

Aus der Klinik für Orthopädie
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin
und der Orthopädischen Abteilung der Park Klinik Berlin Weißensee

Dissertation

**Ergebnisse dorsaler Spondylodesen bei der operativen Therapie von adoleszenten
Skoliosen. Eine vergleichende Analyse von 138 Patienten.**

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Christiane Klebe

aus Eisenhüttenstadt

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. M. Muschik
2. Prof. Dr. med. H. Mau
3. Priv.-Doz. Dr.med K. Labs

Datum der Promotion: 28.08.2007

1	EINLEITUNG	1
1.1	Krankheitsbild/-lehre und Definition der Skoliose	1
1.2	Epidemiologie	1
1.3	Ätiologie und Einteilung	2
1.3.1	Klassifikation nach der Form und dem Krümmungstyp	2
1.3.2	Einteilung nach dem Erkrankungsbeginn	2
1.3.3	Einteilung nach der Ätiologie	2
1.3.4	Einteilung der idiopathischen Skoliosen nach King	3
1.4	Diagnose der Skoliose	4
1.4.1	Körperliche Untersuchung	4
1.4.2	Röntgendiagnostik	4
1.5	Klinik und Verlauf unbehandelter Skoliosepatienten	6
1.5.1	Äußeres Erscheinungsbild	6
1.5.2	Kardiopulmonale Funktion	6
1.6	Verlauf, Progressionsrisiko	6
1.7	Konservative Therapie	9
1.7.1	Krankengymnastik	9
1.7.2	Korsettbehandlung	9
1.8	Operative Therapie	10
1.8.1	Geschichtliche Entwicklung der operativen Skoliosebehandlung	10
1.8.2	Allgemeine Operationsindikation für Patienten mit Skoliose	11
1.9	Operationsmethoden	12
1.9.1	Skolioseoperation nach Harrington	12
1.9.2	Skolioseoperation nach Zielke	13
1.9.3	Methode nach Cotrel-Dubousset	14
1.9.4	Skolioseoperation mit dem Universal Spine System	16
2	AUFGABENSTELLUNG	18
3	PATIENTEN UND METHODE	19
3.1	Patienten	19
3.1.1	Auswertung der Aufnahmen im anterior- posterioren Strahlengang	21
3.1.2	Auswertung der seitlichen Aufnahmen	21
3.2	Messung des Skoliosewinkels nach Cobb	21
3.3	Messung des Kyphosewinkels nach Cobb	22
3.4	Messung der Rotation	22
3.5	Messung der Wirbelsäulenbalance	23
3.6	Bestimmung der Fusionsstrecke	23
3.7	Auswertung der Krankenblätter	23
3.8	Auswertung der Röntgenbilder	23

4	ERGEBNISSE	24
4.1	Die Frontalebene der Skoliose	24
4.1.1	Die thorakalen Krümmungen	24
4.1.2	Die lumbalen Krümmungen	26
4.2	Die Rotation der Scheitelwirbel	28
4.2.1	Rotation des thorakalen Scheitelwirbels	28
4.2.2	Rotation des lumbalen Scheitelwirbels	30
4.3	Balanceverhalten der Wirbelsäule	31
4.4	Die Sagittalebene der Krümmungen	34
4.4.1	Die Brustkyphose	34
4.4.2	Die Lendenlordose	36
4.5	Beschreibung der Fusionsstrecke	37
4.5.1	Versteifte Segmente im Gesamtpatientengut	37
4.5.2	Kraniale und kaudale Instrumentationsverankerung der einzelnen Skolioseformen	38
4.5.3	Anzahl der Wirbelkörper der Spondylodesestrecke	39
4.5.4	Durchschnittliche Spondylodesestrecke der einzelnen Skolioseformen	39
4.6	Alters- und Geschlechtsverteilung zum Zeitpunkt der Operation	40
4.7	Stationärer Aufenthalt	40
4.8	Komplikationen	41
4.9	Falldarstellung	42
4.10	Statistische Auswertung	46
5	DISKUSSION	47
5.1	Die Frontalebene der Skoliose	47
5.1.1	Die thorakalen Krümmungen	47
5.1.2	Die lumbalen Krümmungen	51
5.2	Die Rotation der Scheitelwirbel	52
5.2.1	Rotation des thorakalen Scheitelwirbels	52
5.2.2	Rotation des lumbalen Scheitelwirbels	54
5.3	Balanceverhalten der Wirbelsäule	55
5.4	Die Sagittalebene der Krümmungen	58
5.4.1	Die Brustkyphose	58
5.4.2	Die Lendenlordose	61
5.5	Beschreibung der Fusionsstrecke	62
5.6	Lebensalter	64
5.7	Neuromuskuläre Skoliosen	65
5.8	Kongenitale Skoliosen	68
5.9	Komplikationen	70
5.10	Reoperationen	73

Inhaltsverzeichnis	III
<hr/>	
5.11 Aktuelle Weiterentwicklungen	75
5.12 Vergleich mit anderen Operationsmethoden	76
6 ZUSAMMENFASSUNG	85
7 LITERATURVERZEICHNIS	88
8 DANKSAGUNG	107
9 LEBENSLAUF	108
ERKLÄRUNG	109

1 Einleitung

1.1 Krankheitsbild/-lehre und Definition der Skoliose

Das Krankheitsbild der Skoliose wurde schon von Hippokrates (460 bis 375 vor Christus) beschrieben. Galen (129 bis 199 nach Christus) belegte die seitliche Wirbelsäulenverkrümmung nach dem griechischen „scolios“ = krumm, schief mit dem Namen „Skoliosis“ (150).

Eine Skoliose ist eine strukturelle Wachstumsdeformität der Wirbelsäule mit fixierter Seitverbiegung, Torsion der Einzelwirbel und Rotation des Achsorgans (221).

1.2 Epidemiologie

Die Angaben über die Erkrankungshäufigkeit schwanken in der Literatur zwischen 0,13% und 13,6%. Diese Unterschiede beruhen meist auf Definitionsschwierigkeiten, d.h. auf der Frage, ab welchen Winkeln eine Seitverbiegung der Wirbelsäule als Skoliose aufgefasst wird (161).

Im Rahmen einer prospektiven epidemiologischen Studie konnten Brooks et al. bei 13,7% von insgesamt 3492 Schulkindern eine Skoliose von mindestens 5° nach Cobb diagnostizieren (26).

Renshaw ist der Überzeugung, dass bei Wachstumsabschluss 2 bis 3% der Gesamtbevölkerung eine Skoliose von $\geq 10^\circ$ haben werden, fast 0,5% eine von $\geq 20^\circ$, 0,2% eine $> 30^\circ$ und beinahe 0,1% eine Krümmung von über 40° (173).

Nach Weinstein finden sich Skoliosen mit einem Krümmungswinkel über 10° bei 2-3% der Bevölkerung. Skoliosen mit einem Krümmungswinkel zwischen $30-40^\circ$ können bei 1-3 von 1000 Personen ermittelt werden (208).

Lumbale und thorakolumbale Skoliosen $\geq 10^\circ$ beim Erwachsenen traten bei Koustuik und Bentivoglio bei 3,9% von 5000 Untersuchten auf (). Avikainen und Vaherto entdeckten unter 100 weiblichen Studenten (20-23 Jahre alt) bei 51% eine Skoliose zwischen 3° und 10° und bei 15% eine noch stärkere Krümmung (8).

1.3 Ätiologie und Einteilung

Es gibt verschiedene Kriterien, nach denen die Skoliose eingeteilt werden kann. Im Folgenden ist eine Übersicht möglicher Klassifikationsschemata aufgezeigt.

1.3.1 Klassifikation nach der Form und dem Krümmungstyp

Bei der Thorakalskoliose findet sich der Scheitelwirbel (Wirbel mit der stärksten Rotation und seitlichen Keilwirbelform, aber in horizontaler Position) bei Th8/Th9, bei einer Thorakolumbalskoliose bei Th11/12, bei einer Lumbalskoliose bei L1/L2 und bei einer kombinierten Thorakolumbalskoliose bei Th7/Th8 und bei L1/L2 (169).

1.3.2 Einteilung nach dem Erkrankungsbeginn

Innerhalb des ersten Lebensjahres entstandene Skoliosen bezeichnet man als Säuglingsskoliosen. Die infantilen Skoliosen entwickeln sich zwischen dem 1. und 3. Lebensjahr, die juvenilen zwischen dem 4. und 10. Lebensjahr und die Adoleszentenskoliosen ab dem 11. Lebensjahr (221).

1.3.3 Einteilung nach der Ätiologie

Nur etwa 10% aller Skoliosen lassen ihre Herkunft erkennen. Sie sind den ersten drei Gruppen der folgenden Einteilung zuzurechnen:

A: Kongenitale Skoliosen werden verursacht durch primäre Störungen der Wirbelkörpersymmetrie. Dazu zählen nach Krämer angeborene Fehlbildungen, Wirbelkompressionsfrakturen, Wirbelkörperentzündungen mit angeborener Blockbildung. Die angeborenen Skoliosen sind durch die Missbildung einzelner oder mehrerer Wirbel gekennzeichnet. Die meisten angeborenen Fehlbildungen der Wirbelsäule sind während der Schwangerschaft erworben. Nur bei 1% der Fälle bestehen eine Heredität und ein familiäres Vorkommen (34, 212, 214).

B: Myopathische Skoliosen beruhen auf primären oder sekundären Muskelerkrankungen wie progressiver Muskeldystrophie oder sehr selten auch auf angeborenen Muskeldefekten (180).

C: Neuropathische Skoliose: Durch einseitige Lähmung der Rumpfmuskulatur kommt es zur Seitverbiegung, wie zum Beispiel bei der Poliomyelitis, Neurofibromatose, Zerebralparese oder

traumatischen inkompletten Lähmungen (212). Es handelt sich meist um sehr schwere Skoliosen, die therapeutisch besonders schwer zu beeinflussen sind. Bei Patienten mit Zerebralparese schwankt die Häufigkeit einer Deformität der Wirbelsäule zwischen 4 und 64% (57).

D: Idiopathische Skoliose: Die Ätiopathogenese der idiopathischen Skoliose ist unbekannt. Hinweise auf eine genetische Komponente als Ursache für die idiopathische Seitverbiegung, die bis zu 90% aller Skoliosen ausmacht, stellen Filho und Thompson, Mau und Wynne-Davies aufgrund familiärer Häufung des Krankheitsbildes fest. Krämer nimmt eine zentralgesteuerte, asymmetrische Innervation der Rumpfmuskulatur, d.h. eine Schädigung primär im Nerven-Muskelbereich, an. Es werden noch zahlreiche andere mögliche Faktoren (pathologische Veränderungen im Hormon-, Enzym-, Kollagen- und Aminosäurestoffwechsel im Knorpel und im Knochen) diskutiert, von denen aber bis heute keiner als alleiniger Grund für die Art der Skoliose verantwortlich gemacht werden kann. Auf eine endokrinologische Störung könnte die eindeutige Dominanz des weiblichen Geschlechts einen Hinweis geben (58, 147, 212, 218).

1.3.4 Einteilung der idiopathischen Skoliosen nach King

Typ I: Thorakolumbale oder lumbale Hauptkrümmung, die deutlich stärker ausgeprägt ist als die thorakale Gegenkrümmung. Die lumbale Krümmung ist auch weniger flexibel und stärker rotiert als die thorakale. Der Apex der kaudalen Krümmung ist meistens Th11 oder L1, seltener L2.

Es handelt sich somit um eine primäre thorakolumbale, seltener lumbale Skoliose. Die Häufigkeit beträgt 13% (116).

Typ II: S-förmige Krümmung bei der sowohl die thorakale Haupt- als auch die lumbale Gegenkrümmung die Mittellinie kreuzen. Der Cobb Winkel ist thorakal gleich groß oder größer als lumbal, ebenso das Ausmaß der Rotation. Die Flexibilität der lumbalen Krümmung ist größer als der thorakalen. Die Häufigkeit liegt bei 33% (116).

Typ III: Thorakale Krümmung bei der die lumbale Gegenkrümmung die Mittellinie nicht kreuzt. Häufigkeit 33% (116).

Typ IV: Langbogige thorakale Krümmung bei welcher L4 stark auf die Seite der Konvexität der Krümmung gekippt ist. Häufigkeit 9% (116).

TypV: Thorakale Doppelkrümmung, bei der Th1 gekippt ist und somit hochthorakal und tiefthorakal zwei strukturelle Krümmungen vorhanden sind. Die Häufigkeit beträgt 12% (116).

1.4 Diagnose der Skoliose

1.4.1 Körperliche Untersuchung

Am stehenden Menschen ist eine Skoliose durch ungleich hohe Schultern, asymmetrische Taillendreiecke und eine einseitig stärker betonte Hüftpartie zu erkennen (38). Besonders beim Vornüberneigen des Patienten sind der konvexe seitige Rippenbuckel (Prominenz der Rippen bei Thorakalskoliose) und der Lendenwulst (bei Lumbalskoliose) sowie die seitliche Ausbiegung der Dornfortsatzreihe deutlich zu erkennen (221). Aufgrund der gegensinnigen rotatorischen Ausrichtung ist die Abweichung der Dornfortsatzreihe von der Medianlinie immer geringer als die tatsächliche Abweichung der Wirbelkörper (75).

1.4.2 Röntgendiagnostik

Das wahre Ausmaß der Skoliose kann derzeit nur radiologisch zuverlässig festgelegt werden.

Statische Aufnahmen

Bei der Erstvorstellung muss eine Wirbelsäulenganzaufnahme (a.-p. und im seitlichen Strahlengang) im Stehen angefertigt werden (75).

A) Aufnahme im anterior-posterioren Strahlengang (a.-p. Aufnahme):

Die Auswertung der Bilder beinhaltet:

- Lage und Form der Krümmung

Der Scheitelwirbel liegt im Scheitelpunkt der Krümmung, ist am stärksten rotiert, aber nicht geneigt (63). Er definiert Seite und Höhe der Verkrümmung.

Neutral-/Endwirbel liegen am Ende der Krümmung, sie sind am wenigsten rotiert und am stärksten geneigt. Sie definieren den verkrümmten Wirbelsäulenabschnitt, ihre Neigung zueinander den Krümmungswinkel (221).

- Rotation des Scheitelwirbels

Nach Nash und Moe verändert die Rotation eines Wirbels die Projektion der Bogenwurzeln. Mit zunehmender Rotation wandert die konvexseitige Bogenwurzel zur Mittellinie (75). In der vorliegenden Arbeit wurde zur Rotationsmessung das Torsiometer nach Perdriolle benutzt (166).

- Krümmungswinkel

Für die Messung des Hauptwinkels gibt es zwei gebräuchliche Meßmethoden, nach Fergusson (194) und nach Cobb (31). Die Messwerte beider Methoden stehen in keiner linearen Beziehung zueinander.

Durch theoretisch-mathematische Überlegungen sowie anhand von Drehaufnahmen zeigt Neugebauer, dass die Methode nach Cobb das Maß der Krümmung, die nach Ferguson aber das Maß der relativen Seitabweichung angibt. Dabei sollten die Messfehler beider Methoden meist unter 3° liegen, wobei die Meßmethode nach Cobb noch genauer sei als die nach Ferguson (160). In der vorliegenden Arbeit sind sämtliche Skoliosewinkel nach Cobb angegeben.

B) Seitliche Aufnahmen

Hier werden die Kyphose- und Lordosewinkel nach Cobb gemessen. Die physiologische Brustkyphose (gemessen zwischen Th4 und Th12) beträgt 20°-40° (durchschnittlich 35°) und die Lendenlordose (L1 bis L5) 20°-60° (110).

Dynamische Aufnahmen

C) Bending-Test:

Um zu erkennen, ob eine Krümmung flexibel ist oder um einen operativen Eingriff zu planen, ist es notwendig, Funktionsaufnahmen anzufertigen. Die Wirbelsäule wird in frontaler Ebene maximal nach rechts ("rechtsbending") und nach links ("linksbending") umgekrümmt und in der jeweiligen Endstellung geröntgt (75).

Bei speziellen Problemen (z.B. kongenitale Skoliose) sind weitere Untersuchungen notwendig:

- *MRT*

- *CT*

- *Myelographie*

- *Wirbelsäulenaufnahmen in der Wahlebene*

Hierbei soll der Fehler, der bei kyphoskoliotischen Krümmungen über 100° in der a.-p. Röntgenaufnahme auftritt, ausgeschlossen werden. Durch eine Schrägaufnahme lässt sich dies ausgleichen (14).

1.5 Klinik und Verlauf unbehandelter Skoliosepatienten

Skoliosen entwickeln sich im Wachstumsalter allmählich, diskontinuierlich und schmerzlos (221). Unbehandelt können sie fortschreiten und in Abhängigkeit vom Ausmaß der Krümmung und dem Alter des Patienten Rückenschmerzen verursachen und die kardiopulmonale Funktion beeinträchtigen. Dadurch wird die körperliche Belastbarkeit herabgesetzt. Es können sogar neurologische Komplikationen auftreten, wodurch die Operationsindikation nachhaltig mitbestimmt wird.

1.5.1 Äußeres Erscheinungsbild

Erst bei stärkerer seitlicher Wirbelsäulenverkrümmung wird die äußerlich sichtbare Asymmetrie deutlich (38). Man erkennt starke Skoliosen beim Patienten an den ungleichen Schulter- und Beckenständen, dem Rippenbuckel bzw. dem Lendenwulst, an Rumpfüberhängen nach einer Seite und der Rumpfverkürzung.

1.5.2 Kardiopulmonale Funktion

Hauptsächlich thorakale Skoliosen führen durch die Deformierung des Brustkorbes zur Beeinträchtigung der Herz-Lungen-Funktion. Dabei verhält sich die Reduktion der Vitalkapazität proportional zum Ausmaß der Krümmung (33, 157, 170). Bei thorakalen Skoliosen mit einem Skoliosewinkel von 75° ist die Vitalkapazität um etwa ein Drittel eingeschränkt und wird bei Zunahme des Skoliosewinkels um 10° um weitere 10% reduziert (221). Aus der darauf folgenden pulmonalen Hypertonie mit Atelektasen auf der Konkavseite resultiert eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit und Lebenserwartung (186). Bei emphysemartigen Aufblähungen auf der Konvexseite kann sich im weiteren Verlauf ein Cor pulmonale einstellen (212).

1.6 Verlauf, Progressionsrisiko

Grundsätzlich ist bei allen Skoliosen mit einer wachstumsbedingten, oftmals schubweisen Zunahme der Verbiegung zu rechnen (221).

Idiopathische Skoliose

Ganz entscheidend für die Prognose der Skoliose ist das Risiko für eine Progredienz der Krümmung, das vom Alter, Geschlecht und der knöchernen Reife des Patienten, der Ätiologie der Krümmung und der Kurvenlokalisation abhängt.

Je früher der Beginn einer Veränderung anzusetzen ist, desto schwerer ist im Allgemeinen der Verlauf. Nach Matzen und Matzen sind besonders Zeiten zunehmenden Längenwachstums, v.a. die Wachstumsphase der Präpubertät, prädisponierend für eine Progression der Skoliose (146).

In guter Übereinstimmung dazu stehen die Untersuchungsergebnisse von Meurer et al.. Sie fanden, dass die stärkste Progredienz bei Mädchen im Alter von 10-14 Jahren und bei Jungen von 12-17 Jahren zu erwarten ist (149).

Für den Verlauf der Skoliosezunahme hebt Scheier hervor, dass eine Skoliose über 20° bis 30° in linearer Geschwindigkeit bis zum Einsetzen der Pubertät fortschreitet, sich mit ihrem Beginn die Progressionsgeschwindigkeit bis zum vollständigen Abschluss des Wachstums um $0,6^\circ$ bis $0,8^\circ$ pro Jahr verschlimmert (186).

In einem Kollektiv von 727 Patienten von Lonstein und Carlson mit unbehandelten idiopathischen Skoliosen zwischen 5° und 29° wiesen 23% der Fälle eine Progredienz auf. Diese zeigt sich direkt abhängig von dem Ausmaß der Kurve, dem Alter des Patienten und dem Risser-Zeichen (Zeichen für Skelettreife anhand der Verknöcherung der Darmbeinkammapophyse, 1 bis 5 = kaum Verknöcherung bis vollständig geschlossene Darmbeinkammapophyse, d.h. abgeschlossenes Wachstum) (135).

Stempel fasst zusammen, welche Parameter schon bei der Erstdiagnose Auskunft über eine zu erwartende Progredienz der Seitverbiegung geben können. Dabei stellen besonders die Rotation des Scheitelwirbels, die Skelettreife sowie die Krümmungsform ein präzises Kriterium für die weitere Prognose dar. Mit einer schlechten Prognose ist zu rechnen, wenn sich zu Beginn der Erkrankung eine starke Wirbelkörperrotation findet, das Stadium 3 der Skelettreife noch nicht erreicht ist, eine kombinierte Skoliose sowie ein großer Ausgangswinkel bestehen (206).

Bei idiopathischen thorakalen und thorakolumbalen Skoliosen fanden Peterson et al. heraus, dass bei einer Scheitelwirbellage bei Th8-Th11, einem Skoliosewinkel von 25° - 30° und einem Risserzeichen von 0-1 das Progressionsrisiko bei $>50\%$ liegt (167).

Kongenitale Skoliose

Unter den kongenitalen Skoliosen sind Verbiegungen infolge asymmetrischer Wirbelsäulenfehlbildungen im Dorsolumbal- und Lumbosakralbereich prognostisch ungünstig einzuschätzen. Eine außerordentlich schlechte Prognose haben kongenitale Skoliosen mit Wirbelfehlbildungen insbesondere beim Vorliegen sogenannter unilateraler unsegmented bars. Sie erfordern frühzeitige operative, korrigierende und stabilisierende Maßnahmen (22, 221).

Neuromuskuläre Skoliosen

Die Progredienzneigung ist meist ausgeprägt. Unbehandelt kann es zum Bild der „collapsing spine“ kommen (75).

1.7 Konservative Therapie

Als allgemeine Ziele der Behandlung einer Skoliose können gelten (107):

- Verhinderung weiterer Progredienz während des Wachstums, aber auch im Erwachsenenalter,
- Stabilisierung und Verbesserung der Herz-Lungen Funktion,
- Korrektur der Rotation,
- Verminderung oder Verhütung von Rückenschmerzen.

1.7.1 Krankengymnastik

Krankengymnastische Übungs- und Trainingsprogramme für Rücken- und Bauchmuskulatur können über Muskelkräftigung die Haltung und Mobilität des Achsenorgans verbessern (221). Betrachtet man die Adoleszentenskoliosen so empfiehlt Stücker bis zu einer Krümmung von 20° eine alleinige Beobachtung, Kontrolle und eine krankengymnastische Behandlung. Bei nachgewiesener Progredienz über 25° ist dann bei noch nicht abgeschlossenem Wachstum eine Korsettversorgung indiziert (196). Dagegen meinen Lonstein und Winter, dass in der Therapie adoleszenter idiopathischer Skoliosen der Effekt bei alleiniger Krankengymnastik derselbe ist, als wenn überhaupt keine Behandlung stattgefunden hätte (137). Konservative Behandlungen im Falle von neuromuskulären Skoliosen können allenfalls die Sitzfähigkeit verbessern (196).

1.7.2 Korsettbehandlung

Die allgemeine Indikation zur Behandlung einer idiopathischen Skoliose mit einem Korsett schwankt je nach Literaturangabe zwischen einem Krümmungswinkel nach Cobb von 15° und 50° (14, 196). Innerhalb eines bestimmten Zeitraumes sollte dabei eine Progredienz der Kurve nachgewiesen werden. Das Ziel ist, die skoliotische Wirbelsäule in einer Korrektur zu halten, bis entweder das Wirbelsäulenwachstum abgeschlossen oder das optimale Operationsalter erreicht ist.

Das 1945 von Blount und Schmidt entwickelte Milwaukee-Korsett findet seinen Einsatz hauptsächlich bei progressiven Thorakalskoliosen mit Winkeln zwischen 25° und 40° (137). Nachteile dieser Rumpforthese sind die kosmetische Einbuße und die schlechte patientenseitige Akzeptanz (221).

Die Lyoner Derotationsorthese ist 1950 von Stagnara entwickelt worden, wobei die primäre Indikation bei Skoliosen mit Winkeln zwischen 25° und 50° und Scheitelpunkten der Hauptkrümmung im mittleren oder unteren thorakalen oder thorakolumbalen Bereich liegt (183). Das 1977 von Watts et al. entwickelte Boston-Korsett wird angewendet bei lumbalen und thorakolumbalen Krümmungen mit einer maximalen Scheitelhöhe von Th9/Th10 (221).

Eine nicht operative Behandlung ist im Falle einer angeborenen Skoliose von geringem Wert. Die Krümmungen haben nur eine geringe Flexibilität und sind durch ein abnormales Wachstum bedingt. Das Wachstum kann nicht balanciert werden durch äußerlich angelegte Orthesen und in der Folge führt eine konservative Behandlung im allgemeinen zu einer Progression der Deformität (22).

Nach Bradford kann mit einer orthetischen Behandlung die Progredienz einer neuromuskulären Skoliose bis zum Zeitpunkt der Operation gebremst werden (22).

1.8 Operative Therapie

1.8.1 Geschichtliche Entwicklung der operativen Skoliosebehandlung

Die Behandlung der Skoliose war schon immer problematisch, dies zeigt sich in der Mannigfaltigkeit der Methoden, welche zur Therapie der Skoliose entwickelt wurden.

Das Zeitalter der operativen Behandlung der Skoliose wurde im Jahr 1839 mit dem Versuch von Guerin eingeleitet, mittels seiner „myotonie rachidienne“ die seitliche Verkrümmung der Wirbelsäule zu korrigieren. Dabei ging er davon aus, dass sie die Folge einer Muskelrelaxation war (204). Die moderne Wirbelsäulenchirurgie begann mit Hibbs. In der Zeit von 1914 bis 1919 führte er bei 59 Patienten mit einer Skoliose eine Spondylodese durch, indem er die Wirbelbogengelenke eröffnete und zerstörte (99). Im Anschluss erfolgte eine langwierige Gipsnachbehandlung, häufig entstanden bis zur Versteifung große Korrekturverluste (99, 185).

Ab 1949 spannte Harrington zur operativen Korrektur von Skoliosen nach Poliomyelitis zusätzlich zur Spondylodese nach Hibbs mindestens einen Metallstab zur Distraction der Konkavseite in die Fusionszone ein, eventuell auch einen konvexseitigen Kompressionsstab (41, 93).

Luque entwickelte 1982 eine Technik, bei der zwei paraspinal angepasste Metallstäbe mit segmental um die Wirbelbögen gezogenen Drähten befestigt wurden. Eine postoperative Ruhigstellung war aufgrund der hohen Stabilität des Systems nicht mehr erforderlich (141).

Die rigide Instrumentation von Cotrel und Dubousset (36) wird seit 1978 in Europa eingesetzt und soll eine dreidimensionale Korrektur von Deformitäten erbringen. Ein seit 1991 im klinischen Gebrauch befindliches Verfahren zur dorsalen Implantation bei Skoliosen und auch bei Instabilitäten ist das Universal Spine System, womit eine segmentale Derotation sowie eine Translation ohne Distraction möglich sind (172, 212).

1969 stellte Dwyer ein Operationsverfahren vor, bei dem im Gegensatz zu den bislang genannten Techniken der Zugang zur Wirbelsäule von ventral erfolgte (52). Auf dieser Basis entwickelte Zielke die „Ventrale Derotations-Spondylodese“ (219).

1.8.2 Allgemeine Operationsindikation für Patienten mit Skoliose

Indikation nach Krümmungsausmaß:

Die Indikation für die Operation zur Aufrichtung der Skoliose ist gegeben bei einem Winkel von 45-60° nach Cobb oder darüber (14).

Rasch progrediente Skoliosen mit ungünstigen Prognosekriterien und Skoliosen über 50° (bei Erwachsenen über 80° und klinischen Beschwerden) sollten operativ versorgt werden (221).

Indikation nach Patientenalter:

Nach Möglichkeit sollte die Operation kurz vor Wachstumsabschluss durchgeführt werden. Bauer et al. befürworten eine Operation bei Mädchen mit einem Knochenalter von mindestens 11 und bei Knaben von mindestens 12 Jahren. Sie räumen ein, dass eine stark progrediente Skoliose aus Altersgründen nicht unnötig hinausgezögert werden sollte, denn die Korrigierbarkeit nimmt mit zunehmender Krümmung ab (14).

Frühoperationen:

Kongenitale Skoliosen sollten immer so früh wie möglich korrigiert werden, bevor die Krümmung progredient wird und sekundäre Krümmungen entstehen (213). Gerade bestimmte Anomalien der Wirbel wie ein Halbwirbel oder eine einseitige Segmentationsstörung sind bekannt für eine sehr stark fortschreitende Kurve, die sich nicht durch Orthesen aufhalten lässt (216).

Operation im Erwachsenenalter:

Wirbelsäulenschmerzen, kardiorespiratorische Probleme, neurologische Komplikationen und die ästhetische Indikation bei schweren Deformitäten stellen nach Bauer et al. die Operationsindikationen im Erwachsenenalter (14).

Als Kontraindikation zur operativen Aufrichtung von Erwachsenenskoliosen nennt Swank das Cor pulmonale ohne Verbesserung der kardiopulmonalen Funktion während präoperativer Extension, schwere Medikamentenabhängigkeit, schwere psychiatrische Erkrankungen und erwartete Schwierigkeiten beim Ertragen der postoperativen Immobilisation (200).

1.9 Operationsmethoden

1.9.1 Skolioseoperation nach Harrington

Indikation:

Thorakale und thorakolumbale Skoliosen ohne Defekt der dorsalen Wirbelemente, kombinierte und lumbale Skoliosen (93).

Prinzipien der Korrektur:

Bei der von Harrington entwickelten Technik erfolgt eine interne Fixation und Korrektur der Skoliose mit Hilfe von Kompressionsstäben und Distractionsstäben aus Stahl (93).

Vorteile:

Neben einer guten Korrektur der skoliotischen Wirbelsäulenkrümmung in der Frontalebene (93, 221) liegen die Vorteile in der einfachen Applikation, dem niedrigen neurologischen Risiko und den geringen Implantatkosten (212).

Nachteile:

Eine zufriedenstellende Rekonstruktion der Wirbelsäule in der Sagittalebene und eine Derotation des Scheitelwirbels können mit diesem Verfahren nicht erreicht werden (25, 115, 119, 221).

Da die Aufdehnung der Wirbelsäule zu einer Zugbelastung des Rückenmarks führt, können neurologische Ausfallerscheinungen auftreten. Die Häufigkeit liegt bei 0,75% aller operierten Patienten (100). Es kommt zu Implantatbrüchen, da die Kraft nur an zwei Haken übertragen

wird. Außerdem sind eine zweiwöchige postoperative Immobilisation und das Tragen einer Wirbelsäulenorthese für 12 Monate nötig (93). Dadurch soll die prä- und intraoperativ erzielte Korrekturstellung der Wirbelsäule stabilisiert werden, bis die Spondylodese tragfähig ist. Die Nachbehandlung dauert bei den dorsalen Spondylodese etwa ein Jahr und lässt sich bei den ventralen meist auf einige Monate beschränken (71).

