliose im Alter von 0-3 Jahren), <u>juvenil</u> (Manifestation im Alter von 3-10 Jahren), <u>adoleszent</u> (Manifestation im Alter von 10 Jahren bis zum Wachstumsabschluss)
Neuromuskuläre Skoliosen	<u>neuropathisch</u> (Läsion des oberen motorischen Neurons, Läsion des unteren motorischen Neurons, Dysautonomie), <u>myopathisch</u> (Arthrogrypose, Muskeldystrophien)
Kongenitale Skoliosen	Formationsstörungen, Segmentationsstörungen, Mischformen
Skoliosen bei Neurofibromatosen	
Skoliosen bei Bindegewebserkrankungen	Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom
Skoliosen bei rheumatischen Erkrankungen	
Skoliosen nach einem Trauma im Bereich der Wirbelsäule	Fraktur, postoperative Skoliosen, Skoliosen nach Strahlentherapie
Narbenskoliosen	Skoliosen nach Pleuraempyem, nach Verbrennungen
Skoliosen bei Osteochondrodystrophien	
Skoliosen nach Infektionen	
Skoliosen bedingt durch metabolische Störungen	Rachitis, Osteogenesis imperfecta, Homozystinurie, A-Vitaminosen
Skoliosen bedingt durch Störungen des lumbosakralen Übergangs	Spondylolysen, Spondylolisthesen
Skoliosen bei und nach Wirbeltumoren	

2.2. Morphologische Einteilung der idiopathischen Adoleszentskoliosen nach King et al. (57)

Eine erste Einteilung der Gruppe der idiopathischen Skoliosen nach der Form und Lokalisation der Krümmungen erfolgte im Jahre 1905, wie Cummings berichtet, nach Schulthess (18), der fünf klinische Erscheinungsformen unterschied: 1) cervicothorakale, 2) thorakale, 3) thorakolumbale, 4) lumbale und 5) primäre kombinierte Doppelkrümmungen (thorakal und lumbal).

Wie Coonrad in einer historischen Zusammenfassung berichtet, benutzten andere Autoren wie Ponsetti und Friedmann, Stagnara und Queneau ebenfalls diese Einteilung oder verwendeten diese als Grundlage für eigene Einteilungen. Später wurde sie durch andere Autoren wie James, Moe und andere auf neun Kurventypen unter Ausschluss der seltenen beziehungsweise nicht dokumentierten cervicothorakalen Krümmung erweitert (16).

Im Jahre 1983 schließlich legten King et al. (57) eine Klassifikation von fünf Krümmungstypen vor, wobei sie sich vorwiegend für thorakale Skoliosen interessierten.

Diese King-Klassifikation fand weitgehende Anerkennung und Verbreitung. Sie beinhaltet neben der rein morphologischen Formbeschreibung der Kurve zusätzlich Operationsempfehlungen, die sich auf das Harrington-Distraktionsverfahren beziehen.

Hauptkritikpunkte an dieser Klassifikation beziehen sich vor allem auf die geringe Reproduzierbarkeit (18) und Reliabilität (62), die fehlende Unterscheidung einer thorakolumbalen von einer lumbalen Hauptkrümmung bei der King-I-Skoliose (16) sowie das Fehlen von Double- und Triple-Major-Curves in der von King vorgelegten Klassifikation (63).

Folglich strengten in den letzten Jahren Autoren wie Lonstein et al. (66), die sieben Kurventypen unterscheiden, eine Überarbeitung der King-Einteilung an. In dieser wird bei der King-I-Skoliose nunmehr eine thorakolumbale von einer wahren lumbalen Hauptkrümmung unterschieden.

Eine Erweiterung der von King vorgelegten Klassifikation wurde von Richards vorgelegt (79), der sich insbesondere für die Typ-II-Skoliose nach King interessiert. Er differenziert bei dieser heterogenen Gruppe eine Typ II-A von einer Typ II-B Kurve, wobei die erstere durch eine sehr flexible lumbale Nebenkrümmung charakterisiert ist. Die Typ-II-B-Kurve hingegen weist eine deutlich rigidere Nebenkrümmung auf, was bei selektiver thorakaler Instrumentation, wie sie für die Typ-II-Kurven von King empfohlen wurde (57), häufig zu Dekompensationen führen kann.

Mittlerweile wurden jedoch auch Versuche von Lenke und anderen unternommen, eine vollkommen neue Einteilung zu etablieren (63). Diese neue Klassifikation, die hinsichtlich Reliabilität die alte King-Klassifikation übertrifft (63), berücksichtigt neben dem frontalen Profil anders als bei King zusätzlich das sagittale Profil und beinhaltet ebenso Empfehlungen hinsichtlich des operativen Vorgehens. Sie hat sich jedoch in der Praxis bisher nicht durchsetzen können.

Andererseits halten andere Autoren trotz der Tatsache, dass das dorsale Operationsverfahren nach Harrington in der Skoliosechirurgie vor allem durch die Entwicklung des Verfahrens nach Cotrel-Dubousset weitgehend verlassen wurde, die King-Klassifikation weiterhin für ein wertvolles Instrument zur Planung des operativen Vorgehens (81).

In der vorliegenden Arbeit fand eine modifizierte Einteilung nach King Anwendung, da diese nach wie vor das Verfahren mit der weitesten Verbreitung international ist und eine Einteilung in deutlich mehr Kurventypen wie zum Beispiel die von Coonrad (16) vorgeschlagene Einteilung in 21 Kategorien oder auch die oben erwähnte Lenke-Klassifikation (63) in 14 Kurventypen für die hier vorliegende Zahl von 35 Patienten nicht praktikabel ist.

Zusätzlichen Eingang in diese Einteilung fand als sechster Kurventyp die s-förmige Skoliose oder auch der mit dem englischen Begriff der „double-major-curve“ bezeichnete Kurventyp. Diese von King nicht erwähnte Kurvenform ähnelt in seiner Form der Typ-II-Skoliose nach King, besitzt jedoch eine thorakale und lumbale Hauptkrümmung (45). Eine Darstellung der modifizierten King-Klassifikation erfolgt in Tabelle Nr. 2.

