

## Redaktion

D.W. Sommerfeldt, Hamburg  
 H.-G. Dietz, München

R. Kraus<sup>1,4</sup> · U. Herbst<sup>2,4</sup> · G. Perler<sup>3</sup> · R. Schnettler<sup>1,4</sup> · C. Röder<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen

<sup>2</sup> Orthopädie und Unfallchirurgie, Kliniken des Main Taunus Kreises, Bad Sooden

<sup>3</sup> Institut für evaluative Forschung in der Medizin, Universität Bern

<sup>4</sup> Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder – Effizienz in der Medizin e.V., München

# Traumatische Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia

## Aufkommen, Formen, Behandlungsstrategien

**Traumatische Epiphysenfugenlösungen der unteren Extremität sind seltene Verletzungen des wachsenden Skeletts. Am häufigsten kommen sie an der distalen Tibia vor und machen dort 2,8% aller Frakturen im Wachstumsalter aus [9]. Dementsprechend gibt es wenige systematische Untersuchungen zu diesem Thema [14]. Die größten in der Literatur beschriebenen Kollektive umfassen immer noch weniger als 100 Fälle [24, 28]. Insbesondere die amerikanische Literatur leidet unter einer unzureichenden, unscharfen Trennung zwischen den metaphysären Epiphysenfugenlösungen und den epiphysären Epiphysenfrakturen. Eine prospektive Erfassung von Inzidenz, Behandlungsstrategien und Outcome, insbesondere der Entwicklung posttraumatischer Wachstumsstörungen und ihren Folgen gibt es nicht.**

Die Klassifizierung erfolgt meist nach der Einteilung von Salter u. Harris (SH I: Fugenlösung ohne metaphysären Keil; SH II: Fugenlösung mit metaphysärem Keil [25]). Eine weitere Klassifikation nach Dias u. Tachdjian [6], die die Frakturen nach ihrem Verletzungsmechanismus einteilt, hat sich im klinischen Gebrauch nicht durchgesetzt. Der Altersgipfel der

Verletzungen liegt bei 11–12 Jahren [1, 3, 5, 24]. Es gibt Hinweise, dass das mittlere Alter der SH-I-Frakturen etwa 1 Jahr geringer ist. SH-II-Verletzungen sind 2- bis 10-mal häufiger als SH-I-Verletzungen.

### Salter-Harris-II-Verletzungen überwiegen

Mit Komplikationen behaftete Verläufe mit nicht zufrieden stellendem Outcome werden in 2,2–39,6% der Fälle berichtet. Lehrbücher zum Thema Kindertraumatologie schätzen die Gefahr der Entwicklung posttraumatischer Wachstumsstörungen nach Epiphysenfugenlösung der distalen Tibia meist <10% ein. Eine Umfrage unter 62 Kindertraumatologen bestätigte diesen Eindruck [15]. Die Gefahr scheint vom Verletzungsmechanismus [5, 24], von der primären Dislokation [2] und dem Repositionsergebnis [1, 24, 28] abhängig zu sein. Handicap vieler Untersuchungen ist allerdings, dass sie nicht eindeutig und konsequent zwischen den Folgen belassener Achsabweichungen oder Begleitverletzungen auf der einen Seite und den Folgen tatsächlicher posttraumatischer Wachstumsstörungen auf der anderen Seite unterscheiden [1, 3, 4, 5, 7, 24, 28].


Die Fähigkeit des noch wachsenden Knochens, posttraumatisch verbliebene

Fehlstellungen zu korrigieren, wird unterschiedlich eingeschätzt. Während einzelne Autoren empfehlen nach dem 10. Lebensjahr keinerlei Achsabweichungen zu belassen [8, 28], fanden andere [2], dass auch nach dem 13. Lebensjahr noch Achsabweichungen von bis zu 12° korrigiert werden. In der Lehrbuchliteratur finden sich Angaben, dass bis zum 6. Lebensjahr 20° Achsabweichungen in der Sagittal- und Frontalebene belassen werden können, später maximal 10° [18, 26, 29].

Eine Studie, die die Konsistenz dieser Therapieempfehlungen im Sinne einer Evidenzbasierung überprüft, gibt es bis dato nicht. Weder Angaben zu den Grenzen einer möglichen konservativen Behandlung noch Hinweise zur Entscheidung zwischen alleiniger Reposition und Reposition und Osteosynthese liegen in hinreichender Art und Weise vor [14].

Von entscheidender Bedeutung für die Evidenzbasierung von Therapieempfehlungen ist darüber hinaus, die unterschiedlichen Therapiemodi auf ihre Komplikationen hin zu untersuchen. So konnte bisher noch nicht geklärt werden, ob im Falle dislozierter Frakturen die Reposition geschlossen oder offen erfolgen sollte und wann zusätzlich eine Osteosynthese notwendig ist [14, 19].

Eine Untersuchung zu einer solch seltenen Verletzung erfordert die multizen-

**Li-La MC UE**  **PRIMÄRBEHANDLUNG A**  
 Kinderfraktur-Dokumentation

**Anweisungen**  
 • Benutzen Sie einen welchen #2 Bleistift zur Markierung.  
 • Textantworten sind online auszufüllen.  
 ■ Felder sind komplett auszufüllen.

**Selbe**  
 rechts  links

**Fragentypen**  
 nur 1 Antwort erlaubt  mehrere Antworten erlaubt

**Nachname** \_\_\_\_\_ **Vorname** \_\_\_\_\_ **Geschlecht** \_\_\_\_\_  
**Strasse** \_\_\_\_\_ **Pat.-Nr.** \_\_\_\_\_  
**Postleitzahl** \_\_\_\_\_ **Wohnort** \_\_\_\_\_  
**Beruf** \_\_\_\_\_ **Geburtsdag (TT.MM.JJJJ)** \_\_\_\_\_ **Telefon** \_\_\_\_\_

**Aufnahme**

**Unfall-datum**  
 Tag: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Monat: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Jahr: c0 c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16

**Aufnahme-datum**  
 Tag: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Monat: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Jahr: c0 c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16

**Art und Ort des Unfalls**  
 kein Unfall  Schule / Kindergarten  Spielplatz  Verkehrsunfall: Fahrrad  Kindesmissbrauch  
 Zu Hause  Sport  Verkehrsunfall: Mitfahrer  Verkehrsunfall: Fussgänger  andere .....

