

# Ausgleich posttraumatischer Beinverkürzungen mit einem motorisierten intramedullären Nagel

Beinlängendifferenzen sind eine mögliche posttraumatische Folge kindlicher Frakturen. Hierbei sind zahlenmäßig in erster Linie Verletzungen mit Wachstumsfugenbeteiligung (v. a. nach der Klassifikation von Salter-Harris I, II) und in Extensio-n behandelte Frakturen am Oberschenkel von Bedeutung [15, 27].

Komplexe Korrektur- und Distraktionsosteotomien werden üblicherweise mit externen Fixateursystemen nach der Ilizarov-Methode und mit dem Taylor Spatial Frame (TSF\*) durchgeführt [17]. Daneben sind, überwiegend zur Extremitätenverlängerung, auch Techniken mit monolateralen Fixateuren oder fixateurgestützte Verlängerungen über einen intramedullären Nagel beschrieben worden

[10, 12, 26]. Ungeachtet der Tatsache, dass sich externe Systeme in den letzten Jahren verbessert und weiterentwickelt haben [21], sind fixateurassoziierte Komplikationen bei Verlängerungs- und Korrekturbehandlungen eher die Regel als die Ausnahme [24]. Vor allem die Transfixation des Weichteil- und Muskelgewebes durch Fixateurpins ist kausal an der Entstehung der häufig beobachteten Pin-track-Infektionen, tiefer Infektionen und Schmerzen beteiligt [31]. Neben dem zeitaufwendigen Unterhalt und der Pflege des Systems ist v. a. das infolge von multiplen Narben und Einziehungen meist wenig ansprechende kosmetische Ergebnis als weiterer Nachteil der Behandlung zu nennen. Zusätzlich implizieren häufig erforderliche, ver-

längerte stationäre Aufenthalte und oft langwierige Rehabilitationsprozesse einen erhöhten Diskomfort der Patienten. Das Auftreten von Komplikationen ist jedoch nicht alleine auf die Tragezeit des Fixateur externe beschränkt. Selbst nach dessen Entfernung kann es zu Frakturen innerhalb der Distraktionsstrecke kommen [9]. Zudem führt eine frühzeitige Fixateurentfernung oftmals zu sekundären Deformitäten [29].

Aufgrund der fortbestehenden Probleme wurden interne Lösungen gesucht [10, 18]. In der aktuellen Literatur finden sich v. a. 3 intramedulläre, voll implantierbare Transportsysteme [3, 8, 11]. Neben 2 rein mechanischen Verlängerungssystemen, dem Albizzia-Nagel und dem IS-

**Tab. 1** Patientencharakteristika und Ergebnisse

Pat. Nr.	Männlich/weiblich (M/W)	Alter	Femur/Tibia	BLD (mm)	Zusätzliche Korrektur	Distraktionsindex (mm/Tag)	Konsolidierungsindex (Tage/cm)	Heilungsindex (Tage/cm)	Rest-BLD (mm)	Follow-up (Monate)	Komplikationen
1	M	16	Femur	35	-	1,16	24	34,5	-	25	Motorversagen
2	M	15	Femur	30	Extension/Varus	1,13	18	31,2	-	27	-
3	M	15	Tibia	30	Valgus	1,07	35	48,3	-	31	TVT (Vv. poplitea + fibularis)
4	W	14	Femur	40	-	1,31	18	25,2	2	24	-
5	M	34	Femur	40	-	1,18	16	26,8	2	24	-
6	M	19	Femur	30	Innenrotation/Extension	1,03	23	35,3	-	16	Flexionseinschränkung (E/F 0/0/40°)
7	W	16	Femur	27	Innenrotation/Extension	0,81	44	50,9	-	21	-
8	M	17	Femur	30	-	0,96	36	49,2	3	15	-
9	M	20	Femur	35	-	1,20	30	40,5	-	14	-
10	M	19	Femur	43	Innenrotation	0,97	24	36,9	-	12	-
11	M	18	Femur	24	-	0,60	37	62,3	3	12	-

BLD Beinlängendifferenz,TVT tiefe Beinvenenthrombose.



**Abb. 1** ▲ Präoperativ angefertigte bilaterale Ganzbeinaufnahme im Stehen und Kontrollbild vor der Metallentfernung. Im postoperativen Bild zeigen sich seitengleiche Achs- und Längenverhältnisse

KD (Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor [8, 11]), ist v. a. der motorisierte, programmierbare Distraktionsmarknagel Fitbone® beschrieben worden [3, 4, 5, 19]. Da während des anhaltenden, sorgfältigen Entwicklungsprozesses auf die breite Verteilung des Fitbone®-Nagels verzichtet wurde, ist nach Wissensstand der Autoren derzeit nur der ISKD frei erhältlich. Ergebnisse der Behandlung posttraumatischer Beinlängendifferenzen mit dem Fitbone®-Nagel wurden erfasst und im Hinblick auf Unterschiede zu externen Systemen untersucht.

