

D Diskussion

Das Bestreben nach möglichst kurzen Fusionsstrecken unter einer weitestgehend physiologischen Einstellung des frontalen und sagittalen Profils der instrumentierten aber auch der nicht instrumentierten Wirbelsäule hat in der Skoliosechirurgie dazu geführt, dass durch die Umsetzung klinischer Beobachtungen aber auch durch die Anwendung moderner Implantate die Spondylodesestrecken verkürzt werden konnten. Vordringlich ist hierbei, nach Möglichkeit eine Instrumentation der Wirbel L4 und L5 zu vermeiden, zeigten doch Patienten mit einer Harrington-Instrumentation in diesen Fällen eine gesteigerte Rate von Rückenschmerzen (15).

Jedoch sollte aber auch das Auftreten einer Dekompensation des nicht instrumentierten Wirbelsäulenabschnittes, meist Folge einer zu kurzen Instrumentation, vermieden werden und deshalb in die Operationsplanung mit einfließen.

Unabhängig vom jeweiligen Operationsverfahren gelten als Operationsziele:

- 1) Eine weitgehend physiologische sowie dauerhafte dreidimensionale und lotgerechte Einstellung der instrumentierten aber auch der nicht instrumentierten Wirbelsäule,
- 2) eine weitestgehende Normalisierung des Tilts,
- 3) eine Instrumentation von möglichst wenigen tieflumbalen Wirbelkörpern,
- 4) eine gute Reduktion des Rippenbuckels sowie eine Wiederherstellung der Rumpfsymmetrie im Sinne eines guten kosmetischen Ergebnisses.

Dabei stehen zur dauerhaften Korrektur und Stabilisierung von idiopathischen Skoliosen ventrale derotierende und komprimierende Techniken in Form der Ventralen Derotationsspondylodese (VDS) und deren Weiterentwicklungen sowie dorsale translatorisch und distrahierend ansetzende Verfahren in Form der Dorsalen Correcturspondylodese (DCS) zur Verfügung, welche isoliert, jedoch auch kombiniert eingesetzt werden können.

Als Vorteile der ventralen Instrumentation mittels VDS nach Zielke sind die sehr guten Korrektoreigenschaften in der Frontalebene, die außerordentlich gute Wirbelkörperderotation, die sichere Tragfähigkeit durch interkorporelle Fusion sowie daraus folgend die kurze Instrumentationsstrecke zu nennen:

Die isolierte Anwendung der Ventralen Derotationsspondylodese nach Zielke zeigte in größeren Nachuntersuchungen der Vergangenheit sehr gute Korrektoreigenschaften hinsichtlich der instrumentierten Hauptkrümmung bei idiopathischen Skoliosen mit einer pozentualen Aufrichtung von 65-79% (40).

Die nicht instrumentierte Nebenkrümmung richtet sich im Allgemeinen um 40-60% spontan auf (40).

Insbesondere bezüglich der Wirbelkörperderotation und somit des für das Patientenklitel äußerst wichtigen kosmetischen Ergebnisses im Sinne einer Verminderung von Rippenbuckel und Lendenwulst sowie Wiederherstellung von Rumpfsymmetrie lassen sich durch die VDS nach Zielke überragende Korrekturwerte erzielen, die bei alleiniger dorsaler Instrumentation mittels Harrington oder CD-Instrumentarien nicht erreicht werden können (19, 37, 59, 101).

Die prozentuale Korrektur der Wirbelkörperrotation des Scheitelwirbels, gemessen nach der Methode nach Pedriolle, betragen zwischen 40-60%, abhängig davon, ob im flexibleren Lumbalbereich oder aber im zumeist rigideren Thorakalbereich operiert wird (34, 40, 54, 72, 85).

Weiterhin stellt sich die kurze Instrumentationsstrecke einer ventralen Instrumentation gegenüber der einer dorsalen als vorteilhaft dar, da ventral zumeist nur von Endwirbel zu Endwirbel instrumentiert werden muss und durch interkorporelle Fusion eine ausreichende Tragfähigkeit im Instrumentationsbereich erzielt werden kann (34, 103).

Als problematisch zeigte sich in der Vergangenheit bei der Verwendung ventraler Einzelstabinstrumentarien die große Zahl implantatbedingter Komplikationen mit einer hohen Rate an Pseudarthrosenentwicklungen im Spondylodesebereich, die fehlende Primärstabilität, die hohe Anzahl an Krümmungsdekompensationen der nicht-instrumentierten Nebenkrümmungen sowie die unsichere Einstellung des sagittalen Profils bedingt durch den kyphosierenden Effekt der Instrumentation:

Insbesondere bei Verwendung des 3,2 mm Kompressionsstabes kommt es bei alleiniger ventraler Instrumentation zu einer hohen Zahl an Stabbrüchen, über die in der Literatur in bis zu 43% der Fälle bei langem Nachuntersuchungszeitraum berichtet wird (54).

Zu Entwicklungen von Pseudarthrosen im Instrumentationsbereich kommt es bei Einzelstab-VDS-Instrumentation in 9-23% der Fälle (30, 54).

Als weitere implantatbedingte Komplikation ist ein Teilausriss beziehungsweise eine Lockerung der am kranialsten gelegenen VDS-Schraube zu nennen. Dieser Teilausriss ge-

schiebt zu einem sehr hohen Prozentsatz der Patienten bereits intraoperativ während des Korrekturvorganges oder auch wie in unserem Patientenkollektiv in einem Fall beobachtet in den ersten postoperativen Tagen und führt zu einem Verlust der ursprünglich erreichten Korrektur. Die Rate der Schraubenausrisse beträgt in der Literatur Werte von bis zu 29% (70).

Eine Gefahr der VDS-Instrumentation einer thorakolumbalen oder lumbalen Hauptkrümmung stellt die Überkorrektur der Hauptkrümmung bei rigider oberer thorakaler Nebenkrümmung und entsprechender Dekompensation der Wirbelsäule. Folge dieser Dekompensation ist in einem hohen Prozentsatz die Notwendigkeit einer zusätzlichen dorsalen Instrumentation (85). Daneben machte bereits Dwyer schon sehr früh die Entdeckung, dass bei doppelbogigen Skoliosen die selektiv ventrale Instrumentation der thorakalen Primärkrümmung nicht oder nur unzureichend zu einer Aufrichtung der lumbalen Krümmung führt, was auch hier eine Dekompensation mit der Notwendigkeit einer zusätzlichen dorsalen Instrumentation zur Folge haben kann (25).

