

## Die operative Behandlung von Lähmungsskoliosen

W. Lack

### Allgemeines

Die Behandlung neurogener Skoliosen unterscheidet sich grundsätzlich von den Prinzipien der idiopathischen Skoliogetherapie. Die **Progredienz der Lähmungsskoliosen ist meist deutlich stärker** als die der idiopathischen Form. Während das Korsett in der Behandlung der idiopathischen Krümmung einen festen Platz besitzt, spielt es bei Lähmungsskoliosen nur eine untergeordnete Rolle. Operationsindikation- und Zeitpunkt richten sich nach der Wahrscheinlichkeit der Progredienz und sind daher von der Grundkrankheit abhängig. Wegen des in der Mehrzahl der Fälle jedoch ähnlichen Bildes einer langstreckigen thorakolumbalen Krümmung, die meist das Becken inkludiert, gelten gewisse Grundsätze für die meisten paralytischen Skoliosen.

Bei der Indikationsstellung zur operativen Behandlung der neuromuskulären Skoliose spielen einerseits **Lungenfunktion**, andererseits **Gehfähigkeit, Beckenschiefstand und Sitzbalance** eine wesentliche Rolle. Da die Lungenfunktionsreduktion meist aus einer paralytischen und einer deformitätsbedingten Komponente besteht, ist bei wahrscheinlicher oder gesicherter Progredienz ein Zuwarten mit der OP infolge der drohenden Verschlechterung der Lungenfunktion riskant. Lediglich bei noch vorhandener Gehfähigkeit muss bedacht werden, ob eine Spondylodese durch Beeinträchtigung des Trendellenburganges das Gehen erschweren kann.

**Bei deutlichem Beckenschiefstand sollte die Spondylodese immer das Becken inkludieren**, da die Sitzbalance sonst nicht wiederhergestellt werden kann und speziell bei Sensibilitätsstörungen Decubitalulcera im Bereich der Sitzbeinhöcker bzw. des Kreuzbeins drohen. Kranial werden lange paralytische Kurven meist bis zum **2. Brustwirbel** instrumentiert, da hier stärkere Querfortsätze als an den Nachbarwirbeln eine sichere Verankerung ermöglichen (*Asher et al. 1990*). Eine Ausnahme dieser Regel bietet der Querschnittgelähmte mit kräftiger Muskulatur der oberen Extremitäten, da hier eine zu weit nach oben reichende Fusion die Mobilität des oberen Rumpfes und des Armgürtels einschränken kann.

Die reine dorsale Fusion und Instrumentierung reicht im Gegensatz zu den idiopathischen Skoliosen lediglich bei geringgradigeren und mobilen Krümmungen aus; **bei höhergradigen Skoliosen ist dabei die Pseudarthrosegefahr sehr groß; daher hat sich in diesen Fällen das kombinierte ventrodorsale Verfahren etabliert.**

### Historische Entwicklung

Eine erfolgreiche operative Behandlung von Lähmungsskoliosen wurde erstmals durch die Einführung der instrumentierten dorsalen Spondylodese von *Harrington 1962* ermöglicht. Die Harringtonimplantate bildeten etwa ein Vierteljahrhundert den „Gold Standard“ der dorsalen Skoliosekorrekturen. *Dwyer* gab 1969 die erste ventrale Skolioseinstrumentierungstechnik an, die hauptsächlich für thorakolumbale und lumbale Krümmungen sowie beim Vorliegen dorsale Defekte (Meningokele) eingesetzt wurde. Dabei erfolgte die Korrektur nach vollständiger Bandscheibenausräumung von der Konvexseite durch Kompression von quer in die Wirbelkörper eingebrachten Schrauben mittels Titankabel; damit konnten ausgezeichnete Korrekturen erzielt werden, Nachteil war allerdings ein kyphosierender Effekt im thorakolumbalen und lumbalen Bereich. Eine Fortentwicklung der ventralen

Spondylodese mit der Möglichkeit einer besseren Derotation stellte die „ventrale Derotationsspondylodese“ (VDS) dar (*Zielke 1976*).

Ein weiterer Meilenstein der dorsalen operativen Skoliose-therapie insbesondere bei Lähmungskurven war mit der „segmental spinal instrumentation“ (*Luque und Cardoso 1976*) erreicht. Die Fixation erfolgt dabei mittels konkav- und konvexseitig eingebrachter sublaminärer Drähte, die an 2 Stäbe fixiert werden; die Krümmungskorrektur erfolgt dabei hauptsächlich durch Translation, die Stäben werden L-förmig umgebogen. Mit dieser Technik war erstmals eine miederfreie Nachbehandlung möglich, was insbesondere bei Lähmungsskoliosen von großer Bedeutung ist. Das Prinzip der sublaminären Drähte wurde später auch von anderen Systemen übernommen (Harrington-Luque, Isola).

1984 wurde ein neues dorsales Instrumentierungssystem von *Cotrel und Dubousset* angegeben. Es ermöglicht eine stufenlose Fixation von Haken und Pedikelschrauben an 2 Stäben mit strukturierter Oberfläche, die definitive Stabilisierung erfolgt in Form einer Rahmenkonstruktion mit 2 Querstabilisatoren; diese Instrumentierung ermöglicht gleichfalls eine miederfreie Nachbehandlung.

Die weitere Entwicklung ist durch zahlreiche neue Implantatsysteme gekennzeichnet, die das Prinzip der dorsalen Rahmenkonstruktion und der segmentalen Fixation übernehmen, wobei Pedikelschrauben, Haken und sublaminäre Drähte in den Hintergrund drängen. Um das „Auffädeln“ der Schraubenköpfe zu erleichtern, werden hauptsächlich mobile Schraubenköpfe eingesetzt (Nuvasive, Exspidium...).

Einteilung neurogener Skoliosen nach Scoliosis Research Society (*Bradford und Hu 1995, Winter 1994*):

## 1. neuropathisch

- A. Oberes Motorneuron
  - 1. Zerebralparese
  - 2. Spinocerebelläre Degeneration
    - a) Friedreich-Ataxie
    - b) Morbus Charcot-Marie-Tooth
    - c) Morbus Roussy-Levy
  - 3. Syringomyelie
  - 4. Rückenmarkstumor
  - 5. Rückenmarkstrauma
- B. Unteres Motorneuron
  - 1. Poliomyelitis
  - 2. andere virale Myelitiden
  - 3. Trauma
  - 4. Spinale Muskelatrophie
    - a. Typ Werdnig-Hoffmann
    - b. Typ Kugelberg-Welander
  - 5. Dysatonomie (Riley-Day-Syndrom)

## 2. myopathisch

- A. Arthrogrypose
- B. Muskeldystrophie
  - 1. Typ Duchenne (maligne Beckengürtelform)
  - 2. Typ Becker-Kiener (benigner Beckengürteltyp)
  - 3. Typ Erb (Facioscapulohumeraler Typ)
- C. Dysproportionaler Fasertyp
- D. Kongenitale Hypotonie

## E. Dystrophia myotonica (Curshman-Steiner)

### **Skoliose bei infantiler Cerebralparese**

Nach *Rosenthal et al. 1974* besteht eine 38%ige Skolioseinzidenz bei ICP. Die schwersten Krümmungen treten thorakolumbal mit Beckenschiefstand und Hüftluxation *auf (Samilson und Bechard 1973)*. Die Prognose der Skoliose steht in enger Beziehung zum Grad **der Entwicklung von Gleichgewichts – und Stellreaktion**. Je größer der motorische Entwicklungsrückstand ist, desto stärker ist die Skoliosetendenz (*Robson 1968*). **Auch nach Wachstumsabschluss droht bei Krümmungen über 50° eine signifikante Progredienz (Thometz und Simon 1988)**. Die Krümmung ist entweder C-förmig langbogig im Sinne einer "Collapsing Spine" oder doppelbogig, wobei insbesondere die C-förmige Skoliose mit einem **Beckenschiefstand** assoziiert ist (*Madigan und Wallace 1981*).

*Bonnet et al.* stellten nach 13 Fällen mit Harrington-Spondylodese fest, dass auch die schweren Skoliosen bei der ICP eine möglichst umfassende Instrumentierung und Fusion benötigen; mit der Kombination Dwyer-Harrington erzielten sie dann stabile Korrekturen von ca 60%. Die Mehrzahl der Autoren plädiert heute bei rigiden ausgeprägten Krümmungen und bei allen Patienten mit athetoider Komponente für eine **kombinierte dorsoventrale Spondylodese (Bonnet et al. 1976, Moe 1972, Leatherman und Dickson)**. *Suk et al. 1993* erreichten bei dorsaler Spondylodese mit Cotrel-Dubousset eine Korrektur von 45%, bei kombinierter ventraler-dorsaler Instrumentierung (Zielke-CD) eine Korrektur von 58%. *Lonstein und Akbarnia* fanden bei der Evaluierung der operierten ICP-Patienten von Minneapolis 1983 eine Komplikationsrate von 81% mit Druckstellen, Wundheilungsstörungen, Implantatproblemen, Korrekturverlust, 17% Pseudarthrosen, 5% Infektionen, 0,9% Paraplegien und 2,7% Tod. Da ICP-Patienten nicht selten an epileptischen Anfällen leiden und unter antiepileptischer Einstellung stehen, sollte erwähnt werden, dass insbesondere Valproinsäure die Blutungszeit verlängert und daher die antiepileptische Einstellung rechtzeitig präoperativ geändert werden sollte. Falls dies nicht möglich ist, sollten Thrombozytenkonzentrate zur Verfügung stehen.

Enttäuschend war, dass nur bei 24 von 107 PatientInnen eine funktionelle Verbesserung zu verzeichnen war. *Lonstein und Akbarnia* sehen die Hauptindikation zur Op im **drohenden Verlust der Sitzfähigkeit**.

Diese Zahlen zeigen, dass speziell bei der Skoliose im Rahmen der infantilen Cerebralparese eine strenge Indikationsstellung notwendig ist.

### **Syringomyelie**

Die Skolioseinzidenz bei Syringomyelie wird zwischen 64% (*Huebert und McKinnon 1969*) und 82% angegeben. Die Form der Skoliose gleicht jener **der idiopathischen Skoliose**, aber die **Progredienz ist stärker**. Es handelt sich meist um thorakale Krümmungen (*Vanden Brink und Edmonson 1980*). Bei einer "idiopathischen" Skoliose mit ausgeprägter Progredienz sollte an eine Syringomyelie gedacht (*Zielke 1985*) und diese durch ein MR ausgeschlossen werden.



