

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

ALTONAER KINDERKRANKENHAUS

Abteilung für Kinderorthopädie

Leiter PD. Dr. med. Ralf STÜCKER

**Halbwirbelresektion bei kongenitalen Skoliosen –
Ein Vergleich zweier Operationsverfahren**

DISSERTATION

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität
Hamburg

vorgelegt von:

Kiril Mladenov

aus Sofia, Bulgarien

Hamburg 2010

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 29.06.2011

Veröffentlicht mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. R. Stücker

Prüfungsausschuss, 2 Gutachter/in: Prof. Dr. W. Rüter

Prüfungsausschuss, 3 Gutachter/in: PD Dr. N. Hansen-Algenstaedt

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	4
1.1. Anatomische Grundlagen	7
2. Material und Methoden	8
2.1. Operative Technik	11
3. Ergebnisse	13
3.1. Praeoperative Daten	13
3.2. Postoperative Daten	21
3.3. Statistische Auswertung	31
4. Diskussion	34
5. Zusammenfassung	41
6. Fallbeispiele	42
7. Literaturverzeichnis	44
8. Lebenslauf	46
9. Eidesstattliche Erklärung	47

1. Einleitung und Problemstellung

Deformitäten der Wirbelsäule, die auf dem Boden einer Wirbelfehlbildung entstehen, sind in über 75% der Fälle progredient (1,2). Die Zunahme der Krümmung hängt von der Art und der Lokalisation der Fehlbildung ab, und variiert von 1° bis 33° pro Jahr (2). Der spontane Verlauf ist in der Regel ungünstig (2,3,4). Die zunehmende Krümmung verursacht nicht nur kosmetische Probleme und Störungen der statischen Rumpfhaltung, sondern auch Einschränkungen des Thoraxvolumens und der Brustwandmechanik. Diese können in ausgeprägten Fällen zur pulmonalen Restriktion und zur Herzinsuffizienz führen. Auch neurologische Komplikationen durch ventrale Komprimierung des Rückenmarks wurden bei kongenitalen Kyphosen beschrieben (2).

Ziel der Behandlung solcher Deformitäten bei Heranwachsenden ist die Wiederherstellung des koronaren und des sagittalen Rumpfgleichgewichts, Erhalt der Beweglichkeit und des Thoraxwachstums.

Bei Kindern werden grundsätzlich nichtoperative Maßnahmen bevorzugt. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass die Korsettbehandlung bei kongenitalen Skoliosen und Kyphosen wenig effizient ist (2). Korrektur der Hauptkrümmung oder Aufhalten der Progredienz, sind mit diesen Methoden nicht zu erzielen. Eine solche Behandlung ist deshalb nur sehr selten, zur Kontrolle von Sekundärkrümmungen indiziert (5).

Umfangreiche Studien, über den natürlichen Verlauf angeborener Skoliosen und Kyphosen haben belegt, dass bei über 50% der Patienten eine operative Korrektur erforderlich ist (2,3,4).

Folgende Grundprinzipien sollen bei der operativen Behandlung angeborener Wirbelsäulendeformitäten berücksichtigt werden:

Die Indikation für eine operative Korrektur ist nicht abhängig vom absoluten Wert des Cobbwinkels und des Alters, sondern von der Progredienz (2).

Die kompensatorischen Krümmungen sind am Anfang mild und flexibel, nehmen aber in der Regel im Verlauf zu, und werden rigider(4).

Nach frühzeitiger operativer Korrektur der Primärkrümmung sind die Chancen für spontane Aufrichtung der kompensatorischen Krümmungen größer (2).

Spondylodesen bei Heranwachsenden führen zur Hemmung des Thoraxwachstums. Als Folge davon kann eine Minderung der Vitalkapazität, und sogar eine restriktive pulmonale Insuffizienz entstehen (6).

In der Literatur, werden verschiedene Techniken für die operative Behandlung angeborener Wirbelsäulendeformitäten beschrieben.

Die „In situ“ Spondylodese hat heutzutage nur noch geringe Bedeutung. Die erreichte Korrektur ist geringfügig, die Komplikationsrate - hoch (7). Weiterhin führt eine multisegmentale Fusion zur deutlichen Einschränkung des Wirbelsäulenwachstums. Das ist besonders im thorakalen Bereich wichtig. Die Brustwirbelsäule ist bei der Geburt 11 cm lang im Alter von 5 Jahren - 18 cm und nach Wachstumsabschluss - 28 cm lang. Hier findet normalerweise ein Längswachstum von 0,7mm pro Jahr, und pro Segment statt (8). Des Weiteren ist zwischen dem 10-ten und dem 15-ten Lebensjahr eine Verdopplung des Thoraxvolumens zu beobachten (8). Eine frühzeitige Hemmung des Wachstums in diesem Abschnitt der Wirbelsäule führt logischerweise zur Minderung der Höhe des Brustkorbes, mit Einschränkung des Thoraxvolumens und der Lungenentwicklung. Aus diesen Gründen wird diese Technik nur sehr selten angewendet.

Zu den mitwachsenden Techniken gehört die VEPTR Operation(9). Bei dieser Methode, erfolgt eine konkavseitige Thorakotomie mit gleichzeitiger, ipsilateraler Anlage von „Titanrippen“. Die Korrektur wird durch Distraction zwischen kranialen und kaudalen Ankerpunkten durchgeführt. Die Titanrippen werden in regelmäßigen Abständen nachgestellt. Nachteile der Technik sind die Notwendigkeit für mehrere Nachstellungsingriffe und die relativ hohe Rate von mechanischen und entzündlichen Komplikationen (30-50%). Diese Methode ist für multisegmentale und komplexe Fehlbildungen, insbesondere solche assoziiert mit primären Thorax- und Rippenanomalien, und konkavseitigen, knöchernen Segmentationsstörungen geeignet (9).

Bei den Wachstum lenkenden Techniken werden die Prinzipien von Blount angewendet. Bei dieser Methode wird eine Hemmung des Wachstums mittels konvexseitiger Hemiepiphysiodese durchgeführt. Eine Korrektur, bzw. ein Anhalten der Progredienz erfolgt mit der Zeit bei stattfindendem konkavseitigem Wachstum. Obwohl die Methode wenig invasiv ist, ist die Korrektur der Krümmung nicht mit Sicherheit kalkulierbar (10). Ein anderer großer Nachteil der Methode ist, dass es in ca. 50% der Fälle nur zu einem Anhalten der Progredienz, ohne Korrektur der Hauptkrümmung kommt (10). Die kompensatorischen Krümmungen bleiben nicht korrigiert, und werden mit der Zeit rigider. Dadurch entsteht die Notwendigkeit für spätere Instrumentierung mehrerer mobiler Segmente. Ginsburg et al. empfehlen die Methode nur für sehr junge Patienten mit vorhandenen konkavseitigen Epiphysen und sehr milden Primärkrümmungen (10).

Methode der Wahl bei isolierten, progredienten Formationsstörungen ist die Halbwirbelresektion. Mit dieser Technik kann eine sofortige Korrektur der primären und der kompensatorischen Krümmungen mit monosegmentaler Fusion erreicht werden.

Halbwirbelresektionen wurden zum ersten Mal bei der operativen Behandlung isolierter Wirbelfehlbildungen vom Royle im Jahre 1928 beschrieben (11). Bei dieser Methode erfolgt direkt nach der Entfernung des Halbwirbels, eine intraoperative Korrektur der Deformität. Das ermöglicht eine sofortige Aufrichtung der primären und der sekundären Krümmungen. In der Regel, wird nur der betroffene Bereich der

Wirbelsäule monosegmental versteift, sodass es zu keiner deutlichen Beeinträchtigung des Längswachstums und der Beweglichkeit der Wirbelsäule kommt. Je nach Art der primären Problematik, kann eine Korrektur in der Sagittalebene (Skoliose), in der Koronarebene (Kyphose, Lordose) oder in beiden Ebenen vorgenommen werden.

Das klassische Vorgehen erfordert eine Darstellung des Wirbels von allen Seiten (11). Über einen dorsalen Zugang werden die Lamina, die Facettengelenke, und die Wirbelpedikel entfernt. Die Resektion des Wirbelkörpers erfolgt über einen separaten, ventralen Zugang. Abhängig von der Lokalisation der Anomalie, wird der ventrale Eingriff über eine Thorakotomie (ggf. mit Ablösung des Zwerchfells) oder über einen retroperitonealen Zugang durchgeführt.

Mehrere Modifikationen der Originaltechnik wurden bisher in der Literatur beschrieben. Es wurde eine Korrektur der Hauptkrümmung von bis zu 70% erreicht (12-18).

Obwohl mit der Entwicklung der ventro-dorsalen Techniken die Korrekturergebnisse als gut zu bewerten sind und das Risiko für Pseudarthrosen und segmentale Kyphosierung verringert wurde (19,20), ist die Komplikationsrate nach kombinierten ventro-dorsalen Eingriffen noch erheblich.

In der Literatur werden mittelschwere Komplikationen nach ventralen Wirbelsäuleingriffen in einer Häufigkeit von 21% bis 46 % beschrieben. Die Rate der schweren Komplikationen variiert von 1% bis 8%. (18,20,21).

Ruf et al. beschrieben erstmalig eine Technik für Halbwirbelresektion über einen einzigen dorsalen Zugang (22).

Die vorderen Wirbelanteile samt benachbarter Boden- und Deckplatten und Bandscheibengewebe, werden von dorsal reseziert. Damit wurden Korrekturen von 70% für die Hauptkrümmung und 67-73% für die kompensatorischen Krümmungen erreicht (23).

Die Korrekturergebnisse sind vergleichbar mit der klassischen doppelten Zugangsweise, der operative Aufwand und die Morbidität sind deutlich niedriger. Aus diesem Grund gewinnt diese neue operative Technik in den letzten Jahren an Popularität (24,25).