1.9.2 Skolioseoperation nach Zielke

Indikation:

Thorakolumbale und lumbale Skoliosen, thorakale Krümmungen nicht über Th4, Lähmungsskoliosen mit Beckenschiefstand (14)

Prinzipien der Korrektur:

Die ventrale Derotationsspondylodese (VDS) ist eine Weiterentwicklung der Dwyer-Methode (67). Durch Verkürzung und Kompression der Konvexseite mittels Wirbelkörperschrauben und Gewindestab erfolgt die Korrektur. Das spezielle Instrument der VDS ist der Derotator, der nach dem Dreipunkteprinzip arbeitet (14). Ansatzpunkte der Kraft sind dabei die Endschrauben sowie die Mitte des Kompressionsstabes. Die erzwungene Lordosierung bzw. Derotationsposition wird durch die nachfolgende Kompression der Wirbelkörper gegeneinander aufrechterhalten. Zur Fixierung dienen konvexseitige Schrauben und ein Stab (145).

Vorteile:

Das Instrumentarium besitzt eine hohe Stabilität mit der Möglichkeit zur Derotation und Lordosierung. Wegen der Kompression (statt Distraction) der Wirbelsäule besteht ein relativ geringes neurologisches Risiko (221). Insgesamt resultiert ein sehr guter Korrekturgewinn (14).

Nachteile:

Eine Wirbelsäulenorthese ist für neun Monate postoperativ zu tragen (14). Im Vergleich zu dorsalen Eingriffen ist das Auftreten von retrograden Ejakulationsstörungen möglich (109). Außerdem ist die VDS nicht bei allen Skolioseformen anwendbar, denn eine Instrumentation oberhalb des Wirbels Th6 ist schwierig (221). Nach kaudal ist aufgrund der Bifurkation der Gefäße ein Zugang zum 5. Lendenwirbelkörper schwierig. Wenn das Sakrum in die

Fusionsstrecke einbezogen werden muß, wird eine ergänzende Instrumentation von dorsal durchgeführt und ventral ein solider Knochenblock eingeführt (212).

Als Erweiterung der VDS ist der von Zielke im Rahmen des „Universal Spine Instrumentation Systems“ (USIS) entwickelte 4mm- Gewindekompressionsstab zu nennen, der eine deutlich höhere Steifigkeit aufweist. Das später entwickelte „Modular Spine System“ (MOSS) unterscheidet sich nur dadurch, dass die VDS-Schraube durch eine Schraube mit polyaxial beweglichem Kopf ausgetauscht wurde (89). Ebenfalls wurden die Wirbelkörperkrampen durch 4-Punkt-Krampen ausgetauscht, die angeblich eine bessere zuggurtende Wirkung haben sollen. Zielkes Korrekturprinzip und die interne Stabilität werden im Vergleich zur Originalmethode nicht nennenswert verändert (79).

1.9.3 Methode nach Cotrel-Dubousset

Indikation:

Thorakale Lordoseskoliosen ohne Defekt der dorsalen Wirbelelemente, auch kombinierte thorakolumbale und lumbale Skoliosen (14).

Prinzipien der Korrektur:

Eine dreidimensionale Krümmungskorrektur erzielt man mittels Stäben, die durch diverse Haken an den sog. strategischen Wirbeln fixiert werden. Es erfolgt eine Distraction an der Konkavseite, eine Kompression an der Konvexseite sowie ein Transversalzug und eine Derotation am Scheitel der Krümmung (14, 74, 162).

Vorteile:

Im Allgemeinen ist eine korsettfreie Nachbehandlung möglich (14). Die Technik erlaubt eine dreidimensionale Korrektur, also auch der Krümmungen in der Sagittalebene (Erhalt der physiologischen Kyphose und Lordose) (13, 221). Das Instrumentarium weist eine hohe Stabilität auf, und es wird ein guter Korrekturgewinn erreicht (13, 221).

Nachteile:

Die Operationstechnik ist schwierig auszuführen und zeitaufwendig (221). Die Implantate sind voluminös und sehr teuer (14). Speziell für die Stabrotation wird von

Dekompensationsproblemen, das heißt Verschlechterung der operativ erzielten Krümmungskorrektur besonders im lumbalen Bereich berichtet (28, 209).

Implantate und Operationsmethode

Das Cotrel-Dubousset Instrumentarium (CDI) (47) besteht aus wahlweise geschlossenen oder offenen Pedikel-, Lamina- und Transversalhaken, 2 soliden, profilierten Rundstäben und Querzügen. Nach dorsaler subperiostaler Präparation des Fusionsbereichs wird mit der Instrumentation konkavseitig thorakal, also meist linksseitig begonnen. Nachdem die Endwirbel und die beiden strategischen Intermediärwirbel der Spondylodeseestrecke mit Haken besetzt sind, wird ein entsprechend der Seitenausbiegung angeschrägter Stab an diesen Haken angebracht. Die sichere Fixation der oben offenen Intermediärhaken erfolgt dabei mit sog. C-Ringen und leichter Vordistraktion, wobei der Stab aber um seine Längsachse drehbar bleibt. Die Hauptkorrektur erfolgt danach über die Rotation dieses eingeschränkten Stabes um die Längsachse, so dass die thorakale Seitenausbiegung einerseits ausgegradet, andererseits in eine idealerweise physiologische Kyphose transformiert wird. Danach wird erneut leicht nachdistrahiert. Das Hauptkorrekturprinzip ist also eine thorakal konvexeits applizierte, transversale Zugkraft (79).

Auch doppelbogige Krümmungen lassen sich mit diesem Prinzip gut korrigieren, da durch die Stabrotation gleichzeitig mit der Korrektur der thorakalen Krümmung die lumbale Konvexität der Seitenausbiegung durch Druck auf den lumbalen Skoliosescheitel ausgegradet und in eine Lordose transformiert wird. Danach wird thorakal konvexeits, bei doppelbogigen Skoliosen auch lumbal konkavseits instrumentiert (79).

Im kranialen Spondylodesebereich wird in aller Regel eine pedikulotransversale Klammer gesetzt, dazwischen je nach Fusionsstrecke 1 oder 2 Intermediärhaken, am kaudalen Endbereich ein kranialwärts gerichteter Laminahaken. Der 2. danach montierte Stab stabilisiert im Wesentlichen, wobei die thorakale Konvexität und, falls instrumentiert, auch die lumbale Konkavität zur weiteren Korrektur noch leicht komprimiert bzw. distrahiert werden können. Zwei abschließend montierte Querverbinder komplettieren die primärstabile Rahmenkonstruktion (79).

Modifikationen:

Bereits zu Zeiten der klassischen, hakentragenden Cotrel-Dubousset Instrumentariums gab es Bemühungen, speziell für den Lumbalbereich anstelle der Haken Pedikelschrauben unterschiedlichen Designs in das System zu integrieren. Ebenso wurde eine große Anzahl

unterschiedlicher Haken entwickelt, die das System zunehmend unübersichtlich gemacht hat (79).

1.9.4 Skolioseoperation mit dem Universal Spine System

Prinzipien der Korrektur:

Das Universal Spine System repräsentiert ein Implantat als auch eine moderne Operationsstrategie, welches unter der Zielstellung einer segmentalen Korrektur und segmentalen Derotation der Skoliose eingeführt wurde. Die Krümmungskorrektur wird durch Stabtranslation anstelle von Stabrotation erreicht (124, 172).

Vorteile:

Ein Vorteil gegenüber Cotrel-Dubouset besteht in der besseren initialen Krümmungskorrektur und dem Erhalt der erreichten Korrektur (172). Desweiteren wirken keine Distraktionskräfte, die durch Zugbelastung des Rückenmarks neurologische Komplikationen verursachen können (207). Mit dieser Methode soll eine bessere segmentale Derotation einzelner strategischer Wirbel möglich sein (124, 207).

Pedikelhaken werden mit Fixationsschrauben gesichert, die möglicherweise eine Dislokation der Haken verhindern, wie biomechanische Studien gezeigt haben (15).

Nachteile:

Abgesehen von biomechanischen Studien und technischen Erläuterungen liegen bisher nur Kurzeitergebnisse mit dem Universal Spine System vor (6, 15, 171, 172).

Operationsmethode:

Der konkavseitige Stab wird auf die zu erzielende thorakale Kyphose und lumbale Lordose vorgebogen, das heißt von Anfang an in der endgültigen Position angelegt. Dadurch erfolgt keine Drehung des Stabes wie bei der Stabrotation mit dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium. Nach Fixation des Stabes an den Endwirbeln werden die Wirbel individuell mit Hilfe eines speziellen Instruments, dem Persuader, durch Dorsal- bzw. Transversalzug oder Rotation in die gewünschte Position gebracht (124, 207).

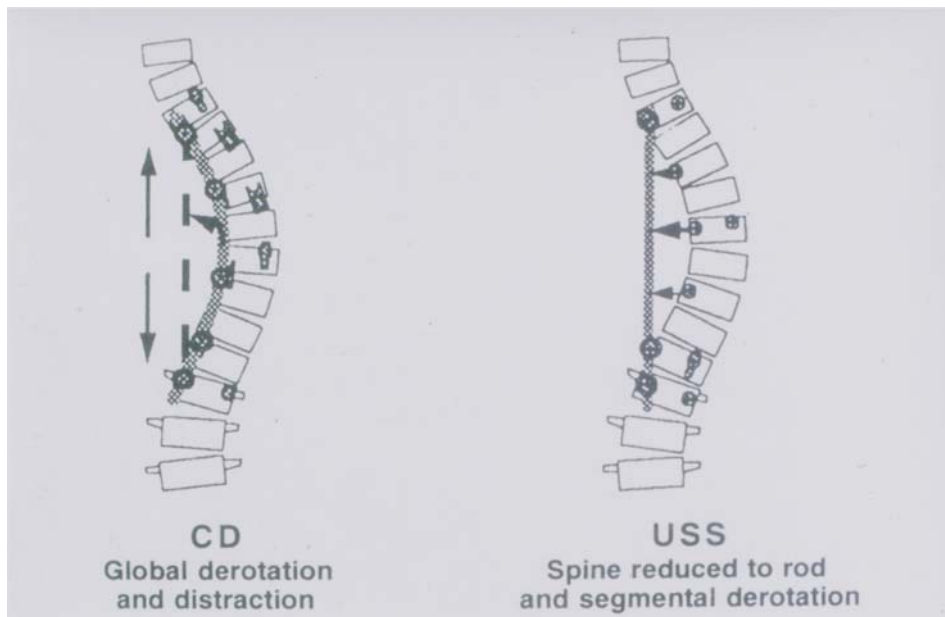


Abbildung 1 Darstellung der Projektion des Cotrel Stabes in der Frontalebene vor Korrektur durch Derotation mit Hilfe des Instrumentariums nach Cotrel-Dubousset. Zusätzliche Korrekturmöglichkeit durch Distraktion im Sinne der Pfeilrichtung. Im Gegensatz dazu Darstellung des Prinzips der segmentalen Rotation ohne Distraktion bei Verwendung des Universal Spine Systems.

2 Aufgabenstellung

In der vorliegenden Arbeit wurden retrospektiv Krankenakten und Röntgenbefunde von insgesamt 138 Patienten mit Skoliose ausgewertet. Diese erhielten eine dorsale Spondylodese im Zeitraum von Januar 1995 bis Dezember 1999 an der Orthopädischen Klinik der Charité mit dem Universal Spine System.

Ätiologisch zugrunde lag bei 109 Patienten eine idiopathische Skoliose, bei 20 eine neuromuskuläre und bei 9 eine kongenitale Skoliose.

Ziel der retrospektiven nicht randomisierten Nachuntersuchung ist der Vergleich der Korrektur zwischen Skoliosen unterschiedlicher Genese.

3 Patienten und Methode

3.1 Patienten

Es handelt sich um 138 Skoliosepatienten, die sich zwischen 1995 und 1999 an der Orthopädischen Klinik der Charité (Berlin) einer Wirbelsäulenversteifung unterzogen haben. Ätiologisch überwogen die idiopathischen Skoliosen (109 Patienten). Bei 20 Patienten fanden sich neuromuskuläre und bei 9 kongenitale Skoliosen. Von den Patienten mit neuromuskulären Skoliosen bestanden bei 7 eine infantile Zerebralparese, bei 6 eine Muskelatrophie, bei 3 eine Myelomenigozele und bei jeweils einem eine Muskeldystrophie, ein Morbus Wilson, ein Morbus Rett oder ein Morbus Down. Das durchschnittliche Operationsalter lag bei 14 Jahren. 108 Patienten waren weiblichen und 30 männlichen Geschlechts.

Anzahl der Patienten	
Idiopathische Skoliose	109
Neuromuskuläre Skoliose	20
- infantile Zerebralparese	7
- Muskelatrophie	6
- Myelomenigozele	3
- Muskeldystrophie	1
- M. Wilson	1
- M. Rett	1
- M. Down	1
Kongenitale Skoliose	9

Tabelle 1 Unterteilung des Gesamtpatientengutes in einzelne Skolioseformen

Operationsindikation

Die Evaluierung der Patienten erfolgte bei einem durchschnittlichen präoperativen thorakalen Cobb Winkel von 58°.

Operationsmethode

Die operative Versorgung bei allen Skoliosepatienten erfolgte mit einem speziellen dorsalen Instrumentarium, dem Universal Spine System.

Bei dieser dorsalen Operationstechnik erfolgen zunächst in Bauchlage ein medianer Hautschnitt, eine Präparation der Subkutis und eine Faszieneröffnung über den Dornfortsatzspitzen mit einem Elektromesser. Anschließend erfolgt ein subperiostales Abschieben der Muskulatur von der Wirbelsäule. Dabei werden ausgezogene Kompressen auf den Laminae nach lateral geschoben, um kleinere Blutungen sofort zu tamponieren. Im thorakalen Bereich erfolgt die Präparation unter Einschluß der Querfortsätze. Im lumbalen Bereich sollen lateral mindestens die Wirbelgelenke dargestellt werden, besser jedoch auch die Querfortsätze. Das Einsetzen der Pedikelschrauben wird mittels Markierung unter Bildverstärkerkontrolle durchgeführt. Laminahaken können sowohl an den Laminae als auch an den Querfortsätzen eingesetzt werden. Anschließend erfolgt das Einbringen des konvexseitig konturierten Stabes und die Unterstützung der Korrektur der Wirbelsäule durch Druck des Stabes auf die Wirbelsäule. Nach Einbringen des konkavseitigen Stabes erfolgt eine segmentale Derotation und Translation der Wirbelkörper an dem Stab. Zur Korrektur der Lordose und Kyphose werden die Längsstäbe vor der Implantation auf das erwünschte Korrekturmaß vorgeschränkt. Es erfolgt nun ein engmaschiger Wundverschluss und die anschließende Einlage der subfaszialen Drainage. Fasziennaht, Subkutannaht und Hautnaht sowie ein steriler Wundverband schließen die Operation ab.

Nachbehandlung

Am Ende jeder Instrumentation steht vor dem Wundverschluß eine Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule in zwei Ebenen. Dabei werden der Sitz der einzelnen Implantate und das erzielte Korrekturergebnis beurteilt. Korrekturen können zu diesem Zeitpunkt noch durchgeführt werden. Postoperativ erfolgte bei Risikopatienten eine Thromboembolieprophylaxe mit einem niedermolekularen Heparin. Perioperativ erhielten die Patienten eine antibiotische Abschirmung. Schrittweise wurde nach Wiedereinsetzen der Darmtätigkeit auf eine orale Ernährung umgestellt. Die Mobilisierung der Patienten erfolgte ohne Korsett ab dem zweiten postoperativen Tag. Die Follow-up Zeit nach Instrumentation betrug durchschnittlich 3 ± 1 Jahre.

Nachuntersuchungen

Die Nachuntersuchungen fanden in der orthopädischen Ambulanz 3, 6, 9, 12 und 24 Monate nach der chirurgischen Behandlung statt. Dort wurden Röntgenaufnahmen angefertigt und eine klinische Beurteilung durchgeführt.

Auswertung der Röntgenbilder

Für die Auswertung standen Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule in zwei Ebenen, d.h. im anterior- posterioren (a.-p.) und seitlichen Strahlengang zur Verfügung. Der Zeitpunkt der Aufnahmen war unmittelbar präoperativ, direkt postoperativ und beim letzten Follow-up.

3.1.1 Auswertung der Aufnahmen im anterior- posterioren Strahlengang

Auf jeder dieser Aufnahmen wurde gemessen:

zu allen oben genannten Zeiten:

- der Skoliosewinkel nach Cobb bei der thorakalen und der lumbalen Krümmung
- der Rotationswinkel des Scheitelwirbels bei jeder Krümmung mit dem Pedriolle Torsiometer
- die Balance der Wirbelsäule

zusätzlich postoperativ:

- die Länge der Fusionsstrecke
- Metallbrüche / Pseudarthrosen

3.1.2 Auswertung der seitlichen Aufnahmen

Auf diesen Aufnahmen wurde zu allen oben genannten Zeitpunkten bestimmt:

- der Kyphosewinkel der Brustwirbelsäule nach Cobb (Th4-Th12)
- der Lordosewinkel der Lendenwirbelsäule nach Cobb (Th12-L4)
- Metallbrüche / Pseudarthrosen

3.2 Messung des Skoliosewinkels nach Cobb

Zuerst werden die beiden Neutralwirbel (N), die jeweils am Ende der Krümmung liegen und von parallelen Deckplatten begrenzt werden, bestimmt. Diese weisen die geringste Rotation auf.

Dann fällt man die Lote auf die Deckplatte des kranialen und auf die Bodenplatte des kaudalen Neutralwirbels. Anschließend misst man den, durch den Schnitt der Lote entstandenen, Winkel in Grad ($^{\circ}$). (S=Scheitelwirbel, am stärksten rotiert)

Dabei werden sowohl die thorakalen Krümmungen als auch die lumbalen Gegenschwüngen gemessen.

3.3 Messung des Kyphosewinkels nach Cobb

An der seitlichen Röntgenaufnahme werden die Lote auf die Deckplatte des die Krümmung kranial abschließenden Wirbels und auf die Bodenplatte des kaudal abschließenden Wirbels gefällt. Die Wirbel stellen die am meisten geneigten in der Krümmung dar. Der Kyphosewinkel in Grad ($^{\circ}$) ergibt sich aus dem Schnitt der Lote.

Als Normalwerte wurden für die thorakale Kyphose Werte von 25° - 40° , für den thorakolumbalen Übergang Werte von -10° bis $+10^{\circ}$ und für die lumbale Lordose Werte von 35° - 55° angesehen (17).

3.4 Messung der Rotation

Die Wirbelkörperrotation anhand eines a.-p. Röntgenbildes stellt ein wichtiges Kriterium zur Prognose und Verlaufsbeurteilung einer Skoliose dar. Dazu wurden im Laufe der Zeit verschiedene Verfahren entwickelt. In dieser Studie erfolgte die Messung der Rotation des Scheitelwirbels mit dem Torsiometer nach Pedriolle (166). In Anlehnung an die Rotationsbestimmung nach Moe werden hier die Bogenwurzeln als Messpunkte benutzt. Im Normalfall sind beide Bogenwurzeln sichtbar und symmetrisch in einer Linie am oberen Wirbelkörperrand angeordnet. Je stärker die Rotation, desto stärker verlagert sich die konvexe Bogenwurzel zur konkavseitigen Wirbelkörperbegrenzung und bestimmt dadurch den Rotationsgrad.

Bei Anwendung des Torsiometers sind folgende Schritte nötig (165):

- Aufsuchen des meist rotierten Wirbels der Krümmung,
- Bestimmung der Mittelpunkte der Wirbelseiten (Punkte A und A`),
- Bestimmung des Mittelpunktes der konvexseitigen Pedikel (Punkt B),
- Anlegen des Torsiometers über Punkt A und A` und Ablesen der Gradzahl, auf der Punkt B liegt.

3.5 Messung der Wirbelsäulenbalance

Durch Messung der orthogonalen Abweichung des Wirbels C7 von der Sakrummittellinie wurde die Balance ermittelt (153, 175). Die Angabe der Abweichungen erfolgte in cm. Zur Unterscheidung wurden die nach links verschobenen Balancen mit dem Vorzeichen minus und die nach rechts verschobenen mit plus gekennzeichnet.

3.6 Bestimmung der Fusionsstrecke

Auf den postoperativen a.-p. Aufnahmen wurden Anfang und Ende des instrumentierten Wirbelsäulenabschnitts entnommen und die Anzahl der fusionierten Wirbel ausgezählt.

3.7 Auswertung der Krankenblätter

Aus den ambulanten und stationären Krankenblättern sind folgende Daten dokumentiert worden:

- Geschlecht
- Alter bei Operation
- Skolioseform
- Operationsdatum
- Dauer des stationären Aufenthaltes
- Komplikationen, die während oder nach der Operation auftraten
- Voroperationen

3.8 Auswertung der Röntgenbilder

Für die Auswertung standen Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule in zwei Ebenen, d.h. im anterior-posterioren (a-p.) und seitlichen Strahlengang zur Verfügung. Der Zeitpunkt der Aufnahmen war unmittelbar präoperativ, direkt postoperativ und beim letzten Follow-up.

Die durchschnittlichen Nachuntersuchungsperioden waren für die einzelnen Skolioseformen wie folgt:

	Follow-up
idiopathische Skoliosen	3±1 (1-6) Jahre
neuromuskuläre Skoliosen	3±1 (1-5) Jahre
kongenitale Skoliosen	2±1 (1- 4) Jahre

4 Ergebnisse

4.1 Die Frontalebene der Skoliose

4.1.1 Die thorakalen Krümmungen

- Thorakaler Skoliosewinkel

Einen Überblick über erhaltene Messergebnisse zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten gibt Tabelle 2.

Thorakaler Cobbwinkel	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit neuromuskulärer Skoliose	Signifikanz Vergleich neuromuskuläre Skoliose mit kongenitaler Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit kongenitaler Skoliose
präoperativ	54°+13° (12°-95°)	83°+40° (24°-175°)	66°+20° (40°-96°)	p<0,001 / p<0,01	n.s.	n.s.
postoperativ	17°+10° (0°-60°)	50°+29° (7°-132°)	38°+17° (13°-63°)	p<0,001	n.s.	p<0,001 / p<0,01
follow up	18°+10° (0°-60°)	54°+28° (20°-132°)	40°+18° (18°-78°)	p<0,001	n.s.	p<0,001
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,001	p<0,001 / p<0,01	p<0,001 / p<0,05			
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,01	n.s.	n.s.			
Signifikanz Vergleich der follow up Werte mit präoperativen Werten	p<0,001	p<0,001 / p<0,01	p<0,001 / p<0,05			

Tabelle 2 Mittelwerte der thorakalen Skoliosewinkel (nach Cobb) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

- Ausgangswinkel

Zwischen den Werten der präoperativen thorakalen Skoliosewinkel zeigten sich signifikante Unterschiede. Mit einem mittleren Cobb-Winkel von 83° lag bei den neuromuskulären Skoliosen gegenüber 66° bei den kongenitalen Skoliosen und 54° bei den idiopathischen Skoliosen ein deutlich höherer Ausgangswinkel vor.

- Postoperative Korrektur

Die unmittelbar postoperativ gemessenen Winkel entsprachen einer durchschnittlichen Korrektur des präoperativen thorakalen Skoliosewinkels um 69% (17°) bei den idiopathischen Skoliosen, um 40% (50°) bei den neuromuskulären Skoliosen und um 42% (38°) bei den kongenitalen Skoliosen. In allen Gruppen bestand damit eine statistisch nachweisbare, das heißt signifikante Korrektur, verglichen mit den jeweiligen präoperativen Werten.

- Postoperativer Korrekturverlust

Zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung wurde für die idiopathischen Skoliosen nach durchschnittlich 3 Jahren ein postoperativer Korrekturverlust von 1° (2%), für die neuromuskulären nach 3 Jahren von 4° (5%) und für die kongenitalen von 2° (3%) ermittelt. Diese Korrekturverluste waren in Bezug zu den postoperativen Werten lediglich bei den idiopathischen Skoliosen statistisch nachweisbar.

Insgesamt zeigte sich zum Nachuntersuchungszeitpunkt ein minimaler Korrekturverlust gegenüber den unmittelbar postoperativen Werten, wobei in den einzelnen Gruppen die durchschnittliche Verbesserung der Ausgangskrümmung sich wie folgt darstellte:

idiopathische Skoliosen um im Mittel 36° (67%), neuromuskuläre Skoliosen um im Mittel 29° (35%) und kongenitale Skoliose um im Mittel 26° (39%).

Der Vergleich zwischen den präoperativen Werten und denen zur letzten Nachuntersuchung wies Signifikanz auf, das heißt in allen Gruppen ist bis zur letzten Nachuntersuchung eine signifikante Krümmungsverbesserung erhalten geblieben.

4.1.2 Die lumbalen Krümmungen

- Lumbaler Skoliosewinkel

Tabelle 3 zeigt die gemessenen Werte zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

Lumbaler Cobbwinkel	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit neuromuskulärer Skoliose	Signifikanz Vergleich neuromuskuläre Skoliose mit kongenitaler Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit kongenitaler Skoliose
präoperativ	34°±12° (11°-75°)	54°±36° (10-110)	40°±11° (21°-52°)	p<0,01 / n.s.	n.s.	n.s.
postoperativ	11°±7° (0°-32°)	22°±19° (1°-63°)	20°±11° (8°-39°)	p<0,001 / p<0,1	n.s.	p<0,001 / p<0,05
follow up	13°±8° (0°-35°)	23°±20° (0°-62°)	25°±9° (9°-39°)	p<0,01 / n.s.	n.s.	p<0,01
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,001	p<0,05	p<0,01 / p<0,05			
Signifikanz Vergleich der postoperativen Werte mit follow up Werten	p<0,01	n.s.	p=0,067 / p=0,068			
Signifikanz Vergleich der postoperativen Werte mit follow up Werten	p<0,001	p<0,05	p<0,05			

Tabelle 3 Mittelwerte der lumbalen Skoliosewinkel (nach Cobb) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

- Ausgangswinkel

Kein signifikanter Unterschied bestand zwischen den präoperativen lumbalen Skoliosewinkeln der neuromuskulären Skoliosen (54°) und denen der kongenitalen Skoliosen (40°) sowie zwischen den idiopathischen (34°) und den kongenitalen Skoliosen. Lediglich zwischen den idiopathischen und den neuromuskulären Skoliosen war ein signifikanter Unterschied zu verzeichnen.

- Postoperative Korrektur

Unmittelbar postoperativ wurde eine durchschnittliche Korrektur um 68% (11°) bei den idiopathischen Skoliosen, um 59% (22°) bei den neuromuskulären Skoliosen und um 50% (20°) bei den kongenitalen Skoliosen erzielt. Alle Gruppen konnten eine signifikante Korrektur der jeweiligen Ausgangswinkel nachweisen.

- Postoperativer Korrekturverlust

Nach durchschnittlich 3 Jahren verminderte sich die Korrektur bei den idiopathischen Skoliosen um im Mittel 6% (2°), bei den neuromuskulären Skoliosen um im Mittel 2% (1°) und bei den kongenitalen Skoliosen um im Mittel 13% (5°).

Im Vergleich der Ergebnisse zur letzten radiologischen Nachuntersuchung mit den jeweiligen postoperativen Werten ergab sich für die kongenitalen und die idiopathischen Skoliosen ein signifikanter Korrekturverlust.

Trotz des Korrekturverlustes konnte in allen drei Gruppen bis zur letzten durchschnittlichen Nachuntersuchung eine signifikante Verbesserung der lumbalen Ausgangswinkel beibehalten werden. Insgesamt wurde somit eine Korrektur der Ausgangskrümmung um 21° (62%) bei den idiopathischen Skoliosen, um 31° (57%) bei den neuromuskulären Skoliosen und 15° (38%) bei den kongenitalen Skoliosen erzielt.

4.2 Die Rotation der Scheitelwirbel

4.2.1 Rotation des thorakalen Scheitelwirbels

Tabelle 4 zeigt die Messwerte zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

Thorakale Rotation	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit neuromuskulärer Skoliose	Signifikanz Vergleich neuromuskuläre Skoliose mit kongenitaler Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit kongenitaler Skoliose
präoperativ	22°±9° (5°-40°)	26°±20° (0°-50°)	19°±15° (21°-52°)	n.s.	n.s.	n.s.
postoperativ	18°±9° (0°-40°)	23°±14° (0°-50°)	18°±12° (0°-40°)	n.s.	n.s.	n.s.
follow up	15°±9° (0°-40°)	24°±15° (0°-50°)	16°±12° (0°-40°)	p<0,01 / p<0,05	n.s.	n.s.
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,001	n.s.	n.s.			
Signifikanz Vergleich der postoperativen Werte mit follow up Werten	p<0,01	n.s.	n.s.			
Signifikanz Vergleich der follow up Werte mit präoperativen Werten	p<0,001	n.s.	n.s.			

Tabelle 4 Mittelwerte der Rotation des thorakalen Scheitelwirbels (nach Pedriolle) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

- Ausgangswinkel

Signifikante Unterschiede zwischen den Größen der Ausgangswerte der drei Gruppen ließen sich nicht nachweisen.

- Postoperative Korrektur

Eine durchschnittliche Korrektur um 18% bei den idiopathischen Skoliosen (18°), um 12% bei den neuromuskulären Skoliosen (23°) und um 5% bei den kongenitalen Skoliosen (18°) war bei der ersten Kontrolle nach der Operation zu verzeichnen. Allerdings konnte diese Verringerung statistisch nur bei den idiopathischen Skoliosen, nicht jedoch in der Gruppe der neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen nachgewiesen werden. Das heißt eine signifikante Rotationskorrektur gelang nur bei den idiopathischen Skoliosen.

- Postoperative Korrektur zum Nachuntersuchungszeitpunkt

Bei den idiopathischen und den kongenitalen Skoliosen kam es bis zur letzten Nachuntersuchung zu einer weiteren Rotationskorrektur um 3° (14%) und 2° (11%), was allerdings nur bei den idiopathischen Skoliosen statistisch nachzuweisen war. Bei den neuromuskulären Skoliosen trat ein nicht signifikanter Korrekturverlust um 1° (4%) auf. Eine Verbesserung des thorakalen Rotationswinkels gegenüber den präoperativen Werten konnte in allen Gruppen nachgewiesen werden, die letztlich um im Mittel 7° (32%) bei idiopathischen Skoliosen, um 2° (8%) bei den neuromuskulären Skoliosen und um 3° (16%) bei den kongenitalen Skoliosen lagen. Vergleichbar mit den unmittelbar postoperativen Werten war dieser Unterschied nur bei den idiopathischen Skoliosen signifikant und somit als statistisch nachweisbare Rotationskorrektur einzuschätzen.

4.2.2 Rotation des lumbalen Scheitelwirbels

Die Messwerte zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Lumbale Rotation	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit neuromuskulärer Skoliose	Signifikanz Vergleich neuromuskuläre Skoliose mit kongenitaler Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit kongenitaler Skoliose
präoperativ	11°+-9° (0°-40°)	27°+-14° (5°-40°)	16°+-7° (5°-30°)	p<0,001 / p<0,01	p<0,1 / n.s.	n.s. / p<0,1
postoperativ	9°+-8° (0°-40°)	16°+-12° (0°-40°)	15°+-9° (0°-30°)	p<0,05	n.s.	n.s. / p<0,1
follow up	8°+-6° (0°-25°)	16°+-12° (0°-40°)	13°+-8° (0°-30°)	p<0,01 / p<0,05	n.s.	n.s. / p<0,1
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,01	n.s.	p<0,05			
Signifikanz Vergleich der postoperativen Werte mit follow up Werten	p=0,08 / p=0,07	n.s.	n.s.			
Signifikanz Vergleich der follow up Werte mit präoperativen Werten	p<0,001	n.s.	p<0,05			

Tabelle 5 Mittelwerte der Rotation der lumbalen Scheitelwirbel (nach Pedriolle) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

- Ausgangswinkel

Hier zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

- Postoperative Korrektur

Der Rotationswinkel konnte bei den idiopathischen Skoliosen um 2° (18%), bei den neuromuskulären um 9° (41%) und bei den kongenitalen Skoliosen um 1° (6%) verringert werden. Dabei handelt es sich um einen signifikanten Unterschied bei den idiopathischen und den kongenitalen Skoliosen, das heißt sie erzielten eine statistisch nachweisbare Rotationskorrektur. Allerdings ließ sich keine statistisch nachweisbare Verringerung des Rotationswinkels bei den neuromuskulären Skoliosen nachweisen.