### **Skoliose nach Poliomyelitis**

Es können zwei Typen von Skoliose auftreten: Krümmungen auf Basis einer asymmetrischen Lähmung (Parese der Muskulatur auf der Konvexseite) und langbogige Skoliosen, die den ganzen Rumpf einschließen ("**Collapsing Spine**"), bedingt durch eine massive symmetrische Lähmung (*Leong et al. 1981*). Die Skolioseinzidenz beträgt bis zu 30% (*Colonna 1941, James 1956*), wobei sie von der Art des Muskelbefalls abhängen dürfte: bei Rumpfbeteiligung und Befall der oberen Extremitäten bis zu 80%, bei Befall allein der Beinmuskulatur nur etwa 20% (*Colonna 1941*). Lumbale Kurven bleiben länger mobil als thorakale; hochthorakale Kurven haben die schlechteste Prognose (*James 1956*).

Bei asymmetrischen Kurven erscheint ab 20 Grad eine Miedertherapie indiziert; **Kurven über 40 Grad und "Collapsing Spine"-Krümmungen sollten fusioniert werden** (*Leong et al. 1981*).

Bei alleiniger dorsaler Instrumentierung und Spondylodese besteht eine hohe Pseudoarthrosengefahr (mehr als 25%, *Bonnett et al. 1975*). Aus diesem Grunde empfiehlt sich **die kombinierte dorsoventrale Fusion**. *O'Brien et al.* erreichten 1975 mit der Dwyer-Technik eine Korrektur von 77% mit gleichzeitiger Korrektur der Gegenkrümmung von 60%; eine dorsale Harrington-Spondylodese beider Krümmungen wurde angeschlossen und verbesserte die Korrektur der Gegenkrümmung auf 78%.

### **Meningocele**

Die Skolioseinzidenz wird, abhängig von der Höhe der Parese und dem letzten intakten Wirbelbogen zwischen 50 und 70% angegeben (*Banta und Becker 1986, Shurtleff et al. 1976*). **In 15-18% tritt eine Kyphose auf**, häufig mit massiver Progredienz bereits im frühen Kindesalter (*Banta und Hamada 1976*). Sowohl Skoliose als auch Kyphose können als kongenitale (kurzbogig, rigid) oder paralytische Krümmung imponieren. Speziell bei Kyphosen, aber auch bei Skoliosen sind **fehlende Wirbelbögen, hypoplastische Gelenke und laterale Orientierung der Pedikel charakteristisch, weiters ein hypoplastisches Becken und schlechte Weichteildeckung über dem Apex der Krümmung** (*Banta 1990*).

Infolge der komplexen Problematik ist die operative Behandlung schwierig, Pseudoarthrosenraten werden bei dorsaler Fusion bis zu 42% angegeben (*Sriram et al. 1972*). Infolge der häufig fehlenden dorsalen Elemente ist die Meningocelenskoliose eine Domäne der ventralen Instrumentierung und Fusion. Im Rahmen der zusätzlichen dorsalen Instrumentierung können bei fehlenden Wirbelbögen neben Pedikelschrauben auch Pedikeldrähte gelegt werden (*Banta 1990*).

Patienten mit Myelodysplasie können eine **Latexallergie** bis hin zum anaphylaktischen Schock entwickeln; das Risiko steigt mit der Zahl der durchgeführten Eingriffe. Es empfiehlt sich daher das Arbeiten mit latexfreien Materialien (*Halm 1996*).

### **Skolise bei spinaler Muskelatrophie**

Während die infantile Form Werdnig-Hoffmann früh zum Tode führt, zeigt die juvenile Form Kugelberg-Welander eine bessere Prognose. Die Skolioseinzidenz bei dieser Form beträgt etwa 60% (*Phillips et al. 1990*).

Mit einer Miederbehandlung kann eine Operation im Allgemeinen nicht verhindert werden (*Hormozan et al. 1982*), evtl. kann der Op-Zeitpunkt bis ins Ende der Wachstumsperiode hinausgeschoben werden. *Evans et al.* empfehlen 1981 die Operation bei einer **Krümmung von 60 Grad**. In letzter Zeit geht die Tendenz zu eher früherer Operation, um eine frühzeitige

Verschlechterung der Lungenfunktion hintanzuhalten. Bei leichteren Krümmungen dürfte die dorsale Instrumentierung und Fusion ausreichen, bei stärkerer thorakolumbaler Krümmung und bei Beckenschiefstand ist die ventrale Discektomie kombiniert mit dorsaler Spondylodese bis zum Becken in Galvestontechnik indiziert (*Leatherman und Dickson*).

Neben pulmonalen Komplikationen (Pneumonien, Atelektasen), die sehr häufig auftreten (*Hormozan et al. 1982*) wird als postoperatives Problem auch ein **Verlust der Kopfkontrolle** beschrieben (*Shapiro und Bresnan 1982*).

Die Korsettbehandlung erscheint wenig erfolgversprechend, höchstens kann der Operationszeitpunkt etwas hinausgezögert werden.

Die Spondylodese erscheint bei Krümmungen zwischen 40-60° indiziert (*Bradford und Hu 1995*). Als Nachteil schafft sie einen langen Hebelarm, den die geschwächte Muskulatur nur schwer kontrollieren kann. Die rigide, aber dafür stabile Wirbelsäule verbessert jedoch den Gebrauch der oberen Extremitäten (*Furumasu et al. 1989*). Dennoch erreichen die Patienten auch nach 5 Jahren postoperativ nicht den präoperativen Funktionsstatus (*Brown et al. 1988*).

### **Skoliose bei Friedreich-Ataxie (spinocerebellare Degeneration)**

Die Erkrankung tritt zwischen 6. und 20. Lebensjahr auf und zeigt eine Skolioseinzidenz von 75% (*Shapiro und Bresnan 1982*). Klinisch ist sie durch die cerebellare (**Dysarthrie, Ataxie, Nystagmus**) und spinale Komponente (**gestörte Lage- und Vibrationsempfindung, Hohlfüße**) gekennzeichnet. Fast immer besteht eine **Kardiomyopathie**. Die Patienten werden selten älter als 30 Jahre.

Die Skoliose ist in zwei Drittel der Fälle mit einer **verstärkten Kyphose** kombiniert (*Labelle et al. 1986*). Am häufigsten sind strukturelle rechtskonvexe thorakale/linkslumbale Doppelkrümmungen vertreten, während die typische thorakolumbale Lähmungsskoliose mit Beckenschiefstand deutlich seltener ist. Wahrscheinlich ist nicht die Muskelschwäche, sondern die **Ataxie mit Gleichgewichtsstörungen** für die Entstehung der Skoliose verantwortlich. Bei früherem Auftreten der Erkrankung ist die Progredienz signifikant stärker; bei Manifestation einer Krümmung vor der Pubertät resultiert immer eine schwere progrediente Skoliose. Krümmungen über 40 Grad bei frühem Krankheitsbeginn sollten daher einer Spondylodese unterzogen werden (*Labelle et al. 1986*).

Mit einer geringeren Inzidenz können auch Skoliosen bei peripheren Neuropathien auftreten; bei der Peronealen Muskelatrophie Charcot-Marie-Tooth werden 10% angegeben, höher bei der Hypertrophen Polyneuritis Dejerine-Sotta mit ataktischer Komponente (*Shapiro und Bresnan 1982*).

### **Lähmungsskoliose nach Rückenmarksverletzung im Wachstumsalter**

Nach Querschnittsverletzungen im Kindesalter entwickeln sich in der Mehrzahl **progrediente langbogige Skoliosen**, deren Prognose hauptsächlich vom Verletzungsalter abhängig ist; bei einem Verletzungsalter unter 10a muss meist eine schwere Skoliose erwartet werden. Die Höhe der Läsion spielt keine wesentliche Rolle; in der sagittalen Ebene kommt es meist zum Auftreten einer langbogigen thorakolumbalen Kyphose. Miederbehandlung kann die Skolioseentwicklung im Allgemeinen nicht aufhalten (*Lancourt et al. 1981*)

### **Skoliose bei Arthrogrypose**

Die Skolioseinzidenz bei der Arthrogrypose wird mit 20% angegeben (*Herron et al. 1978*). Meist entwickeln sich langbogige thorakolumbale Krümmungen mit Einschluss des Beckens

und lumbaler Hyperlordose; erschwerend sind die **Hüftkontrakturen**, die bereits **frühe Rigidität der Skoliose und die rasche Progredienz**. Fallweise kommt es auch zum Auftreten struktureller thorakaler Krümmungen auf Basis einer kongenitalen Anomalie; diese müssen wie kongenitale Skiosen behandelt werden, evtl. mit ventrodorsaler Keilresektion (*Leatherman und Dickson 1979*). Infolge ihrer Rigidität müssen auch die langbogigen Krümmungen ventrodorsal kombiniert korrigiert werden. **Pulmonale Probleme** treten bei der Arthrogrypose besonders häufig auf.

### **Skoliose bei Duchenne Muskeldystrophie**

Wirbelsäulendeformitäten treten selten in der Phase der Gehfähigkeit auf. Gegen Ende der Gehfähigkeit entwickelt sich jedoch häufig eine signifikante, noch mobile **lumbale Hyperlordose** durch die Schwäche des Glutaeus maximus. Solange das Kind gehen kann, behindert ein Mieder nur (*Shapiro und Bresnan 1982*).



Der Tod tritt als Folge einer Ateminsuffizienz durch die Muskelschwäche, **die begleitende Kardiomyopathie** und auch die progrediente Skoliose ein. In der **Rollstuhlphase entwickeln über 90% ein progrediente Skoliose** (*Galasko und Dettaney 1995*). Obwohl die Progredienz in der Rollstuhlphase durch spezielle Schalen-oder Miederversorgung aufgehalten werden kann (*Read et al. 1983*), erscheint die **frühe operative Skoliosebehandlung (zu Beginn der Rollstuhlphase)** angezeigt, um einer raschen Verschlechterung der Lungenfunktion vorzubeugen. Eine Vergleichsstudie operierter und nichtoperierter Patienten zeigt nach 5 Jahren eine signifikant verringerte Lungenfunktion sowie einen deutlich höheren Anteil bereits Verstorbener in der Gruppe ohne Spondylodese (79% versus 44%, *Galasko und Delenay 1995*).

Bei frühzeitiger Operation ist der dorsale Eingriff ausreichend. Bei einer Vitalkapazität unter 30% ist die Op wegen der schweren kardiopulmonalen Probleme kontraindiziert (*Gibson et al. 1978*). **Präoperativ sind eine exakte Lungenfunktionsuntersuchung inklusive arterieller Blutgase, ein großer Gerinnungsstatus und eine genaue cardiale Untersuchung wegen der häufigen begleitenden Kardiomyopathie mit EKG-Veränderungen obligatorisch**. Infolge der Kontraktionsstörungen (und damit des reduzierten Verschlusses der intramuskulären Gefäße durch die geschwächte und fibrosierte Muskulatur) kann der **Blutverlust deutlich erhöht** sein. Die begleitende **Osteoporose** kann die Operation ebenfalls erschweren.