## Studiendesign und Untersuchungsmethoden

### Patienten

Zwischen 2006 und 2008 wurden am Traumazentrum der Universitätskinderklinik Basel 11 Patienten, davon 2 weiblich und 9 männlich, aufgrund posttraumatischer Beinlängendifferenzen mit einem motorisierten, voll implantierbaren Verlängerungsmarknagel (Fitbone® Telescope Active Actuator Nail [TAA];



**Abb. 2** ◀ Radiologische Verlaufsaufnahmen während der Distraction. An beiden Seiten des Distraktionsspalts bereits beginnende Kallusbildung

Fa. Wittenstein Intens®, Igersheim, Germany) behandelt (■ Tab. 1). Das Durchschnittsalter der Patienten lag zum Zeitpunkt der Operation bei 18,7 (14–34 Jahren). Ein Beinlängenausgleich wurde bei 7 der 11 Patienten wegen ein oder mehrerer Frakturen nötig, in 2 Fällen aufgrund einer pathologischen Fraktur nach Tumoresektion, bei einem weiteren infolge einer pathologischen Fraktur nach frustrierender Verlängerung mittels Fixateur externe sowie in einem Fall nach Misshandlung während der Kindheit. Betroffen waren hierbei 10 Femora und eine Tibia. Die mittlere präoperative Beinlängendifferenz betrug 32 (24–43 mm).

### Begleitpathologien

Bei 5 Patienten war die vorliegende Verkürzung mit mindestens einer statisch oder funktionell bedeutsamen Deformität kombiniert. In 2 Fällen (Pat. 2 und 3) wurde zusätzlich zum Beinlängenausgleich eine Korrektur der mechanischen Traglinie in der Frontalebene vollzogen, bei einem davon (Pat. 2) in Verbindung mit einer Korrektur in der Sagittalebene (pathologische Femuranteurvation). Bei 3 Patienten (Pat. 6, 7 und 10) zeigten sich korrekturbedürftige Außentorsionsfehlstellungen, in 2 Fällen (Pat. 6 und 7) kombiniert mit Deformitäten in der Sagittalebene (jeweils pathologische Femuranteurvation).

So wurden bei einem Patienten (Pat. 2) eine präoperative Varusstellung mit einer mechanischen Achsabweichung (MAD [25]) von 50 mm und einem Extensionsdefizit von 20°, bei dem anderen (Pat. 3)

eine leichte Valgusstellung mit einer MAD von 13 mm ermittelt. Bei 3 Femora (Pat. 6, 7 und 10) wurde ein Außentorsionsfehler von 15°, darunter 2 (Pat. 6 und 7) in Verbindung mit einem zusätzlichen Extensionsdefizit von 15° diagnostiziert.

Neun Patienten waren zum Zeitpunkt der Operation voroperiert. Der mittlere Follow-up-Zeitraum lag bei 20 (12–31 Monaten).

### Operation

Vor dem operativen Eingriff wurden die präoperative Beinlängendifferenz, projizierte mechanische und anatomische Achsverhältnisse sowie Gelenkwinkel anhand bilateraler Ganzbeinaufnahmen im Stehen („long standing radiograph“, LSR) vermessen (■ Abb. 1). Zusätzlich wurde prä- und postoperativ der projizierte mechanische laterale distale Femurgelenkwinkel (mLDFA) bzw. der mechanische mediale proximale Tibiagelenkwinkel (mMPTA) bestimmt [23].

Korrekturen der mechanischen Achse wurden intraoperativ unter Zuhilfenahme einer unter dem Patienten platzierten Planfeldrasterplatte mit röntgendichten geraden Linien ausgeführt und verifiziert. Veränderungen der Torsionsverhältnisse sowie die visuelle Torsionskontrolle konnten durch paralleles Einbringen je eines proximal und distal gelegenen Steinmann-Nagels gewährleistet werden.