**Haut- und Weichteilverletzungen**  
 keine  geschlossen, erstgradig  geschlossen, drittgradig  offen, zweitgradig  
 geschlossen, zweitgradig  offen, erstgradig  offen, drittgradig

**Nerven- und Gefässerweiterungen**  ja  nein **Frakturtyp**  typisch  Re-Fraktur  pathologisch  anderer .....

**Fraktur-Klassifikation**

Fraktur-Klassifikation  
 3.3.S.1  4.1.S.1  4.3.S.1

**Frakturtyp Salter**  
 Salter I  medial  ventral  keine Dislokation  
 Salter II  lateral  dorsal  tolerierbar  nicht tolerierbar

**Dislokationsrichtung**  
 Antekurvation  Varus  Seitverschiebung  
 Retrokurvation  Valgus  Rotation

**Antekurvation** ..... **Ad iatus Verschiebung**  
 um Corticalisbreite und weniger als ein Drittel des Knochendurchmessers  
 um weniger als die Hälfte  um mehr als die Hälfte  um die vollständige Knochenbreite

**Status Epiphyseentuge**  
 offen  partiell geschlossen, physiologisch  
 vollständig geschlossen, physiologisch

**Behandlung**

**Externe Primärbehandlung**  ja  nein  
**Datum Primärbehandlung (extern oder in Studienklinik)**  
 Tag: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Monat: c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22 c23 c24 c25 c26 c27 c28 c29 c30  
 Jahr: c0 c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16

**Zeitpunkt der Primärbehandlung (extern oder in Studienklinik)**  
 < 2 Std. nach Unfall  12-24 Std. nach Unfall  3-7 Tage nach Unfall  
 2-12 Std. nach Unfall  24 Std.-3 Tage nach Unfall  > 7 Tage nach Unfall

**Primäre Entscheidung**  Immobilisation  Kettung  Reposition  
**Art der Reposition**  geschlossen  offen  
**Post-Repositionsstabilisierung**  
 Gips  Gips, Kettung beabsichtigt  K-Draht  Fixateur Externe  ESN (elastischer Marknagel)  Schrauben  Cerclage  Platte(n)  andere .....

**Zusätzliche lokale Eingriffe (z.B. Fasziotomie, Debridement)**  ja  nein  
**Anästhesie / Sedierung**  keine  Sedierung  Lokalanästhesie  Regionalanästhesie  andere .....

**Fehlstellung nach Therapie**  
 wie zuvor  verändert  besetztigt  nicht kontrolliert

Copyright MEMdoc, 2002-2005 All rights reserved 24.07.06

**Abb. 1** ▲ Papierversion für die Datenerhebung im sog. „Primärbogen“: Hier werden Alter, Geschlecht, Unfallereignis und Therapieentscheidung registriert. Weitere Bögen beinhalten Komplikationen und die Daten der Follow-up-Untersuchungen. Alle erhobenen Daten konnten online über das Datenportal <http://www.MEMdoc.org> eingegeben werden. (Mit freundl. Genehmigung von PD Dr. med. C. Röder, Institut für Evaluative Forschung in der Medizin, Universität Bern, Schweiz)

trische Zusammenarbeit mehrerer kindertraumatologischer Institute. Erfassung und Auswertung der eingehenden Daten können bei ausreichender Datensicherheit online im Internet geschehen. Ein entsprechendes Programm wird vom Institut für evaluative Forschung in der Medizin der Universität Bern angeboten und hat sich im Rahmen von Untersuchungen zur Endoprothetik und zu Wirbel-

frakturen bewährt [11, 21, 22]. Die spezifische kindertraumatologische Ausrichtung der Software wurde in den Jahren 2003–2005 erprobt [12, 13]. Die in diesem Rahmen evaluierte Li-La-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter bildet eine Grundlage der hier vorgestellten Studie [16, 17, 19].

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, aktuelle Daten zur Häufigkeit und zur

Typisierung von Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia zu liefern. Außerdem sollen insbesondere Alter, Dislokationsausmaß und -richtung mit den tatsächlich getroffenen Therapieentscheidungen korreliert und diese auf ihre Konsistenz geprüft werden. Die so erlangten Daten sollen die Basis für eine Langzeitverlaufsuntersuchung der eingeschlossenen Fälle bilden.

### Material und Methode

Die geringe Anzahl der jährlich selbst in kindertraumatologischen Zentren behandelten Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia machte eine multizentrische Datenerhebung notwendig. Der Verein „Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder e.V.“ initiierte daher eine Studie „Traumatische Epiphysenlösungen der unteren Extremitäten im Wachstumsalter – Prospektive multizentrische Studie zu Aufkommen, Behandlungsstrategien und der Häufigkeit posttraumatischer Wachstumsstörungen“. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der federführenden Universitätsklinik genehmigt. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Ergebnisse zu Aufkommen und Behandlungsstrategien von Epiphysenfugenlösungen Salter/Harris (SH) I und II der distalen Tibia dargestellt.

### Patienten

In einem Zeitraum von 36 Monaten wurden alle Patienten nach Einverständniserklärung der Eltern in die Studie aufgenommen, die eine Wachstumsfugenlösung der distalen Tibia erlitten hatten. Ausschlusskriterien waren vorangegangene Frakturen im Bereich beider Sprunggelenke, pathologische Frakturen und Frakturen anderer Klassifikation (rein metaphysäre Frakturen, epiphysäre Frakturen, Übergangsfrakturen). Die Behandlungsstrategie wurde im Studienprotokoll nicht vorgegeben. Jede teilnehmende Klinik sollte ihr übliches Behandlungsschema anwenden.

In einem primären Erhebungsbogen wurden neben den persönlichen Daten des Patienten und der Verletzungsseite Art und Ort des Unfallereignisses, Umfang des Weichteilschadens und einer et-

R. Kraus · U. Herbst · G. Perler · R. Schnettler · C. Röder

### Traumatische Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia. Aufkommen, Formen, Behandlungsstrategien

#### Zusammenfassung

Traumatische Epiphysenfugenlösungen [Einteilung von Salter u. Harris (SH) I/II] der unteren Extremität sind selten. Mit Komplikationen behaftete Verläufe werden in 2,2–39,6% der Fälle berichtet. Die vorliegende Arbeit soll aktuelle Daten zur Epidemiologie und zu den Behandlungsgrundlagen von Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia liefern. In einem Zeitraum von 36 Monaten wurden in einer multizentrischen Studie alle Patienten aufgenommen, die eine Wachstumsfugenlösung der distalen Tibia erlitten hatten. Daten zu Alter, Geschlecht, Unfall, Klassifikation, Therapieentscheidung und Frühkomplikationen wurden erhoben und online archiviert. 150 Fälle (64,6% Jungen, 35,4% Mädchen, Altersdurchschnitt 11,8 Jahre) wurden eingeschlossen. Häufigste Unfall-

ursache war der Sport (42%). 76% der Fälle wurden einer Reposition zugeführt. Die Toleranzgrenze für eine Antekurvationsfehlstellung lag bei 10° ( $p=0,0021$ ), für den Valgus bei 7° ( $p=0,0155$ ). Toleranzen von maximal 5° für Retrokurvation und Varus waren statistisch nicht signifikant. Die Untersuchung bestätigt die Verletzungsepidemiologie anderer Studien. Erstmals wurden Daten zur Behandlungswirklichkeit bei Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia erhoben. Diese orientiert sich konsequent an den Empfehlungen der einschlägigen Literatur.