Bei isolierter Instrumentation mit der VDS nach Zielke ist weiterhin ein relativ hoher langfristiger Korrekturverlust, verglichen mit anderen dorsalen oder ventralen Doppelstabinstrumentationen, zu verzeichnen. Dieser beträgt in größeren Studien 6%-25% (30) verglichen mit dem postoperativ erreichten Korrekturergebnis.

Die fehlende Primärstabilität und die daraus notwendig werdende orthetische Nachbehandlung über mehrere Monate stellt ein weiteres Problem der isolierten Versorgung mittels ventraler Einzelstabinstrumentarien dar.

Bezüglich der Operationsergebnisse im Bereich des sagittalen Profils zeigte sich bei ventralen Einzelstabinstrumentarien, wie schon beim Dwyer-Verfahren (25), ein kyphosierender Effekt auf den Instrumentationsbereich, der insbesondere bei lumbalen oder thorakolumbalen Instrumentationen zu einer pathologisch kyphotischen Einstellung des Thorakolumbalbereiches beziehungsweise zu lumbaler Hypolordose (72, 85, 103) führen kann. Dieser kyphosierende Effekt ist systembedingt, da eine Verkürzung und Kompression ventral des Drehpunktes (Anteflexion /Retroflexion) zwangsläufig zu einer Kyphose führen muss.

Insbesondere in den letzten 10 Jahren gewann die Betrachtung des sagittalen Profils der Wirbelsäule immer mehr an Bedeutung bedingt durch die Beobachtung, dass instrumentationsbedingte Hyperkyphosen des thorakolumbalen Überganges und eine lumbale Hypolordose eine erhöhten Prävalenz an Rückenschmerzen zur Folge haben kann (15, 40, 87).

Aus diesen erwähnten Sachverhalten ergibt sich als Indikationsspektrum für eine isolierte ventrale Instrumentation mit der VDS nach Zielke die einbogige thorakolumbale und lumbale Skoliose mit ausreichend flexiblen Nebenkrümmungen, so dass sich nach entsprechender instrumenteller Korrektur der Hauptkrümmung die Wirbelsäule durch spontane Aufrichtung der Nebenkrümmung ausbalancieren kann. Als weitere Indikationen sind daneben strukturell einbogige Thorakalskoliosen zu nennen (40).

Die aktuell verwendeten dorsalen Implantate haben ihre Vorteile, verglichen mit ventralen Einstabsystemen in der Primärstabilität, in der Möglichkeit einer sicheren und dauerhaften physiologischen Einstellung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, einer geringeren Rate an Pseudarthrosen sowie eines geringen Korrekturverlustes im Langzeitverlauf:

Eine isolierte dorsale Instrumentation idiopathischer Skoliosen mittels dorsaler Instrumentarien, wie etwa des polysegmental hakengetragenen und als Weiterentwicklung auch im Lumbal- und Thorakolumbalbereich pedikelschraubengetragenen Cotrel-Dubousset Instrumentarium (86), bietet im Gegensatz zur Einzelstab-VDS-Instrumentation und älteren dorsalen Implantaten, wie etwa der Harrington-Instrumentation, Primärstabilität. Es entfällt somit die Notwendigkeit einer längeren orthetischen Nachbehandlungsphase.

Der große Vorteil dieser hakengetragenen dorsalen Verfahren liegt in der Möglichkeit, das sagittale Profil der Wirbelsäule eindrucksvoll zu verbessern. Insbesondere die bei idiopathischen Adoleszentenskoliosen häufig anzutreffende thorakale Hypokyphose lässt sich selektiv sehr gut verbessern (12, 59, 64). In einer Follow-up-Studie nach CD-Instrumentation von Lenke et al. konnte dabei ebenso gezeigt werden, dass diese Verbesserungen im sagittalen Profil über einen mittelfristigen Zeitraum von 6 (5-10) Jahren voll erhalten bleiben. Ähnliche Langzeitstabilität gilt für die Korrektur in der Frontalebene, wo lediglich mit Korrekturverlusten von 5° verglichen mit den postoperativ erreichten Korrekturergebnissen gerechnet werden muss (40).

Als weitere Vorteile sind, verglichen mit ventralen Einzelstabinstrumentationen, die im Langzeitverlauf geringere Rate implantatbedingter Komplikationen und die geringe Pseudarthrose-rate dorsaler Instrumentationen zu nennen (40, 64).

Nachteile aller bekannten dorsalen Verfahren sind jedoch die in der Frontalebene geringeren Korrektoreigenschaften und die ungenügende bis fehlende derotierende Kapazität sowie eine

hohe Zahl an Krümmungsdekompensationen bei thorakaler Instrumentation strukturell doppelbogiger Skoliosen:

Die Korrektureigenschaften in der Frontalebene bei hakengetragener dorsaler Instrumentation betragen gemäß der längsten Follow-up-Studie mit dem größten Patientenkollektiv von Lenke und Mitarbeitern 3 Jahre postoperativ knapp 50% verglichen mit der Ausgangskrümmung. Im weiteren Langzeitverlauf kommt es zu keiner wesentlichen Verschlechterung (64) dieser Korrekturwerte. Hinsichtlich einer Krümmungsaufrichtung in der Frontalebene stehen demnach die Langzeitergebnisse hakengetragener dorsaler Instrumentationen gegenüber denen ventraler Instrumentationen deutlich zurück und sind vergleichbar mit denen der Harrington-Instrumentation, deren langfristige Krümmungskorrektur ebenfalls im Rahmen von 50% steht (40).

Die eigentliche Intention der dorsalen segmental angreifenden hakengetragenen Instrumentarien wie des Cotrel-Dubousset Instrumentariums, mittels Stabrotationsmanövers des thorakal konvexseitigen Stabes eine relevante Derotation zu erreichen, scheint, wie segmentale Analysen des Instrumentationsbereiches zeigten, nicht möglich zu sein (59, 101). Hakengetragene dorsale Verfahren sind demnach nicht in der Lage, eine relevante Derotation und demnach eine deutliche Reduktion des Rippenbuckels und Lendenwulstes, wie es ventrale Verfahren gewährleisten, zu erzielen. Vielmehr scheint das Stabrotationsmanöver nicht wie erwünscht zu segmentaler Derotation der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte zu führen, sondern eher zu einer kompletten Rotation der gesamten Wirbelsäulen-Becken-Achse als Einheit (101).