Tabelle Nr. 2:

Klassifikation der idiopathischen Adoleszentskoliosen nach King et al (57)

Typ	Beschreibung	Häufigkeit
Typ I	s-förmige Kurve, in der sowohl die thorakale als auch die lumbale Krümmung die Mittellinie überschreiten. Die lumbale Krümmung ist in der ap.-Standaufnahme größer.	12,9%
Typ II	s-förmige Kurve, in der die thorakale als auch die lumbale Krümmung die Mittellinie überschreitet. Die thorakale Krümmung ist in der ap.-Standaufnahme größer.	32,6%
Typ III	Thorakale Krümmung, in der die lumbale Nebenkrümmung die Mittellinie nicht überschreitet (sogenannter Überhang).	32,8%
Typ IV	Lange thorakale Krümmung, in der sich LWK 4 in die Krümmung neigt. LWK 5 befindet sich jedoch zentriert über dem Sakrum.	9,2%
Typ V	Doppelt thorakale Krümmung, in der sich HWK 1 in die Konvexität der oberen Krümmung neigt. Die obere Krümmung ist strukturell in der Bending-Aufnahme	11,6%
Typ VI	S-förmige Skoliose, bei der die thorakale wie lumbale Krümmung die Mittellinie überkreuzt. Der Cobb-Winkel ist thorakal gleich groß oder kleiner als lumbal, das Ausmaß der Rotation ist lumbal größer als thorakal. Die Flexibilität beider Kurven ist identisch oder thorakal größer (Double-major curve)	Keine Angabe von King

Die Lokalisation der Krümmungen in dieser Klassifikation erfolgt gemäß der Kriterien der „Scoliosis Research Society“ (88), wonach eine lumbale Krümmung den Apex zwischen der Bandscheibe des LWK 1/2 und der Bandscheibe von LWK 3/4 sowie eine thorakale Krümmung den Apex zwischen BWK 2 und BWK 11 haben muss. Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf die Auswertungen von King et al. (57), die dieser anhand der Datenauswertung von 405 Patienten gewonnen hatte. Dies erklärt, dass für den nachträglich eingefügten Typ IV oder Double-major curve keine relativen Häufigkeiten angegeben werden können.

3. Klinik der Skoliosen

3.1. Äußeres Erscheinungsbild

Von einer strukturellen Skoliose wird gesprochen, wenn klinisch eine teilfixierte Seitenausbiegung mehrerer Wirbelsäulenabschnitte vorliegt und radiologisch eine Seitenausbiegung von mindestens 5 Grad nach Cobb nachweisbar ist (65).

Die Seitenausbiegung der Wirbelkörper führt zu einer Abweichung der Dornfortsatzlinie vom geraden Verlauf und durch diese Wirbelkörperrotation zur charakteristischen Rotationsasymmetrie mit dem im Thorakalbereich typischen konvexseitigen Rippenbuckel und der konkavseitigen Abflachung der Thoraxwand. Im Lumbalbereich kommt es analog zu einer Prominenz der konvexseitigen paraspinalen Muskulatur, die als Lendenwulst bezeichnet wird.

Die Taillendreiecke erscheinen aufgrund des lumbalen Lendenwulstes konvexseitig verstrichen und resultieren konkavseitig vertieft. Rippenbuckel und Lendenwulst sind bei schwergradigeren Skoliosen bereits im Stand sichtbar. Leichtgradigere Skoliosen sind jedoch erst bei maximaler Kyphosierung der Wirbelsäule, dem sogenannten Vorneigetest nach Adams, der in Götzes Übersichtsartikel zur Klinik der Skoliose beschrieben ist, zu erfassen (36).

Aus der Rumpfasymmetrie ergibt sich zwangsläufig eine Stellungsasymmetrie der Schulterblätter, wobei das konvexseitige Schulterblatt nach vorn abgelenkt, was den kosmetisch störenden Rippenbuckel weiter verstärkt. Das konkavseitige Schulterblatt legt sich der Thoraxwand an und tritt ein wenig tiefer.

3.2. Schmerzen, Lungenfunktion und Morbidität

Rückenschmerzen haben bei Skoliosepatienten eine mit der Normalpopulation vergleichbare Prävalenz bei mäßig erhöhter Intensität (4, 51, 93).

Die Schmerzen werden von den Skoliosepatienten selten als schwer oder akut charakterisiert. Sie werden oft als asymmetrisch und extravertebral (4), zumeist auftretend nach ungewohnten körperlichen Tätigkeiten mit sofortiger Rückbildung der Beschwerden nach entsprechender Ruhe (93) angegeben. Insbesondere Patienten mit thorakolumbalen und lumbalen Hauptkrümmungen leiden unter einer höheren Intensität ihrer Rückenschmerzen (51, 93), verglichen mit Patienten, die eine thorakale Hauptkrümmung aufweisen (4).

Bezüglich der kardiopulmonalen Funktion konnte festgestellt werden, dass lediglich bei thorakalen Skoliosen mit einer Einschränkung der Lungenfunktion gerechnet werden muss (4).

Dabei besteht eine direkte Korrelation zwischen Abnahme der Vitalkapazität, FEV 1 (Atemstoßtest) und Größe der thorakalen Krümmung. Signifikante Einschränkungen werden jedoch erst ab Krümmungswerten von 100° - 120° nach Cobb erwartet. Demnach ist erst bei höhergradigen Skoliosen mit einer Erhöhung der Mortalitätsrate, verglichen mit nicht-skoliotischer Normalbevölkerung zu rechnen (93).

3.3. Radiologische Befunde

Die Röntgenganzaufnahme der Wirbelsäule, die als Methode der Diagnosesicherung gilt, gibt Form, Lage und Schweregrad der Skoliose an. Zudem können nach Form und Struktur der Krümmungen Hinweise auf die Ätiologie der Skoliose gewonnen werden.

