



Behandlung von frühkindlichen Skoliosen

Wo liegen die Grenzen?

Einleitung

Die Behandlung der als sog. Early-onset-Scoliosis (EOS) bezeichneten kindlichen Wirbelsäulen- und Thoraxdeformitäten stellt nach wie vor eine große Herausforderung für den behandelnden Orthopäden dar. Unbehandelt resultieren bei fortschreitender Deformität restriktive Ventilationsstörungen und Herzprobleme mit einer in der Konsequenz ansteigenden Mortalitätsrate [1]. Die Ideologie der frühzeitigen definitiven Fusion mithilfe instrumentierter Spondylodese basierte auf dem Gedanken „lieber eine kurze gerade, als eine lange verkrümmte Wirbelsäule“ und ist in Kenntnis der resultierenden Wachstumshemmung von Wirbelsäule und Thorax deshalb in heutiger Zeit nicht mehr zu vertreten.

Die normale Thoraxhöhe (ausgedrückt als Distanz von T1 bis T12) beträgt bei einem Neugeborenen 11 cm, im Alter von 5 Jahren 18 cm, mit 10 Jahren 22 cm und schließlich 26,5 cm bei der erwachsenen Frau, respektive 28 cm beim Mann [2]. Karol et al. wiesen nach, dass v. a. bei Spondylodese mit Einschluss der obersten Segmente der Brustwirbelsäule (T1–T3), die bei Kindern vor dem 9. Lebensjahr durchgeführt wurden, mit dem Auftreten einer relevanten restriktiven Ventilationsstörung zu rechnen ist [3]. Bei Patienten mit einer Thoraxhöhe von weniger als 18 cm zeigten sich in der Spirometrie Durchschnittswerte für die forcierte Vitalkapazität (FVC) von 48,2%. War die T1-bis-T12-Distanz zwischen 18–22 cm, lag der Wert bei 63% und bei einer Thoraxhöhe ≥ 22 cm fanden sich lediglich leichte restriktive Änderungen (FVC $> 80\%$). Basierend auf diesen Daten wird

heute eine Mindestzielgröße für die T1-bis-T12-Länge von 18 cm, idealerweise jedoch ≥ 22 cm angestrebt. Mit den verbesserten Erkenntnissen über die Reifung des Lungengewebes (Entwicklung des Bronchial- und Alveolarsystems im Alter von 8 Jahren abgeschlossen) und des Wachstums des Thorax (im Alter von 10 Jahren beträgt das Thoraxvolumen 50% des erwarteten Erwachsenenvolumens) sowie dem durch die Arbeiten von Campbell generierten Wissen über das Thorax-Insuffizienz-Syndrom wurde der lange Zeit allein auf die Wirbelsäule gerichtete Fokus neu definiert [4, 5]. Die Behandlungsziele richten sich heute neben der Korrektur der Wirbelsäulendeformität zusätzlich auf den Erhalt des weiteren Wachstums von Wirbelsäule und Thorax, um eine adäquate kardiopulmonale Entwicklung und Funktion gewährleisten zu können; idealerweise möglichst komplikationsarm mit einer minimalen Anzahl an operativen Interventionen.

Die Definition des Begriffs „Early-onset-Scoliosis“ war in den vergangenen Jahren uneinheitlich. Seit einer Übereinkunft 2015 der Scoliosis Research Society (SRS) umfasst er alle vor dem 10. Lebensjahr diagnostizierten Skoliosen [6]. Ätiologisch werden dabei 4 Gruppen berücksichtigt: kongenital, neuromuskulär, syndromassoziiert und idiopathisch. Es bestehen nichtoperative (Gipse und Orthesen) und operative Behandlungsmethoden. Die Entwicklung neuer Implantate in den vergangenen Jahren hat die individuellen, patientenadaptierten operativen Therapiemöglichkeiten der EOS erheblich erweitert. Die erfolgreiche Anwendung der Implantate durch den operativ Tätigen setzt jedoch neben der Mechanik

und dem Korrekturpotenzial die Kenntnis des jeweiligen Indikations- und Kontraindikationspektrums voraus. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand der Therapie der EOS, soll aber auch Grenzen und Limitationen in der Behandlung von Kindern mit EOS aufzeigen.

Konservative Methoden

Im Wissen um die hohen Komplikationsraten (40–58% pro Patient) der gängigen operativen Techniken in der Behandlung von EOS können konservative Methoden (serielle Gipse/Korsette) eine wertvolle Alternative darstellen [7, 8]. Nur bei idiopathischen EOS gelingt in ausgewählten

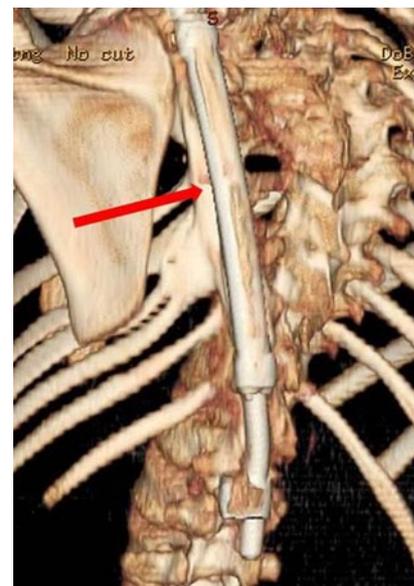


Abb. 1 ▲ Langstreckige extraspinale Ossifikation (Pfeil) im Bereich des knöchernen Thorax entlang dem VEPTR-Implantat