#### Schlüsselwörter

Wachstumsfugenlösung · Distale Tibia · Dislokation · Reposition · Komplikationen

### Traumatic physeal separations of the distal tibia. Occurrence, forms, treatment strategies

#### Abstract

Traumatic physeal separations (SH I/II) of the lower extremities are rare. Complications are reported in 2.2–39.6%. The current study is intended to provide recent data concerning epidemiology and treatment decisions in physeal separation of the distal tibia. All patients who suffered a physeal separation of the distal tibia in a 36-month period were included in a multicenter study. Age, gender, mechanism of injury, classification, therapeutic decision, and early complications were recorded online. There were 150 cases (64.6% male, 35.4% female, average age 11.8 years). The most frequent mechanism of injury was sportive activity (42%); 76% of cases needed

reduction. Antecurvation was tolerated up to 10° ( $p=0.0021$ ) and valgus up to 7° ( $p=0.0155$ ). Tolerance ranges up to 5° of retrocurvation and varus were not statistically significant. The investigation confirmed epidemiological data of former studies. For the first time data concerning the treatment reality of physeal separations of the distal tibia were recorded. They consistently follow the recommendations of the appropriate literature.

#### Keywords

Physeal separation · Distal tibia · Displacement · Reduction · Complications

waigen Hautverletzung und zusätzliche Verletzungen erfragt. Ein zweiter Datenblock erfragte den Frakturtyp, die Lokalisation des metaphysären Keils bei Salter-II-Frakturen, die Dislokationsrichtung, das Dislokationsausmaß sowie den Reifezustand der betroffenen Wachstumsfuge. Die Klassifikation der Verletzungen wurde nach der Li-La-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter vorgenommen [18]. Der Therapieteil der Datenerhebung erfasste das Intervall zwischen Unfall und definitiver Behandlung, die primäre Behandlungsentscheidung, die Art der Stabilisierung und der Anästhesie. Außerdem wurde der radiologisch gesicherte Therapieerfolg erfragt. Der letzte Teil der Erfassung registrierte die (stationäre) Dauer der Primärbehandlung und das Auftreten allgemeiner und spezifischer Komplikationen über die Dauer der ersten 4 Wochen. Im Falle notwendiger Sekundärbehandlungen (Nachrepositionen, Strategiewechsel) konnte deren Zeitpunkt, Art und Erfolg dokumentiert werden (■ **Abb. 1**).

#### Teilnehmende Kliniken

Vor Beginn der Studie konnten 21 kindertraumatologische Einrichtungen für die Teilnahme an der Studie rekrutiert werden. Es handelte sich um 11 unfallchirurgische und 10 kinderchirurgische Abteilungen. Die Institutionen waren 9 Universitätskliniken und 12 nicht universitäre Krankenhäuser der traumatologischen Maximal- und Schwerpunktversorgung ( $n=8$ ) oder Grund- und Regelversorgung ( $n=4$ ). Letztendlich leisteten 7 Teilnehmer regelmäßige Studienbeiträge. Jeder Studienteilnehmer erhielt einen passwortgeschützten Zugang zur Online-Eingabeseite des Instituts für Evaluative Forschung in der Medizin der Universität Bern und wurde im Rahmen zweier Sitzungen geschult.

#### Datenverarbeitung, Datenschutz

Die erhobenen Daten wurden online über das akademische Dokumentationsportal <http://www.memdoc.org> anonymisiert in die Datenmaske eingegeben. Die Datensicherheit wurde dabei durch Passwort-

**Tab. 1** Unfallereignisse bei traumatischen Wachstumsfugenlösungen der unteren Extremität (Mehrfachnennungen sind möglich): Eine quantitativ herausragende Rolle spielen in der Gesamtgruppe Sportunfälle. Verkehrsunfälle machen insgesamt nur 13,4% der Verletzungsmechanismen aus, kommen aber bei Fugenlösungen des distalen Femurs (38,2%) gehäuft vor (%/n)

Unfall	Distales Femur (Klass.: 3.3.S. 1)	Proximale Tibia (Klass.: 4.1.S. 1)	Distale Tibia (Klass.: 4.3.S. 1)	Gesamt
Zu Hause	9,5%; n=2	n=0	8,5%; n=15	8,1%; n=17
Schule/Kindergarten (bg-lich)	14,3%; n=3	n=0	16,5%; n=29	15,3%; n=32
Sport	14,3%; n=3	58,4%; n=7	41,5%; n=73	39,7%; n=83
Spielplatz	14,3%; n=3	25,0%; n=3	13,1%; n=23	13,9%; n=29
Verkehr: Pkw-Insasse	4,8%; n=1	n=0	n=0	0,5%; n=1
Verkehr: Fahrradfahrer	19,0%; n=4	n=0	2,8%; n=5	4,3%; n=9
Verkehr: Fußgänger	14,3%; n=3	8,3%; n=1	7,9%; n=14	8,6%; n=18
Andere	9,5%; n=2	8,3%; n=1	9,7%; n=17	9,6%; n=20

schutz und 128-Bit-Verschlüsselung gewährleistet. Jeder Patient erhielt dabei eine fortlaufende Nummer mit dem Kürzel seiner Klinik. Eine Rückverfolgung der Daten und die Identifikation des Patienten waren nur dem Studienverantwortlichen der Eingabeklinik möglich. Die eingegebenen Daten wurden nach einem vor Beginn der Studie erarbeiteten Algorithmus auf ihre Plausibilität geprüft, um versehentliche Fehlangaben weitgehend zu vermeiden.