Patienten mit Duchenne-Muskeldystrophie können eine **maligne Hyperthermie** mit fatalem Ausgang entwickeln; obligat sollte daher ein triggerfreies Narkoseverfahren gewählt werden, beim Auftreten einer malignen Hyperthermie ist Dantrolene das Antidot der Wahl (*Forst et al. 1991*).

Bei leichteren Formen der Muskeldystrophie (Becker, Extremitätenform) muss bedacht werden, dass die Patienten mit beträchtlicher lumbaler Hyperlordose und Trendellenburggang ihre Balance und Gehfähigkeit erhalten. Eine Spondylodese kann daher das Gehen erschweren; evtl. kann vor einer geplanten Fusion das Gehen in einem Mieder versucht und somit der Zustand nach Spondylodese simuliert werden.

### **Rettsyndrom**

Die Kinder lernen gehen, aber nicht sprechen; die Skoliose im Rahmen des Rettsyndroms ist als neurogene Skoliose aufzufassen; sie tritt früher auf und weist auch eine stärkere Progredienz auf als die idiopathische Skoliose sowie die meisten anderen neurogenen Skoliosen. Frühe Hypotonie, Schwäche und Muskelinsuffizienz deuten auf eine schlechte Prognose hin (*Lidström et al. 1993*).

### **Konservative Behandlung**

Generell stellt die Lähmungsskoliose eine ungünstige Indikation zur Miederbehandlung dar; als Gründe sind die gestörte Muskelfunktion, die rasche Progredienz und in einem Teil der Fälle die gestörte Sensibilität mit erhöhter Gefahr von Druckstellen anzuführen.

Im angloamerikanischen Raum kommt auch heute noch vorzugsweise das Milwaukeeemieder nach *Blount und Schmitt* zum Einsatz (*Bradford und Hu 1995*). In Europa hat das Cheneaukorsett eine weitere Verbreitung (*Cheneau und Gaubert 1986*). Vor allem bei höhergradigen Skoliosen zeigt unserer Erfahrung nach das Umkrümmungsmieder nach *Lukeschitsch und Meznik* eine recht gute Wirksamkeit (*Huber 1994*).

Insgesamt muss bei der Miederversorgung einer neurogenen Skoliose bedacht werden, dass eine **rein passive Wirkung** im Sinne einer Rumpfabstützung erreicht wird. Außerdem erfolgt die Miederversorgung nicht wie bei der idiopathischen Skoliose zur Vermeidung einer Operation, sondern lediglich **zum Hinausschieben des Operationszeitpunktes**, um im Alter von etwa 12 Jahren die definitive Instrumentationsspondylodese durchzuführen (*Bunch 1975, Nash 1980*).

Bei höhergradigen Lähmungsskoliosen mit Gehunfähigkeit kann eine **Sitzschalenversorgung** angezeigt sein; zur Vermeidung einer Progredienz durch einen besseren Schluss der Facettegelenke empfiehlt sich eine Einstellung in verstärkter Lordose (*Murri*).

**An operativen Verfahren** (bei den neurogenen Skoliosen häufig kombiniert) stehen in der Therapie der Lähmungsskoliosen zur Verfügung:

#### ventrale Verfahren

- Discektomie-offen oder thorakoskopisch
- mobilisierende ventrale Wirbelsäulenosteotomie
- ventrale instrumentierte Spondylodese
- vaskularisierte Rippenspanabstützung ( *Bradford*)

#### dorsale, Verfahren

- mobilisierende dorsale Wirbelsäulenosteotomie
- instrumentierte dorsale Spondylodese

#### kombinierte Verfahren

- komplette Vertebrektomie ( *Bradford*)

### Verfahren zur Beckenfixation

Galveston (Allen und Ferguson)  
Dunn-bei Meningoceledeformität  
Ileumschrauben  
( AxiaLIF)

## Prinzipien der operativen Behandlung von Lähmungsskoliosen

### **Präoperative Korrektur**

Die Vorextension hat insgesamt in den letzten Jahren an Bedeutung verloren, hat aber bei hochgradigen und sehr rigiden Krümmungen immer noch ihre Indikation. Ihre Wirkung liegt sicherlich nicht in einer Verbesserung der Endkorrektur, sondern in einer allmählichen und somit **schonenden Aufdehnung** mit **Minimierung des neurologischen Risikos**, in einer **präoperativen Verbesserung der Lungenfunktion**, die bei schwerer Reduktion der Lungenfunktion eine Operation erst ermöglicht.

Die Extension erfolgt in allen Fällen mittels des Haloringes, der etwa 1cm cranial der Augenbrauen bzw. der Spitze der Ohrfläppchen (unterhalb der größten Zirkumferenz des Schädels) mit 4 Pins angebracht wird. Die vorderen Pins werden im Bereich der lateralen 2/3 der Augenbrauen (Cave medial N. supraorbitalis, lateral A. temporalis ), die hinteren ca 1cm hinter der Ohrmuschel eingedreht und mit einem Drehmomentschlüssel fixiert. Der Abstand des Ringes zum Kopf soll 1-2cm betragen.

Heute gelangt meist die Halo-Wheelchair-extension mit einer Zugkraft bis zu 20 kp zum Einsatz, in der Nacht wird das Bett schräggestellt und der Zug ein Drittel reduziert (*Scheier und Grob 1990*).

Täglich muss eine neurologische Kontrolle erfolgen (Augenbewegungen, N. facialis, N. hypoglossus, obere und untere Extremitäten). Bei Bettlägerigkeit empfiehlt sich die Halo-femorale Extension, im Falle eines Beckenschiefstandes mit einseitigem Zug mittels supracondylären Steinmannagels.

Die Halo-Pelvic-Extension (*o'Brien et al. 1973*) ist durch teils schwere Komplikationen belastet (Infektionen im Beckenbereich, höhergradige degenerative Veränderungen im Cervikalbereich) und hat ihre Bedeutung verloren.

### **Erstellen des Behandlungsplanes**

- 1) Anfertigung der notwendigen Röntgen Standaufnahmen pa (Reduktion der Strahlendosis auf Mamma) und seitlich (bei Lähmungsskoliosen oft Sitzaufnahmen), Extensionsaufnahmen pa und seitlich, Bendingaufnahme zur Konvexität und Konkavität
- 2) vorbereitende Untersuchungen
  - Lungenfunktion
  - kardiologische Untersuchung ( Muskeldystrophie, Friedreich)
  - Vorbehandlung mit Bronchodilatoren, Bronchialtoilette (*Winter 1994*)
  - präoperative Maskenbeatmung ( Muskeldystrophie-*Bradford und Hu*)
  - präoperative Hyperalimentation bei kataboler Stoffwechsellaage
- 4) Vorextension mit Halo
- 5) Reduktion der intra-und postoperativ notwendigen Bluttransfusionen
  - Eigenblutabnahme
  - isovolämische Akuthämodilution
  - korrekte Lagerung mit völlig freiem Abdomen (Skolioserahmen)

kontrollierte Hypotension  
maschinelle Autotransfusion mittels Cellsaver  
Erythropoietin  
ev. Umstellung von Antiepileptika (Valproinsäure!)

- 6) evozierte Potentiale
- 7) Doppellumentubus zum Kollabieren der Lunge bei ventralen transthorakalen Eingriffen
- 8) operativer Behandlungsplan

**Bei leicht-bis mittelgradigen mobilen Krümmungen ohne Beckenbeteiligung genügt die dorsale Spondylodese und Instrumentierung;** Nach der Harringtonregel sollten die oberen und unteren in der Fusion liegenden Wirbel in der "stabilen Zone" liegen, das entspricht der Zone zwischen den von den Gelenken L5/S1 ausgehenden Senkrechten (*Harrington 1962*). Mit den modernen Instrumentarien kann die Spondylodese caudal meist etwas kürzer gehalten werden (Endwirbel oder der Wirbel distal davon). Bei Einsatz der modernen Systeme (Exspidium, Nuvasive...) kann die Nachbehandlung im allgemeinen niederfrei erfolgen.

Bei der Notwendigkeit einer operativen Behandlung mehrere Jahre vor Wachstumsabschluss muss auch bei neuromuskulären Skoliosen bedacht werden, dass auch eine feste dorsale Fusionsmasse durch die Wachstumspotenz der Wirbelkörperreihe wiederum in die Verkrümmung und auch progrediente Rotation wachsen kann (**Crankshaft-Phänomen**, *Jackson et al. 1993*). Sollte die Spondylodese bei Risser 0 oder 1 erfolgen, so muss auch bei mobilen Krümmungen eine ventrale Fusion mit Zerstörung der Ringapophysen dem dorsalen Eingriff vorangehen.

Bei rigiden langstreckigen Skoliosen empfiehlt sich als erster Schritt die Discektomie mit sorgfältiger Anfrischung von Deck- und Grundplatten über eine Thorakophrenolombotomie. Als Alternative zur offenen Discektomie wird die videoskopisch assistierte Discektomie über 4 Zugänge angegeben, mit der bis zu 8 Bandscheiben ausgeräumt werden können. Infolge der geringeren Traumatisierung erleichtert dieses Vorgehen die einzeitig angeschlossene dorsale Spondylodese. Bei ausgewählten Patienten kann aber auch nach offener Discektomie ein einzeitiges ventrodorsales Vorgehen erfolgen (*Powell et al. 1994*). Alternativ kann im Rahmen der offenen Bandscheibenausräumung gleichzeitig eine ventrale Instrumentierung eingesetzt werden. Die Korrektur erfolgt dabei nach Einbringen von Schrauben quer in den Wirbelkörper (meist von End-zu-Endwirbel) mittels Kompression über 1 oder 2 Stäbe; die Bandscheibenausräumung und Instrumentierung erlaubt eine bessere Derotation und eine höhere Stabilität, Nachteile sind die aufwendigere Operation, die Unmöglichkeit der Instrumentierung bis zum Sacrum und damit der höhere Stress auf die caudalsten Segmente und die Behinderung einer weiteren dorsalen Korrektur. Eigene Erfahrungen mit der Kombination VDS-dorsale Instrumentierung mit Isolasytem idiopathischer Kurven zeigten, dass eine etwa 10% Korrektur auch nach VDS bei der dorsalen Instrumentierung noch möglich ist (*Lack et al. 1993*). Zur Vermeidung einer Kyphosierung des thorakolumbalen Überganges sollten strukturelle grafts in die ausgeräumten thorakolumbalen Bandscheibenräume eingebracht werden.

### **Ein wichtiger Einsatzbereich der ventralen Instrumentierung ist die Meningocele mit fehlenden dorsalen Elementen.**

Bei knöchernen Hindernissen der Korrektur wie Spangenbildungen, sekundär synostosierte Wirbelgelenken oder Rippen kann eine suffiziente Aufrichtung nur nach **Osteotomie** in Höhe der Bandscheiben bzw. zwischen den Bogenwurzeln erreicht werden. Fallweise müssen diese Osteotomien in mehreren Ebenen durchgeführt werden; wenn auch nach den Osteotomien nicht ausreichend korrigiert werden kann, empfiehlt sich eine interkurrente Haloextension vor der Spondylodese.