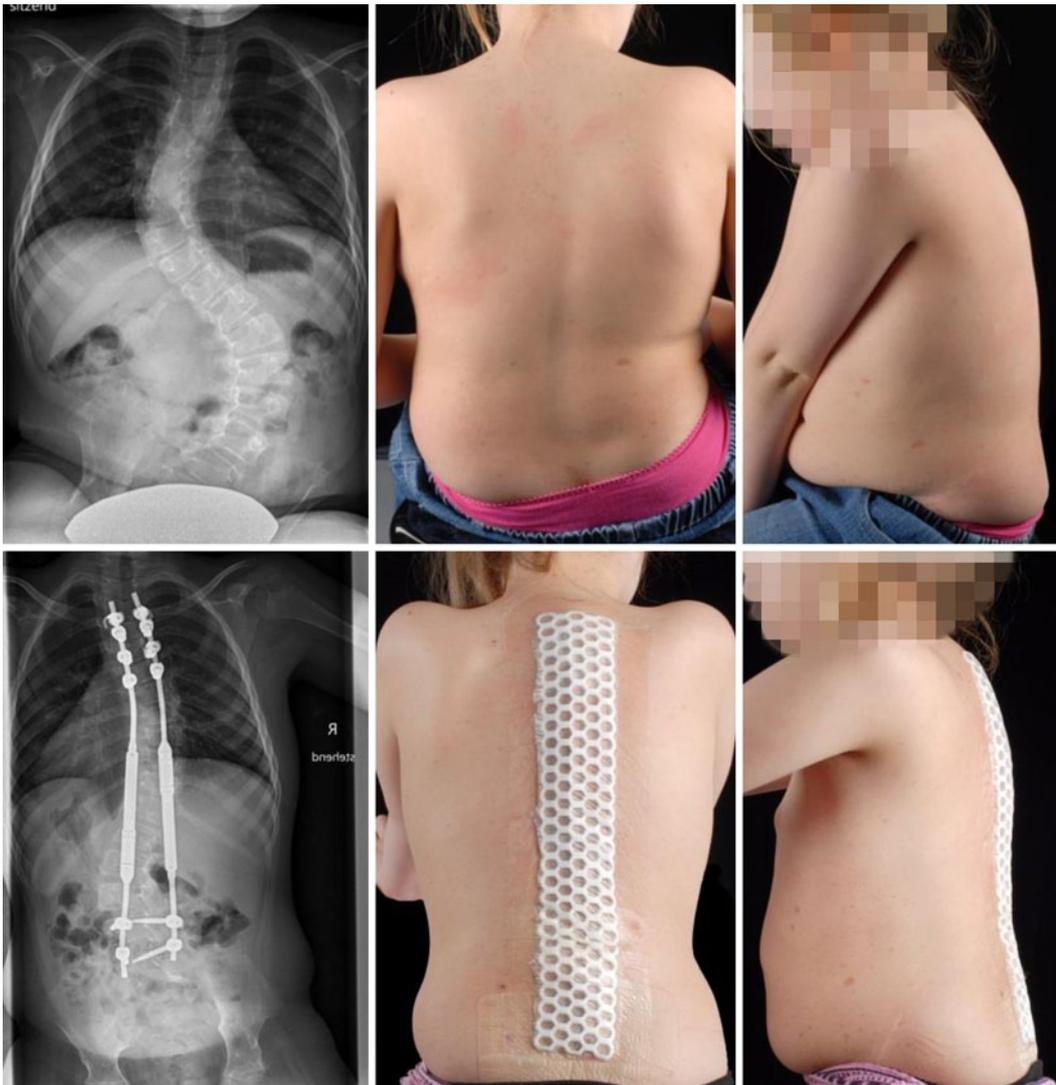


Abb. 2 ◀ Röntgenaufnahmen und klinische Bilder einer 7-jährigen Patientin mit kongenitaler Myopathie und Neurofibromatose Typ 1 vor (*oben*) und nach (*unten*) Implantation von motorisierten „growing rods“ (MAGEC®, Ellipse Technologies, Aliso Viejo/CA, USA)

Fällen eine komplette Korrektur mit Gipsen und Korsetten.

» Bei möglichst frühem Behandlungsbeginn bestehen höhere Erfolgschancen

Die Ausschöpfung konservativer Therapieoptionen mit der Absicht, den Zeitpunkt einer operativen Intervention zu prolongieren („buy time procedures“) ist das primäre Ziel bei Kindern mit EOS nichtidiopathischer Genese [9]. Wirbelsäulenwachstum und die Entwicklung des knöchernen Thorax sollten vor einer operativen Intervention so weit wie möglich vorangeschritten sein. Einzelne Studien konnten einen Zeitgewinn zwischen 2,1 und 3,1 Jahren aufzeigen [9, 10]. Von

Mehta ursprünglich postuliert und anhand jüngerer Untersuchungen bestätigt, bestehen höhere Erfolgschancen bei einem möglichst frühen Behandlungsbeginn, moderater Skoliose (Cobb-Winkel < 60°) und idiopathischer Genese der Deformität, v. a. bei einer Differenz des Rippenabgangswinkels < 20° [11, 12]. Trotz des vermeintlich schonenderen Vorgehens bei konservativer Behandlung im Gipsmieder, besteht insbesondere bei Kindern < 5 Jahren aufgrund des intensiven Rumpfwachstums die Notwendigkeit regelmäßiger Gipswechsel in Narkose (Intervalle zwischen 2 und 4 Monaten). Zudem werden Komplikationsraten bis 19% beschrieben, wobei respiratorische Probleme und Druckstellen/Ulcerationen der Haut dominieren [10, 13].

Operative Methoden

Von Skaggs et al. wurde 2014 zur Vereinheitlichung der Terminologie eine Klassifikation zur Einteilung der operativen Behandlungsoptionen vorgestellt [14]. Diese berücksichtigt 3 verschiedene Prinzipien:

1. Distraktionsbasierte Systeme
 - a. Growing-rod-Systeme (motorisiert, nichtmotorisiert)
 - b. Vertikal expandierbare Titanrippenprothese (VEPTR)
2. Kompressionsbasierte Systeme
 - a. Konvexeitige Klammern (Staples)
 - b. Zuggurtungen („tethers“)
3. Wachstumslenkende Systeme
 - a. Luque-Trolley
 - b. Shilla

Distraktionsbasierte Systeme

„Growing rods“

Anfänglich wurden basierend auf dem von Harrington 1962 beschriebenen Prinzip einer fusionslosen internen Stabilisierung vorwiegend sog. „single growing rods“ verwendet, wobei konkavseitig ein verlängerbares Implantat mit Ankerpunkten (Haken/Schrauben) an der Wirbelsäule kranial und kaudal der Deformität eingebracht wird. Durch regelmäßige mechanische Verlängerung soll das nach dem Gesetz von Hueter-Volkman konkavseitig reduzierte Wachstum stimuliert und dadurch die Deformität kontrolliert werden [15].