- Postoperative Korrektur zum Nachuntersuchungszeitpunkt

Eine weitere Rotationskorrektur von 1° bei den idiopathischen und von 2° war bei den kongenitalen Skoliosen zu verzeichnen, wobei der Unterschied (Differenz zwischen Follow-up und unmittelbar postoperativ gemessenen Werten) nur in der Gruppe der idiopathischen Skoliosen signifikant war. Bei den neuromuskulären Skoliosen änderte sich der Rotationswinkel nicht.

Insgesamt (Differenz zwischen follow-up und präoperativen Werten) waren die einzelnen Korrekturen wie folgt: idiopathische Skoliosen um 3° (27%), neuromuskuläre Skoliosen um 11° (41%), kongenitale Skoliosen um 3° (19%). Signifikante Unterschiede ergaben sich bei den idiopathischen und den kongenitalen Skoliosen. Daraus ist zu schließen, dass in diesen beiden Gruppen eine Korrektur des lumbalen Skoliosewinkels erzielt werden konnte.

4.3 Balanceverhalten der Wirbelsäule

Tabelle 6 zeigt die Mittelwerte der Balance zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

Balanceverhalten	Idiopathische Skoliose			Kongenitale Skoliose			Neuromuskuläre Skoliose		
	balanciert	links	rechts	balanciert	links	rechts	balanciert	links	rechts
präoperativ		-1,69	1,52		-2,75	2		-4,5	4,5
Anzahl der Patienten	40	43	26	2	4	2	12	4	4
postoperativ		-1,95	1,3		-2,2	2,3		-2,17	4,33
Anzahl der Patienten	37	62	10	1	5	3	2	6	6
follow up		-1,49	1,33		-1,88	1		-2	3,33
Anzahl der Patienten	34	66	9	0	8	1	4	3	13
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	p=0,003	n.s.	n.s.	p<0,001	n.s.
Signifikanz Vergleich der follow up Werte mit präoperativen Werten	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 6 Anzahl der Patienten, deren Wirbelsäulen ausbalanciert bzw. nach links oder rechts verschoben waren bei idiopathischen, neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen

In dieser Studie waren präoperativ 54 Patienten (39%) balanciert und 83 (60%) unbalanciert. In den einzelnen Gruppen stellte es sich folgendermaßen dar:

Von den 109 Patienten mit idiopathischen Skoliosen zeigte sich präoperativ bei 43 Patienten (39%) eine Verschiebung der Balance der Wirbelsäule nach links und bei 26 (24%) nach rechts. Unmittelbar postoperativ stieg die Anzahl der nach links dekompenzierten Patienten auf 62 (57%) und die Anzahl der nach rechts dekompenzierten fiel auf 10 (9%). Bis zur letzten Nachuntersuchung nahm die Zahl der nach links unbalancierten Patienten um weitere 4 auf insgesamt 61% zu, die der nach rechts verschobenen nahm um einen Patienten ab auf insgesamt 8%. Von den präoperativ 40 balancierten Patienten (37%) waren unmittelbar postoperativ noch 37 (34%) und zur Nachuntersuchung 34 (31%) im Lot. Damit ist eine Tendenz zur Mittellinienverlagerung nach links postoperativ zu verzeichnen. Insgesamt kam es jedoch bei den idiopathischen Skoliosen zu einer Annäherung der unbalancierten Skoliosen an die Mittellinie. Dabei verbesserten sich die präoperativ nach links verschobenen von anfangs -1,69 cm auf -1,49 cm und damit 12% zum Nachuntersuchungszeitpunkt. Aus statistischer Sicht ergaben sich bei den genannten Angaben keine signifikanten Unterschiede.

Von den insgesamt 20 Patienten mit neuromuskulären Skoliosen war präoperativ jeweils bei 4 Patienten (20%) die Balance nach links und nach rechts verschoben (Mittelwert=0cm). Die präoperativ hohe Zahl der balancierten Patienten von 12 (60%) fiel unmittelbar postoperativ auf 2 (10%) und stieg wieder leicht auf 4 (20%) zur Nachuntersuchung. Dabei muss berücksichtigt werden, dass unmittelbar postoperativ von 6 Patienten die Röntgenbilder nicht vorlagen und somit hier nur eingeschränkt eine Aussage möglich ist. Im Gegensatz zu den idiopathischen Skoliosen stieg in dieser Gruppe die Zahl der nach rechts dekompenzierten Patienten an, auf unmittelbar postoperativ 6 (30%) und zum Nachuntersuchungszeitpunkt, wo von allen Patienten die Röntgenbilder einsehbar waren, auf insgesamt 13 (65%). Dagegen änderte sich die Anzahl der nach links dekompenzierten Patienten auf postoperativ 6 (30%) und zum Nachuntersuchungszeitpunkt auf 3 (15%) weniger eindrucksvoll. Ähnlich wie bei den idiopathischen Skoliosen näherte sich sowohl die nach links verschobene Balance von präoperativ -4,5 cm auf -2 cm zur Nachuntersuchung, als auch die nach rechts verschobene von 4,5 cm auf 3,33 cm der Mittellinie an bei präoperativ deutlich höheren Ausgangswerten. Eine statistische Relevanz ergab sich daraus jedoch nicht.

In der Gruppe der kongenitalen Skoliosen ließen sich vergleichbar mit den idiopathischen Skoliosen präoperativ eine höhere Anzahl von 4 (44%) nach links dekompenzierter Patienten gegenüber 2 (22%) nach rechts dekompenzierter Patienten und 2 (22%) sich in der Balance befindlicher Patienten nachweisen. Dabei fehlte präoperativ von einem weiteren Patienten das

Röntgenbild, so dass auch hier nur eine eingeschränkte Aussage möglich ist. Postoperativ stieg die Zahl der nach links und nach rechts unbalancierten Patienten um jeweils einen auf 56% und 33% an, wobei die Zahl der balancierten Patienten auf einen (11%) abfiel. Diese Tendenz verstärkte sich noch zum Nachuntersuchungszeitpunkt, wo sich bei keinem Patienten mehr die Wirbelsäule im Lot befand. Ebenfalls nahm die Zahl der nach links dekompenzierten Patienten weiter auf 8 (89%) zu und die der nach rechts dekompenzierten Patienten fiel wieder leicht auf einen (11%) ab.

Insgesamt konnte jedoch wie in den zuvor beschriebenen Gruppen eine Annäherung der nach links verschobenen Balance an die Mittellinie von präoperativ -2,75 cm zu -1,88 cm in der Nachuntersuchung und auch der nach rechts verschobenen Balance von präoperativ 2 cm auf 1 cm in der Nachuntersuchung ermittelt werden, ebenfalls jedoch ohne signifikanten Unterschied.

4.4 Die Sagittalebene der Krümmungen

4.4.1 Die Brustkyphose

Die Mittelwerte der gemessenen Winkel der Brustkyphose zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Thorakale Kyphose	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit neuromuskulärer Skoliose	Signifikanz Vergleich neuromuskuläre Skoliose mit kongenitaler Skoliose	Signifikanz Vergleich idiopathische Skoliose mit kongenitaler Skoliose
präoperativ	21°+14° (-13°-61°)	37°+20° (10°-66°)	35°+31° (2°-95°)	p<0,05	n.s.	n.s.
postoperativ	21°+9° (4°-48°)	25°+17° (2°+57°)	32°+21° (3°-79°)	n.s.	n.s.	p<0,05 / n.s.
follow up	22°+9° (5°-52°)	26°+17° (2°-58°)	37°+20° (3°-(-79°))	n.s.	p<0,1	p<0,01 / p<0,05
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	n.s.	p<0,05 / p=0,066	n.s.			
Signifikanz Vergleich der präoperativen Werte mit postoperativen Werten	p<0,05	n.s.	p<0,05			
Signifikanz Vergleich der follow up Werte mit präoperativen Werten	n.s.	n.s.	n.s.			

Tabelle 7 Mittelwerte der thorakalen Kyphose (gemessen zwischen Th4 und Th12) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

- Ausgangswinkel

Mit 21° lagen die präoperativen Kyphosewinkel bei den idiopathischen Skoliosen signifikant unter denen bei neuromuskulären Skoliosen (37°) gemessenen Ausgangswinkeln. Kein signifikanter Unterschied bestand zu den kongenitalen Skoliosen (35°).

- Postoperative Veränderung

Durch die Translation verringerte sich der Kyphosewinkel bei den neuromuskulären Skoliosen um 12° (32%), bei den kongenitalen um 3° (9%) und blieb bei den idiopathischen unverändert. Die Verringerung war im Vergleich zwischen prä- und postoperativen Werten bei den

neuromuskulären Skoliosen statistisch nachweisbar. Desweiteren bestand ein signifikanter Unterschied zwischen idiopathischen und kongenitalen Skoliosen. Die übrigen Verringerungen konnten im Vergleich innerhalb der Gruppen und zwischen ihnen statistisch nicht nachgewiesen werden.

- Postoperative Veränderung zur letzten Nachuntersuchung

Bei den idiopathischen Skoliosen und den neuromuskulären Skoliosen kam es bis zur letzten Nachuntersuchung nach durchschnittlich drei Jahren zu einer Kyphoseverstärkung um im Mittel 1° , was statistisch bei den idiopathischen Skoliosen nachzuweisen war. Signifikante Unterschiede ergaben sich außerdem in der Gruppe der kongenitalen Skoliosen, wo der Kyphosewinkel um 5° (14%) zunahm.

Im Vergleich zu den präoperativen Werten kam es bei den neuromuskulären Skoliosen insgesamt zu einer nicht signifikanten Abnahme der Kyphose um im Mittel 11° (30%), bei den kongenitalen Skoliosen zu einer nicht signifikanten Kyphoseverstärkung um 2° (6%) und bei den idiopathischen Skoliosen zu einer nicht signifikanten Kyphoseverstärkung um 1° (5%).

Es ist davon auszugehen, dass bei keiner der einzelnen Skolioseformen durch das Universal Spine System das Sagittalprofil der Brustwirbelsäule wesentlich beeinflusst wurde.

4.4.2 Die Lendenlordose

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der erhaltenen Messwerte zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

Lumbale Lordose	Idiopathische Skoliose	Neuromuskuläre Skoliose	Kongenitale Skoliose	Signifikanz 4	Signifikanz 5	Signifikanz 6
präoperativ	21°+10° (1°-48°)	41°+20° (1°-68°)	28°+16° (1°-54°)	p<0,001 / p<0,01	p<0,1 / n.s.	n.s.
postoperativ	21°+9° (2°-45°)	25°+14° (1°+51°)	19°+12° (3°-40°)	n.s.	n.s.	n.s.
follow up	21°+10° (0°-45°)	30°+20° (30°-80°)	21°+10° (8°-43°)	p<0,05 / n.s.	n.s.	n.s.
Signifikanz 1	n.s.	n.s.	p=0,068 / p=0,09			
Signifikanz 2	n.s.	n.s.	n.s.			
Signifikanz 3	n.s.	n.s.	n.s.			

Tabelle 8 Mittelwerte der lumbalen Lordose (gemessen zwischen Th12 und L4) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

- Ausgangswinkel

Zwischen den idiopathischen und den neuromuskulären Skoliosen, als auch zwischen den neuromuskulären und den kongenitalen Skoliosen bestanden signifikante Unterschiede. Die einzelnen Ausgangswinkel lauteten wie folgt: neuromuskuläre Skoliose 41°, kongenitale Skoliose 28° und idiopathische Skoliose 21°.

- Postoperative Veränderung

Nach der Verwendung des Universal Spine Systems blieb der Lordosewinkel bei den idiopathischen Skoliosen unverändert und verringerte sich bei den neuromuskulären Skoliosen nicht signifikant um 16° (39%). Eine signifikante Änderung ergab sich bei den kongenitalen Skoliosen um 9° (32%).

- Postoperative Veränderung zur letzten Nachuntersuchung

Bis zur letzten Nachuntersuchung vergrößerte sich die Lordose bei den kongenitalen Skoliosen wieder leicht um 2° (7%), was gegenüber der präoperativen zu einer nicht signifikanten Lordoseverringerng von 7° (25%) führte.

Ähnlich sieht es in der Gruppe der neuromuskulären Skoliose aus, wo zuletzt eine Lordoseverstärkung von 5° (12%) zu verzeichnen war. Damit lag hier beim Vergleich der Werte zum Nachuntersuchungszeitpunkt mit den Ausgangswinkeln eine nicht signifikante Lordoseverringerng von insgesamt 11° (27%) vor. Weiterhin unverändert blieb der

Lordosewinkel bei den idiopathischen Skoliosen. Damit lässt sich feststellen, dass in keiner der genannten Gruppen das Sagittalprofil durch das Universal Spine System signifikant verändert wurde.

4.5 Beschreibung der Fusionsstrecke

4.5.1 Versteifte Segmente im Gesamtpatientengut

Betrachtet man die nachfolgende Tabelle, dann ist zu erkennen, dass die Wirbel Th11/12 und L1 prozentual am häufigsten fusioniert wurden. In über 90% der Fälle sind die Segmente zwischen Th5-L1 in den Spondylodesebereich mit einbezogen. Jeweils seltener sind die kranialen thorakalen und die lumbalen Segmente versteift worden.

Versteifte Segmente	n	prozentualer Anteil
Th1/Th2	3	2
Th2/Th3	15	11
Th3/Th4	63	46
Th4/Th5	113	82
Th5/Th6	125	91
Th6/Th7	127	92
Th7/Th8	127	92
Th8/Th9	127	92
Th9/Th10	128	93
Th10/Th11	132	96
Th11/Th12	133	96
Th12/L1	133	96
L1/L2	119	86
L2/L3	91	66
L3/L4	57	41
L4/L5	24	17
L5/S1	5	4

Tabelle 9 Versteifte Wirbelkörper

Anzahl der versteiften Segmente	n	prozentualer Anteil
2	0	0
3	0	0
4	3	2
5	3	2
6	2	1
7	1	1
8	3	2
9	15	11
10	20	14
11	24	17
12	27	20
13	27	20
14	6	4
15	5	4
16	2	1

Tabelle 10 Anzahl der versteiften Segmente

4.5.2 Kraniale und kaudale Instrumentationsverankerung der einzelnen Skolioseformen

Kranialer Wirbel	Idiopathische Skoliose		Kongenitale Skoliose		Neuromuskuläre Skoliose	
	Anzahl	Prozentual	Anzahl	Prozentual	Anzahl	Prozentual
Th1/Th2	1	1	1	11	1	5
Th2/Th3	7	6			5	25
Th3/Th4	40	37	3	33	5	25
Th4/Th5	42	39	3	33	5	25
Th5/Th6	12	11				
Th6/Th7	1	1			2	10
Th9/Th10			1	11		
Th10/Th11	2	2	1	11	1	5
Th11/Th12	1	1				
Th12/L1	3	3			1	5

Tabelle 11 Kraniale Instrumentationsverankerung mit Angabe der Anzahl der Patienten und Aufgliederung in die jeweiligen Skolioseformen

Aus der Tabelle 11 ist zu erkennen, dass bei den idiopathischen Skoliosen der Wirbel Th4 prozentual am häufigsten als kraniale Instrumentationsverankerung genutzt wurde. Im Vergleich dazu wurde das Instrumentarium bei den kongenitalen Skoliosen an den Wirbeln Th3 und Th4 sowie bei den neuromuskulären Skoliosen an Th2, Th3 und Th4 prozentual gleich häufig kranial verankert.

Kaudaler Wirbel	Idiopathische Skoliose		Kongenitale Skoliose		Neuromuskuläre Skoliose	
	Anzahl	Prozentual	Anzahl	Prozentual	Anzahl	Prozentual
Th11/Th12	4	4				
Th12/L1	14	13				
L1/L2	26	24	2	22		
L2/L3	29	27	2	22	3	15
L3/L4	27	25	3	33	3	15
L4/L5	9	8	2	22	8	40
L5/S1					3	15
S1/S2					2	10

Tabelle 12 Kaudale Instrumentationsverankerung mit Angabe der Anzahl der Patienten und Aufgliederung in die einzelnen Skolioseformen

Als kaudale Verankerung diente bei den idiopathischen Skoliosen prozentual am häufigsten L2, bei den kongenitalen Skoliosen L3 und bei den neuromuskulären Skoliosen L4.

4.5.3 Anzahl der Wirbelkörper der Spondylodeseestrecke

Anzahl der Wirbelkörper der Spondylodeseestrecke	Anzahl der Patienten n	Anzahl der Patienten in Prozent
<5	3	2
5-8	9	6
9-11	58	43
12-16	67	49

Tabelle 13 Anzahl der Wirbelkörper der Spondylodeseestrecke im Gesamtpatientengut

In diesem Patientenkollektiv erhielten 92% der Patienten eine Spondylodese von mehr als neun Segmenten, die Hälfte davon sogar mehr als zwölf. Nur bei einem sehr geringen Teil der Patienten von 2% lag die Spondylodeseestrecke unter fünf Segmenten.

4.5.4 Durchschnittliche Spondylodeseestrecke der einzelnen Skolioseformen

Diagnose	Durchschnittliche Wirbelkörperanzahl der Spondylodese
Idiopathische Skoliose	11
Kongenitale Skoliose	11
Neuromuskuläre Skoliose	13

Tabelle 14 Spondylodeseestrecke mit durchschnittlicher Wirbelkörperanzahl bei den einzelnen Skoliosegruppen.

Die durchschnittliche Spondylodeseestrecke unseres Patientenkollektives lag bei 11 Segmenten. Beim Vergleich der einzelnen Skoliosegruppen benötigten die neuromuskulären Skoliosen mit 13 Segmenten eine größere Spondylodeseestrecke als die idiopathischen und kongenitalen Skoliosen mit durchschnittlich 11 Segmenten.

4.6 Alters- und Geschlechtsverteilung zum Zeitpunkt der Operation

Durchschnittliches Alter aller Skoliosepatienten n=138	Durchschnittliches Alter der Patienten mit idiopathischen Skoliosen n=109	Durchschnittliches Alter der Patienten mit nichtidiopathischen Skoliosen n=29	
		neuromuskulär	kongenital
14,3	14,3	13,0	15,2

Tabelle 15 Alters- und Geschlechtsverteilung zum Zeitpunkt der Operation

Von den 109 idiopathischen Skoliosen sind 91 weibliche (83%) und 18 männliche (17%) Patienten betroffen. Zum Zeitpunkt der Operation waren die Patienten im Durchschnitt 14,3 Jahre alt. Bei den 35 nicht idiopathischen Skoliosepatienten beträgt das Geschlechtsverhältnis weiblich zu männlich 18 (51%) zu 17 (49%). Das Durchschnittsalter lag hier bei 13,7 Jahren.

4.7 Stationärer Aufenthalt

Diagnose	Dauer des stationären Aufenthaltes in Tagen
Idiopathische Skoliose	16
Kongenitale Skoliose	21
Neuromuskuläre Skoliose	33

Tabelle 16 Dauer des stationären Aufenthaltes

Unterschiede lassen sich auch in der durchschnittlichen Dauer des stationären Aufenthaltes feststellen. Am geringsten ist diese bei den Patienten mit idiopathischen Skoliosen mit 16 Tagen. Dagegen blieben die Patienten mit neuromuskulären Skoliosen mit 33 Tagen etwa doppelt solange im Krankenhaus.

4.8 Komplikationen

In keiner der Gruppen traten intra- oder postoperativ neurologische Komplikationen im Zusammenhang mit Rückenmarksirritationen bzw. -verletzungen auf.

Nachfolgend sind die Komplikationen nach Skolioseform aufgeführt.

<i>Komplikationen</i>	<i>idiopathische Skoliose</i>	<i>Anzahl der Patienten</i>
-----------------------	-------------------------------	-----------------------------

- Materiallockerung		3
- Hakendislokation		1
- tiefe Infektion, anschließende Materialentfernung		4
- progrediente Skoliose, Erweiterung der dorsalen Spondylodese		3
- Narbenfistelung, Metallentfernung		1

<i>Komplikationen</i>	<i>kongenitale Skoliose</i>	
-----------------------	-----------------------------	--

- intraoperative Schraubenlockerung bei Pseudarthrose		1
- Bruch der Gewindestangen bei Pseudarthrose		1

<i>Komplikation</i>	<i>neuromuskuläre Skoliose</i>	
---------------------	--------------------------------	--

- Schraubenlockerung mit Neusetzen distaler Pedikelschrauben		1
--	--	---

Die Fälle der Materiallockerung, die meist auf Lockerung distaler Pedikelschrauben bei Pseudarthrose beruhten, erforderten Reoperationen. In einem Fall erfolgte nach Ausbau des Stahlimplantates eine Reinstrumentation aus Titan.

Eine Erweiterung der Spondylodesen erforderten progrediente Skoliosen. Bei einem Patienten mit progredienter Skoliose war aufgrund einer tiefen Infektion eine Metallentfernung notwendig geworden.

Die tiefen Infektionen verheilten nach Entfernung des Implantats komplikationslos. Auch im Fall der Fistelung im Narbenbereich war eine Metallentfernung erforderlich.

4.9 Falldarstellung

Skolioseoperation mit dem Universal Spine System

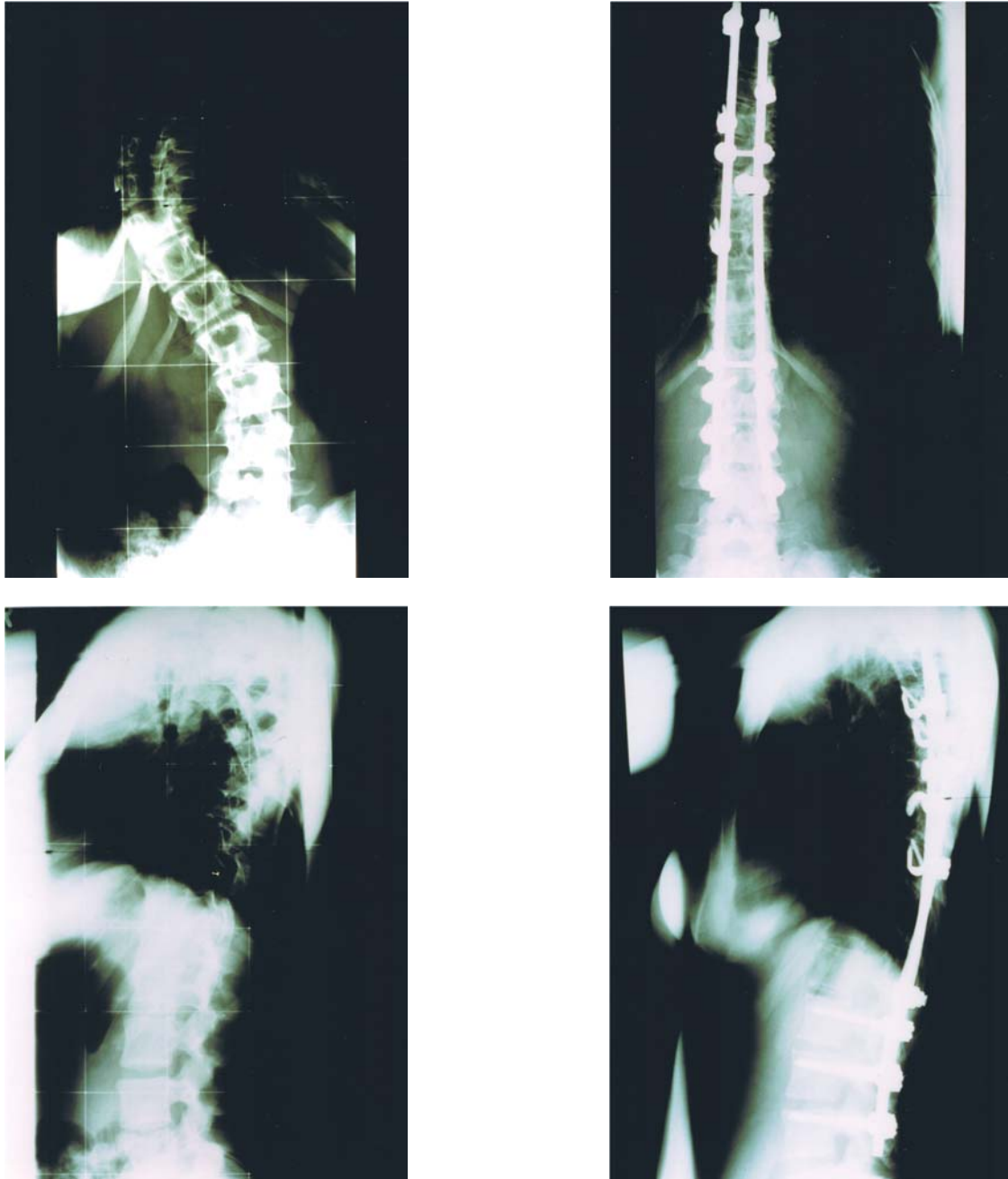


Abbildung 2 Röntgenaufnahmen im Stehen (a.-p. und seitlich) der 15 jährigen Patientin V.R. mit idiopathischer Adoleszentskoliose vom Typ 2 (Einteilung nach King). Der thorakale Skoliosewinkel betrug präoperativ 60° , er wurde auf 21° (letzte Nachuntersuchung nach 2 Jahren) korrigiert. Lumbal konnte eine Verringerung des Skoliosewinkels von 32° auf 12° erzielt werden. Das Sagittalprofil wurde um 5° auf 27° (Kyphose) und um 19° auf 36° (Lordose) verstärkt.

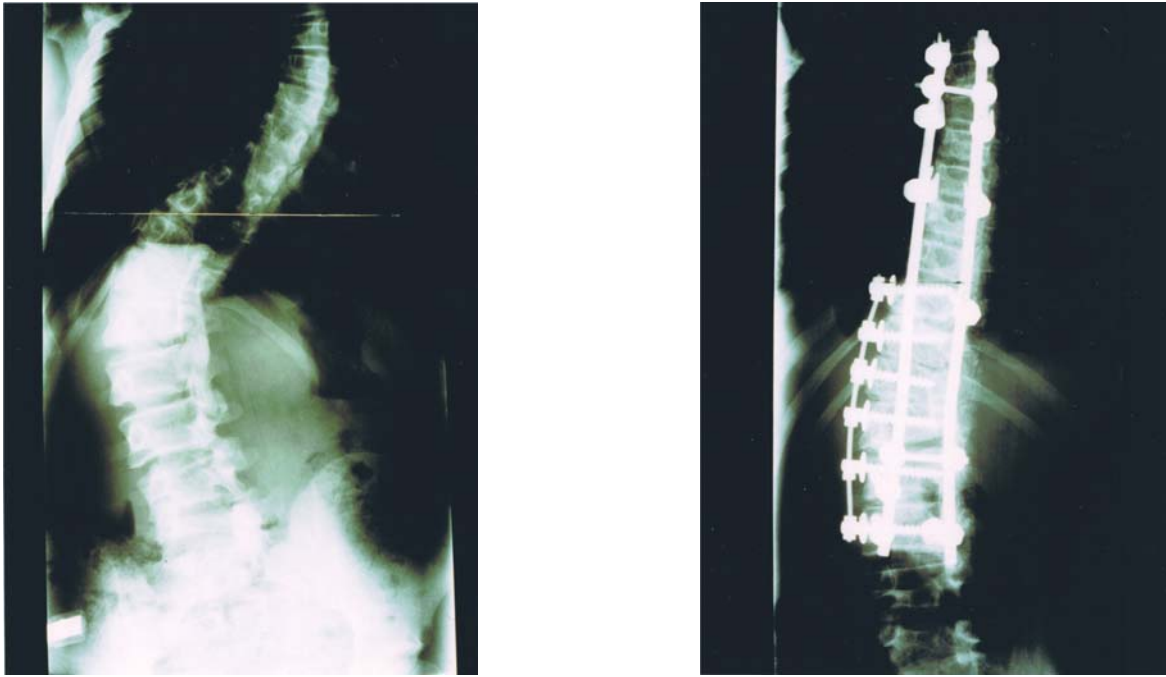


Abbildung 3 Prä- und postoperative Röntgenaufnahmen im Stehen (a.-p.) einer 12-jährigen Patientin mit kongenitaler Skoliose. Der präoperative thorakale Skoliosewinkel betrug 43° und wurde postoperativ auf 18° verringert. Der lumbale Skoliosewinkel wurde von präoperativ 51° auf postoperativ 18° korrigiert. Die Rotation des thorakalen Scheitelwirbels (5°) und des lumbalen Scheitelwirbels (15°) blieben unbeeinflusst.

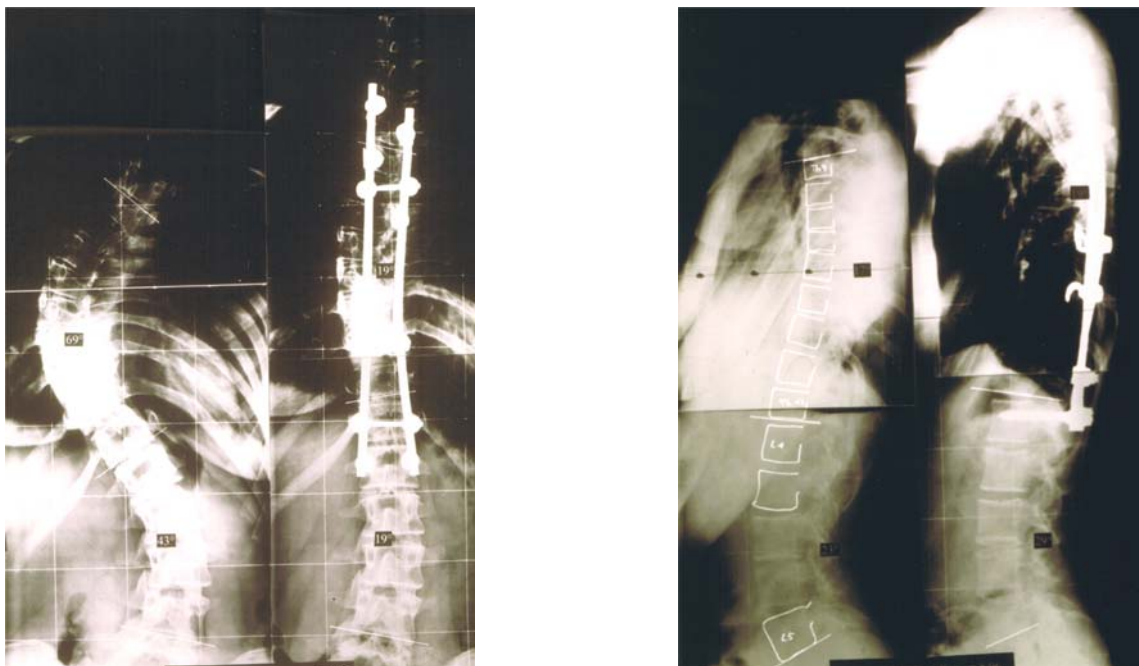


Abbildung 4 Schwer dekompenzierte idiopathische Adoleszentskoliose bei einer 16-jährigen Patientin. Der präoperative thorakale Cobbwinkel konnte von 72° auf 21° zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach 5 Jahren korrigiert werden. Lumbal wurde er von 43° auf 20° verringert. Im Sagittalprofil fand sich eine Verstärkung des Kyphosewinkels von 2° (präoperativ 22° , postoperativ 24°) und eine Abflachung des Lordosewinkels von 16° (präoperativ 28° , postoperativ 12°). Die Spondylodese erfolgte von Th3- L1.