Die radiologische Festlegung der Ausdehnung einer Instrumentation beziehungsweise die Differenzierung zwischen struktureller oder auch teilfixierter Krümmungen von nicht-strukturellen Krümmungen, die sich vollkommen ausgleichen lassen, erfolgt mittels Bending- oder Traktionsaufnahmen. Die Bending-Aufnahmen der Wirbelsäule werden im Liegen in maximaler Seitneigung des Rumpfes angefertigt (36), wohingegen Traktionsaufnahmen unter axialem Zug angefertigt werden (77, 91). Es gilt, dass bei Kurven $< 50^{\circ}$ nach Cobb Bending-Aufnahmen eine größere Flexibilität, bei Kurven größer als $> 60^{\circ}$ nach Cobb Traktionsaufnahmen die größere Flexibilität zeigen (77, 91).

Es werden bei der metrischen Auswertung grundsätzlich nur die strukturellen Krümmungen gezählt. Durch Bending- oder Traktionsaufnahmen der Wirbelsäule gelingt ebenfalls zumeist eine Differenzierung zwischen Haupt- und Nebenkrümmung. Die Hauptkrümmung zeigt bei funktionell endgradiger Einstellung zur Konvexseite aufgrund ihrer stärkeren strukturellen Fixierung geringgradigere Aufrichtbarkeit als die weniger fixierten Nebenkrümmungen. Die Festlegung der Ausdehnung einer Krümmung erfolgt durch die Bestimmung der Endwirbel, die als diejenigen Wirbel einer Krümmung definiert sind, die die stärkste Kippstellung gegenüber der Horizontalen aufweisen. Als Scheitelwirbel einer Krümmung wird derjenige Wirbel bezeichnet, der das höchste Maß an Rotation aufweist (88), wobei grundsätzlich die Dornfortsatzreihe zur Konkavseite rotiert ist (36).

Die metrische Auswertung des Ausmaßes einer Krümmung erfolgt nach internationalen Vereinbarungen nur noch nach der Methode nach Lippmann-Cobb (14), bei der Planparallelen zur Deckplatte des oberen Endwirbels und Grundplatte des unteren Endwirbels gezogen werden, die sich unter dem Krümmungswinkel schneiden. Hinsichtlich der Richtung der Ausbie-

gung ist anzumerken, dass grundsätzlich eine Ausbiegung nach beiden Seiten erfolgen kann, jedoch bei thorakalen idiopathischen Krümmungen die Rechtskonvexität und bei lumbalen Krümmungen die Linkskonvexität überwiegt (36). Das Ausmaß der Rotation des Scheitelwirbels wird auf der frontalen Röntgenaufnahme in den meisten Fällen nach der Projektion der konvexseitigen Bogenwurzel in den Wirbelkörper angegeben, wobei von Nash und Moe 1969 (74) eine Einteilung in 4 Grade vorgeschlagen wurde. Diese Messung wurde von Pedriolle (76) durch Entwicklung eines Messinstrumentes, des sogenannten „Torsionmeters“, mit Hilfe dessen eine Einteilung der Rotation in 0° - 50° in 5° -Schritten möglich ist, weiter verfeinert. Die Methode nach Pedriolle zeigte in Untersuchungen der Vergangenheit ein hohes Maß an Reliabilität und ist demnach neben der Methode nach Nash und Moe ein nützliches Instrument zur Verlaufsbeobachtung der Wirbelkörperrotation (95).

4. Ätiologie der idiopathischen Skoliosen

Definitionsgemäß ist die Ursache der idiopathischen Skoliose, die mit 85% den größten Anteil an der Gesamtheit der strukturellen Skoliosen hat, unbekannt. Jedoch haben einige biomechanische, klinische und radiologische Arbeiten der letzten 20 Jahre gezeigt, dass die der idiopathischen Skoliose zugrunde liegende Ursache wahrscheinlich primär in einer relativen Lordose beziehungsweise Minderung der Kyphose in den betroffenen Wirbelsäulenabschnitten zu suchen ist. Bedingt durch diese primäre Deformierung entwickelt sich sekundär eine Rotationslordose. Dieses Konzept der Skolioseentstehung geht, wie Archer und Dickson beschreiben, zurück auf Adams 1865 und später Sommerwille aus dem Jahre 1952 (3, 21). Die Entwicklung dieser relativen oder absoluten Lordose hat ihre Ursache in einem relativen Minderwachstum dorsaler gegenüber ventraler Wirbelsäulenabschnitte, deren Ursache nach wie vor unbekannt ist. Die sich daraufhin einstellende Wirbelkörperrotation ist als kompensatorische Reaktion ventral gelegener Wirbelsäulenabschnitte, die keinen Platz mehr finden, anzusehen, und ist daher als sekundäres Ereignis in der Pathogenese der Skolioseentwicklung zu bezeichnen (21).

Untersuchungen über das Ausmaß der thorakalen Kyphose bei größerem Patientenkollektiv bestätigten diese Theorie, da sie für Patienten mit thorakaler Skoliose selbst unter 30 Grad nach Cobb eine statistisch signifikante Abflachung der thorakalen Kyphose gegenüber der Normalpopulation zeigten. Betrachtet man nun hingegen wahre seitliche Röntgenaufnahmen des rotierten Apex idiopathischer Skoliosen, kann nachgewiesen werden, dass diese betref-

fenen Wirbelsäulenabschnitte, selbst wenn sie projektionsbedingt kyphotisch erscheinen, grundsätzlich eine wenn auch zum Teil milde lordotische Einstellung zeigen (17).

Das Vorhandensein einer thorakalen Kyphose würde demnach vor Entwicklung einer Skoliose schützen (3, 17, 21).