Ziel dieser Arbeit, ist es die Korrekturergebnisse und die perioperative Abläufe und Morbidität nach ventro-dorsalen und nach rein dorsalen Halbwirbelresektionen zu vergleichen.

1.1. Anatomische Grundlagen

Wirbelfehlbildungen entstehen zwischen der fünften und der achten Woche der embryonalen Entwicklung (5). Sie können morphologisch in Formationsstörungen (z. B. Halbwirbel) und Segmentationsstörungen (z. B. nicht segmentierter knöchernen Bar) eingeteilt werden. In manchen Fällen ist eine Kombination beider Fehlbildungsarten vorhanden.

Das typische Beispiel für eine Formationsstörung ist der Halbwirbel. Die Fehlbildung kann monosegmental, multisegmental, unilateral oder bilateral sein. Bei manchen Patienten sind zwei unabhängige Abschnitte der Wirbelsäule betroffen (hemimetamerische Form). Man unterscheidet voll-, semi- und nichtsegmentierte Halbwirbel. Bei voll segmentierten Halbwirbeln sind Bandscheiben und Wachstumsknorpel im Bereich der Deck- und Bodenplatte vorhanden, bei semisegmentierten ist nur eine Bandscheibe vorhanden und bei nichtsegmentierten fehlt die Bandscheibe bzw. der Wachstumsknorpel komplett. Eine besondere Form ist der inkarzerierte Halbwirbel, bei dieser Fehlbildung zeigt sich trotz Vorhandensein des Halbwirbels keine oder eine nur geringfügige Krümmung der Wirbelsäule.

Formationsstörungen rufen eine Krümmung durch nicht symmetrisches Wachstum hervor. Im Falle einer lateralen Formationsstörung, entwickelt sich eine Krümmung in der Koronarebene, also eine Skoliose. Wenn die Formationsstörung ventral ist, entwickelt sich eine Krümmung in der Sagittalebene, entsprechend einer Kyphose.

Die Entstehung der Deformität und die Progredienz sind von der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeit auf beiden Seiten der Wirbelsäule abhängig. Je ausgeprägter die Wachstumsdiskrepanz, desto grösser das Risiko für eine Zunahme der Deformität (2).

Eine gründliche Evaluierung der Fehlbildung ist für die Einschätzung des Progredienzrisikos und für die Erarbeitung der Behandlungsstrategie wichtig. Nicht segmentierte und semisegmentierte isolierte Halbwirbel haben ein relativ niedriges Progredienzrisiko. Bei unilateralen Bars ist das Risiko deutlich grösser. Am höchsten ist das Progredienzrisiko bei monolateralen (einzeln oder multiplen) vollsegmentierten Halbwirbeln assoziiert mit kontralateralem Bar (2-4).

2. Material und Methoden

Es handelt sich um eine retrospektive Studie über einen Patientenkollektiv, welches im Altonaer Kinderkrankenhaus-Hamburg im Zeitraum 1998-2008 behandelt wurde.

Folgende Einschlusskriterien wurden festgelegt (Tabelle 1):

Diagnose: angeborene Wirbelsäulendeformität aufgrund einer Halbwirbelmalformation.

Alter zum Zeitpunkt der Operation: 0 bis 18 Jahre.

Art der Operation: Halbwirbelresektion über einen kombinierten ventro-dorsalen (VD) oder über einen einzigen dorsalen (D) Zugang.

Vollständige Dokumentation.

Ausgeschlossen wurden Patienten mit:

Multisegmentalen, komplexen Fehlbildungen

Vorliegenden, relevanten neuro-muskulären, oder Bindegewebskrankheiten.

Aus den Patientenakten wurden die folgenden Parameter erhoben (Tabelle 1):

Demographische Angaben.

Alter zum Zeitpunkt der Operation und bei der letzten Kontrolluntersuchung.

Vorhandensein von Begleitkrankheiten und assoziierten Anomalien.

Operationsdauer ausschließlich Gipsanlage.

Die Dauer der postoperativen maschinellen Beatmung.

Dauer der intensivmedizinischen Behandlung.

Gesamtdauer des stationären Aufenthaltes.

Notwendigkeit für Substitution mit Blut und Blutprodukten, Blutverlust.

Peri- und postoperative Komplikationen.

Notwendigkeit und Grund für Folgeoperationen.

Aus der Röntgendokumentation wurden die praeoperativen, die ersten postoperativen Bilder im Stehen ohne Korsett und die Aufnahmen bei der letzten Kontrolle, in der AP und der seitlichen Ebene ausgewertet.

Folgende Parameter wurden erhoben (Tabelle 1):

Lokalisation der Fehlbildung.

Typ der Fehlbildung – (voll-, semi-, oder nicht segmentiert).

Assoziierte Wirbel-, Thorax- und Rippenanomalien.

Ausmaß der Hauptkrümmung in der Koronar- und in der Sagittalebene, gemessen zwischen der Deckplatte des kranialen und der Bodenplatte des kaudalen Endwirbel. Als Endwirbel wurde der am meisten in der Horizontalebene gekippte Wirbel genommen.

Ausmaß der kranialen und der kaudalen kompensatorischen Krümmungen (nach Cobb). Als kompensatorische Krümmung wurde bezeichnet eine kranial bzw. kaudal der Hauptkrümmung liegende seitliche Verbiegung der Wirbelsäule bei sonst unauffälliger Wirbelmorphologie.

Kranial bzw. kaudal liegende Krümmungen aufgrund einer assoziierten Wirbelfehlbildung wurden nicht als kompensatorische Krümmungen, sondern als separaten Primärkrümmungen betrachtet. Diese wurden getrennt ausgewertet.

Das globale Rumpfgleichgewicht in der AP Ebene - gemessen als der Abstand zwischen C7 Mittelpunkt und S1 Lotlinie in mm. Normbereich ± 25 mm (27).

Das sagittale Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene - gemessen als der Abstand zwischen C7 Lotlinie und die Hinterkante von S1 in mm. Normbereich ± 25 mm (27).

Die Einschlusskriterien und die aus den Akten und der Röntgendokumentation erhobene Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1. Einschlusskriterien, erhobene perioperative Parameter und Röntgenparameter.

Einschlusskriterien	Perioperative Parameter	Röntgenparameter
Dg: Kongenitale Skoliose	Alter bei der Operation und bei der letzten Kontrolluntersuchung	Lokalisation und Typ der Fehlbildung
Alter: 0-18 Jahre	Assoziierte Anomalien	Assoziierte Wirbel-, Thorax- und Rippenanomalien
OP: Halbwirbelresektion	Operationsdauer	Hauptkrümmung (Cobb)
Fehlbildung: monosegmental	Dauer der postoperativen maschinellen Beatmung	Kompensatorische Krümmungen (Cobb)
Keine neuro-muskuläre oder Bindegewebskrankheiten	Dauer der intensivmedizinischen Behandlung	Koronares Rumpfgleichgewicht (C7-S1 AP)
	Gesamtdauer des stationären Aufenthaltes	Sagittales Rumpfgleichgewicht (C7-S1 seitlich)
	Substitution mit Blut und Blutprodukten	
	Komplikationen	
	Folgeoperationen	

Der Patientenkollektiv wurde in zwei Gruppen aufgeteilt. Gruppe D - Halbwirbelresektion über einen einzigen dorsalen Zugang und Gruppe VD - Eingriff über einen kombinierten ventro-dorsalen Zugang.

Zur Ermittlung der Mittel- und der Referenzwerten wurde deskriptive Statistik benutzt. Bei der Definition der Nullhypothese wurde angenommen, dass es zwischen Gruppe D und Gruppe VD kein Unterschied besteht. Da es in beiden Gruppen die Anzahl der Probanden über zehn war und es von einer Normalverteilung ausgegangen wurde, wurde für die statistische Auswertung ein T-Test für paarige Stichproben angewendet. Als Grenze für statistische Signifikanz wurde $p < 0.05$ festgelegt.

2.1. Operative Technik

Dorsale Technik - Gruppe D.

Hautinzision über die Mittellinie im betroffenen Segment der Wirbelsäule. Nach radiologischer Markierung der Höhe erfolgt eine subperiostale Darstellung der hinteren Wirbelelementen nach lateral bis zu den Spitzen der Querfortsätze. Im BWS Bereich wird die dazugehörige Rippe ca. 4-5 cm nach lateral dargestellt, und subperiostal teilreseziert. Die Wirbelpedikel des betroffenen Segments und des nächsten kranialen und kaudalen Wirbels werden identifiziert. Die Kanäle für die Pedikelschrauben werden mit einem „Pedikelfinder“ vorbereitet. Die Pedikelwände werden abgetastet. Um eine Penetration in den Spinalkanal zu vermeiden, ist es besonders wichtig, die mediale Pedikelwand intakt zu erhalten. Die Pedikel werden dann mit Pedikelschrauben besetzt. Bei nicht ausreichender Knochenqualität oder fehlgebildeten Pedikeln werden Laminahaken benutzt. Diese werden in der üblichen Technik supra- bzw. infralaminär eingebracht. Die Laminae des Halbwirbels und die entsprechende kraniale und kaudale Facettengelenke werden subperiostal dargestellt und entfernt. Nach Eröffnung des Spinalkanals werden die kraniale und die kaudale Nervenwurzel sowie der Durasack dargestellt und geschont. Die Venen des extraduralen Plexus venosus werden prophylaktisch zur Minimierung der Blutung koaguliert. Die laterale Seite des Wirbelkörpers wird stumpf präpariert, die hier liegenden Weichteile werden zur Seite gehalten. Die ventro-lateral liegenden Gefäßstrukturen werden mit einem stumpfen Hohmann Hacken geschont. Die lateralseitige Darstellung im thorakalen Bereich ist extrapleural und im lumbalen Bereich extraperitoneal. Der nächste Schritt ist die Aufbohrung des Wirbelpedikels und die Entfernung der Wirbelkörperspongiosa. Um den Blutverlust zu reduzieren wird eine Diamantfräse benutzt. Die kraniale und die kaudale Bandscheiben werden entfernt. Die Bodenplatte des kranialen und die Deckplatte des kaudalen Wirbels werden bis zum subchondralen Knochen auskürretiert. Die Hinterkante des Halbwirbels wird nach ventral, weg vom Spinalkanal, gedrückt und entfernt. Die Korrektur wird mittels Kompression auf der Konvexseite durchgeführt. Um einen guten Kontakt zwischen dem kranialen und dem kaudalen Wirbelkörper zu erreichen, und zur Förderung der Spondylodese wird ventral die eigene Knochenspongiosa, gewonnen bei der Wirbelresektion, angelegt. Bei größeren Defekten zur Vermeidung einer Kyphosierung wird ein zurechtgeschnittenes Titankörbchen ventral eingesetzt. Die kraniale und die kaudale Fixierungen werden mittels zweier Längsstäbe verbunden.