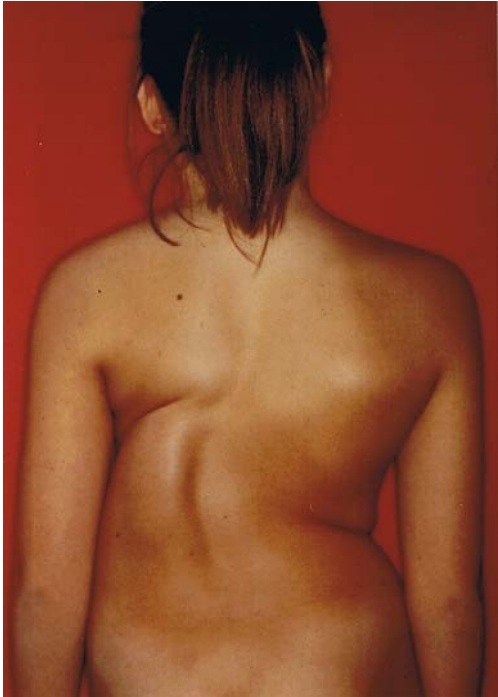


Abbildung 5 Klinische Ergebnisse nach dorsaler Korrektur mit dem Universal Spine System



Abbildung 6 Tiefe Infektion und Narbenfistelung als Komplikation nach dorsaler Instrumentation mit dem Universal Spine System

4.10 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmsystem SPSS, Version 12.

Im ersten Schritt wurden deskriptive Analysen in Form von Maßzahlberechnungen durchgeführt. Das geschah sowohl für das Gesamtkollektiv, als auch separat für die drei Gruppen idiopathische, neuromuskuläre und kongenitale Skoliose.

Um bei den einzelnen Variablen zu den gegebenen Untersuchungszeitpunkten Unterschiede zwischen den drei Gruppen herauszufinden, wurden einfaktorielle Varianzanalysen (zum Vergleich von Mittelwerten bei mehreren unabhängigen Stichproben) mit dem Bonferroni-Test als a posteriori-Test gerechnet. Dabei wird zunächst festgestellt, ob es überhaupt Unterschiede zwischen den Gruppen gibt. Anschließend wurde überprüft, zwischen welchen Gruppen diese Unterschiede bestehen.

Zum Vergleich der Variablen in Bezug auf die drei Untersuchungszeitpunkte wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung für jede Gruppe durchgeführt. Hierbei wird wiederum festgestellt, ob es im zeitlichen Verlauf überhaupt Unterschiede gibt. Darüber hinaus wird überprüft, zwischen welchen Zeitpunkten diese Unterschiede bestehen.

Ergänzend wurden zudem alle paarweisen Vergleiche zwischen je zwei Zeitpunkten berechnet. Dies geschah mittels t-Test für abhängige (gepaarte, verbundene) Stichproben.

Da die untersuchten Variablen zum Teil keine Normalverteilung aufwiesen, wurden ergänzend nichtparametrische Tests ausgeführt, die im Wesentlichen aber gleiche Ergebnisse lieferten

- (1) Kruskal-Wallis-H-Test für mehrere unabhängige Stichproben und
 - (1a) Mann-Whitney-U-Test für zwei unabhängige Stichproben
- (2) Friedman-Test für mehrere abhängige Stichproben
- (3) Wilcoxon-Test für zwei abhängige Stichproben .

Als Signifikanzniveau bei den statistischen Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ (alle p-Werte $< 0,05$ gelten als signifikant) angenommen.

Die Stichprobenumfänge bei den neuromuskulären bzw. kongenitalen Skoliosen sind relativ klein. Insofern sollten die entsprechenden Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden.

Die Ergebnisse (p<0,001 für höchst signifikant, p<0,01 für hoch signifikant, p<0,05 für signifikant, p<0,1 für Trend zur Signifikanz, n.s. für nicht signifikant) finden sich in den Tabellen wieder.

5 Diskussion

Ziel der Untersuchung war die Auswertung der langfristigen Ergebnisse nach Verwendung des Universal Spine Systems bei unterschiedlichen Skolioseformen. Dabei wurden idiopathische Skoliosen mit neuromuskulären und kongenitalen verglichen.

Vorteile des Universal Spine Systems sind in erster Linie die bessere initiale Krümmungskorrektur bei Erhalt der erreichten Korrektur im weiteren Verlauf. Das USS Instrumentarium nutzt die Stabtranslation anstelle der Stabrotation, die Möglichkeit von Pedikelhaken, Fixationsschrauben sowie Transpedikularschrauben in der unteren thorakalen und lumbalen Wirbelsäule, wodurch möglicherweise das Problem der Dislokation kaudaler Haken gelöst wird (172).

5.1 Die Frontalebene der Skoliose

5.1.1 Die thorakalen Krümmungen

In unserem Patientengut konnten gute Korrekturen des thorakalen Skoliosewinkels ermittelt werden. Bei den idiopathischen Skoliosen wurde die thorakale Krümmung um im Mittel 69%, bei den neuromuskulären Skoliosen um 40% und bei den kongenitalen Skoliosen um im Mittel 42% korrigiert.

Beim Vergleich der Korrekturen in den einzelnen Gruppen als Differenz der präoperativen und Follow-up Werte zeigten sich überall statistisch nachweisbare Korrekturen. Signifikant größer war der Korrekturgewinn bei den idiopathischen Skoliosen.

Auffällig waren die höheren Ausgangswerte mit 83° bei den neuromuskulären Skoliosen, wobei hier offensichtlich die Problematik der verspäteten Indikationsstellung und Operation bestand, so dass zur Nachuntersuchung eine verhältnismäßig geringe Korrektur von 35% zu verzeichnen war.

Einen mittleren Ausgangswinkel von 66° wiesen die kongenitalen Skoliosen auf. Durch die Operation wurde hier ebenfalls eine geringere Korrektur von 39% bis zur Nachuntersuchung als bei den idiopathischen Skoliosen erzielt. Diese niedrigere Korrektur weist darauf hin, dass bei den kongenitalen Skoliosen aufgrund des erhöhten neurologischen Risikos nicht die Instrumentation völlig ausgereizt, sondern ein Kompromiss zwischen Korrektur und Lähmungsrisiko angestrebt wurde.

In der Literatur finden sich nur wenige Berichte nach der Behandlung mit dem Universal Spine System. Diese enthalten dann meist Kurzzeitergebnisse (172).

Pratt et al. berichten von einer Korrekturrate von 41% bei einem Follow-up von 2 Jahren nach Verwendung des Universal Spine Systems. Dabei konnte der thorakale Cobb Winkel bei den 34 von ihm beschriebenen Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen von 58° auf 34° korrigiert werden (171).

Bessere radiologische Ergebnisse nach Behandlung mit dem USS Instrumentarium erreichen Arlet et al. bei einer Untersuchung von 20 Patienten. Er erzielte eine Krümmungskorrektur von 63% bei einem präoperativen Cobb Winkel von 54° (7). Die einzige Untersuchung mit noch höheren Korrekturwerten von 72% in der Frontalebene nach Verwendung von segmentalen Pedikelschrauben stammt von Suk bei vergleichbaren Ausgangswinkeln von 58° (198).

Einen retrospektiven Vergleich der klinischen, radiologischen und funktionellen Ergebnisse zwischen dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium und dem Universal Spine System führten Remes et al. bei Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen durch. 57 Patienten wurden mit dem CD Instrumentarium und 55 mit dem USS Instrumentarium versorgt. Die durchschnittliche Follow-up Rate lag bei 13 Jahren in der CD Gruppe und bei 7,8 Jahren in der USS Gruppe. Der präoperative thorakale Hauptkrümmungswinkel in der CD Gruppe betrug 55° und 52° in der USS Gruppe. Bei einer durchschnittlichen Spondylodesestrecke von 9,9 Segmenten konnte der Cobb Winkel in der CD Gruppe auf 32° verkleinert werden. In der USS Gruppe lag er in der Follow-up Messung noch bei 29° bei einer Spondylodesestrecke von 9,8 Segmenten. Insgesamt fanden sich annähernd gleiche Verbesserungen in den radiologisch messbaren und funktionellen Ergebnissen. Auch die intraoperative und Spätkomplikationsrate war in beiden Gruppen vergleichbar (172).

Vergleichbare Ergebnisse mit dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium (CD Instrumentarium) oder ähnlichen Instrumentarien erzielten Takahashi et al. (201), Roye et al. (181) und Lepsien et al. (129). Sie gaben Korrekturwerte zwischen 48-69% an. Cotrel et al. beschreiben eine Korrektur im Bereich der Frontalebene von 66% (36). Götze fand nach im Mittel 5 Jahren bei thorakalen Skoliosen eine Korrektur der frontalen Ebene von 53% (72).

Die nach unserer Kenntnis größte Langzeituntersuchung nach CD Instrumentationen stammt von Lenke et al. aus dem Jahre 1998. In ihrer Untersuchung von 76 CD Instrumentationen 5-10 Jahre postoperativ betrug die Gesamtkorrektur zum Nachuntersuchungszeitraum 45% bei einer

unmittelbar postoperativen Korrektur von 57%. Insgesamt konnte er damit eine leichtgradig geringere Korrektur erzielen, als bei unserem Patientengut erreicht wurde (59% im Follow-up). Ursächlich könnte hier die unterschiedliche Ausgangskrümmung seines Patientengutes von 53° gegenüber 59° bei unserer Untersuchung sein (128).

Humke et al. zeigten eine im Vergleich zur Harrington Instrumentation bessere Korrektur durch das CD Instrumentarium von 66,3% versus 51,3% (106).

Nach durchschnittlich 3 ± 1 Jahren wurden in unserem Patientengut Korrekturabnahmen von 2% bei idiopathischen Skoliosen, von 5% bei neuromuskulären Skoliosen und 3% bei kongenitalen Skoliosen registriert. Die Korrekturverluste waren jedoch bei den neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen nicht signifikant.

Niedrige Korrektur einbußen werden auch in der Literatur bei der Stabrotation beschrieben.

Lenke et al. konnten einen Korrekturverlust von durchschnittlich 6° ermitteln. Seine Feststellung, dass der Großteil des Korrekturverlustes hierbei innerhalb der ersten zwei postoperativen Jahre auftritt (125), konnte durch unsere Untersuchungen bestätigt werden. Nach Ergebnissen von Lepsien et al. treten mehr als 90% des Korrekturverlustes in den ersten beiden postoperativen Jahren auf. Eine Korrekturstabilität wird bei dem CD Instrumentarium daher erst nach einem Zeitraum von 24 Monaten erreicht (129). Ursächlich ist hier am ehesten die Tatsache, dass die knöchernen Konsolidierung nach diesem Zeitraum vollständig abgeschlossen ist. Vergleichende Untersuchungen mit pedikelschraubentragenden Systemen konnten hier signifikant bessere Ergebnisse für die Korrektur der Primärkrümmung bei einem signifikant niedrigeren Korrekturverlust zeigen (130).

Bereits 1994 berichten Hopf et al. von frühen Ergebnissen nach CD Instrumentationen bei Skoliosen unterschiedlicher Ätiologie. Bei insgesamt 81 Patienten mit Thorakalskoliosen konnte hierbei eine durchschnittliche Korrektur von 55% erzielt werden. Ähnliche Ergebnisse sind in der Literatur bei einem Minimum-Follow-up von 24 Monaten mit Korrekturwerten zwischen 39% und 61% beschrieben worden (100, 106, 128, 176, 198, 203).

Shih et al. verglich die chirurgische Behandlung der adulten idiopathischen Skoliose mit zwei verschiedenen Instrumentarien, bei der eine Hälfte der 22 Mädchen mit dem Cotrel-Dubousset

Instrumentarium und die anderen mit dem Texas Scottish Rite Hospital Instrumentarium versorgt wurden. Die im Durchschnitt 26,8 Jahre alten Patienten wurden 56,2 Monate nachuntersucht. Dabei betrug die unmittelbare postoperative Cobb Winkel $21,5^\circ$ (58% Korrekturgewinn), der endgültige lag bei $26,6^\circ$ (48% Korrekturgewinn). Daraus ergab sich ein mittlerer Korrekturverlust von $5,1^\circ$ (10%). Zwischen den beiden Gruppen ergaben sich in diesen beiden Parametern keine signifikanten Unterschiede (189).

Jonge und Dubouset untersuchten 306 Patienten mit idiopathischen Skoliosen, die eine dorsale Spondylodese mit dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium erhalten hatten. Die durchschnittliche Korrektur in der Frontalebene lag bei 67,1%. Es zeigte sich eine bedeutende Korrektur der Hypokyphose in der Sagittalebene. Diese konnte bei 55,1% der Patienten beseitigt werden (110).

Kohler u. Mitarb. fanden bei 21 Patienten mit einem Mindestnachbeobachtungszeitraum von 10 Jahren und einer Ausgangskrümmung von 56° eine initiale Korrektur auf $4,3^\circ$, somit in jedem Fall mehr als 80%, bei der Nachuntersuchung wurde ein Korrekturverlust um 9,7% auf 14° ermittelt (117).

Denis zeigte durchschnittlich nach 6,9 Jahren eine verbliebene Korrektur von 67%, wobei die thorakolumbalen und die lumbalen Skoliosen mit 73 bzw. 70% eine wesentlich bessere Korrigierbarkeit aufwiesen als thorakale mit 57% (40).

In einer aktuellen Studie von Kotwicki et al. wurden die radiologischen Ergebnisse von 46 operierten Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen verglichen, wobei 25 Patienten mit dem posterioren CD Instrumentarium (CD Gruppe) und 21 mit dem anterioren Poulouen plate (ANT Gruppe) versorgt wurden. Dabei konnte postoperativ eine mittlere Korrektur in der Frontalebene von 37° für die CD Gruppe und 41° für die ANT Gruppe ermittelt werden bei präoperativ minimalem thorakalen Cobb Winkel von 45° und maximalem von 65° (120).

5.1.2 Die lumbalen Krümmungen

Bei den in dieser Studie ausgewerteten Patienten konnte die lumbale Krümmung um im Mittel 65% korrigiert werden. Auch hier war der Korrekturgewinn bei den idiopathischen Skoliosen (68%) größer als bei den neuromuskulären (59%). Am geringsten fiel der Korrekturgewinn bei den kongenitalen Skoliosen mit 50% aus, was durch die bekannte Rigidität der angeborenen Skoliosen zustande kommen kann.

In der Literatur gibt es nur wenige Vergleichsmöglichkeiten, weil das Verhalten des Skoliosewinkels der Nebenkrümmung bei der Beschreibung der Operationsergebnisse häufig nicht mit angegeben wurde.

1991 wurde von Nagata et al. (158) die Korrektur der Gegenkrümmung mit 53% für die CD Instrumentationen beschrieben, bei Lepsien et al betrug sie 47%. Für die Korrektur der Hauptkrümmung wurden bessere Ergebnisse (61%) erzielt (129). Hierbei wird die Abhängigkeit der Korrektur der Nebenkrümmung von der Korrektur der Hauptkrümmung nochmals verdeutlicht, die bereits mehrfach in der Literatur für Thorakalskoliosen beschrieben wurde (47).

Der Korrekturverlust der lumbalen Gegenkrümmung in dieser Studie betrug nach durchschnittlich 3 Jahren bei den idiopathischen Skoliosen 6%, bei den neuromuskulären Skoliosen 2% und bei den kongenitalen Skoliosen 13%.

Antura gibt einen Korrekturverlust von 15% an. Nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren bei 50 Patienten mit idiopathischen Skoliosen, die mit einem Cotrel-Dubouset Instrumentarium versorgt wurden, fand sich eine postoperative Korrektur von 57% in den lumbalen Kurven. Höhere Korrekturen konnten in den King Typ III und IV als in den Typ I und II erzielt werden (4).

Lumbale Dekompensationen bei King-II-Skoliosen sind in der Literatur bekannt (10, 158), traten aber in dieser Untersuchung nicht auf. Als wahrscheinliche Erklärung dient hier die Tatsache, dass bei diesem Patientengut bei den meisten Patienten die untere Gegenkrümmung vollständig in die Instrumentation eingeschlossen wurde. Bei den übrigen war das Skelettwachstum bei einem Durchschnittsalter von 14 Jahren weitgehend abgeschlossen und eine Dekompensation der unteren Krümmung nicht zu erwarten.

Lepsiens beschreibt den Fall einer Dekompensation sowohl der kranialen als auch der lumbalen Gegenkrümmung aufgrund einer zu kurzen Instrumentationsstrecke bei einer King-IV-Skoliose mit einer strukturellen hochthorakalen Gegenkrümmung (129).

5.2 Die Rotation der Scheitelwirbel

5.2.1 Rotation des thorakalen Scheitelwirbels

Das Universal Spine System (USS) wurde unter der Zielstellung einer segmentalen Korrektur der Skoliose durch segmentale Derotation eingeführt (212).

In der vorliegenden Arbeit wurde der Rotationswinkel auf den Röntgenaufnahmen in anterior-posteriorem Strahlengang mit dem Torsiometer nach Pedriolle gemessen. Diese Methode ist allerdings etwas problembehaftet. So wurden einige Pedikel durch das eingebrachte Instrumentarium postoperativ bedeckt. Außerdem resultiert ein Markierungsfehler von 2mm in 5° Messungenauigkeit (174).

Im gesamten Patientengut zeigte sich unmittelbar postoperativ eine Derotation um im Mittel 16% bei einer thorakalen präoperativen Rotation des Scheitelwirbels von 22° und 18° postoperativ. In der Gruppe der idiopathischen Skoliosen konnte dabei eine statistisch gesicherte Korrektur von 18% erzielt werden bei präoperativem Rotationswinkel des thorakalen Scheitelwirbels von im Mittel 22° zu 18° postoperativ. Eine etwas geringere und nicht signifikante Derotation fand sich bei den neuromuskulären Skoliosen mit präoperativ 26° und unmittelbar postoperativ 23°. Ein ebenfalls statistisch nicht nachweisbarer Unterschied ergab sich bei den kongenitalen Skoliosen mit präoperativen Werten von 19° und postoperativen von 18°. Diese geringen Korrekturdifferenzen können möglicherweise durch Messungenauigkeiten verursacht sein.

Zwischen den idiopathischen und neuromuskulären Skoliosen konnten signifikante Unterschiede beim Vergleich der Follow-up Werte ermittelt werden, wohingegen der Vergleich zwischen den übrigen Gruppen zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten nicht signifikant war.

Die Fähigkeit dorsaler Instrumentationssysteme, eine Derotation des Scheitelwirbels zu erzielen, wird weiterhin kontrovers diskutiert (1, 2, 36, 94, 108, 122, 138, 156, 197, 198).

Einige Autoren erwähnen eine verbesserte Rotationskorrektur mit der Translation nach Webb durch eine segmentale Derotation einzelner strategischer Wirbel (207).

Götze fand nach im Mittel 5 Jahren bei thorakalen Skoliosen eine Translation des Scheitelwirbels von 72% (72). Pratt beschreibt nach Verwendung des Universal Spine Systems bei 34 Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen eine thorakale Derotation von 23% (171).

Webb et al. meinen allerdings, dass eine hintere Instrumentation die axiale Deformität nur in den Zwischenwirbelscheiben verbessere und deshalb für die Korrektur von Krümmungen mit starker Rotation ventrale Operationsmethoden vorzuziehen seien (207). Hier wird eine bessere Derotation erreicht, weil das Instrumentarium näher am Wirbelkörpermittelpunkt liegt als bei den dorsalen Verfahren. Durch die Entfernung des vorderen Längsbandes und der Bandscheiben sind die stärksten Widerstände gegen eine Derotation eliminiert. Zudem ist im lumbalen Bereich die Beweglichkeit der Wirbelsäule größer als im thorakalen Bereich. Derotationen um durchschnittlich über 30% sind in der Literatur beschrieben (66).

Die Stabrotation nach Cotrel-Dubousset ist mit dem Ziel einer dreidimensionalen Krümmungskorrektur entwickelt worden. Im Gegensatz zu früheren Instrumentationen, wie die Harrington Distraction und die Harrington Luque Instrumentation betonen Cotrel et al. die Fähigkeit zur Derotation und gaben eine Verbesserung der apikalen Wirbelrotation um durchschnittlich 40% an (36). Von Dubousset, Zeller, Cruickshank et al. sowie Krismer et al. wurden Derotationen von 10-20° beschrieben (37, 55, 45, 122). Götze maß eine Rotationskorrektur bei thorakalen Skoliosen von im Mittel 72% (72).

In der Studie von Lepsien et al. war bei der Anwendung der Pedriolle keine nennenswerte Derotation nach Spondylodese mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium bei idiopathischen Thorakalskoliosen nachweisbar (129). Tredwell et al. konnten anhand photogrammetrischer Messverfahren zeigen, dass es bei dorsalen Korrekturingriffen zu keiner Derotation des Scheitelwirbels kommt. Im Bereich des Endwirbels kann es jedoch, bedingt durch die Stabrotationstechnik, zu einer Zunahme der Rotation kommen (203).

Shih-Tien et al. beschreiben in ihrem Patientengut eine Rotation von 24° (23% Korrekturgewinn) unmittelbar postoperativ bei präoperativen Werten von 31° und geben einen Korrekturverlust von 17% auf 26° im Nachuntersuchungszeitraum an. Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium und den mit dem Texas Scottish Rite Hospital Instrumentarium versorgten Patienten (189).

Labelle et al. registrierten während der Operation die apikale Wirbelrotation direkt vor oder nach dem Rotationsmanöver und stellten keine wesentliche Änderung der Scheitelwirbelrotation fest (123). Auch Schlenzka et al. beschrieben die Rotationskorrektur bei der Stabrotation als relativ gering (187).

In der aktuellen Studie von Kotwicki konnte eine deutlich bessere Korrektur der Wirbelrotation nach Verwendung eines anterioren Instrumentationssystems (ANT Gruppe) von 13° gegenüber 2° nach Einsatz des dorsalen CD Instrumentariums (CD Gruppe) bei 46 Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen ermittelt werden. Nach 3D Computerrekonstruktion mit der Rachis 91 Software entsprach das einer Korrektur des thorakalen Scheitelwirbels von mehr als 50% in der ANT Gruppe und damit signifikant mehr als bei CD Gruppe (120).

In unserer Studie waren in allen Gruppen Korrekturen der apikalen Wirbelrotation unmittelbar postoperativ erreicht. Zur letzten Nachuntersuchung verschlechterte sich der Mittelwert bei den neuromuskulären Skoliosen um 1°, verbesserte sich bei den idiopathischen um 3° und bei den kongenitalen Skoliosen um 1°. Dadurch wurde insgesamt bei den idiopathischen Skoliosen eine Derotation von 32%, bei den neuromuskulären Skoliosen von 8% und bei den kongenitalen Skoliosen von 16% erreicht.

5.2.2 Rotation des lumbalen Scheitelwirbels

In den Gruppen der idiopathischen und kongenitalen Skoliosen konnten postoperativ und zum Follow-up Zeitpunkt signifikante Rotationsverbesserungen der lumbalen Gegenschwingung verzeichnet werden, nicht signifikant blieben sie bei den neuromuskulären Skoliosen. Bei Ausgangswinkeln von 11° bei den idiopathischen Skoliosen, 27° bei den neuromuskulären Skoliosen und 16° bei den kongenitalen Skoliosen waren unmittelbar postoperative Korrekturen von 18%, 41% und 6% nachzuweisen.

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt war eine weitere Derotation auf insgesamt 27% bei den idiopathischen Skoliosen und auf 19% bei den kongenitalen Skoliosen zu verzeichnen. Diese Änderungen gegenüber den unmittelbar postoperativen Werten lassen sich statistisch nur in der Gruppe der idiopathischen Skoliosen nachweisen. In der Gruppe der neuromuskulären Skoliosen kam es zu keiner Änderung der Rotation des lumbalen Scheitelwirbels nach durchschnittlich 3±1 Jahren.

In der Literatur wird nur in wenigen Untersuchungen über die Rotation der lumbalen Krümmung berichtet.

Vergleichbare Ergebnisse erzielten Shufflebarger und Clark mit Rotationsverbesserungen von 22%, sowie Ecker et al. von 11% nach Verwendung des Cotrel-Dubousset Instrumentariums bei idiopathischen Skoliosen (56, 190).

In den von Lenke et al. evaluierten Ergebnissen nach segmentaler Fixation der Wirbelsäule mit dem CD Instrumentarium bei 95 Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen konnte nach einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 45 Monaten eine Korrektur der Scheitelwirbeltranslation von durchschnittlich 60% ermittelt werden (126).

Antura berichtet von keiner Korrektur, sondern einer Aufrechterhaltung der normalen Sagittalkurve der Lendenwirbelsäule im Nachuntersuchungszeitraum, auch wenn die Fusion im unteren Bereich der Lendenwirbelsäule erfolgte (4).

5.3 Balanceverhalten der Wirbelsäule

Von den insgesamt 109 ausgewerteten Patienten mit idiopathischen Skoliosen war präoperativ bei 39% der Patienten die Balance nach links verschoben, bei 24% nach rechts. Unmittelbar postoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt stieg die Anzahl der nach links dekompensierten Patienten auf 57% bzw. 61% und die Anzahl der nach rechts dekompensierten fiel auf 9% bzw. 8%. Die Zahl der präoperativ balancierten Patienten verringerte sich von 37% auf 34% unmittelbar postoperativ und 31% in der Nachuntersuchung.

Die Korrektur der Scheitelwirbeltranslation der nach links dekompensierten Patienten betrug im Durchschnitt 12% und wurde von -1,69 cm auf -1,49 cm korrigiert. Ähnlich hoch lag die Korrektur bei den nach rechts dekompensierten Patienten mit durchschnittlich 13%, wobei sie von 1,5 cm auf 1,3 cm zur Nachuntersuchung korrigiert wurde.

Vergleichbare Ergebnisse ließen sich bei den kongenitalen Skoliosen nachweisen. Von den insgesamt 9 Patienten war die präoperative Balance bei 44% der Patienten nach links verschoben und bei 22% nach rechts. Postoperativ fiel die Anzahl der balancierten Patienten von präoperativ 22% auf 11%. Wie bei den idiopathischen Skoliosen stieg die Anzahl der nach links dekompensierten Patienten unmittelbar postoperativ und zur Nachuntersuchung. Insgesamt lag die Korrektur der Scheitelwirbeltranslation bis zur letzten Nachuntersuchung bei den nach links dekompensierten Patienten bei 32% und bei den nach rechts dekompensierten bei 50%.

Demgegenüber nimmt bei den neuromuskulären Skoliosen die Anzahl der nach rechts dekompenzierten Patienten von präoperativ 20% auf 65% zur Nachuntersuchung deutlich zu, wobei die Zahl der nach links dekompenzierten nur leicht abnimmt von präoperativ 20% auf 15% zur Nachuntersuchung. Die Anzahl der balancierten Patienten fiel von 60% präoperativ auf 20% zur Nachuntersuchung. Dabei fand sich bis zur letzten Nachuntersuchung eine Korrektur der Scheitelwirbeltranslation bei den nach links dekompenzierten Patienten von 56% und bei den nach rechts dekompenzierten von 26%.

Betrachtet man die unbalancierten Patienten, so ergibt sich in allen Gruppen eine Annäherung der Balance an die Mittellinie, die am deutlichsten bei den neuromuskulären Skoliosen und den kongenitalen Skoliosen ausfällt. Mitverantwortlich könnte die deutlich längere Fusionsstrecke der neuromuskulären Skoliosen sein. Diese Ergebnisse sind mit denen anderer Autoren vergleichbar (196).

Nach Verwendung des Universal Spine Systems lag die Korrektur der Scheitelwirbeltranslation bei den von Pratt beschriebenen Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen bei 47% und konnte von 4,5 cm auf 2,4 cm verringert werden (171). Bessere Ergebnisse erzielte Arlet et al. mit 72% (7).

Lepsien berichtet von Korrekturen der Scheitelwirbeltranslation von 39%, wobei sie bei 33 Patienten mit idiopathischen Skoliosen, die mit dem CD Instrumentarium versorgt wurden, von 4,9 auf 3,0 cm korrigiert werden konnten (129).

Bei Lenke et al. war die Korrektur der Translation des Scheitelwirbels mit knapp über 40% und 6 Jahre postoperativ stabil (128). In der vor kurzem veröffentlichten Studie von Kotwicki betrug die Korrektur der Wirbelsäulenbalance 4,58 cm in der mit dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium versorgten Gruppe und 4,27 cm in der Gruppe, die ein anteriores Instrumentarium erhielten (120).

Arlet et al. beschreiben Korrekturen der Scheitelwirbeltranslation von über 70% unter Verwendung von modifizierten Pedikelhaken (5).

Das Ausmaß der Korrektur der Scheitelwirbeltranslation ist zum einen abhängig von der Anzahl der implantierten Anker auf der Konkavität (203), zum anderen von der Ausrissfestigkeit des Implantates. Tierexperimentelle Studien sowie Kadaverstudien am Menschen haben hier bereits die Unterlegenheit von Haken gegenüber beispielsweise Pedikelschrauben bezüglich der Stabilität der Verankerung gezeigt (15, 132). Für die Verbesserung der Korrektur der Scheitelwirbeltranslation ist daher die Verwendung modifizierter Pedikelhaken mit höherer Ausrissfestigkeit bzw. Verwendung von Pedikelschrauben zu empfehlen.

In der von Weng et al. untersuchten Gruppe von 32 Patienten mit idiopathischen und kongenitalen Skoliosen, die sich einer Spondylodese mit dem Texas Scottish Rite Hospital Instrumentarium unterzogen, konnte eine durchschnittliche Korrektur der Scheitelwirbeltranslation von 1,6 cm (67%) ermittelt werden (210), wohingegen das Balanceverhalten in der von Labelle untersuchten Patientengruppe unbeeinflusst blieb (123).

Moore et al. beschreiben in ihrer Studie nach Cotrel-Dubouset Instrumentation einen Anstieg des Balanceverhalten von präoperativ 1,7 auf 2,0 cm postoperativ. Sie sind der Meinung, dass eine gute postoperative Balance zu erzielen ist, wenn Kurven vom Typ 3 (Einteilung nach King) nicht weiter als bis zum Neutralwirbel fusioniert werden. Dadurch werden mobile Segmente der Lumbalwirbelsäule erhalten, welche in der Lage sind, die Wirbelsäule auszubalancieren (153).

Mason und Carango stellten in einem Vergleich zwischen Harrington Modifikationen und Stabrotation fest, dass die Cotrel-Dubouset Instrumentation den Apex der thorakalen Kurve um 1,5 cm weiter nach links verschob als die Harrington Instrumentation. Sie fanden heraus, dass die Korrektur der Lumbalkurve nur in den Segmenten unter dem kaudalsten Fusionspunkt bis zum Kurvenapex stattfindet. Je weiter links nun der Apex der Lumbalkurve von der Sakrummittellinie liegt, desto weiter kann der Thorax nach links verlagert sein. Je weiter der Apex der präoperativen thorakalen Kurve rechts der Sakrummittellinie liegt, desto weniger wird der Thorax postoperativ nach links verlagert sein. (144).

