Möglichkeiten der Achs- und Längenkorrektur beim Heranwachsenden

Posttraumatische Fehlstellungen an Extremitäten führen oft zu funktionellen Störungen, Behinderungen und nicht selten auch zu psychosozialen Folgen. Die Anpassungsfähigkeit des Skeletts ist im Wachstumsalter groß, sodass spontane Achskorrekturen möglich sind; allerdings sind diesen Vorgängen biologische Grenzen gesetzt. Die Anpassungspotenz variiert abhängig von Alter, Knochenart und Lokalisation der Störung beträchtlich. Grundsätzlich nimmt das Korrekturpotenzial mit zunehmendem Skelettalter ab. Störungen der Wachstumszonen wirken sich besonders gravierend aus. Anpassungsversuche des wachsenden Skeletts an eine Primärdeformität führen kompensatorisch zu Sekundärdeformitäten in der unmittelbaren Nachbarschaft und haben nicht selten tertiäre Störungen zur Folge, die das gesamte Achsenskelett betreffen können.

Ursachen für die genannten Störungen sind Frakturen mit Achsfehlstellungen, ein zurückbleibendes oder überschüssiges Längenwachstum, Verletzungen der Wachstumszonen sowie Infektionen mit Knochen- und/oder Gelenkbeteiligungen. Weitere Ursachen sind Tumoren mit konsekutiven Defektsituationen, angeborene Gliedmaßendefekte und Wachstumsstörungen bei Skelettsystemerkrankungen.

Im Vordergrund der Beschwerden stehen zumeist Belastungs- und Funktionseinschränkungen, vor allem an Händen und Füßen sowie an den großen Gelenken der oberen und unteren Extremitäten. Auch kosmetische Vorstellungen und psychosoziale Auswirkungen einer Asym-

metrie oder geringeren Körpergröße bei angeborenen Deformitäten sind nicht zu unterschätzende Aspekte.

Die Indikationen zur operativen Achskorrektur in Kombination mit einer Extremitätenverlängerung sind also äußerst vielschichtig:

- Einseitige Achsfehlstellungen mit oder ohne Längendifferenz infolge einer Fraktur
- Einseitige Achsfehlstellungen mit oder ohne Längendifferenz nach vorzeitigem Epiphysenverschluss nach traumatischer Wachstumsfugenverletzung oder Infektion
- Verkürzung und/oder Fehlstellung durch Wachstumsstörungen infolge tumoröser Erkrankungen (z. B. Zysten, Enchondromatose, fibröse Dysplasie u. a.)
- Fehlwachstum bei angeborenen Defektbildungen, Skelettdysplasien, Knochenstoffwechselstörungen, systemischen Speicherkrankheiten
- Achsfehler mit Längendifferenz oder zu erwartender Längendifferenz bei operativer Korrektur (Varus-, Valgus-, Rotations-, Ante- und Rekurvationsdeformität) auf dem Boden o. g. Erkrankungen

Korrekturverfahren

Grundsätzlich kommen für die Korrektur der genannten Störungen wachstumsbremsende oder verlängernde Verfahren zum Einsatz.

Wachstumslenkende Eingriffe durch (temporäre) Epiphyseodese

Bei noch ausreichender Wachstumspotenz (offene Wachstumsfugen) eines Knochens kann durch eine temporäre einseitige oder zweiseitige Epiphyseodese mittels kleiner, die Wachstumsfuge überbrückender Platten oder Klammern eine entsprechende Bremsung oder Lenkung des weiteren Längenwachstums erreicht werden [5]. Indikationen zur Achskorrektur durch Wuchslenkung sind:

- Varus- oder Valgusabweichung eines großen Extremitätenknochens
- Epiphysäre Wachstumsstörung (hier vor allem die distale Tibiaepiphyse mit konsekutivem Abweichen der Rückfußachse)
- Einseitige Überlänge (Gigantismus, Neurofibromatose, Hämangiomatose, Tumoren, Wachstumsbeschleunigung nach Frakturen)