Bei extrem rigiden Krümmungen kann mit der Discektomie oder der Osteotomie alleine keine ausreichende Korrektur erzielt werden. Erst durch eine **komplette Vertebroektomie nach Bradford** wird die Korrektur ermöglicht. Dabei werden zunächst von ventral die Wirbelkörper im Scheitelbereich dargestellt; mit einem breiten Meißel wird von 2-3 Wirbelkörpern ein Deckel aus Periost, Cortikalis und Anulus fibrosus abgehoben und gestielt belassen; der übrige Wirbelkörper wird inklusive Bogenwurzeln reseziert, die Spongiosa locker auf das hintere Längsband aufgelegt und der Deckel wieder geschlossen. Im dorsalen Eingriff werden ca 2 Wochen später die korrespondierenden dorsalen Elemente inklusive der angrenzenden Rippenanteile reseziert; im gleichen Eingriff erfolgt die gesamte dorsale Spondylodese und Instrumentierung.

Verbleibt nach der Instrumentierung einer Kyphoskoliose noch eine stärkere thorakale oder thorakolumbale kyphotische Krümmung, so muss eine **ventrale Abstützung ("Strut-graft")** angeschlossen werden. Dafür eignet sich die Technik des **vaskularisierten Rippenspanes nach Bradford** am besten. Als Vorteile bietet diese Op eine relativ einfache Technik, die Vermeidung der Ligatur der Segmentalgefäße und den raschen knöchernen Einbau in etwa 2 Monaten. Der Zugang erfolgt transthorakal konkavseitig, die Rippe wird unter Erhalt der angrenzenden Interkostalmuskulatur mit dem Gefäßstiel präpariert, dann im Bereich des Angulus costae subperiostal umfahren und unter Erhalt der Gefäße abgezwickelt; der Gefäßstiel wird dann noch weiter nach dorsal mobilisiert, sodass die Rippe nach Schaffen einer Nut in den abstützenden Wirbelkörpern eingefalzt werden kann.

**Zusammenfassend sehen *Bradford und Hu* die Indikation für ein vorhergehendes ventrales Vorgehen in folgenden Fällen:**

1. kontrakter Beckenschiefstand
2. strukturelle Kyphose > 70°
3. fixierte Skoliose > 80° mit Flexibilität 50%
4. inakzeptabel hohes Pseudarthrosenrisiko (adulte Skoliose mit Fusion bis zum Sacrum)
5. Risiko eines Crankshaft-Phänomens

## Zugänge

### 1) dorsaler Zugang

Lagerung mit freiem Abdomen zur Reduktion des intraabdominellen Druckes (Re1ton-Hall-Rahmen, Gipsrahmen, Kunststoffrahmen) . Der Hautschnitt erfolgt genau median und nicht entlang der Linie der Dornfortsätze .Die Durchtrennung der Subcutis und der Fascie empfiehlt sich mittels Diathermie, die Fascie wird über den Dornfortsätzen durchtrennt, die Muskulatur wird dann mit Raspatorium und Diathermie von den Wirbelbögen bis zur Spitze der Quer-bzw. Rippenfortsätze abgelöst. Bei Kindern und Jugendlichen werden die knorpeligen Dornfortsatzapophysen zusammen mit den interspinalen Bändern gespalten. Anschließend erfolgt die Höhenlokalisation mit Röntgen oder Bildwandler. Die Präparation erfolgt thorakal von caudal nach cranial, lumbal von cranial nach caudal.

### 2 ) Thorakophrenolumbotomie nach Hodgson

Mit diesem Standardzugang in der ventralen Skoliosechirurgie kann die Wirbelsäule von Th9 bis zum Sacrum erreicht werden. Es wird prinzipiell von der Konkavseite zugegangen. Der Patient wird auf der Konkavseite mit rechtwinkelig gebeugtem konvexseitigem Arm gelagert. Der Hautschnitt erfolgt von dorsal nahe der Medianlinie über der 9. oder 10. Rippe bis zum Rippenknorpel, dann schräg in Richtung der segmentalen Nerven nicht zu weit nach ventral bis zwischen Nabel und Symphyse. Anschließend werden Latissimus dorsi und Serratus

anterior mit der Diathermie durchtrennt, caudal die Bauchmuskelschichten in der Faser-  
richtung des Obliquus externus. Nach Durchtrennung des Transversus abdominis wird der  
Peritonealsack stumpf nach vorne abgeschoben und dadurch Psoas und LWS freigelegt; der  
Ureter bleibt am Peritonealsack.

Cranial wird nun die 9. oder 10. Rippe freigelegt (cranial von dorsal nach ventral, caudal  
umgekehrt), unterfahren, ventral im Rippenknorpelbereich abgetrennt, angehoben und dorsal  
mit der Rippenschere abgezwickelt. Der Thorax wird eröffnet und aufgespreizt und der Rippen-  
knorpel der resezierten Rippe mit dem Messer durchtrennt (er dient später als Orientierungs-  
punkt). Nun wird das Peritoneum stumpf von der Diaphragmaunterfläche abgeschoben; mit  
der Diathermie wird das Zwerchfell bogenförmig unter Belassung von ca 2cm am Rippen-  
ansatz durchtrennt, zur Markierung können korrespondierende Teile angeschlungen werden.  
Auf diese Weise wird die Verbindung der Darstellung des thorakalen mit dem lumbalen  
Wirbelsäulenanteil erreicht. Der linke Zwechellschenkel muss durchtrennt werden. Im  
Thoraxbereich wird die Pleura parietalis etwa in der Mitte über den Wirbelkörpern längs-  
gespalten, im Lumbalbereich wird der sympathische Grenzstrang nach dorsal abgeschoben  
und die Psoasursprünge werden im Bandscheibenbereich abgelöst.

Bei Discektomie können die segmentalen Gefäße geschont werden, bei Instrumentierung  
muss die Ligierung erfolgen. Cave im Thorakalbereich auf den Ductus thoracicus. Die Prä-  
paration der Wirbelkörperreihe beginnt man am besten über den Bandscheiben mit Schere  
und kleinem Stieltupfer.

### 3) Thorakolumbaler Wirbelsäulenzugang mit zweifacher Thorakotomie(Bauer)

Dieser Zugang wird bei Notwendigkeit einer sehr ausgedehnten Darstellung der Wirbel  
cranial im Bereich der BWS gewählt (Th4 bis Sacrum). Der Hautschnitt erfolgt etwa in Höhe  
der 5. oder 6. Rippe, der dorsale Haut-Subcutislappen wird bis zum Erreichen der 10. Rippe  
abpräpariert. Nach Durchführung des oben beschriebenen Zuganges nach Hodgson wird der  
craniale Anteil des durchtrennten M. latissimus dorsi weit nach craniodorsal abpräpariert und  
eine intercostale Thorakotomie im 5. oder 6. ICR durchgeführt.

### Prinzipien der Instrumentierung

Die Mehrzahl der folgenden Richtlinien gelten prinzipiell für die meisten der vorliegenden  
Instrumentierungssysteme.

Bei der dorsalen Instrumentierung kann eine Verbindung von Längselementen (in der  
Skoliosechirurgie immer Stabsysteme) mit der Wirbelsäule durch Haken, Pedikelschrauben  
und Drähte erfolgen.

#### Haken:

- Laminahaken
- Pedikelhaken, jeweils offen oder geschlossen
- Transversushaken

Durch Kombination zweier Haken im gleichen oder angrenzenden Segment kann eine sehr  
feste Verankerung am Wirbel erzielt werden (als Standard laminotransversale "Claw" am  
gleichen Wirbel), die in allen Richtungen belastbar ist. Diese **Claw** eignet sich v.a. am  
cranialen Ende der Instrumentierung mit geschlossenen Haken.

#### Schrauben

Der Einsatz von Pedikelschrauben im Lumbalbereich hat sich auch in der Skoliosechirurgie  
durchgesetzt; der Einsatz im Thorakalbereich nimmt allmählich zu, kann aber im Scheitel-

bereich infolge der Rotation beträchtliche technische Schwierigkeiten aufweisen. Mit segmental eingebrachten Pedikelschrauben kann eine gute Derotation erzielt werden. Pedikelschrauben können optimal in Richtung einer Distraction oder Kompression belastet werden, die geringste Widerstandskraft gegen Auszug weisen sie in bei Belastung in ihrer Längsrichtung auf; bei kyphotischer Komponente empfiehlt sich daher die Sicherung gegen Auszug durch zusätzlichen Laminahaken oder sublaminären Draht.

### Drähte

- sublaminäre Drähte
- Subpars-Drähte (nach lateral unter den Gelenksfortsatz gezogen)
- Dornfortsatzdrähte (durch die Basis des Dorns gezogen)
- Titankabel (*Songer et al. 1991*)

Bei der Lähmungskoliose kommen meist größere Zugkräfte vor, sodass sich unbedingt der Einsatz von Doppeldrähten oder Titankabeln empfiehlt. Drähte eignen sich hervorragend für eine Skoliosekorrektur durch Translation (nur konkavseitig eingebracht) oder für die Korrektur einer Lordose, die segmental an den in Kyphose vorgebogenen Stab herangezogen werden kann. An den Endpunkten einer Krümmung sind sie nicht angebracht. Mit sublaminären Drähten kann praktisch keine Derotation erzielt werden, günstiger sind hier Subparsdrähte.

Prinzipiell kann festgestellt werden, dass langbogige flexible Krümmungen besser durch Translationskräfte (Drähte) korrigiert werden, kurzbogige anguläre Deformitäten eher durch Distraction.

Die longitudinalen Elemente müssen zum Erzielen einer stabilen Rahmenkonstruktion immer mit 2-3 Querstabilisatoren verbunden werden.

### Beckenfixation

- Galvestontechnik
- Dunnteknik
- Ileumschrauben
- AxiaLIF
- (Sakrumschrauben)

Biomechanische Untersuchungen zeigten die Verankerung mittels Sakralschrauben als die am wenigsten belastbare, auch wenn zusätzlich Schrauben in S2 eingebracht werden (*Camp et al. 1990*). Diese Verankerung sollte daher bei langstreckigen Spondylodesen mit ihrem langen Hebelarm vermieden bzw. mit anderen Techniken ergänzt werden. Als Standardtechnik gilt die Methode nach Galveston, bei der die entsprechen vorgebogenen Stäbe 6-8 cm im Bereich der Spina posterior in das Becken eingebracht werden. Die Eintrittsstelle ist am Unterrand der Spina iliaca posterior superior, dies entspricht der Höhe von S2. Die Technik des Vorbiegens erfordert mehrere Schritte und ist nicht einfach, der Blutverlust aus dem Becken im Verlauf der weiteren Operation darf nicht unterschätzt werden! Als Alternative können Ileumschrauben zum Einsatz kommen, die nach Vorbohren und Gewindeschneiden eingebracht und mit sog. "Eye-Rods" verbunden werden.