Weitere Überlegungen bezüglich der Ursache dekompenzierter Wirbelsäulenbalancen sind das Vorhandensein von Nebenkurven über bzw. unter den Hauptkurven, die einen Ausgleich der Balancen herstellen könnten (24), die Notwendigkeit der Einbeziehung einer bestehenden oberen thorakalen Nebenkrümmung in die Fusion () bzw. der kranialen und kaudalen Nebenkurve (13) und ein Weiterwachsen der Lumbalkurve bei sehr jung operierten Patienten (126).

In der Literatur wird das Balanceverhalten, wie man sieht kontrovers diskutiert. In diesem Patientengut konnten in den Gruppen der neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen bei den nach links unbalancierten Skoliosen signifikante Korrekturen der Scheitelwirbeltranslation zwischen dem postoperativen und dem Follow-up Zeitpunkt nachgewiesen werden.

5.4 Die Sagittalebene der Krümmungen

5.4.1 Die Brustkyphose

In der vorliegenden Arbeit konnte bei den idiopathischen Skoliosen die präoperative Kyphose von im Mittel 21° postoperativ beibehalten werden. Zur letzten Nachuntersuchung nach durchschnittlich 3 Jahren war eine Zunahme um im Mittel 1° zu verzeichnen.

Anders sah es bei den neuromuskulären Skoliosen aus, wo die präoperative Kyphose von im Mittel 37° auf 25° verringert wurde, was statistisch nachweisbar war. Zur letzten Nachuntersuchung vergrößerte sie sich um 1° , wodurch zwischen präoperativ und zuletzt erhobenen Werten kein signifikanter Unterschied mehr bestand.

Eine ebenfalls tendenzielle, aber nicht signifikante Abnahme der Thorakalkyphose von 35° auf 32° unmittelbar postoperativ, ließ sich bei den kongenitalen Skoliosen nachweisen. Zur letzten Nachuntersuchung war jedoch wieder eine Zunahme um 5° auf 37° zu verzeichnen, so dass es insgesamt sogar zu einer Zunahme der Kyphose kam, was im Vergleich zwischen präoperativen und zuletzt erhobenen Werten nicht statistisch nachweisbar war.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass in keiner der Gruppen das Sagittalprofil signifikant geändert wurde.

Thorakale Kyphosen werden zwischen Th4 und Th12 gemessen. Seit circa 1960 gilt die Festlegung von Roaf, dass thorakale Kyphosen zwischen 20° und 40° liegen sollten (178). Bradford bestätigt diese Ansicht 1977 (20). 1982 gaben Stagnara et al. das Ausmaß der maximalen Kyphose zwischen 30° und 50° an (193). Nach Bernhardt und Bridwell liegt das normale Maß zwischen 20° und 45° oder 50° . Die meisten Autoren akzeptieren 20° bis 40° als normales Maß (110). Man kann also davon ausgehen, dass die präoperativen mittleren Ausgangswinkel und die postoperativen Werte in allen drei Gruppen im Bereich der physiologischen Kyphose lagen.

Eine Unterteilung in hypokyphotische bzw. normokyphotische Ausgangswinkel wurde nicht vorgenommen, da aufgrund der kleinen Fallzahl keine relevante Aussage getroffen werden kann.

Über die Korrekturmöglichkeiten sagittaler Deformitäten bzw. den Erhalt der physiologischen seitlichen Kontur unter Verwendung des CD Instrumentariums wurde in der Literatur berichtet (25, 46, 81, 83, 108, 129, 175). Insbesondere bei präoperativ bestehender thorakaler Hypokyphose konnten gute Korrekturergebnisse mit Wiederherstellung eines physiologischen Profils erreicht werden.

Das Verfahren von Cotrel-Dubousset mit dreidimensionaler Korrektur bewirkt eine kyphosierende Korrektur der Brustwirbelsäule. Durch die globale Derotation des CD Instrumentariums zeigen sich Korrekturen des sagittalen Profils von 10°-20° (37, 55, 45, 122).

Einen geringen Zuwachs der thorakalen Kyphosen bei vorbestehenden Hypokyphosen konnten Antura et al. nachweisen (4). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Kotwicki et al. in einer 2006 veröffentlichten Studie. Er berichtete von einer Zunahme des thorakalen Krümmungswinkels bei präoperativer Hypokyphose, wohingegen eine leichte Abnahme des Winkels bei präoperativer Normokyphose zu verzeichnen war (120).

In einer weiteren Studie von de Jonge unterzogen sich 306 Patienten mit einer idiopathischen Skoliose einer dorsalen Spondylodese nach dem Derotationsprinzip von Cotrel-Dubousset. Von den 159 Patienten (52%) mit einer präoperativen Hypokyphose verblieben nur bei 71 Patienten (23%) eine Hypokyphose nach der Operation bestehen. Die größte Verbesserung der präoperativen Hypokyphose betrug 12°. Bei nur 8 Patienten (3%) zeigte sich postoperativ eine Verschlechterung der thorakalen Kyphose. Je schwerer die präoperative Hypokyphose war, desto bessere Korrekturergebnisse wurden erzielt. In Fällen mit normaler präoperativer Kyphose verminderte sich das Ergebnis wenig (-3°), aber bei 18 Patienten (16%) entwickelte sich eine Hypokyphose. Mit einem besseren Hakensystem oder mit zusätzlicher in situ Stabkrümmung könnte das Problem verringert werden (110).

Am besten waren die Ergebnisse bei thorakalen Lordoskoliosen. Auch der thorakolumbale Übergangsbereich kann selektiv korrigiert werden, wie segmentale Analysen zwischen Th10-Th12 und Th12-L2 bei Halm zeigen (79). Am geringsten war der Einfluss auf die LWS, wie auch Bridwell et al. bereits angaben (25). Lenke et al. konnten zeigen, dass die instrumentelle Korrektur des Profils der Wirbelsäule mittels CDI auch nach im Mittel 6 (5-10) Jahren voll erhalten bleibt (125).

Halm et al. konnten bei Patienten mit idiopathischer Skoliose, die sich einer Operation mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium unterzogen, eine Korrektur der thorakalen Hypokyphose zeigen (80). Mithilfe einer intraoperativen Messtechnik basierend auf magnetischen Feldern wiesen Labelle et al. ebenfalls eine signifikante Verbesserung der thorakalen axialen Hypokyphose und der lumbalen Hypolordose bei idiopathischen Skoliosen in der Sagittalebene nach (123).

Mann et al. beschrieben ähnliche Ergebnisse, jedoch nur bei Patienten, die zusätzlich mit einem anterioren System versorgt wurden (143). Veröffentlichungen, in denen das CD Instrumentarium eingesetzt wurde, berichteten von geringeren Verbesserungen der thorakalen Kyphose zwischen 0° und 10° (98, 122, 126, 187). Bei Patienten mit stärker ausgeprägter Kyphose fanden Giora et al. eine bedeutende, aber nicht vollständige Korrektur der thorakalen Hypokyphose. Dagegen wurde bei Patienten mit milder Kyphose eine komplette Korrektur beschrieben. Sollte präoperativ eine normale Kyphose bestanden haben, so blieb diese auch postoperativ erhalten (70). Ähnliche Ergebnisse beschreiben auch Bridwell et al., Fitsch et al., Halm et al., Hopf et al. und Suk et al. (25, 59,80, 100, 199).

In einer Studie berichteten Betz et al. von einer durchschnittlichen Vergrößerung der thorakalen Kyphose auf 16° nach Verwendung eines anteriorem Instrumentariums, wobei 40% der Patienten mit präoperativer Normokyphose eine Hyperkyphose postoperativ entwickelten. Bei nur 40 % der Patienten mit Hypokyphose war nach posteriorer Spondylodese mit einem Multisegmentalen Hakensystem eine vollständige Korrektur des sagittalen Profils zu beobachten. In der Gruppe der dorsalen Spondylodesen lag die durchschnittliche Verbesserung der thorakalen Kyphose bei 1° . 29% der Patienten mit normaler präoperativer Kyphose entwickelten nach dorsaler Spondylodese eine Hypokyphose (18).

In der vorliegenden Studie konnte die physiologische seitliche Kontur in allen drei Gruppen erhalten bleiben. Signifikante Unterschiede beim Vergleich der Follow-up mit den präoperativen Werten ergaben sich nicht.

5.4.2 Die Lendenlordose

In dem untersuchten Patientengut konnte bei den idiopathischen und neuromuskulären Skoliosen keine statistische Änderung der Lendenlordose nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu verringerte sich die lumbale Lordose bei den kongenitalen Skoliosen postoperativ signifikant. Bei mittleren Ausgangswinkeln von 28° ließ sich unmittelbar postoperativ eine Abnahme der Lordose um 32% feststellen. Zur letzten Nachuntersuchung vergrößerte die sich um 7%, wodurch kein signifikanter Unterschied mehr zwischen präoperativen und zuletzt erhobenen Werten bestand.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass durch das Universal Spine System in unserem Patientengut das Sagittalprofil weder bei idiopathischen Skoliosen noch bei neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen signifikant verändert wurde.

Mehrfach wird in der Literatur von der relativ geringen Beeinflussung des sagittalen Profils nach Verwendung des CD-Verfahrens gesprochen. Hopf et al. beschreiben eine Zunahme des lumbalen Lordosewinkels von $44,2^\circ$ auf $47,6^\circ$. Bei genauerer Analyse ergab sich, dass durch die Operation lediglich bei der Patientengruppe mit einer präoperativen Lordose unter 40° (mittlerer Lordosewinkel $36,1^\circ$) eine Korrektur (postoperativ $40,3^\circ$) möglich war, während bei den Patienten mit einer präoperativen Lordosierung der Lendenwirbelsäule über 40° (mittlerer Lordosewinkel $57,8^\circ$) postoperativ keine wesentliche Veränderung aufzuweisen war (100).

In den von Lenke et al. evaluierten Ergebnissen nach segmentaler Fixation der Wirbelsäule mit dem CD Instrumentarium bei 95 Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen konnte nach einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 45 Monaten das physiologische sagittale Profil am thorakolumbalen Übergang und im Bereich der Lendenwirbelsäule beibehalten werden. Ebenso berichten Antura et al. von keiner Korrektur, sondern einer Aufrechterhaltung der normalen Sagittalkurve der Lendenwirbelsäule im Nachuntersuchungszeitraum, auch wenn die Fusion im unteren Bereich der Lendenwirbelsäule erfolgte (4).

Kein signifikanter Unterschied in der thorakalen Kyphose und der lumbalen Lordose postoperativ fanden Remes et al. bei 57 mit dem CD Instrumentarium versorgten und 55 mit einem USS-Instrumentarium versorgten Patienten (172).

Wie Bridwell schreibt, ist die Herstellung einer physiologischen lumbalen Lordose in vielen Fällen wichtiger als die Herstellung einer physiologischen thorakalen Kyphose. Abgesehen von

schweren Fällen mit reduzierter Lungenfunktion wird eine thorakale Hypokyphose im Allgemeinen von den Patienten besser toleriert als eine lumbale Hypolordose. Dies führt nämlich mit fortschreitender Degeneration der Bandscheiben zu einer relativen Kyphose, und der Patient wird Schwierigkeiten haben, eine schmerzlose sagittale Balance aufrechtzuerhalten (24).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das physiologische Sagittalprofil der Lendenwirbelsäule in diesem Patientengut beibehalten werden konnte.

5.5 Beschreibung der Fusionsstrecke

Die durchschnittliche Instrumentationsstrecke betrug 11 Segmente im gesamten Patientengut.

Bei den idiopathischen Skoliosen wurde das Instrumentarium prozentual am häufigsten kranial am Wirbel Th4 und kaudal am Wirbel L2 verankert. Die Fusionsstrecke verlief über 11 Segmente.

Im Gegensatz dazu wurden bei den neuromuskulären Skoliosen prozentual am häufigsten Th2, Th3 und Th4 als kraniale und L4 als kaudale Instrumentationsverankerung genutzt, wodurch sich eine längere Fusionsstrecke von durchschnittlich 13 Segmenten ergab.

Bei den kongenitalen Skoliosen wurde ähnlich wie bei den idiopathischen Skoliosen über 11 Segmente fusioniert und dabei am häufigsten Th3 und Th4 als kraniale Verankerung sowie L3 als kaudale verwendet.

Nach Angaben von Webb et al. sollte die Instrumentation bei der Translation mit dem Universal Spine System am kranialen und kaudalen neutralen Endwirbel enden (207), ebenso wie bei der Stabrotation nach Cotrel-Dubousset (39).

Inwieweit die Einführung der segmentalen Instrumentationssysteme zu einer Verkürzung der Fusionsstrecke geführt hat, ist umstritten. Lohnstein ist der Meinung, dass sich die Regeln der Fusionsausdehnung durch die modernen Implantate nicht geändert haben (134). Vergleichende Untersuchungen zwischen pedikelschraubentragenden Systemen und dem CD Instrumentarium haben gezeigt, dass durch Verwendung von schraubentragenden Systemen im Durchschnitt ein distales Segment eingespart werden kann. Die mittlere Fusionsstrecke reicht hierbei bis zu einem Segment unterhalb des distalen Endwirbels (11, 27, 46, 130, 134). Dieses kann insbesondere wichtig für die Inzidenz lumbaler Segmentschmerzen sein (32, 69).

Die Fusionsstrecke bei den von Lepsien et al. nachuntersuchten und mit dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium versorgten Patienten mit idiopathischen Thorakalskoliosen endete im Mittel zwei Segmente unterhalb des distalen Endwirbels (129).

Bradford sieht keinen Unterschied in der Länge der Fusionsstrecke zwischen idiopathischen und kongenitalen Skoliosen (22).

Die Spondylodesestrecke muss beim Harrington-Instrumentarium kaudal bis zum stabilen neutralrotierten Wirbel reichen, kranial in aller Regel 1-2 Wirbel oberhalb des oberen Endwirbels. Der Instrumentation schließt sich eine dorsale Spondylodese und Kleingelenkarthrodese an. Kortikospongiöse und spongiöse Knochenspäne vom dorsalen Beckenkamm sind dabei das beste Spondylodesematerial (79).

Im Gegensatz dazu konnten Humke et al. zeigen, dass die kaudale Fusionsstrecke des CD Instrumentariums im Vergleich zum Harrington-Instrumentarium durchschnittlich ein Segment kürzer ist, ohne dass sich das negativ auf die frontale und sagittale Balance auswirkt (106).

Große Probleme ergaben sich mit dem CD Instrumentarium jedoch bei der selektiven Instrumentationsspondylodese der thorakalen Hauptkrümmung bei King-II-Skoliosen („false double major curves“). In einem hohen Prozentsatz kam es zur Dekompensation der Rumpfwirbelsäule zur Seite der Konvexität der Nebenkrümmung (links), die sich sowohl initial als auch beim Follow-up unzureichend oder gar nicht aufrichtete (82, 144, 176, 202). Als mögliche Ursachen wurden dabei u.a. ein kaudal falsch gewählter Fusionsbereich (er soll wie bei der Harrington-Instrumentation nur bis zum stabilen Wirbel reichen), eine Fehlrotationszunahme der lumbalen Nebenkrümmung („torque enhancement“), eine relative Überkorrektur der thorakalen Hauptkrümmung und ein mehr als 2 cm seitlich der Mittellinie gelegener Apex der lumbalen Nebenkrümmung genannt.

Die Fehlrotationszunahme der lumbalen Nebenkrümmung, die Halm in einigen Fällen als Ursache ausmachen konnte, entsteht durch die En-bloc-Rotation der thorakalen Hauptkrümmung im Rahmen des Stabrotationsmanövers. Eine segmentale Derotation findet bei der CDI so gut wie nicht statt (79).

Wood et al. konnten mittels CT-Rekonstruktion eindrucksvoll zeigen, dass bei King-II-Skoliosen die scheinbare Derotation der selektiv instrumentierten thorakalen Krümmung zu Lasten der Zunahme der lumbopelvinen Fehlrotation geht (217). Mason und Carango ermittelten eine Dekompensationsrate von 41% für die CDI, von 4% für die HI (144). Bei Persistenz der lumbalen Nebenkrümmung mit Dekompensation verbleibt als letzte Option nur die

Verlängerung der Instrumentationsspondylodese unter Einschluss der lumbalen Nebenkrümmung, in aller Regel bis L4 (79).

5.6 Lebensalter

Das günstigste Lebensalter zur Durchführung einer Operation ist etwa das 12. Lebensjahr. Zum einen ist die Wachstumspotenz der Wirbelsäule nur noch begrenzt, somit auch das Risiko einer Skoliosezunahme ober- und unterhalb der Versteifungsstrecke. Andererseits ist mit verringerter Wachstumspotenz auch das Risiko gemindert, dass nach dorsaler Versteifung die ventralen, nicht versteiften Wirbelsäulenelemente weiter wachsen und eine erneute Deformität verursachen. Außerdem ist das kindliche Gewebe noch flexibler, so dass ohne größeres Risiko eine Korrektur erfolgen kann (75). In unserem Patientenkollektiv lag das durchschnittliche Patientenalter bei den idiopathischen Skoliosen bei 14,2 und bei den nichtidiopathischen bei 14,4 Jahren.

In der Studie von Suk, Lee und Chung wurde das ventrale Derotationssystem (VDS) nach Zielke mit dem dorsalen nach Cotrel-Dubousset (CDI) verglichen. Das durchschnittliche Alter der VDS-Gruppe lag zum Operationszeitpunkt bei 16,7 Jahren und das der CDI-Gruppe bei 18,5 Jahren (197).

Helenius et al. verglich in einer retrospektiven Follow-up Studie die operativen Ergebnisse von adoleszenten idiopathischen Skoliosen zwischen Jungen und Mädchen. Dabei wurden bei 11 Patienten das Harrington-Instrumentarium, bei 9 das CD Instrumentarium und bei 10 das Universal Spine System verwendet. Zum Zeitpunkt der Operation betrug das mittlere Lebensalter der Jungen 16,2 Jahre und das der Mädchen 15,5 Jahre. Abschließend beschrieb Helenius die Wirbelsäulen der männlichen Patienten mit adoleszenten idiopathischen Skoliosen als rigider gegenüber den weiblichen. Die Langzeitergebnisse nach posteriorer operativer Therapie sind hingegen vergleichbar (97).

Um zu einem optimalen Effekt zu führen, muß eine Wirbelsäulenfusion bei Patienten mit kongenitalen Skoliosen vor Eintritt einer größeren Deformität durchgeführt werden. Abhängig vom Typ der Deformität und vom Alter des Patienten sollte über den Operationszeitpunkt entschieden werden. Wenn ein Kind mit einem unsegmentierten Stab vorgestellt wird, so ist die Fusion in gleicher Länge sofort indiziert. Bradford führt derartige Operationen bereits ab dem 6. Lebensmonat

durch. Dabei sollte sich die Fusionsstrecke vom Endwirbel des unsegmentierten Stabes kranial und kaudal erstrecken

5.7 Neuromuskuläre Skoliosen

Hierbei handelt es sich um eine Anzahl von Deformitäten bei verschiedenen neuromuskulären Störungen.

Nach Bradford unterscheiden sie sich von den idiopathischen Skoliosen durch das frühzeitige Auftreten, das erhöhte Progredienzrisiko, die Verschlechterung nach dem Wachstumsende, das Auftreten von Rumpfüberhang oder Beckenkipfung, die stärkere Einschränkung der Lungenfunktion, die Beteiligung anderer Organsysteme und das erhöhte Operationsrisiko (21). Bei 80% der Patienten mit Muskeldystrophie Duchenne entwickeln sich Skoliosen, wobei nach Robin und Brief eine Progredienz von 15°-30° jährlich stattfindet (179). Hsu gibt an, dass alle Krümmungen über 40° progredient sind (104).

Im Gegensatz zu den idiopathischen Skoliosen ist bei einer neuromuskulären Erkrankung eine krankengymnastische Übungsbehandlung stets erforderlich, bevorzugt auf neurophysiologischer Basis, z.B. nach Vojta. Bei einer Progredienz von mehr als 20° ist eine Korsettbehandlung mit einer rumpfumfassenden Orthese zu empfehlen (136).

Nach Stücker können konservative Behandlungen inklusive Sitzschalen oder Korsette allenfalls die Sitzfähigkeit verbessern, ohne jedoch die Progredienz der Wirbelsäulendeformität aufzuhalten (196).

Eine operative Therapie sollte stets dann erwogen werden, wenn es zu einer Progredienz von über 30°-40° gekommen ist. Die operative Technik entspricht im Wesentlichen denen der idiopathischen Skoliosen, sie sollte jedoch aufgrund einer häufig bestehenden Osteopenie (welche medikamentös durch Antikonvulsiva bedingt sein kann) multisegmental und immer langstreckig erfolgen (196, 212).

Aufgrund des hohen Progredienzrisikos der neuromuskulären Skoliosen empfiehlt der Arbeitskreis Skoliose der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie 1989, bei Patienten mit Muskeldystrophie Duchenne ab einem Winkel von 20° und nachgewiesener Progredienz der Krümmung eine Operationsempfehlung auszusprechen, wenn die Patienten rollstuhlpflichtig sind (101).

Zu einer Empfehlung des ventrodorsalen Vorgehens bei neuromuskulären Skoliosen führten zahlreiche Studien, die ein Korrekturausmaß von 40-60% nachweisen konnten (212).

In Mainz wird der CD-Methode, teilweise in Kombination mit dem VDS-Verfahren, der Vorzug gegeben, da die Variabilität der Methode nahezu grenzenlos ist. In dem von Hopf beschriebenen Patientengut lag bei 44 Patienten ätiologisch eine neuromuskuläre Erkrankung vor. Präoperativ wurden 11 Patienten mit einem Korsett versorgt, bei 4 war eine Leibbinde ohne korrigierenden Effekt angelegt worden. Der mittlere Ausgangswinkel betrug $75,1^\circ$, postoperativ wurde ein mittlerer Winkel von $37,0^\circ$, entsprechend einer mittleren Korrektur von $38,1^\circ$ oder 50,7% beobachtet. Aufgrund mangelnder Erfahrung und darauf zurückzuführender Vorsicht wurden in der Anfangsphase alle Patienten postoperativ orthetisch versorgt. Seit dem in der letzten Zeit zusätzlich zur segmentalen Verschraubung Chopin-Platten eingesetzt wurden, wurde auf eine Korsettversorgung verzichtet (101). In vier Fällen wurden Komplikationen beschrieben, insgesamt zwei Patienten mussten reoperiert werden. Komplikationen können nicht allein der Operationsmethode angelastet werden (101).

Sengupta et al. empfehlen eine Fusion proximal bis mindestens Th3, um eine kraniale Progression und Kyphosierung bei zu kurzer Instrumentation zu vermeiden (188). Ob eine Fusion zum Sakrum durchgeführt wird, ist abhängig vom Beckenschiefstand und notwendig bei einer eventuell auftretenden funktionellen Tetraplegie (19).

Aufgrund der häufigen Notwendigkeit einer Instrumentation bis zum Sakrum ist prinzipiell die Indikation zur Augmentierung mit Knochenersatzmaterialien gegeben (148, 154).

Problematisch ist die Tatsache, dass die Skoliosen bei Myelomeningozelen meist bis tieflumbal hinabreichen, andererseits die Beweglichkeit der Wirbelsäule für den Aktionsradius im Rollstuhl dieser mental meist wenig beeinträchtigten Patienten sehr wichtig ist. Hefti befürwortet die Frühoperation nicht, da selbst mit ventralem oder kombiniert ventralem und dorsalem Vorgehen auch sehr schwere Skoliosen nicht lotgerecht korrigiert werden können. Ist es wegen der tiefen Lokalisation nicht möglich, mindestens 3 bewegliche Segmente zu erhalten, so empfiehlt er, mit der Operationsindikation zu warten, bis entweder die Sitzbalance verloren geht, Schmerzen auftreten oder die Lungenfunktion beeinträchtigt ist. Ebenso sollte bei gehfähigen Patienten eine zurückhaltende Operationsindikation gestellt werden, da eine Fusion bis zum Sakrum bei neurologisch beeinträchtigten Patienten mit hoher Wahrscheinlichkeit bis zum Verlust der Gehfähigkeit führt (95).

In der Regel sollte ein kombiniertes Vorgehen von ventral und von dorsal vorgesehen werden (95).

Die peri- und postoperative Komplikationsrate ist gegenüber idiopathischen und kongenitalen Skoliosen wesentlich erhöht. Ziel der operativen Versorgung ist fast ausschließlich der Erhalt der Sitzfähigkeit. Einige spezifische Besonderheiten müssen bei den verschiedenen neuromuskulären Erkrankungen berücksichtigt werden (196).

Muskeldystrophie und spinale Muskelatrophie

Bei diesen Erkrankungen wird eine Korsettversorgung nur begrenzt toleriert, da sie die schon eingeschränkte Atmungsfunktion zusätzlich beeinträchtigen kann. Bei der Muskeldystrophie Duchenne kommt es zwischen dem 10. und 14. Lebensjahr fast regelhaft zur Entwicklung einer kollabierenden Skoliose. Hier ist die Operationsindikation bereits ab einem Krümmungsausmaß von 30° zu stellen. Einige Zentren führen auch Spondylodesen vor Einsetzen einer Skoliose durch, bevor die gleichzeitig bestehende Kardiomyopathie das Operationsrisiko deutlich erhöht. Die Patienten profitieren sehr von der inneren Stabilisierung ihrer Wirbelsäule, sodass die Lungenfunktion noch lange stabil bleibt. Wie bei vielen anderen neuromuskulären Erkrankungen ermöglicht eine Wirbelsäulenstabilisation den Patienten, ihre oberen Extremitäten wieder funktionell einzusetzen, weil sie nicht mehr als Stützhilfe beim Sitzen benötigt werden (196).

Myelomeningozele

Bei früh einsetzenden Skoliosen ist immer an das Vorliegen einer intraspinalen Anomalie zu denken und eine entsprechende Diagnostik einzuleiten. Die Inzidenz einer Skoliose hängt vom Lähmungsniveau ab. Bei thorakalen Läsionen bekommen nahezu 100% aller Kinder eine Skoliose, während bei einem sakralen Lähmungsniveau das Risiko der Entwicklung einer Skoliose gegenüber Gesunden kaum erhöht ist. Vielfach bietet es sich an, die Wirbelsäule von ventral zu instrumentieren und zu versteifen, da die fehlenden dorsalen Bogenelemente und die häufig narbigen Hautverhältnisse einen dorsalen Zugang erschweren. Eine langstreckige Spondylodese kann etwa ab dem 10. Lebensjahr durchgeführt werden. Eine Versteifung bis zum Sakrum sollte vermieden werden, da dadurch aufgrund unzureichender Beweglichkeit die Fähigkeit, sich selbst zu katheterisieren, verloren gehen kann (196).

Zerebralparese

Die Inzidenz von Skoliosen bei Hemiparese und Diaparese ist nicht wesentlich erhöht. Patienten mit Tetraparese entwickeln jedoch häufig schwere Skoliosen. In der Regel gehen diese Wirbelsäulendeformitäten mit einem ausgeprägten Beckenschiefstand und einer einseitigen oder doppelseitigen Hüftluxation einher. Häufig müssen die Spondylodesen bis zum Sakrum oder wenigstens bis zum 5. Lendenwirbel erfolgen. Voraussetzung für eine Operation ist neben ausreichender Hüftgelenkbeweglichkeit eine ausreichende Kopfkontrolle. Schwere Osteomalazie, Anfallsleiden, Kachexie und Refluxerkrankung sind relative Kontraindikationen. Die Risiken und Komplikationen eines operativen Eingriffs steigen parallel zum Ausmaß der Behinderung und zum Ausmaß der Krümmung. Jede Entscheidung zu einer Operation muss individuell getroffen werden. Schwerst behinderte Patienten mit Anfallsleiden, fehlender Kopfkontrolle, ausgeprägter Osteopenie und pulmologischen Komplikationen sind keine geeigneten Kandidaten für eine operative Korrektur (196).

5.8 Kongenitale Skoliosen

Die Häufigkeit kongenitaler Skoliosen beträgt 3-5% aller Skoliosen und ist gegenüber idiopathischen Skoliosen gering. Im Rahmen der intrauterinen Störung in der Entwicklung des Achsskeletts in den ersten 6 Lebenswochen kommt es entweder zu Formations- oder Segmentationsstörungen der Wirbelkörper. Die Prognose hängt von der Art der Fehlbildung ab. Während ein Blockwirbel kein Risiko einer Progredienz aufweist, hat eine kombinierte Störung mit Halbwirbel und kontralateralem Bar ein Progredienzrisiko von etwa 10° im Jahr. Typisch für eine kongenitale Skoliose ist die zu Beginn fehlende Rotation der Wirbelkörper zueinander, sodass selbst bei ausgeprägten Skoliosen im Vorneigetest weder Lendenwulst noch Rippenbuckel zu erkennen sind. Meist erkennt man eine kurzbogige Krümmung ohne Rotation und im sagittalen Profil eine segmentale Hypomobilität. Die Diagnose wird durch das Röntgenbild gestellt. Eine Korsettversorgung oder auch eine krankengymnastische Behandlung haben keinerlei Auswirkungen auf die primäre Deformität, können jedoch angezeigt sein, um sekundäre Krümmungen zu kontrollieren.

Die Art der Fehlbildung bestimmt den Spontanverlauf: Bei einem Halbwirbel ist mit einer Zunahme der Skoliose um $0-2^\circ$ pro Jahr zu rechnen, bei zwei gleichseitigen Halbwirbeln mit $2-3^\circ$ pro Jahr, bei einer einseitigen unsegmentierten Spange mit einem gegenseitigen Halbwirbel mit 10° pro Jahr (95).

Bei nachgewiesener Progredienz ist demnach in der Regel bereits die Indikation zur Operation gegeben, da der natürliche Verlauf sonst in keiner Weise zu beeinflussen wäre (22).

Ursprünglich war man der Meinung, dass eine interne Fixation bei angeborenen Skoliosen wegen des hohen neurologischen Risikos nicht durchgeführt werden sollte (214). Bradford sieht das neurologische Risiko nach wie vor gegeben, sieht aber durch eine zusätzliche Instrumentation die Möglichkeit zu einer größeren Korrektur (22).

Therapeutisch kommen dorsoventrale Epiphyseodesen, dorsoventrale Fusionen oder Halbwirbelresektionen in Betracht. Im Gegensatz zur vielfach noch vertretenen Meinung sollte nicht so lange zugewartet werden, bis das Wachstum abgeschlossen ist. Es ist sicherlich günstiger, frühzeitig schwere Deformitäten zu vermeiden, als zu einem späteren Zeitpunkt aufwendige, mit entsprechenden Risiken behaftete Operationen vorzunehmen. So können Halbwirbelresektionen durchaus schon im 1. Lebensjahr durchgeführt werden. Kürzlich stellten Campbell und Hell-Vocke eine neue Operationsmethode vor. Dabei werden mit einer expandierbaren vertikalen Titanrippe die primäre Krümmung korrigiert und das Thoraxvolumen vergrößert. Eine Fusion unterbleibt bei dieser Methode. Etwa alle 6 Monate muss das Implantat jedoch operativ über einen entsprechenden Mechanismus dem Wachstum angepasst werden, was über einen kleinen Eingriff erfolgt (196).

Allerdings sind Operationsindikationen nicht in allen Fällen zu stellen. Von 498 Patienten in Heftis Untersuchung wurden 143 operiert. Die häufigste Operation war die Hemivertebrektomie, welche insgesamt 56-mal vorgenommen wurde. Bei einer Anomalie mit mäßiger Progredienz reicht oft eine dorsale oder kombiniert dorsale und ventrale Fusion ohne Instrumentierung oder allenfalls unter Anwendung eines Kompressionsinstrumentariums. Im lumbosakralen Übergangsbereich, bei dorsalen Halbwirbeln sowie bei Vorliegen eines „unilateral unsegmented bar“ mit kontralateralem Halbwirbel ist die Hemivertebrektomie indiziert (95).