Die Epiphyseodese ist ein seit ca. 1930 angewandtes Verfahren, um das Wachstum der längeren Extremität „abzubremsen“, sodass die kürzere Extremität den Längenverlust „aufholen“ kann. Zur Korrektur von Achsfehlstellungen wird die partielle Epiphyseodese oder Hemiepiphyseodese eingesetzt, bei der die Wachstumsfuge nur an einer Seite gezügelt wird. Die ursprünglich verwendeten starren Krampen führten häufig zu einem dauerhaften Wachstumsstillstand oder Verknöcherungen der Wachstumsfuge und wurden daher erst in einem genau berechneten Zeitraum vor Wachstumsabschluss

Abb. 1 ▲ 12-jähriges Mädchen, Körpergröße 82 cm. Genua valga beidseits, rechts mit Hemiepiphysodese des distalen Femurs und der proximalen Tibia. Links Zustand nach Pendelosteotomie der proximalen Tibia mit Rezipdivalvus, rechts erfolgreich korrigierte Achse

Abb. 2 ▲ In verkürzter Rotationsvarusfehlstellung verheilte diaphysäre Oberschenkelfraktur. Zustand nach intramedullärer elastischer Nagelung. Bifokale Korrektur und Verlängerung, proximal 15° valgusierend, distal 25° derotierend (Anteversion), 6 cm Verlängerung

eingesetzt. Die hohe Varianz der Berechnung von Körpergröße und noch verbleibendem Korrekturpotenzial hatte jedoch eine relative Ungenauigkeit des Verfahrens zur Folge.

Moderne Epiphysodeseplättchen mit flexiblen Kugelkopfschrauben (eight-Plate, Paedi-Plate) und flexible Klammern (FlexTack), die ohne Schädigung der Epiphysenfuge präzise eingebracht werden können, haben das Risiko einer Auslockerung und vor allem des vorzeitigen und irreversiblen Epiphysenverschlusses minimiert, sodass Epiphysodesen auch temporär und unabhängig vom zeitlichen Abstand bis zur skeletalen Reife durchführbar sind.

Der wesentliche Vorteil der Hemiepiphysodesese zur Achskorrektur ist die minimale Invasivität des Eingriffs. Der Knochen ist postoperativ sofort belastungsfähig, eine Gips- oder Schienenversorgung entfällt. Nachteile sind die Verzögerung des Wachstums verbunden mit einem Längendefizit und die Schwierigkeit einer Korrektur in mehr als einer Ebene.

Typische Indikationen sind somit isolierte X- oder O-Bein-Fehlstellungen vor Wachstumsabschluss (■ Abb. 1), epiphysäre Wachstumsstörungen mit eingetretener oder drohender Verkipfung der Ge-

lenkfläche sowie Achsabweichungen im Rahmen von Skelettsystemerkrankungen.

Das operative Vorgehen ist minimal-invasiv. Über einen kleinen Hautschnitt wird zunächst ein dünner Kirschner-Draht in die Epiphyse gebohrt und die eight-Plate aufgeschoben. Im Zentrum der Plattenlöcher werden ein epi- und metaphysärer Draht parallel zur Wachstumsfuge eingebracht und mit selbstschneidenden Titanschrauben überdreht, dann werden die Drähte entfernt. Da es sich nur um einen schmalen Zügel handelt, ist die exakte Platzierung in der Frontalebene von außerordentlicher Bedeutung. Exzentrische Plattenlagen führen zu einer dreidimensionalen Wachstumsbremsung (Anterekurvatur/Rotation).

Die Nachkontrollen erfolgen zunächst nach 2 bis 3 Wochen (Kontrolle bei voller Beweglichkeit), dann in Abhängigkeit vom weiteren Wachstum in Abständen zwischen 3 und 6 Monaten. Eine Überkorrektur sollte unbedingt vermieden werden. Der klinische und radiologische Befund bestimmen den Zeitpunkt der Plattenentfernung oder des Schraubenwechsels.

Extremitätenverlängerung und -korrektur durch Fixateur externe

Die Extremitätenverlängerung wurde in den 1970er Jahren durch den russischen Orthopäden Gavril Ilzarov revolutioniert. Seine nach ihm benannte Methode der Kallusdistraktion über externe Ringfixateure nach Kortikotomie stellte einen Paradigmenwechsel dar und ermöglichte ungeahnte Heilungserfolge [1]. Heutzutage werden für die Kallusdistraktion neben klassischen starren Ringfixateuren (Ilizarov, TrueLok) auch Hexapoden-Ringfixateure (Taylor-Special-Frame, HexFix), sowie monolaterale Fixateure (z. B. LRS-System, Fa. Orthofix) und Hybridkonstruktionen aus Ringen und Elementen monolateraler Systeme verwendet.