» „Dual growing rods“ zeigen bessere Korrektur der Deformität

Die relativ geringen Korrekturen in Bezug auf den Cobb-Winkel, die Weiterentwicklung der Implantate sowie das stetig zunehmende Verständnis der Biomechanik haben dazu geführt, dass größtenteils auf die Verwendung von „dual growing rods“ gewechselt wurde. Im Vergleich zeigen diese eine bessere Korrektur der Deformität bei vergleichbarer Komplikationsrate [16, 17]. Die erhöhte Steifigkeit des Konstrukts kann jedoch zu einem vermehrten Auftreten von Autofusionen, wahrscheinlich durch die über Jahre verminderte oder fehlende Bewegung im Bereich der Facettengelenke, führen [17]. Bei Verlängerungsintervallen ≤ 6 Monaten ist die positive Auswirkung auf Wachstum und Skoliosekorrektur signifikant größer als bei längeren Behandlungsintervallen [18]. Allerdings muss bei der Wahl des optimalen zeitlichen Abstands zwischen den Interventionen nebst dem Allgemeinzustand und möglichen relevanten Komorbiditäten des Patienten auch berücksichtigt werden, dass mit jeder zusätzlichen Operation das Komplikationsrisiko um 24 % zunimmt [19].

Vertikal expandierbare Titanrippenprothese (VEPTR)

Ursprünglich wurde das VEPTR-Implantat von Dr. Robert Campbell zur Behandlung des sekundär durch fusionierte Rip-

Orthopäde 2015 · 44:896–904 DOI 10.1007/s00132-015-3163-3
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

D. Studer · C.C. Hasler · A. Schulze

Behandlung von frühkindlichen Skoliosen. Wo liegen die Grenzen?

Zusammenfassung

Hintergrund. In den letzten Jahren konnten vermehrt uneinheitliche Definitionen und eine Vielfalt an Therapieoptionen bei der Betreuung von Patienten mit frühkindlichen Skoliosen beobachtet werden.

Fragestellung. Definition von frühkindlichen Skoliosen, Darstellung der konservativen und operativen Behandlungsmöglichkeiten sowie Aufzeigen der Grenzen und Limitationen der jeweiligen Therapien.

Material und Methode. Zusammenstellung der Erkenntnisse der aktuellsten Literatur sowie von Kongressbeiträgen, Expertenmeinungen und persönlichen Erfahrungen.

Ergebnisse. Unabhängig von der Ätiologie werden alle vor dem 10. Lebensjahr auftretenden Skoliosen unter dem englischen Begriff „Early Onset Scoliosis“ (EOS) zusam-

mengefasst. Die für die Behandlung zur Verfügung stehenden operativen Techniken sind allesamt komplikationsträchtig, weshalb nach Möglichkeit mithilfe konservativer Massnahmen die Notwendigkeit eines operativen Vorgehens hinausgezögert werden sollte.

Diskussion. Kenntnisse über das jeweilige Indikationsspektrum der verschiedenen Operationsmethoden sowie Respektierung der individuellen Bedürfnisse jedes einzelnen Patienten sind Grundvoraussetzung für eine optimierte Behandlung.

Schlüsselwörter

Kind · Prothesen und Implantate · Orthopädische Prozeduren · Brustwirbel · Operative chirurgische Prozeduren

Treatment of early onset scoliosis. How far can we go?

Abstract

Background. Recently, inconsistent definitions of early onset scoliosis (EOS) and a wide variety of treatment options have been observed.

Objectives. To clearly define the term EOS, to depict non-operative and operative treatment options, and to present the limitations of the boundaries of these techniques.

Methods. Review of the literature, including conference presentations and expert opinions, in addition to personal experiences.

Results. Early onset scoliosis (EOS) refers to spine deformity that is present before 10 years of age, regardless of etiology. All exist-

ing operative treatment options share a high risk of complications. Therefore, non-operative treatment should act as a time-buying approach to postpone surgery.

Discussion. Awareness of treatment options and their specific indications, in addition to respecting each patient's individual needs and feasibility, are crucial for the optimal outcome.

Keywords

Child · Protheses and implants · Orthopedic procedures · Thoracic vertebrae · Operative surgical procedures

pen und kongenitale Skoliosen bedingten Thorax-Insuffizienz-Syndroms erfinden und eingesetzt [20]. Die Implantate werden kranial an den Rippen, kaudal, abhängig von der Deformität, ebenfalls an den Rippen oder an der Wirbelsäule, respektive am Beckenkamm verankert. Ebenso wie bei den „growing rods“ erfolgen auch beim VEPTR-System üblicherweise halbjährlich Verlängerungsoperationen. In der Erwartung, mit einem nicht oder zumindest nur teilweise direkt an der Wirbelsäule fixierten System das Risiko von spontanen Autofusionen senken zu können, wurde das Indikations-

spektrum zur Verwendung von VEPTR bei EOS zunehmend erweitert. Das hohe Komplikationspotenzial (v. a. Wundheilungsstörungen/-infekte und Implantatdislokationen) und die in aktuellen Studien belegten, v. a. im Bereich des knöchernen Thorax auftretenden, extraspinalen Ossifikationen, dämpften diese Euphorie und führten zu einem Umdenken bei der Wahl der Operationstechnik ([5, 7, 8, 21]; **Abb. 1**). Aufgrund der heutigen Datenlage sollte bei normal segmentierter und formierter Wirbelsäule und normalem Rippenthorax ein VEPTR-