Die Aufrichtung einer Sekundärkrümmung kann unter Umständen mit einem distrahierenden Instrumentarium erfolgen, allerdings muss mit genügender Sicherheit eine intraspinale Anomalie ausgeschlossen werden, und es sollte auch der fehlgeleitete Bereich solide fusioniert sein (95).

Zur frühzeitigen Korrektur kongenital bedingter Skoliosen führten Ruf und Harms bei 38 Patienten eine kurzstreckige transpedikuläre Instrumentation vor der Ausbildung rigider sekundärer Gegenkrümmungen durch. Mittels einer Resektion der Halbwirbel und einer anschließenden transpedikulären Instrumentation konnte der präoperative Skoliosewinkel der

Hauptkrümmung von durchschnittlich $43,5^\circ$ auf $14,0^\circ$ in der Nachuntersuchung korrigiert werden. Damit erreichten sie mit 68% einen größeren Korrekturgewinn im Bereich der Hauptkrümmung als unser Patientengut mit kongenitalen Skoliosen, wo er bei 42% lag. Der ohne signifikante Änderung bleibende Kyphosewinkel in unserem Patientengut konnte nach operativer Korrektur in der von Ruf untersuchten Patientengruppe im Bereich des Halbwirbels von $23,1^\circ$ auf $9,7^\circ$ und $9,0^\circ$ korrigiert werden (182).

5.9 Komplikationen

Die chirurgische Behandlung von adoleszenten Skoliosen ist schwierig und mit einer hohen Rate von Komplikationen verbunden (3, 23, 42, 73, 105, 118, 168, 205, 215). Mehrere Veröffentlichungen berichten aber auch von Verbesserungen der Schmerzen, der sozialen und körperlichen Funktion und des Selbstbewusstseins nach einer operativen Versorgung der Skoliose (3, 42, 73, 105, 118, 205).

Die intra- und postoperativen Komplikationen in diesem Patientengut waren mit denen anderer Autoren vergleichbar (100, 125, 129). Bei den idiopathischen Skoliosen wurden in 12 Fällen postoperative Komplikationen festgestellt (4-mal tiefe Infektion mit anschließender operativer Materialentfernung, 3-mal Materiallockerung mit Reinstrumentation aus Titan, 3-mal progrediente Skoliosen mit Erweiterung der Spondylodese, 1-mal Hakendislokation mit Reoperation und 1-mal Narbenfistelung mit Metallentfernung). Bei den neuromuskulären Skoliosen wurden in einem Fall die distalen Pedikelschrauben aufgrund einer Schraubenlockerung neugesetzt. Von den Patienten mit kongenitalen Skoliosen war in einem Fall eine Reoperation mit Titan aufgrund einer Schraubenlockerung bei Pseudarthrose nötig. In einem weiteren Fall kam es zu einem Bruch der Gewindestangen mit anschließend notwendigem Ausbau des Instrumentariums.

Der Entstehungsweg einer Infektion nach der operativen Behandlung einer idiopathischen Skoliose wird kontrovers diskutiert. Häufig ist das umliegende Weichteilgewebe, meist ohne Einbeziehung des Knochens, betroffen. Clifford et al. beschreiben den Fall einer Patientin, bei der es zu einer unilateralen kompletten Laminarerosion der kaudalen thorakalen Wirbelsäule zehn Jahre nach einer anteroposterioren Rekonstruktion der Wirbelsäule kam (30).

Als wesentliche Komplikationen sind passagere oder verbleibende neurologische Schädigungen bis hin zur kompletten Querschnittslähmung zu nennen. Desweiteren kann es zu intraoperativen Blutungen durch Verletzung der großen abdominellen Gefäße kommen. Früh- oder Spätinfektionen können zum Ausbau des Instrumentariums zwingen. Patienten mit neuromuskulären Skoliosen, insbesondere bei Myelomeningozelen, weisen ein erhöhtes Infektionsrisiko auf. Durch Nichtbeachten biomechanischer Prinzipien oder bei ungenügender Spondylodesetechnik können durch Materialermüdung Schrauben- oder Stabbrüche oder eine Lösung der Implantatverbindungen auftreten. Intraoperativ kann es zu Frakturen der dorsalen und ventralen Wirbelsäulenstrukturen kommen und somit zu einem direkten Auslockern der Implantate. In aller Regel darf postuliert werden, dass ein Materialversagen ein Hinweis auf die Ausbildung einer Pseudarthrose ist (212).

Bei Verwendung von autologer Beckenkammspongiosa besteht an der Entnahmestelle die Gefahr von Infektionen, Hämatombildungen sowie Sensibilitätsstörungen und bei Verwendung von homogenem Material prinzipiell Infektionsgefahr, z.B. Hepatitis, HIV und BSE (212).

Stagnara berichtet in einem Zeitraum von 20 Jahren über 4 medulläre neurologische Komplikationen bei 172 Patienten (2,4%) mit Skoliosen und einem Cobb-Winkel über 100°. Davon waren 2 vollständige Paraplegien. Diese Inzidenz schwerer Komplikationen weist darauf hin, dass die Korrektur von hochgradigen Skoliosen mit einem deutlich erhöhten neurologischen Risiko einhergeht. Es sind Fälle beschrieben (43), bei denen eine Störung der Blutversorgung des Rückenmarks als wahrscheinlichste Ursache einer neurologischen Schädigung anzusehen ist. Die Grundlage solcher Durchblutungsstörungen ist in der marginalen Blutversorgung des Rückenmarks im thorakalen Abschnitt zu sehen. Eine starke Verlängerung, wie es die dorsalen Eingriffe zum Teil beinhalten, kann zu einer partiellen oder vollständigen Drosselung der Blutzufuhr des Myelons führen. Der genaue Mechanismus ist derzeit noch nicht bekannt.

Eine Sammelstatistik der Scoliosis Research Society aus den Jahren 1971-1979 ergab bei 33250 Operationen eine neurologische Komplikationshäufigkeit von 1%. Die Hälfte davon wiederum betraf periphere Nerven, die andere Hälfte war zentralen Ursprungs.

Nach McEwen ist die Chance der Rückbildung der Ausfälle umso größer, je rascher der Längszug entfernt wird (142). Der Aufwachtest nach Stagnara stellt ein einfaches und zuverlässiges Mittel zur intraoperativen Funktionsüberprüfung der motorischen Funktionen dar (192). Mittlerweile gilt das Neuromonitoring als Standard, dass zur perioperativen Funktionskontrolle des Rückenmarks durch somatosensorisch-evozierte Potentiale (SSEP) und/oder motorisch evozierte Potentiale (MEP) zur neurologischen Überwachung eingesetzt wird.

Wilbers et al. konnten in ihrer Studie zeigen, dass die Luque-Verdrahtung mit einem neurologischen Risiko von 17% einhergeht (211).

Neuere Studien von Sengupta et al. zeigen neurologische Komplikationsraten von 2%. Diese beinhalten vor allem 3 Typen: Myelonschädigung, Nervenwurzelschädigung und Verletzung des Duralsackes durch die Drähte (188).

Nervenwurzelverletzungen sind die häufigste neurologische Komplikation und führen zu einer Hyperästhesie, die sich in der Regel nach zwei Wochen wieder normalisiert.

Songer bevorzugt die Verwendung von sublaminärem Titankabel anstatt Kabel aus monofilamentartigem rostfreien Stahl (191).

Ebenso empfehlen Wild et al. die Instrumentation mit Titankabel, das durch die besseren biomechanischen Eigenschaften die Vorteile einer Titaninstrumentation mit denen der sublaminären Drähte verbindet (212).

Kardiovaskuläre Komplikationen entsprechen dem allgemeinen Risiko größerer Operationen am Stütz- und Bewegungsapparat. Respiratorische Komplikationen sind vor allem bei neuromuskulären Skiosen und einer bereits präoperativ existierenden eingeschränkten Vitalkapazität zu erwarten und bedürfen entsprechender Vorbereitungen.

Harms et al. haben das so genannte Spinal-Traction-Syndrom beschrieben, bei dem es durch eine Magendilatation nach Korrektur der Skoliose zu Inappetenz und Erbrechen bis hin zum Ileus kommen kann. Wird das Syndrom nicht rechtzeitig erkannt und behandelt, kann es zu paralytischem Ileus, Magenperforation und letztlich zum Exitus letalis führen (92).

Giehl et al. beschrieben Schraubenlockerungen im kranialen Endwirbelbereich, welche sie in erster Linie auf operationstechnische Fehler zurückführen, z.B. auf zu kurz gewählte Schrauben mit lediglich monokortikaler Verankerung (66).

Moe et al. und Moe u. Byrd gaben eine Schraubenausrisss- bzw. Schraubenlockerungsrate von 29% bei der ventralen Derotationsspondylodese an (151, 152).

Die Pseudarthroserate wird bei der ventralen Derotationsspondylodese von 9-63,6% beschrieben (102, 113, 115, 140).

Suk, Lee und Chung fanden in einer Gruppe von 40 Patienten mit idiopathischer Skoliose, von denen 20 nach dem ventralen Derotationssystem von Zielke und 20 nach dem dorsalen von Cotrel-Dubousset operiert wurden, 6 Dekompensationen in der VDS-Gruppe und drei in der CDI-Gruppe. Zwei Dekompensationen der VDS-Gruppe wurden nachträglich mit einem posterioren System versorgt (197).

Bei den 50 beschriebenen Fällen von Antura et al., die mit einem Cotrel-Dubousset Instrumentarium versorgt wurden, konnten keine größeren neurologischen Defizite nachgewiesen werden. Eine symptomatische Pseudarthrose entwickelte sich bei einem Patienten mit begleitender L5-S1 Spondylolisthesis. Ein anderer Patient entwickelte eine späte Wundinfektion, so dass das Instrumentarium entfernt werden musste (4).

In einem aktuellen Bericht beschreiben Stockl et al. zwei Fälle eines verzögerten postoperativen anterioren Spinalarteriensyndroms nach operativer Versorgung der adoleszenten idiopathischen Skoliose mit dem CD Instrumentarium. Bei beiden Patienten kam es einige Stunden nach der Operation zu inkompletten Paraplegien (keine sensible Beeinträchtigung), so dass ohne Verzögerung eine Revisionsoperation mit Materialentfernung erfolgte. Dadurch konnte eine volle Motorik der unteren Extremitäten wiederhergestellt werden (195).

Dislokationen der Carina tracheae beschreibt Furuno et al. bei Patienten mit idiopathischen Skoliosen, versorgt mit dem CD Instrumentarium oberhalb der Korrektur. Diese können auch die Trachealposition beeinträchtigen und sogar zu einer Obstruktion des Trachealtubus während der Operation führen (61).

Die Komplikationen, die bei der Behandlung von angeborenen Wirbelsäulendeformitäten vorkommen, sind jenen sehr ähnlich, die bei anderen ätiologischen Gruppen auftreten. Es gibt jedoch bestimmte Unterschiede. Da im Allgemeinen im frühen Lebensalter operiert wird, ist eine Progression der Deformität häufiger (22).

Insgesamt kann die Translation als komplikationsarm und in neurologischer Hinsicht sehr sicher eingeschätzt werden.

5.10 Reoperationen

Die Rate an Reoperationen lag in unserer Serie bei 8% über einen Zeitraum von 36 Monaten.

In dem von Bago et al. untersuchten Patientengut von 133 Patienten betrug sie 17,3% bei 56 Monaten Nachuntersuchungszeitraum (9). Die Gründe dafür waren Spätinfektionen (7,5%), mechanische Defekte (4,5%), Schmerzen im Operationsgebiet (3%) und akute Infektionen (2,2%). In einer Serie von 95 Patienten, behandelt mit dem CD Instrumentarium und einem Follow-up Zeitraum von 35 Monaten, lag die Reoperationsrate bei 5,2% (126). Nach einem weiteren Follow-up Zeitraum von 6 Jahren wurde in nur einem Fall eine Reoperation bei den 76 nachuntersuchten Patienten nötig (128).

Cook et al. berichten von einer Reoperationsrate von 24% bei 49 mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium versorgten Patienten und einem Nachuntersuchungszeitraum von 105 Monaten. In demselben Bericht erwähnt er 69 Patienten, die mit dem Isola Instrumentarium versorgt sind. Dabei wurden in einem Follow-up Zeitraum von 69 Monaten nur 14% Reoperationen beschrieben (35).

Ähnliche Ergebnisse erzielte Guidera et al. mit 13,4% Reoperationen in einer Serie von 52 Patienten mit CD Instrumentarium und 23 Monaten Follow-up Zeitraum (74). Bei einer Gesamtzahl von 1247 Spondylodesen (917 CD, 330 Moss Miami) über einen 10-Jahres-Zeitraum lag bei Clark und Shufflebarger die Reoperationsrate bei 2,2% (29).

Spätinfektionen sind einer der häufigsten Gründe für Reoperationen. Unsere Rate mit 2,9 % liegt in dem in der Literatur angegebenen Bereich zwischen 2 und 5,7% (29, 35, 74).

Betrachtet man andere Arten der multisegmentalen Instrumentarien, finden sich bei Cook et al. eine Spätinfektionsrate von 2,9% mit dem Isola Instrumentarium und bei Richard eine Rate von 6,7% mit dem Texas Scottish Rite Hospital (35). Bei 3 Patienten (2,2%) musste aufgrund einer Hakendislokation erneut operiert werden. In 4 Fällen kam es zu Fehleinschätzungen bei der Operationsvorbereitung, hauptsächlich in Form von zu kurzen Spondylodesen.

In der Literatur finden sich auch bei Lenke et al. vier von fünf Reoperationen aus diesem Grund (126). Diese Ergebnisse zeigen den Einfluss des Lerneffektes auf die Fehlerrate. Nirgendwo in den Analysen fand sich ein Vergleich der Reoperationsraten zwischen erster und zweiter Hälfte der operierten Patienten. Der Einfluss des Lerneffektes ist schwieriger zu evaluieren.

Schmerzen im Bereich des Implantates sind relativ häufig, obwohl sie selten einen Grund für eine erneute Operation darstellen. Die einzige Untersuchung, in der Schmerzen als Ursache einer Reoperation angegeben wurden, fanden wir bei Cook et al., wo sie in 12% der Fälle beschrieben wurden (35).

5.11 Aktuelle Weiterentwicklungen

Während die seit Jahrzehnten bekannten Korrekturprinzipien keine nennenswerten Weiterentwicklungen erfahren haben, ist es in den letzten Jahren zu einem zunehmenden Einsatz von Pedikelschrauben im Bereich der LWS und des thorakolumbalen Übergangsbereichs gekommen. Kurz- und mittelfristige Ergebnisse belegen, dass dadurch die Fusionsstrecke kaudal kürzer gewählt werden kann und vielfach nur noch bis zum unteren Endwirbel reicht (83, 84, 85, 87, 199). Sie entspricht damit häufig dem Fusionsbereich ventraler Implantatsysteme.

Hamill et al., Suk et al. und Niemeyer et al. gaben mit pedikelschraubengetragenen Doppelstabsystemen bessere Korrekturergebnisse als mit hakengetragenen an, was auf die stabilere Verankerung der Schrauben mit lateralerem Angriffspunkt und damit besserem Hebelarm zurückzuführen ist. Darüber hinaus können deutlich höhere transversale Kräfte an transpedikulär eingebrachten Schrauben als an Pedikel- oder Laminahaken appliziert werden, welches ebenfalls zur besseren Korrektur beiträgt (88, 199).

Suk und Lee betrachten dabei 78 Patienten mit idiopathischer Skoliose, die mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium operiert wurden. Davon erhielten 31 Haken, 23 Pedikelschrauben in Hakenform und 24 segmentale Pedikelschrauben. Nach durchschnittlich zwei Jahren zeigte sich eine Korrektur der Hauptkurve von 55% durch Haken, von 66% durch Pedikelschrauben in Hakenform und 72% durch segmentale Pedikelschrauben, mit einem Korrekturverlust von 6%, 2% und 1% im Follow-up. In der kompensatorischen Kurve lag die Korrektur bei 57% mit Haken, 67% mit Pedikelschrauben in Hakenform und 70% mit segmentalen Schrauben. Hypokyphosen wurden am besten durch segmentale Schrauben beseitigt. Die Derotation nach der Messung von Pedriolle betrug 19% durch Haken, 26% durch Pedikelschrauben in Hakenform und 59% durch segmentale Haken. 13 Schrauben (3%) waren disloziert, jedoch ohne neurologische Komplikationen. Insgesamt zeigte sich, dass Pedikelschrauben eine sichere und effektive Methode zur dreidimensionalen Korrektur von idiopathischen thorakalen Skoliosen sind (198).

Halm sieht das Risiko der Benutzung von Pedikelschrauben gegenüber Haken keinesfalls als größer an. Im Gegensatz zum Lamina- und auch Pedikelhaken, die immer mit ihrem Schuh ganz oder z. T. intraspinal liegen, ist die ordnungsgemäß eingebrachte Bogenwurzelschraube vollständig intrapedikulär und engt den Spinalkanal nicht ein. Geringfügige Penetrationen von 1-3 mm verursachen nach Halm keine Komplikationen (79).

In einer Studie von Berlet et al. zur Sicherheit und dem Erfolg nach Implantation von USS Pedikelhaken wurden post mortem 11 mit Pedikelhaken versorgte Wirbelsäulen untersucht. Dabei stellte er fest, dass häufiger laterale Perforationen des Pedikels vorgenommen werden. Mediale Perforationen erfolgen bevorzugt in der thorakalen Wirbelsäule, wo der transversale Pedikeldurchmesser größer ist. Es bestand keine Korrelation zwischen dem Grad der Deformierung sowie dem Pedikeldurchmesser und der Anzahl der Pedikelbrüche (16).

Drehungen der Haken, Hakenlösungen und Frakturen der posterioren Elemente sind als Komplikationen nach Verwendung von Pedikelhaken bereits beschrieben (60, 74). Modifikationen der Pedikelhakensysteme mit zusätzlichen Schrauben durch die Haken wurden entwickelt, um die Befestigung an die Wirbelsäule zu vergrößern. Das Universal Spine System nutzt Pedikelhaken und 3,2 mm Fixationsschrauben, die in anterokranialer Richtung durch die untere Wirbelkörperfläche in den Pedikel eingesetzt werden. Dabei hängt die Platzierung der Pedikelhaken von der Form und Dicke der Gelenkfläche ab, die der Fixationschrauben vom Pedikeldurchmesser (16).

5.12 Vergleich mit anderen Operationsmethoden

Cotrel-Dubousset Instrumentation /Ventrale Derotationsspondylodese (Zielke-Instrumentation)

Es gibt zahlreiche Kontroversen in der chirurgischen Behandlung idiopathischer thorakolumbaler und lumbaler Skoliosen darüber, ob anteriore oder posteriore Instrumentarien zu einem besseren Ergebnis führen. In der Studie von Suk, Lee und Chung wurde das ventrale Derotationssystem (VDS) nach Zielke mit dem dorsalen nach Cotrel-Dubousset (CDI) verglichen. Das durchschnittliche Alter der VDS Gruppe lag zum Operationszeitpunkt bei 16,7 Jahren und das der CDI Gruppe bei 18,5 Jahren. In der Frontalebene zeigte sich in der VDS Gruppe ein Korrekturgewinn von 77% und von 63% in der CDI Gruppe. Die Rotation konnte in der ersten Gruppe um 42% und in der zweiten um 16% verbessert werden. Insgesamt zeigte das ventrale Derotationssystem bessere Untersuchungsergebnisse in der Frontalebene und bei den Rotationen in der Sagitalebene. Es ließ sich bei rigideren und größeren Kurven einsetzen. Dagegen erhielt das Cotrel-Dubousset System die physiologische Krümmung in der Sagitalebene bei, hatte eine größere Indikationsbreite und konnte ober- und unterhalb der Kompensationskurve verwendet werden (197).

Auch Halm et al. verglichen das dorsale Instrumentarium Cotrel-Dubousset (CDI) mit den ventralen Derotationsspondylodesen (VDS). Sie untersuchten 32 Patienten mit adoleszenten thorakolumbalen Skoliosen, von denen 20 mit dem Cotrel-Dubousset Instrumentarium versorgt wurden und 10 einer ventralen Spondylodese unterzogen wurden. Die Länge der Kurve und der Fusionszone war ähnlich, meist lag sie bis unterhalb L4. Die Kurvenkorrektur in der Hauptkurve lag bei durchschnittlich 70% mit VDS (präoperativ 84°) und 64% mit CDI (präoperativ 65°). Es ließ sich eine Spontankorrektur der sekundären Krümmung von 38% nach VDS und 42% nach CDI beobachten. Eine präoperativ physiologische Kurve in der Sagittalebene bei der CDI Gruppe fand sich auch postoperativ. Mit VDS wird eine Kyphose am thorakolumbalen Übergang von 22° auf 7° korrigiert. Halm kommt zu dem Schluss, dass in der operativen Behandlung thorakolumbalen Skoliosen die ventrale Derotationsspondylodese dem Instrumentarium von Cotrel-Dubousset vorzuziehen ist (83).

Weng berichtet von 32 Patienten mit Skoliose, die sich einer anterioren oder posterioren Spondylodese mit dem Texas Scottish Rite Hospital Instrumentarium unterzogen. Der mittlere Cobb Winkel lag präoperativ bei 71,2° und konnte um 63,8% auf 26,6° nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 13,3 Monaten verbessert werden. Die lumbale Gegenkrümmung konnte von 49° auf 28° korrigiert werden. Die Balance konnte um 66,7° (präoperativ 4,8 cm, postoperativ 1,6 cm) verbessert werden. Der Betrag der Derotation war mit 1° vernachlässigbar. In zwei Fällen wurden Komplikationen beschrieben, wobei es einmal zu einer Infektion und im zweiten Fall zu einer Hakendislokation kam. Neurologische Defizite und Pseudarthrosen wurden in der Serie nicht beschrieben. Damit lässt sich schlussfolgern, dass es sich bei dem TSRH Instrumentarium um ein effektives und geeignetes Instrumentarium zur dreidimensionalen Korrektur der Skoliose mit einer niedrigen Komplikationsrate handelt(210).

In der letzten Zeit ist das Indikationsspektrum der VDS bzw. seiner Modifikationen wieder erweitert worden. Zu nennen sind diesbezüglich insbesondere die strukturell einbogigen Thorakalskoliosen (King II, III, IV) (91). Bereits Dwyer et al. und Zielke operierten erfolgreich über den vorderen Zugangsweg Thorakalskoliosen (52, 67).

Dwyers Grundidee war, den Entstehungsmechanismus der Skoliose operativ umzukehren. Als Erklärung zog er den Artikel von Roaf heran, der die Skoliose als Rotationslordose beschrieb (52, 177). Mit dem Dwyer Instrumentarium korrigierte er durch die ventral vor dem Drehpunkt der Wirbelsäule befindlichen Implantate mittels rechtskonvexer Kompression sowohl die Seitenausbiegung als auch die Lordose der typischen thorakalen Lordoskoliose.

Indikationen der Ventralen Derotationsspondylodese

Klassische Indikation für die VDS sind einbogige thorakolumbale und lumbale Skoliosen mit ausreichend flexiblen Nebenkrümmungen, so dass sich nach entsprechender instrumenteller Korrektur der Hauptkrümmung die Wirbelsäule durch spontane Aufrichtung der Nebenkrümmungen ausbalancieren kann. Die Fusionsstrecke reicht in aller Regel von End-zu-End-Wirbel. Bei strukturellen doppelbogigen Skoliosen kann eine VDS der lumbalen Krümmung mit nachfolgender langstreckiger dorsaler Instrumentationsspondylodese zur Aufrichtung der thorakalen Krümmung indiziert sein, wenn dadurch lumbal ein funktionell wichtiges Bewegungssegment (meist L3/4, seltener L4/5) eingespart werden kann. Diese Indikation hat sich jedoch durch den Einsatz von Pedikelschrauben relativiert (79).

Langzeitergebnisse der Ventralen Derotationsspondylodese in der frontalen Ebene

Liljenqvist ermittelte eine Langzeitkorrektur der frontalen Ebene mittels VDS von 63,5%, wobei bei initialer Korrektur von 76,4% ein Korrekturverlust von 12,9% ermittelt wurde. Verantwortlich für den Korrekturverlust waren z.T. Stabbrüche und Pseudarthrosen (131).

Vergleichende Angaben zur Korrektur idiopathischer Skoliosen finden sich auch in der übrigen Literatur, in der relativ übereinstimmend für die VDS mittelfristige und langfristige Korrekturergebnisse zwischen 65 und 79% angegeben werden (12, 67, 80, 121, 140, 152, 163, 220).

Die nach 18 Monaten vorhandenen Korrekturergebnisse verändern sich auch im Langzeitverlauf nicht mehr nennenswert (220).

Die Korrekturwerte in der frontalen Ebene liegen damit deutlich über den Korrekturwerten, die mit dem Harrington Instrumentarium oder dem Cotrel-Dubouset Instrumentarium erzielt werden können. Als ursächlich hierfür muss angesehen werden, dass durch das ventrale Release im Sinne der Diskektomien mit anschließender Anfrischung der Endplatten eine deutlich bessere Mobilisierung der zu instrumentierenden Hauptkrümmung möglich ist, die sich entsprechend in verbesserter Korrektur niederschlägt (79).

Vergleichbar der Dwyer Instrumentation (DI) kommt es auch nach Durchführung der Ventralen Derotationsspondylodese zur Aufrichtung kompensatorischer Nebenkrümmungen, insbesondere der kranialen thorakalen Sekundärkrümmung bei Korrektur von idiopathischen thorakolumbalen und lumbalen Skoliosen. Das Ausmaß der Korrektur entspricht im Wesentlichen der Flexibilität

der Nebenkrümmung, die auf den präoperativ durchzuführenden Bending-Aufnahmen ermittelt werden kann (79).

In der Literatur werden durchschnittliche Spontankorrekturen von 40-60% angegeben (67, 68, 83, 84, 85, 87, 96, 152, 184).

Bei strukturell doppelbogigen Skoliosen berichtet Giehl über gute Ergebnisse bei der Kombination der VDS mit dem Harrington System, wobei die Ventrale Derotationsspondylodese zur Aufrichtung der lumbalen Seitenausbiegung diene. Dadurch konnte in aller Regel ein lumbales Bewegungssegment, meist L3/4 eingespart werden (65).

Die Fusionsstrecke der VDS ist der DI vergleichbar. In aller Regel reicht dabei die Fusionsstrecke von End-zu-End-Wirbel der zu instrumentierenden Hauptkrümmung. Überkorrekturen müssen vermieden werden. Wird die Hauptkrümmung über das Ausmaß der Spontankorrektur der Nebenkrümmung aufgerichtet, kommt es distal der Fusionsstrecke zum konvexseitigen Klaffen des kaudalen Anschlusssegments mit Fehlbelastung der Bandscheibe (67, 68, 220).

Luk et al. verglichen die Langzeitergebnisse nach Dwyer Instrumentation (DI), Ventraler Derotationsspondylodese (VDS) und Harrington Instrumentation (HI). Sie fanden nach DI und VDS bei idiopathischen thorakolumbalen und lumbalen Skoliosen eine um 3 Segmente kürzere Fusionsstrecke bei wesentlich besserer Korrektur der Seitenausbiegung (140).

Langzeitergebnisse der Ventralen Derotationsspondylodese in der axialen Ebene

Die derotativen Eigenschaften der VDS sind überragend und allen anderen Korrekturverfahren überlegen. Liljenqvist ermittelte eine initiale Derotation des Scheitelwirbels von 49,7%, welcher durchschnittlich knapp 10 Jahre postoperativ absolut konstant blieb (131). Die VDS induzierte Derotation ist damit deutlich besser als die nach der DI gemessenen.

Vergleichbare Angaben zum Ausmaß der Derotation mittels VDS machen bereits Giehl et al. und der Inaugurator der Methode (67, 220).

Langzeitergebnisse der ventralen Derotationsspondylodese in der sagittalen Ebene

Lag während der Ära der Harrington Instrumentation das Augenmerk im Wesentlichen auf der Korrektur der Seitverbiegung, so hat in den letzten 10 Jahren das Profil der Wirbelsäule immer mehr an Bedeutung gewonnen. Verschiedene Arbeiten haben darauf hinweisen können, dass

kyphotische Fehlstellungen im thorakolumbalen Übergang sowie Hypolordosen mit einer erhöhten Kreuzschmerzinzidenz einhergehen (79).

Liljenqvist fand im älteren Münsteraner Krankengut der 80-er Jahre bei idiopathischen Skoliosen eine VDS-bedingte Abflachung der lumbalen Lordose um 12° von 43° auf 31° .

Im Langzeitverlauf nahm die Lordose nur geringfügig um $1,4^\circ$ zu, sodass eine Gesamtkyphosierung um $10,6^\circ$ (24,7%) resultierte (131).

Als Ursache für diese instrumentelle Kyphosierung ist bei Durchsicht der Röntgenbilder das nicht ordnungsgemäße Auffüttern der intrakorporellen Räume mit tragfähigen Knochenspänen anzusehen. In fast allen Fällen wurden die Endplatten durch den konvexseits kompressiven Effekt des Implantats aufeinander gezogen, so dass der kyphogene Effekt des Implantats in den Vordergrund tritt. Vergleichbare ungünstige Ergebnisse im Sinne eines kyphogenen Effekts fanden auch andere Autoren (103, 121, 139, 152, 155, 163).

Halm sieht den Hauptgrund in den geringen bis mäßiggradigen Krümmungswinkeln, den das Patientengut dieser Autoren hatte. Je ausgeprägter eine thorakolumbale Skoliose ist, desto ausgeprägter ist in aller Regel auch die sog. Rotationskyphose. Die Wirbelkörper sind im Scheitelwirbelbereich im Extremfall mit ihren vorderen Anteilen ganz nach lateral aus der Mittellinie herausgedreht, sodass letztendlich eine Kyphose eigentlich nur vorgetäuscht wird. Eine wahre Seitenaufnahme des Scheitelwirbels, welche den Rotationseffekt eliminiert, demonstriert dies in aller Regel (79).

Die Rückdrehung der Wirbelkörper im Sinne der Derotation führt somit zur 3D-Formkorrektur im Sinne der Korrektur der Seitenausbiegung, Derotation der Wirbelkörperreihe und konsekutiv der Entkyphosierung. Die Wirbelkörper werden wieder nach ventromedial zurückgedreht, das kyphotische Profil verschwindet. Letztendlich bedeutet dies, dass die Seitenaufnahme ungeeignet ist, das Profil der dreidimensionalen Deformität korrekt zu demonstrieren.

Je ausgeprägter die Skoliose und Rotationskyphose sind, umso mehr trägt die Derotation zur Entkyphosierung des thorakolumbalen Überganges bzw. zur Relordosierung der Lendenwirbelsäule bei. Je geringer die Skoliose und damit auch die Fehlrotation sind, umso weniger trägt die Derotation zur Entkyphosierung bei und um so mehr tritt der ventral kompressive Effekt des Implantats in den Vordergrund. In diesen Fällen ist der Auffütterung der interkorporellen Räume vor der Formkorrektur große Beachtung zu schenken (67, 68, 78, 83, 84, 85, 87).