Eine neuere Technik der lumbosakralen Fixation langstreckiger Spondylodesen stellt das AxiaLIF dar; dabei wird eine Schraube in perkutaner Technik vom Vorderrand des Sakrums durch die Bandscheibe L5/S1 in den 5. Lendenwirbel eingebracht, die Technik kann auch von sakral bis L4 erweitert werden; die Bandscheibe wird mit Spezialinstrumenten ausgeräumt und im Sinne einer interkorporellen Fusion mit Knochenmaterial aufgefüllt;

dadurch kann eine sehr stabile zusätzliche Stabilisierung des lumbosakralen Überganges erreicht werden (*Lack et al. 2010*).

Die Fixationstechnik nach Dunn, bei der die vorgebogenen Stäbe nicht im Becken, sondern an der Vorderfläche der Ala des Sakrums lokalisiert werden, empfiehlt sich zur Korrektur einer Lumbalkyphose bei der Meningocele (*Bauer et al. 1991*).

Beim Vorbiegen der Stäbe in der Sagittalebene muss folgendes bedacht werden: die Wirbelsäule weist einen geraden Bereich zwischen Th 11 und L1 auf; cranial geht sie in eine immer stärker werdende Kyphose über, caudal in die zunehmende Lordose (der Biegeradius wird jeweils proximal und distal kleiner). Der dorsalste Punkt wird bei Th5-6, der ventralste Punkt bei L3-4 erreicht (*Asher et al. 1991*).

Das Vorgehen bei einer thorakolumbalen Kyphoskoliose mit Beckenschiefstand: zuerst Verankerung des konvexseitigen Stabes in Galvestontechnik sowie in S1 und L5; im Thorakalbereich werden die vorgelegten Drähte über dem Stab angezogen und der Stab in die Claw (meist in Th2) eingebracht; dadurch wird das Becken in die Korrekturstellung (und bei entsprechendem Vorbiegen) in Flexion gekippt. Nach Setzen der konkavseitigen Verankerungen Galveston konkavseitig mit kurzem Stab, Verlängerung nach thorakal. Die thorakolumbal konkavseitig vorgelegten Drähte werden nun angezogen und dadurch die Translationskorrektur in der Frontalebene erzielt. Abschließend Distraction konkavseitig und damit Vollendung der Korrektur des Beckenschiefstandes.

#### **Das Vorgehen bei einer lumbalen Lordoskoliose mit Beckenschiefstand:**

hier wird zunächst der konkavseitige Stab (mit Verlängerung-die Stäbe müssen sich dabei überlappen, um eine Distractionskorrektur zu ermöglichen) eingebracht, er wird thorakal mit 2-3 Claws fixiert; durch das Anziehen der konkavseitig vorgelegten Drähte wird sowohl die Skoliose als auch die Hyperlordose korrigiert. Mit den konkavseitigen Stäben (ebenfalls überlappend) erfolgt die Endkorrektur durch Kompression, während konkavseitig distrahert wird (*Asher und Orcicki 1992*).

Die Spondylodese selbst erfolgt durch Entknorpelung der lumbalen und thorakalen Facettengelenke, Aufmeißeln der Wirbelbögen von medial nach lateral sowie Übersichtung mit spongiösen Chips aus dem Becken, evtl. nach vorangegangener ventraler Discektomie; aus der resezierten Rippe werden Knochenchips hergestellt, bei langstreckigen Fusionen muss mit Bankknochen gemischt werden.

*Hardacker et al.* berichten 1993 von einer Skoliosekorrektur von 69° auf 27 Grad Cobb und einer Korrektur des Beckenschiefstandes von 30° auf 7° mit Isola-System bei infantiler Cerebralparese.

#### **Behandlung des Beckenschiefstandes bei der Lähmungsskoliose**

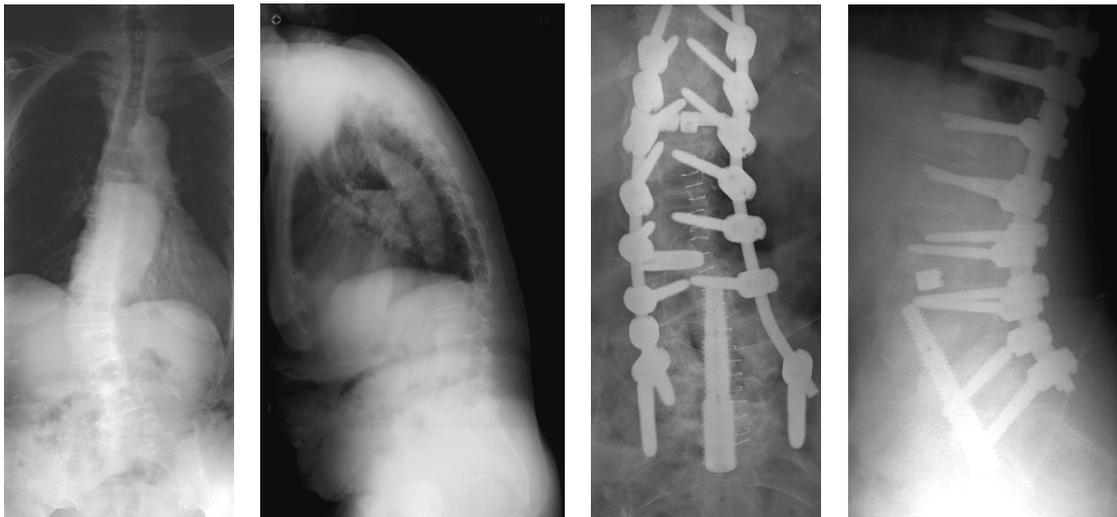
Prinzipiell kann ein Beckenschiefstand durch **Beinlängendifferenz, Ab- oder Adduktionskontraktur der Hüften oder durch eine strukturelle Skoliose** bedingt sein. Bei Lähmungsskoliosen spielen häufig alle drei möglichen Ursachen eine Rolle. Die Ursachen im speziellen Fall müssen genau evaluiert und entsprechend behandelt werden, Kontrakturen durch Release des Tractus iliotibialis oder der Adduktoren, skoliosebedingter Beckenschiefstand durch Spondylodese bis zum Becken. Kontrakturen sollten vor der Skolioseoperation beseitigt werden.

*Dubousset* unterscheidet 1973 die reguläre Beckenobliquität, bei der Wirbelsäule und Becken in allen Ebenen des Raumes die gleiche Richtung aufweisen und die gegensinnige

Beckenobliquität mit entgegengesetzter Richtung von Wirbehäule und Becken. Die Notwendigkeit einer Fusion bis zum Becken besteht demnach bei gegensinniger Beckenobliquität oder im Falle einer regulären Beckenobliquität bei stärkerer Kippung des Beckens als der Lendenwirbelsäule.

Nach *Winter und Pinto* führt eine Spondylodese bis L4 oder L5 bei deutlichem Beckenschiefstand praktisch nie zum gewünschten Erfolg! **Bei gleichzeitig vorliegender Hüftluxation sollte zuerst die Skoliose behandelt werden** (*Winter und Pinto 1986*).

Im Falle einer möglichen Korrektur des Beckenstandes in Extensions- bzw. Bendingaufnahmen genügt die dorsale Fusion bis zum Becken; andernfalls ist vorher eine anteriore Discektomie mit interkorporeller Fusion notwendig. Dadurch wird einerseits eine höhere Flexibilität der Krümmung erzielt, andererseits die Pseudarthrosegefahr durch die ventrale Fusion verringert. Ventrale Implantate weisen das Problem auf, dass unproblematische Instrumentierungen infolge der Iliakalgefäße nur bis L4 möglich sind. Reicht die Instrumentierung aber nur bis L4, gerät die schwierig zu behandelnde Strecke L4 bis S1 unter größeren Stress mit erhöhter Pseudarthrosegefahr (*O'Brien und Yau 1972*). Hier kann die **interkorporelle Stabilisierung und Fusion mittels AxiaLIF L4-S1** eine wertvolle Ergänzung bilden!



Die Galvestontechnik gilt bei langstreckigen Spondylodese bis zum Becken allgemein als Therapie der Wahl. Liegt in der Sagittalebene keine Hyperlordose vor, muss durch das adäquate Vorbiegen der Stäbe eine Kyphosierung der LWS und damit ein "Flatback-syndrom", das sich besonders bei langstreckiger Fusion fatal auswirken kann, verhindert werden.

*Asher et al.* empfehlen 1990 bei Verwendung der Galvestontechnik mit dem Isola-Instrumentarium die gleichzeitige Schraubenfixation im Sacrum mittels S1-Schrauben. Die Fixation der Schrauben an den vorgebogenen Stäben ist allerdings schwierig. Ein Restbeckenschiefstand  $>20^\circ$  kann durch eine Beckenosteotomie korrigiert werden (*Lindseth* entfernt Keil aus dem Os ilium und setzt ihn auf der anderen Seite ein (*Millis und Hall-Salter*-Typ-Osteotomie)).

## Ergebnisse

Verschiedene Autoren berichten bei alleinigem dorsalen Zugang mit verschiedenen Instrumentationssystemen über eine durchschnittliche Skoliosekorrektur von 50% (*Luque 1989-50%*, *Swank et al.* mit SSI 53%, *Metz und Zielke 1982* mit SSI 47%, *Hopf et al.* mit CD 51%, *Halm et al. 1995* mit CD 50%). Bei kombiniertem ventrodorsalen Vorgehen liegt die durchschnittliche Korrektur bei 60% (*Brown et al. 1982* mit Dwyer und Harrington 60%, *Liljenquist et al. 1996* mit VDS und Münsteraner Posterioem Doppelstab System 64%).

## Operationen am wachsenden Skelett

Bei ausgeprägten und/oder stark progredienten Deformitäten im Wachstumsalter besteht die Gefahr eines sogenannten „Crankshaft“-phänomens, einer Progredienz der Krümmung trotz eingetretener knöcherner Fusion (Knochen ist lebendes Gewebe und auch als Fusionsmasse den beeinflussenden Kräften unterworfen!). Bei Näherung an das Ende des Wachstums kann die kombinierte dorsoventrale Spondylodese ein stärkeres asymmetrisches Wachstum rein vorne oder hinten verhindern; die heutigen segmentalen Instrumentierungstechniken bringen weiters hohe Korrekturkräfte auf die Wirbelsäule, die das neuerliche Wachsen in die Deformität verhindern können („Overpowering of Crankshaft-phenomenon“).

