

Operative Wachstumslenkung im Kindesalter

Raphael N. Vuille-dit-Bille^a, Stefan Dierauer^{a,b}, Christoph Aufdenblatten^a, Leonhard E. Ramseier^{a,b}

^aKlinik für Orthopädie und Traumatologie des Bewegungsapparates, Universitätskinderhospital, Zürich

^bKinderorthopädie, Universitätsklinik Balgrist, Zürich

Quintessenz

- Die Epiphysiodese ist eine einfache und effiziente Methode zur Behandlung von Beinlängendifferenzen zwischen 3 und 5 cm sowie von schwerwiegenden Achsenfehlstellungen im Kindesalter.
- Die permanente Epiphysiodese mittels perkutanen Anbohrens und Auskürettierens oder die temporäre perkutane Schraubenepiphysiodese wird primär zur Behandlung von Beinlängendifferenzen eingesetzt.
- Die temporäre Epiphysiodese unter Verwendung von «eight-plates» oder mittels perkutaner Schraubenepiphysiodese stellt die Standardtherapie für Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten im Kindesalter dar und ermöglicht eine frühzeitige Korrektur schwerer Deformitäten.
- Sehr schwerwiegende Beinlängendifferenzen bedingen eine Kallusdistraction, die mit einer Verkürzungsosteotomie oder Epiphysiodese der Gegenseite kombiniert werden kann, bzw. erfordern die Anlage einer Orthese [2].

Operative Korrektur von Beinlängendifferenzen und Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten

Operativ stehen verschiedene Möglichkeiten zur Korrektur von Beinlängendifferenzen und Achsenfehlstellungen zur Verfügung, einschliesslich Knochenverlängerungen und -verkürzungen, Korrekturosteotomien und Epiphysiodesen. Hierbei bestimmt insbesondere das Ausmass der Längenunterschiede bzw. der Fehlstellung, welche Korrekturmethode die günstigste ist. Sehr schwerwiegende Verkürzungen langer Röhrenknochen können durch «Kallusdistraction» korrigiert werden [3]. Zum ersten Mal im Jahr 1905 beschrieben, wird eine Osteotomie durchgeführt, während der die beiden Knochenfragmente mittels longitudinalen oder zirkulären Fixateurs externe distrahiert werden. Zwischen den beiden Knochenfragmenten bildet sich Kallus (Abb. 2 ) . Die Distaktionsgeschwindigkeit beträgt ca. 1 mm pro Tag, kann aber je nach Lokalisation variieren. Die Knochenregeneration der Kallusdistraction findet ca. vier- bis achtmal schneller statt als das physiologische Knochenwachstum und beträgt je Knochenfragment zwischen 200 und 400 µm pro Tag. Entsprechend stellt diese Therapiemethode einen langwierigen und einschneidenden Prozess für Patient und Familie dar und bedarf einer guten Compliance des Patienten. Die Kallusdistraction geht mit einer hohen Komplikationsrate einher. Häufige Komplikationen sind Pintraktinfekte, Bewegungseinschränkungen, Schmerzen während der Distraction, Re-Frakturen, die Bildung einer Pseudoarthrose, Achsenabweichungen, Kontrakturen und die Verletzungen von neurovaskulären Strukturen [4]. Osteotomien bieten sich ebenfalls zur Verkürzung langer Röhrenknochen oder als sogenannte «Korrekturosteotomien» zur Korrektur von Achsenfehlstellungen an. Bei Letzterem wird beispielsweise ein keilförmiges Knochenstück entfernt. Nach Verkürzung und/oder Achsenumstellung durch die Osteotomie werden die beiden Knochenfragmente gegeneinander fixiert. Verkürzungsosteotomien der unteren Extremitäten aufgrund von Beinlängendifferenzen werden bevorzugt am Femur und nicht an der Tibia durchgeführt. Hierbei wird meist subtrocantär osteotomiert und mit Platte fixiert oder der Schaft wird osteotomiert und intramedullär fixiert [1]. Die Kallusdistraction alleine erlaubt problemlose Knochenverlängerungen bis ca. 4 cm. Je nach Problemstellung sind Distractionen bis 8 oder gar 10 cm pro Verlängerungsschritt möglich. Im Wachstum bzw. bei höhergradigen Beinlängendifferenzen sind teilweise mehrmalige Distractionen nötig (Tab. 1 ) [1].

