

Was tun, wenn die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) an ihre Grenzen stößt?

Ziele

Mit diesem Beitrag soll vermittelt werden,

- dass das Alter des Kindes, der Markraumdurchmesser in Relation zur Knochendicke und das Gewicht Grenzen der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) darstellen.
- wie sich die Komplexität der Frakturmorphologie mittels der Frakturklassifikation analysieren lässt,
- wie die Stabilität der ESIN erhöht werden kann,
- welche Stabilisierungsmethoden im Adoleszentenalter am besten geeignet sind,
- worin die anatomischen Besonderheiten des Femurs im Adoleszentenalter bestehen und
- wie die spezielle, solide Marknagelung korrekt angewendet wird.

Hintergrund

Seit Einführung der modernen elastisch-stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) im Jahre 1983 durch die Gruppe aus Nancy in Frankreich etablierte sich diese Methode nicht nur in Europa, sondern weltweit zum „golden standard“ der Versorgung von Femurfrakturen im Kindesalter. Werden die biomechanischen und technischen Vorgaben respektiert und eingehalten, können mittels ESIN die Mehrzahl aller Femurfrakturen zwischen dem 3. und 15. oder 16. Lebensjahr sicher und suffizient und mit einwandfreiem Resul-

tat versorgt werden. Dennoch wissen und erfahren wir täglich, dass auch Probleme auftreten können. Die Hauptfaktoren dafür finden sich einerseits beim Patienten (Frühreife, Übergewicht, groß gewachsen ...) sowie bei der Frakturmorphologie selbst (lange Spiralbrüche, mehrfragmentäre Brüche). Andererseits stellt auch der Chirurg einen wesentlichen Unsicherheitsfaktor dar, indem er die biomechanischen und technischen Aspekte missachtet oder nicht umsetzt. Typisch dafür sind verschiedene Publikationen [3, 7, 8] über Komplikationen dieser Methode, in welchen darauf hingewiesen wird, dass sie für das größere Kind oder komplexere Frakturen nicht geeignet sei. Betrachtet man jedoch die in diesen Arbeiten enthaltenen Abbildungen genauer, ist unschwer zu erkennen, dass eine Fülle von technischen Fehlern Ursache der Komplikationen war, wie zu dünne Nägel, falsche Eintrittspunkte, Umwindungen der Nägel, sog. Korkenzieherphänomen, keine innere Aufspannung und vieles mehr.

Um diese Problemfaktoren (Größe, Gewicht des älteren Kindes/Komplexität der Fraktur sowie technische Mängel durch den Chirurgen) auf ein Minimum zu reduzieren, werden in vorliegender Arbeit für sog. Problemfrakturen des älteren Kindes die adäquaten Behandlungsmethoden beschrieben. Daneben soll versucht werden, einen gewissen Behandlungsalgorithmus in Abhängigkeit des Alters aufzuzeigen.

Problematik

Wie eingangs erwähnt, stellt heute bei der Behandlung von Femurfrakturen im Kindesalter die ESIN weltweit die Methode der Wahl dar. In der über 30-jährigen Erfahrung mit dieser Methode konnte man einerseits zeigen, dass bei korrekter Anwendung und Indikationsstellung durchaus auch Kinder jenseits des 13. Lebensjahrs und bis zu einem Körpergewicht von 50–60 kg adäquat behandelt werden können ([2, 4, 5], **Abb. 1**).

Es muss aber auch deutlich betont werden, dass selbst geübte Anwender an die Grenzen der Methode stoßen und wie es wichtig ist, in diesen Fällen kindgerechte und sichere Alternativen zu kennen und diese anzuwenden zu können.

Patientenseitige Problematik

Heute wissen wir allgemein, dass Kinder, insbesondere Mädchen, früher reif sind und somit auch die pathophysiologischen Besonderheiten der spezifischen, dem Kind eigenen, raschen Knochenheilung früher verlorengehen. Diese dem Kinde eigene, gute Heilung und extreme Kallusbildung (**Abb. 2**) trotz der minimalen Instabilität, welche durch die ESIN gegeben ist, ist einer der wesentlichsten Punkte, weshalb dieses Verfahren funktioniert. Somit sollte die ESIN nur bei Kindern mit noch offenen Fugen angewandt werden.