Nach vollständigem Ausfüllen aller Felder wurde der Bogen „submitiert“ und war damit unabänderlich gespeichert. Jedem Bogen konnten bis zu 5 Röntgenbilder angehängt werden. Jeder Teilnehmer konnte zu jeder Zeit der Studie seine eigenen eingegebenen Fälle abrufen und einsehen. Darüber hinaus war ein „online benchmarking“ mit den anderen Teilnehmern möglich. Der klinische und der administrative Studienleiter hatte zu jedem Zeitpunkt Zugriff auf die angelegten Bögen, um Vervollständigungen und Ergänzungen bei den Teilnehmern anfordern zu können.

## Statistik

Der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test wurde zum Vergleich der Gruppen mit als tolerabel und nicht tolerabel bezeichneten Achsabweichungen verwendet (StatXact 8, Cytel Inc., Cambridge, MA, USA.) Die Powerberechnungen bei den nicht-signifikanten Gruppenvergleichen erfolgten mittels PASS 2008 (NCSS, LLC, Kaysville, Utah, USA). Korrelationen zwischen Dislokationsausmaß (tole-

tabil, nichttolerabel) und Behandlungsentscheid (Immobilisation, Reposition) wurden mit dem Pearson Korrelationskoeffizienten beschrieben. Diese Berechnungen und alle Verteilungsstatistiken erfolgten mit SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Das  $\alpha$ -Niveau wurde bei 0,05 festgesetzt.

## Ergebnisse

### Epidemiologie und Verletzungsursachen

Im Erhebungszeitraum konnten 178 Fälle von traumatischen Wachstumsfugenlösungen an der unteren Extremität akquiriert werden. Es handelte sich dabei um 18 Verletzungen des distalen Femurs (Klassifikation 3.3.S. 1: 10,1%), 10 der proximalen Tibia (Klassifikation 4.1.S. 1: 5,6%) und 150 der distalen Tibia (Klassifikation 4.3.S. 1: 84,3%). Unter den Verletzten waren 115 Jungen (64,6%) und 63 Mädchen (35,4%). Der Altersdurchschnitt lag bei 11,8 (1–16) Jahren, 24 Patienten (16%) waren <10 Jahre, 4 Patienten (2,7%) <5 Jahre. Die männlichen Verletzten waren dabei mit 12,4 Jahren durchschnittlich 18 Monate älter als die weiblichen Verletzten (Mittel 10,9 Jahre). Die Auswertung der zugrunde liegenden Unfallereignisse ergab für die proximale und die distale Tibia jeweils Sportunfälle als häufigste Ursache (58% bzw. 42%). Häufigste Ursache für traumatische Wachstumsfugenlösungen am distalen Femur waren dagegen Verkehrsunfälle (38%), insbesondere Unfallereignisse als Radfahrer und Fußgänger (■ Tab. 1).

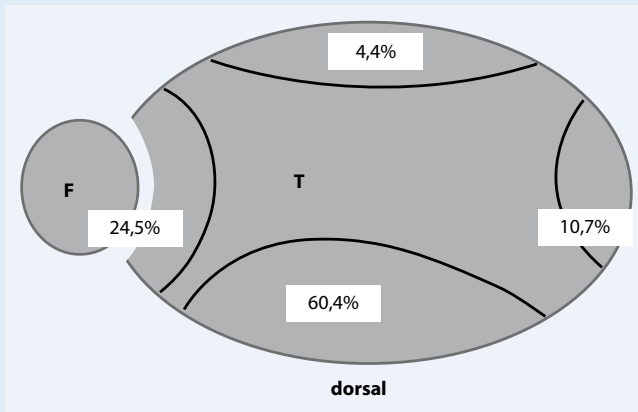
## Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia

Die folgende detaillierte Auswertung wurde ausschließlich für die Wachstumsfugenlösung der distalen Tibia (Klassifikation 4.3.S. 1) durchgeführt. Nach Abschluss einiger unvollständiger Datensätze standen schließlich 150 Fälle zur Verfügung. In dieser Gruppe fanden sich lediglich 1,3% offene Frakturen und 0,7% neurogene oder vaskuläre Begleitverletzungen. 74% der Frakturen waren disloziert (n=111), 26% undisloziert (n=39). Der Dislokationsgrad wurde in 18 Fällen (16,2%) als tolerabel, d. h. nicht repositionsbedürftig angesehen. In 18 Fällen (12%) lag eine reine Wachstumsfugenlösung (SH I) in 132 Fällen dagegen (88%) eine Wachstumsfugenlösung mit metaphysärem Keil vor (SH II). Der metaphysäre Keil lag am häufigsten dorsal (60,4%), gefolgt von lateral (24,5%) und medial (10,7%) vor. Nur in 4,4% der Fälle lag ein ventraler metaphysärer Keil vor (■ Abb. 2).

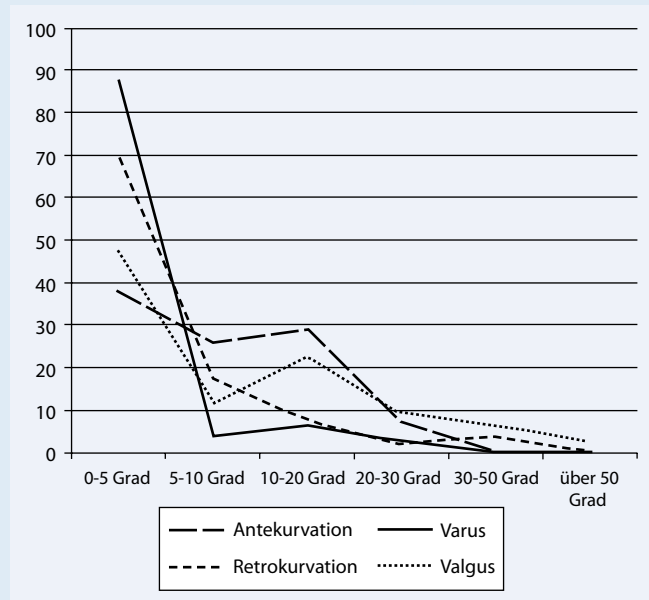
Die am stärksten ausgeprägte Dislokationsrichtung war in 31,9% eine Antekurvation, in 10,4% eine Retrokurvation, in 4,9% eine Varusfehlstellung, in 23,9% eine Valgusfehlstellung, in 25,8% eine Seit-zu-Seit-Verschiebung (ad latus) und in 3,1% eine Rotationsabweichung. Das Ausmaß der Achsabweichung in der Frontal- und Sagittalebene lag in 60,4% aller Fälle bei maximal 5° und in 75,1% der Fälle bei maximal 10°. Nur in 8,3% der Fälle lag eine Achsabweichung von >20° vor (■ Abb. 3). Die festgestellte Seit-zu-Seit-Verschiebung war in 83,8% geringer als ein Drittel Schaftdurchmesser.