Beinlängendifferenzen und Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten

Beinlängendifferenzen und Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten stellen die häufigsten Indikationen für eine chirurgische Korrektur des Längenwachstums langer Röhrenknochen im Kindesalter dar. Beinlängendifferenzen bis 2 cm sind häufig, in den meisten Fällen asymptomatisch und bedürfen keiner Therapie [1]. Höhergradige Längenunterschiede treten meist idiopathisch, kongenital oder posttraumatisch auf und manifestieren sich in Form von Hinken, asymmetrischem körperlichem Erscheinungsbild, Knie- und/oder Rückenschmerzen [2]. Sie bedürfen der operativen Therapie oder der Anlage einer Orthese.

Die meisten kongenitalen Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten bestehen aus Genua vara (O-Beine; physiologisch bis 2 Jahre) und Genua valga (X-Beine; physiologisch bis 6 Jahre), die sich spontan wieder ausgleichen. Achsenfehlstellungen der Kniegelenke werden als signifikant und therapiebedürftig betrachtet, wenn sie (1.) ausserhalb der medialen beiden Quadranten des Kniegelenks liegen und (2.) obengenannte Altersgrenzen für Genua vara und valga überschreiten. Sie können zu Schmerzen, Hinken, Gelenksinstabilitäten, Belastung angrenzender Gelenke und zur frühzeitigen Arthrose führen [2] (Abb. 1 ) .