Die größere Progression und höhere Inzidenz idiopathischer Skoliosen beim weiblichen Geschlecht lässt sich aus diesem Grundkonzept der Skolioseentstehung ableiten: In einer von Willner und Johnson 1983 vorgelegten Studie (99) konnte gezeigt werden, dass es bei Mädchen und Jungen in der Entwicklungsphase zu einer physiologischen Abnahme der thorakalen Kyphose mit einem Minimum im Alter von 10-12 Jahren kommt, was bei Mädchen zeitlich exakt mit dem größten Wachstumsschub zusammenfällt, wohingegen bei Jungen dieser Wachstumsschub in das Alter von 12-14 Jahre verlagert ist, in dem die thorakale Kyphose wieder zunimmt oder sogar ein Maximum erreicht. Das heißt, dass bei Jungen zur Zeit der größten Wachstumsprogredienz die Wirbelsäule vor der Entwicklung einer Skoliose durch eine physiologische thorakale Kyphose geschützt wird, wohingegen bei Mädchen das Gegenteil, nämlich das Minimum einer physiologischen Abflachung der thorakalen Kyphose, zur Zeit der größten Wachstumsprogredienz zu verzeichnen ist (21).

Die bei Skoliosepatienten häufig beobachteten Asymmetrien paraspinaler Muskulatur (56) sind wahrscheinlich als sekundäre Veränderungen und demnach weniger als ursächlich für die Skolioseentstehung anzusehen (50).

5. Konservative Therapien in der Skoliosebehandlung

Die Korrekturprinzipien in der konservativen Behandlung von Skoliosen bestehen aus Streckung, Umkrümmung und Entdrehung der skoliotischen Krümmung. In den heute noch durchgeführten Methoden der konservativen Therapien werden lediglich das Prinzip der Umkrümmung und Entdrehung der Wirbelsäule praktiziert, da der Längszug der Wirbelsäule wegen seiner geringen Effektivität bei Krümmungen von 20-40° nach Cobb, die hauptsächlich einer konservativen Therapie zugeführt werden, eine nicht ausreichende Effektivität aufweist (26).

Grundsätzlich kommen zur konservativen Therapie folgende Behandlungsmethoden in Betracht, die im Folgenden abgehandelt werden: Orthesenbehandlung, Physiotherapie und Elektrostimulationsbehandlung mit oberflächlichen aber auch zu implantierenden Elektroden.

5.1. Korsettbehandlungen

Bei den heute in der konservativen Skoliotherapie hauptsächlich verwendeten Orthesen handelt es sich vor allem um die sogenannten Derotationsorthesen wie das Chêneau- oder das Boston-Korsett. Diese Korsette arbeiten nach einem Drei-Punkte-Prinzip mit 1) Abstützung auf dem Beckenkamm, 2) Redression unterhalb des Apex der Skoliose auf der Konvexseite paravertebral und ventral durch Pelotten, 3) Abstützung unter der Axilla auf der Konkavseite (45, 61, 69). Die Korrekturprinzipien dieser Korsette beruhen zum einen auf einer Beckenaufrichtung und Entlordosierung der Lendenwirbelsäule sowie Korrektur der seitlichen Verbiegung und Torsion im Wesentlichen aktiv durch Umleitung der dynamischen Kräfte bei der Inspiration. Das Chêneau-Korsett findet seinen Einsatz vor allem bei thorakalen und s-förmigen Krümmungen, wohingegen das Boston-Korsett vor allem bei lumbalen und thorakolumbalen Krümmungen eingesetzt wird (26, 45, 61, 69).

Das bis zum Jahre 1976 mit der Einführung des Chêneau-Korsettes sehr häufig in der Skoliotherapie verwendete Milwaukee-Korsett hat heute diese weite Indikationsstellung verloren. Es ist zum einen wegen des kosmetisch unschönen Nackenrings und zum anderen wegen der schlechteren Ergebnisse im Vergleich zu den herkömmlichen Derotationsorthesen nur noch zur Therapie hochthorakaler Skoliosen indiziert (45, 61). Es arbeitet im Gegensatz zu den vorher erwähnten Boston- oder Chêneaukorsetten nicht nach dem Prinzip Derotation, sondern nach dem Prinzip einer passiven, nach einer Modifikation 1969 nur noch aktiven Extension mit Hilfe einer mahrenden Kinn- und dorsal einer Subokzipitalpelotte. Durch zusätzliche Rippenbuckelpelotten soll noch zusätzlich eine gering derotierende Komponente erreicht werden (28).

Die dritte Gruppe von Korsetten, die noch ihren Stellenwert besitzen, sind in der Frontalebene redressierende Korsette wie das Stagnara- oder Wilmingtonkorsett. Diese Korsette arbeiten nach Prinzip der Kompression in der Frontalebene. Sie führten jedoch in der Vergangenheit durch ihr komprimierendes Grundprinzip unter langjähriger Therapie zu Beeinträchtigungen der Lungenfunktion sowie zu Thoraxdeformierungen (26, 45).

Die Indikation zur Korsettbehandlung ergibt sich bei idiopathischen thorakalen Skoliosen mit Cobbwinkeln zwischen 25-40° bei Erwartung von mindestens zwei Jahren Wachstum bis zur endgültigen Skelettreife. Ebenfalls muss eine Korsetttherapie bei Kurven zwischen 20-25°

nach Cobb unter der Bedingung erfolgen, dass eine nachgewiesene Progredienz der Krümmung von mindestens 5° in den letzten 6 Monaten vorliegt (26, 27, 48, 61). Für lumbal dominante Krümmungen liegt der Indikationsbereich für eine Korsettbehandlung zwischen 15° und 30° nach Cobb (27).

Während der Korsetttherapie müssen durch den Patienten begleitende kräftigende krankengymnastische Übungen durchgeführt werden, um einer Atrophie der paravertebralen Muskulatur, die zur Zeit des Tragens des Korsettes weniger Haltearbeit zu vollführen hat, vorzubeugen. Die Tragedauer des Korsetts sollte bei Mädchen bis zwei Jahre nach Eintritt der Menarche erfolgen (61). Bei Jungen empfiehlt sich eine Tragedauer bis zum radiologischen Abschluss des Knochenwachstums, was gleichzusetzen ist mit einem Risserzeichen 5. Grades (55). Die tägliche Tragedauer des Korsetts sollte 23 Stunden täglich betragen, wohingegen in manchen neueren Studien keine relevanten Ergebnisunterschiede zwischen Full-time- und Part-time-bracing erzielt worden sind, wobei Part-time-bracing hierbei eine tägliche Korsetttragedauer von 16 Stunden bedeutet (24). Über die generelle Wirksamkeit und den Stellenwert der Korsettbehandlung bei idiopathischen Skoliosen gibt es zahlreiche gut dokumentierte Studien (2, 28, 55, 69, 73, 98).