Die Studienteilnehmer wurden aufgefordert, im Falle kombinierter Achsabweichungen festzulegen, welche der Einzeldislokationen Grundlage für eine aktive Therapieentscheidung (Gipskeilung bzw. Reposition mit oder ohne Osteosynthese) herangezogen wurde. Als nicht tolerabel und als ausschlaggebend für die Indikation zu einer Achskorrektur wurde am häufigsten eine Antekurvation (44,9%), gefolgt von einer Seit-zu-Seit-Verschiebung (42,8%) und einer Valgusfehlstellung (36,7%) angesehen. Für die einzelne untersuchte, post-





**Abb. 2** ▲ Lage des metaphysären Keils bei Wachstumsfugenlösungen SH II der distalen Tibia (n=132). Es wurde jeweils die Hauptlagerichtung des Keils ausgewertet. Mediale und ventrale Keilbildungen waren selten (F Fibula, T Tibia)



**Abb. 3** ▲ Ausmaß der Achsabweichung in der Frontal- und Sagittalebene bei Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia (n=150, Angaben auf der Y-Achse in %): Relevante Achsabweichungen >10° kommen im Wesentlichen bei den häufigen Dislokationen Antekurvatur und Valgus vor

traumatische Fehlstellung ergab die statistische Analyse unterschiedliche Ergebnisse für tolerable Fehlstellungen einerseits und repositionsbedürftige Achsabweichungen andererseits.

### Achsabweichungen in der Frontalebene

Die Varusfehlstellung war insgesamt selten von relevanter Bedeutung (n=6). Sie wurde bei Abweichungen zwischen 2 und 5° (Mittel 3,5°) als tolerabel angesehen und führte bei Abweichungen zwischen 10 und 20° (Mittel 15,5°) zur Indikation zur Reposition. Statistisch wurde hier aufgrund der geringen Gruppengröße kein Signifikanzniveau erreicht (p=0,1333; Power<0,8 für durchschnittlichen Unterschied von 10°). In 5 Fällen einer Valgusfehlstellung wurde bei Achsabweichungen von 5–10° (Mittel 6°) keine therapeutische Konsequenz im Sinne einer Reposition gezogen, wohingegen in 29 Fällen mit Achsabweichungen von 4–51° (Mittel 18,8°) eine Achskorrektur indiziert wurde. Hier lag eine statistisch hoch signifikante Differenz mit p=0,0021 vor.

### Achsabweichungen in der Sagittalebene

Die Retrokurvationsfehlstellung war in einer nur geringen Anzahl von Fällen therapeutisch relevant (n=12). Eine Achsabweichung zwischen 4 und 5° (Mittel 4,5°) wurde als tolerabel angesehen, dagegen führten Achsabweichungen zwischen 5 und 18° (Mittel 9,3°) zur Indikation zur Achskorrektur. Aufgrund der Gruppengröße konnte auch hier kein ausreichendes Signifikanzniveau erreicht werden (p=0,1212; Power<0,8 für durchschnittlichen Unterschied von 5°). Bei 31 Patienten war dagegen die Antekurvatur führend. In einer Gruppe mit Fehlstellungen zwischen 3 und 7° (Mittel 5°) wurde diese toleriert, in einer Gruppe mit Fehlstellungen zwischen 5 und 25° (Mittel 11,4°) nicht. Das Signifikanzniveau lag bei p=0,0155.

### Seit-zu-Seit-Verschiebung und Rotationsfehler

Alle als tolerabel bezeichneten Seit-zu-Seit- (Ad-latus-)Verschiebungen betrug maximal Kortikalisbreite. Jedoch auch nur 6 von 13 (46,1%) als nicht tolerabel angesehene Seit-zu-Seit-Verschiebungen betrug mehr als ein Drittel des Schaftdurch-

messers. Die Annahme eines Rotationsfehlers wurde nur qualitativ, mangels geeigneter Messmethode jedoch nicht quantitativ registriert.

Die herausragende Relevanz der Valgusabweichung für die Therapieentscheidung wird dadurch unterstrichen, dass eine als nicht tolerabel bezeichnete Fehlstellung nur in 6,4% der Fälle nicht als ausschlaggebend für die Therapie erachtet wurde und von einer Dislokation in anderer Richtung übertroffen wurde. Der Anteil nicht ausschlaggebender Antekurvationsfehlstellungen lag bei 32,5%. Demgegenüber war eine für sich allein nicht tolerable Ad-latus-Abweichung sogar in 62,9% der Fälle nicht für die Therapie entscheidend. Eine Zusammenfassung dieser Daten bietet **Tab. 2**.

### Therapie

In 51 Fällen (34%) bestand die Behandlung allein in der Immobilisation, in 99 Fällen (76%) wurde eine Reposition durchgeführt. Die Behandlung einer repositionsbedürftigen Wachstumsfugenlösung im Wachstumsalter wurde von allen teilnehmenden Kliniken als dringlicher Eingriff angesehen. In 73,2% der Fälle wurde die Primärbehandlung binnen 12 h nach dem Unfall-

**Tab. 2** Im Falle einer Fehlstellung wurden die Studienteilnehmer aufgefordert, diese als tolerabel (nicht repositionsbedürftig) und nicht tolerabel (repositionsbedürftig) einzuschätzen. Im Falle multidirektionaler Fehlstellungen wurde die im Wesentlichen für die Therapieentscheidung verantwortliche abgefragt

Fehlstellung	Nicht tolerabel, entscheidend für Indikation zur Reposition (n)	m (°)	Range (°)	Tolerabel (n)	m (°)	Range (°)	Nicht tolerabel, therapeutisch jedoch nicht entscheidend (n)	%
Varus	4	15,5	10–20	2	3,5	2–5	3	42,8
Valgus <sup>a</sup>	29	18,8	4–51	5	6	5–10	2	6,4
Antekurvation <sup>a</sup>	27	11,4	5–25	4	5	3–7	13	32,5
Retrokurvation	10	9,3	5–18	2	4,5	4–5	5	33,3
Ad latus	13	1,3	1–2	7	1	1–1	22	62,9

<sup>a</sup>Differenz zwischen tolerabel und nicht tolerabel statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ).

n Anzahl, m Mittelwert.