Raphael N. Vuille-dit-Bille



Leonhard E. Ramseier

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

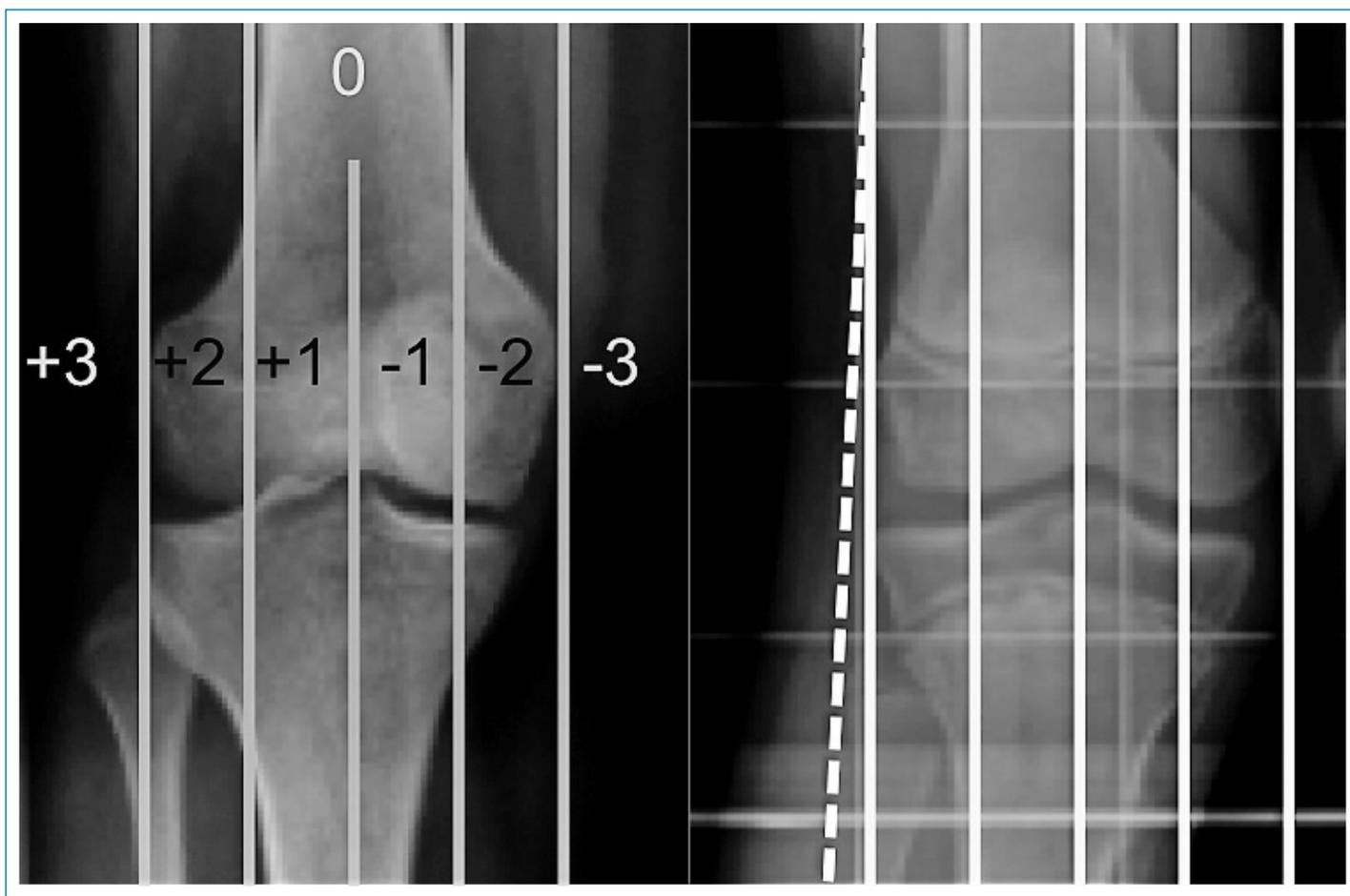


Abbildung 1

Die mechanische Achse der unteren Extremität verläuft von der Hüftkopfmittle bis zur Mitte des oberen Sprunggelenks. Teilt man das Knie in 4 Quadranten, so wird ein Verlauf innerhalb der medialen beiden Quadranten (-1, 1) als physiologisch betrachtet. Verläuft die mechanische Achse über das Alter der physiologischen Genua vara (bis 2 Jahre) oder Genua valga (bis 6 Jahre) hinaus ausserhalb der medialen Quadranten (+2, +3, -2, -3), so bedarf es allenfalls der chirurgischen Intervention. In der rechten Bildhälfte ist ein Beispiel eines Genu valgum gezeigt: Die mechanische Achse (gestrichelte Linie) verläuft lateral (+3) der Kniemitte.

Epiphysiodese

Eine elegante Möglichkeit der operativen Wachstumslenkung während des physiologischen Knochenwachstums bietet die sogenannte Epiphysiodese. Diese beschreibt die temporäre oder permanente, totale oder partielle Fusion der Wachstumsfuge und stellt eine etablierte Methode zur Korrektur von Beinlängendifferenzen bis 5 cm und Achsenfehlstellungen der unteren Extremitäten bei Kindern und Jugendlichen dar (Tab. 1) [5]. Interessanterweise verläuft das Längenwachstum in den Epiphysenfugen der unteren Extremität nicht symmetrisch: während die proximale Femurfuge nur ca. 17% und somit den geringsten Anteil des Beinlängenwachstums ausmacht, trägt die distale Femurfuge ca. 37% und somit den grössten Anteil bei. Zusammen mit der proximalen Tibiafuge (ca. 28%) machen die knienahen Epiphysenfugen knapp zwei Drittel des Beinlängenwachstums aus. Weitere ca. 18% des Beinlängenwachstums finden in der distalen Tibiafuge statt.

Eine grosse Herausforderung stellt das optimale Timing der Epiphysiodese dar. Etwa die Hälfte aller Kinder hat in Bezug auf das chronologische Alter ein verzögertes oder akzeleriertes Knochenalter [6]. Entsprechend müssen insbesondere das berechnete Knochenalter und die

prognostizierte Längendifferenz zum Zeitpunkt des abgeschlossenen Knochenwachstums, aber auch Tanner-Stadien sowie der Wachstumsverlauf vom Chirurgen in die zeitliche Planung mit einbezogen werden [2]. Die Epiphysiodese sollte zu Beginn der Pubertät geplant werden, um den optimalen Behandlungszeitpunkt nicht zu verpassen. Eine zu früh oder zu spät durchgeführte Epiphysiodese kann zur Über- bzw. Unterkorrektur führen und Folgeeingriffe zur Korrektur von konsekutiven/verbliebenen Achsenfehlstellungen und Beinlängendifferenzen notwendig machen. Epiphysiodesen werden in den meisten Fällen an den knienahen Epiphysenfugen durchgeführt. In Abhängigkeit von der Lokalisation der Wachstumsfehlbildung oder Achsenfehlstellung wird die Epiphysiodese an der distalen Femurfuge, der proximalen Tibiafuge oder kombiniert an beiden Fugen durchgeführt [2, 6].