### Nachuntersuchungen

Nachuntersuchungen mit radiologischen Verlaufskontrollen fanden regelmäßig

in Abständen von höchstens 2 Wochen während der Distraction und höchstens 4 Wochen während der Konsolidierung statt (■ **Abb. 2**). In gleicher Sitzung wurden auch die Beweglichkeit von Hüft-, Knie-, und Sprunggelenk („range of motion“, ROM), Wund- und Schmerzstatus sowie mögliche Komplikationen protokolliert. Die weitere Einteilung der unerwünschten Ereignisse („Komplikationen“) erfolgte in „Probleme“, „Hindernisse“ und „Komplikationen“ [24]. Ebenso wurden die Hospitalisationsdauer und der Zeitraum bis zur Vollbelastung erfasst. Jeweils nach Abschluss der Konsolidierungsphase sowie präoperativ vor der Metallentfernung wurden LSRs angefertigt und analog zum präoperativen Procedure ausgewertet.

Während des gesamten Distraction- und Konsolidierungszeitraums war eine maximale Belastung der betroffenen Extremität von bis zu 20 kg an Unterarmgestützen erlaubt. Zur frühestmöglichen Wiedererlangung des präoperativen Bewegungsumfanges als auch zur Vermeidung bzw. Früherkennung von Muskelkontrakturen erhielten alle Patienten zudem während des gesamten Distraction- und Konsolidierungszeitraums mindestens 3-mal/Woche Physiotherapie.

Der Distractionindex (mm/Tag) errechnete sich aus dem Quotienten von erlangtem Längenzuwachs und Distractionzeitraum.

Eine Konsolidierung wurde angenommen, wenn an 3 der 4 Seiten des Distractionsspalts im a.p.- und laterolateralen Strahlengang durchgehende Kortikalisbrücken radiologisch nachgewiesen werden konnten. Die individuelle Konsolidierungszeit gibt den Zeitraum zwischen Operation und Konsolidierung (in Tagen) an, der entsprechende Konsolidierungsindex (Tage/cm) wurde durch den Quotienten aus Konsolidierungszeit und zugehöriger Verlängerungsstrecke bestimmt. Der Maturierungsindex (Tage/cm) errechnet sich aus dem Zeitintervall zwischen Distractionstop und Konsolidierungszeitpunkt pro erreichte Distractionstrecke. Nach Abschluss der Konsolidierung wurde das Verlängerungsergebnis gemäß Outcomescore nach Paley et al. [26] bzw. hinsichtlich der durchgeführten Tibiaverlängerung in einer modifizierten

Unfallchirurg 2010 DOI 10.1007/s00113-010-1820-x  
© Springer-Verlag 2010

U. Lenze · C.C. Hasler · A.H. Krieg

### Ausgleich posttraumatischer Beinverkürzungen mit einem motorisierten intramedullären Nagel

#### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Während der Kindheit können Frakturen zu einer signifikanten Beinlängendifferenz (BLD) führen. Die herkömmliche Methode, Beinlängendifferenzen und Fehlstellungen zu korrigieren, ist die Kallotaxis mit Anlage eines Fixateur externe.

**Patienten und Methoden.** Zwischen 2006 und 2008 wurden 11 Patienten mit posttraumatischer BLD (2,4–4,3 cm) mit einem vollimplantierbaren motorisierten Distractionmarknagel (Fitbone®) behandelt und deren Befunde ausgewertet. Hospitalisationszeit, Erreichen der Korrekturlänge, Rehabilitationszeit sowie Komplikationen wurden erfasst.

**Ergebnisse.** In 5 Fällen wurden neben der erfolgreichen Beinverlängerung auch Korrekturen in mindestens einer weiteren Ebene durchgeführt. Bei einem durchschnittlichen Distractionindex von 1,03 mm/Tag (0,6–1,2 mm/Tag), betrug der mittlere Kon-

solidierungsindex 40 Tage/cm. Der stationäre Aufenthalt dauerte im Mittel 9,8 (8–20 Tage). Knochen- und Weichteilinfektionen sowie andere, v. a. fixateurassoziierte Komplikationen wurden nicht beobachtet. Funktionell wurden exzellente Ergebnisse erreicht. Der präoperative Bewegungsumfang konnte bei allen Patienten wiederhergestellt werden, in 3 Fällen wurde er verbessert.

**Schlussfolgerung.** Der Fitbone®-Distractionmarknagel ist eine adäquate Alternative zu herkömmlichen Konzepten und reduziert typische fixateurassoziierte Komplikationen.

#### Schlüsselwörter

Beinlängendifferenz (BLD) · Motorisierter Distractionmarknagel · Distractionindex · Konsolidierungsindex · Fixateurassoziierte Komplikationen

### Intramedullary motorized nail for equalization of posttraumatic leg length discrepancies

#### Abstract

**Background.** Fractures in childhood may result in a significant leg length discrepancy (LLD). The common correction method of LLD and deformities is callotaxis with external fixation. This is often associated with pain, pin site infection, muscle tethering and reduced range of movement (ROM).