Kombinierte Ventro-Dorsale Technik - Gruppe VD

Bei der klassischen ventro-dorsalen (VD) Technik, erfolgt die Operation bis zur Entfernung der Wirbelpedikel, in gleicher Art und Weise wie der dorsale Eingriff. Nach Umdrehen des Patienten in der Seitenlage, erfolgt dann von ventral, über einen separaten transthorakalen oder retroperitonealen Zugang, die Entfernung des Halbwirbelkörpers und der benachbarten Bandscheiben, bis zum Lig. longitudinale posterius. Der ventrale Eingriff kann auch endoskopisch durchgeführt werden. Wenn erforderlich wird zum Erhalt der Höhe der ventralen Säule, bzw. zur Vermeidung einer Kyphosierung, eine ventrale Abstützung mittels Netzkörbchen eingesetzt. Die Stabilisierung erfolgt mittels ventraler oder dorsaler (bevorzugt) Osteosynthese.

Bei beiden Techniken ist am Ende des Eingriffs eine Ruhigstellung in Rumpfgips erforderlich. Sechs Wochen nach der Operation wird der Patient mit einem Korsett versorgt und mobilisiert.

3. Ergebnisse

Fünfundzwanzig Patienten erfüllten die Einschlusskriterien. Bei drei Patienten wurde eine gleichzeitige Halbwirbelentfernung zweier separater Halbwirbel, in der gleichen Narkose durchgeführt, so dass es insgesamt 28 Halbwirbelresektionen vorgenommen wurden. Der Patientenkollektiv wurde in zwei Gruppen aufgeteilt: Gruppe D – rein dorsaler Eingriff (n=12) und Gruppe VD ventro-dorsaler Eingriff (n=13).

3.1.Praeoperative Daten

Gruppe D

Bei zwölf Patienten wurde eine Halbwirbelresektion über einen rein dorsalen Zugang durchgeführt. Bei 3 davon wurde eine gleichzeitige Halbwirbelresektion zweier separater Halbwirbel vorgenommen (Patienten Nr. 3, 4 und 6). Es wurden insgesamt 15 Halbwirbel entfernt (Tabelle 2).

Begleit anomalies lagen bei 5 Patienten vor: Tetralogie Fallot-1, VACTERL - 1, Anusagenesie - 1, Zwerchfellhernia - 1, Hufeisenniere - 1.

Assoziierte Fehlbildungen im Bereich der Wirbelsäule lagen bei 3 Patienten vor: C0- C3 Fusion - 1, Halbwirbel BWK 9 mit gegenseitigem Bar und Rippensynostosen - 1, gegenseitiger thorakaler Halbwirbel - 1.

Voll segmentierte Halbwirbel wurden bei 9 und semi-segmentierte bei 3 Patienten festgestellt.

Eine intraspinale Anomalie lag bei einem Patienten vor (Filum terminale Lipom) und wurde vor der Halbwirbelresektion neurochirurgisch beseitigt.

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Operation betrug 69 Monate (23-168 Monate), die letzte Nachuntersuchung erfolgte um Mittel nach 24 Monate (6-72 Monate).

Die praeoperativen demographischen Angaben und Begleit anomalies in Gruppe D sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2. Praeoperative demographische Angaben und Begleitaneomalien in Gruppe D.

Nr.	Alter (Mo)	Follow-up (Mo)	Zugang	Lokalisation	Begleitaneomalien	Begleitfehlbildung WS
1	52	20	Dorsal	L 1 Hemi		
2	113	8	Dorsal	L 3 Hemi	Hufeisenniere	Lipom Filum Terminale
3	127	40	Dorsal	L 2 Hemi	Anus Agenesie	
3a	127	40	Dorsal	L4 Hemi		
4	23	36	Dorsal	L2-3 Hemi	Hernia	
4a	23	36	Dorsal	L4-5 Hemi		
5	49	11	Dorsal	L 3 Hemi	VACTERL	
6	57	25	Dorsal	L2 Hemi		T9 HW+Bar+R3-6 Syn
6a	57	25	Dorsal	L4 Hemi		
7	164	6	Dorsal	L 5 Hemi		BWS Halbwirbel
8	48	26	Dorsal	L2-3 Hemi		
9	54	53	Dorsal	L3-4 Hemi		
10	62	6	Dorsal	L3 Hemi		
11	51	15	Dorsal	T9 Hemi	Fallot, Rest VSD	C0-3 Fusion
12	27	6	Dorsal	L2-3 Hemi		

Der Mittelwert der praeoperativen Hauptkrümmung betrug 38° (15-56°).

Die kraniale kompensatorische Krümmung betrug im Durchschnitt 17° (0-28 °) und die kaudale - 9° (0-40°).

Eine segmentale Kyphose von mehr als 10° wurde bei 3 Patienten mit kongenitaler Skoliose festgestellt. Die lokale Fehlstellung in der Sagittalebene in diesen Fällen betrug 21°, 16° und 15°.

Das Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene, zeigte einen Mittelwert von 16 mm. Eine Abweichung von mehr als 25 mm lag bei einem Patienten vor (58 mm). Das Rumpfgleichgewicht in der Sagittalebene zeigte einen Mittelwert von -1 mm. Eine Abweichung von mehr als 25 mm lag bei zwei Patienten vor.

Die Praeoperative Angaben für den Ausmaß der Hauptkrümmung, der kompensatorischen Krümmungen und des Rumpfgleichgewichtes in der Koronar- und in der Sagittalebene in Gruppe D sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3. Praeoperative Angaben für Ausmaß der Hauptkrümmung, der kompensatorischen Krümmungen und des Rumpfgleichgewichtes in der Koronar- und in der Sagittalebene in Gruppe D.

Nr.	Hauptkrümmung	Lokale Kyphosierung		Kompensatorische Krümmung (°)		Rumpfgleichgewicht	
	Koronarebene (°)	Sagittalebene (°)	kranial	kaudal	C7-S1 AP	C7-S1 Sagitt	
1	34	21	n.r.	0	3	-13	
2	48	0	28	12	24	0	
3	38	16	0	0	14	0	
3a	38	15	0	0	14	0	
4	15	0	15	0	58	20	
4a	20	0	15	0	58	20	
5	53	0	22	18	1	-36	
6	36	0	n.r.	0	17	11	
6a	33	0	n.r.	0	17	11	
7	45	0	n.r.	0	5	5	
8	46	0	18	9	0	7	
9	31	0	21	19	10	0	
10	42	0	20	0	0	-35	
11	41	0	18	40	5	5	
12	47	0	27	32	7	0	
Mittel	38		17	9	16	0	

Legende: n.r. - nicht relevant, weil separate Wirbelfehlbildung kranial der Hauptkrümmung.

Gruppe VD

Bei 13 Patienten wurde eine Halbwirbelresektion über einen kombinierten ventro-dorsalen Zugang durchgeführt. Die Lokalisation der Halbwirbelanomalie war bei 6 Patienten im Bereich der BWS, bei 3 im Bereich des thorako-lumbalen Übergangs und bei 4 im Bereich der LWS (Tabelle 4).

Voll segmentierte Halbwirbel wurden bei 8 und semi-segmentierte bei 5 Patienten festgestellt.

Assoziierte Anomalien lagen bei 3 Patienten vor: Dextrocardie und Foramen ovale persistens - 1, VATER Syndrom- 1, Chromosomenanomalie 6,16 - 1.

Begleitfehlbildungen im Bereich der Wirbelsäule, lagen bei 4 Patienten vor: konkavseitiger BWS Bar - 2, thorakaler Halbwirbel -1, lumbaler Halbwirbel - 1.

Intraspinale Anomalie, lag bei einem Patienten vor (Tethered cord), diese wurde vor der Halbwirbelresektion neurochirurgisch behandelt.

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Operation war 69 Monate (21-167 Monate), die letzte Nachuntersuchung erfolgte im Mittel nach 51 Monate (6-109 Monate).

Die praeoperativen demographischen Angaben und Begleitaneomalien in Gruppe VD sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4. Praeoperative demographische Angaben und Begleitaneomalien in Gruppe VD.

Nr.	Alter	Follow-up	Zugang	Lokalisation	Begleitaneomalie	Begleitfehlbildung
	Monate	Monate		Fehlbildung		Wirbelsäule
13	156	31	VD	T 9 Rautenwirbel		
14	18	78	VD	T 10 Hemi		Konkaver Th Bar
15	167	88	VD	T 10 Hemi		
16	35	6	VD	T11 Hemi		
17	66	18	VD	L2-3 Hemi		
18	91	49	VD	L2-3 Hemi		L5 HW
19	31	45	VD	T8 Hemi	Dextrocardia, F. Ovale persistens	
20	66	27	VD	T12Hemi	Chromosome 6,16 Anomalie	
21	21	47	VD	T12Hemi	VATER, Thetered cord OP	
22	78	109	VD	T11 Hemi		
23	24	95	VD	T 12 Hemi		T5 HW + Bar C7-T3
24	96	26	VD	L 4 Hemi		
25	48	44	VD	L5-S1 Hemi		T8-9 HW

Die praeoperative Hauptkrümmung, zeigte einen Mittelwert von 39° (22° - 60°).