Permanente Epiphysiodese

Die erste Epiphysiodese wurde im Jahr 1933 von Dallas B. Phemister, einem amerikanischen Orthopäden, beschrieben [5, 7]. Er entfernte hierbei einen die Epiphysenfuge überspannenden Knochenblock, meisselte die Epiphysenfuge heraus und reimplantierte den Knochenblock

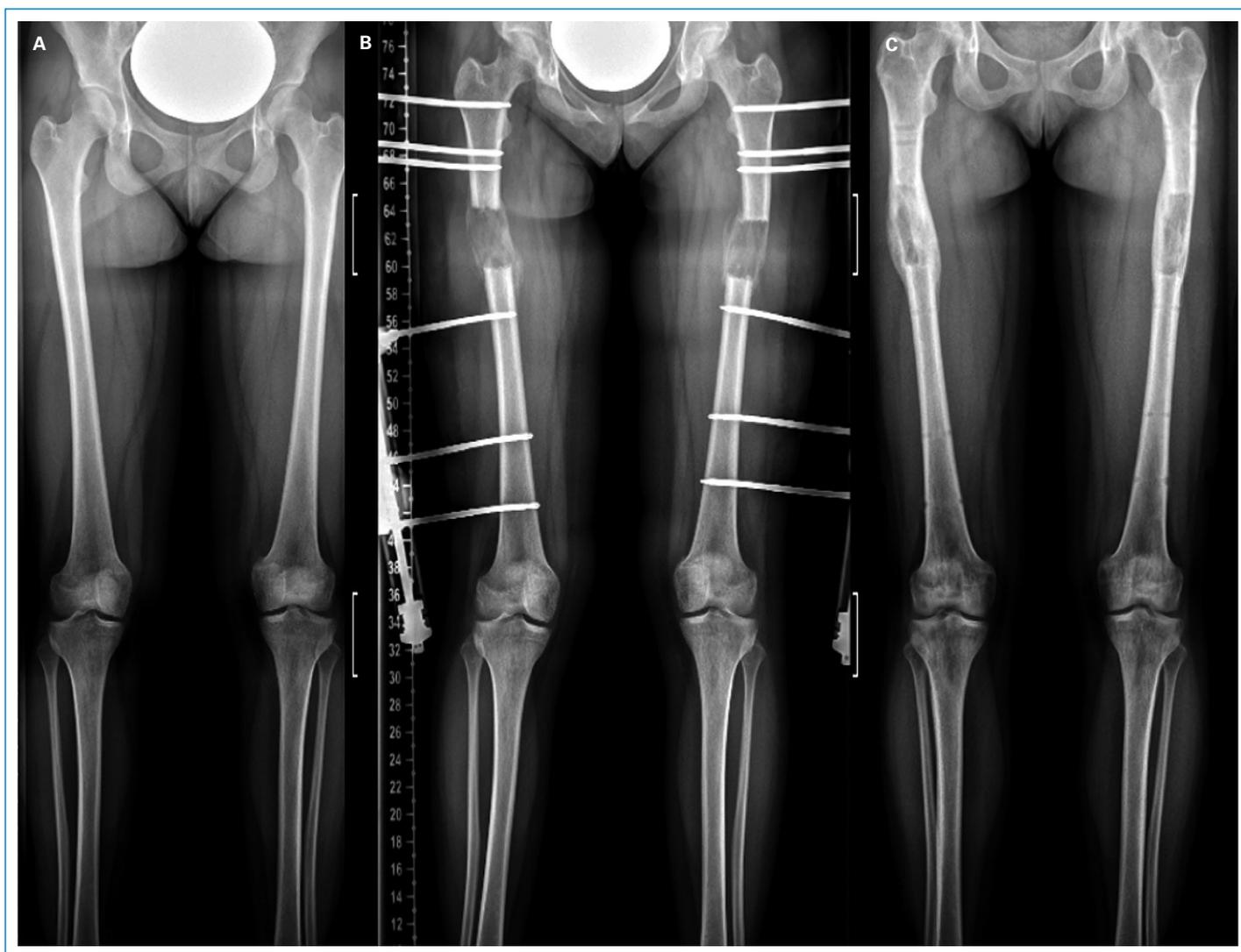


Abbildung 2
 Beispiel einer beidseitigen Kallusdistraction am Femur. Gezeigt werden die unteren Extremitäten vor (A), während (B) und nach (C) Kallusdistraction. Die zusätzlich gewonnene Länge betrug beidseits 6 cm.