Die Ringfixateure zeichnen sich durch eine höhere Stabilität und größere Korrekturoptionen vor allem während der Verlängerung aus, die monolateralen Fixateure bestechen durch das schlankere Design und tragen nicht sehr auf. Höhergradige Achskorrekturen müssen bei monolateralen Fixateuren direkt intraoperativ erfol-

Trauma Berufskrankh 2015 · 17[Suppl 1]:170–177 DOI 10.1007/s10039-014-2124-0
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

J. Lauen · H. Schnell · M. Rüger

Möglichkeiten der Achs- und Längenkorrektur beim Heranwachsenden

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Arbeit mit Frakturen im Wachstumsalter birgt selbst bei optimaler chirurgischer Versorgung immer das Risiko einer sekundären Achsabweichung oder verzögerten Wachstums.

Versorgung. Mit den heutzutage verfügbaren Verfahren und Implantaten lassen sich posttraumatische oder kongenitale Fehlbildungen an Extremitätenknochen in den meisten Fällen sehr gut korrigieren, sodass langfristige Folgen für die Funktion und Belastbarkeit der angrenzenden Gelenke und des gesamten Achsenskeletts verhindert werden können. Nach Korrekturosteotomie stehen sowohl innere (Platten, Marknägel, Schrauben, Bohrdrähte) als auch äußere Stabilisationsmöglichkeiten (Fixateur externe) zur Verfügung. Externe Fixateure bieten den Vorteil, dass die Achsverhältnisse im laufenden Verfahren so lange nachkorrigiert werden können, wie Knochenregenerat oder Kallus noch unreif ist. Seit einigen Jahren stehen

außerdem Verlängerungsmarknägel zur Verfügung, sodass bei reinen Longitudinaldefekten ohne Achsabweichung eine langwierige Fixateurbehandlung entfallen kann. Im unreifen Skelett mit ausreichendem Wachstumspotenzial kommt als weitere Option bei der Behandlung zweidimensionaler Achsdeformitäten die temporäre Epiphyseodese mit wuchsenlenkender Platte oder Klammer hinzu. Rechtzeitig und richtig eingesetzt, können damit in geeigneten Fällen spätere aufwendige Korrekturen verhindert werden.

Resümee. Die Auswahl des geeigneten Verfahrens ist immer eine höchst individuelle und strategische Entscheidung und setzt viel Erfahrung mit sämtlichen genannten Operationstechniken und Implantaten voraus.

Schlüsselwörter

Deformität · Epiphyse · Osteotomie · Extremitätenverlängerung · Ringfixateur

Options for deformity correction in adolescents

Abstract

Background. Posttraumatic or congenital deformities of long bones can be readily corrected using a variety of techniques and implants to prevent detrimental effects on adjacent joints and the skeletal system as a whole.

Treatment. Secondary to osteotomy and acute deformity correction, either internal (e.g. plate, intramedullary nail, screw and wire) or external (e.g. monorail and frame fixation) devices are available for stabilization. External fixators have the added benefit that additional acute or gradual corrections can be performed as long as the callus is still soft. For a number of years, intramedullary nails are available that can be used for monoaxial lengthening procedures if corrections in other geometrical planes are not anticipated. Another option for two-dimensional correc-

tion of immature bone with sufficient growth potential is temporary (hemi-)epiphysiodesis with an eight plate or clamp. Subsequently, the constrained part of the epiphysis will slow in longitudinal growth allowing the opposite side of the epiphysis to grow relatively more, thereby gradually correcting a varus or valgus deformity and avoiding more complicated surgical procedures at a later stage.

Conclusion. The selection of the appropriate therapy is always a highly individual and strategic decision that requires extensive knowledge and experience with all available implants and surgical techniques.

Keywords

Deformity · Epiphyses · Osteotomy · Bone lengthening · External fixators

gen, die Anordnung der Pins auf einem Schienensystem lässt nur geringere spätere Feinkorrekturen während oder nach der Distraktion zu.

Orientierend werden am Oberschenkel wegen der schwierigen proximalen Ringfixation und Weichteilsituation (Gefäß-Nerven-Lage) monolaterale Fixateure

bevorzugt, am Unterschenkel greift man häufig auf die vielfältigeren Korrekturoptionen des Ringfixateurs zurück.