Die praeoperative kraniale kompensatorische Krümmung betrug 13° (0° - 38°) und die kaudale - 23° (0° - 45°).

Bei 4 Patienten (Nr. 14,15,19, 23) mit kongenitaler Skoliose zeigte sich auch eine segmentale Kyphosierung von mehr als 10° .

Das Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene zeigte einen Mittelwert von 15 mm, eine Abweichung von mehr als 25 mm lag bei 3 Patienten vor. Das Rumpfgleichgewicht in der Sagittalebene, zeigte einen Mittelwert von 7 mm. Eine Abweichung von mehr als 25 mm lag bei keinem der Patienten vor.

Die praeoperative Angaben für den Ausmaß der Hauptkrümmung, der kompensatorischen Krümmungen und des Rumpfgleichgewichtes in der Koronar- und in der Sagittalebene in Gruppe VD sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5. Praeoperative Angaben für Ausmaß der Hauptkrümmung, der kompensatorischen Krümmungen und des Rumpfgleichgewichtes in der Koronar- und in der Sagittalebene in Gruppe VD.

Nr.	Hauptkrümmung		Lokale Kyphosierung		Kompensatorische Krümmung (°)		Rumpfgleichgewicht	
	Koronarebene (°)	Sagittalebene (°)	kranial	kaudal	C7-S1 AP	C7-S1 Sagitt		
13	22	0	9	24	6	0		
14	60	35	35	30	14	20		
15	54	30	4	34	0	0		
16	38	0	0	34	0	0		
17	34	0	14	23	0	0		
18	24	0	32	n.r.	49	-13		
19	52	35	0	32	6	0		
20	39	0	5	24	15	0		
21	38	0	7	30	16	0		
22	35	0	0	45	42	4		
23	38	35	n.r.	0	48	0		
24	45	0	38	0	0	0		
25	38	0	n.r.	0	0	10		
Mittel	39		13	23	15	2		

Legende: n.r. - nicht relevant, weil separate Wirbelfehlbildung.

3.2. Postoperative Daten

Gruppe D

Bei drei Patienten in dieser Gruppe wurde eine gleichzeitige Resektion zweier isolierter Halbwirbel durchgeführt. Der Umfang des operativen Eingriffs war in diesen 3 Fällen deutlich größer und nicht mit dem restlichen Kollektiv vergleichbar. Aus methodischen Gründen wurde die Operationsdauer, der Blutverlust, die Dauer der postoperativen maschinellen Beatmung und die Dauer des postoperativen Aufenthaltes auf Intensivstation bei diesen 3 Patienten separat ausgewertet.

Die Operationsdauer ohne Gipsanlage bei den übrigen 9 Patienten betrug im Durchschnitt 225 min (170-326min).

Substitution mit Blut und Blutprodukten, war bei 4 von 9 Patienten erforderlich (44%). Durchschnittlich wurden perioperativ 210 ml (130-260 ml) Erythrozytenkonzentrat gegeben. Ein Patient benötigte perioperativ eine Fresh Frozen Plasma Gabe von 150 ml.

Sieben von 9 Patienten (77%) wurden sofort nach Ende der Operation extubiert. Die anderen zwei Patienten wurden postoperativ 19 und 27 Stunden beatmet.

Der Aufenthalt auf Intensivstation betrug im Durchschnitt 1 Tag (0-2 Tage), und der stationäre Aufenthalt - 12 Tage (8-20 Tage).

Die Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Bei den drei Patienten bei denen eine gleichzeitige Resektion zweier Halbwirbel durchgeführt wurde betrug die Dauer des operativen Eingriffs im Durchschnitt 410 min (326-511 min). Zwei von drei Patienten benötigten eine Transfusion von Erythrozytenkonzentrat (EK). Bei dem ersten wurden 130 ml fremd EK und bei dem zweiten wurden 580ml fremd EK, 270 ml eigen EK gewonnen vom Cellsaver und 300 ml Fresh Frozen Plasma gegeben.

Alle drei Patienten wurden postoperativ maschinell beatmet für eine Dauer von 24, 65, und 13 Stunden. Die Dauer der Intensivbehandlung betrug 2, 5 und 2 Tage. Die Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 6. Gruppe D einzige Halbwirbelresektion. Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes.

Pat Nr.	EK	FFP Gabe	OP Dauer	Beatmung	ICU Aufenthalt	Krankenhausaufenthalt
	ml	ml	Minuten	post-op (h)	Tage	Tage
1	250	-	175	0	0	15
2	-	-	170	0	0	9
5	130	-	225	0	0	11
7	-	-	310	19	1	17
8	-	-	167	0	0	9
9	-	-	326	27	2	20
10	260	150	295	0	1	8
11	200	-	170	0	1	10
12	-	-	190	0	1	8
Mittel	210		225	5	1	12

Tabelle 7. Gruppe D gleichzeitige Resektion zweier Halbwirbel. Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes.

Pat Nr.	EK	FFP Gabe	OP Dauer	Beatmung	ICU Aufenthalt	Krankenhausaufenthalt
	ml	ml	Minuten	post-op (h)	Tage	Tage
3	-	-	511	24	2	15
4	130	-	393	65	5	15
6	850	300	326	13	2	11
Mittel	490		410	34	3	14

Die Hauptkrümmung in Gruppe D zeigte bei der letzten Kontrolle einen Mittelwert von 15° (2-30°), das entspricht einer Korrektur von 58%.

Die Angaben für Korrektur der Hauptkrümmung sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8. Angaben für absolute und prozentuale Korrektur der Hauptkrümmung in Gruppe D.

Pat Nr.	Hauptkrümmung(°)		Absolute Korrektur	Prozentuale Korrektur
	prae op	post op	der Hauptkrümmung (°)	der Hauptkrümmung (%)
1	34	16	18	52
2	48	11	37	77
3	38	18	20	52
3a	27	9	18	67
4	15	8	7	46
4a	20	9	11	55
5	53	30	23	43
6	36	30	6	16
6a	33	5	28	84
7	45	28	17	37
8	46	2	44	95
9	31	5	26	83
10	42	14	28	66
11	41	29	12	29
12	47	8	39	82
Mittel	38	15	23	58

Legende: „a“ bezeichnet den zweiten, separaten Halbwirbel.

Die kompensatorische kraniale Krümmung betrug im Durchschnitt 7° (0-23°) und die kaudale Krümmung - 2° (0-18°). Das entspricht einer Korrektur von 59% bzw. 78%.

Bei den drei Patienten mit assoziierter segmentaler Kyphosierung, wurde die Krümmung in der Sagittalebene von preoperativen 21°, 16° und 15° auf postoperativen 12, 15 und 8° korrigiert. Die Angaben sind in Tabelle 9 dargestellt.

Das Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene, war im Durchschnitt 9 mm und in der Sagittalebene - 10 mm. Bei allen Patienten mit praeoperativer Störung des koronaren oder des sagittalen Rumpfgleichgewichtes zeigte sich bei der letzten Kontrolle eine Normalisierung. Die Werte lagen im Normbereich (± 25 mm).

Tabelle 9. Postoperative Werte der kranialen und kaudalen kompensatorischen Krümmungen in Gruppe D.

Pat Nr.	Kompensatorisch kranial(°)		Kompensatorisch kaudal (°)	
	prae op	post op	prae op	post op
1	-	-	0	0
2	28	10	12	0
3	0	0	0	0
3a	0	0	0	0
4	15	14	0	0
4a	15	14	0	0
5	22	23	18	6
6	-	-	0	0
6a	-	-	0	0
7	-	-	0	0
8	18	0	9	0
9	21	0	19	0
10	20	5	0	0
11	18	10	40	18
12	27	3	32	0
Mittelwert	17	7	9	2

Bei keinem Patienten in der Gruppe D traten intraoperative Komplikationen auf.

In allen 12 Patienten zeigte sich bei der letzten Vorstellung eine feste knöcherne Konsolidierung.

Postoperative Wundinfekte wurden nicht beobachtet.

Bei einem Patienten zeigte sich trotz erfolgter lumbaler Halbwirbelresektion eine progrediente BWS Skoliose mit einer globalen Krümmung von 50°. Die BWS Krümmung war nicht kompensatorisch, sondern wurde von einer begleitender, thorakaler Segmentationsstörung im Sinne eines knöchernen Bars verursacht. Das erforderte die konkavseitige Anlage von „Titanrippen“ (VEPTR) nur im thorakalen Bereich.

Bei keinem Patienten traten Komplikationen in direkter Verbindung mit dem operativen Zugang auf.

Bei einem Patienten, trat postoperativ eine Bronchitis mit Bronchospasmus auf. Das erforderte eine prolongierte Beatmung von 65 Stunden.

Bei einem Patienten wurde postoperativ eine frische neurogene Schädigung L5 mit 0/5 Großzeheberschwäche, 4/5 Fußheberschwäche und Glutealinsuffizienz festgestellt. Die neurologische Symptomatik zeigte sich im Verlauf rückläufig, mit vollständiger Wiederherstellung der Funktion bei der Kontrolle 4 Wochen postoperativ.

Gruppe VD

Die Operationsdauer ohne Gipsanlage betrug im Durchschnitt 319 min (175-440 min).

Substitution mit Blut und Blutprodukte wurde bei 8 von 13 Patienten (61%) erforderlich.