Körpergröße. Die heutigen Jugendlichen sind oft bereits im Alter von 13 und

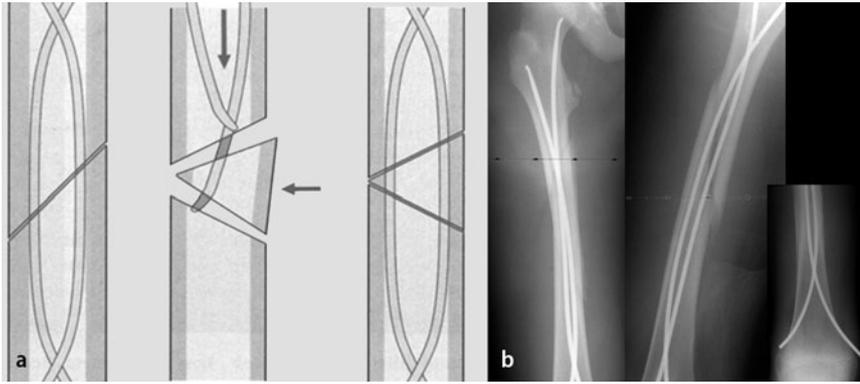


Abb. 1 ▲ **a** Korrekte innere Verspannung der elastischen Nägel im Bereich der Fraktur zur Stabilisierung auch komplexerer Verletzungen; wichtig: innerer Anpressdruck über möglichst lange Strecke, **b** klinisches Beispiel einer gut versorgten langen Spiralfaktur. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 2 ▲ Typische, starke und umfangreiche Kallusbildung nach 4 Wochen postoperativ, volle Belastung erlaubt. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

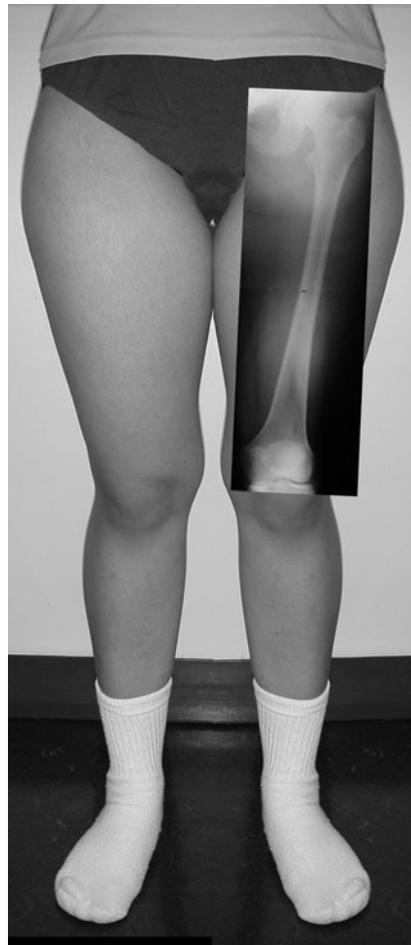


Abb. 3 ▲ Typische Situation eines groß gewachsenen, eher übergewichtigen Mädchens (Größe 160 cm, Körpergewicht 65 kg): relativ dünnes Femur in Relation zum Oberschenkel: ESIN nicht mehr indiziert, besser ALFN („adolescent lateral entry femoral nail“)! (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

14 Jahren körperlich ausgewachsen. Dies trifft insbesondere für Mädchen zu. Dem muss bei der Wahl der Versorgungsmethode Rechnung getragen werden. Oft wird dies nicht beachtet, und es kommt zu einer ungenügenden oder verzögerten Heilung oder einer ungenügenden Stabilität der ESIN.

Körpergewicht. Eine noch wichtigere Rolle als die Größe spielt das Körpergewicht. Oft ist das Missverhältnis zwischen Alter und Körpergröße sowie Gewicht groß. Es muss berücksichtigt bzw. erkannt werden, dass sich das Skelett des Kindes *nicht* dem Gewicht anpasst. Das bedeutet, dass der Durchmesser des Femurs, insbesondere aber der entscheidende Markraumdurchmesser und damit verbunden die zu wählende Nageldicke nicht zum Gewicht des Kindes passen. Dies führt zwangsläufig zu einer instabilen Versorgung.