**Tab. 3** Übersicht über die verwendeten Osteosynthesematerialien bei 76 operativ behandelten Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia (Mehrfachnennungen möglich). Untere „andere“ wurde winkelstabile Platten und resorbierbares Material subsummiert

Osteosynthesematerial	n	%
Kirschner-Drähte	32	35,3
Fixateure externe	1	1,1
ESIN	2	2,3
Schrauben	46	50,3
Konventionelle Platte	4	4,4
Andere	6	6,6

ereignis durchgeführt. Nur 7,4% wurden nach  $\geq 3$  Tagen reponiert; 80,8% der Repositionen wurde in geschlossener Weise vorgenommen, in 19,2% der Fälle wurde offen reponiert. In 22,2% der Fälle erfolgte nur eine Reposition mit anschließender Gipsruhigstellung. In 76 Fällen (50,7% aller Patienten) wurde zusätzlich eine Osteosynthese durchgeführt. In einen Fall wurde eine Gipskeilung als primäre Therapieoption gewählt. In 93% der Fälle war nach der Repositionsbehandlung die vorbestehende Fehlstellung beseitigt, in 7% zumindest verbessert. Die gewählten Osteosyntheseverfahren stellt **Tab. 3** dar.

Die Differenzierung Frakturtypen ergab, dass 44% der SH-I-Frakturen (32% der SH-II-Frakturen) durch Ruhigstellung und 56% (68%) durch Reposition behandelt wurden. Der Anteil offener Repositionen war bei beiden Frakturtypen gleich (80% bzw. 81%). Das am häufigsten verwendeten Osteosynthesematerial bei SH-I-Verletzungen waren Kirschner-Drähte, bei SH-II-Verletzungen Schrauben.

### Komplikationen

Insgesamt traten in 14 Fällen (9,3%) Komplikationen auf. Im Einzelnen kam es einmal (7,1%) zu einer postoperativen Infektion; 4 Komplikationen waren gipsbedingt (28,6%). In weiteren 4 Fällen (28,6%) war eine Nachreposition notwendig, in 5 Fällen (35,7%) darüber hinaus ein Verfahrenswechsel. Die Fraktur assoziierten Komplikationen Nachreposition und Verfahrenswechsel waren in 7,8% nach alleiniger Ruhigstellung bzw. Reposition ohne Osteosynthese aufgetreten, während sie nach operativer Fraktur stabilisierung nur in 5,1% vorkamen ( $p = 0,4792$ , nicht signifikant Fisher's Exact-Test).

### Diskussion

Der Vergleich einer Studie zu Behandlung und Outcome bei Wachstumsfugenlösungen der unteren Extremität im Allgemeinen und der häufigsten Lokalisation, der distalen Tibia im Besonderen mit vorliegenden Daten aus der Literatur gestaltet sich aus verschiedenen Gründen schwierig. Zum Einen schließen viele Studien sowohl Wachstumsfugenlösungen (SH I/II) und Epiphysenfrakturen (SH III/IV) und sogar Übergangsfrakturen ein, deren Differenzierung bei der Interpretation der Studienergebnisse nicht immer möglich ist [1, 3, 20, 27]. Schon alleine die Tatsache, dass diese unterschiedlichen Verletzungstypen aber völlig unterschiedliche Altersgipfel haben und so insbesondere auf ihre Auswirkungen auf das weitere Wachstum differenziert betrachtet werden müssen, macht u. E. eine solche Unterscheidung

notwendig. Ein weiteres Problem ist, dass gerade in der englischsprachigen Literatur Dislokationsgrade oft in mm angegeben werden [1, 10, 20], während die europäische (insbesondere deutschsprachige) Literatur insbesondere zur Beschreibung der Achsfehlstellungen Ante- und Retrokurvation, Varus und Valgus Winkelgrade nutzt [18]. Ein weiteres Manko einiger Studien ist, dass bei der Beurteilung des mittel- und langfristigen Behandlungsergebnisses nicht ausreichend zwischen der Folgen belassener Fehlstellungen, posttraumatischer Wachstumsstörungen und behandlungsbedingter Komplikationen unterschieden wird [3, 24].

In der Literatur werden reine Wachstumsfugenlösungen als 2- bis 10-mal seltener als Fugenlösungen mit metaphysärem Keil angegeben [1, 3, 14, 20, 23]. Dazu findet sich der Hinweis, dass Salter-I-Fugenlösungen manchmal ein diagnostisches Problem darstellen können, wenn sie undisloziert oder spontan reponiert sind [26]. Im eigenen Krankengut konnten wir das Überwiegen der Verletzungen mit metaphysärem Keil bestätigen, die Relation lag bei 7,3:1.

Das Durchschnittsalter der Patienten mit Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia wird im Allgemeinen mit 11–12 Jahren angegeben [1, 5, 20, 24]. Für die Gesamtheit aller Patienten unserer Studie konnten wir dies mit einem Altersmittel von 11,8 Jahren bestätigen. Der Anteil maximal 10-Jähriger lag in der gleichen Größenklasse wie bei Phan et al. [23], in deren Untersuchung drei Viertel der Verletzten 11 Jahre und älter waren. Unter Vorschulkindern ( $\leq 5$  Jahre) sind Wachstumsfugenlösungen in allen Lokalisationen extrem selten. Vergleichbare Verletzungsmechanismen führen in dieser Altersklasse eher zu dia- oder metaphysären Frakturen [18]. Die männlichen Verletzten unserer Studie waren durchschnittlich 1,5 Jahr älter als die weiblichen. Dies korreliert mit der Tatsache, dass der Wachstumsabschluss in dieser Lokalisation bei Jungen im Mittel 2 Jahre später stattfindet als bei Mädchen. Die Beobachtung, dass die Kinder und Jugendlichen mit Salter-I-Verletzungen im Mittel 1–2 Jahre jünger sind als die mit Salter-II-Verletzungen konnten wir nicht bestätigen. Das Überwiegen von sportlicher Betätigung als Unfallursache für Verlet-

zungen der distalen Tibia bestätigen einige Autoren. Auch in deren Studie spielen Verkehrsunfälle eine untergeordnete Rolle [1, 20]).

Im Falle einer Salter-II-Verletzung war in der vorliegenden Serie die häufigste Lokalisation des metaphysären Keils mit >60% dorsal. Dies bestätigt die Literaturangaben [14, 26]. Am seltensten lag das metaphysäre Begleitfragment medial oder ventral. Eine Alterskorrelation zur metaphysären Fragmentlage ergab sich nicht, so dass der Reifegrad der Fuge als Ursache unwahrscheinlich ist. Diese ist wahrscheinlich vielmehr im Verletzungsmechanismus zu sehen, der bei Rohmiller et al. [24] in zwei Drittel in einer Supination/Adduktion (S/A) und in einem Drittel in einer Pronation/Außenrotation (P/A) gefunden wurde. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Schurz et al. [27]. Dass eine andere Arbeitsgruppe [5] zu nahezu reziproken Ergebnissen kam (36% S/A; 57% P/A), kann an der von den Verletzten gelieferten, ungenauen Darstellung des eigentlichen Verletzungsereignisses liegen. Aus diesem Grund wurden in der eigenen Untersuchung Daten zum Verletzungshergang nicht erhoben.