Eine möglichst dorsale Schraubenlage im Wirbelkörper parallel zum hinteren Längsband und die Auffüllung der interkorporellen Räume mit soliden tragfähigen Knochenspänen im Instrumentationsbereich wirken einer Kyphosierung entgegen. Dazu werden meist autologe

Rippenspäne verwandt (79). Es konnte im Münsteraner Krankengut der 90-er Jahre nicht nur der kyphogene Effekt des Implantates vermieden werden, sondern auch idiopathische thorakolumbale Skoliosen mit präexistenter Rotationskyphose von im Mittel 22° auf 7° korrigiert werden. Über vergleichbar gute Ergebnisse hatten bereits viele Jahre früher Giehl et al. und Zielke berichtet (67, 220).

„Patient outcome“

Langzeitergebnisse über die Beurteilung des Operationserfolgs aus der Sicht der Patienten mit validierten Messinstrumenten liegen sowohl für die DI als auch die VDS nicht vor. Eine gute mittelfristige Analyse an 34 VDS-operierten Patienten mit einem Follow-up von im Minimum 2 (im Mittel 4,1) Jahre erhoben Moskowitz und Trommanhauser (155).

Die Ergebnisse waren außerordentlich befriedigend. Alle heiratswilligen Patienten waren verheiratet und hatten Kinder sowie ein erfülltes Eheleben, 10 Patienten klagten präoperativ über eine Verminderung des Selbstwertgefühls, welches postoperativ ausnahmslos nicht mehr zu verzeichnen war. Bis auf einen Patienten waren alle mit dem kosmetischen Ergebnis zufrieden.

Bei den adulten Patienten, bei denen Rückenschmerzen die Entscheidung zur Operation mitbeeinflusst hatten, kam es zu einer signifikanten Schmerzabnahme. Dennoch klagten weiterhin 21 von 26 Patienten über ein Müdigkeitsgefühl im unteren Rückenbereich, 19 Patienten hatten wieder mit sportlicher Betätigung begonnen, darunter Schwimmen, Fußball und Basketball spielen, Skifahren, Aerobics etc. Giehl et al. fanden in Zielkes Krankengut eine gute Korrelation zwischen dem hervorragenden kosmetischen Ergebnis nach VDS-Operation sowie subjektiver Zufriedenheit und schrieben wörtlich: „Patients like VDS“.

In der Literatur findet sich auch eine Untersuchung von Otto et al. über die psychosozialen Folgezustände langstreckiger Spondylodesen von 173 Patienten, die wegen einer idiopathischen Skoliose mittels einer kombinierten Harrington Luque-Aufrichtung behandelt wurden. Dabei konnten 92 Patienten der zwischen 1985 und 1995 operierten Personen nachuntersucht werden. Bei 39 ließ sich eine Anschlussarthrose nachweisen. 89 Patienten zeigten keine oder minimale, 3 geringe Beschwerden und somit vergleichbare Ergebnisse wie eine altersentsprechende Kontrollgruppe ohne Skoliose (164).

Komplikationen

Eine neurologische Komplikation, die gelegentlich nach VDS beobachtet wird, ist ein Sympathektomiesyndrom. Es wird subjektiv selten bemerkt und verschwindet in aller Regel

innerhalb weniger Monate. Das gleiche gilt für die noch selteneren Wurzelreizungen im Lumbalbereich, die auf die Mobilisierung und Retraktion des M. psoas zurückzuführen sind. Querschnittslähmungen sind nicht publiziert, auch wenn eine Vielzahl von Segmentgefäßen legiert werden (79).

Angesichts fehlender Primärstabilität müssen Patienten, die einer VDS unterzogen wurden, postoperativ in einem Rumpfgips oder Korsett für viele Monate immobilisiert werden. Zielke ermittelte mit seitlichen Schichtaufnahmen für seine Skoliosepatienten einen Zeitraum bis zur knöchernen Konsolidierung von im Mittel 7,9 Monaten und stellte seine Patienten für durchschnittlich 11,8 Monate in Rumpfgipsen und in Orthesen ruhig (220).

Trotzdem kommt es in Berichten anderer Autoren zufolge bei der VDS gehäuft, z.T. bereits intraoperativ während der Korrektur, zur Schraubenlockerung im kranialen Endwirbelbereich. Giehl et al. führten das in erster Linie auf operationstechnische Fehler zurück, u.a. zu kurz gewählte Schrauben mit lediglich monokortikaler Verankerung (67).

Moe et al. gaben eine Schraubenlockerungsrate von 29% an. Eine weitere Schwäche des Implantates ist der dünne Gewindekompressionsstab von 3,2 mm, der häufig bricht und dann zur Pseudarthrose führen kann. Die Pseudarthroserate wird nach VDS in der Literatur mit 9-63,6% angegeben (102, 111, 115, 131, 140).

Eine inakzeptabel hohe Stabfrakturrate von 31%, die in 5% der Fälle mit einer Pseudarthrosenbildung vergesellschaftet war, fanden Betz et al. unter Verwendung des 3,2-mm-Gewindestabes beim modifizierten Harms Moss Implantat (18). Dieser Stab hat die gleichen Abmessungen wie der Original VDS-Stab, der bekanntlich dem Harrington-Kompressionsstab entspricht.

Seit 1991 benutzte Halm deshalb nur noch den deutlich stabileren 4-mm-Gewindekompressionsstab und konnte nach ordnungsgemäßer Fusion und konsequenter Immobilisierung für 6 Monate im Rumpfgips und weitere 6 Monate im Cheneau Korsett nur noch einen Stabbruch beobachten. Trotzdem sind die internen Stabilisierungseigenschaften der VDS oder der modifizierten VDS gering, weshalb die VDS in den letzten 5 Jahren zu einem primär stabilen Doppelstabsystem (Halm-Zielke Instrumentation) weiterentwickelt wurde (78, 86).

Alternativ kann bei thorakalen Skoliosen, bei denen die Wirbel für eine Doppelstabinstrumentation zu klein sind, ein solider Stab verwendet werden.

Eine seltene postoperative Komplikation ist die Ausbildung eines Chylothorax (159). Tiefe paravertebrale Wundinfektionen sind eine Rarität. Halm konnte in zwei Fällen Spätinfekte nach mehr als 5 Jahren erfolgreich mittels Implantatexplantation und Debridement behandeln (79).

Modifikationen der Ventralen Derotationsspondylodese

Als Modifikationen bzw. Weiterentwicklungen der VDS sind die Kaneda Instrumentation der ersten Generation, die Doppelstab-VDS, die ventrale Lordosierungs- und Derotationsspondylodese (VLDS) und die Halm-Zielke Instrumentation zu bezeichnen, da das Korrekturprinzip weiterhin im Wesentlichen auf der Korrektur mit einem Gewindekompressionsstab beruht (77, 114, 133). Die ausschließlich mit 1 oder 2 rigiden Stäben korrigierenden Ein- oder Doppelstabsysteme (TSRH, Isola, neues Kaneda) beruhen dagegen nicht mehr auf dem VDS-Korrekturprinzip.

Alle Systeme wurden entwickelt, um die beiden entscheidenden Nachteile der VDS im Sinne der geringen Stabilität und des Risikos der Kyphosierung zu eliminieren. Zunehmend werden auch wieder, wie bereits von Dwyer in den 60-er Jahren und Zielke in den 80-er Jahren Thorakalskoliosen sowie doppelbogige Skoliosen einer VDS oder seiner Modifikationen unterzogen, da die Fusionsstrecke im Vergleich zu dorsalen Verfahren kürzer und die Derotation zweifelsfrei besser ist (18, 90, 91, 111). Dadurch wird insbesondere der kosmetisch auffallende Rippenbuckel wesentlich besser korrigiert. Zielke propagierte dieses bereits in den 80-er Jahren und Giehl et. al gaben in Zielkes Krankengut (n=48) eine Korrektur des Rippenbuckels von knapp 60% an.

Zwischen 1999 und 2001 wurden 14 Patienten mit einer Skoliose vom Typ King I einer lumbalen ventralen derotierenden Spondylodese mit dem KASS Instrumentarium (Kaneda Anteriores Skoliose System) an der Universitätsklinik Halle-Wittenberg unterzogen. Die Primärkrümmung betrug $52,5^\circ$ nach Cobb. Genest et al. konnten nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 13,9 Monaten eine Korrektur der Primärkrümmung von durchschnittlich 84,7% erreichen. Die Neigung des am weitesten kaudal instrumentierten Wirbels betrug präoperativ $22,9^\circ$, postoperativ wurde eine 89,7%ige Horizontalisierung ermittelt. Materialversagen bzw. Lockerungen fanden sich nicht. Alle Patienten wurden korsettfrei mobilisiert. Damit stellt die ventrale Spondylodese mit dem KASS Instrumentarium ein operationstechnisch anspruchsvolles Verfahren mit sehr guten Möglichkeiten der Korrektur auch extremer lumbaler Krümmungen dar (64).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Dwyer-Instrumentation angesichts der Komplikationsträchtigkeit praktisch vollständig verlassen worden ist. Die Ventrale Derotationsspondylodese als maßgebliche Weiterentwicklung der Dwyer Instrumentation muss

hingegen wegen guter Langzeitergebnisse weiterhin als der Standard der Skoliosechirurgie vom ventralen Zugangsweg angesehen werden (79).

6 Zusammenfassung

Das Universal Spine System (USS) repräsentiert ein Implantat als auch eine moderne Operationsstrategie, welches unter der Zielstellung einer segmentalen Korrektur der Skoliose durch segmentale Derotation sowie Translation ohne Distraction eingeführt wurde (212). Die in unserer Arbeit beschriebene Translation wurde mit dem USS Implantatsystem durchgeführt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist der Korrekturvergleich dieser operativen Technik bei Skoliosen unterschiedlicher Ätiologie.

Bei den an der Orthopädischen Universitätsklinik der Charité Berlin aufgrund einer Skoliose mit dem Universal Spine System operierten 138 Patienten konnte ursächlich bei 109 eine idiopathische Skoliose, bei 20 eine neuromuskuläre Skoliose und bei 9 eine kongenitale Skoliose nachgewiesen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden das Korrektur- und Stabilitätsverhalten der Translation in der Frontalebene (Skoliosewinkel von Haupt- und Nebenkrümmung, Rotationswinkel der Scheitelwirbel, Balanceverhalten der Wirbelsäule, Anzahl der fusionierten Segmente), die Beeinflussung des Sagittalprofils (Skoliosewinkel der thorakalen Kyphose und der lumbalen Lordose) sowie aufgetretene intra- und postoperative Komplikationen verglichen. Dabei handelt es sich um eine retrospektive Studie mittels Krankenakten und Röntgenbildern zu den Zeitpunkten: unmittelbar präoperativ, unmittelbar postoperativ und zur letzten Nachuntersuchung. Bei einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 3 ± 1 Jahren bei idiopathischen und neuromuskulären Skoliosen sowie von 2 ± 1 Jahren bei kongenitalen Skoliosen sind die Ergebnisse als mittelfristig zu bezeichnen.

Der Vergleich der Skoliosen unterschiedlicher Ätiologie ergab folgende Ergebnisse:

Bezüglich der Krümmungskorrektur in der Frontalebene konnten in allen Gruppen gute Ergebnisse erzielt werden, wobei prozentual bei den idiopathischen Skoliosen die größte Korrektur erreicht wurde. Signifikant war der Unterschied der idiopathischen gegenüber den kongenitalen Skoliosen postoperativ und im Follow-up, bei sowohl thorakal als auch lumbal stärker korrigierten Skoliosewinkeln. Bis zur letzten Nachuntersuchung konnten in der Gruppe der idiopathischen Skoliosen eine durchschnittliche Korrektur von thorakal 67% bzw. lumbal 62% und bei den neuromuskulären Skoliosen von thorakal 35% sowie lumbal 57% erzielt werden. In der Gruppe der kongenitalen Skoliosen lag sie bei thorakal 39% und lumbal bei 38%,

wobei die Korrekturverluste von unmittelbar postoperativ bis zur letzten Nachuntersuchung in allen drei Gruppen gering und von ähnlicher Größe waren.

Eine stabile Derotation des thorakalen und lumbalen Scheitelwirbels konnte in allen Skoliosegruppen erzielt werden, wobei jedoch der Effekt geringer ausfiel, als nach den Angaben in der Literatur erwartet werden konnte. Betrachtet man die einzelnen Gruppen, konnte der thorakale Scheitelwirbel bei den idiopathischen Skoliosen am stärksten um 32%, bei den neuromuskulären Skoliosen um 8% und bei den kongenitalen Skoliosen um 16% korrigiert werden. Anders sah es bei dem lumbalen Scheitelwirbel aus, wo die stärkste Derotation in der Gruppe der neuromuskulären Skoliosen mit 41% vor den idiopathischen Skoliosen mit 27% und den kongenitalen Skoliosen mit 19% erzielt wurde.

Bezüglich des Balanceverhaltens der Wirbelsäule fiel auf, dass in allen Gruppen ein günstiger Einfluß auf die präoperativ unbalancierten Wirbelsäulen zu beobachten ist. Allerdings nahm unabhängig von der Ätiologie der Skoliose in jeder Gruppe die Zahl der präoperativ balancierten Skoliosen ab.

Die Brustkyphose wurde bei im Mittel physiologischen Ausgangswerten in allen Gruppen bis zur letzten Nachuntersuchung nicht signifikant beeinflusst, obwohl sich eine Tendenz zur leichten Verringerung der Kyphose bei den neuromuskulären Skoliosen zeigte. Zu einer Zunahme der Kyphose um 6% kam es bei den kongenitalen Skoliosen und um 5% bei den idiopathischen Skoliosen. Insgesamt betrachtet liegen sowohl die präoperativen als auch die abschließend gemessenen Kyphosewinkel im Bereich der Normalwerte einer thorakalen Kyphose.

Ähnlich sieht es bei der Lendenlordose aus, wo das physiologische Sagittalprofil in allen Gruppen sowohl präoperativ als auch in der Nachuntersuchung beibehalten werden konnte. Es fanden sich keine statistisch nachweisbaren Änderungen der Lordosewinkel zum Follow-up Zeitpunkt gegenüber den präoperativen Werten trotz tendenzieller Abnahme in den Gruppen der neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen.

Die längste Fusionsstrecke mit 13 Segmenten fand sich bei den neuromuskulären Skoliosen, gegenüber jeweils 11 Segmenten bei den idiopathischen und kongenitalen Skoliosen. Aus prozentual gleich häufiger kranialer Instrumentationsverankerung über die Winkel Th2-Th4 und kaudalem Fusionsende bei L4 ergeben sich die längeren Fusionsstrecken bei neuromuskulären Skoliosen. Mit Th4 als häufigster kranialer Verankerung bei den idiopathischen Skoliosen und

Th3 sowie Th4 bei den kongenitalen Skoliosen als auch den höheren kaudalen Endpunkten des Instrumentarium mit L2 bei den idiopathischen Skoliosen und L3 bei den kongenitalen Skoliosen ergeben sich in diesen beiden Gruppen kürzere Fusionsstrecken.

In keiner der Gruppen traten reversible oder irreversible neurologische Komplikationen im Zusammenhang mit Rückenmarksirritationen bzw. -verletzungen auf. Die bei den hier ausgewerteten Patienten aufgetretenen Komplikationen können quantitativ und qualitativ dem internationalen Vergleich standhalten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl bei den idiopathischen als auch bei den neuromuskulären und kongenitalen Skoliosen durch das Universal Spine System eine anhaltende suffiziente Korrektur in der Frontalebene erzielt werden konnte. Das präoperativ physiologische Sagittalprofil blieb erhalten. Auch ohne postoperative externe Rumpffixation wie bei früheren Verfahren ließ sich eine gute Stabilität mit nur kleinen Korrekturverlusten im Verlaufe der Nachuntersuchungsperiode erzielen. Die Instrumentationstechnik kann als komplikationsarm mit einer geringen Anzahl an notwendigen Revisionseingriffen eingeschätzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse nach Verwendung des Universal Spine Systems bei Skoliosen verschiedener Ätiologie vorgestellt. Nachfolgende Untersuchungen könnten diese Operationstechnik mit anderen Verfahren vergleichen.

7 Literaturverzeichnis

- 1 AARO S., DAHLBORN M.:
Estimation of vertebral rotation and the spinal and rib-cage deformity in scoliosis by computer tomography.
Spine 1981; 6: 460-467
- 2 AARO S., DAHLBORN M.:
The effect of Harrington instrumentation on the longitudinal axis rotation of the apical vertebra and on the spinal and rib-cage deformity in scoliosis studied by computer tomography.
Spine 1982; 7: 456-462
- 3 ALBERT T. J., PURTILL J., MESA J., McINTOSH T., BALDERSTON R.A.:
Health outcome assessment before and after adult deformity surgery.
A prospective study. Spine 1995; 20: 2002-2004
- 4 ANTUNA S.A., MENDEZ J.G., LOPEZ-FANJUL J.C., PAZ JIMENEZ J.:
Cotrel-Dubousset instrumentation in idiopathic scoliosis a 5-year follow-up.
Acta Orthop Belg. 1997; Jun 63(2): 74-81
- 5 ARLET V., PAPIN P., MARCHESI D., AEBI M.:
Adolescent idiopathic thoracic scoliosis: apical correction with specialized pedicle hooks.
Eur Spine J 1999; 8: 570-575
- 6 ARLET V., MARCHESI D., PAPIN P., et al.:
The 'MW' sacropelvic construct: an enhanced fixation of the lumbosacral junction in neuromuscular pelvic obliquity.
Eur Spine J 1999; 8: 229-31
- 7 ARLET V., MARCHESI D., AEBI M.:
Correction of adolescent idiopathic thoracic scoliosis with a new type of offset apical instrumentation: preliminary results.
J Spinal Disord 1998; 11: 404-409
- 8 AVIKAINEN V.J., VAHERTO H.:
A high incidence of spinal curvature. A study of 100 young female students.
Acta Orthop Scand 1983; 54: 267-273
- 9 BAGO J., RAMIREZ M., PELLISE F., VILLANUEVA C.:
Survivorship analysis of Cotrel-Dubousset instrumentation in idiopathic scoliosis.
Eur Spine J 2003; 12: 435-439
- 10 BALDERSTON R.A.:
Early hook dislocation with Cotrel-Dubousset instrumentation for adult scoliosis.
Cotrel-Dubousset instrumentation, Sauramps Medical, Montpellier 1991
- 11 BARR S.J., SCHUETTE A.M., EMANS J.B.:
Lumbar pedicle screws versus hooks.
Spine 1997; 22: 1369-1379
- 12 BAUER R., MOSTEGL A., EICHENAUER M.:
Analysis of the results of Dwyer and Zielke Instrumentations in the treatment of scoliosis.
Arch Orthop Trauma Surg 1986; 105: 302-309

- 13 BAUER R., MOSTEGL A., HINGSHAMMER R.:
Cotrel-Dubousset (CD) Instrumentation for the Correction of Spinal Curvature. First Results in Special Consideration of Derotation.
Arch Orthop Trauma Surg 1988; 107: 364-368
- 14 BAUER R., KERSCHBAUMER F., REHART S.:
In: Wirth C.J., Jäger M. Praxis der Orthopädie.
Thieme Verlag 2001; 3: Band I-III 245-255, 493-505
- 15 BERLEMANN U., CRIPTON P., NOLTE L.P., LIPPUNER K., SCHLAEPFER F.:
New means in spinal pedicle hook fixation.
Eur Spine J 1995; 4: 114-122
- 16 BERLET G.C., BOUBEZ G., GURR K.R., BAILEY S.I.:
The USS pedicle hook system: A morphometric analysis of its safety in the thoracic spine.
Journal of Spinal Disorders 1999; 12(3): 234-239
- 17 BERNHARDT M., BRIDWELL K.H.:
Segmental analysis of the sagittal alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction.
Spine 1989; 14: 717-721
- 18 BETZ R.R., HARMS J., CLEMENTS D.H. et al.:
Comparison of anterior and posterior instrumentation for correction of adolescent thoracic scoliosis.
Spine 1999; 24: 225-39
- 19 BOACHIE-ADJEI O., LONNER B.:
Spinal deformity.
Pediatr Clin North 1996; 43 (4): 883-897
- 20 BRADFORD D.S.:
Kyphosis. Editorial comment.
Clin Orthop 1977; 128: 2-4
- 21 BRADFORD D.S.:
Vertebral column resection.
Orthop Transact 1987; 11: 502
- 22 BRADFORD D.S.:
Die angeborene Skoliose.
Orthopädie 1989; 18: 87-100
- 23 BRADFORD D.S., TAY B.K.B., HU S.S.:
Adult scoliosis: Surgical indications, operative management, complications and outcomes.
Spine 1999; 24: 2617-2629
- 24 BRIDWELL K.H.:
Spine Update- Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis: The Basics and the Controversies.
Spine 1994; 19: 1095-1100

- 25 BRIDWELL K.H., BETZ R., CAPELLI A. M., et al.:
Sagittal plane analysis in idiopathic scoliosis patients treated with Cotrel-Dubusset instrumentation.
Spine 1990; 15: 644-649
- 26 BROOKS H.L., AZEN S.P., GERBERG E., BROOKS R., CHAN L.:
Scoliosis: A prospektive epidemiological study.
J Bone Joint Surg 1975; 57-A: 968-972
- 27 BURTON D.C., ASHER M.A., LAI S.M.:
The Selection of fusion levels using torsional correction techniques in the surgical treatment of idiopathic scoliosis.
Spine 1999; 24 (16): 1728-1739
- 28 BURWELL R.G., JACOBS K.J., STAPLETON K.E.A., WEBB J.K., WOJCIK A.S., WYTHERS D.J.:
Postoperative appraisal of some surgical operations for adolescent idiopathic scoliosis: an interim report.
J Bone Joint Surg 1991; 73: Suppl I 37-38
- 29 CLARK C., SHUFFLEBARGER H.:
Late-developing infection in instrumented idiopathic scoliosis.
Spine 1999; 24: 1909-1912
- 30 CLIFFORD B., TRIBUS, KATHLEEN E., GARVERY:
Full thickness thoracic laminar erosion after posterior spinal fusion associated with late-presenting infection.
Spine 2003, Volume 28, Number 10: pp E194-E197
- 31 COBB J.R.:
Outline for the study of scoliosis.
Am. Acad. 1948; Orthop. 5: 261
- 32 COCHRAN T., IRSTAM L., NACHEMSON A.:
Long-term anatomic and functional changes in patients with adolescent idiopathic scoliosis treated by Harrington rod fusion.
Spine 1983; 8: 576-584
- 33 COLLIS D.K., PONSETI I.V.:
Long-term follow-up of patients with idiopathic scoliosis not treated surgically.
J Bone Joint Surg 1969; 51-A, 425-445
- 34 CONNOR J.M., CONNOR A.N., TOLMIE J.L., YEUNG B., GOUDI D.:
Genetic aspects of early childhood scoliosis.
Am J Med Genet. 1987; Jun;27(2): 419-24
- 35 COOK S., ASHER M., LAI S.M., SHOBE J.:
Reoperation after primary posterior instrumentation and fusion for idiopathic scoliosis.
Spine 2000; 25: 463-468
- 36 COTREL Y., DUBOUSSET J., GUILLOMAT M.:
New universal instrumentation in spinal surgery.
Clin Orthop 1988; 227: 10-23

-
- 37 CRUICKSHANK J.L., KOIKE M., DICKSON R.A.:
Curve patterns in idiopathic scoliosis. A clinical and radiographic study.
J Bone Joint Surg 1989; Br 71(2): 259-263
- 38 DEBRUNNER A.M.:
Orthopädie, Orthopädische Chirurgie
Verlag Hans Huber 2002, 4.Aufl. 827-842
- 39 DENIS F.:
Cotrel-Dubousset Instrumentation in the Treatment of Idiopathic Scoliosis.
Orthop Clin North 1988; 19: 291-311
- 40 DENNIS F.:
Anterior surgery in scoliosis.
Clin Orthop 1994; 300: 38-44
- 41 DICKSON J.H., HARRINGTON P.R.:
The evolution of the Harrington instrumentation technique in scoliosis.
J Bone Joint Surg 1973; 55(5): 993-1002
- 42 DICKSON J.H., MIRKOVIC S., NOBLE P.C., NALTY T., ERWIN W.D.:
Results of operative treatment of idiopathic scoliosis in adults.
J Bone Joint Surg 1995; 77: 513-523
- 43 DOMMISSE G.F.:
The blood supply of the spinal cord. A critical vascular zone spinal surgery.
J Bone Joint Surg 1974; 56 (2): 225-235
- 44 DOVE J., YOUNG-TZO LIN, YOUNG-SHUNG SHEN, DITMANSON M.L.:
Aorticaneurysm complicating spinal fixation with Dwyer's apparatus.
Spine 1981; 6: 524-526
- 45 Dubousset J.:
CD-Instrumentation bei Beckenschiefstand.
Orthopädie 1990; 19: 300-309
- 46 DUBOUSSET J., COTREL Y.:
Die CD-Instrumentation in der Behandlung von Wirbelsäulendeformitäten.
Orthopädie 1989; 18: 118-127
- 47 DUBOUSSET J.Y., COTREL Y.:
Application technique of Cotrel-Dubousset Instrumentation for scoliosis deformities.
Clin Orthop 1991; 264: 103-110
- 48 DUBOUSSET J., HERRING J.A., SHUFFLEBARGER H.:
The crankshaft phenomenon.
J Pediatr Orthop 1989; 9: 541-550
- 55 DUBOUSSET J., ZELLER R.:
Therapeutic strategies in neuromuscular spinal deformities.
In: Bitan F., Margulies J., Neuwirth M.:
Spine: State of the art reviews. Vol 12. Hanley Belfus, Philadelphia: 13-19
- 50 DWYER A.F.:
Experience of anterior correction of scoliosis.
Clin Orthop 1973; 93: 91-206

-
- 51 DWYER A.P.:
A fatal complication of paravertebral infection and traumatic aneurysm following Dwyer instrumentation.
Proceedings of the Australian Orthopaedic Association.
J Bone Joint Surg 1979; 61: 239
- 52 DWYER A.F., NEWTON N.C., SHERWOOD A.A.:
An anterior approach to scoliosis: A preliminary report.
Clin Orthop 1969; 62: 192-202
- 53 DWYER A.F., O'BRIEN J.P., SEAL P.P., HSU L., YAU A.C.M.C., HODGSON A.R.:
The late complications after Dwyer anterior spinal instrumentation for scoliosis.
J Bone Joint Surg 1977; 59: 117
- 54 DWYER A.F., SCHAFER M.F.:
Anterior approach to scoliosis: results of treatment in 51 case.
J Bone Joint Surg 1974; 56: 218-224
- 55 DWYER A.P., YAU A.C.M.C., HSU L., O'BRIEN J.P., HODGSON A.R.:
Deep paravertebral infection following Dwyer Anterior Spinal instrumentation: a report of three cases.
Spine 1976; 1: 201-206
- 56 ECKER M.L., BETZ R.R., TRENT P.S., MAHBOUBI S., MESGARZADEH M., BONAKDAPOUR A., DRUMMOND D.S., CLANCY M.:
Computer tomography evaluation of Cotrel-Dubousset instrumentation in idiopathic scoliosis.
Spine 1988; 13: 1141-1144
- 57 FERGUSON R.L., ALLEN B.L.:
Considerations in the treatment of cerebral palsy patients with spinal deformities.
Orthop Clin North 1988; 19: 419-425
- 58 FILHO N.A., THOMPSON M.W.:
Genetic studies in scoliosis.
J Bone Joint Surg 1971; 53-A: 199
- 59 FITSCH R.D., TURI M., BOWMANN B.E., et al.:
Comparison of Cotrel-Dubousset instrumentation and Harrington rod instrumentation in idiopathic scoliosis.
J Pediatr Orthop 1990; 10: 44-7
- 60 FREEDMAN L.S., HOUGHTON G.R., EVANS M.:
Cadaveric study comparing the stability of upper distaction hooks used in Harrington instrumentation.
Spine 1986; 11: 579-82
- 61 FURUNO K., TSUCHIYA M., USHIDA T., KANG M.Y., KANBARA T., YAMAMOTO H., MANABE M.:
Cephalad movement of the carina due to CD (Cotrel-Dubousset) instrumentation for idiopathic scoliosis.
Masui. 1995; Dec. 44(12): 1614-7

-
- 62 GAINES R.W., LEATHERMAN K.D.:
Benefits of the Harrington compression system in lumbar and thoracolumbar idiopathic scoliosis in adolescents and adults.
Spine 1981; 6: 483-488
- 63 GAU Y.L., LONSTEIN J.E., WINTER R.B., KOOP S., DENIS F.:
Luque-Galveston procedure for correction and stabilisation on neuromuscular scoliosis and pelvic obliquity: a review of 68 patients.
J Spinal Disord 1991; 4 (4) 399-410
- 64 GENEST M., ZEH A., HELD A., HEIN W.:
Ventrale derotierende Spondylodesen bei Skoliosen vom Typ King I mit dem Kaneda Anterior Skoliose System (KASS)
Z Orthop 2002
- 65 GIEHL J.P.:
Operative Skolioseetherapie mit der VDS und der Harrington-Instrumentation.
Beitr Orthop Traumatol 1991; 37: 517-534
- 66 GIEHL J.P., VOELPEL J., HEINRICH E., ZIELKE K.:
Correction of the sagittal plane in idiopathic scoliosis using the Zielke procedure (VDS).
Int Orthop 1992; 16: 213-218
- 67 GIEHL J.P., ZIELKE K., HACK H.P.:
Die Ventrale Derotationsspondylodese nach Zielke.
Orthopädie 1989; 18: 101-117
- 68 GIEHL J.P., ZIELKE K.:
Anterior Instrumentation in thoracolumbar and lumbar curves.
In: Bridwell KH, DeWald RL (ed) The textbook of spinal surgery.
Lippincott-Raven, Philadelphia Nex York 1997; 41: 627-639
- 69 GINSBURG H.H., GOLDSTEIN L., HAAKE P.W., PERKINS S., GILBERT K.:
Longitudinal study of back pain in postoperative idiopathic scoliosis: Long-term follow-up, phase IV.
Scoliosis research society annual meeting 1995; September 14-16, Ashville, North Carolina 19
- 70 GIOIA G., M'RABET A., DUBOUSSET J.:
Reconstruction frontale et sagittale des courbures scoliotiques apres intervention de Cotrel-Dubousset.
Rev Chir Orthop 1988; 74: 558-562
- 71 GOETZE H.G.:
Die Form des postoperativen Rumpfgipses. Voraussetzung für die Frühmobilisation nach hinterer Spondylodese.
Z Orthop 1976; 114: 506-510
- 72 GOETZE C.:
Der Einfluß dorsaler Operationsverfahren auf die skoliotische Thoraxdeformität.
Med Dissertation 1995; Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- 73 GRUBB S.A., LIPSCOMB H.J. SUH P.B.:
Results of surgical treatment of painful adult scoliosis.
Spine 1994; 19: 1619-1627