**Patients and methods.** Between 2006 and 2008 a total of 11 cases of posttraumatic LLD (range 2.4–4.3 cm) were treated with a fully implanted motorized lengthening device (Fitbone®). Hospitalization time, leg equalization, rehabilitation time and complications compared to external fixation were recorded.

**Results.** Leg lengthening was successfully performed in all cases, in five combined with angular and/or rotatory corrections. The mean distraction index was 1.03 mm/day (range 0.6–1.2 mm/day) and the mean con-

solidation index was 40 days/cm (range 25.2–50.9 days/cm). The average hospital stay was 9.8 days (range 8–20 days). Bone or soft tissue infections were not observed, nor were the complications commonly associated with external fixation. Functional results were excellent as the preoperative knee ROM was regained in all cases and with improved ROM in three cases.

**Conclusion.** The Fitbone® nail is a valuable alternative to conventional methods which reduces complications commonly associated with external fixation.

#### Keywords

Leg length discrepancy (LLD) · Motorized lengthening nail · Distraction index · Consolidation index · External fixation complications



**Abb. 3** ◀ Ausgeglichene Beinlänge ein Jahr postoperativ

Form nach Krieg et al. [19] bewertet. Die Verlängerung wurde als „erfolgreich“ bewertet, wenn nach dem Behandlungsende keine relevanten Beinlängendifferenzen ( $\pm 5$  mm) bestanden.

Alle Patienten wurden vor dem Distraktionsstart in die Handhabung und Funktionsweise des Systems eingewiesen und konnten die Distraction in Eigenregie ohne Beanspruchung fremder Hilfe durchführen. Abgesehen von intraoperativ verabreichten Dosen wurde bei allen Patienten auf eine antibiotische Prophylaxe verzichtet.

## Ergebnisse

Bei allen Patienten wurde ein erfolgreicher Beinlängenausgleich ohne klinisch relevante Restdifferenzen vorgenommen (▣ **Abb. 3**).

Der Distraktionsstart war zwischen dem 5. und 10. postoperativen Tag. Der durchschnittliche stationäre Aufenthalt unseres Patientenkollektivs betrug 9,8 (8–20 Tage).

Um das vorbestimmte Verlängerungsziel zu erreichen, wurde im Mittel ein Distraktionszeitraum von 30,8 Tagen benötigt. Der mittlere Distraktionsindex korrelierte mit einer durchschnittlichen Verlängerungsstrecke von 1,03 mm/Tag. Der mittlere radiologische Maturierungszeitraum kann mit 2,8 Monaten angegeben

werden. Dies entspricht einem durchschnittlichen Maturierungsindex von 27 (16–44 Tagen/cm). Durchschnittlich 3,9 Monate postoperativ konnte auf Vollbelastung übergegangen werden. Dies entspricht einem mittleren Konsolidierungsindex von 40,1 (25,2–50,9 Tagen/cm) bzw. einer Konsolidierungszeit von 123 Tagen.

Bei einer durchschnittlichen präoperativen Beinlängendifferenz von 32 mm wurde die geplante Endlänge ( $\pm 5$  mm) in allen Fällen kontrolliert, d. h. in gleichbleibenden täglichen Distraktionsraten, erreicht. Postoperativ verlief die mechanische Achse durchschnittlich 1 mm medial der anatomischen Kniegelenkmitte (12 mm lateral bis 12 mm medial). Bei dem Patienten mit Valgusdeformität (Pat. 3) zeigte sich die MAD von präoperativ 13 mm lateral, auf postoperativ 7 mm medial der Kniegelenkmitte verbessert. Der Patient mit Varusdeformität (Pat. 2) wies nach Konsolidierung eine leichte Überkorrektur mit Einstellung der neuen Belastungsachse 11 mm lateral der Kniegelenkmitte auf. Bei allen Patienten mit Extensionsdefizit wurde bereits postoperativ ein Nulldurchgang im Kniegelenk erreicht, nach Innentorsionskorrektur zeigten sich seitengleiche Beweglichkeiten.

Die radiologische Auswertung nach Femurverlängerungen ergab im Durchschnitt einen postoperativen mL DFA

(Norm 85–90°) von 89,5° (86–92°), der projizierte mMPTA (Norm 85–90°) nach tibialer Verlängerung maß 92°.