Bei Verwendung von im Lumbal- und Thorakolumbalbereich pedikelschraubengetragener Instrumentation können hinsichtlich frontaler Aufrichtung und Derotation bessere Korrekturwerte erzielt werden (86), die jedoch hinter denen ventraler Instrumentationen nach wie vor zurückstehen.

Insbesondere bei dorsaler Instrumentation der thorakalen Hauptkrümmung strukturell doppelbogiger Skoliosen („false double major curve“) kam es in der Vergangenheit zu einem hohen Prozentsatz zur Dekompensation der Wirbelsäule zur Seite der Konvexität der Nebenkrümmung, die sich nur unzureichend aufrichtete. Als Ursache bleibt hierfür eine Fehlrotationszunahme der lumbalen Krümmung sowie eine relative Überkorrektur der thorakalen Hauptkrümmung zu vermuten (40,68, 79, 89, 101).

Aus dem Erwähnten ergibt sich demnach als Indikation für isolierte dorsale Instrumentationen strukturell doppelbogige und einbogige flexible Skoliosen (40), wobei immer die ungenügende Derotationskapazität der dorsalen Instrumentarien beachtet werden muss.

Die Intention zur kombinierten ventrodorsalen Instrumentation mittels VDS nach Zielke und Dorsaler Correctorspondylodese (DCS), wie sie beim vorliegenden Patientenkollektiv dieser Studie erfolgte, zielt darauf ab, die Vorteile beider Verfahren zu kombinieren:

Hierbei sind bezüglich der VDS die hervorragenden Korrekturmöglichkeiten in der Frontalebene und die guten Derotationseigenschaften zu erwähnen. Hinsichtlich der dorsalen Instrumentation sind die guten Einstellungsmöglichkeiten in der Sagittalebene, der geringe langfristige Korrekturverlust, die äußerst geringe Pseudarthroserate, die sichere und dauerhafte Einstellung des Tilts sowie die Möglichkeit einer orthesenfreien Nachbehandlung zu erwähnen.

Gleichzeitig ist es möglich, die Nachteile der ventralen Instrumentation hier insbesondere die fehlende Primärstabilität, die hohe Pseudarthroserate und den hohen postoperativen Korrekturverlust auszuschalten.

1. Korrektur in der Frontal- und Sagittalebene

1.1. Gruppe I

Die instrumentelle Aufrichtung von King-I-Skoliosen mit thorakolumbalen Hauptkrümmung und rigider oberer thorakaler Nebenkrümmung stellt sich als problematisch dar, da sich, wie im vorgestellten Patientenkollektiv der Gruppe I, die thorakale Nebenkrümmung bei alleiniger ventraler oder dorsaler Instrumentation häufig nur unzureichend aufrichten lässt. Folge ist dann häufig eine spätere Dekompensation der oberen thorakalen Krümmung.

Suk und Mitarbeiter fanden im Rahmen ihrer Nachuntersuchung bei Patienten, welche mit einer lumbalen beziehungsweise thorakolumbalen VDS instrumentiert wurden, in 30% Dekompensationen der thorakalen Nebenkrümmung (85). Auch im hier nachuntersuchten Patientenkollektiv der Gruppe I kam es bei Instrumentation der lumbalen Hauptkrümmung mittels VDS nach Zielke nur zu einer unzureichenden Aufrichtung der oberen thorakalen Nebenkrümmung von durchschnittlich 34,4% auf einen postoperativen Wert von 37,3°.

Diese Beobachtung, dass die lumbale Hauptkrümmung bei King-I-Skoliosen die deutlich deformierendere Krümmung, die thorakale Nebenkrümmung jedoch die rigidere und weniger flexiblere Krümmung beider Kurven ist, machte ebenso Bridwell (11).

Erst durch die in zweiter Sitzung durchgeführte dorsale DCS-Instrumentation kam es zu einer zufriedenstellenden Aufrichtung der rigiden thorakalen Nebenkrümmung um durchschnittlich weitere $17,1^\circ$, was einer prozentualen Aufrichtung von 64,7%, verglichen mit dem präoperativen Zustand, entspricht. Die dorsale DCS-Instrumentation verbesserte demnach das relativ geringe Korrekturergebnis der Nebenkrümmung durch Spontanaufrichtung nach der VDS-Instrumentation in dieser Gruppe der King-I-Skoliosen um weitere 46,1%. Erst durch diese zweite zusätzliche dorsale Instrumentation war es demnach möglich, die Rumpfsymmetrie wiederherzustellen und eine spätere Krümmungsdekompensation, wie von Suk und Mitarbeitern in ihrem nachuntersuchten Patientenkollektiv beobachtet, zu vermeiden (85). Diese Tatsache wird auch unter anderem dadurch bestätigt, dass der radiologisch gemessene Rumpfüberhang mit durchschnittlichen 1,1 cm, verglichen mit dem präoperativen Zustand, um mehr als 50% verbessert werden konnte und im weiteren Nachuntersuchungszeitraum stabil blieb.

Somit ist es in diesem Patientenkollektiv der King-I-Skoliosen nur durch ein zweizeitiges Vorgehen möglich, die verfahrenstypischen Vorteile eines ventralen Eingriffs und hier insbesondere das außerordentlich gute Derotationspotential sowie überlegene Eigenschaften der frontalen Aufrichtung bei gleichzeitiger Verhinderung späterer Dekompensation der thorakalen Nebenkrümmung zu nutzen.

Zu einer weiteren problematischen Ausdehnung der Instrumentation nach kaudal über die VDS-Instrumentation hinaus führte die zusätzliche dorsale Instrumentation nur in einem Fall (14,3%). Dies ist der Verwendung lumbaler Pedikelschrauben bei der dorsalen Instrumentation zuzuschreiben, durch welche es möglich ist, die Fusionsstrecke im Lumbalbereich kaudal kürzer zu wählen und vielfach nur noch bis zum unteren Endwirbel der lumbalen Krümmung zu instrumentieren. Der Fusionsbereich im kaudalen Bereich entspricht dann damit dem ventralen Verfahren (75, 86).