Die intraoperative Erythrozytensubstitution betrug im Durchschnitt 168 ml (130-300 ml).

Zwei von 13 Patienten (15%) wurden unmittelbar nach Ende des Eingriffs extubiert.

Die durchschnittliche Dauer der maschinellen Beatmung nach Beendigung der Operation war 30 Stunden (0-168 Stunden).

Der durchschnittliche Aufenthalt auf der Intensivstation war 3 Tage (1-7 Tage), und der stationäre Aufenthalt war 19 Tage (14-23 Tage).

Die Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes in Gruppe VD sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10. Angaben für Bluttransfusion, Dauer der Operation, der maschinellen Beatmung, der intensivmedizinischen Behandlung und des stationären Aufenthaltes in Gruppe VD.

Pat Nr.	EK	FFP Gabe	OP Dauer	Beatmung	ICU Aufenthalt	Krankenhausaufenthalt
	ml	ml	Minuten	post-op (h)	Tage	Tage
13		0	175	0	1	18
14	200	0	375	25	3	18
15		0	276	0	2	22
16	130	0	260	14	2	23
17	130	0	299	6	3	19
18	130	0	329	7	2	22
19	250	0	328	168	7	23
20	300	0	300	26	6	18
21	100	0	440	25	3	14
22		0	405	16	2	19
23	100	0	370	27	6	19
24		0	289	45	2	18
25		0	306	26	1	16
Mittel	167,5	0	319	30	3	19

Bei der letzten Kontrolle zeigte die Hauptkrümmung einen Mittelwert von 18° (0-52°), das entspricht einer Korrektur von 56%. Die Angaben für absolute und prozentuale Korrektur der Hauptkrümmung in Gruppe VD sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11. Angaben für absolute und prozentuale Korrektur der Hauptkrümmung in Gruppe VD.

Pat Nr.	Hauptkrümmung (°)		Absolute Korrektur	Prozentuale Korrektur
	prae op	post op	der Hauptkrümmung (°)	der Hauptkrümmung (%)
13	22	8	14	63
14	60	52	8	13
15	54	32	22	40
16	38	10	28	73
17	34	0	34	100
18	24	11	13	54
19	52	40	12	23
20	39	17	12	30
21	38	18	20	52
22	35	20	15	42
23	38	3	35	92
24	45	10	35	77
25	38	10	28	73
Mittel	39	18	21	56

Die kompensatorische kraniale und kaudale Krümmungen zeigten einen Mittelwert von 8° (0-24°) bzw. 12° (0-35°). Das entspricht einer Korrektur von 38 % bzw. 48%. Die postoperative Werte sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12. Postoperative Werte der kranialen und kaudalen kompensatorischen Krümmungen in Gruppe VD.

Pat Nr.	Kompensatorisch kranial(°)		Kompensatorisch kaudal (°)	
	prae op	post op	prae op	post op
13	9	6	24	14
14	35	24	30	30
15	4	11	34	16
16	0	0	34	6
17	14	0	23	0
18	32	24	20	35
19	0	0	32	12
20	5	2	24	10
21	7	3	30	11
22	0	6	45	20
23	n.r.	-	0	0
24	38	15	0	0
25	n.r.	-	0	0
Mittelwert	13	8	23	12

Legende: n.r. - nicht relevant, weil separate Wirbelfehlbildung.

Das Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene hat einen Mittelwert von 5 mm und lag bei allen Patienten im Normbereich. Das Rumpfgleichgewicht in der Sagittalebene zeigte einen Mittelwert von 2 mm. Eine Abweichung von mehr als 25 mm zeigte sich bei einem Patienten (48mm).

Bei keinem Patienten traten intraoperative Komplikationen auf.

Pseudarthrosen wurden nicht beobachtet.

Bei einem Patienten wurde eine Schraubenlockerung zwei Wochen postoperativ festgestellt, eine Pedikelschraube wurde mit einem Laminahaken ersetzt.

Bei zwei Patienten wurden im Verlauf progrediente Krümmungen in anderen Abschnitten der Wirbelsäule aufgrund assoziierter thorakaler konkavseitiger Segmentationsstörungen beobachtet. Diese sind nicht als kompensatorische, sondern als separate Krümmungen zu betrachten und wurden aus methodischen Gründen aus der Gesamtbewertung ausgeschlossen. Beide Krümmungen wurden mit VEPTR versorgt (3 und 7 Jahre nach der Halbwirbelresektion).

Bei 5 Patienten (38%) traten Komplikationen in direkter Verbindung mit dem operativen Zugang auf: Pleuraerguss - 2, Darmatonie - 1, Atelektase - 1, Zwerchfellhochstand mit Dystelektasen und Pleuraerguss - 1. Diese erforderten eine intensive Therapie.

Neurologische Komplikationen wurden bei einem Patienten beobachtet: transitorische Paraesthesie in der rechten unteren Extremität. Eine komplette Rückbildung trat am zweiten postoperativen Tag auf.

3.3. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde der T-Test für paarige Stichproben verwendet.

Folgende praeoperative Parameter wurden in der Gruppe D und VD verglichen (Tabelle 13).

Alter zum Zeitpunkt der Operation: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,976$).

Praeoperative Hauptkrümmung: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,15$).

Praeoperative kompensatorische kraniale Krümmung: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,138$).

Praeoperative kompensatorische kaudale Krümmung: der Ausmaß der praeoperativen kompensatorischen kaudalen Krümmung war in Gruppe D signifikant kleiner als in Gruppe VD ($p=0,003$).

Praeoperatives Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene: Kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,462$)

Praeoperatives Rumpfgleichgewicht in der Sagittalebene: Kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,69$)

Postoperative Hauptkrümmung: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,492$).

Postoperative kompensatorische kraniale Krümmung: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,174$).

Postoperative kompensatorische kaudale Krümmung: der Ausmaß der postoperativen kompensatorischen kaudalen Krümmung in Gruppe D war statistisch signifikant kleiner als in Gruppe VD ($p=0,003$). Grund für den Unterschied war der niedrigere praeoperative Ausgangswert der kompensatorischen kaudalen Krümmung in Gruppe D.

Prozentuale Korrektur der Hauptkrümmung: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,128$).

Postoperatives Rumpfgleichgewicht in der Koronarebene: Kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,171$)

Postoperatives Rumpfgleichgewicht in der Sagittalebene: Kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,783$)

Erforderliche Bluttransfusion: kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,453$).

Operationsdauer: Die Dauer der Operation in Gruppe D war deutlich kürzer als in Gruppe VD und der Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,004$).

Dauer der maschinellen Beatmung nach Operationsende: die Patienten in Gruppe VD benötigten eine längere mechanische Ventilation postoperativ, der Unterschied erreichte keine statistische Signifikanz ($p=0,198$).

Dauer der Intensivbehandlung: Die Patienten in der Gruppe VD wurden deutlich länger auf der Intensivstation behandelt, der Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,023$).

Dauer des Krankenhausaufenthaltes: Der stationären Aufenthalt in der Gruppe D war deutlich kürzer als in Gruppe VD und der Unterschied war hochsignifikant ($p<0,0001$).

Tabelle 13. Praeoperative Werte und statistischer Vergleich zwischen Gruppe D und VD für Alter, Hauptkrümmung und kompensatorische Krümmungen.

Gruppe	Alter (Mo)	Hauptkrümmung (°)	Kompensatorisch kranial (°)	Kompensatorisch kaudal (°)
D	77	38	17	13
VD	69	39	13	23
p Wert	0,976	0,15	0,138	0,003

Tabelle 14. Perioperative Angaben und statistischer Vergleich zwischen Gruppe D und VD für: Operationsdauer, Bluttransfusion, postoperative Beatmungsdauer, Dauer der Behandlung auf Intensivstation, stationärer Aufenthalt, allgemeine und neurologische Komplikationen.

Gruppe	OP Zeit (min)	EK Transfusion (ml)	Dauer Beatmung post op (h)	Dauer ICU (Tage)	Dauer Stationär (Tage)	Komplikationen allgemein	Komplikationen neurologisch
D	225	210	5	1	12	0	1
VD	319	168	30	3	19	5	1
p Wert	0,004	0,453	0,198	0,023	<0,0001	<0,001	>0,05

Tabelle 15. Postoperative Ergebnisse und statistischer Vergleich zwischen Gruppe D und VD für , Hauptkrümmung, kompensatorische Krümmungen und Rumpfgleichgewicht.

Gr	Hauptkrümmung (°)	Korrektur (%)	Kompensatorisch kranial (°)	Kompensatorisch kaudal (°)	C7-S1 AP	C7-S1 Sag
D	15	58	7	2	9	10
VD	18	56	8	12	5	7
p Wert	0,128	0,492	0,174	0,003	0,171	0,783

4. Diskussion

Methode der Wahl für die Behandlung progredienter angeborener Wirbelsäulendeformitäten aufgrund eines isolierten Halbwirbels ist die Halbwirbelresektion mit monosegmentaler Spondylodese. Gute Korrekturergebnisse wurden mit rein dorsalen und mit ventro-dorsalen operativen Techniken beschrieben. Der ventro-dorsalen Zugang bietet eine bessere Darstellung des Wirbelkörpers, erfordert aber einen größeren operativen Aufwand. Aus diesem Grund gewinnt die rein dorsale Technik in der letzte Zeit an Popularität. Bisher wurden die perioperative Komplikationen und Morbidität bei beiden Techniken nicht ausreichend studiert. Vergleichsstudien sind in der Fachmedizinischen Literatur nicht bekannt.

In der aktuellen Arbeit wurden die Ergebnisse nach rein dorsaler und nach kombinierter ventro-dorsaler Halbwirbelresektion, unter Berücksichtigung von perioperativen Komplikationen und Morbidität verglichen.