Generell ist die Wahl des Fixateurs vom Apex der Deformität, von der Gesamtlänge der Extremität, der Lokalisation zu den Wachstumsfugen, der zur Verfügung stehenden freien Strecke, der

Abb. 3 ◀ Progrediente Varus- und Antekurvationsfehlstellung des proximalen Unterschenkels nach Epiphysenfraktur der proximalen Tibia. Diagnostisch im MRT große dorsomediale Knochenbrücke zwischen Epi- und Metaphyse. Bereits deutliche Gelenkdeformität. Epiphyseodese nach Cannale und komplexe Achskorrektur in Kombination mit Verlängerung mittels Hexapoden-Ringfixateur

Dicke des Weichteilmantels, der Erfahrung des Operators mit dem jeweiligen Verfahren und dem Patienten selbst abhängig [3].

Verlängerungen über 10–15 cm an einem Extremitätenknochen wurden beschrieben, die Komplikationsrate (Nervenschäden, Kontrakturen von Knie und Sprunggelenken, Gelenkschäden) steigt jedoch mit der Verlängerungsstrecke überproportional an, sodass Empfehlungen von maximal 5–6 cm für den Ober-

schenkel (■ **Abb. 2**) und 4–5 cm für den Unterschenkel sinnvoll erscheinen. Ist das Längendefizit höher, sind zweizeitige Verlängerungen anzustreben, um funktionelle Störungen zu vermeiden [2].

Achskorrektur durch Osteotomie und Osteosynthese

Reine Achskorrekturen können auch durch eine Osteotomie und anschließende Osteosynthese (winkelstabile Platte/Fixa-

teur interne, Marknagel oder K-Drähte in Verbindung mit Gips/Cast) versorgt werden. Häufige Anwendungen sind hierbei die intertrochantäre Umstellungsosteotomie des proximalen Femurs bei Hüftgelenkserkrankungen oder -fehlstellungen sowie Korrekturosteotomien an dem distalen Femur und der proximalen Tibia. Open-Wedge-Osteotomien sind möglich, um einen Längenverlust gering zu halten, wesentliche Verlängerungen können allerdings nicht erreicht werden [4].

Abb. 4 ▲ Proximaler Femurdefekt. 1. Bifokale Achskorrektur proximal valgisierend und derotierend, distal verlängernd, 7 cm. 2. Abermalige bifokale Achskorrektur und Verlängerung 4 Jahre später, Längengewinn 7 cm. Komplikation einer Stressfraktur durch das Schraubenloch, stabilisiert und ausgeheilt mit mitwachsendem Teleskopnagel (Bailey-Nagel)

Besonderheiten

Ausheilung mit partieller Knochenbrücke bei Epiphysenfraktur

Frakturen der Wachstumszonen können selbst bei anatomiegerechter Reposition Wachstumsschäden hinterlassen, die zu Achsfehlstellungen, meist auch in Kombination mit Verkürzungen, führen.

Ursachen sind in vielen Fällen Störungen und Defekte der Wachstumszentren, die ein gehindertes Wachstum nach sich ziehen. Die Störungen sind umso gra-

vierender, je geringer das verbleibende Wachstumspotenzial der Epiphysenfuge ist, je älter also das Skelettalter des Kindes ist.

Die zweite Gruppe, seltener vorkommend und daher häufig später erkannt, umfasst frühzeitige Verknöcherungen der Wachstumsfuge, die zu partiellen Wachstumszügelungen und damit zu verkürztem Fehlwachstum führen.

Während die erste Gruppe im Wachstum bei gemäßigttem Schaden aufholen kann, führen Zügelungen durch Knochenbrücken immer zu progredienten

Fehlstellungen und konsekutiven Gelenkstörungen. Daher steht bei Wachstumsstörungen nach Epiphysenverletzungen diagnostisch zunächst der Ausschluss einer Knochenbrücke zwischen Epi- und Metaphysen durch eine geeignete Schnittbildgebung im Vordergrund.