5.2. Physiotherapie

Neben allgemeinen Korrektur- und Atemübungen, Haltungsschulung, Übungen mit Geräten, Partnern und in Gruppen gibt es für die Skoliose entwickelte Übungsmethoden, die nach ihren Urhebern benannt sind. Als Beispiele sind das Verfahren nach Klapp, die Methode nach Niedernhöfer, das System Gocht-Jessner, die Behandlungsmethode nach Schroth oder die Methode Scharll zu nennen.

Über die Effektivität der alleinigen Anwendung der Physiotherapie bei Skoliosen existieren relativ wenige Studien, von denen die meisten den generellen Nutzen der Physiotherapie in Frage stellen (31).

In den letzten Jahren wurden jedoch vor allem durch H.-R. Weiss einige, darunter auch prospektive, Studien veröffentlicht, in der die Wirksamkeit der skoliosespezifischen Rückenschule nach Schroth untersucht wird (94). Diese Behandlungsmethode nach Schroth beruht auf dem Prinzip der Drehwinkelatmung, bei der durch eine forcierte und bewusste Atmung in die Konkavseite der Skoliose hinein versucht wird, die Hebelwirkung der Rippen auf die Wirbelsäule auszunutzen, um hierdurch eine Aufrichtung und Derotation zu erwirken.

Die Untersucher kommen hierbei zu dem Ergebnis einer positiven Beeinflussung des natürlichen Verlaufes selbst bei reiferen Probanden. Zu kritisieren bleibt in dieser Studie das Fehlen einer Kontrollgruppe, da die Autoren sich lediglich auf die in der Literatur bekannten Daten über den natürlichen Verlauf bezogen. Somit muss weiterhin gelten, dass bis heute keine gut dokumentierten Studien bekannt sind, die einen positiven Effekt der alleinigen physiotherapeutischen Therapie auf den natürlichen Verlauf der Skoliose nachweisen, was die alleinige Anwendung dieser Form der Therapie in der Skoliosebehandlung ausschließt (31). Als Zusatztherapie zu anderen Behandlungen wie etwa der Korsetttherapie oder der Operation besitzt die Physiotherapie einen wichtigen Stellenwert mit dem Zweck der Verbesserung der allgemeinen Haltung, Kräftigung der Muskulatur, Enlordosierung und der Verbesserung der Lungen- (96) und Herzfunktion (45).

Die Indikation zur Krankengymnastik besteht somit als begleitende Therapie zur Orthesenbehandlung und operativen Stabilisierung sowie als alleinige Therapieform bei Skoliosepatienten ab einem Cobb-Winkel von mehr als 15° und noch vorhandener Wachstumsprogredienz von 2 Jahren unter regelmäßiger Verlaufskontrolle (61).

5.3. Elektrostimulationsbehandlung

Der Versuch der Behandlung von insbesondere idiopathischen Skoliosen durch eine elektrische Muskelstimulation begründet sich in den in zahlreichen Untersuchungen der Vergangenheit festgestellten Abnormalitäten der paraspinalen Muskulatur. Diese warfen bei einigen die Vermutung auf, es handele sich eventuell bei der idiopathischen Skoliose um eine primär neuromuskuläre Erkrankung (102).

Die Elektrostimulationsbehandlung der konvexseitigen Rückenstreckmuskulatur in der Skoliosebehandlung zur Korrektur der Krümmung kann entweder mit Hilfe von oberflächlich auf die Haut aufgebrachten Elektroden (24) oder aber durch subkutan im Bereich der paravertebralen Muskulatur impalantierten Elektroden erfolgen (102). Die Durchführung der Stimulation soll in den Nachtstunden durchgeführt werden.

Die oberflächlichen Elektrodenapplikation, auch als LESS = lateral electrical surface stimulation (24) bezeichnete Methode, fand in der Vergangenheit breitere Anwendung in der Skoliosetherapie. Bei diesem Verfahren erfolgt die elektrische Reizung mit Hilfe von zwei Elektroden pro Krümmung, wobei die Elektroden in der hinteren Axillarlinie jeweils im Bereich des oberen und unteren Neutralwirbels platziert werden. Das bedeutet, dass diese Form der Sti-

mulation die wesentlich höhere Hebelkraft der Intercostal-, Bauch- und oberflächlichen Rückenmuskulatur ausnutzt, ohne dass die Elektroden jedoch in der betroffenen Muskulatur, nämlich der paravertebralen Muskelschichten, ihre Wirkung entfalten.

Über die Langzeiteffekte in der Therapie wurden Anfang der siebziger Jahre vor allem durch die Initiatoren dieser Therapieform, Bobechko und Axelgaard, von überraschenden Erfolgen bei Kurven von weniger als 45° nach Cobb berichtet (24), wobei sie durch diese Form der Therapie bei 83% beziehungsweise 84% der Patienten erfolgreiche Progressionsstopps oder sogar Korrekturen ihrer Krümmungen erreichten.

Neuere Untersuchungen, darunter eine multizentrische Studie von Nachemson et al. konnten diese positive Beeinflussung des Spontanverlaufs nicht beweisen (24, 31, 73), so dass die Elektrostimulationstherapie die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt hat und keine wirkliche Alternative zur Korsetttherapie darstellen kann.

6. Operative Behandlung der Skoliose

6.1. Historische Entwicklung der Skolioseoperationen

Erste historische Verweise auf Skolioseoperationen stammen aus dem Jahre 1839 von Jules Guerin (38, 39), der ein muskuläres Ungleichgewicht der paraspinalen Muskulatur für die Ätiologie der Skoliose verantwortlich machte und daher 57 Patienten einer perkutanen Myotomie unterzog. Die von ihm dabei erzielten Ergebnisse stellten sich als enttäuschend heraus, so dass diese Form der Operation bald wieder verlassen wurde.