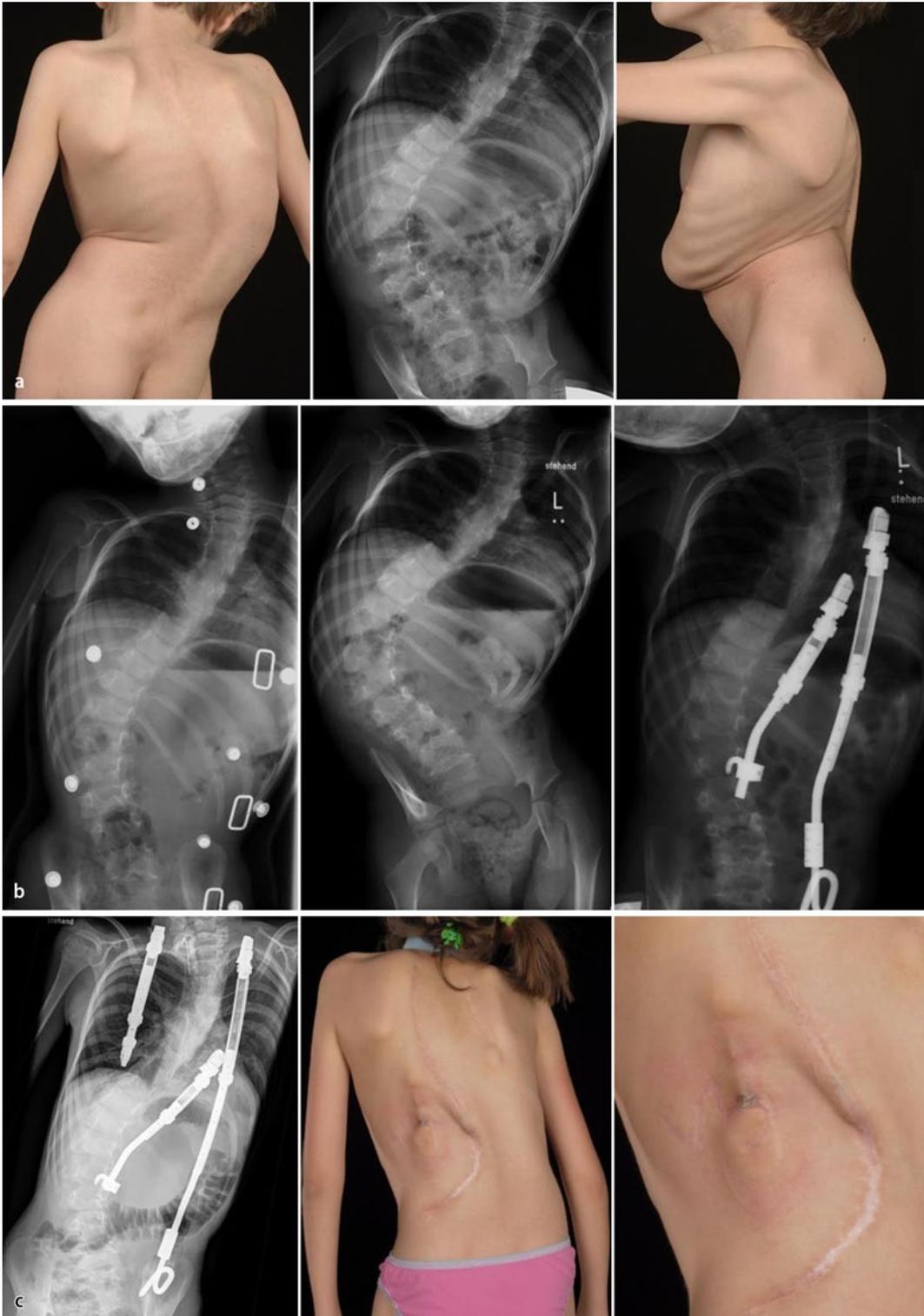


Abb. 3 ◀ **a** Klinische Bilder und Röntgenaufnahme einer Patientin mit neuromuskulärer Skoliose bei kongenitaler Myopathie; **b** bei radiologisch dokumentierter Progression der Skoliose erfolgt trotz Korsetttherapie der Einbau von VEPTR-Implantaten; **c** bei geringer Weichteildeckung kommt es im weiteren Verlauf zur Perforation der Haut, die eine plastisch-chirurgische Defektdeckung und eine 3-monatige Antibiotikatherapie verlangen. Implantat kann in situ belassen werden

Verfahren nur noch in Ausnahmefällen Anwendung finden.

„Hybrid growing rods“

Bei einer Fusion von T1 bis T3 in Kleinkindesalter, die bei der Verwendung von konventionellen, wirbelsäulenbasierten

growing rods manchmal nicht zu umgehen ist, und den beschriebenen respiratorischen Problemen, die daraus resultieren können, haben Hybridkonstrukte mit kranial fusionsloser Verankerung an den Rippen und kaudaler Fixierung mit Pedikelschrauben mit lokaler Fusion

an Bedeutung gewonnen [3, 22]. Sankar et al. verglichen die distraktionsbasierten Methoden und zeigten, dass Hybridkonstrukte mit einem Komplikationsrisiko von 0,86 pro Patient gegenüber herkömmlichen „growing rods“ (2,3 pro Pa-



Abb. 4 ▲ Patientin mit Jarcho-Levin-Syndrom mit kongenitaler Skoliose und fusionierten Rippen. Eingeschränkte anatomische Platzverhältnisse verhindern Verwendung von standardisierten Implantaten. **a** Röntgenaufnahmen und klinische Bilder präoperativ; **b** Computertomogramm zur Objektivierung der Segmentations- und Formationsstörungen sowie der fusionierten Rippen; **c** Röntgenaufnahmen nach beidseitiger Thorakotomie nach Campbell und Einbringen modifizierter VEPTR-II-Implantate; **d** Röntgenaufnahmen und klinische Bilder nach 12 Folgeoperationen 4,5 Jahre nach Indexoperation

tient) und VEPTR (2,4 pro Patient) deutlich besser abschneiden [23].

Motorisierte „growing rods“

Die Idee, das hohe Komplikationspotenzial (Infektionen, Stabbruch, Dislokation

der Ankerpunkte, Autofusionen) bei der Verwendung von Implantaten, die regelmäßig operativ verlängert werden müssen, durch den Einsatz von perkutan ansteuerbaren, motorisierten Implantaten senken zu können, ist nicht neu. Ver-

schiedene Modelle von unterschiedlichen Herstellern wurden seit den späten 90er-Jahren beschrieben ([23–25]; ■ Abb. 2). Während die Verwendung ähnlicher Systeme zur Korrektur und Verlängerung von Deformitäten der unteren Ex-