Tabelle 1

Modifizierte Therapieempfehlung entsprechend dem Ausmass der Beinlängendifferenz (nach [1, 2]).

Beinlängendifferenz	Therapie
1–2 cm	Schuhwerk/Einlagen
3–5 cm	Epiphysiodese
4–10 cm	Kallusdistraction
10–20 cm	Kallusdistraction + kontralaterale Verkürzungsosteotomie / kontralaterale Epiphysiodese oder mehrmalige Distractionen
>20 cm	Orthese oder mehrmalige Distractionen

um 180° rotiert. Somit hatte er einen Knochensteg geschaffen, welcher die Epiphysenfuge überbrückte. Diese Methode wurde im Laufe der Jahre durch weniger invasive Verfahren, wie das perkutane Anbohren und Auskürettieren, welches erstmals von Canale im Jahr 1986 beschrieben wurde [8], ersetzt. Die Bohrung sollte hierbei mindestens 4,5 mm Durchmesser haben. Die zusätzliche Kürettage wird mittels scharfen Löffels durchgeführt.

Temporäre Epiphysiodese

Im Jahr 1949 beschrieb Blount zum ersten Mal eine reversible Form der Epiphysiodese, indem er drei die Epiphysenfuge überbrückende Klammern einbrachte, die nach suffizienter Korrektur der Länge/Achse wieder entfernt werden konnten. Aufgrund von Materialproblemen, einschliesslich Dislokation, Biegung oder Bruch – trotz Herstellung stabilerer Klammern im Verlauf – wechselten einige Zentren mit der Zeit zur temporären perkutanen Schraubenepiphysiodese (PETS), welche erstmals im Jahr 1998 von Métaizeau beschrieben wurde [9]. Hierbei werden kanülierte Schrauben unter Bildwandlerkontrolle schräg oder senkrecht durch die Epiphysenfuge eingebracht, um deren Wachstum zu blockieren. Die permanente Epiphysiodese mittels perkutanen Anbohrens und Auskürettierens sowie die temporäre perkutane Schraubenepiphysiodese stellen heutzutage die Standardtherapie zur Korrektur von Beinlängendifferenzen zwischen 3 und 5 cm dar [2]. Im Jahr 2007 beschrieb Stevens die sogenannte «*eight-plate*», eine Zwei-Loch-Platte, die mit zwei flexiblen

Tabelle 2

Vergleich temporäre (mittels eight-plates) versus permanente Epiphysiodese (nach Canale [8]).

	Definitiv (nach Canale)	Temporär (eight-plates)
Alter bei Operation	Klar vorgegeben durch das Wachstumspotential der Kinder (gemäss Knochenalter)	Bereits jüngere Patienten therapierbar. Breiteres Fehlbildungsspektrum
Rehabilitation	Sportverbot für 2 Wochen	Sportverbot für 2–4 Wochen
Wachstumslenkung	Überkorrekturen müssen teilweise mittels kontralateraler Epiphysiodese ausgeglichen werden	Einfache Wachstumslenkung. Knochenwachstum reversibel
Kosten	Geringe Kosten (kein Implantat, meist nur eine Operation nötig)	Teurer (Implantatkosten, zweizeitig)
Anzahl Operationen	Einmaliger Eingriff	Zweizeitiger Eingriff (Im- und Explantation)
Kosmetik/Narbe	Ca. 1 cm messende Narbe	2–3 cm messende Narbe