Im Jahre 1914 berichtet Galloway (32) von drei operierten Skoliosepatienten, die nach der von Fred Albee (1, 29) beschriebenen Methode der knöchernen Fusion von Wirbelbögen operiert wurden. Hierbei wurden die Dornfortsätze gespalten und ein Tibiaspan angelegt.

Die ersten dokumentierten Serien von insgesamt 360 Skolioseoperationen stammen aus dem Jahre 1931 von Hibbs nach der von ihm ursprünglich zur operativen Stabilisierung von tuberkulöser Spondylitis entwickelten Methode (29, 39, 46), die in Grundsätzen der Methode nach Fred Albee ähnelt.

Hibbs frakturierte die Dornfortsätze an der Basis, legte sie nach kranial beziehungsweise nach kaudal um, verödete die Wirbelbogengelenke im Spondylodesebereich, löste Knochenlamellen aus den Wirbelbögen und legte diese ebenfalls nach kaudal und kranial um (29, 100).

Spätere Autoren behielten im Wesentlichen diese Methode der Wirbelbogengelenksverödung und autologen Knochenanlagerung zur Erzielung einer suffizienten Spondylodese, die von Hibbs vorgeschlagen wurde, bei, wobei in den folgenden Jahren als erstem von Ghormley 1933 zunehmend autologe Beckenkammspäne an die Spondylodeseestrecke angelagert wurden (29, 33).

Ein weitgehender Durchbruch in der Skoliosechirurgie wurde jedoch erst im Jahre 1959 durch Paul Harrington (44) erreicht. Er war der erste auf diesem Gebiet, der Fremdmaterialien in Form eines konkaven Distraktionsstabes und später nach einer Modifikation zusätzlich einen konvexen Kompressionstab erfolgreich in der nach ihm benannten Methode verwendete.

In den folgenden Jahren wurden zahlreiche weitere Wirbelsäuleninstrumentarien zur Aufrichtung und Stabilisierung entwickelt, wovon die segmentale Wirbelsäuleninstrumentation nach Luque (39, 67, 100) hervorzuheben ist.

Das Instrumentarium nach Luque, im Jahre 1975 entwickelt, beinhaltet als Grundkonzept eine sublaminare Verdrahtung mit Anlagerung von L-förmigen Stäben. Hierdurch wird eine außerordentlich hohe Primärstabilität erzielt, die eine postoperative Ruhigstellung mit Hilfe eines Gipses oder Korsetts nicht mehr erfordert. Ursprünglich wurde es vor allem zur Therapie neuromuskulärer Skoliosen entwickelt, fand und findet noch heute zum Teil Einsatz auch zur operativen Behandlung idiopathischer Skoliosen (100).

Das noch heute gültige operative Grundkonzept auf dem Gebiet der dorsalen Instrumentation von Skoliosen stellt das im Jahre 1984 entwickelte Verfahren nach Yves Cotrel und Jean Dubousset (23) dar. Das nach ihnen benannte Instrumentarium beinhaltet zwei Basisprinzipien: 1) Stabile Fixation durch eine Rahmenkonstruktion mit Hilfe von Querverbindungen durch sogenannte DDT's, 2) dreidimensionale Krümmungskorrektur durch folgende drei Mechanismen: a) selektive Haken- oder Schraubenpositionierung an strategischen Wirbeln, b) Rotation des vorgebogenen Stabes zur Wiederherstellung eines befriedigenden sagittalen Profils, c) selektive Kompression oder Distraction, die bei Bedarf am gleichen Stab angewendet werden kann. Dieses Verfahren ermöglicht eine korsettfreie Nachbehandlung und als dorsales Instrumentarium eine dreidimensionale Krümmungskorrektur.

Anderen neueren dorsalen Wirbelsäuleninstrumentarien wie das „Spinefix“ oder das „Texas Scottish Rite Hospital“-Instrumentarium liegen diese Grundprinzipien des Cotrel-Dubousset-Verfahrens mit kleineren Veränderungen zu Grunde (45).

Die Entwicklung der ventral zu implantierenden Instrumentarien zur Behandlung der Skoliose begann deutlich später. Sie wurde erst durch Hodgson und Stock ermöglicht, die den ventralen transpleuralen-retroperitonealen Zugang zur unteren Brust- und Lendenwirbelsäule standardisierten und als erste erfolgreich mehr als 400 Patienten mit Tuberkulose operierten (29, 39, 47, 100).

Die ventrale Instrumentation zur Behandlung der Skoliose wurde erst im Jahre 1964 durch Dwyer aufgegriffen (25). Er setzte anstelle der konkavseitigen Distraction des Verfahrens nach Harrington die verkürzende konvexseitige Kompression mit Hilfe von ventral konvexseitig angebrachten Schrauben, die durch ein geflochtenes Titankabel nach vorheriger Bandscheibenausräumung verbunden werden. Dieses neue ventrale Verfahren bot gegenüber den damals gebräuchlichen dorsalen Operationsmöglichkeiten Vorteile durch Verringerung des neurologischen Operationsrisikos aufgrund Verkürzung der Wirbelsäule, der kurzen Fusionsstrecke, der besseren Tragfähigkeit durch interkorporelle Fusion sowie der besseren Korrekturmöglichkeit eines kontrakten Beckenschiefstandes (34).

Ein großer Nachteil der fehlenden Möglichkeit einer Wirbelkörperderotation wurde im Jahre 1975 durch die von Zielke entwickelte Ventrale Derotationsspondylodese (VDS) behoben. Er verwendete anstatt des Titankabels einen Gewindestab. Die Vermeidung einer instrumentationsbedingten pathologischen Kyphosierung, wie beim Dwyer-Verfahren bereits beobachtet insbesondere im Lumbalbereich, der anfangs eine Hauptindikation für das Zielke-Verfahren darstellte, konnte auch mit Hilfe des Zielke-Gewindestabes nicht erreicht werden (49).

Als neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der ventralen Instrumentarien sind die ventrale Lordosierungs- und Derotationsspondylodese (VLDS) (40) und die primärstabilen Kaneda- (52, 53), Halm-Zielke- (43) und CDH-Doppelstabinstrumentarien (49) zu nennen, deren Grundkonzept aber nach wie vor auf dem der Zielke-Instrumentation basieren.