Bei schweren Krümmungen im Alter bis etwa 10a bringt der Versuch einer definitiven Versteifung allerdings große Probleme. Es wurden daher OP-Verfahren entwickelt, die eine „Schienung“ der Wirbelsäule ohne Versteifung ermöglichen sollen; Grundprinzip ist der „wachsende Harringtonstab“, der eine Distraction bedingt, die allerdings ca. alle 6 Monate „nachgestellt“ werden muss. In weiterer Folge wurden auch 2 Stäbe mit sublaminären Drähten („**Luque-Trolley**“) eingesetzt. **Diese Techniken zeigen mehrere Nachteile:** zunehmende Rigidität der Verkrümmung, ungewollte knöcherne Versteifung v.a. im Bereich der Krümmungsenden, ungenügende Beachtung der sagittalen Krümmung (Kyphose oder Lordose), erhöhte Luxationsgefahr der Implantate, erhöhte Infektionsgefahr durch gewisse Instabilität).

Ein neueres Verfahren stellt die **VEPTR-Technik** dar (vertical expandable vertebral prosthetic rib). Hierbei erfolgt eine Distraction zwischen Rippen an der Konkavseite, evtl. auch am Beckenkamm. Auch hier muß ca alle 6 Monate distrahiert werden, ca 5mm, der Einsatz kann ein-oder beidseitig erfolgen. Die Vorteile gegenüber den „wachsenden Stäben“ sind Verbesserung der Brustkorbdeformität und damit auch der Lungenfunktion, gute Korrektur auch des Beckenschiefstandes, geringere Rigiditätsentwicklung der Verkrümmung. Leider ist auch bei dieser Technik wie bei allen nicht fusionierenden Verfahren die Komplikationsrate relativ hoch: Druckstellen an der Haut, Luxationen, Infektionen und junktionale Kyphosen am oberen Implantationsende).

## Komplikationen

Paralytische Skoliosen weisen infolge der häufig präoperativ reduzierten Lungenfunktion, der meist längeren Operationsdauer und der bei einigen vorher manifesten Kardiomyopathien (Duchenne, Friedreich) ein höheres allgemeines Operationsrisiko auf als andere Skolioseformen. **Bei massiv reduzierter Lungenfunktion kann eine präoperative Atemtherapie, eine schonende Extensionsbehandlung und evtl. eine präoperative Tracheotomie notwendig sein** (*Scheier und Grob 1990*).

Der Prozentsatz tödlicher Komplikationen in der Skoliosechirurgie ist zwar insgesamt sehr klein (0,43% in einer Studie der Groupe d'etude de la Scoliose, *Du Peloux et al. 1970*), kann aber bei hochgradigen Skoliosen und höherem Operationsalter beträchtlich steigen (5,6% nach *Stagnara et al. 1970*). **Die beste Prophylaxe gegen schwere und tödliche Komplikationen ist die rechtzeitige Durchführung der Spondylodese!**

Die schwerwiegendste Komplikation in der Skoliosechirurgie ist nach dem letalen Ausgang des Eingriffes die irreversible Querschnittslähmung. Ursache der medullären Symptome ist in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Drosselung der Rückenmarksdurchblutung durch Distraction und nicht eine direkte mechanische Traumatisierung des Rückenmarks. Heftige Diskussionen wurden und werden immer noch um den Einsatz sublaminärer Drähte geführt. Dabei muss prinzipiell festgestellt werden, dass die neurologische Gefährdung nicht im Einsatz der sublaminären Drähte besteht, sondern im Unverständnis des pathogenetischen Mechanismus des Verhältnisses der Distraction zur Translationskorrektur: **wird vor dem Anziehen der Drähte in größerem Ausmaß distrahiert, kommt es zur massiven Dehnung der neuralen Elemente; eine Distraction darf daher erst nach der Translationskorrektur erfolgen!**

Der Prozentsatz schwerer neurologischer Komplikationen (inkomplette und komplette Paraplegie) wird in einer Sammelstudie der Scoliosis Research Society mit der Harrington-instrumentation mit 0,72% angegeben (*MacEwen et al, 1975*). Die Autoren vermuten aber eine höhere Inzidenz neurologischer Komplikationen. Das Risiko ist bei vorbestehender neurologischer Schädigung, Kyphose und hochgradiger Skoliose erhöht. Als wesentliche Prophylaxe neurologischer Schäden zählen nach wie vor der **"Wake-up-Test"** nach Stagnara (*Vauzelle et al. 1973*) sowie verschiedene Techniken des „Spinal Cord Monitoring“. Der Aufwachtest birgt den Nachteil, dass er in der Regel erst am Ende der Instrumentation durchgeführt wird und eventuelle Traumatisierungen, die vorher im Laufe des Eingriffes erfolgten, erst spät erkannt werden. Wichtig ist es, den Aufwachtest erst ca 10 Minuten nach maximaler Distraction durchzuführen, da sonst falsch positive Ergebnisse auftreten können (*Zielke und Pellin 1975*).

Spinal Cord Monitoring kann entweder in Form der somatosensorisch evozierten Potentiale (SSEP), der motorisch evozierten Potentiale (MEP), oder der neurogenic motor evoked potentials (NMEP) erfolgen (*Krismer und Bauer 1991*). Das System besteht aus Stimulationseinheit, Verstärker der evozierten Potentiale und computergesteuertem Mittelwertrechner. Stimulation und Ableitung können entweder epidural oder peripher erfolgen. Speziell beim Monitoring neuromuskulärer Skoliosen scheinen einkanlig abgeleitete SSEP alleine zu viele falsch positive Resultate zu zeigen, bei diesen Patienten werden mehrkanalige Ableitungen und zusätzlich motorisch evozierte Potentiale empfohlen (*Ashkanaze et al. 1993, Owen et al. 1995*).

Ein **Hämatothorax bzw. Hämatopneumothorax** kann bei dorsalen Eingriffen nach Rippenresektionen oder -osteotomien auftreten. Er erfordert das Legen einer Thorax-drainage.

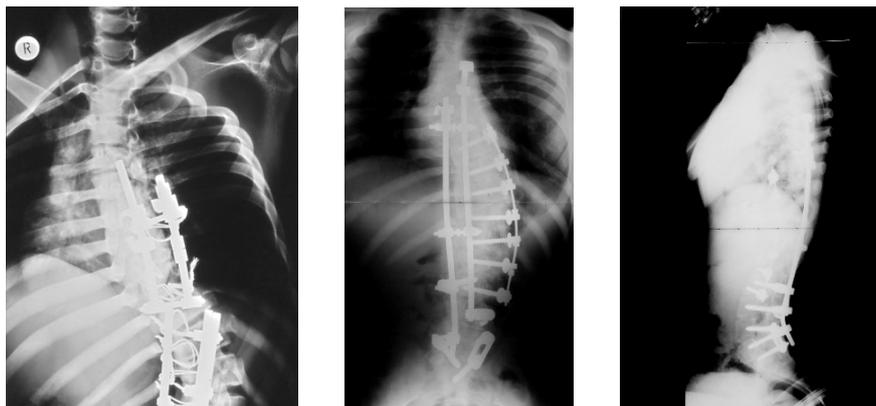
Zu den wenig bekannten Komplikationen in der Skoliosechirurgie gehört das sogenannte **"Cast-Syndrom"** (Spinal Traction Syndrom); es ist durch Erbrechen, Völle -und Spannungsgefühl im Oberbauch und im weiteren Verlauf durch Auftreten eines Ileus gekennzeichnet. Ursächlich werden postoperative Motilitätsstörungen des Magen-Darmtraktes durch intraoperative Reizung der Nn. splanchnici sowie (eher unwahrscheinlich) eine Kompression des Duodenum durch die A. mesenterica superior angenommen. Als Prophylaxe hat sich die dreitägige rein parenterale Ernährung nach dorsaler Distractionsspondylodese sowie das Vermeiden aller Medikamente, die die Darmmotilität herabsetzen, bewährt (*Meznik et al. 1978*). Therapeutisch empfiehlt sich ein konservatives Vorgehen mit Einlegen einer Magensonde, Korrektur der Elektrolyt-und Flüssigkeitsbilanz und Einsatz von Parasympathicomimetika.

Das intra-und postoperative **Infektionsrisiko** ist in der Gruppe der neurogenen Skoliosen

infolge der längeren OP-Zeit und des häufig schlechteren Allgemeinzustandes ebenfalls höher als bei den idiopathischen Skoliosen. Bei Auftreten einer tiefen Infektion ist die ehestmögliche Revision mit sorgfältigem Debridement und Anlegen einer Saugspüldrainage unter Belassung der Implantate indiziert; die durch die Implantate erzielte Stabilität dürfte sich günstig auf den Verlauf der Infektion auswirken; eventuell müssen mehrmals hintereinander Wunddebridements erfolgen.

Auch die Zahl der **Implantatversager und Pseudarthrosen** übertrifft bei den paralytischen Deformitäten die der anderen Skolioseformen. Dies erklärt sich aus der ungenügenden muskulären Stabilisierung, der schlechten Durchblutung des Spangebietes bei gelähmter Muskulatur, der schlechten Ausbildung des Beckens als Transplantatlager und der hohen mechanischen Belastung der Spondylodese (*Scheier und Grob 1990*). Die reine dorsale Spondylodese der Polioskoliosen zeigte fast 30% Pseudarthrosen (*Bonnet et al. 1975*). Stabbrüche müssen allerdings nicht unbedingt eine Pseudarthrose anzeigen, speziell bei Kyphoskoliosen kann es auch nach Eintreten des knöchernen Durchbaues zu einem Ermüdungsbruch kommen.

Eine manifeste Pseudarthrose erfordert die Revision mit Anfrischung der Fusionsmasse und Reinstrumentierung, evtl. auch eine zusätzliche vordere Spondylodese.



Bei der Revision muss die gesamte Fusionsmasse sorgfältig freigelegt und auf mobile Spaltbildungen untersucht werden, da die präoperative Pseudarthrosenlokalisation nur bei sehr beweglichen Pseudarthrosen in Form der Funktionsaufnahmen erfolgreich ist. Eigenen Erfahrungen zufolge ist die Skelettszintigraphie in der Pseudarthrosendiagnostik der Wirbelsäule nicht hilfreich, und auch die konventionelle Tomographie ist nur in einem Teil der Fälle aufschlussreich. Die Dünnschichtcomputertomographie einer langen Fusionsstrecke verursacht eine massive Strahlenbelastung. Bei starkem Korrekturverlust sollte eine neuerliche Aufrichtung durch Osteotomien angestrebt werden.