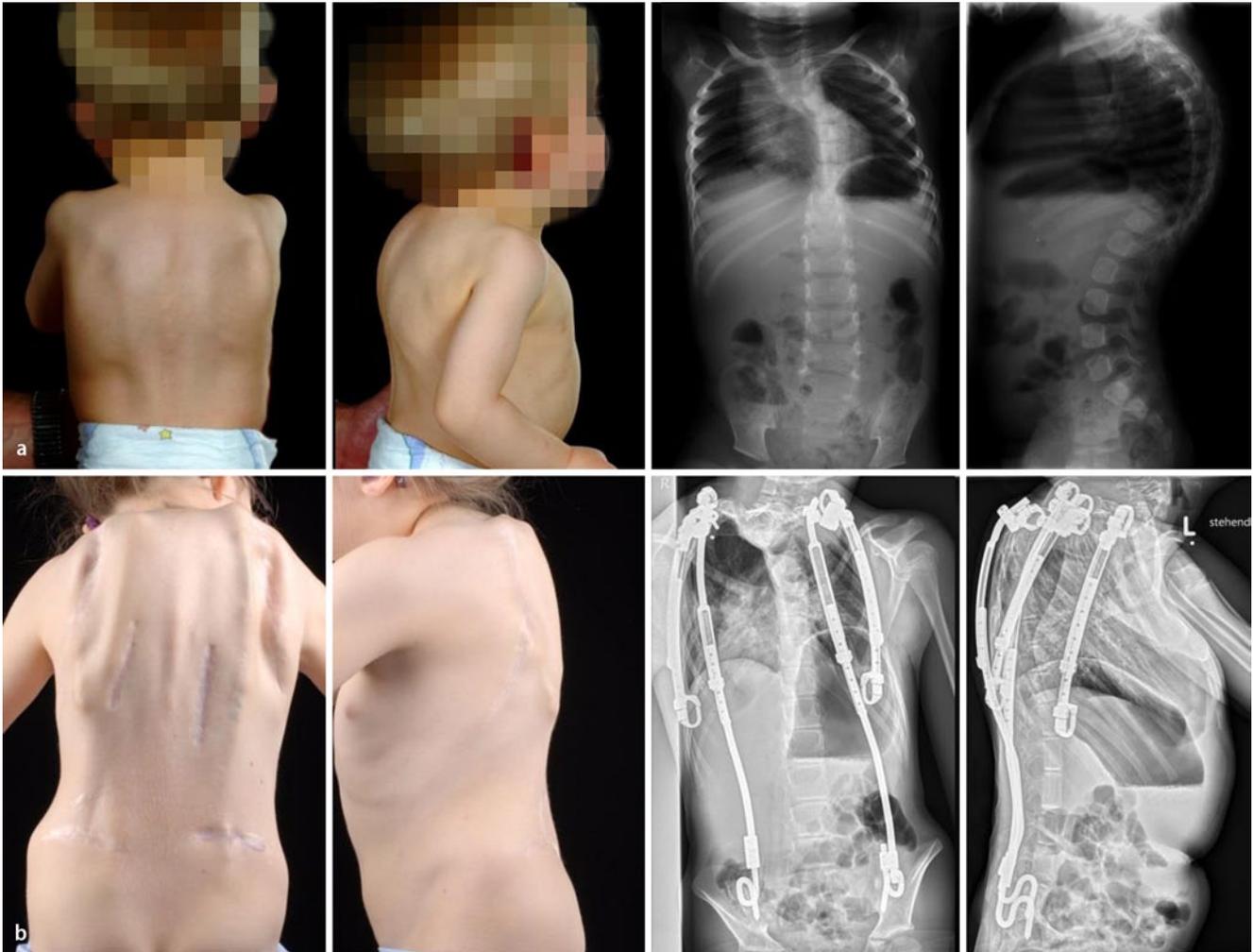


Abb. 5 ▲ Patientin mit idiopathischer Kyphoskoliose. **a** Klinische Bilder und Röntgenaufnahmen präoperativ; **b** klinische Bilder und Röntgenaufnahmen nach 22 Folgeoperationen 11 Jahre nach Indexoperation. Auch mit der Weiterentwicklung auf VEPT II mit der Möglichkeit zur Konturierung der kranialen Stabenden und Verwendung von zusätzlichen Ablegern und seriellen Rippenhaken kann die hochthorakale Kyphose nicht adäquat kontrolliert werden

tremitäten zwischenzeitlich etabliert ist, sind diese Verfahren in der Behandlung von EOS insgesamt noch wenig verbreitet. Langzeitstudien an größeren Kollektiven stehen noch aus. Die publizierten Resultate der aktuellsten Studien sind vielversprechend. Akbarnia et al. beschrieben bei 14 Indexoperationen und 68 nichtinvasiven Verlängerungen als Komplikationen einen oberflächlichen Wundinfekt, eine Implantatprominenz sowie 3 partielle Korrekturverluste (die im Verlauf wieder korrigiert werden konnten; [26]). In der noch kurzen Follow-up-Periode von durchschnittlich 10 Monaten musste keines der Implantate ausgetauscht werden und es wurden keine Anschlusskyphosen oder spontanen Fusionen beobachtet. Gleichzeitig fanden sich vergleichba-

re Werte bezüglich Korrektur der Deformität und Wachstumsstimulation gegenüber nichtmotorisierten Implantaten. Diesen Zahlen stehen bisher unveröffentlichten Daten gegenüber, die zwingend berücksichtigt werden müssen, um eine zu großzügige Indikation zur Verwendung dieser Implantate zu vermeiden. Beim bisher größten Patientenkollektiv mit motorisierten „growing rods“ mit einem Follow-up von mindestens 2 Jahren ($n=26$) wird eine Reoperationsrate von 42,3% beschrieben. In 5 Fällen kam es zu Fehlfunktionen bei der Verlängerung, bei 3 Patienten musste die kraniale Verankerung revidiert werden, in 2 Fällen ist einer der Stäbe gebrochen und ein Patient musste wegen eines Wundinfekts reoperiert werden [27]. Inwieweit durch das

Wegfallen der Verlängerungsoperationen die Komplikationsrate und auch die psychologische Belastung für die betroffenen Patienten und deren Angehörigen effektiv gesenkt werden können, wird sich erst in Zukunft zeigen. Gleiches gilt für die vermeintlichen ökonomischen Vorteile für das Gesundheitswesen [28].

Kompressionsbasierte Systeme

Durch komprimierende Kräfte auf der konvexen Seite soll durch die dem Gesetz von Hueter-Volkman folgende Wachstumshemmung die Deformität korrigiert werden. Die Verwendung von Klammern („staples“) zur Wachstumslenkung ist v. a. bei der Korrektur von Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten

Tab. 1 Indikationsspektrum für distraktionsbasierte Methoden zur Behandlung von Early-onset-Skoliosen (EOS)

Methoden	VEPTR ^a	„growing rods“
Indikationen	Thorax-Insuffizienz-Syndrom	Idiopathische EOS
	Kongenitale EOS/Rippenfusionen	Neuromuskuläre EOS
		Syndromassoziierte EOS

^aVEPTR vertikal expandierbare Titanrippenprothese.