6.2. Indikation zur Operation und Operationszeitpunkt

Hinsichtlich der Indikationsstellung zur operativen Versorgung sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen: 1. Alter des Patienten, 2. Eventuelle Möglichkeiten der erfolgreichen konservativen Behandlung durch Orthesen, 3. Untersuchungen über den natürlichen Verlauf idiopathischer Skoliosen nach Abschluss der Wachstumsphase.

Für den Operationszeitpunkt gilt einerseits, dass ein früher Operationzeitpunkt bei noch flexiblen leichteren Krümmungen ein deutlich geringeres neurologisches Operationsrisiko, bessere Korrekturwerte und kürzere Behandlungszeiten aufweist, verglichen mit fortgeschrittenen rigiden Skoliosen (48).

Andererseits weist das von Dubousset erstmals im Jahre 1973 beschriebene „Crankshaft-Phänomen“ auf die Grenzen einer frühzeitigen insbesondere dorsalen operativen Stabilisierung hin. Dieses „Crankshaft-Phänomen“ bezeichnet eine postoperative Krümmungsprogredienz in allen drei Ebenen (koronar, axial, sagittal), bedingt durch postoperatives Weiterwachsen der nicht zerstörten ventralen Wachstumsfugen im Instrumentationsbereich bei Patienten, die in einem Risserstadium 0-1 operiert worden sind (22, 83).

Bezüglich der konservativen Therapiemöglichkeiten in der Wachstumsphase gilt, dass bei Krümmungen bis 40° eine orthetische Behandlung Aussicht auf Erfolg hat, hingegen Krümmungen oberhalb von 40° nach Cobb sowie ausgeprägte Lordoskoliosen sich in sehr hohem Maße unter orthetischer Therapie progredient zeigen (48).

In mehreren Untersuchungen über den natürlichen Verlauf der idiopathischen Skoliose nach Wachstumsabschluss konnte gezeigt werden, dass Skoliosen unabhängig welcher Lokalisation bei Krümmungswinkeln nach Cobb von unter 30° keine Progredienz zeigen. Insbesondere bei Krümmungswinkeln von größer als 50° nach Cobb jedoch ist mit jährlichen Krümmungsprogredienzen von $0,75-1^\circ$ zu rechnen (93).

Aus diesen Fakten ergibt sich demnach für die idiopathische Skoliose, dass Krümmungen von über 40° nach Cobb im Adoleszentenalter aufgrund der schlechten konservativen Behandlungsmöglichkeiten beziehungsweise von über 50° nach Abschluss des Längenwachstums aufgrund der erheblichen Progredienz einer Operation zugeführt werden sollten. Es müssen jedoch auch neben dem reinen Ausmaß der Krümmung ebenso das sagittale Profil, der Tilt sowie die Lokalisation der kranialen und insbesondere kaudalen Endwirbel zur Stellung einer Operationsindikation sowie zur Wahl des operativen Vorgehens herangezogen werden. Dieser Tatsache wird auch die von Lenke et al. vorgestellte neue Klassifikation der idiopathischen Skoliosen gerecht (63).

Idealer Operationszeitpunkt stellt das Risserstadium 2 dar, da hier kein Crankshaft-Phänomen mehr zu erwarten ist, zudem jedoch die Krümmung noch ausgesprochen flexibel ist.

Bei Patienten, die schon in sehr frühem Alter sehr ausgeprägte Krümmungen zeigen, muss versucht werden, bis zum Erreichen des Risser-Stadiums 2 eine temporäre Orthesenversorgung durchzuführen, um sie dann einer endgültigen operativen Therapie zuzuführen (48).

6.3. Die Ventrale Derotationsspondylodese nach Zielke (VDS)

Die ventrale Derotationsspondylodese nach Zielke wurde erstmals im Jahre 1974 als Verbesserung des damals noch gebräuchlichen ventralen Verfahrens nach Dwyer vorgestellt (103). Anstatt des beim Dwyer-Verfahren verwendeten Kompressionskabels verwendete Zielke einen 3mm dicken Kompressionsstab, mit Hilfe dessen die augenfälligen Nachteile des Dwyer-Verfahrens, nämlich die Kyphosierung durch alleinige Kompression ohne Derotationsmöglichkeit, hohe Raten von Pseudarthrosenbildung durch Kabelbrüche und nicht zuletzt die mechanisch ungenügende Verklebung des Kabels in den Schraubenköpfen ausgeschaltet werden sollten (34).

Die Korrekturprinzipien dieses ventralen Verfahrens basieren auf einer ventralen konvexseitigen Kompression nach vorheriger Bandscheibenresektion, was zu einer überlegenen Korrektur in der Frontal- wie Sagittalebene bei hervorragender Derotationsfähigkeit führt. Weitere entscheidende Vorteile der ventralen Spondylodeseverfahren bestehen in der kurzen Fusionsstrecke sowie in der besseren Tragfähigkeit durch intercorporelle Fusion im Vergleich mit den gängigen dorsalen Instrumentarien.

Die ursprünglich von Zielke vorgesehene Indikation der VDS für lumbale oder thorakolumbale Skoliosen (103) wurde in späterer Zeit auf thorakale Lordoskoliosen erweitert (58), da hier die ursprünglich als Nachteil angesehene pathologische Kyphosierung im Instrumentationsbereich einen durchaus wünschenswerten Effekt darstellt.