Das Patientenkollektiv wurde in zwei Gruppen aufgeteilt. In Gruppe D (n = 12) wurden insgesamt 15 Halbwirbelresektionen über einen rein dorsalen Zugang, und in Gruppe VD (n=13) wurde die Operation über einen kombinierten ventro-dorsalen Zugang durchgeführt.

Bei vergleichbar Alter zum Zeitpunkt der Operation und praeoperativen Ausgangswerten für die Hauptkrümmung wurde in Gruppe D eine Korrektur der Hauptkrümmung in der Koronarebene von 58% erreicht, und in Gruppe VD - von 56%. Die Korrektur in Gruppe D war geringfügig besser, es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p=0,492$).

Die kompensatorische kraniale und kaudale Krümmungen wurden in Gruppe D um 59%, bzw. um 78% korrigiert, und in Gruppe VD um 38%, bzw. 48%. Die bessere Korrektur in Gruppe D ist mit dem kleineren praeoperativen Ausgangswert der Krümmung zu erklären.

Auch in der Literatur sind die Korrekturergebnisse mit der kombinierten ventro-dorsalen Technik und mit der rein dorsalen Halbwirbelresektion vergleichbar (Tabelle 16).

Bradford et al. (16) erreichten mit der kombinierten ventro-dorsaler Technik eine Korrektur von 69% und Callahan et al. (28) von 64%.

Bollini et al. (18,19), haben mittels ventro-dorsaler Halbwirbelresektion eine Korrektur der Hauptkrümmung von 69% im thorakalen und 71% im lumbalen Bereich erreicht.

Shono et al. (24) berichten über 64%-ige Korrektur nach rein dorsaler Halbwirbelresektion. In ihrem Studienkollektiv von 12 Patienten wurde eine Korrektur der Hauptkrümmung von praeoperative 49° auf postoperative 18° erreicht.

Nakamura et al. (25) beschrieben eine 54%-ige Korrektur nach rein dorsaler Halbwirbelresektion bei 8 Patienten. Die Hauptkrümmung wurde von praeoperativen 49° auf postoperative 22° korrigiert.

Die erreichte Korrektur der Hauptkrümmung in unserem Studienkollektiv ist mit den beschriebenen Ergebnissen dieser Autoren vergleichbar.

Ruf et al. (23), haben mit rein dorsaler Halbwirbelresektion, eine Korrektur der Hauptkrümmung von 70% und der kompensatorischen kranialen und kaudalen Krümmungen von 73% und 67% beschrieben. Die erreichte durchschnittliche Korrektur der Hauptkrümmung in ihrer Studie betrug 27° und war damit um 4° geringfügig besser im Vergleich mit unserem Patientenkollektiv (durchschnittliche Korrektur in Gruppe D von 23°). Der Grund für die bessere Ergebnisse ist wahrscheinlich das niedrigere Patientenalter, alle Patienten in der zitierte Studie waren jünger als 4 Jahre.

Die Wiederherstellung des koronaren und des sagittalen Rumpfgleichgewichts wurde bei allen Patienten in Gruppe D, und bei 12 von 13 Patienten (92%) in Gruppe VD erreicht. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Literatur nach ventro-dorsalen (18,19) und nach rein dorsalen Halbwirbelresektionen (24) beschrieben.

Tabelle 16. Literaturangaben über Korrekturergebnisse nach ventro-dorsaler und nach rein dorsaler Halbwirbelresektion.

Author	OP Technik	Anzahl Patienten	Hauptkrümmung praeop (°)	Hauptkrümmung postop(°)	Korrektur (%)
Bradford et al. 1990	VD	7	47	14	69
Callahan et al. 1997	VD	10	40	16	64
Bollini et al. 2006	VD	34	35	11	69 - 71
<i>Aktuelle Studie</i>	<i>VD</i>	<i>13</i>	<i>39</i>	<i>18</i>	<i>56</i>
Shono et al. 2001	D	13	49	22	54
Nakamura et al. 2002	D	8	49	18	64
Ruf et al. 2003	D	41	36	7	70
<i>Aktuelle Studie</i>	<i>D</i>	<i>12</i>	<i>40</i>	<i>15</i>	<i>58</i>

Pseudarthrosen wurden als Ursache für Progredienz der Krümmung nach Halbwirbelresektionen erkannt. Winter et al. (7) berichten über 9% und Bollini et al. (18) über 14% Pseudarthrosenrate nach ventro-dorsaler Halbwirbelentfernung. In der Literatur (23, 24, 25) wurden nach rein dorsaler Halbwirbelresektion keine Pseudarthrosen beschrieben. Auch in unserer Studie wurde bei allen Patienten in beiden Gruppen eine solide knöcherne Konsolidierung ohne Pseudarthrosen beobachtet.

Folgende kritische Punkte sollen bei der Auswertung der Angaben für perioperativen Blutverlust erwähnt werden. Die genaue Bestimmung des Blutverlusts ist aus technischen Gründen nicht möglich. Das Blut auf Verbandsmaterial und Kompressen kann nur grob eingeschätzt werden, in allen uns zur Verfügung stehenden Studien (18-25) wurden keine Angaben über die postoperative Blutung in Drainagen und Wundbereich angegeben. Weiterhin relativiert sich der absolute Blutverlust mit unterschiedlichem Körpergewicht. Die Bestimmung des postoperativen Hämoglobin Abfalls ist nur in Verbindung mit dem Hämatokrit bei parenteralen Flüssigkeitszufuhr zu betrachten, und ist schwer hochzurechnen. Nicht zu unterschätzen sind auch das unterschiedliche Körpergewicht und die individuelle kompensatorische Fähigkeiten einzelner Patienten. Aus diesen Gründen, konnte der absolute Wert des intraoperativen Blutverlustes nicht als relevanter Parameter verwendet werden, und wurde nach Abschluss der Datenerhebung weggelassen. Zur Einschätzung der perioperativen Blutung wurde die Notwendigkeit für Substitution mit Blut und Blutprodukten benutzt. Die Kriterien für erforderliche Bluttransfusion sind Hämatokrit von weniger als 24% und Notwendigkeit für O₂ Gabe zum Erreichen einer SpO₂ von über 90%.

Die Anzahl der Patienten (D=4/9, VD=7/13), die eine perioperative Bluttransfusion benötigten, war in Gruppe D niedriger als in der Gruppe VD(44% in Gruppe D vs. 61% in Gruppe VD). Die erforderliche Bluttransfusion lag in der Gruppe D etwas höher -210 ml als in der Gruppe VD - 168 ml. Der Unterschied war aber nicht statistisch signifikant ($p>0,453$).

Obwohl die Korrekturergebnisse mit der ventro-dorsalen Techniken als gut zu bewerten sind, und nach der Einführung von stabilen Osteosyntheseverfahren (20) das Pseudarthrosenrisiko und das Risiko einer segmentalen Kyphosierung verringert wurden, bleibt die Komplikationsrate bei der kombinierten Zugangsweise noch erheblich.

Slabaugh et al. (29) berichten über 7 Patienten behandelt mit Halbwirbelresektion über einen kombinierten ventro-dorsalen Zugang. Als Komplikationen wurden ein Exitus (14%) und 3 neurologische Ausfälle beschrieben.

Bollini et al. (18) fanden Zugangsbedingte Komplikationen nach ventro-dorsaler Halbwirbelresektion bei 7 von 27 Patienten (21%), alle waren mit dem ventralen Zugang verbunden (Pleuraerguss, Bauchwandhernia).

Grossfeld et al. (21) haben die Komplikationsrate nach ventralen und ventro-dorsalen Operationen bei 230 Kindern mit angeborener Wirbelsäulendeformität untersucht. Schwere Komplikationen bedingt durch den ventralen Zugang wurden als kritischer Zustand mit Gefährdung des Lebens oder Tod definiert und traten mit einer Häufung von 8 % auf. Mittelschwere Komplikationen (Ileus, Atektase, Pleuraerguss) wurden mit einer Häufung von 39,4% beobachtet. Die offene Thorakotomie wurde als einer der Hauptrisikofaktoren erkannt.

Die Literaturangaben über die Komplikationsrate nach ventraler und ventro-dorsaler Halbwirbelresektion und die Komplikationsrate in der Aktuellen Studie sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17. Literaturangaben über die Komplikationsrate nach ventraler und ventro-dorsaler Halbwirbelresektion.

Author	OP Technik	Anzahl Patienten	Mittelschwere Komplikationen %	Schwere Komplikationen %	Neurologische Komplikationen %
Slabaugh et al. 1980	VD	8	k.A.	12	37
Grossfeld et al. 1997	VD	230	39,4	8	k.A.
Bollini et al. 2006	VD	27	21	0	3
<i>Aktuelle Studie</i>	<i>VD</i>	<i>13</i>	<i>38</i>	<i>0</i>	<i>7</i>
Shono et al. 2001	D	12	9	0	0
Nakamura et al. 2002	D	8	0	0	14
Ruf et al. 2003	D	41	2	0	0
<i>Aktuelle Studie</i>	<i>D</i>	<i>12</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>8</i>

Die Ergebnisse in unserem Patientenkollektiv stimmen mit den Literaturangaben überein und zeigen, dass die Häufigkeit der perioperativen Komplikationen in Gruppe VD deutlich höher als in Gruppe D liegt ($p < 0.001$).

In Gruppe D wurden keine Zugangs bedingte Komplikationen beobachtet.

In Gruppe VD dagegen, traten in 5 von 13 Fälle (38%) postoperative Komplikationen in direkter Verbindung mit dem ventralen Zugang auf. In 4 Patienten wurden respiratorische Komplikationen nach thorakalem Zugang beobachtet, bei einem davon war eine maschinelle Beatmung für die Dauer von 168 Stunden erforderlich. In einem Patient zeigte sich eine Darmatonie nach retroperitonealem Zugang. Diese bildeten sich zurück, benötigten aber eine intensive Behandlung.