Als mögliches Beispiel sei folgende Situation beschrieben: Bei einem großgewachsenen 13-jährigen Mädchen mit einem Gewicht von 65 kg und einem Markraumdurchmesser von 8 mm müsste laut der Größe und des Gewichts ein Nagel der Dicke 3,5–4 mm gewählt werden, bei dem Markraumdurchmesser von 8 mm sind aber maximal 3 mm möglich (■ **Abb. 3**).

Alter/Heilungsphysiologie. Das spezifische der Frakturheilung im Kindesalter ist die rasche und enorme Kallusbildung. Sie stabilisiert und festigt die Frakturenden auch trotz erheblicher Instabilität miteinander (bei Säuglingen und Kleinkindern oft ohne externe Stabilisierung). Erst danach erfolgen die kortikale Heilung und der entsprechende Durchbau (■ **Abb. 4**). Diese Heilungsphysiologie geht mit zunehmendem Alter des Kindes, speziell wenn die Fugen geschlossen sind, verloren (■ **Abb. 5**). Somit erfordert eine Fraktur in diesem Alter für die Heilung eine bessere Stabilität, welche mit der ESIN nicht gegeben ist.

Morphologie/Anatomie des Femurs. Der Aufbau und der Querschnitt des Femurs im Kindesalter unterliegen einem erheblichen Wandel. Dieser wird oft nicht wahrgenommen oder auch nicht

T. Slongo

Was tun, wenn die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) an ihre Grenzen stößt?**Zusammenfassung**

Hintergrund. Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) hat sich in den letzten 2 Jahrzehnten weltweit zum Goldstandard in der Versorgung der Frakturen im Kindesalter entwickelt. Werden die biomechanischen und technischen Vorgaben eingehalten, handelt es sich um ein sicheres und effizientes Verfahren.

Problematik. Das Alter des Kindes, der Markraumdurchmesser in Relation zur Knochendicke und hohes Körpergewicht können limitierende Faktoren der ESIN sein. In gleicher Weise beeinflusst auch die Komplexität der Fraktur in Kombination mit technischen Mängeln die Qualität der Versorgung. Die einfache Anwendung der ESIN verleitet zu deren unsorgfältigem Einsatz und v. a. zur Vernachlässigung der unabdingbaren Einhaltung der biomechanischen Prinzipien. Wesentliche Prob-

leme aufseiten des Chirurgen sind die ungenügende Analyse der Fraktur, die daraus resultierende relativ falsche Indikationsstellung, die Nichteinhaltung der technischen Vorgaben, wie z. B. nicht korrekte Wahl der Implantatdicke sowie Eintrittsstellen, keine innere Aufspannung/kein 3-Punkte-Kontakt, das Ineinanderverwinden der Nägel, das sog. Korkezieherphänomen, Nagelperforationen am proximalen Femurende und der Ausbruch von zusätzlichen Knochenkeilen.

Optimale Versorgung des Jugendlichen. Um diese sicherzustellen, muss eine alters-, gewichts- und knochenmorphologieadaptierte Methode gewählt werden, womit die Fraktur sicher, stabil und definitiv fixiert werden kann. Die Versorgung soll kind- und jugendgerecht und damit möglichst atraumatisch erfolgen. Es dürfen keine Fehlstellun-

gen toleriert werden, da kein ausreichendes Korrekturpotenzial mehr vorhanden ist. Die Osteosynthese sollte belastbar sein.

Resümee. Die ESIN sollte nur bei Kindern mit noch offenen Fugen angewandt werden. Durch den Einsatz von „end caps“ kann ihre axiale Belastung um mehrere Faktoren erhöht werden. Bei ungenügender Erfahrung mit der ESIN und/oder problematischen Gegebenheiten des Patienten und/oder der Fraktur ist die Plattenosteosynthese eine der ersten Alternativen, um eine sichere und suffiziente Frakturstabilisierung zu erreichen.

Schlüsselwörter

Femurfrakturen · ESIN · Jugendlicher · EndCaps · Knochenplatte

What should be done when elastic stable intramedullary nailing (ESIN) reaches its limits?**Abstract**

Background. Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) has developed into the gold standard of treatment for femoral fractures in childhood worldwide. It is a safe and efficient procedure if the biomechanical and technical prerequisites are adhered to.