Da in dieser Gruppe der King-I-Skoliosen, bedingt durch die Krümmungsmorphologie, in den meisten Fällen eine Instrumentationsausdehnung bis zum 3. oder 4. Lendenwirbel unumgänglich war, kam der Horizontalisierung des unteren instrumentierten Wirbelkörpers eine entscheidende Bedeutung zwecks Verminderung der Belastung der verbliebenen Bewegungs-

segmente zu (40). Zum präoperativen Zeitpunkt war in dieser Gruppe eine durchschnittliche Schrägstellung des unteren instrumentierten Wirbelkörpers von $28,3^\circ$ festzustellen, welche durch eine stabile dorsale Instrumentation mittels lumbaler Pedikelschrauben, wie weiter unten noch genauer ausgeführt, zum Nachuntersuchungszeitpunkt auf $5,6^\circ$ eingestellt werden konnte.

Der kyphogene Effekt der VDS-Instrumentation, der als verfahrenstypischer Nachteil des ventralen VDS-Verfahrens, vergleichbar mit dem des Dwyer-Verfahrens, seit langem bekannt ist (70, 72, 103), ließ sich auch in diesem Patientenkollektiv wie weiter unten beschrieben nachvollziehen. Dieser Effekt, der bei den ventralen Einstabsystemen als systembedingt zu bezeichnen ist, wird wie oben bereits erwähnt hervorgerufen durch die Kompression und Verkürzung der Wirbelsäule ventral des Drehpunktes Anteflexion / Retroflexion. Eine vollkommene Ausschaltung dieses Effektes, etwa durch besonders dorsale Schraubenfixierung im Scheitelwirbelbereich oder durch Einfügen von Knochenspänen, scheint wie klinische Studien zeigen jedoch nur schwer möglich zu sein (30). Selbst bei Verwendung rigiderer dickerer Stäbe wie etwa beim ventralen TSRH-Instrumentarium, bei dem durch intraoperative Stabrotation eine Lordosierung im Bereich der instrumentierten Lendenwirbelsäule erzielt werden soll, konnte im Rahmen einer ersten klinischen Untersuchung an 14 instrumentierten Lumbalskoliosen das pathologische sagittale Profil nur unwesentlich beeinflusst werden (90). Erst durch die Entwicklung moderner ventraler Zweistabsysteme wie etwa dem CDH- (49), Kaneda- (52) oder Halm-Zielke-Instrumentarium (43) ist es möglich, diesen Effekt der pathologischen Kyphosierung zu vermeiden oder sogar eine geringgradige Lordosierung hervorzurufen. Diese neueren Verfahren stehen jedoch mit Ausnahme des Halm-Zielke-Instrumentariums, wie erste größere Untersuchungen zeigten, hinsichtlich der Derotationsfähigkeit des Scheitelwirbels hinter der klassischen VDS zurück, die für die VDS mit Werten von bis zu 57% (72), für TSRH-Verfahren nur mit maximal 49% (90) angegeben werden.

Im Falle einer ventralen Instrumentation im Bereich der Brustwirbelsäule ist dieser kyphosierende Effekt insbesondere bei thorakalen Lordoskoliosen als positiv zu bewerten und sogar wünschenswert, sorgt er hier doch für eine physiologische Einstellung der sich zumeist entkyphosiert darstellenden Brustwirbelsäule (58). Bei einer Instrumentation im Lumbal- beziehungsweise Thorakolumbalbereich wie hier beim Patientenklientel der Gruppe I führt dieser Effekt zu problematischer Kyphosierung des thorakolumbalen Übergangs und der Lenden-

wirbelsäule. Im thorakolumbalen Übergang kam es bei 6 der 7 Patienten zu einer Kyphosierung durch die Instrumentation, welche jedoch nur bei 2 der 7 Patienten zu einer pathologischen Einstellung von 14 beziehungsweise 18° Kyphose in diesem Bereich führte. Ähnlich stellt sich die Situation im Lumbalbereich dar, wo es durch die Instrumentation in 4 von 7 Fällen zu einer geringgradigen Kyphosierung kam, die jedoch in keinem Fall zu einer problematischen Einstellung der Lendenlordose außerhalb des physiologischen Normbereiches führte. Trotzdem ist anzunehmen, dass die in dieser Gruppe weiter unten diskutierte erhöhte postoperative Kreuzschmerzprävalenz im Vergleich mit den beiden anderen Patientengruppen unter anderem eine Folge dieses kyphosierenden Effektes im Lumbal- und Thorakolumbalbereich ist, kommt es doch bei instrumentationsbedingten Kyphosierungen in diesen Wirbelsäulenabschnitten zu kompensatorischen Hyperlordosen der verbleibenden Bewegungssegmente mit Begünstigung einer Bandscheibendegeneration und zu einer postoperativ erhöhten lumbalen Kreuzschmerzprävalenz (30).

Die großen Vorteile einer zusätzlichen dorsalen Instrumentation zeigen sich in der Gruppe I hinsichtlich der Entwicklung des sagittalen Profils im Thorakalbereich, gemäß Diagramm Nr. 21 des Ergebnisteiles, aus dem ersichtlich wird, dass 5 der insgesamt 7 Patienten dieser Gruppe zum präoperativen Zeitpunkt eine zum Teil erhebliche thorakale Hypokyphose aufwiesen. Diese konnte bei 4 der 5 Patienten zum Nachuntersuchungszeit durch die dorsale Instrumentation in den physiologischen Bereich verbessert werden. Diese Beobachtung, dass die neueren dorsalen Verfahren gegenüber dem Harrington-Verfahren, das in Nachuntersuchungen der Vergangenheit die Tendenz zu einer Abflachung des sagittalen Profils führte (12), den großen Vorteil einer dreidimensionalen Korrektur auch des sagittalen Profils erlauben, machten bereits mehrere Autoren (12, 59, 64). Gerade bei dieser Gruppe, die nicht wie die Gruppen II und III mit einer kyphosierenden VDS im meist entkyphosierten Thorakalbereich instrumentiert wurden, war die zusätzliche dorsale Instrumentation neben der Aufrichtung der rigiden oberen thorakalen Nebenkrümmung von entscheidender Bedeutung für die Wiederherstellung eines zufriedenstellenden sagittalen Profils im Thorakalbereich.