(temporäre Hemiepiphyseodese) bestens bekannt und beschrieben [29]. Betz et al. berichteten über den Verlauf nach anteriorer Hemiepiphyseodese an der Wirbelsäule bei einem Kollektiv von 28 Patienten [30]. Von den Patienten mit einem Ausgangs-Cobb-Winkel > 35° zeigten 75% eine Progression der Skoliose. Zudem wird ein kyphosierender Effekt auf die Brustwirbelsäule, respektive eine vermehrte Lordosierung der Lendenwirbelsäule unter der Behandlung beobachtet. In einem Fall kam es zu einer Überkorrektur mit einer resultierenden Skoliose von 35° Cobb-Winkel in die entgegengesetzte Richtung.

» Das sagittale Profil hat hohen Einfluss auf die Behandlungsstrategie

Der Einsatz von konvexeitigen Zuggurtungen („tethers“) wurde zwar in Tiernmodellen wiederholt beschrieben, beim Einsatz am Menschen existiert bisher nur ein Fallbericht eines 8-jährigen Jungen. Dabei wurde ein Polypropylenband über Pedikelschrauben von T6 bis T12 konvexeitig fixiert [31]. Die Skoliose konnte im Verlauf von 4 Jahren von ursprünglich 40° auf 6° Cobb-Winkel korrigiert werden.

Wachstumslenkende Systeme

Luque-Trolley

Luque beschrieb eine Technik zur fusionslosen Stabilisierung von Skoliosen unter Verwendung von sublaminaeren Drähten, die durch minimale subperiostale Präparation eingebracht werden [32]. Durch Verbindung der Drähte an einen Stab wird die Deformität einerseits durch Translation teilkorrigiert, andererseits erlaubt das System weiteres Wachstum durch Gleiten der Drähte entlang des Stabs. Wegen der hohen Rate an sponta-

nen Fusionen sowie einem durchschnittlichen Wachstum von nur 32 bis 35% des erwarteten Wachstums hat sich diese komplikationsträchtige Technik nicht durchgesetzt [33, 34].

Shilla

Bei dieser Technik wird am Apex der Deformität eine instrumentierte Spondylodese mit Pedikelschrauben angestrebt. Kranial und kaudal der Krümmung werden spezielle Shilla-Schrauben, die ein Gleiten der vorsätzlich überlangen Stäbe mit dem weiteren Wachstum erlauben, verwendet. Die Platzierung der Shilla-Gleitschrauben erfolgt optimalerweise navigiert, da zur Vermeidung einer lokalen Fusion die anatomischen Landmarken nicht exponiert werden dürfen. Die bisher einzige Studie mit einem Follow-up von > 2 Jahren von McCarthy, der die Technik auch beschrieben hat, zeigt eine Verbesserung des Ausgangs-Cobb-Winkels von 70,5° auf 27° unmittelbar postoperativ und auf 34° bei der 2-Jahres-Kontrolle [35]. Insgesamt waren 5 Revisionseingriffe notwendig, wobei die Autoren diesen insgesamt 49 notwendigen Eingriffen bei der Verwendung von konventionellen „growing rods“ gegenüberstellen.

Grenzen und Limitationen

Trotz der bemerkenswerten Fortschritte in Bezug auf die technischen Möglichkeiten und den stetig wachsenden wissenschaftlichen Erkenntnissen, stoßen wir bei der Behandlung von EOS immer wieder auf große Hindernisse, die sich auch mit modernen Therapiemethoden oft nicht überwinden lassen. Mit zunehmendem Schweregrad der Skoliose und im Rahmen der Grunderkrankung bestehen oft prekäre Weichteilverhältnisse. Eine konservative Behandlung mit Gipsen und/oder Korsetten führt häufig zu Druckstellen und wird schlecht toleriert.

Andererseits finden sich bei der Verwendung von distraktionsbasierten Systemen oft relevante Implantatprominenzen, die bei schlechtem Ernährungszustand und oftmals vorhandenem Proteinmangel zu einer Wundheilungsstörung bis hin zum implantatassoziierten Infekt führen können (Abb. 3).

Weitere Einschränkungen bei der Wahl der optimalen Behandlungsmethode sind durch die anatomischen Voraussetzungen gegeben. Motorisierte Implantate bedingen eine Mindestlänge der Instrumentationsstrecke am Rücken, die gerade bei Kleinkindern häufig nicht gegeben ist (Abb. 4). Auch das sagittale Profil hat einen hohen Einfluss auf die Behandlungsstrategie. Hyperkyphosen, v. a. hochthorakal, sind mit einer relevant höheren Komplikationsrate bei der Verwendung von distraktionsbasierten Implantaten assoziiert [36]. Mit zunehmender Kyphose der Brustwirbelsäule steigen die auf Stäbe und Ankerpunkte (Schauben, Haken) resultierenden Kräfte an und erklären die erhöhte Rate an Implantatfehlern (Stabbruch, Dislokation der Ankerpunkte) und Anschlussdeformitäten („junctional kyphosis“). Mit der Weiterentwicklung zum VEPTR II und der Möglichkeit zur Konturierung des kranialen Stabendes und der Verankerung über zusätzliche Ableger („outrigger“) oder serielle Rippenhaken wurde versucht, diesem Problem Rechnung zu tragen (Abb. 5).

» Nicht selten führen Komorbiditäten und ein reduzierter Allgemeinzustand zu Kompromissen bei der Behandlung.

Biomechanisch bessere Lösungen müssen in diesen Fällen wegen eingeschränkter Operabilität, beispielsweise aufgrund einer Kardiomyopathie, zweitrangigen Techniken Platz machen, die durch kürzere Operationszeiten das perioperative Risiko signifikant reduzieren können.