Objectives. The age of the child, the diameter of the bone marrow cavity in relation to bone thickness and high body weight can be limiting factors of ESIN. In the same manner the quality of treatment is influenced by the complexity of the fracture in combination with technical shortcomings. The simple application of ESIN can induce an inattentive approach and in particular neglecting the indispensable adherence to biomechanical principles. The major problems on the part of surgeons are an insufficient analysis of the

fracture, the resulting relatively false indications and non-compliance to technical prerequisites. This could be due to incorrect selection of implant thickness and entry site, lack of internal clamping and 3-point contact, corkscrewing of nails, nail perforation at the proximal end of the femur and fragmentation of additional bone wedges.

Optimal treatment of adolescents. In order to fulfill these conditions, a method adapted to age, weight and bone morphology must be selected with which the fracture can be securely, stably and definitively fixed. The treatment should be carried out in a manner which is suitable for children and adolescents and should, therefore, be as atraumatic as possible. Malpositioning cannot be tolerated because sufficient correction potential is no

longer present. The osteosynthesis should be capable of withstanding pressure.

Conclusion. The ESIN procedure should only be used in children who still have open epiphyseal plates. The axial load can be increased several-fold by the use of end caps. In cases of insufficient experience with ESIN, problematic circumstances of the patient and/or the fracture, plate osteosynthesis is one of the foremost alternatives in order to achieve a secure and sufficient stabilization of the fracture.

Keywords

Femoral fractures · ESIN · Adolescent · End caps · Bone plate

realisiert. Wir wissen aber, dass sich aus diesem Wandel bzw. den altersspezifischen Besonderheiten der Femurmorphologie bzw. -anatomie Probleme ergeben können. Während das Femur des Kleinkindes im Verhältnis zur Länge relativ weit ist und praktisch noch keine sehr dicke Kortikalis aufweist, ist der Markraum im Verhältnis zur Knochendicke relativ sehr weit. Deshalb sehen wir bei der ESIN in dieser Altersgruppe auch immer wieder Stabilitätsprobleme, da sich die Nägel

in dem weiten Markraum nicht verspannen können (■ **Abb. 6**).

In der Folge nimmt die Kortikalisdicke kontinuierlich zu. Ohne dass sich der Knochen wesentlich verdickt, verengt sich der Markraum. Dieser Prozess erreicht in und knapp nach der Pubertät sein Maximum: Es liegen eine extrem dicke Kortikalis und einen enger Markraum, oft unter 9 mm, vor! In der Folge nimmt die Kortikalisdicke kontinuierlich ab und erreicht im Alter ihren Höhepunkt, der

Markraum ist dann sehr weit. Daraus ergibt sich, dass gerade in der Pubertät aufgrund des engen Markraums im Verhältnis zur Körpergröße und -gewicht zu dünne Nägel eingebracht werden müssen oder diese sich nicht verspannen können, da sie aneinander gedrückt werden bzw. aneinander liegen (■ **Abb. 7**).



Abb. 4 ◀ Umwandlung des Kallus und Integration in die neu gebildete Kortikalis; Abschluss der Konsolidierungs- und Remodellierungsphase. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

Technisch induzierte Probleme (chirurgenseitig)

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Problematik der Versorgung nicht immer in der Schwere der Fraktur oder der Situation des Patienten zu suchen. Vielmehr verleitet die einfache Anwendung der ESIN zu deren unsorgfältigem Einsatz und v. a. zur Vernachlässigung der unabdingbaren Einhaltung der biomechanischen Prinzipien. Grund dafür ist, dass gerade traumatologisch erfahrene Kollegen es nicht als notwendig erachten, die Operationstechniken genau zu befolgen, da sie ja über genügend Erfahrung in

der Frakturbehandlung zu verfügen meinen! Dabei geht bei der Analyse von Problemen oder Komplikationen sehr oft die Selbstkritik verloren, und der Fehler wird in der Methode oder gar beim Patienten gesucht. Es ist aber der Chirurg, der

1. die Indikation stellt und
2. den Eingriff selbst durchführt.

Dementsprechend sollte der behandelnde Arzt die Gründe für Probleme oder Komplikationen primär bei sich selbst hinterfragen! Bei der Versorgung der in **Abb. 8** aufgezeigten langen Femurspiralfraktur dürfte der behandelnde Chirurg deutlich überfordert gewesen sein!