Für die ventralen Eingriffe wird in an einer Gruppe von 1223 Patienten eine direkt operationsbezogene Komplikationsrate von 11,5% angegeben (*Faciszewski et al. 1995*). Sehr selten traten dabei in Übereinstimmung mit den Erfahrungen anderer Autoren (*Zielke 1983*) schwere Komplikationen auf (0,3% Tod, 0,2% Paraplegie, 0,6% tiefe Infektion). Als zugangsspezifische Komplikationen sind Lungenatelektasen, Hämato- und Hämato-pneumothorax zu nennen, sehr selten der Chylothorax durch Verletzung des Ductus thoracicus; von *Nakai und Zielke* wird 1986 beim Chylothorax eine zumindest dreiwöchige konservative Behandlung mit Thoraxdrainage empfohlen. Besonders bei Präparationen im Lumbalbereich kann es durch Schädigung des sympathischen Grenzstranges zum Sympathektomieeffekt mit Hyperthermie des entsprechenden Beines kommen. Eigenen

Erfahrungen nach ist diese Hyperthermie auch mehrere Jahre postoperativ vorhanden; meist stört jedoch die Patienten das "Kältegefühl" im anderen Bein. Sehr selten sind abdominale Hernien, Verletzungen großer Gefäße, Verletzungen des lumbalen Plexus oder des Ureters bei lumbalen Zugängen und retrograde Ejakulation bei lumbosacralen Zugängen.

## Literatur

Allen B.L., Ferguson R.L.:

The Galveston technique for L rod instrumentation of the scoliotic spine  
Spine 7,276,1982

Asher M., Carson W.L., Heinig C., Strippgen W., Arendt M., Lark R., Hartley M.:

A modular spinal rod linkage system to provide rotational stability.  
Spine 13, 272, 1988

Asher A. M., Strippgen W. E, Heinig C. F., Carson W. L. :

Isola Spinal Implant System-Principles and Practice  
Lowell Press, 1990

Asher M.A, Strippgen W.E., Heinig C.F., Carson W L:

Isola spinal implant system: Principle and practice  
Cleveland, Acromed 1991

Asher M.A, Orrick J.:

An improved technique for the correction of severe pelvic obliquity in the cerebral palsy patient  
Poster, European Spinal Deformities Society, Lyon 1992

Ashkanaze D., Mudiyaam R., Boachie-Adjei O., Gilbert C.:

Efficacy of spinal cord monitoring in neuromuscular scoliosis  
Spine 18, 1627, 1993

Banta J.V., Hamada T.S.:

Natural history of the kyphotic deformity in myelomeningocele  
J. Bone Jt. Surg. 58, 279, 1976

Banta J.V., Becker G.J.:

The natural history of scoliosis in myelomeningocele  
Orthop. Transact. 10, 918, 1986

Banta J.V.:

Combined Anterior and Posterior Fusion for Spinal Deformity in Myelomeningocele  
Spine 15, 946, 1990

Bauer R., Kerschbaumer F., Poisel S.:

Operative Zugangswege in Orthopädie und Traumatologie  
Thieme, Stuttgart-New York 1986

Bauer R., Kerschbaumer F., Poisel S.:

Orthopädische Operationslehre, Band I, Wirbelsäule  
Thieme, Stuttgart-New York 1991

Bonnett C.B., Perry J., Nickel V.L, Walinski T., Brooks L, Hofer M., Stiles Claire, Brooks Rose:

Evolution of Treatment of Paralytic Scoliosis at Rancho Los Amigos Hospital.  
J. Bone Jt. Surg. 57-A, 206, 1975

Bonnet C,B., Brown J.C. ,Grow T.:  
Thoracolumbar scoliosis in cerebral palsy: results of surgical treatment  
J. Bone Jt. Surg.58-A, 328,1976

Bradford D.S., Ganjavian S., Antonius D., Winter R.B., Moe J.H. :  
Anterior strut grafting for treatment of kyphosis  
J. Bone Jt. Surg. 64-A, 680, 1982

Bradford D.S.:  
Vertebral column resection  
Orthop.Trans. 11, 502, 1987  
Bradford D.S.:  
Vertebral column resection  
Orthop.Trans. 11, 502, 1987

Bradford D.S., Hu S.S.:  
Neuromuscular Spinal Deformity.  
in: Lonstein J.E., Bradford D.S., Winter R.B., Ogilvie .W. :Moe' s Textbook of  
Scoliosis and other Spinal Defomities.  
W.B. Saunders Company, 3rd edition, 295-333, 1995

Brown J.C., Swank S., Specht L.:  
Combined Anterior and Posterior Spine Fusion in Cerebral Palsy.  
Spine 7, 570-573, 1982

Brown J. C., Zeller J. L, Swank S. M., Furumasu J., Warath S. L. :  
Surgical and Functional Results of Spine Fusion in Spinal Muscular Atrophy  
Spine 14, 763, 1988

Bunch W.H.:  
The Milwaukee Brace in Paralytic Scoliosis.  
Clin. Orthop. 110, 63-68, 1975

Camp J.F., Caudle R., Ashmun RD., Roach J.:  
Immediate Complications of Cotrel-Dubousset Instrumentation to the  
Sacro-Pelvis; a Clinical and Biomechanical Study  
Spine15, 932, 1990

Cheneau J., Gaubert J.:  
Zur Entwicklung des Cheneau-Korsetts.  
Orthop. Techn. 8, 443-447, 1986

Colonna P.C., vom Saal F.:  
A Study of Paralytic Scoliosis based on 501 Cases of Poliomyelitis.  
J. Bone Jt. Surg. 23, 335-353, 1941

Cotrel Y.,Dubousset J.:  
Nouvelle technique d'osteosynthese rachidienne segmentair par voie  
Posterieur Rev. Chir. orthop. 70, 489,1984

Dubousset J.:

Pelvic obliquity: a 3-dimensional entity  
Proceeding Ges. Paris, 1973

Du Peloux J., Cotrel Y., Guillaumot M., Cxliaz H., Salanova C., Michel  
G.R., Desbrosses J.:  
Complication par-et postoperatoires precoces du Harrington  
G.E.S., Lyon, 1970

Dwyer A.F., Newton N.C., Sherwood A.A.:  
An anterior approach to scoliosis  
Clin. Orthop. 62,192, 1969

Evans G.A, Drennan J.C., Russmann B.S.:  
Functional classification and orthopaedic management of spinal muscular  
atrophy  
J. Bone Jt.Surg. 63-B 516, 1981

Faciszewski T., Winter R.B., Lonstein J.E., Denis F., Johnson Linda  
The Surgical and Medical Perioperative Complications of Anterior Spinal  
Fusion Surgery in the Thoracic and Lumbar Spine in Adults  
Spine 20, 1592, 1995

Forst R., Kronchen-Kaufmann A., Forst J.:  
Duchenne Muscular Dystrophy-Contracture Operations of the lower  
Extremities with special Reference to Anaestheologic Aspects.  
Klin. Pädiatrie 203, 24-27, 1995

Furumasu J., Swank Susan, Brown J.C., Gilgoff Irene, Warath Sandra, Zeller J. :  
Functional Activities in Spinal Muscular Atrophy Patients after Spinal  
Fusion  
Spine 14, 771, 1989

Galasko C.S.B., De1aney C.:  
Scoliosis and Lung Function in Duchenne Muscular Dystrophy  
J. Bone Jt. Surg. 77-B Supp .II, 155, 1995

Gibson D.A, Koreska J., Robertson D., Kahn A., Albisser A.M.:  
The Management of Spinal Deformity in Duchenne's Muscular Dystrophy  
Orthop. Clin. North America,9 ,437 ,1978

Halm H.,Castro W.H.M.,Liljenquist U.:  
VDS-Doublerod Instrumentation: 2-Year Results in Thoracolumbar Scoliosis  
J. Bone Jt. Surg. 77 -B Supp. II, 155, 1995

Halm H.:  
Behandlung der Lähmungsskoliose.  
Skriptum zum ASG-Fortbildungskurs, Wiesbaden 1996

Hardacker J., Asher M., Orrick Jane:  
An improved Method for Correction of severe Spinal Deformity in the  
Cerebral Palsy Patient  
Abstracts 28. Meeting Scoliosis Research Society,15, 1993

Harrington P.R.:  
Treatment of Scoliosis: Correction and Internal Fixation by Spine  
Instrumentation.  
J. Bone Jt. Surg. 44-A, 591, 1962

Harrington P.R.:  
The spine in the handicapped child, in: M.Asher (Hrsg.): Collected Writings, 100-108, Lowell  
Press,  
Kansas City, 1992

Herron LD., Westin G.W., Dawson E.G.:  
Scoliosis in arthrogryposis multiplex congenita  
J. Bone Jt. Surg. 60-4, 293, 1978

Hodgson AR., Yau AC.M.C.:  
Anterior surgical approaches to the spinal column in: Apley AG.: Recent Advances in  
Orthopaedics  
Williams and Wilkins, Baltimore 1964

Hopf Ch., Rompe J.D., Heine J.:  
Indikation und Ergebnisse der operativen Behandlung neuromuskulärer Skoliosen.  
Z. Orthop . 130, 46-51, 1992

Hormozan A., Bowen J.R., MacEwen G.D., Hall J.E.:  
Spine Fusion in Patients with Spinal Muscular Atrophy  
J. Bone Jt.Surg. 64-A, 1179, 1982

Huebert H.T., MacKinnon W.B.:  
Syringomyelia and scoliosis  
J. Bone Jt. Surg. 51-B, 338, 1969

Jackson Linda, Banta J.V., Smith B.A:  
Crankshaft Phenomenon in Neuromuscular Scoliosis  
Abstracts 28. Meeting Scoliosis Research Society, 207, 1993

James J.I.P.:  
Paralytic scoliosis  
J. Bone Jt. Surg. 38-B, 660, 1956

Krismer M., Bauer R.:  
Die operative Behandlung der Skoliose  
in: Springonrm H.W., Katthagen B. D. ( Hrsg): Aktuelle Schwerpunkte in  
Orthopädie und Traumatologie, Thieme, Stuttgart 1991

Labelle H., Tohme S., Duhaime M., Allard P.:  
Natural History of Scoliosis in Friedreich's Ataxia  
J. Bone Jt. Surg. 68-A, 564, 1986

Lack W., Eyb R., Krugluger J.:  
Isola in Scoliosis Instrumentation  
In: instrumentation of Thoracolumbosacral Spinal Disorders, Kansas City, 1993

W.Lack, A.Zeitlberger, M.Nicolakis  
AxiaLIF as anterior support in long-distance fusions  
Eur Spine J, 19:2052-2053, 2010

Lancourt J.E., Dickson J.H., Carter R E. :  
Paralytic spinal deformity following traumatic spinal-cord injury in  
children and adolescents  
J. Bone Jt. Surg 63-A, 47, 1981

Leatherman KD., Dickson RA:  
Two stage corrective surgery for congenital deformities of the spine.  
J. Bone Jt. Surg. 61-B, 324, 1979  
Leong J.C.Y., Wilding K, Mok C.K, Ma A, Chow S.P., Yau AC.M.C.:  
Surgical Treatment of Scoliosis following Poliomyelitis  
J. Bone Jt. Surg. 63-A, 726, 1981