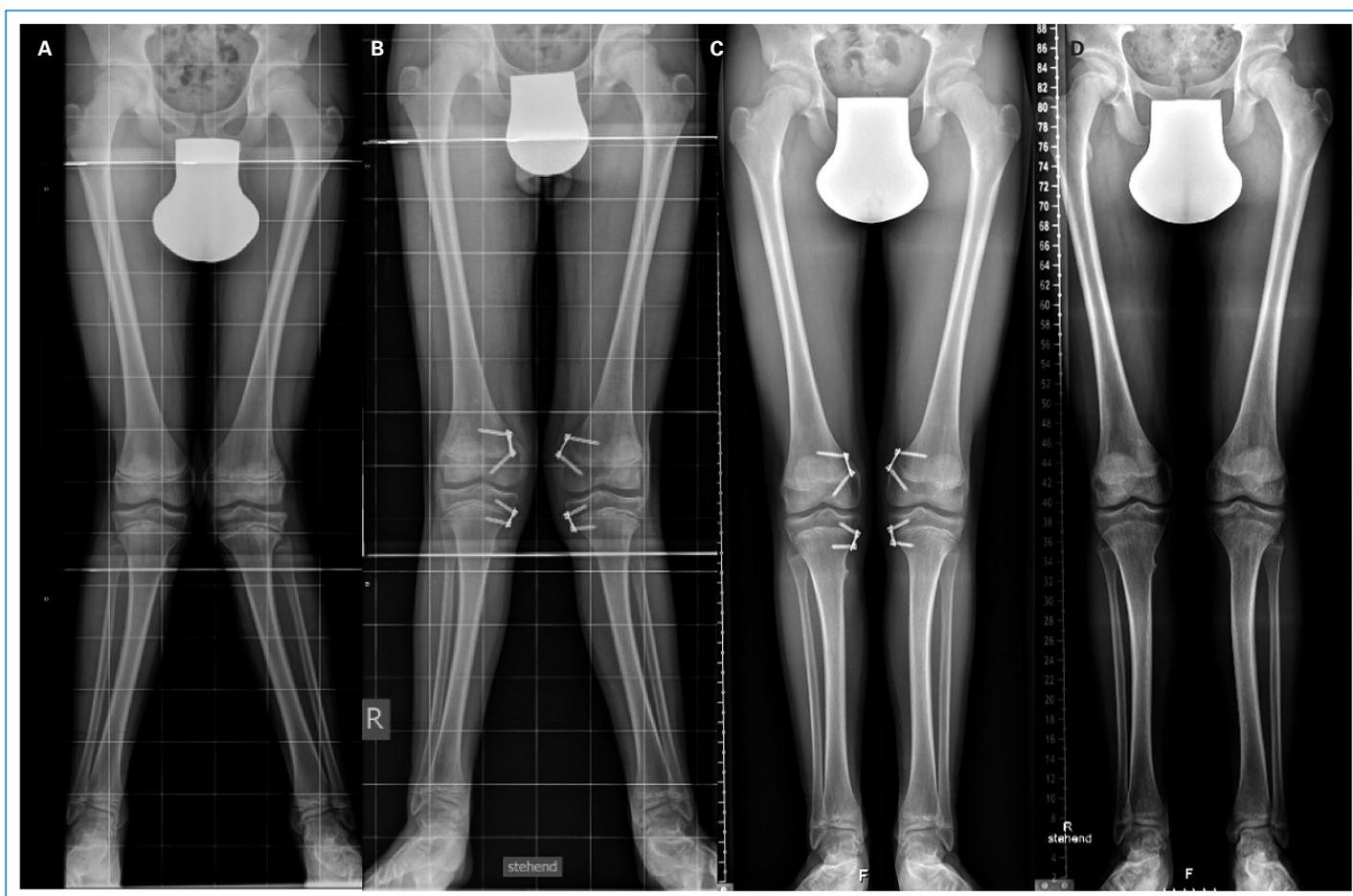


Abbildung 3

Beispiel einer temporären Epiphysiodese mittels eight-plates. Die Genau valgum (A) werden mittels medialseits an den knienahen Epiphysenfugen eingebrachten eight-plates (B und C) korrigiert. (C) zeigt das Resultat nach 8 Monaten. Ein Jahr nach Therapiebeginn hat das Kind gerade Beinachsen (D).