Alle Patienten erlangten im postoperativen Verlauf die präoperativ gemessene Kniegelenkbeweglichkeit (ROM) wieder, bei 3 Patienten konnte durch Korrektur des präoperativen Extensionsdefizits eine Verbesserung des Bewegungsumfanges mit voller Extensionsfähigkeit erzielt werden. Lediglich während der Distraktions- und Konsolidierungsphase zeigten sich in einigen Fällen eingeschränkte Bewegungsausmaße im Kniegelenk. In einem Fall wurde aufgrund einer progredienten Bewegungseinschränkung mit einem Bewegungsumfang in Extension/Flexion von zuletzt 0/0/40° die Indikation zur Knie mobilisation in Narkose gestellt. Alle Patienten erreichten ein exzellentes Outcome, lediglich 4 Patienten erreichten die Maximalpunktzahl aufgrund der gemessenen projizierten Gelenkwinkel nicht.

Der intraoperative Verlauf gestaltete sich bei allen Patienten problem- und komplikationslos, auch konnten in der Folge weder Weichteil- noch Knocheninfektionen festgestellt werden. Nach Abschluss der postoperativen Akutphase war der größte Teil des Patientenkollektivs schmerzfrei, lediglich 3 Patienten klagten über operationsbedingte Irritationen. Hierfür konnten Antennen- bzw. Schraubenirritationen als ursächlich ausgemacht werden. Nach regulärer Implantatentfernung wurde von keinem Patienten ein Fortbestehen der Problematik berichtet.

In einem Fall kam es im Verlauf der Distraction zum kompletten Motorversagen. Es wurde daher ein Implantatwechsel vorgenommen. Ein weiterer Patient entwickelte während der Distraktionsphase eine tiefe Venenthrombose der V. poplitea sowie der V. fibularis. Gemäß der Einteilung nach Paley et al. [26] ist bei unserer Auswertung von 2 „Problemen“ und einem „Hindernis“ zu berichten.

## Diskussion

### Externe Fixationssysteme

Der Einsatz des Fixateur externe ist ein akzeptiertes und häufig gebrauchtes Verfahren zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen und zur Deformitätenkorrektur

[24]. Unumstritten ist dabei jedoch das hohe Maß an Komplikationen, verbunden mit kosmetisch meist wenig zufriedenstellenden Ergebnissen. Neben einer systemspezifischen Auflistung [7] ist v. a. die von Paley et al. [26] publizierte Kategorisierung möglicher Komplikationen bei Verlängerungsbehandlungen mit Ilizarov-Fixateuren zur Darstellung und Einordnung dieses Problems geeignet. Paley et al. unterteilen hierfür in [26]:

- Probleme (Grad 1),
- Hindernisse (Grad 2) und
- Komplikationen inklusive möglicher Spätfolgen (Grad 3).

Eines der Hauptprobleme der Behandlung mit externen Systemen stellt das hohe Infektionsrisiko dar [24]. Daneben sind v. a. Einschränkung der Gelenkbeweglichkeit, schmerzhafte Weichteiltransfixation und langandauernde Invalidität von besonderer Bedeutung [16, 20, 31]. Zudem ist eine Fixateurbehandlung hinsichtlich möglicher Frakturen bzw. der Entwicklung von Fehlstellungen vor oder nach Ablauf der Tragzeit als besonders komplikationsträchtiges Verfahren zu werten [9]. Eine eher untergeordnete Rolle wird dagegen dem Fehlschlagen der Verlängerung aufgrund psychischer Belastungen und Ablehnung gegenüber dem Fixateurgestell zugeschrieben [30].

## Fitbone® TAA

Eine der modernsten und hochentwickeltesten Alternativen zu externen Systemen ist der Fitbone® TAA [4]. Ungeachtet der noch relativ geringen Datenmenge zeigte sich in früheren Studien, dass der Einsatz dieses Systems eine Verringerung von Rehabilitationsdauer und Komplikationen verspricht [4, 19, 28]. Weitere Vorteile einer intramedullären Verlängerungsbehandlung sind neben allgemein kosmetisch ansprechenderen Ergebnissen und kürzeren Rehabilitationszeiten auch das geringere Risiko von Refrakturen und sekundären Achsabweichungen.

## Komplikationen

Neben einer implantatbezogenen Komplikation (Motorversagen) wurden eine tiefe Beinvenenthrombose sowie eine

progrediente Bewegungseinschränkung im Sinne eines Flexionsdefizits beobachtet. Bezug nehmend auf die oben genannte Einteilung nach Paley et al. [26] ist bei unserer Auswertung nur von 2 „Problemen“ und einem „Hindernis“ zu berichten. Herkömmliche, besonders fixateurassoziierte Komplikationen wie Infektionen, verlängerungsassoziierte neurovaskuläre Läsionen und Frakturen wurden nicht gesehen. Ebenso nicht vermehrt beobachtet wurden „vordere Knieschmerzen“ – ein Symptomkomplex, den ein vermehrtes Auftreten im Gegensatz zu Fixateurbehandlungen gerade bei intramedullären Kraftträgern kennzeichnet.