### ► Die vorliegenden Daten ermöglichen es, für bestimmte Behandlungskonstellationen die Behandlungswirklichkeit zu hinterfragen

Die Rate von 74% primär dislozierter Frakturen in der eigenen Studie bestätigt sich in etwa bei anderen Autoren. Schurz et al. [27] z. B. fanden unter 113 SH-II-Frakturen 65% primäre Dislokationen. In dieser Studie nimmt Wunder, dass sämtliche SH-I-Verletzungen keine Dislokation aufgewiesen haben sollen. Von ganz entscheidender Bedeutung für die Therapieentscheidung bei Vorliegen einer Wachstumsfugenlösung der distalen Tibia ist die Fähigkeit zur wachstumsassoziierten Korrektur posttraumatisch belassener oder verbliebener Fehlstellungen. Die Angaben zu diesem Thema sind in der Literatur durchaus unterschiedlich. Während die Lehrbuchliteratur in der Synopse davon ausgeht, dass bis zum Alter von 10 Jahren bis zu 20° Achsabweichung in der Frontal- und Sagittalebene und da-

nach noch 10° wachstumsbedingt ausgeglichen werden können [18, 26, 29], finden sich einzelne Studien, die in der Quintessenz empfehlen, nach dem 10. Lebensjahr keinerlei Achsabweichung gleich welcher Richtung mehr zu belassen [28]. Andererseits finden sich Hinweise, dass bis zu 12° Achsabweichung noch nach dem 13. Lebensjahr ausgeglichen werden können [2]. Diese Empfehlungen beruhen jedoch – soweit nachvollziehbar – nicht auf statistisch abgesicherten Daten, sondern vielmehr auf Einzelfallbeobachtungen und Erfahrungswerten. Zur Klärung der tatsächlichen, altersbereinigten Spontan Korrekturpotenz der distalen Tibia wäre eine randomisierte Behandlungsstudie im Matched-pair-Verfahren mit einer so immensen Patientenzahl notwendig, dass eine solche unter den derzeitigen Bedingungen klinischer Forschung nicht möglich erscheint.

Die vorliegenden Daten ermöglichen es jedoch immerhin, für bestimmte Behandlungskonstellationen die Behandlungswirklichkeit im Sinne einer „gepoolten Expertenmeinung“ zu hinterfragen und die getroffenen Behandlungsentscheidungen auf ihre Konsistenz hin zu überprüfen. Dies gelingt insbesondere in Bezug auf die am häufigsten ange-troffenen posttraumatischen Fehlstellungen, die Antekurvatur und den Valgus. Eine mittlere Valgusfehlstellung von 18,8° wurde von den Studienteilnehmern als nicht tolerabel angesehen, während die mittlere tolerierte Fehlstellung 6° betrug ( $p=0,0021$ ). Entsprechend wurde die Indikation zu einer Reposition gestellt bzw. verworfen. Ein Valgus von >10° wurde alterunabhängig in keinem einzigen Fall belassen. Noch strenger wurde eine Antekurvationsfehlstellung beurteilt. Hier wurde, ebenfalls altersunabhängig keine Fehlstellung von >7° toleriert. Repositionen wurde bei einer Antekurvatur von im Mittel 11,4° durchgeführt, während die belassenen Fehlstellungen durchschnittlich 5° betragen ( $p=0,0155$ ). Damit werden die Empfehlungen aus Lehrbüchern in der Behandlungsrealität konsistent und konsequent umgesetzt [18, 26, 29]. Für die Seit-zu-Seit-Verschiebung konnten wir diese Konsistenz nicht nachweisen, da sie meist nicht als die für die Therapieentscheidung wichtigste Fehlstel-

lung angesehen wurde. Auch für die selteneren Fehlstellungen Varus, Retrokurvatur und Rotationsabweichung konnte der statistische Beweis für die konsequente Umsetzung der eigenen Dislokationseinschätzung nicht geführt werden. Die Tatsache, dass weder im Falle eines Varus noch einer Retrokurvatur Fehlstellungen von >5° belassen wurden, kann allenfalls als Trend verstanden werden.

Anderer Autoren führen bei jeder Dislokation, unabhängig vom Ausmaß, eine Reposition durch, beziehen die Spontan korrekturfähigkeit des wachsenden Skeletts nicht in ihr Therapiekonzept ein und postulieren die Notwendigkeit einer offenen Vorgehensweise [27]. Diese Studie belegt jedoch nicht einen Vorteil im Outcome bei diesem maximal-invasiven Therapiekonzept und führt keine therapiebezogenen Komplikationsraten an.

### ■ In der aktuellen einschlägigen Literatur spielen die nach Reposition verbliebene Fehlstellung und die Anzahl der Repositionsversuche eine Rolle als Auslöser posttraumatischer Wachstumsstörungen [1, 24].

Bei Leary et al. [20] erhöhte sich mit jedem nach Reposition verbliebenen mm an Dislokation das Risiko eine Wachstumsstörung um das 1,33-fache. Ähnliche Ergebnisse fanden auch Caterini et al. [3]. Im eigenen Patienten gut wurde nur in 7 von 99 Fällen (7,1%) einer durchgeführten Reposition eine verbliebene Dislokation toleriert. Alle verbliebenen Dislokationen beliefen sich auf <10°. In derselben Studie waren in 7 von 124 Fällen (5,6%) zwei oder mehr Repositionsmanöver notwendig. Mit jeder Reposition erhöhte sich die Gefahr der Entwicklung einer Wachstumsstörung um mehr als das Doppelte. In der eigenen Studie war die Re-Repositionsquote mit 9 von 150 Fällen (6,0%) ähnlich. Eine Langzeitnachbeobachtung wird zeigen müssen, ob sich daraus ein signifikantes Risiko für die Entwicklung einer posttraumatischen Wachstumsstörung ergibt.

Sämtliche Patienten, die in die vorliegende Untersuchung einbezogen wurden, werden über einen Zeitraum von 3 Jahren nachuntersucht. Dieser Zeitraum wird für die letzten eingeschlossenen Patienten im Dezember 2012 abgelaufen sein. Der we-

sentliche Zielpunkt dieser Follow-up-Serie wird die Entwicklung posttraumatischer Wachstumsstörungen sein. Aufgrund der detailliert erhobenen Daten wird die Arbeitsgruppe in der Lage sein, diese von Folgen primär nach Verletzung oder sekundär nach Behandlung belasteter Fehlstellungen zu unterscheiden.