Abb. 5 ▲ 16-jähriger Junge 12 Wochen nach Frakturversorgung: trotz genügender Stabilität immer noch fragile Kallusbildung und fehlender ossärer Durchbau. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

Typisch für die ESIN ist, dass trotz dieser fehlerhaften und instabilen Versorgung meist doch ein gutes Resultat erzielt wird. Damit wird leider häufig die mangelhafte Versorgung entschuldigt. Es gibt kaum eine Publikation über Komplikationen, die diesem Umstand Rechnung tragen; die Probleme werden der Methode zugeschrieben. In **Abb. 7 und 8** sind einige dieser chirurgenseitigen Probleme dargestellt. Insgesamt gesehen müssen hauptsächlich folgende Punkte erwähnt werden:

1. Ungenügende Analyse der Fraktur
3. Aus Punkt 1 ergibt sich oft die relativ falsche Indikationsstellung.
4. Falsche Wahl der Implantatdicke (zu dünn/ungleiche Nageldicken)
5. Nicht korrekte Wahl der Eintrittsstellen (zu hoch/asymmetrisch/nicht in einer Ebene)
6. Keine innere Aufspannung/kein 3-Punkte-Kontakt
7. Sog. Korkenzieherphänomen

- Verhältnis Knochendurchmesser/
Markraumdurchmesser entscheidend!

→ unverhältnismäßig dicke Kortikalis, sehr dünner Markraum



Abb. 6 ▲ Reseziertes Femur eines 14-jährigen Jungen mit überaus dicker Kortikalis im Verhältnis zum relativ engen Markraum (*links*), grafische Darstellung von Markraum und Knochendicke in Abhängigkeit des Alters (*rechts*). (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 7 ▲ Quere Femurfraktur bei einem 14-jährigen Mädchen mit typisch engem Markraum, versorgt mittels ESIN (elastisch-stabile intramedulläre Nagelung), aufgrund des engen Raums keine Verspannung der Nägel möglich. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

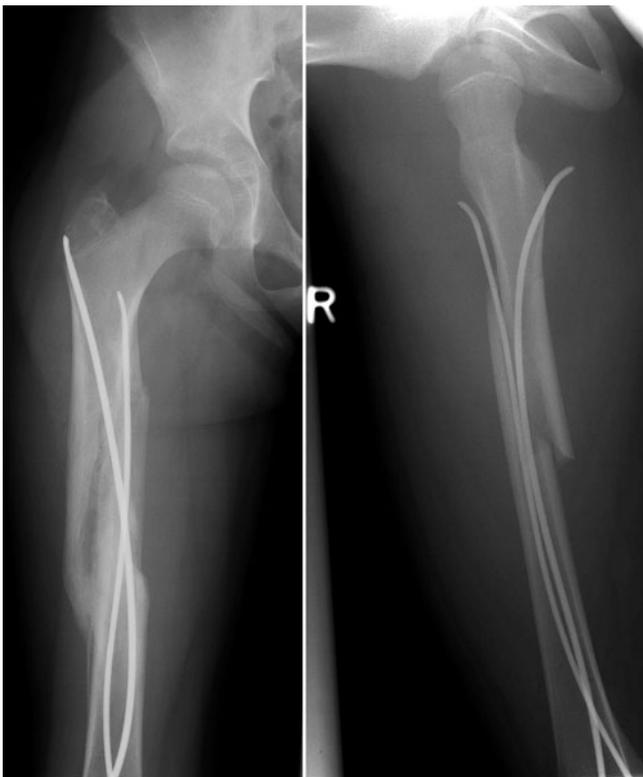


Abb. 8 ◀ Lange Femurspiralfraktur, nicht korrekte Versorgung mittels ESIN (elastisch-stabile intramedulläre Nagelung), weitere Erläuterungen s. Text. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 9 ► Zur Applikation von EndCaps benötigtes Instrumentarium mit direkt am T-Griff zu fixierendem, die EndCap umfassendem Stiftschraubenzieher. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