1.2 Gruppe II

Ein besonderes Problem stellte in der Vergangenheit die operative Versorgung von rigiden King-II-Skoliosen dar, in dieser Arbeit repräsentiert durch die Gruppe II. Sehr weit verbreitet ist bei der operativen Behandlung von King II-Skoliosen die isolierte Anwendung dorsal

segmental wirksamer Instrumentarien, wie dem CD-Instrumentarium. Dabei ist in Bezug auf die isoliert dorsale Verfahrensweise zu differenzieren zwischen selektiver Korrektur der thorakalen Primärkrümmung und der Instrumentation von Primär- und Sekundärkrümmung.

Bei beiden Verfahren ist durch eine dorsale Korrektur und Stabilisierung, auch bei Instrumentation beider Krümmungen, eine wesentliche Derotation nicht möglich und so steht die Symmetrie des Rumpfes und damit auch die Kosmetik der dorsalen Instrumentation hinter der einer VDS oder einer kombinierten Verfahrensweise deutlich zurück. Die selektiv dorsale thorakale Instrumentation mit dem CD-Instrumentarium zeigte in mehreren Nachuntersuchungen häufig eine Dekompensation der lumbalen Krümmung (40, 68, 80, 89), unter anderem verursacht durch eine Fehlrotationszunahme dieser Krümmung. Dabei geht bei King II-Skoliosen die vermeintliche Derotation der instrumentierten thorakalen Primärkrümmung zu Lasten einer Progredienz der lumbalen Rotation der nicht instrumentierten Sekundärkrümmung (101).

Die Anwendung von dorsalen Instrumentationen der Primär- und Sekundärkrümmung ist häufig bei rigiden King II-Skoliosen zu finden, erlauben doch Lamina und Pedikel eine bessere Krafteinleitung als der hochthorakale Wirbelkörper. Jedoch auch mit den modernen dorsalen Implantaten kann die Rotation im Vergleich zur VDS nur ungenügend korrigiert werden. Die segmentale Derotation ist zweifelsfrei an die Lösung der zu instrumentierten Segmente durch eine Bandscheibenentfernung und eventuelle Eröffnung der Kostostransversalgelenke, das heißt an einen ventralen Eingriff, gebunden. Durch die unzureichende Lösungsmöglichkeit der thorakalen Rumpfwirbelsäule von dorsal ist postoperativ bei King II-Skoliosen eine gelegentlich auftretende Störung der frontalen Balance, bedingt durch die bessere Korrektur der Lendenwirbelsäule, zu beobachten (13, 82, 89). Auch wenn die heute verwendeten dorsalen Implantate nicht ausschließlich über Distraction korrigieren, ist die neurologische Komplikationsrate im Vergleich zur ventralen Korrektur größer. Die thorakale Krümmung ist bei King II-Skoliosen zum einen als Primärkrümmung, zum anderen meist wesentlich rigider als die lumbale Krümmung zu betrachten. Dies ist laut Bridwell auch häufig bei double major curves und King I-Skoliosen der Fall (11).

Dwyer machte schon sehr früh die Beobachtung, dass bei doppelbogigen Skoliosen die selektiv ventrale Instrumentation der thorakalen Primärkrümmung nicht oder nur unzureichend zu einer Aufrichtung der lumbalen Krümmung führt (25). Diese Beobachtung hat bis heute Gültigkeit. Dementsprechend ist bei rigiden King II-Skoliosen, die keine befriedigende Aufrich-

tung der thorakalen Primär- und der lumbalen Sekundärkrümmung in den präoperativen Bendingaufnahmen zeigen, die kombinierte Anwendung von VDS und DCS sinnvoll. Dadurch ist die synerge Verknüpfung von Vorteilen der Korrektur von VDS und DCS möglich. Durch die VDS der thorakalen Primärkrümmung kommt es zu einer erwünschten verfahrenstypischen Derotation und so zu einer Wiederherstellung der Rumpfsymmetrie, verbunden mit einer deutlichen Rippenbuckelreduktion. Der durch die Kompression bedingte kyphogene Effekt der VDS ist an der präoperativ meist entkyphosiert eingestellten thorakalen Rumpfwirbelsäule als durchaus positiv zu bewerten, so dass mit der thorakalen VDS neben einer guten Einstellung des frontalen Profils und einer erheblichen Derotation der Primärkrümmung auch eine gleichzeitige Mitkorrektur des sagittalen Profils bewirkt wird, was sich in dieser Gruppe in der Entwicklung der thorakalen Kyphose gemäß Diagramm Nr. 22 des Ergebnisteils verdeutlicht wird.

Zur Korrektur der strukturellen lumbalen Sekundärkrümmung und zur Vermeidung einer Dekompensation der lumbalen Krümmung ist bei rigiden ausgeprägten Gegenkrümmungen eine zusätzliche DCS in zweiter Sitzung notwendig und sinnvoll. Dabei ist durch die Verwendung von Pedikelschrauben eine dauerhaft gute Korrektur der Lumbalkrümmung und eine weitestgehende Normalisierung des Tilts möglich (6), wie auch in diesem Patientenkollektiv beobachtet, bei dem sich der Tilt auf postoperative durchschnittliche $4,9^\circ$ einstellen ließ, was einer Verbesserung von 66,7% verglichen mit dem präoperativen Zustand bedeutet. Somit ist eine weitestgehend physiologische Einstellung der verbliebenen nicht instrumentierten lumbalen Bewegungssegmente ohne Gefahr einer späteren Dekompensation gewährleistet.

1.3 Gruppe III

Für das Patientenkollektiv der Gruppe III gelten ebenso alle bereits die bei Gruppe I und II erwähnten Vorteile der VDS hinsichtlich Einstellung von frontalem, sagittalem Profil und Wirbelkörperderotation.

Die in dieser Gruppe ebenfalls in zweiter Sitzung durchgeführte zusätzliche dorsale Instrumentation hatte weniger, wie in Gruppe I und II erwähnt, eine Aufrichtung der rigiden thorakalen oder lumbalen Sekundärkrümmung zum Ziel, die sich in dieser Gruppe III bereits spontan nach der VDS um 56,9% aufrichtete, sondern vielmehr eine befriedigende und vor allem dauerhafte Einstellung des sagittalen Profils insbesondere im Bereich der thorakalen Kyphose und des thorakolumbalen Übergangs.