Lidström J., Stokland E., Hagberg B.:  
Scoliosis in Rett's Syndrome-Clinical and Biological Aspects  
Abstracts 28. Meeting der Scoliosis Research Society, 111, 1993

Liljenquist U:  
One-to Three Year Results of Treatment of Neuromuscular Scoliosis with  
the Münster Posterior Couplerod System.  
First International Conference on MADS and MPDS, Münster, 1996

Lonstein J.E , Akbarnia B.A.:  
Operative Treatment of Spinal Deformities in Patients with Cerebral Palsy  
or Mental Retardation  
J. Bone Jt.Surg., 65-A, 43, 1983

Luque ER, Cardoso R.:  
Segmental Correction of Scoliosis with Rigid Internal Fixation  
11th annual Meeting of Scoliosis Research Society, Ottawa 1976

Luque E.R.  
The correction of postural curves of the spine  
Spine 7, 270,1982

Luque E.R.:  
Segmental Spinal Instrumentation (SSI) bei neuromuskulären Skoliosen.  
Orthopäde 18, 128-133, 1989

MacEwen G.D., Bunnell W.P., Sriram K.:  
Acute neurological complications in the treatment of scoliosis. A report of  
the Scoliosis Research society  
J. Bone Jt. Surg. 57-A, 404, 197 5

Madigan R.R., Wallace S.L:  
Scoliosis in institutionalized Cerebral Palsy Population.  
Spine 6, 583-590, 1981

Metz P., Zielke K.:

Erste Ergebnisse der Operation nach Zielke.  
Z. Orthop. 120, 333 -337, 1982

Meznik F., Pflüger G., Zhuber K., Zekert F.:

Zur Entstehung und Behandlung des sogenannten "Cast-Syndroms" nach  
Skolioseoperationen  
Z. Orthop. 113, 174, 1975

Moe J.H.:

Methods of correction and surgical techniques in scoliosis  
Orthop. Clin. North Am. 3, 17, 1972

Mostegl A., Bauer R.:

Intraoperative Überwachung von Wirbelsäuleneingriffen  
Orthopäde 18, 155, 1989

Nakai S., Zielke K.:

Chylothorax-A Rare Complication after Anterior and Posterior Spinal  
Correction  
Spine 11, 830, 1986

Nash C.L.:

Current Concepts Review: Scoliosis Bracing.  
J. Bone Jt .Surg. 62-A, 848-852, 1980

O'Brien J.P., Yau AC.:

Anterior and posterior correction and fusion for paralytic scoliosis  
Clin. Orthop. 86, 151, 1972

O' Brien J.P., Yau AC.M.C., Hodgson AR:

Halo Pelvic Traction: a Technic for severe Spinal Deformities  
Clin. Orth. 93, 179, 1973

O' Brien J.P., Yau AC.M.C., Gerubein S., Hodgson AR:

Combined Staged Anterior and Posterior Correction and Fusion of the Spine  
in Scoliosis Following Poliomyelitis  
Clin. Orthop. 110, 81, 1975

Owen J.H., Sponseller P.D., Szymanski J.:

Efficacy of Multimodality Spinal Cord Monitoring During Surgery for  
Neuromuscular Scoliosis  
Spine 20, 1480, 1995

Phillips Donna P., Roye D.P., Farcy J.P.C., Leet Arabella, Shelton Yvonne A:

Surgical Treatment of Scoliosis in a Spinal Muscular Atrophy Population  
Spine 15, 942, 1994

Powell E.T., Krenkel W.F., King H.A, Lagrone O. :

Comparison of Same-Day Sequential Anterior and Posterior Spinal Fusion  
with Delayed Two-Stage Anterior and Posterior Spinal Fusion  
Spine 19, 1256, 1994

Read L. , Ellis A, Crawshaw.L, Gordon N.S., Noronha M., Galasko C.S.B.:  
Scoliosis and other orthopaedic problems in Duchenne muscular atrophy  
J. Bone Jt. Surg. 65-B, 221, 1983

Robson P.:  
The prevalence of scoliosis in adolescents and young adults with cerebral palsy  
Def. Med. Child. Neurol. 1A, 447, 1968

Rosenthal R.K, Levine D.B., McCarver C.L.:  
The occurrence of scoliosis in cerebral palsy  
Dev. Med. Child Neurol. 76, 664, 1974

Samilson R., Bechard R.:  
Scoliosis in cerebral palsy: incidence, distribution of curve patterns, natural history and thoughts on etiology  
Curr. Pract. Orthop. Surg. 5, 183, 1973

Scheier H.J.G., Grob D.:  
Operative Behandlung der Skoliose  
in: Witt AN., Rettig H., Schlegel K.F.: Orthopädie in Praxis und Klinik  
Thieme, Stuttgart-New York 1990

Se-II Suk, Choon-Ki Lee, Hak-Jin Min, Yong-Jin Chung:  
Surgical Treatment of severe paralytic Scoliosis secondary to Poliomyelitis  
Abstracts 28. Meeting Scoliosis Research Society, 243, 1993

Shapiro F., Bresnan M.J.:  
Orthopaedic Management of Childhood Neuromuscular Disease. Part I: Spinal muscular atrophy.  
J. Bone Jt.Surg. 64-A, 785, 1982

Shapiro F., Bresnan R.J.:  
Orthopaedic Management of Childhood Neuromuscular Disease. Part 2-  
Peripheral Neuropathies, Friedreich' s Ataxia,and Arthrogryposis multiplex congenita  
J. Bone Jt.Surg. 64-A, 949, 1982

Shapiro F., Bresnan M.J.:  
Orthopaedic Management of Childhood Neuromuscular Disease. Part 3-  
Diseases of Muscle  
J. Bone Jt. Surg. 64-A, 1102, 1982

Shono Y.,Kaneda K.,Satoh S.,Abumi K:  
Anterior corection of thoracolumbar and lumbar scoliosis: Alteration of Spinal Alignements  
28th Annual Meeting of the Japanese Scoliosis Society, Kobe 1994

Shurtleff D.B., Goiney R,Gordon L. H., Livermore N. :  
Myelodysplasia. The natural history of kyphosis and scoliosis.  
Dev. Med. Child. Neurol. 18 (Suppl.37), 126, 1976

Songer M.N., Spencer D.L., Meyer P.R., Jayaraman G.:  
The Use of Sublaminar Cables to Replace Luque Wires  
Spine 16, 44, 1991

Sriram K., Bobechko W.P., Hall J.E.:  
Surgical management of spinal deformities in spina bifida  
J. Bone Jt. Surg. 54-B, 666, 1972

Stagnara P., Fleury D., Fauchet R., Mazoyer D., Biot B., Vauzelle C., Jouvinroux P.:  
Major Scoliosis in Adulthood, LTZ Cases treated by partial Reduction and  
Spine Fusion  
Reunion commune G.E.S.- SRS, Lyon, 1973

Swank S.M., Cohen D.S., Brown J.C.:  
Spine Fusion in Cerebral Palsy with L-rod Instrumentation. A Comparison  
between Single and two-stage combined approach with Zielke Instrumentation.  
Spine 14,750-759, 1989

Shapiro F., Bresnan R.J.:  
Orthopaedic Management of Childhood Neuromuscular Disease.Part 2-  
Peripheraal Neuropathies, Friedreichs Ataxia and Arthrogryposis multiplex  
congenita  
J. Bone Jt. Surg. 64-A, 949, 1982

Shapiro F., Bresnan M.J.:  
Orthopaedic Management of Childhood Neuromuscular Disease. Part 3-  
Diseases of Muscle  
J. Bone Jt. Surg. 64-A, 1102, 1982

Shono Y., Kaneda K., Satoh S., Abumi K:  
Anterior correction of thoracolumbar and lumbar scoliosis: Alteration of  
Spinal Alignements  
28th Annual Meeting of the Japanese Scoliosis Society, Kobe 1994

Shurtleff D.B., Goiney R, Gordon L.H., Livermore N.:  
Myelodysplasia. The natural history of kyphosis and scoliosis.  
Dev. Med. Child. Neurol. 18 Suppl.37), 126, 1976

Songer M.N., Spencer D.L., Meyer P.R., Jayaraman G.:  
The Use of Sublaminar Cables to Replace Luque Wires  
Spine 16, 44, 1991

Sriram K., Bobechko W.P., Hall J.E.:  
Surgical management of spinal deformities in spina bifida  
J. Bone Jt. Surg. 54-B, 666, 1972

Stagnara P., Fleury D., Fauchet R., Mazoyer D., Biot B., Vauzelle C., Jouvinroux P.:  
Major Scoliosis in Adulthood, 172 Cases Treated by partial Reduction and  
Spine Fusion  
Reunion commune G.E.S.- SRS, Lyon, 1973

Swank S.M., Cohen D.S., Brown J.C.:  
Spine Fusion in Cerebral Palsy with L-rod Instrumentation. A Comparison

between Single and two-stage combined approach with Zielke Instrumentation.  
Spine 14, 750-759, 1989

Thometz J.G., Simon S.R.:  
Progression of Scoliosis after skeletal Maturity in institutionalized  
Adults, who have Cerebral Palsy.  
J. Bone Jt. Surg. 70-A, 1290-1296, 1988

Turi M. Johnston C.E., Richards B.S.:  
Anterior correction of idiopathic scoliosis using TSRH instrumentation. Spine  
18, 417, 1993

Vanden Brink K.D., Edmonson AS.:  
The Spine, in: A.S. Edmonson, A. H. Crenshaw ( Hrsg. ) : Campbell' s operative  
orthopaedics, II, 1339, The C.V. Mosby Company, 1980

Vauzelle C., Stagnara P., Jouvinroux P.:  
Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery  
Clin. Orthop.93. 173, 1973

Winter R.B., Pinto W.C.:  
Pelvic Obliquity-its causes and its treatment  
Spine 11, 225, 1986

Winter S.:  
Preoperative Assesment of the Child with Neuromuscular Scoliosis.  
Orthop. Clin .North Am. 25, 239-246, 1994

Zielke K., Pellin B.:  
Das neurologische Risiko der Harrington-Operation  
Arch. orthop. Unfall-Chir. 83, 311, 1975

Zielke K:  
Ventrale Derotationsspondylodese.  
Arch. orthop. Unfallchir. 85, 257, 1976

Zielke K., Stunkat R., Beaujean F.:  
Ventrale Derotationsspondylodese. Vorläufiger Ergebnisbericht über 26  
operierte Fälle  
Arch. orthop. Unfall-Chir. 85, 257, 1976

Zielke K:  
Indikationen, Ergebnisse und Komplikationen der ventralen  
Derotationsspondylodese  
in: Bauer R. (Hrsg.) : Der vordere Zugang der Wirbelsäule, 109  
Thieme, Stuttgart, 1983

Zielke K:  
Persönliche Mitteilung, 1985