Ausblick in die Zukunft

Die jüngsten Entwicklungen bei der operativen Behandlung von EOS, insbesondere der Einsatz von motorgetriebenen, distraktionsbasierten Implantaten, sind ermutigend. Wegen des kurzen Follow-

ups sind die bisher veröffentlichten Daten noch zurückhaltend zu deuten. Ob die kürzeren Intervalle zur Verlängerung der motorgetriebenen Implantate das Risiko von spontanen Fusionen senken können, wird sich erst bei längerem Beobachtungszeitraum zeigen. Schließlich führen auch diese Systeme zu einer temporären Immobilisierung der überbrückten Segmente. Der Wegfall von repetitiven Verlängerungsoperationen scheint zu einem deutlichen Gewinn an Lebensqualität für die betroffenen Patienten und deren Angehörigen zu führen [37, 38]. Dieser bis dato wenig berücksichtigte Aspekt sollte nach Entwicklung und Validierung eines gezielt auf diese Patientenpopulation ausgerichteten Fragebogens in Zukunft zwingend miteinbezogen werden [39]. Doch selbst bei Anwendung modernster Operationstechniken sind die betroffenen Kinder weiterhin über Jahre medizinisch angebunden. Wir stehen daher in der Verpflichtung, gemeinsam mit den Industriepartnern die Optimierung der Operationstechniken und Implantate voranzutreiben, damit die Reoperationsrate nachhaltig gesenkt werden kann. Nur ein einheitliches, idealerweise globales Erfassen aller Daten dieses insgesamt kleinen Patientenkollektivs erlaubt eine aussagekräftige Analyse und Verbesserung der einzelnen Behandlungsoptionen. Gleichzeitig gilt es aber auch, die genetische und pharmakologische Grundlagenforschung voranzutreiben. Ähnlich wie die Aufschlüsselung des Folsäuremetabolismus mit konsekutiver Empfehlung zur Supplementierung während dem ersten Schwangerschaftstrimester zu einer deutlichen Senkung der Inzidenz von Neuralrohrdefekten geführt hat [40], erhoffen wir uns ähnliche Erkenntnisse bezüglich der Entstehung der einzelnen EOS-Ätiologien.

Fazit

Konservative Maßnahmen haben nach wie vor einen wichtigen Stellenwert in der Behandlung von EOS. Primäres Ziel ist ein Hinauszögern von operativen Interventionen, um der ansteigenden Komplikationsrate entgegenwirken zu können. Ist die Indikation zur operativen Behandlung einer EOS gegeben, sollte, in Kenntnis der Vor- und Nachtei-

le der beschriebenen Methoden, die Behandlungsstrategie so gewählt werden, dass das für das einzelne Kind bestmögliche Resultat mit dem geringsten Risiko- und Komplikationsprofil ermöglicht wird. Kompressionsbasierte Systeme werden wegen ihres wachstumshemmenden Effekts zurückhaltend und allenfalls kurzstreckig, als Hemiepiphyseodesen bei kongenitalen Skoliosen oder in Kombination mit distraktionsbasierten Systemen bei fortgeschrittenem Rumpfwachstum eingesetzt. VEPTR-Implantate sind bei Thoraxbeteiligung (Rippenfusionen) und kongenitalen Skoliosen die bevorzugten Implantate, während normal segmentierte Wirbelsäulen ohne Thoraxbeteiligung üblicherweise mithilfe (motorisierter) „growing rods“ behandelt werden (Tab. 1). Bei beiden Systemen wird die größte Korrektur der Deformität mit der Indexoperation erreicht. Gemäß dem von Sakar et al. beschriebenen Gesetz „law of diminishing returns“ wird das durch Folgeoperationen stimulierte Wachstum stetig geringer bei gleichzeitig steigendem Verlängerungswiderstand [41]. Wachstumslenkende Techniken haben einen Stellenwert bei Patienten mit einem hohen perioperativen Risikoprofil, das repetitive operative Eingriffe verhindert. Mit dem Einsatz von motorisierten Implantaten kann hoffentlich in Zukunft auch dieser Patientengruppe ein zunehmend problemorientierter Behandlungsansatz gewährt werden.

Korrespondenzadresse

Dr. D. Studer
Universitätskinderhospital beider Basel
Spitalstrasse 33, 4056 Basel
daniel.studer@ukbb.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D. Studer, C.C. Hasler und A. Schulze geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Pehrsson K et al (1992) Long-term follow-up of patients with untreated scoliosis. A study of mortality, causes of death, and symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)* 17(9):1091–1096

2. Dimeglio A, Bonnel F, Canavese F (2011) Normal Growth of the Spine and Thorax. In: Akbarnia BA et al (Hrsg) *The growing spine*. Springer, Berlin, S 13–42
3. Karol LA et al (2008) Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 90(6):1272–1281
4. Campbell RM Jr, Hell-Vocke AK (2003) Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty. *J Bone Joint Surg Am* 85-A(3):409–420
5. Campbell RM Jr, Smith MD (2007) Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 89(Suppl 1):108–122
6. El-Hawary R, Behrooz A (2015) Early onset scoliosis – time for consensus. *Spine Deformity* 3:105–106
7. Akbarnia BA, Emans JB (2010) Complications of growth-sparing surgery in early onset scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 35(25):2193–2204
8. Hasler CC, Mehrkens A, Hefti F (2010) Efficacy and safety of VEPTR instrumentation for progressive spine deformities in young children without rib fusions. *Eur Spine J* 19(3):400–408
9. Fletcher N, McClung A, Johnston C (2010) Serial casting as a delay tactic in the treatment of moderate to severe early onset scoliosis, in 4th international congress on early onset scoliosis and growing spine. Ontario, Canada
10. Baulash DM et al (2012) The role of serial casting in early-onset scoliosis (EOS). *J Pediatr Orthop* 32(7):658–663
11. Mehta MH (1972) The rib-vertebra angle in the early diagnosis between resolving and progressive infantile scoliosis. *J Bone Joint Surg Br* 54(2):230–243
12. Sanders JO (2011) Casting for early onset scoliosis. In: Akbarnia BA et al (Hrsg) *The growing spine*. Springer, Berlin, S 361–364
13. Fletcher ND et al (2012) Serial casting as a delay tactic in the treatment of moderate-to-severe early-onset scoliosis. *J Pediatr Orthop* 32(7):664–671
14. Skaggs DL et al (2014) A classification of growth friendly spine implants. *J Pediatr Orthop* 34(3):260–274
15. Stokes IA et al (1996) Mechanical modulation of vertebral body growth. Implications for scoliosis progression. *Spine (Phila Pa 1976)* 21(10):1162–1167
16. Akbarnia BA et al (2005) Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)* 30(Suppl 17):S 46–557
17. Thompson GH et al (2005) Comparison of single and dual growing rod techniques followed through definitive surgery: a preliminary study. *Spine (Phila Pa 1976)* 30(18):2039–2044
18. Akbarnia BA et al (2008) Dual growing rod technique followed for three to eleven years until final fusion: the effect of frequency of lengthening. *Spine (Phila Pa 1976)* 33(9):984–990
19. Bess S et al (2010) Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients. *J Bone Joint Surg Am* 92(15):2533–2543
20. Campbell RM Jr, Smith MD, Hell-Vocke AK (2004) Expansion thoracoplasty: the surgical technique of opening-wedge thoracostomy. *Surgical technique. J Bone Joint Surg Am* 86-A (Suppl 1):51–64
21. Zivkovic V et al (2014) Extraspinal ossifications after implantation of vertical expandable prosthetic titanium ribs (VEPTRs). *J Child Orthop* 8(3):237–244