Insbesondere in den letzten Jahren gewann die Betrachtung des sagittalen Profils in der Skoliosechirurgie vermehrt an Bedeutung, da mehrere Arbeiten zeigen konnten, dass pathologische Einstellungen dieses Wirbelsäulenbereichs zu einer erhöhten Prävalenz an Rückenschmerzen führen (15, 40, 87). Diese Tatsache gewinnt insofern an Bedeutung, beobachtet man die Einstellung des thorakolumbalen Übergangs dieses Patientenklientels zum präoperativen Zeitpunkt. Immerhin 4 Patienten (30,7%) zeigten hier eine pathologische Einstellung gemäß Diagramm Nr. 26 des Ergebnisteils, wohingegen zum Nachuntersuchungszeitpunkt nur ein Patient (7,7%) mit 11° Lordose im Thorakolumbalbereich geringgradig außerhalb des Normbereichs lag.

Eine weitere Intention der zusätzlichen dorsalen Instrumentation war die weitestgehende Horizontalisierung des untersten instrumentierten Wirbelkörpers, also einer Verminderung des Tilts, der in dieser Gruppe gemäß Tabelle Nr. 12 des Ergebnisteiles auf geringe $3,5^\circ$ zum Nachuntersuchungszeitpunkt eingestellt werden konnte. Dies entspricht einer Verbesserung von 62%, verglichen mit den präoperativen Werten.

Es gelang demnach durch die zusätzliche dorsale Instrumentation in dieser Gruppe den untersten instrumentierten Wirbelkörper weitestgehend zu horizontalisieren. Dieser Effekt einer sicheren Horizontalisierung des Tilts ist der Verwendung lumbaler und thorakolumbalen Pedikelschrauben zuzuschreiben, da diese im Gegensatz zur Hakeninstrumentation durch ihre stabilere Verankerung im Wirbelkörper und ihren lateraleren Angriffspunkt einen besseren Hebelarm aufweisen und somit eine bessere Horizontalisierung des untersten instrumentierten Wirbelkörpers sowie eine bessere lumbale Krümmungskorrektur ermöglichen (40).

Diese Beobachtung wird auch in einer Nachuntersuchungsstudie von Niemeyer et al. (75) sowie einer Vergleichsstudie zwischen schrauben- und hakengetragener lumbaler Instrumentation von Barr et al. (6) bestätigt. Sie kommen darin zu dem Ergebnis, dass durch lumbale Schraubeninstrumentation eine bessere und dauerhafte Einstellung der instrumentierten und der nicht-instrumentierten Lendenwirbelsäule erreicht werden kann. Folge ist eine Reduktion der Belastung auf die kaudal der Instrumentation befindlichen freien Bewegungssegmente, was im Trend langfristig die lumbale Kreuzschmerzprävalenz senken wird (40).

Es gelang demnach bei diesem Patientenklientel, durch die gute und physiologische Einstellung des Lumbal- und Thorakolumbalbereichs sowohl in der Frontal- als auch in der Sagittalebene weitestgehende postoperative Beschwerdefreiheit zu erzielen.

2. Krümmungs- und Fusionsstrecke

Bezüglich der Ausdehnung der Instrumentation auf den unteren Lumbalbereich können deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Patientengruppen herausgearbeitet werden:

Insbesondere in Gruppe I muss festgestellt werden, dass bei 6 von 7 Patienten auf eine Instrumentation in den tieflumbalen Bereich nicht verzichtet werden konnte. 5 Patienten dieser Gruppe wurden bis zum 4. und ein Patient bis zum 3. Lendenwirbelkörper instrumentiert.

Ganz anders stellt sich die Situation beim Patientenkollektiv der beiden anderen Patientengruppen dar, wo in Gruppe II bei lediglich 3 der 15 und in Gruppe III bei lediglich 2 der 13 Patienten tieflumbal bis LWK 4 instrumentiert werden musste. Auf eine Instrumentation bis zum LWK 5 konnte bei allen nachuntersuchten Patienten verzichtet werden.

Die Ursache für diesen deutlichen Unterschied hinsichtlich in der Instrumentationstiefe im lumbalen Bereich ist vor allem in der unterschiedlichen Krümmungsmorphologie zu sehen.

Insbesondere bei den Patienten der Gruppe I, deren Hauptkrümmung im Lumbalbereich lag und demnach auch ventral im Lumbalbereich mittels VDS nach Zielke instrumentiert wurde, ist von ventral systemspezifisch eine Instrumentation bis zum kaudalen Endwirbel notwendig.

Entscheidend für die Beurteilung der Instrumentationstiefe lumbal ist jedoch die Bezugnahme zum unteren Endwirbel der kaudalen Krümmung. So war lediglich bei einem Patient der Gruppe I und 2 Patienten der Gruppe II eine Instrumentation einen Wirbel kaudalwärts des unteren Endwirbels notwendig. In Gruppe III musste in keinem Fall unterhalb des kaudalen Endwirbels instrumentiert werden. Dies bedeutet, dass durch die Verwendung lumbaler und thorakolumbalen Pedikelschrauben bei der dorsalen DCS-Instrumentation eine Einsparung von mindestens einem bis hin zu vier lumbalen Bewegungssegmenten gegenüber einer polysegmentaler hakengetragener Instrumentation in 32 Fällen (91,4%) zu erreichen war.

Dieser Effekt der Einsparung lumbaler Bewegungssegmente durch Pedikelschraubeninstrumentation konnte in der Vergangenheit durch Vergleichsuntersuchungen zwischen pedikelschrauben- und hakengetragener dorsaler Instrumentarien bestätigt werden (75, 86).

Dies führt insbesondere unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Cochran et al. (15) zu einer kurz-, mittel- und im Trend auch langfristigen Reduktion der lumbalen Kreuzschmerzprävalenz. Diese Tatsache wird insbesondere beim Patientenkollektiv der Gruppe III deutlich, bei welchem, wie weiter unten diskutiert, weitgehende Beschwerdefreiheit zum Nachuntersuchungszeitpunkt erreicht werden konnte.

3. Derotation

Im untersuchten Patientenkollektiv konnte eine für die VDS typische gegenüber dorsalen Verfahren überlegene Wirbelkörperderotation erzielt werden. Die erreichten Korrekturwerte entsprechen weitgehend den in der Literatur angegebenen Werten von 42-57%, gemessen gemäß der Pedriolle-Methode (34, 40, 54, 72, 85).