Bei leicht verzögertem Wachstum ist ein kontrolliertes Zuwarten angezeigt, ggf. kann die Fehlstellung durch eine dem Fehlwuchs entgegenwirkende einseitige Epiphysenzügelung ausgeglichen werden. Sind die Störungen durch progredientes Zurückbleiben des Wachstums eines

Abb. 5 ▲ Unterarmschaftfraktur, verheilt mit radial gerichteter Achsfehlstellung der distalen Ulna. Die distale Gelenkfläche der Ulna stemmt sich gegen die ulnare Krümmung des Radius, vertieft die Krümmung und bleibt im Wachstum zurück, Folge Instabilität des Handgelenks, Ulnarabweichung, Einschränkung der radialen Abduktion, Störung der Umwendbewegung. Achskorrektur der Ulna mit Verlängerung, Rückgang der ulnaren Deviation, stabiles Handgelenk, verbesserte Umwendbewegung

Gelenkanteils hingegen irreversibel, entstehen im weiteren Verlauf durch unterschiedliches Größenwachstum der Gelenkpartner Inkongruenzen und Gelenkdeformitäten bis hin zur Dissoziation mit schweren Funktionseinbußen. Um diesen Verläufen vorzubeugen, ist die Indikation zur kompletten und permanenten Epiphyseodese zu diskutieren, bevor die Gelenkdeformität irreversibel fortgeschritten ist. Die daraus resultierende Verkürzung der Extremität kann mit einer späteren Verlängerung problemlos ausgeglichen werden, während sich eine ausgeprägte Gelenkdeformität später nur ungleich komplizierter und mit geringeren Erfolgsaussichten korrigieren lässt (■ Abb. 3).

Angeborene Deformitäten bei skeletalen Systemerkrankungen

Angeborene Achsfehlstellungen sind zu meist mit Verkürzungen vergesellschaftet. Die wachsende Deformität ist nicht örtlich begrenzt, wie die einer Fraktur, sondern langbogig und immer dreidimensional. Kennzeichnend ist ferner das generalisierte verzögerte Wachstum mit Minderbis Kleinwuchs.

Ein Beispiel ist die epimetaphysäre Deformität, die von proximal und distal zum diaphysären Bogen hinauswächst. Die Achsfehlstellungen sind hier mindestens bifokal mit Rotationskomponente.

Planungen von Achskorrektur und Verlängerungen sind demnach komplex, multifokal und betreffen die gesamten Gliedmaße mit allen assoziierten Gelenkwinkeln und -achsen. Die notwendigen Korrekturmaßnahmen sind somit fast immer bifokal und umfassen nicht selten auch benachbarte Knochenstrukturen. Diagnostisch obligatorisch sind geeichte Röntgenganzbeinaufnahmen in 2 Ebenen und Rotationsmessungen beider Beine (Magnetresonanztomographie- oder Computertomographie; [6, 7]).

Angeborene Extremitätendefekte

Angeborene Extremitätendefekte zeichnen sich neben der primären Defektsituation durch sekundär verlangsamtes Wachstum und Achsfehlstellungen aus, die ein ähnliches dreidimensionales Muster zeigen wie das der Systemerkrankungen.

Wegen der häufig hypoplastischen knöchernen Binnenstruktur sind vor allem die Verlängerungen schwieriger, zeitaufwendiger und öfter mit Komplikationen behaftet, z. B. durch ausbleibendes oder hypoplastisches Kallusregenerat und/oder Stressfrakturen (■ Abb. 4).

Deformitäten der oberen Extremitäten

Grundsätzlich sind die Knochen und Gelenke der oberen Extremität wesentlich flexibler und anpassungsfähiger als die der unteren Extremität. Ein weiteres, wesentliches Merkmal ist auch, dass sie nicht axial belastet sind und dadurch Fehlstellungen wesentlich besser kompensiert werden können. An der oberen Extremität sind die Hauptkriterien für die Indikation zur Deformitätenkorrektur vor allem Funktionsstörungen und Belastungseinschränkungen der angrenzenden Gelenke.

Posttraumatische Fehlstellungen sind unter Beachtung moderner Behandlungsstandards selten, dislozierte Frakturen, speziell der Gelenkbereiche, werden anatomiegerecht reponiert und osteosynthetisch stabilisiert.