22. Skaggs DL (2011) Hybrid distraction-based growing rods. In: Akbarnia BA et al (Hrsg) The growing spine. Springer, Berlin, S 601–611
23. Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL (2010) Comparison of complications among growing spinal implants. Spine (Phila Pa 1976) 35(23):2091–2096
24. Akbarnia BA et al (2012) Innovation in growing rod technique: a study of safety and efficacy of a magnetically controlled growing rod in a porcine model. Spine (Phila Pa 1976) 37(13):1109–1114
25. Takaso M et al (1998) New remote-controlled growing-rod spinal instrumentation possibly applicable for scoliosis in young children. J Orthop Sci 3(6):336–340
26. Akbarnia BA et al (2013) Next generation of growth-sparing techniques: preliminary clinical results of a magnetically controlled growing rod in 14 patients with early-onset scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 38(8):665–670
27. Cheung K et al (2015) Re-operation after magnetically controlled growing rod implantation: a review of 26 patients with minimum 2-year follow-up, in EPOS 34th annual meeting, Marseille, France
28. Cheung KM et al (2012) Magnetically controlled growing rods for severe spinal curvature in young children: a prospective case series. Lancet 379(9830):1967–1974
29. Siedhoff M et al (2014) Temporary epiphyseodesis for limb-length discrepancy. 8- to 15-year follow-up of 34 children. Acta Orthop 85(6):626–632
30. Betz RR et al (2010) Vertebral body stapling: a fusionless treatment option for a growing child with moderate idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 35(2):169–176
31. Crawford CH 3rd, Lenke LG (2010) Growth modulation by means of anterior tethering resulting in progressive correction of juvenile idiopathic scoliosis: a case report. J Bone Joint Surg Am 92(1):202–209
32. Luque ER (1982) Paralytic scoliosis in growing children. Clin Orthop Relat Res 163:202–209
33. Mardjetko SM et al (1992) The Luque trolley revisited. Review of nine cases requiring revision. Spine (Phila Pa 1976) 17(5):582–589
34. Pratt RK et al (1999) Luque trolley and convex epiphyseodesis in the management of infantile and juvenile idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 24(15):1538–1547
35. McCarthy RE et al (2014) The Shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report. J Pediatr Orthop 34(1):1–7
36. Schroerlucke SR et al (2012) How does thoracic kyphosis affect patient outcomes in growing rod surgery? Spine (Phila Pa 1976) 37(15):1303–1309
37. Flynn JM et al (2012) Psychological dysfunction in children who require repetitive surgery for early onset scoliosis. J Pediatr Orthop 32(6):594–599
38. Vitale MG et al (2008) Health-related quality of life in children with thoracic insufficiency syndrome. J Pediatr Orthop 28(2):239–243
39. Corona J et al (2011) Measuring quality of life in children with early onset scoliosis: development and initial validation of the early onset scoliosis questionnaire. J Pediatr Orthop 31(2):180–185
40. Pulikkunnel ST, Thomas SV (2005) Neural tube defects: pathogenesis and folate metabolism. J Assoc Physicians India 53:127–135
41. Sankar WN et al (2011) Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns. Spine (Phila Pa 1976) 36(10):806–809

Thomas Kretschmer, Gregor Antoniadis, Hans Assmus (Hrsg.)

Nervenchirurgie

Trauma, Tumor, Kompression

Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, 1. Auflage, 384 Abb., (ISBN 978-3-642-36894-3), 149.99 EUR

Mit der Erstausgabe des Buches „Nervenchirurgie“ ist es erstmals gelungen, die gesamte Chirurgie der peripheren Nerven und alle



damit zusammenhängenden Aspekte umfassend darzustellen. Das interdisziplinäre Autorenteam stellt die im Untertitel genannten Schwerpunkte „Trauma, Tumor, Kompression“

in den Vordergrund, liefert aber auch relevantes Wissen zu Grundlagen, Diagnostik, sekundären Rekonstruktionsverfahren und zur Rehabilitation.

Das einführende Kapitel zu Degeneration und Regeneration, das sehr gut gebilderte Kapitel über die klinische, apparative und intraoperative Diagnostik sowie die grundsätzlichen Ausführungen im Kapitel zu den chirurgischen Techniken liefern den wichtigen Einstieg für die Schwerpunktthemen. Bei den traumatischen Nervenläsionen werden systematische Aspekte der topographisch orientierten Abhandlung einzelner Schädigungen vorangestellt. Den Verletzungen des Plexus brachialis wird in einem eigenen Kapitel ausreichender Raum gegeben. Dabei werden sowohl die geburtstraumatischen Läsionen als auch die Armplexusläsionen bei Erwachsenen dargestellt. Das Kapitel zu den Nerventumoren bietet einen gut gegliederten Überblick, ohne auf relevante Details zu den einzelnen Entitäten zu verzichten. Im Kapitel zu den Nervenkompressionssyndromen sind alle Schädigungsvarianten einschließlich der operativen Therapiemöglichkeiten umfassend dargestellt. Zusätzlich aufgewertet und komplettiert wird das Buch durch weitere Kapitel zu Ersatzplastiken und anderen sekundären funktionswiederherstellenden Verfahren, zur Rehabilitation nach peripheren Nervenläsionen sowie zum aktuellen Stand von Nervenimplantaten und alternativen Rekonstruktionstechniken.

Das 407 Seiten starke Werk ist ansprechend gestaltet und übersichtlich gegliedert. Die Texte werden durch Tabellen und Graphiken, vor allem aber durch zahlreiche anatomische und instruktive klinische Abbildungen erläutert. Entsprechend der interdisziplinären Thematik ist das in dieser Form innovative und umfassende Buch für alle mit der peripheren Nervenchirurgie befassten Ärzte ein Gewinn und wird sicherlich eine weite Verbreitung erfahren.

M. Schädel-Höpfner (Neuss)