Die segmentale Derotation ist zweifelsfrei an die Lösung der instrumentierten Segmente durch die Bandscheibenentfernung und eventuelle Eröffnung der Kostotransversalgelenke, das heißt an einen ventralen Eingriff, gebunden, da auch mit den modernen dorsalen Implantaten die Rotation nur unzureichend bis gar nicht korrigiert werden (59, 101).

Vielmehr führt wie schon oben beschrieben das systemspezifische Stabrotationsmanöver der CD-Instrumentation zu keiner wie eigentlich gewünschten segmentalen Derotation, sondern zu einer En-Bloc-Rotation der Wirbelsäulen-Becken-Achse. In einer radiologische Studie von Wood et al. konnten sogar in einem geringen Prozentsatz Verschlechterungen der Rotationsdeformierung nach selektiver CD-Instrumentation von Thorakalskoliosen beobachtet werden. Insbesondere King-II-Skoliosen scheinen gemäß dieser Studie eine schlechte Derotationskapazität nach CD-Instrumentation zu zeigen (101).

Die hervorragenden Derotationseigenschaften der VDS äußern sich beim untersuchten Patientenkollektiv ebenso in den klinischen Ergebnissen der Wiederherstellung der Rumpfsymmetrie, die bei weitgehend allen Patienten erzielt werden konnte, sowie einer in allen Fällen erzielten deutlichen Reduktion von Lendenwulst und Rippenbuckel, was auch in der außerordentlich hohen Zufriedenheit des untersuchten Patientenkollektivs mit dem Operationsergebnis deutlich wird.

4. Stabilität, Korrekturverlust, implantatbedingte Komplikationen, Dekompensation

Der Korrekturverlust des ventrodorsalen Operationsergebnisses scheint innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums gemäß der Tabelle Nr. 13 des Ergebnisteils mit durchschnittlichen Werten von zum Teil deutlich unter $2,5^\circ$ für den Tilt, Haupt- und Nebenkrümmung außerordentlich gering zu sein und übertrifft damit bei weitem die Werte, die bei alleiniger ventraler Instrumentation zu erwarten wären, wo mit Korrekturverlusten von 6-25% in den ersten postoperativen Monaten zu rechnen ist (30). Eine wesentliche Zunahme des Korrekturverlusts ist bei diesem Patientenklientel auch in Zukunft nicht zu erwarten, wurde doch mehrfach der Hauptkorrekturverlust nach dorsalen Instrumentationen innerhalb des ersten postoperativen Jahres (92) bzw. der ersten zwei postoperativen Jahre (54, 97) beobachtet.

Im thorakalen Bereich besteht durch den Brustkorb mit den Kostotransversalgelenken eine höhere segmentale Steifigkeit (8, 52). Trotz der hervorragenden Mobilisationsmöglichkeiten mittels Bandscheibenausräumung und der vor allem bei rigiden Krümmungen notwendigen Eröffnung der Kostotransversalgelenke (52) sind bei der VDS, vor allem bei rigiden Skoliosen im kranialen Endwirbelbereich, zahlreiche Schraubenausrisse beobachtet worden (70). Die problematische mehrdirektionale Krafteinleitung der USIS-Schrauben auf die meist zarten thorakalen Wirbelkörper der kranialen Endwirbel limitiert bei rigiden thorakalen Skoliosen die Korrektur zum Teil erheblich. Die Vielzahl der Schraubenausrisse an der am weitesten kranial gelegenen VDS-Schraube beim vorgestellten Patientenkollektiv unterstreicht die Tatsache, dass bei diesen Patienten eine ausgesprochene Rigidität vorlag. Diese Tatsache wird auch durch das Diagramm Nr. 3 des Ergebnisteils bestätigt. Bei diesem Patientenkollektiv waren diese Ausrisse ohne klinische Relevanz, da ohnehin eine zusätzliche dorsale Instrumentation geplant war.

Bedingt durch die zusätzliche dorsale DCS-Instrumentation konnte erwartungsgemäß die bei alleiniger VDS-Instrumentation in bis zu 43% der Fälle auftretende Stabbrüche (54) mit einer Rate von Pseudarthrosen in 9-23% der Fälle im untersuchten Patientenkollektiv erheblich reduziert werden. Lediglich bei einem von sieben Patienten der Gruppe I (14,3%), bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv von Gruppe I-III lediglich in (2,9%), musste ein ventraler Stabbruch beobachtet werden, der in diesem Fall ohne klinische Relevanz blieb, da er zu einem Zeitpunkt nach erfolgter knöcherner Konsolidierung der Spondylodese erfolgte und somit keine Pseudarthrosenbildung zur Folge hatte.

Ansonsten waren keine weiteren Materialkomplikationen im Bereich der VDS-Instrumentation zu verzeichnen.

Hinsichtlich der dorsalen DCS-Instrumentation mussten in drei von insgesamt 35 Fällen (8,6%) implantatbedingte Komplikationen beobachtet werden. In nur einem dieser 3 Fälle, bezogen auf das Gesamtpatientenkollektiv also bei 2,9% der Patienten, war aufgrund von Krümmungsprogredienz bei noch nicht stattgehabter knöcherner Konsolidierung der Spondylodese eine dorsale Neuinstrumentation notwendig.

Die beiden anderen Stabbrüche im Bereich des dorsalen 5mm-Kompressionstabes blieben aufgrund nur geringer, klinisch nicht relevanter Krümmungsprogredienz ohne Konsequenz.

Die früher bei dorsalen Instrumentationen durch Verwendung kaudaler Lamina- oder Pedikelhaken häufig beobachtete intra- oder postoperative Hakendislokation bezüglich der dorsalen Instrumentation mit der möglichen Folge einer Dekompensation und notwendigen Nachoperation (41, 75) konnte durch die Verwendung lumbaler Pedikelschrauben des BWM-Instrumentariums vermieden werden. In Übereinstimmung mit anderen Autoren ist der Einsatz von lumbalen Pedikelschrauben bei strukturellen doppelbogigen Skoliosen der Instrumentation mit Haken vorzuziehen (6, 40, 68, 75, 86).

In keinem der nachuntersuchten Fälle musste eine Krümmungsdekompensation weder im Bereich der thorakalen oder lumbalen Haupt- oder Nebenkrümmung noch im nicht instrumentierten oberen Brustwirbelsäulen- oder Lendenwirbelsäulenbereich beobachtet werden.