Die Gesamtkomplikationsrate unseres Patientenkollektivs lag bei 27%. Im Rahmen einer früheren Untersuchung wurde bei einer Fallzahl von 150 Verlängerungsoperationen unter Verwendung des Fitbone® TAA und SAA eine Komplikationsrate von 13% angegeben [4]. Die hierzu relativ hoch erscheinende Komplikationsrate unserer eigenen Patienten sehen wir in der niedrigen Fallzahl begründet. Unabhängig davon stehen diese Ergebnisse in starkem Kontrast zu Komplikationsraten, die bei Verwendung externer Systeme beobachtet wurden.

Beispielhaft wurde in einer Studie von Antoci et al. [1] eine Infektionsrate von 96% beschrieben, einige Experten nennen sogar Werte zwischen 100 und 280% (1,0–2,8/Patient [24]). Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug 20 Monate. Bei allen Patienten konnten die eingebrachten Implantate bereits planmäßig entfernt werden. Dies kann als Indikator für einen angemessenen Beobachtungszeitraum bzgl. beobachteter kurz- und mittelfristiger Komplikationen gesehen werden. Eine relativ geringe Fallzahl sowie das Fehlen einer Kontrollgruppe, die mit externen Systemen behandelt wurde, schränken diese Studie ein.

## Patientenkollektiv

Das durchschnittliche Alter unseres Kollektivs lag bei 18,7 (14–34 Jahren), wobei abgesehen von einer Ausnahme alle das 20. Lebensjahr noch nicht vollendet hatten. Im Rahmen einer Studie von Nakase et al. [22], in die Patienten unterschiedlichen Alters mit posttraumatischem

Wachstumsfugenarrest eingeschlossen wurden, kam man, Bezug nehmend auf eine Untersuchung von Hantes et al. [14], zu dem Schluss, dass sich ein Patientenalter unter 20 Jahren positiv auf zu erwartende Komplikationen bei externen Verlängerungsbehandlungen auswirken könnte. In Anbetracht der bislang veröffentlichten Daten unter Einschluss unserer eigenen Ergebnisse kann diese Theorie in Bezug auf Verlängerungs- und Korrekturoperationen mit dem Fitbone®-System weder bestätigt noch widerlegt werden.

Die Hospitalisierungsdauer unserer Patienten betrug im Mittel 9,8 Tage. Dem stehen ähnliche Werte aus vergleichbaren Studien bei Verlängerungsbehandlungen mit anderen intramedullären oder externen Verlängerungssystemen gegenüber [2, 13]. Den Grund hierfür sehen wir einerseits darin, dass für jegliche Art von Kallusdistraktion ein Distraktionsbeginn zwischen dem 5. und 10. postoperativen Tag empfohlen wird. Andererseits ist eine stationäre Überwachung während der ersten Distraktionstage in Abhängigkeit von der Patientencompliance notwendig.

Bei allen Patienten wurde eine erfolgreiche Beinverlängerung ohne klinisch relevante Restdifferenzen (>5 mm) durchgeführt. Der mittlere Konsolidierungsindex (40,1 Tagen/cm) unseres Kollektivs kann in enger Verwandtschaft zu Fitbone®-Ergebnissen anderer Gruppen gesehen werden [28]. Im Kontext bisheriger Studien über intramedulläre Beinverlängerungen deutet dies darauf hin, dass unter Verwendung intramedullärer Verlängerungssysteme eine Verringerung des durchschnittlichen Zeitraums zwischen Operation und Vollbelastung erreicht werden kann [6].

## Outcome

Hinsichtlich des oben genannten Outcomescores erreichten alle Patienten ein exzellentes Ergebnis. Zusätzlich konnten bei vorbestehenden Fehlstellungen in der frontalen, sagittalen oder transversalen Ebene in allen Fällen eine deutliche Verbesserung, in den meisten Fällen sogar eine Wiederherstellung physiologischer Verhältnisse erzielt werden. Die Interpretation dieser Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass das verwendete Implantat auch zur Korrektur mehrdimensionaler Fehlstellungen in gewissem Rahmen genutzt wer-

den kann, bei schwerwiegenderen mehrdimensionalen Deformitäten sei weiterhin auf den Einsatz des Taylor Spatial Frame (TSF®) oder verwandter Systeme verwiesen [21]. An dieser Stelle sei erwähnt, dass im Rahmen von Verlaufskontrollen Lateralisierungstendenzen der Tragachse v. a. nach Operationen am Femur beobachtet wurden, deren Objektivierung und Quantifizierung noch Gegenstand derzeitiger Untersuchungen sind.