Schrauben besetzt wird [10]. Die «eight-plate» wird durch einen minimalinvasiven Zugang extraperiostal eingebracht und mittels Gewindeschrauben im Knochen verankert. Aufgrund des Zuggurtungseffekts reicht die Verwendung einer Platte pro Epiphysenfuge. Die temporäre Implantation von «eight-plates» geht mit deutlich weniger Materialproblemen einher als die Klammerepiphysiodese und ermöglicht eine einfachere Im- und Explantation. Im Gegensatz zur perkutanen Schraubeneiphysiodese führt die «eight-plate»-Epiphysiodese zu keiner direkten Beeinträchtigung der Epiphysenfuge. Sie bedarf allerdings eines etwas invasiven, 2–3 cm messenden Zugangs mit etwas schlech-

terem kosmetischem Resultat als bei der definitiven Epiphysiodese. Weiter können die eingebrachten «eight-plates» zu einer mechanischen Irritation mit konsekutiver Bewegungseinschränkung führen. Dieses Phänomen wird typischerweise zu Beginn der postoperativen Rehabilitation und häufiger bei femoral als bei tibial eingebrachten Platten beobachtet [2] (Tab. 2 [↩](#)). Insgesamt zeigt das Knochenwachstum nach temporärer Epiphysiodese einen Rebound-Effekt von ca. 4–5° nach Achsenkorrektur, der zumindest teilweise durch einen etwas vorzeitigen Wachstumsstopp (von 4 bis 6 Monaten) kompensiert wird. Entsprechend werden eine leichte Überkorrektur sowie regelmässige radiologische Kon-

trollen des Patienten nach temporärer Epiphysiodese empfohlen [2]. Die temporäre Epiphysiodese mittels «eight-plates» stellt heutzutage die Standardtherapie für Achsenfehlstellungen der unteren Extremität dar. Sie erlaubt eine aktive Kontrolle des Knochenwachstums und ermöglicht somit insbesondere die Achsenkorrektur bei schwierig voraussagbaren Achsenabweichungen im Wachstumsalter [2] (Abb. 3 )

Verschiedene experimentelle Techniken der Epiphysiodese werden aktuell am Tiermodell erforscht. Absorbierbare Schrauben würden dem Patienten die Notwendigkeit der Materialentfernung nach temporärer Epiphysiodese ersparen. Minimalinvasive Techniken, einschliesslich der Applikation eines CO₂-Lasers oder der direkten Elektrokauterisation der Epiphysenfuge, sind ebenso experimentell wie die photodynamische Therapie, die Radiofrequenztherapie oder die Infusion wachstumshemmender Substanzen in die Epiphysenfuge.

Korrespondenz:

PD Dr. med. Leonhard E. Ramseier
 Oberarzt Kinderorthopädie
 Universitätskinderspital Zürich
 Steinwiesstrasse 75
 CH-8032 Zürich
[leonhard.ramseier\[at\]kisp.zh.ch](mailto:leonhard.ramseier[at]kisp.zh.ch)

Literatur

- 1 Dahl MT. Limb length discrepancy. *Pediatr Clin North Am.* 1996;43:849–65.
- 2 Ghanem I, Karam JA, Widmann RF. Surgical epiphysiodesis indications and techniques: update. *Curr Opin Pediatr.* 2011;23:53–9.
- 3 Ramseier LE, Exner GU. [Lengthening of proximal femoral focal deficiency using a hybrid fixation with inclusion of the knee joint]. *Orthopade.* 2007;36:582, 584–7.
- 4 Hankemeier S, Bastian L, Gosling T, Krettek C. [Principles of callus distraction]. *Unfallchirurg.* 2004;107:945–58; quiz 959.
- 5 Ramseier LE, Sukthakar A, Exner GU. Minimal invasive epiphysiodesis using a modified “Canale”-technique for correction of angular deformities and limb leg length discrepancies. *J Child Orthop.* 2009;3:33–7.
- 6 Kelly PM, Dimeglio A. Lower-limb growth: how predictable are predictions? *J Child Orthop.* 2008;2:407–15.
- 7 Dallas B, Phemister, 1882–1951. *J Bone Joint Surg Br.* 1952;34-B(2):312.
- 8 Canale ST, Russell TA, Holcomb RL. Percutaneous epiphysiodesis: experimental study and preliminary clinical results. *J Pediatr Orthop.* 1986;6:150–6.
- 9 Metaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, Pasquier P. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS). *J Pediatr Orthop.* 1998;18:363–9.
- 10 Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop.* 2007;27:253–9.