Die Darstellung der zu instrumentierenden Wirbelsäulenabschnitte erfolgt über eine konvexseitige Thorakotomie, sollte im thorakolumbalen oder lumbalen Bereich der Wirbelsäule instrumentiert werden über eine konvexseitige Thorakophrenolumbotomie nach den entsprechenden Standards (7). Nach Darstellung der entsprechenden Wirbelsäulenabschnitte werden die jeweiligen Segmentgefäße unterbunden und die entsprechenden Bandscheiben größtenteils reseziert. Mit Hilfe eines Pfriems werden nach vorherigem Messen der Schraubenlänge nun die Schrauben in typischer Weise auf den tastenden Finger in entsprechender Länge eingeführt. Die Schrauben werden mit Endplatten, deren Konvexität gegen die Schraubenköpfe gerichtet ist, beziehungsweise mit Winkelplatten versehen. Nach Einlegen des Gewindestabs,

welcher lediglich im Bereich der endständigen Schrauben Gegenmuttern trägt, werden die Muttern in die Schraubenköpfe eingerastet und der Operationstisch entgegen der skoliotischen Krümmung korrigiert. Nun erfolgt die sukzessive Korrektur der Krümmung, wobei bei den kranial des Scheitelwirbels gelegenen Wirbelkörpern eine kaudale Kompression und bei den kaudal des Scheitelwirbels gelegenen Wirbelkörpern eine kraniale Kompression ausgeübt wird. Durch Auffüllen der Zwischenwirbelräume durch bereits entnommenes autologes Knochenmaterial aus dem Beckenkamm und/oder durch bei der Rippenresektion gewonnenes Material kann eine weitere Lordosierung, zum Beispiel bei Instrumentationen im lumbalen- oder thorakolumbalen Bereich oder eine Kyphosierung bei Instrumentationen im thorakalen Bereich, erzielt werden. Nach Abschluss des Korrekturvorgangs werden die endständigen Schraubenmuttern mit Gegenmuttern gesichert. Die durch die Kompression überstehenden Stabenden werden abgezwickt. Schließlich erfolgt der Wundverschluss.

Postoperativ ist die Anlage einer Thoraxdrainage und eine wenige Tage dauernde intensivmedizinische Überwachung notwendig, bis nach Entfernung der Thoraxdrainage die Rückverlegung auf eine periphere Station erfolgen kann (34).

6.4. Die Dorsale Correcturspondylodese (DCS) mittels BWM-Instrumentarium

Das BWM-Wirbelsäulensystem wurde an der Werner Wickert Klinik in Bad Wildungen primär entwickelt zur operativen Behandlung spinaler Instabilitäten aller Ursachen im Bereich von BWK 4 bis SWK 1 (5). Es handelt sich um ein auf Pedikelschrauben basierendes Wirbelsäulensystem, das sowohl dorsal als auch ventral implantiert werden kann. Es besteht einerseits aus einem Fixations- und andererseits aus einem Distraktionsmodul.

Der Standarddurchmesser der Pedikelschrauben beträgt 6,5 mm. Bei Patienten mit besonders schmalen Pedikeln, insbesondere im Bereich der unteren BWS und oberen LWS, finden auch kleinere Schrauben mit einem Durchmesser von 5,5 mm Anwendung.

Zur Behandlung von Wirbelsäulendeformitäten wie etwa von Skoliosen, wo mittels Distraktionsmodul korrigiert wird, existiert zusätzlich zu Pedikelschrauben ein Angebot von Pedikel- und Laminahaken, die hier insbesondere hochthorakal Anwendung finden (60).

Die Lagerung der Patienten erfolgt in Rückenlagerung auf einem speziellen Wirbelsäulenrahmen.

Zunächst erfolgt die Durchleuchtung der gesamten Rumpfwirbelsäule mit dem Bildwandler in zwei Ebenen und Markierung der Pedikeleingänge lumbal, tieftorakal und hochthorakal an den zur Instrumentation vorgesehenen Wirbelkörpern.

Das wie folgt beschriebene Vorgehen gilt für rechtskonvexe Thorakalskoliosen mit einer linkskonvexen lumbalen Gegenkrümmung.

Der Hautschnitt erfolgt langstreckig über der Dornfortsatzreihe zumeist von der mittleren LWS bis zur oberen BWS. Nach Spaltung der Faszie erfolgt zunächst die primär streng subperiostale scharfe Präparation entlang der Dornfortsatzreihe und Wirbelbögen linksseitig. Im Bereich der oberen BWS erfolgt die Präparation der kleinen Wirbelbogengelenke und der Einsatz von mehreren Pedikelhaken. Ab der unteren BWS werden Pedikelschrauben verwendet.

Rechtsseitig wird analog im Bereich der gesamten LWS und unteren BWS ebenfalls subperiostal scharf präpariert. Nach Darstellung der Pedikel werden in der mittleren und oberen LWS sowie unteren BWS zwei bis drei entsprechende Schrauben eingesetzt.

Daraufhin erfolgt ein Vorbiegen des bei einer rechtskonvexen thorakalen Hauptkrümmung zur linksseitigen Implantation gedachten 7mm Distraktionsstabes thorakal auf Kyphose und thorakolumbal bzw. lumbal auf Lordose.

Der rechtsseitig einzubringende 5mm-Kompressionsstab wird auf Lordose vorgebogen.

Nach Einbringen beider Stäbe wird linksseitig zwischen den Pedikelhaken der oberen BWS und Pedikalschrauben der unteren BWS bzw. oberen LWS kräftig distrahiert und im Bereich zwischen oberer und mittlerer BWS komprimiert.

Der rechtsseitige 5mm Stab dient einer Restkorrektur durch mäßige Kompression.

Nach Krümmungskorrektur erfolgt vor endgültiger Fixation aller Schrauben und Muttern der intraoperative Aufwachtest zum Nachweis einer spontanen Beinmotorik und Ausschluss grober neurologischer Läsionen.

Im Folgenden wird die Dornfortsatzreihe mit dem Meißel angefrischt und alle kleinen Wirbelbogengelenke innerhalb der Instrumentation mittels Luer eröffnet.

Daraufhin wird das bei der ersten Operation entnommene Knochenmaterial und in der Knochenbank gelagerte Knochenmaterial der Instrumentation angelagert, um eine schnelle und dauerhafte Spondylodese zu erreichen. Schließlich erfolgt der Wundverschluss und die Einlage von zwei bis drei subfaszialen sowie einer subkutanen Redondrainage, die zumeist nach 1-2 Tagen entfernt werden können.

Postoperativ erfolgt eine 1-2-tägige Überwachung auf der Intensivstation.