Problematisch bleibt der Ellenbogen mit seinem komplexen Aufbau über 6 Knochenkerne. Insbesondere Verletzungen des distalen Humerus (mit Beteiligung der Epiphysen, Apophysen und Störung der Wachstumsfugen) führen im weiteren Wachstum nicht selten zu erheblichen Achsabweichungen und Funktionseinschränkungen, die sich sekundär nur äußerst schwierig korrigieren lassen. Zu nennen ist hier der Cubitus valgus/varus bei posttraumatischem Fehlwuchs eines humeralen Epikondylus.

Abb. 6 ▲ Zentralisation einer radialen Klumphand. Shift des bei Radiusaplasie radial luxierten Carpus auf die Ulna. Zentrale Einstellung und kartilaginäre Fusion von Ulnaepiphyse und Os lunatum und Os triquetrum. Passagere Stabilisierung mit Minifixateur

Abb. 7 ▲ Brachymetarkarpie III und V der linken Hand bei trichorhinophalangealem Syndrom (TRPS Typ I), klinisch mit schmerzhaft gestörtem Faustschluss und progredienter Achsdeviation der Langfinger. Verlängerung der Metacarpalia III und V mit Minifixateur. Gutes funktionelles Ergebnis bereits 2 Monate nach Fixateurentfernung, Faustschluss vollständig, beschwerdefrei

Unterarm und Handgelenk sind anatomisch wesentlich zugänglicher. Rekonstruktionen sind jedoch durch enge räumliche Verhältnisse und einen komplexen Aufbau von Muskeln, Sehnen, Gefä-

ßen und Nerven ebenfalls anspruchsvoll (▣ Abb. 5).

Angeborene Defekte sind zumeist gravierend und durch erhebliche Funktionseinschränkungen und optische Stigma-

ta gekennzeichnet. Korrekturen und Rekonstruktionen sollten möglichst frühzeitig beginnen, um die hohen Anpassungstendenzen des jungen Knochens auszunutzen und die weitere motorische Ent-

wicklung des Kindes positiv zu unterstützen. Häufig sind mehrere operative Eingriffe in orthopädischer und handchirurgischer Zusammenarbeit erforderlich.

Achskorrekturen und Verlängerungen von Mittelhand und Fingerknochen sind heute mit Minifixateuren möglich (■ Abb. 6, 7). Indikationen ergeben sich bei deutlichen Funktionsstörungen, z. B. bei festem Zugreifen oder Faustschluss, aber auch bei feinmotorischen Störungen, wie mangelnde Daumenopposition und gestörter Spitzgriff.

Fazit für die Praxis

- Die Arbeit mit kindlichen Verletzungen und Frakturen birgt selbst nach optimaler chirurgischer Versorgung immer das Risiko einer sekundären Achsabweichung oder eines Fehlwachstums.
- Die Mitverletzung einer Wachstumsfuge kann mit konventioneller Bildgebung leicht übersehen werden, so dass in Zweifelsfällen schon in der präoperativen Diagnostik ein MRT (oder zumindest CT) gefordert werden sollte.
- Stellt sich im Rahmen der Nachbehandlung ein Fehlwachstum einer Extremität heraus, sollte ein Spezialist hinzugezogen werden, um den weiteren Heilungsverlauf zu begleiten und einzuschätzen, ob ein spontaner Achsausgleich zu erwarten ist oder wuchsenlenkend eingegriffen werden muss.

Korrespondenzadresse

Dr. J. Lauen

Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau
Prof.-Küntschers-Str. 8, 82418 Murnau
Joachim.Lauen@bgu-murnau.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Lauen, H. Schnell und M. Rüger geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb dieses Beitrags zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Falle von nicht mündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Fadel M, Hosny G (2005) The Taylor spatial frame for deformity correction in the lower limbs. *Int Orthop* 29:125–129
2. Fried L, Widmann RF (2008) Advances in management of limb length discrepancy and lower limb deformity. *Curr Opin Pediatr* 20:46–51
3. Paley D (2002) Principles of deformity correction. Springer, Berlin Heidelberg New York
4. Paley D, Pfeil J (2000) Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur. *Orthopäde* 29:18–38
5. Stevens P (2007) Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop* 27:253–259
6. Strecker W, Keppler P (2002) Analyse und Korrektur von Beindeformitäten. Teil 1: Analyse. *Unfallchirurg* 73:811–829
7. Strecker W, Keppler P (2002) Analyse und Korrektur von Beindeformitäten. Teil 2: Korrektur. *Unfallchirurg* 73:901–918