### Limitationen

Limitierende Faktoren des Fitbone®-Systems stellen v. a. der antriebsbedingte Mindestdurchmesser von 11 mm sowie eine Standardlänge von 24,5 cm bei Femur bzw. 22,5 cm bei Tibianägeln dar. Hinsichtlich der Nagellänge sind jedoch individuelle Sonderanfertigungen und Modifikationen in gewissem Umfang möglich. Bei Einsatz des Nagelsystems im Kindes- und Jugendalter sollte eine Entfernung vor Wachstumsabschluss sorgfältig abgewogen und hierbei die Möglichkeit eines vorzeitigen Verschlusses einer kniegelenknahen Wachstumsfuge (retrograde Einbringung am Femur bzw. antegrad an der Tibia) einbezogen werden. Obgleich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht beobachtet, werden von Fitbone®-Anwendern (überwiegend unveröffentlichte Daten) vereinzelt Korrekturverluste durch Lockerung von Verriegelungsbolzen oder Zurücklaufen des Nagelteleskops berichtet [4]. Vor allem nach Beendigung der Distraktionsphase, wenn eine Wiederaufnahme der Distraktion aufgrund der fortgeschrittenen Knochenheilung nicht mehr möglich ist, kann dies Auswirkungen auf die erreichte Gesamtlänge und somit den Verlängerungserfolg haben. Zur Lösung dieses Problems werden derzeit neue Nagelgenerationen entwickelt, die durch einen speziellen Sperrmechanismus einem ungewollten Korrekturverlust durch Teleskoprücklauf wirksam vorbeugen sollen.

Trotz aller genannten Vorteile einer Verlängerungsbehandlung mit dem vollimplantierbaren programmierbaren Distraktionsmarknagel (Fitbone®) muss die Verwendung dieses Systems jedoch sowohl mit einem erhöhten präoperativen Planungsaufwand als auch mit ho-

hen technischen Anforderungen an den Operateur aufgewogen werden. In diesem Zusammenhang ist v. a. dem Umstand Rechnung zu tragen, dass Korrekturen, beispielsweise der intraoperativ eingestellten mechanischen Achse, nach Abschluss der Implantation nicht mehr möglich sind. Dies unterstreicht sowohl die hohe planerische als auch operative Präzision, die zur Umsetzung des gewünschten Ergebnisses erforderlich ist und unterscheidet das Implantat von externen Systemen, bei denen postoperative Nachkorrekturen oder, wie im Fall des TSF®, sogar internetgestützte Neuplanungen möglich sind. Des Weiteren sind hohe Implantatkosten zu nennen, die den finanziellen Rahmen eines Fixateursystems meist deutlich übersteigen. Dieser Mangel kann jedoch in Anbetracht der niedrigen Komplikationsrate und des relativ kurzen stationären Aufenthalts sowie der ambulanten Verlängerungsphase ausgeglichen werden (bislang unveröffentlichte Daten unserer Klinik). Zudem sind der deutlich höhere Tragekomfort und ein kosmetisch ansprechendes Ergebnis für die wichtige Compliance des Patienten und somit eine komplikations- und risikoarme Behandlung von größter Wichtigkeit.

### Fazit für die Praxis

**In Zusammenschau aller Faktoren kann die Behandlung posttraumatischer Beinlängendifferenzen und Deformitäten mittels vollimplantierbarem, programmierbarem Distraktionsmarknagel (Fitbone®) als komplikationsarme Alternative zu herkömmlichen Systemen gesehen werden.**

### Korrespondenzadresse

**Dr. A.H. Krieg**  
Kinderorthopädische Universitätsklinik,  
Universitätskinderhospital beider Basel (UKBB)  
Römervasse 8, CH-4005 Basel  
Schweiz  
andreas.krieg@ukbb.ch