-
- 74 GUIDERA K., HOOTEN K., WEATHERLY. W., HIGHHOUSE M., CASTELLVI A.,
OGDEN J., PUGH L., COOK S.:
Cotrel-Dubousset instrumentation. Results in 52 patients.
Spine 1993; 18: 427-431
- 75 HAAG M.:
Orthopädie
2000; 3: 162-175
- 76 Hall J.E.:
Current concepts review: Dwyers instrumentation in anterior fusion of the spine.
J Bone Joint Surg 1981; 63: 1188-1190
- 77 HALM H.:
Augmentation der VDS durch Doppelstab-Instrumentation: Operationsmethode und
Frühergebnisse.
Z Orthop 1994; 132: 383-389
- 78 Halm H.:
Biomechanische und klinische Untersuchungen zur Optimierung der Formkorrektur und
Stabilisierung von idiopathischen Skoliosen.
Medizinische Habilitationsschrift 1997; Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- 79 HALM H.:
Ventrals und dorsale korrigierende und stabilisierende Verfahren bei idiopathischer
Skoliose.
Orthopädie, Springer Verlag 2000; 29: 543-562
- 80 HALM H., CASTRO W.H.M., JEROSCH J., et al.:
Sagittal plane correction in "King-classified" idiopathic scoliosis patients treated with
Cotrel-Dubousset instrumentation.
Acta Orthop Belg 1995; 61: 294-301
- 81 HALM H., CASTRO W.H.M., JEROSCH J., WINKELMANN W.:
Accuracy of pedicle screw in scoliosis surgery .
Z Orthop 1996; 134: 492-497
- 82 HALM H., CASTRO W.H.M., JEROSCH J., WINKELMANN W.:
Prevention of the spinal decompensation in Cotrel-Dubousset Instrumentation.
In: 9th Proceedings of the International Congress on Cotrel-Dubousset Instrumentation.
Sauramps medical, Montpellier, Frankreich 1992
- 83 HALM H., LILJENQVIST U., CASTRO W.H., JEROSCH J.:
Surgical treatment of idiopathic thoracolumbal scoliosis: Cotrel-Dubousset
instrumentation versus ventral derotation spondylodesis.
Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1995; May-Jun 133(3): 282-288
- 84 HALM H., LILJENQVIST U., CASTRO W.H.M., JEROSCH J.:
Argumentation of ventral derotation spondylodesis according to Zielke with doublerod
instrumentation.
Preliminary report on two-year results of thoracolumbar curves.
Acta Orthop Beleg 1995; 61: 286-293

-
- 85 HALM H., LILJENQVIST U., LINK T., JEROSCH J., WINKELMANN W.:
Computertomographische Lagekontrolle von Pedikelschrauben in der Skoliosechirurgie.
Z. Orthop 1995; 134: 492-497
- 86 HALM H., LILJENQVIST U., NIEMEYER T., CHAN D.P.K., ZIELKE K.,
WINKELMANN W.:
Halm-Zielke instrumentation for primary stable anterior scoliosis surgery. Operative
techique and two year results ten consecutive patients within a prospective clinical trial.
Eur Spine 1998; 7: 429-434
- 87 HALM H., STEINBECK J., LILJENQVIST U., CASTRO W.H.M.:
Operative Formkorrektur und Stabilisierung thorakolumbaler Skoliosen über
transpedikuläre Schraubenfixation nach den Regeln der VDS: Posterioren Doppelstab
System (MPDS) unter Berücksichtigung der Schraubenanlage.
Orthop Prax 1995; 12: 866-872
- 88 HARMIL C.L., LENKE L.G., BRIDWELL K.H., CHAPMAN M.P., BLANKE K.,
BALDUS C.:
The use of pedicle screw fixation to imrove correction in the lumbar spine of patients
with idiopathic scoliosis.
Spine 1996; 21: 1241-1249
- 89 HARMS J.:
Screw threaded rod system inspinal fusion surgery.
Spine: State of the art Reviews 6. Hanley & Belfus, Philadelphia 1992
- 90 HARMS J.:
How to do double curves with anterior instrumentation (single rod).
6th Intemational meeting on advanced spine techniques, Vancouver, Canada 1999
- 91 HARMS J., JESZENSZKY D., BEELE B.:
In: Bridwell KH, Dewald RL (eds). Ventral correction of the thoracic scoliosis.
The textbook of spinal surgery, Lippincott-Raven, Philadelphia New York 1997; 41: 611-
626
- 92 HARMS J., SCHWAIGER C., BIEHL G., SCHMITT J.:
Spinal traction syndrome.
Z Orthop Ihre Grenzgeb 1980; 118(2): 246-250
- 93 HARRINGTON P.R.:
Treatment of Scoliosis. Correction and Internal Fixation by Spine Instrumentation.
J Bone Joint Surg 1962; 44A: 591-610
- 94 HARVEY C.J., BETZ R.R., CLEMENTS D.H., HUSS G.K., CLANCY M.:
Are there indication for partical rib resection in patients with idiopathic scoliosis treated
with Cotrel- Dubousset instrumentation?
Spine 1993; 18: 1593-1598
- 95 HEFTI F.:
Kongenitale Fehlbildungen an der Wirbelsäule.
Orthopädie 2002; 31: 34-43

-
- 96 HEINE J., MATTHIAS H.H.:
Erste Erfahrungen mit der ventralen Derotationsspondylodese.
In: Der vordere Zugang zur Wirbelsäule.
Thieme, Stuttgart 1983; 121-125
- 97 HELENIUS I., REMES V., YRJONEN T., YLIKOSKI M., SCHLENZKA D.,
HELENIUS M., POUSSA M.:
Does gender affect outcome of surgery in adolescent idiopathic scoliosis?
Spine 2005 Feb 15; 30(4): 462-467
- 98 HERNDON W.A., SUILLVAN J.A., GRUEL C.R. et al.:
A comparison of Wisconsin instrumentation and Cotrel-Dubousset instrumentation.
J Pediatr Orthop 1993; 13: 615-621
- 99 HIBBS R.A.:
A Report of Fifty-nine Cases of Scoliosis Treated by Fusion Operation.
J Bone Joint Surg 1924; 6: 3-37
- 100 HOPF C., ROMPE J.D., EYSEL P., HEINE J.:
Die operative Behandlung von Skoliosen unterschiedlicher Ätiologien.
Z Orthop 1994; 132: 45-55
- 101 HOPF CH., ROMPE J.D., HEINE J.:
Indikation und Ergebnisse der operativen Behandlung neuromuskulärer Skoliosen.
Z Orthop Ihre Grenzgeb 1992; 130: 146-151
- 102 HORTON W.C., HOLT R.T., JOHNSON J.R.:
Zielke instrumentation in idiopathic scoliosis: Late effects and minimizing
complications.
Spine 1988; 13: 1145-1149
- 103 HSU L.C.S., ZUCHERMAN J., TANG S.C., LEONG J.C.Y.:
Dwyer instrumentation in the treatment of the Adolescent Idiopathic Scoliosis.
J Bone Joint Surg 1982; 64: 536-541
- 104 HSU J.D.:
The natural history of spine curvature progression in the nonambulator Duchenne
muscular dystrophy patient.
Spine 1983; 8: 771
- 105 HU S.S., HOLLY E.A., LELE C., AVERBACH S., KRISTIANSEN J., SCHIFF M.,
BUEFF H.U., BRADFORD D.S.:
Patient outcomes after spinal reconstructive surgery in patients = 40 years of age.
J Spinal Disord 1996; 9: 460-469
- 106 HUMKE T., GROB D., SCHEIER H., SIEGRIST H.:
Cotrel-Dubousset and Harrington Instrumentation in idiopathic scoliosis: a comparison
of longterm results.
Eur Spine J 1995; 4: 280-293
- 107 IMHAUSER K., MORSCHER E.:
Advantages and disadvantages of the ankylosing surgery for scoliosis.
Z Orthop Ihre Grenzgeb 1976; 114(4): 613-615

-
- 108 JENG C.L., SPONSELLER P.D., TOLO V. T.:
Outcome of Wisconsin instrumentation in idiopathic scoliosis. Minimum 5-year follow up.
Spine 1993; 18: 1584-1590
- 109 JOHNSON R.M., McGUIRE E.J.:
Urogenital Complications of Anterior Approaches to the Lumbar Spine.
Clin Orthop 1981; 154: 114
- 110 de JONGE T., DUBOUSSET J.F., ILLES T.:
Sagittal Plane Correction in Idiopathic Scoliosis.
Spine 2002; 27 (7): 754-760
- 111 KANEDA K.:
How to double curves with anterior instrumentation (double rod).
6th. International meeting on advanced spine techniques, Vancouver, Canada 1999
- 112 KANEDA K., SHONO Y., SATOH S., ABUMI K.:
Anterior correction of the thoracic scoliosis with Kaneda anterior spinal System.
A preliminary report. Spine 1997; 22: 1358-1368
- 113 KANEDA K., SHONO Y., SATOH S., ABUMI K.:
New anterior instrumentation for the management of the thoracolumbar and lumbar scoliosis. Application of the Kaneda two-rod System.
Spine 1996; 21: 1250-1261
- 114 KANEDA K., YAMAMOTO I., SATOH S., KONTANI Y.:
New anterior instrumentation (the two rod system) for treatment of thoracolumbar and lumbar scoliosis-early clinical results.
Vortrag und Abstract, Biannual Meeting of the European Spinal Deformity Society, Lyon, Frankreich 1992
- 115 KARBOWSKI A., LILJENQVIST U., BETTIN D., HEINE J.:
Langfristige Behandlungsergebnisse ventraler und kombinierter ventrodorsaler Spondyloesen in der operativen Therapie der Skoliose.
Z Orthop 1996; 134: 81-88
- 116 KING A.G.:
Scoliosis in the community .
Br Med J (Clin Res Ed) 1983; 286(6375): 1442
- 117 KOHLER R., GALLAND O., MECHIN H., MICHEL C.R., ONIMUS M.:
The Dwyer procedure in the treatment of idiopathic scoliosis. 10-year follow-up review of the 21 patients.
Spine 1990; 15(2): 75-80
- 118 KOUSTUIK J.P.:
Recent advances in the treatment of painful adult scoliosis.
Clin Orthop 1980; 147: 238-252
- 119 KOUSTUIK J.P.:
Current concepts review operative treatment of idiopathic scoliosis.
J Bone Joint Surg 1990; 72A: 1108-1113

-
- 120 KOTWICKI T., DUBOUSSET J., PADOVANI J.P.:
Correction of flexible thoracic scoliosis below 65 degrees- A radiological comparison of anterior versus posterior segmental instrumentation applied to similar curves.
Eur Spine J. 2006 Apr 4; (Epub ahead of print)
- 121 KRISMER M., BAUER R.:
Indikation und Frühergebnisse der operativen Skoliotherapie mit der VDS-Instrumentation.
Beitr Orthop Traumatol 1990; 37: 391-400
- 122 KRISMER M., BAUER R., STERZINGER W.:
Scoliosis correction by Cotrel-Dubousset instrumentation. The effect of derotation and three dimensional correction.
Spine 1992; 17(8): 263-269
- 123 LABELLE H., DANSEREAU J., BELLEFLEUR C., de GUISE J., RIVARD C.H., POITRAS B.:
Peroperative three-dimensional correction of idiopathic scoliosis with the Cotrel-Dubousset procedure.
Spine 1995; Jun 15;20(12): 1406-1409
- 124 LAXER E.:
A further development in spinal instrumentation, Technical Commission for spinal surgery of the ASIF.
Eur Spine 1994; J 3: 347-352
- 125 LENKE L.G., BETZ R.R., BRIDWELL K.H., HARMS J., CLEMENTS D.H., LOWE T.G.:
Spontaneous lumbar curve correction after selektive anterior or posterior fusion in adolescent idiopathic scoliosis.
Spine 1999; 24: 1663-1672
- 126 LENKE L., BRIDWELL K., BALDUS C., BLANKE K., SCHOENECKER P.:
Cotrel-Dubousset instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis.
J Bone Joint Surg 1992; 74: 1056-1067
- 127 LENKE L.G., BRIDWELL K.H., BALDUS C., BLANKE K., SCHOENECKER P.L.:
Ability of Cotrel-Dubousset-Instrumentation to preserve distal lumbar motion segments in adolescent idiopathic scoliosis.
J Spinal Disord 1993; 4: 339-350
- 128 LENKE L.G., BRIDWELL K.H., BLANKE K., BALDUS C., WESTON C.:
Radiographic results of arthrodesis with Cotrel-Dubusset instrumentation for the treatment of the adolescent idiopathic scoliosis. A five to ten-year follow-up study.
J Bone Surg 1998; 80(6): 807-814
- 129 LEPSIN U., BULLMANN V., HACKENBERG V., LILJENQVIST U.:
Long-term results of posterior correction and fusion of the scoliosis using the Cotrel-Dubousset instrumentation.
Z Orthop Ihre Grenggeb 2002; 140(1): 77-82
- 130 LEPSIEN U., LILJENQVIST U., NIEMEYER T., HALM H.:
Posterior Correction and Fusion of Idiopathic Thoracic Scoliosis - A Comparative Analysis of Hook versus Pedicle Screw Instrumentation. MAST, Barcelona 2000

-
- 131 LILJENQVIST U.:
Langzeitergebnisse ventraler Spondylodesen zur operativen Therapie der Skoliose.
Med. Dissertation 1993, Westfälische Wilhelms-Universität Münster 1993
- 132 LILJENQVIST U., HACKENBERG L.:
Pullout strength of pedicle screw versus pedicle and laminar hooks in the thoracic spine.
Acta Orthopaedica Belgica 2001; 67 (2): 157-162
- 133 LILJENQVIST U., HALM H.:
Augmentation der VDS durch Doppelstab- Instrumentation. Eine kritische Analyse der
2- bis 4- Jahresergebnisse.
Z Orthop 1998; 136: 50-56
- 134 LONSTEIN J.E.:
Idiopathic Scoliosis.
In: Lonstein J.E., Bradford D.S., Winter R.B., Ogilvie J.W. (eds). Moe's textbook of
scoliosis and other spinal deformities.
W.B. Saunders Company 1994; 3rd Edition, Philadelphia
- 135 LONSTEIN J.E., CARLSON J.M.:
The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth.
J Bone Surg 1984; 66-A: 1061-1071
- 136 LONSTEIN J.E., RENSHAW T.S.:
Neuromuscular spine deformities. In the American Academy of Orthopaedic Surgeons:
Instructional course lectures.
St. Louis 1987; 36: Mosby
- 137 LONSTEIN J.E., WINTER R.B.:
The Milwaukee-brace for the treatment of the adolescent idiopathic scoliosis. A review
of the one thousand and twenty patients.
J Bone Joint Surg 1994; 76(A): 1207-1221
- 138 LOVALLO J.L., BANTA J.V., RENSHAW T.S.:
Adolescent idiopathic scoliosis treated by Harrington-rod distraction and fusion.
J Bone and Joint Surg 1986; 68(A): 1326-1330
- 139 LOWE T.G., PETERS J.D.:
Anterior spinal fusion with Zielke instrumentation for idiopathic scoliosis. A frontal and
sagittal curve analysis in 36 patients.
Spine 1993; 18: 423-426
- 140 LUK K.D.K., LEONG J.C.Y., HSU L.C.S.:
The comparative results of treatment in idiopathic thoracolumbar and lumbar scoliosis
using the Harrington, Dwyer, and Zielke instrumentations.
Spine 1989; 3: 275-280
- 141 LUQUE E.R.:
Segmental Spinal Instrumentation for Correction of Scoliosis.
Clin Orthop 1982; 163: 192-198
- 142 MacEWEN G.D.:
Operative treatment of scoliosis in cerebral palsy.
Reconstr Surg Traumatol 1972; 13: 58

-
- 143 MANN D.C., NASH C.L. Jr., WILHALM M.R., et al.:
The influence of contoured distraction rods on thoracic sagittal curves.
J Spinal Disord 1989; 2: 120-5
- 144 MASON D.E., CARANGO P.:
Spinal decompensation in Cotrel-Dubousset instrumentation.
Spine 1991; 16: 394-403
- 145 MATZEN P.:
Praktische Orthopädie,
1994; 3: 339-349
- 146 MATZEN P.F., MATZEN P.F.:
Praktische Orthopädie.
1990; 2: 219-243
- 147 MAU H.:
Die Ätiopathogenese der Skoliose.
Enke, Stuttgart 1982
- 148 McCARTHY R.E., BRUFFETT W.L., McCULLOUGH F.L.:
S rod fixation to the sacrum in patients with neuromuscular spinal deformities.
Clin Orthop 1999; 364: 26-31
- 149 MEURER A., HOPF CH., HEINE J.:
Spontanverlauf der idiopathischen Skoliose.
Orthopädie 1994; 23: 228-235
- 150 MOE J.H.:
Historical aspects of scoliosis.
In: Bradford D.S., Lonstein J.E., Moe J.H., Ogilvie J.W., Winter R.B.: Moe's Textbook
of scoliosis and other spinal deformities.
W.B. Saunders Company, Philadelphia-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Hong Kong
1987; 1-6
- 151 MOE J.H., Byrd III J.A.:
Idiopathic scoliosis. In: Moe's Textbook of scoliosis and other spinal deformities.
W.B. Saunders, Philadelphia 1987
- 152 MOE J.H., PURCELL G.A., BRADFORD D.S.:
Zielke instrumentation (VDS) for correction of the spinal curvature.
Clin Orthop 1983; 180: 133-153
- 153 MOORE M.R., BAYNHAM G.C., BROWN C.W., DONALDSON D.H., ODOM J.A.
Jr.:
Analysis of Factors Related to Truncal Decompensation Following Cotrel-Dubousset
Instrumentation.
J Spinal Disord 1991; 4: 188-192
- 154 MONTGOMERY F., WILLNER S.:
The natural history of idiopathic scoliosis. Incidence of treatment in 15 cohorts of
children born between 1963-1977.
Spine 1997; 22 (7): 772-774

-
- 155 MOSKOWITZ A., TROMMANHAUSER S.:
Surgical and clinical results of scoliosis surgery using Zielke instrumentation.
Spine 1993; 18: 2444-2451
- 156 MUSCHIK M., SCHLENZKA D., ROBINSON P.N., KUPFERSCHMIDT C.:
Dorsal instrumentation for idiopathic adolescent thoracic scoliosis.
Eur Spine J 1999; 8: 93-99
- 157 NACHEMSON A., BJURE J.:
The future for the patient with nontreated scoliosis.
In: Chapchal G. Operative treatment of scoliosis.
4th Internat. Symp., 1971, Nijmegen, Netherlands Thieme, Stuttgart 1973, 4-8
- 158 NAGATA H., ONUMURA T., WATANABE H., SEMOTO Y., HAMMAMOTO H.:
Fusion levels and correction effect on scoliotic curves: Comparative study of Harrington
and Cotrel-Dubousset instrumentation .
Cotrel-Dubousset instrumentation, Sauramps Medical, Montpellier 1991
- 159 NAKAI S., ZIELKE K.:
Chylothorax- a rare complication after anterior and posterior spinal correction.
Spine 1986; 11: 830-833
- 160 NEUGEBAUER H.:
Cobb or Ferguson? An analysis of the two most commonly used methods of
measurement in scoliosis.
Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1972 Jun; 110(3): 342-356
- 161 NIETHARD F.U., PFEIL J.:
Orthopädie.
Duale Reihe, Hippokrates Verlag Stuttgart 1997; 3: 341-349
- 162 NOWAKOWSKI A.:
Biomechanics of scoliosis.
Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol. 2004; 69(5): 341-7
- 163 OGIELA D.M., CHAN D.P.K.:
Ventral derotation spondylodesis.
Spine 1986; 11: 18-22
- 164 OTTO J.U, HAUG F., MATZEN K.:
Folgeerkrankungen langstreckiger Spondylodesen
Z Orthop 2002; 3: 123-128
- 165 PERDRIOLLE R.:
The Torsion Meter: A Critical Review (Letter; Comment).
J Pediatr Orthop 1991; 11(6): 789
- 166 PERDRIOLLE R., VIDAL J.:
Thoracic Idiopathic Scoliosis Curve Evolution and Prognosis.
Spine 1985; 10: 785-791
- 167 PETERSON L.E., NACHEMSON A.L. and Members of the Brace Study Group of the
Scoliosis Research Society:
Prediction of Progression of the Curve in Girls who have Adolescent Idiopathic Scoliosis
of Moderate Severity.
J Bone Joint Surg 1995; 77A: 823-827

-
- 168 PONDER R.C., DICKSON J.H., HARRINGTON P.R., ERWIN W.D.:
Results of Harrington instrumentation and fusion in the adult idiopathic scoliosis patients.
J Bone Joint Surg 1975; 57: 797-801
- 169 PONSETI I.V., FRIEDMAN B.:
Changes in the scoliotic spine after fusion.
J Bone Joint Surg 1950; 32-A: 751-766
- 170 PEYER J.:
Scoliosis in adult.
Z Orthop Ihre Grenzgeb.1975; Aug;113(4): 577-82
- 171 PRATT R.K., WEBB J.K., BURWELL R.G., et al.:
Changes in surface and radiographic deformity after Universal Spine System for right thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is rib-hump reassertion a mechanical problem of the thoracic cage rather than an effect of relative anterior spinal overgrowth?
Spine 2001; 26: 1178-1187
- 172 REMES V., HELENIUS I., SCHLENZKA D., YRJÖNENEN T., YLIKOSKI M.,
POUSSA M.:
Cotrel-Dubousset (CD) or Universal Spine System (USS) Instrumentation in Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS).
Spine 2004; 29: 2024-2030
- 173 RENSCHAW T.S.:
Screening school children for scoliosis.
Clin Orthop 1988; 229: 26-33
- 174 RICHARDS B.S.:
Measurement error in assessment of vertebral rotation using the Pedriolle Torsiometer.
Spine 1992; 17: 513-517
- 175 RICHARDS B.S., BIRCH J.G., HERRING J.A., JOHNSTON C.F., ROACH J.W.:
Frontal plane and sagittal plane balance following Cotrel-Dubousset Instrumentation for idiopathic scoliosis.
Spine 1989; 14: 733-737
- 176 RICHARDS B.S., HERRING J.A., JOHNSTON C.E, BIRCH J.G, ROACH J.W.:
Treatment of Adolescent idiopahtic scoliosis using Texas Scottish Rite Hospital Instrumentation.
Spine 1994; 19: 1598 - 1605
- 177 ROAF R.:
The basic anatomy of scoliosis.
J Bone Joint Surg 1966; 48: 486-492
- 178 ROAF R.:
Vertebral growth and its mechanical control.
J Bone Joint Surg 1960; 42: 40-59
- 179 ROBIN G.C., BRIEF L.P.:
Scoliosis in childhood muscular dystrophy.
J Bone Joint Surg.1971; 53A: 466

-
- 180 RÖSSLER H., RÜTHER W.:
Orthopädie.
Urban&Schwarzenberg 1997; 17: 346-353
- 181 ROY D.P.jr., FARCY J.P., RICKERT J.B., GODFREID D.:
Results of spinal instrumentation of the adolescent idiopathic scoliosis by King type.
Spine 1992; 17(8 Suppl): 270-273
- 182 RUF M., HARMS J.:
Halbwirbelresektion bei kongenitaler Skoliose.
Operative Orthopädie und Traumatologie 2004; 16(2): 205-220
- 183 SALZMANN G.:
Conservative Therapy of scoliosis using Stagnara corset.
Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1976; Aug; 114(4): 492-494
- 184 SCHAFFER M.F., PAGE D., SHEN G.:
Mechanical evaluation of the Dwyer screw-cable attachment.
Spine 1979; 5: 398-400
- 185 SCHEIER H.J.G.:
Prognose und Behandlung der Skoliose.
Thieme, Stuttgart 1967; 68: 87-95
- 186 SCHEIER H.J.G.:
Die Indikation zur operativen Behandlung der Skoliose.
Z Orthop 1976; 114: 577-580
- 187 SCHLENZKA D., POUSSA M., MUSCHIK M.:
Operative treatment of adolescent idiopathic thoracic scoliosis. Harrington-DTT versus
Cotrel Dubousset instrumentation.
Clin Orthop 1993; 297: 155-160
- 188 SENGUPTA D.K., MEHDIAN S.H., McCONNEL J.R., EISENSTEIN S.M., WEBB
J.K.:
Pelvic or lumbar fixation for the surgical management of scoliosis in Duchenne muscular
dystrophy.
Spine 2002; 27(18): 2072-2079
- 189 SHIH-TIEN W., HSIAO-LI M., CHIEN-FU J.L., CHIEN-LIN L., WING-KWONG Y.,
WAI-HEE L.:
Surgical treatment of adult idiopathic scoliosis-comparison of two instrumentations.
International Orthopaedics (SICOT) 2002; 26: 207-210
- 190 SHUFFLEBARGER H.L., CLARK C.:
Cotrel-Dubousset instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis.
Orthop. Trans. 1987; 11: 49-50
- 191 SONGER M.:
Techniques of posterior cervical spine fusion.
Surg Technol Int VII 1998; 403-417
- 192 STAGNARA P.:
Traitement chirurgical des scolioses majeures de l'adulte.
Reunion du Groupe d'etude de la scoliose et de la Scoliosis Research Society, Lyon
1973

-
- 193 STAGNARA P., DeMAUROY J.C., DRAN G.:
Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: Approach to reference in the evaluation of kyphosis and lordosis.
Spine 1982; 7: 335-42
- 194 STOKES I.A., ARONSON D.D., RONCHETTI P.J., LABELLE H., DANSEREAU J.:
Reexamination of the Cobb and Ferguson angles: bigger is not always better.
J Spinal Disord 1993 Aug; 6(4): 333-338
- 195 STOCKL B., WIMMER C., INNERHOFER P., KOFLER M., BEHENSKY H.:
Delayed anterior spinal artery syndrome following posterior scoliosis correction.
Eur Spine J. 2005 Nov; 14(9): 906-909
- 196 STUECKER R.:
Behandlungsmöglichkeiten der Skoliose
Kinderheilkunde 2003; 151: 825-832
- 197 SUK S.I., LEE C.K., CHUNG S.S.:
Comparison of Zielke ventral derotation system and Cotrel-Dubousset instrumentation in the treatment of idiopathic lumbar and thoracolumbar scoliosis.
Spine 1994 Feb; 19(4): 419-29
- 198 SUK S.I., LEE C.K., KIM W.J., CHANG Y.J, PARK Y.B.:
Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis.
Spine 1995 Jun 15; 20: 1399 -1405
- 199 SUK S.J., LEE C.K., MIN H.J., CHO K.H., OH J.H.:
Comparison of Cortrel-Dubousset pedicle screws and hooks in the treatment in idiopathic scoliosis.
Int Orthop 1994; 18: 341-346
- 200 SWANK S.M.:
The management of scoliosis in the adult.
Orthop Clin North Am 1979 Oct; 10(4): 891-904
- 201 TAKAHASHI S.J., DELECRIN N., PASSUTI:
Surgical treatment of idiopathic scoliosis in adults: an age-related analysis of outcome.
Spine 2002; 27(16): 1742-1748
- 202 THOMPSON J.P., TRANSFELDT E.E., BRADFORD D.S., OGILVIE J.W.,
BOACHIE-ADJIEI O.:
Decompensation after Cotrel-Dubousset Instrumentation of idiopathic scoliosis.
Spine 1990; 15: 927-931
- 203 TREDWELL S.J, SAWATZKY B.J, HUGHES B.L.:
Rotation of a helix as a model for Correction of the scoliotic spine.
Spine 1999; 24: 1223 - 1227
- 204 VALENTIN B.:
Geschichte der Orthopädie.
Thieme, Stuttgart 1961; 9-62
- 205 van DAM B.E., BRADFORD D.S., LONSTEIN J.E., MOE J.H., OGILVIE J.W.,
WINTER R.B.:
Adult idiopathic scoliosis treated by posterior spinal fusion and Harrington instrumentation.
Spine 1987; 12: 32-36

-
- 206 von STREMPER A., SCHLOZ M., DIEDRICH O.:
Long-term follow-up in patients with idiopathic scoliosis.
Z Orthop Ihre Grenzgeb 1995 May-Jun; 133(3): 256-69
- 207 WEBB J.K., BURWELL R.G., COLE A.A., LIEBERMAN I.:
Posterior Instrumentation in Scoliosis.
Eur Spine 1995; J4: 2-5
- 208 WEINSTEIN S.L.:
Die idiopathische Adoleszentenskoliose: Häufigkeit und Progression unbehandelter Skoliosen.
Orthopädie 1989; 18: 74
- 209 WEMYSS-HOLDEN S.A., BURWELL R.G., POLAK F.J., JACOBS K.J., McNEILL A.S., WEBB J.K., MOULTON A., WOJCIK A.S.:
Segmental evaluation of the surface and radiological deformity after Cotrel -Dubousset (CD) instrumentation for King type II and III adolescent idiopathic scoliosis (AIS): surgical and etiological implications.
Acta Orthop Belg 1992; 58: Suppl I 135-138
- 210 WENG X., ZHANG J., QUI G., SHEN J., ZHAO H., JIN J., WANG Y., TIAN Y., LIN J.:
Three-dimensional correction of scoliosis using TSRH instrumentation.
Chin Med Sci J. 2001 Jun; 16; 2: 98-102
- 211 WILBERS R.G., THOMSON G.H., SHAFFER J.W., BROWN R.H, NASH C.L. jr.:
Postoperative neurological deficit in segmental spinal instrumentation. A study using spinal cord monitoring.
J Bone Joint Surg 1984; 66(8): 1178-1187
- 212 WILD A., KRAUSPE R.:
In: Krämer J. *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie.*
Thieme Verlag 1998; 166-190
- 213 WINTER R.B.:
Scoliosis and other spinal deformities.
Acta Orthop Scand. 1975 Jun; 46(3): 400-424
- 214 WINTER R.B.:
Congenital deformities of the spine.
Thieme Stratton, New York 1983
- 215 WINTER R.B., LONSTEIN J.E.:
Adult idiopathic scoliosis treated with Luque or Harrington rods and sublaminar wiring.
J Bone Joint Surg 1989; 71: 1308-1313
- 216 WINTER R.B., MOE J.H., LONSTEIN J.E.:
Posterior spinal arthrodesis for congenital scoliosis. An analysis of the cases of two hundred and ninety patients, five to nineteen years old.
J Bone Joint Surg 1984; 55: 1188-1197
- 217 WOOD K.B., TRANSFELDT E.E., OGILVIE J.W., SCHENDEL M.J., BRADFORD D.S.:
Rotational changes of the vertebral-pelvic axis following Cotrel-Dubousset Instrumentation.
Spine 1991; 16: 404-408

-
- 218 WYNNE-DAVIES R.:
Familial (idiopathic) scoliosis. A family survey.
J Bone Joint Surg 1968; 50(B): 24-30
- 219 ZIELKE K., STUNKAT R., DUQUESNE J., BEAUJEAN F.:
Ventrals Derotationsspondylodese.
Orthop Praxis 1975; 11: 562-569
- 220 ZIELKE K.:
Ventrals Derotationsspondylodese. Behandlungsergebnisse bei idiopathischen
Lumbalskoliosen.
Z Orthop 1982; 120: 320-329
- 221 ZIPPEL H.:
Orthopädie systematisch.
UNI-MED 1996; 1: 365-379

8 Danksagung

Mein Dank gilt allen die an dieser Arbeit beteiligt waren. Diese Untersuchung wurde ermöglicht durch die Orthopädische Klinik der Medizinischen Fakultät der Charité. Die guten Arbeitsbedingungen der Abteilung waren an dem Gelingen der methodischen Arbeit maßgeblich beteiligt.

Besonders danken möchte ich Herrn PD Dr. med. Michael Muschik, dem direkten Betreuer der Arbeit. Ohne seine ständige Unterstützung sowie seine unzähligen Anregungen und Diskussionsbereitschaft wäre die Dissertation nicht in dieser Form möglich gewesen.

Bei der Literaturrecherche war mir Frau Schönfeld aus der Wissenschaftlichen Bibliothek des Aneos Klinikums St. Salvator Halberstadt sehr behilflich. Außerdem danke ich Frau Lux vom Institut für Medizinische Biometrie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg für ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung der Messungen.

Abschließend gebührt meinen Eltern und meinem Mann Dank für jegliche Unterstützung.

9 **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

Erklärung

„Ich, Christiane Klebe erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: Ergebnisse dorsaler Spondylodesen bei der operativen Therapie von adoleszenten Skoliosen, Eine vergleichende Analyse von 138 Patienten selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Lawitz, den 23.12.06

Christiane Klebe