5. Beschwerden

Hinsichtlich der Beschwerdesymptomatik konnte durch die Instrumentation in allen drei untersuchten Patientengruppen Verbesserungen erzielt werden, was sowohl Prävalenz als auch Intensität von Rückenschmerzen betrifft.

Auffallend ist jedoch, dass die erzielten Verbesserungen in den Gruppen I und II sowohl hinsichtlich der Prävalenz als auch Intensität von Rückenschmerzen deutlich geringer ausfallen als in der Gruppe III, wo beinahe eine Schmerzfreiheit beim nachuntersuchten Patientenkollektiv erreicht werden konnte.

Bei jeweils 2 Patienten der Gruppen I und II war daneben ein postoperativ neu aufgetretener lumbaler Kreuzschmerz festzustellen.

Diese Beobachtungen lassen sich zum einen durch die in Gruppe I und II notwendige Instrumentation im Bereich von LWK 3 beziehungsweise LWK 4 erklären, da bereits in Langzeitnachuntersuchungen nach tieflumbaler Harrington-Instrumentation bis zum 4. oder 5. Lendenwirbelkörper (15) eine vergleichsweise hohe postoperative Schmerzprävalenz verglichen mit Patienten, die nicht in diesem Wirbelsäulenbereich instrumentiert worden sind, festzustellen war.

Zum anderen hat auch eine Betrachtung des sagittalen Profils im thorakolumbalen Übergang in Bezug auf postoperative Schmerzsymptomatik an Bedeutung gewonnen. Untersuchungen der letzten Jahre zeigten, dass eine pathologische Kyphosierung dieses Wirbelsäulenbereichs zu einer erhöhten Rate von Rückenschmerzen führt (15, 40, 87). Diese Untersuchungsergebnisse lassen sich auch im hier untersuchten Patientenkollektiv nachvollziehen, zeigen doch beide Patienten der Gruppe I, in der es zu einer unbefriedigenden Einstellung des thorakolumbalen Übergangs von 12 beziehungsweise 18 Grad Kyphose zum Nachuntersuchungszeitpunkt festzustellen war, eine relativ hohe Schmerzintensität von Grad III.

Diese Beobachtungen, dass Patienten mit tieflumbaler Instrumentation und kyphotischer Einstellung des thorakolumbalen Überganges eine erhöhte postoperative Schmerzprävalenz sowie -intensität aufweisen, entspricht weitgehend den Ergebnissen von Puno und Mitarbeitern (78), die in ihrer Studie in der Einsparung kaudaler Bewegungssegmente und in der Lordosierung der Lendenwirbelsäule den entscheidenden Beitrag zur Verminderung späterer Beschwerden sahen.

6. Intra- und postoperative Komplikationen

Schwerwiegende revisionsbedürftige intra- und postoperative Komplikationen waren in keinem Fall zu beobachten. Eine in einem Fall der Gruppe I temporär aufgetretene Hüftbeugeschwäche ist durch das Abschieben des Musculus iliopsoas mit zusätzlicher Irritation einer Nervenwurzel zu erklären. Vergleichbare Komplikationen sind bereits beim Einsatz der VDS beschrieben, treten meist bei Fusionen bis LWK 3 oder LWK 4 auf und sind zumeist, wie auch im hier beobachteten Fall, vorübergehender Natur (72).

Die im Rahmen der VDS durchgeführte Thorakotomie begünstigt erwartungsgemäß das Auftreten kurzfristiger respiratorischer Komplikationen. Diese beinhalten Pleuraergüsse, Infiltrate, Pneumonien oder die Entwicklung eines Pneumothorax bis hin zum Chylo- oder Hämothorax (34, 70, 72, 103). In der Regel führen diese wie auch hier beim beobachteten Pa-

tientenkollektiv, wo in Gruppe I 2, in Gruppe II 4 und in Gruppe III 6 relevante punktionswürdige Pleuraergüsse zu beobachten waren, zu folgenloser Ausheilung ohne Auswirkungen auf den langfristigen Heilungsverlauf.

Mit Ausnahme von vorübergehenden störenden Parästhesien im Bereich der Spongiosaentnahmestelle im Beckenkamm kam es zu keiner neurologischen Komplikation. Insbesondere bei dorsalen Verfahren wie dem heute zumeist verwendeten CD-Instrumentarium wird die Rate ernsthafter neurologischer Komplikationen mit 0,6% bis hin zum dreifachen Risiko einer Harrington-Operation angegeben (40, 41).

Hierfür verantwortlich ist, auch wenn die heute verwendeten dorsalen Implantate ebenso über das Prinzip der Translation korrigieren, vor allem das Korrekturprinzip der Distraction, was eine indirekte Traumatisierung des Rückenmarks zur Folge hat. Weitere Gefahren für das Rückenmark bei dorsalen Instrumentationen sind zu suchen in der Hakenpositionierung, da jeglicher Haken im Gegensatz zu Pedikelschrauben in den Spinalkanal eindringt. Durch die Verwendung von Pedikelschrauben konnte dieses zusätzliche neurologische Risiko im untersuchten Patientenkollektiv für den Lumbal- und Thorakolumbalbereich ausgeschaltet werden (6).

7. Klinische Ergebnisse und Patientenzufriedenheit

Durch die guten derotierenden Eigenschaften der primär erfolgten VDS-Instrumentation war es in allen Fällen möglich, ein für das Patientenkollektiv äußerst zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass sich alle der nachuntersuchten Patienten erneut einem solchen Eingriff unterziehen würden, angenommen sie stünden noch einmal vor einer solchen Entscheidung.

Bedingt durch die Tatsache, dass es durch das vorgestellte operative Vorgehen zu einer deutlichen Reduktion der kosmetisch störenden Rumpfasymmetrie kam, was sich in einer erheblichen Verminderung von Rippenbuckel und Lendenwulst sowie anderer Rumpfasymmetrieparameter wie zum Beispiel dem klinisch und radiologisch gemessenen Rumpfüberhang äußerte, war auch die Akzeptanz bezüglich des kosmetischen Ergebnisses gut bis sehr gut.

Zu Einschränkungen in Schule, Beruf oder Alltagsleben, die über das präoperative Maß hinausgingen, kam es in keinem Fall. Dies wird unter anderem über die Ermittlung der Sportfähigkeit im Vergleich präoperativ zu postoperativ verdeutlicht.