Bei drei von fünf Patienten mit postoperativen Komplikationen, lag praeoperativ eine kompensierte systemische Begleit anomalie vor (Dextrocardie, Chromosomenanomalie, VATER). Eine Korrelation zwischen praeoperativ vorhandene systemische Begleit anomalie und die Rate der postoperativen Komplikationen konnte nicht festgestellt werden.

Die neurologischen Komplikationen nach ventro-dorsalen Halbwirbelresektionen variieren in den verschiedenen Studien von transitorischen inkompletten Neurapraxien bis zu permanenten Querschnittlähmungen (30) und wurden mit einer Häufigkeit von 3% bis 37%. (18,26) beschrieben. Die Häufigkeit neurologischer Komplikationen nach rein dorsalen Halbwirbeloperationen wurde in der Literatur zwischen 0% und 14% beschrieben (23, 25).

Neurologische Komplikationen wurden bei einem Patienten in Gruppe D (8%) und bei einem Patienten in Gruppe VD (7%) in unserem Patientenkollektiv beobachtet. Bei allen 2 Patienten erfolgte eine rasche komplette Wiederherstellung der Funktion. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Gruppe D und VD. Eine kausale Verbindung mit den praeoperativ vorhandenen intraspinalen Anomalien konnte nicht nachgewiesen werden.

Um das Risiko für neurologische Komplikationen zu verringern, wurde den routinemäßigen intraoperativen Monitoring der Rückenmarksfunktion mittels SSEP und MEP empfohlen (31). Beide Patienten in unserem Studienkollektiv wurden vor der Einführung des Neuromonitorings operiert.

Der perioperative Aufwand war in beiden Gruppen unterschiedlich.

Die Operationsdauer in Gruppe D zeigte sich mit 225 min, signifikant kürzer als in Gruppe VD (319 min) ($p = 0,004$).

Die durchschnittliche Dauer der postoperativen maschinellen Beatmung in Gruppe D war kürzer als in Gruppe VD (8 h vs. 30 h).

Die Dauer der notwendigen intensiven Behandlung war in Gruppe D im Vergleich mit der Gruppe VD deutlich kürzer (D=1 Tag, VD=3 Tage), der Unterschied

war statistisch signifikant ($p < 0,023$). Auch der stationäre Aufenthalt zeigte sich in der Gruppe D deutlich kürzer (D = 12 Tage, VD = 19 Tage), der Unterschied war statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

Schwächen der Studie sind die relativ kleine Probandenzahl ($n=25$) und die Tatsache, dass bei 8 Patienten der Follow-up kürzer als 24 Monate war.

Die kleine Patientenzahl stellt eine Einschränkung bei der statistischen Auswertung dar. Mit insgesamt 25 Patienten ist aber die Größe des Studienkollektivs vergleichbar mit der Mehrheit der bisher bekannten Studien (s. Tabelle 16). Außerdem war die Zahl der Probanden ausreichend um einen T-Test für paarige Stichproben durchzuführen.

Der kurze Follow-up konnte einen Einfluss auf die langfristige Korrekturergebnisse haben. Korrekturverlust nach erfolgter Halbwirbelresektion wurde von Winter et al. (7) beschrieben. Alle Patienten mit postoperativer Zunahme der Krümmung in seiner Studie wiesen im Verlauf eine Pseudarthrose auf. Bei Erreichen einer soliden knöchernen Fusion wurde in der Literatur einen geringfügigen Korrekturverlust von 2° nach 4 Jahre (24) und von $3,7^\circ$ nach 10 Jahre (25) beschrieben. Alle Patienten in der aktuellen Studie zeigten zum Zeitpunkt der letzten Kontrolluntersuchung eine gute Konsolidierung, damit ist die Wahrscheinlichkeit für postoperativen Korrekturverlust minimal. Der kurze Follow-up hat für die Evaluierung der perioperativen Komplikationen keine Bedeutung.

5. Zusammenfassung

Die aktuelle Arbeit ist die erste in der Fachliteratur bekannte Studie die Korrekturergebnisse, Komplikationen und Morbidität nach Halbwirbelresektion über einen kombinierten ventro-dorsalen und über einen rein dorsalen Zugang vergleicht. Alle Patienten wurden mit zwei standardisierten operativen Techniken in einer Einrichtung behandelt.

Mit der rein dorsalen Halbwirbelresektion kann eine sehr gute Korrektur in der Koronar- und in der Sagittalebene erreicht werden, die Korrekturergebnisse sind mit der kombinierten ventro-dorsalen Technik vergleichbar.

Die Notwendigkeit für perioperative Bluttransfusion ist bei der rein dorsalen Technik nicht deutlich erhöht.

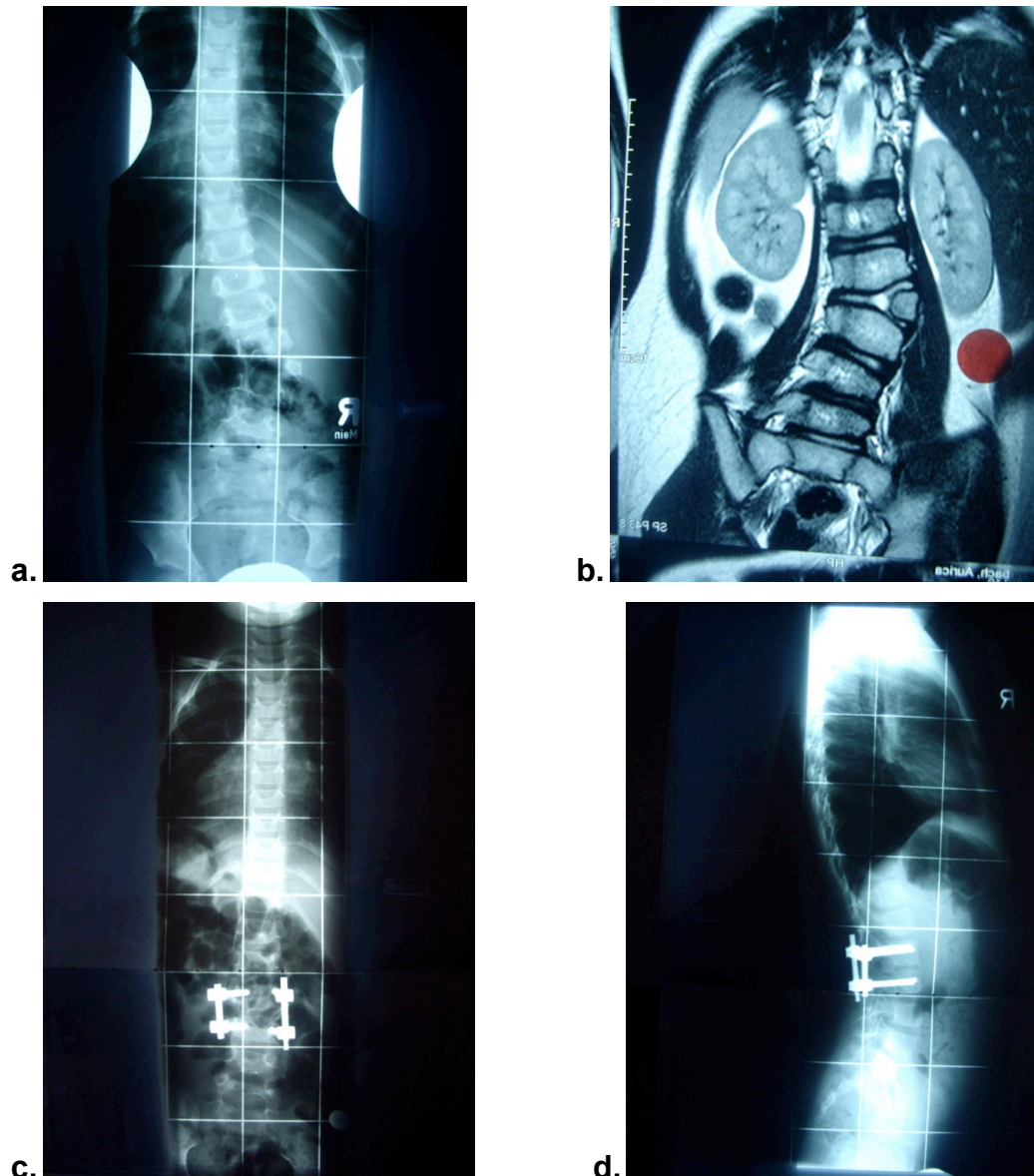
Die neurologische Komplikationen waren transitorisch und traten bei beiden Operationstechniken mit der gleichen Häufung auf. Einen routinemäßigen intraoperativen Neuromonitoring ist erforderlich.

Die Operationsdauer, die Dauer der notwendigen postoperativen Intensivbehandlung und des stationären Aufenthaltes sind bei der rein dorsalen Halbwirbelresektion signifikant kürzer.

Zugangsbedingte Komplikationen und Morbidität können mit der rein dorsalen Technik vermieden werden.

6. Fallbeispiele

Fallbeispiel 1. a-d. rein dorsale Halbwirbelresektion (Gruppe D).



SA, 4 Jahre

a. Halbwirbel L 3/4 rechts.