### Fazit für die Praxis

**Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia sind seltene Verletzungen. Ihr Altergipfel liegt bei 11–12 Jahren. Ursache sind meist Sportunfälle. Salter-Harris-II-Verletzungen überwiegen. Drei Viertel der Fälle weisen eine Dislokation auf. Die häufigsten Dislokationsrichtungen sind die Antekurvation und der Valgus. Für beide Fehlstellungen ergab die Studie eine durch die Teilnehmer geübte, altersunabhängige Toleranzgrenze von 10° Achsabweichung. Die selteneren Fehlstellungen Retrokurvation und Varus wurden noch strenger beurteilt. Die begleitende Seit-zu-Seit-Verschiebung spielt für die Therapieentscheidung eine untergeordnete Rolle. Die Reposition wird meist geschlossen ausgeführt. Osteosynthesen werden überwiegend mit Kirschner-Drähten und/oder Schrauben durchgeführt. Die häufigste Frühkomplikation ist die sekundäre Redisllokation.**

### Korrespondenzadresse

PD Dr. R. Kraus



Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen, Rudolf Buchheim-Straße 7, 35385 Gießen, ralf.kraus@chiru.med.uni-giessen.de

**Danksagung.** Die Autoren danken allen teilnehmenden kindertraumatologischen Abteilungen und insbesondere den vor Ort verantwortlichen Kolleginnen und Kollegen für ihre Beiträge. Die Autoren danken darüber hinaus dem gemeinnützigen Verein „Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.“ für die Unterstützung.

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

### Literatur

- Barmada A, Gaynor T, Mubarak SJ (2003) Premature physeal closure following distal tibia physeal fractures: a new radiographic predictor. *J Pediatr Orthop* 23:733–739
- Caruthers CO, Crenshaw AH (1955) Clinical significance of a classification of epiphyseal injuries at the ankle. *Am J Surg* 89:879–889
- Caterini R, Farsetti P, Ippolito E (1991) Long term follow-up of physeal injury to the ankle. *Foot Ankle* 11:372–383
- Chadwick CJ, Bentley G (1987) The classification and prognosis of epiphyseal injuries. *Injury* 18:157–168
- De Sanctis N, Della Corte S, Pempinello C (2000) Distal tibial and fibular epiphyseal fractures in children: prognostic criteria and long-term results in 158 patients. *J Pediatr Orthop B* 9:40–44
- Dias LS, Tachdjian MO (1978) Physeal injuries of the ankle in children: classification. *Clin Orthop Relat Res* 136:230–233
- Dugan G, Herndon WA, McGuire R (1987) Distal tibial physeal injuries in children: a different treatment concept. *J Orthop Trauma* 1:63–67
- Hasler C, Laer L von (2000) Pathophysiology of posttraumatic deformities of the lower limbs during growth. *Orthopade* 29:757–765
- Jonasch E, Bertel E (1981) Verletzungen bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr. *Hefte Unfallheilkd* 150:1–146
- Kärholm J, Hansson LLI, Svensson K (1983) Prediction of growth pattern after ankle fractures in children. *J Pediatr Orthop* 3:319–325
- Knop C, Reinhold M, Roeder C et al (2006) Internet based multicenter study for thoracolumbar injuries: a new concept and preliminary results. *Eur Spine J* 15:1687–1694
- Kraus R, Schneidmüller D, Röder C (2005) Aktuelle Daten zur Häufigkeit von Frakturen langer Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Dtsch Ärzteblatt A* 102:838–842
- Kraus R, Ploss C, Staub L et al (2006) Fractures of long bones in children and adolescents. *Osteosynth Trauma Care* 14:39–44
- Kraus R, Kaiser M (2009) Growth disturbances of the distal tibia after physeal separation – What do we know, what do we believe to know? *Eur J Pediatr Surg* 18:295–299
- Kraus R, Röder C, Perler M et al (2010) Haben Kinderchirurgen und Erwachsenenchirurgen unterschiedliche Therapieansätze bei der Behandlung von Wachstumsfugenlösungen? *Zentralbl Chir* 135: 487–490
- Kraus R (2010) Klassifikation von Frakturen im Wachstumsalter. *JOP* 26:70–77
- Laer L von, Gruber R, Dallek M et al (2000) Classifications and documentation of children's fractures. *Eur J Trauma* 26:2–14
- Laer L von, Kraus R, Linhart WE (2007) Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 5. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Laer L von, Kraus R (2007) Die konservative Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Unfallchirurg* 109:811–823
- Leary JT, Handling M, Talerico M et al (2009) Physeal fractures of the distal tibia: predictive factors of premature physeal closure and growth arrest. *J Pediatr Orthop* 29:356–361
- Melloh M, Staub L, Aghayev E et al (2008) The international spine registry SPINE TANGO: status quo and first results. *Eur Spine J* 17:1201–1209
- Naudie D, Roeder CP, Parvizi J et al (2004) Metal-on-metal versus metal-on-polyethylene bearings in total hip arthroplasty: a matched case-control study. *J Arthroplasty* 19:35–41
- Phan VC, Wroten E, Yngve DA (2002) Foot progression angle after distal tibial physeal fractures. *J Pediatr Orthop* 22:31–35
- Rohmiller MT, Gaynor TP, Pawelek JJ, Mubarak SJ (2006) Salter-Harris I and II fractures of the distal tibia: does mechanism of injury relate to premature physeal closure? *J Pediatr Orthop* 26:322–328
- Salter RB, Harris WR (1963) Injuries involving the physeal plate. *J Bone Joint Surg Am* 45:587–598
- Schneidmüller D, Marzi I (2006) Unterschenkel. In: Marzi I (Hrsg) *Kindertraumatologie*. Steinkopff, Darmstadt, S 337–352
- Schurz M, Binder H, Platzer P et al (2010) Physeal injuries of the distal tibia: long-term results in 376 patients. *Int Orthop* 34:547–552
- Spiegel P, Cooperman D, Laros G (1978) Epiphyseal fractures of the distal ends of tibia and fibula. *J Bone Joint Surg Am* 60:1046–1050
- Weinberg AM, Kutschera C, Kutschera-Lissberg F et al (2006) Unterschenkel. In: Weinberg AM, Tscherné H (Hrsg) *Unfallchirurgie im Kindesalter*, Bd. 2. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 741–805