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

1. Antoci V, Ono CM, Antoci V Jr, Raney EM (2008) Pin-tract infection during limb lengthening using external fixation. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 37: E150–E154
2. Aston WJ, Calder PR, Baker D et al (2009) Lengthening of the congenital short femur using the Ilizarov technique: a single-surgeon series. *J Bone Joint Surg [Br]* 91:962–967
3. Baumgart R, Burklein D, Hinterwimmer S et al (2005) The management of leg-length discrepancy in Ollier's disease with a fully implantable lengthening nail. *J Bone Joint Surg [Br]* 87:1000–1004
4. Baumgart R, Thaller P, Hinterwimmer S et al (2006) A fully implantable, programmable distraction nail (Fitbone) – new perspectives for corrective and reconstructive limb surgery. In: Leung KS, Taglang G, Schnettler R (eds) *Practice of intramedullary locked nails. New developments in techniques and applications*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 189–198
5. Betz A, Baumgart R, Schweiberer L (1990) First fully implantable intramedullary system for callus distraction – intramedullary nail with programmable drive for leg lengthening and segment displacement. Principles and initial clinical results. *Chirurg* 61:605–609
6. Brewster MB, Mauffrey C, Lewis A, Hull P (2010) Lower limb lengthening: is there a difference in the lengthening index and infection rates of lengthening with external fixators, external fixators with intramedullary nails or intramedullary nailing alone? A systematic review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 20:103–108
7. Cator J (1991) Traitement des inégalités de longueur des membres inférieures et des sujets de petite taille chez l'enfant et l'adolescent. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 77:31–80
8. Cole JD, Justin D, Kasparis T et al (2001) The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD): first clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia. *Injury* 32 (suppl 4):SD129–SD139
9. Danziger MB, Kumar A, DeWeese J (1995) Fractures after femoral lengthening using the Ilizarov method. *J Pediatr Orthop* 15:220–223
10. Gordon JE, Goldfarb CA, Luhmann SJ et al (2002) Femoral lengthening over a humeral intramedullary nail in preadolescent children. *J Bone Joint Surg [Am]* 84-A:930–937
11. Guichet JM (1999) Leg lengthening and correction of deformity using the femoral Albizzia nail. *Orthopäde* 28:1066–1077
12. Hankemeier S, Bastian L, Gosling T, Krettek C (2004) Principles of callus distraction. *Unfallchirurg* 107:945–958; quiz 959
13. Hankemeier S, Pape HC, Gosling T et al (2004) Improved comfort in lower limb lengthening with the intramedullary skeletal kinetic distractor. Principles and preliminary clinical experiences. *Arch Orthop Trauma Surg* 124:129–133
14. Hantes ME, Malizos KN, Xenakis TA et al (2001) Complications in limb-lengthening procedures: a review of 49 cases. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 30:479–483
15. Hasler CC, Laer L von (2000) Pathophysiology of posttraumatic deformities of the lower limbs during growth. *Orthopäde* 29:757–765
16. Herzenberg JE, Scheufele LL, Paley D et al (1994) Knee range of motion in isolated femoral lengthening. *Clin Orthop Relat Res* 201:49–54

17. Ilizarov GA (1990) Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res* 250:8–26
18. Kocaoglu M, Eralp L, Kilicoglu O et al (2004) Complications encountered during lengthening over an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg [Am]* 86-A:2406–2411
19. Krieg AH, Speth BM, Foster BK (2008) Leg lengthening with a motorized nail in adolescents: an alternative to external fixators? *Clin Orthop Relat Res* 466:189–197
20. Maffulli N, Nele U, Matarazzo L (2001) Changes in knee motion following femoral and tibial lengthening using the Ilizarov apparatus: a cohort study. *J Orthop Sci* 6:333–338
21. Manner HM, Huebl M, Radler C et al (2007) Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator. *J Child Orthop* 1:55–61
22. Nakase T, Yasui N, Kawabata H et al (2007) Correction of deformity and shortening due to post-traumatic epiphyseal arrest by distraction osteogenesis. *Arch Orthop Trauma Surg* 127:659–663
23. Paley D (2002) Principles of deformity correction. Springer, Berlin Heidelberg New York
24. Paley D (1990) Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res* 250:81–104
25. Paley D, Herzenberg J (2002) Principles of deformity correction. Springer, Berlin Heidelberg New York
26. Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, Bhava A (1997) Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *J Bone Joint Surg [Am]* 79:1464–1480
27. Pfeil J, Grill F, Graf R (1996) Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur, Pseudarthrosenbehandlung. Springer, Berlin Heidelberg New York
28. Singh S, Lahiri A, Iqbal M (2006) The results of limb lengthening by callus distraction using an extending intramedullary nail (Fitbone) in non-traumatic disorders. *J Bone Joint Surg [Br]* 88:938–942
29. Tjernstrom B, Olerud S, Rehnberg L (1994) Limb lengthening by callus distraction. Complications in 53 cases operated 1980–1991. *Acta Orthop Scand* 65:447–455
30. Vargas BB, Caton J, Merabet Z et al (2007) Complications of Ilizarov leg lengthening: a comparative study between patients with leg length discrepancy and short stature. *Int Orthop* 31:587–591
31. Young N, Bell DF, Anthony A (1994) Pediatric pain patterns during Ilizarov treatment of limb length discrepancy and angular deformity. *J Pediatr Orthop* 14:352–357