Praeoperative Hauptkrümmung von 31° (nach Cobb)

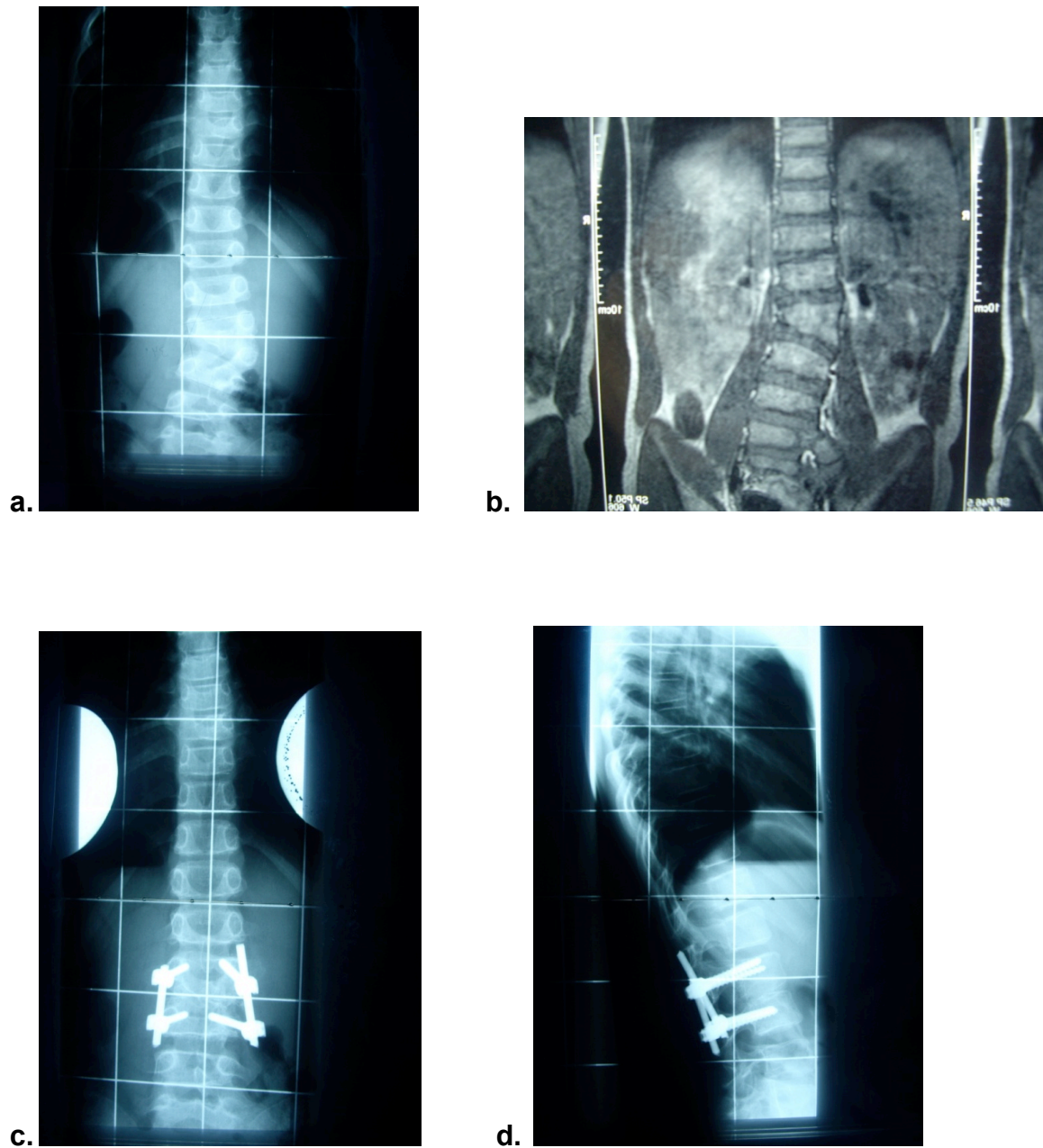
Praeoperative kompensatorische Krümmungen von 21°-kranial und 19°-kaudal.

b. Die MRT zeigt einen voll segmentierten Halbwirbel.

c. Bei der letzten Kontrolluntersuchung 58 Monate nach rein dorsaler Halbwirbelresektion, zeigt sich eine gute Korrektur mit Hauptkrümmung von 5°, und komplette Korrektur der kompensatorischen kaudalen und kranialen Krümmungen.

d. Wiederherstellung eines harmonischen sagittalen Profils.

Fallbeispiel 2. a-d. ventro-dorsale Halbwirbelresektion (Gruppe VD).



GF, 5 Jahre

a. Halbwirbel L 2/3 rechts.

Praeoperative Hauptkrümmung von 34° (nach Cobb)

Praeoperative kompensatorische Krümmungen von 14°-kranial und 23°-kaudal.

b. Die MRT zeigt einen semi segmentierten Halbwirbel.

c. Bei der letzten Kontrolluntersuchung 18 Monate nach kombinierter ventro-dorsaler Halbwirbelresektion, zeigt sich eine gute Korrektur mit Hauptkrümmung von 0°, und komplette Korrektur der kompensatorischen kaudalen und kranialen Krümmungen.

d. Wiederherstellung eines harmonischen sagittalen Profils.

7. Literaturverzeichnis

1. Winter RB, Moe JH, Eilers VE. Congenital scoliosis: a study of 234 patients treated and untreated: Part I: natural history. *J Bone Joint Surg Am.* 1968;50:1-13.
2. Marks DS, Qaimkhani SA. The Natural History of Congenital Scoliosis and Kyphosis. *Spine* 2009; 34: 17, pp 1751–1755.
3. Nasca RJ, Stelling FH, Steel HH. Progression of congenital scoliosis due to hemivertebrae and hemivertebrae with bars. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;57:456-466
4. McMaster MJ, Ohtsuka K. The natural history of congenital scoliosis. A study of two hundred and fifty-one patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64:1128-1147.
5. Heary R et al. In *Spinal Deformities - the essentials*. Thieme Verlag 2007.
6. Karol LA, Johnston C, Mladenov K, Schochet P, Walters P, Browne RH. Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Jun;90(6):1272-81
7. Winter RB, Moe JH, Lonstein JE. Posterior spinal arthrodesis for congenital scoliosis, an analysis of the cases of two hundred and ninety patients: 2 to 19 years old. *J Bone Joint Surg Am* 1984; 66:1188-97.
8. Dimeglio A, Bonnel F. *Le rachis en croissance*. Paris, Springer 1990.
9. Campbell RM Jr, Hell-Vocke AK. Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85:409-420.
10. Ginsburg G, Mulconrey DS, Browdy J. Transpedicular Hemiepiphysiodesis and Posterior Instrumentation as a Treatment for Congenital Scoliosis., *J Pediatr Orthop* 2001;27:4,
11. Royle ND. The operative removal of an accessory vertebrae. *Med j Aust* 1928;1:467-8 387-91.
12. Von Lackum HL, Smith AD. Removal vertebral bodies in the treatment of scoliosis. *Surg Gyn Obstet* 1933;57:250–6.
13. Wiles P. Resection of dorsal vertebrae in congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1951;33:151–4.
14. Leatherman KD, Dickson RA. Two-stage corrective surgery for congenital deformities of the spine. *J Bone Joint Surg Br* 1979;61:324–8.
15. Bergoin M, Bollini G, Taibi L, et al. Excision of hemivertebrae in children with congenital scoliosis. *Ital J Orthop Traumatol.* 1986;12:179-184)
16. Bradford DS, Boachie-Adjei O. One-stage anterior and posterior hemivertebral resection and arthrodesis for congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:536-540.
17. Lazar R, Hall J. Simultaneous anterior and posterior hemivertebra excision. *Clin Orthop* 1999;363:76-84.
18. Bollini G, Docquier PL, Viehweger E, Launay F, Jouve JL. Thoracolumbar hemivertebrae resection by double approach in a single procedure: long-term follow-up. *Spine.* 2006 Jul 1;31(15):1745-57.

19. Bollini G, Docquier PL, Viehweger E, Launay F, Jouve JL. Lumbar hemivertebra resection. *J Bone Joint Surg Am*. 2006 May;88(5):1043-52. Hall JE, Herndon WA, Levine CR. Surgical treatment of congenital scoliosis with or without Harrington instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 1981; 63:608 –19.
20. Hedequist DJ, Hall JE, Emans JB. The safety and efficacy of spinal instrumentation in children with congenital spine deformities. *Spine* 2004;29: 2081–6; discussion 2087
21. Grossfeld S, Winter RB, Lonstein JE, Denis F, Leonard A, Johnson L. Complications of anterior spinal surgery in children. *J Pediatr Orthop*. 1997 Jan-Feb;17(1):89-95.
22. Ruf M, Harms J. Hemivertebra resection by a posterior approach: innovative operative technique and first results. *Spine* 2002 May 15;27(10):1116-2
23. Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years. *Spine* 2003;28: 2132– 8.
24. Shono Y, Abumi K, Kaneda K. One-stage posterior hemivertebra resection and correction using segmental posterior instrumentation. *Spine* 2001 Apr 1;26(7): 752-7.
25. Nakamura H, Matsuda H, Konishi S, Yamano Y. Single-stage excision of hemivertebrae via the posterior approach alone for congenital spine deformity: follow-up period longer than ten years. *Spine* 2002 Jan 1;27(1):110-5
26. Holte DC, Winter RB, Lonstein JE, et al. Excision of hemivertebrae and wedge resection in the treatment of congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77:159–71.
27. Lafage V, Schwab F, Skalli W et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity. *Spine* 2008;33;14, 1572-8.
28. Callahan BC, Georgopoulos G, Eilert RE. Hemivertebral excision for congenital scoliosis. *J Pediatr Orthop* 1997;17:96–9.
29. Slabaugh PB, Winter RB, Lonstein JE, et al. Lumbosacral hemivertebrae: a review of twenty-four patients with excision in eight. *Spine* 1980;5:234-44.
30. Winter RB. Congenital kyphoscoliosis with paralysis following hemivertebra excision. *Clin Orthop* 1976;119:116-25.
31. Schwartz DM, Auerbach JP, Dormans JP, et al. Neurophysiological Detection of Impending Spinal Cord Injury During Scoliosis Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:2440-2449.