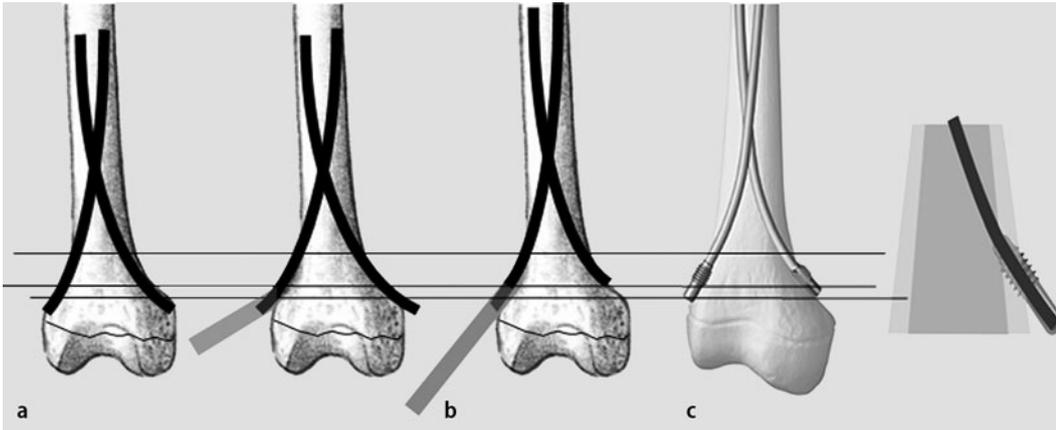


Abb. 10 ▲ Technischer Ablauf der EndCap-Fixierung. **a** Übliche, korrekte Platzierung der Nägel, **b** Mit dem abgeschrägten Einschlaginstrument die Nägel auf definitiv einschlagen, bis die schräge Fläche des Instruments den Knochen berührt; dies garantiert einen Überstand der Enden um 8 mm, entsprechend der Endkappenlänge. **c** Mit dem entsprechenden Schraubenschlüssel die Endkappe über den Nagel stülpen und unter kräftigem Druck einschrauben, bis das Ende der Kappe den Nagel berührt. (selbstbohrendes/-schneidendes Gewinde). (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

8. Nagelperforationen am proximalen Femurende
9. Ausbruch von zusätzlichen Knochenkeilen

Frakturmorphologie

Aus Gründen der Objektivität muss noch erwähnt werden, dass die Frakturmorphologie besonders in dieser Altersgruppe einen wesentlichen Faktor darstellt. Wie bereits erwähnt sind daher eine genaue Frakturanalyse und Klassifikation äußerst wichtig. Prinzipiell eignen sich in der Altersgruppe zwischen 12/13 und 16 Jahren folgende Frakturtypen nicht für eine ESIN, insbesondere in Kombination mit den zuvor genannten patientenseitigen Gegebenheiten:

- lange Schrägbrüche,
- lange Spiralbrüche und
- mehrfragmentäre Femurfrakturen.

Forderung der optimalen Versorgung von Femurfrakturen des Adoleszenten

Aus der zuvor dargestellten Problematik bei der sicheren und adäquaten Stabilisierung von Femurfrakturen dieser Altersgruppe lassen sich einige Bedingungen ableiten, die die Versorgung auf allen Ebenen sicherstellen sollen

- Es muss eine alters-, gewichts- und knochenmorphologieadaptierte Fixierung gewählt werden.

- Es muss eine sichere, stabile und definitive Fixierung der Fraktur möglich sein.
- Die Versorgung soll weiterhin kind- und jugendgerecht und somit möglichst atraumatisch erfolgen.
- Es dürfen keine Fehlstellungen mehr toleriert werden, da das Korrekturpotenzial nicht mehr vorhanden ist.
- Die Osteosynthese sollte belastbar sein.

Zur Verfügung stehende Optionen und deren Eignung

Im Vordergrund stehen die Osteosynthese mittels Platte oder solidem Marknagel. Mit der Einführung der sog. „end caps“ bzw. EndCaps kann in kritischen Fällen die axiale Stabilität durch Verhinderung des „push out“, also des Telekopierens der Fraktur, deutlich erhöht werden. Der Fixateur externe sollte in dieser Altersgruppe bei der isolierten Femurfraktur eher nicht verwendet werden.

Endkappen (EndCaps)

Wie bereits eingangs erwähnt, kommt es bei der Versorgung potenziell instabiler Femurfrakturen (längere Schrägbrüche, langstreckige Spiralbrüche sowie einfachere mehrfragmentäre Brüche) infolge nicht perfekter Verspannung oder wegen des Einflusses des Alters des Kindes und des Körpergewichts zum sog. Telekopieren, d. h. zur Verkürzung der Fraktur mit

Hautperforation der Nagelspitzen am distalen Ende. Es wurden verschiedene Versuche unternommen, diesem „push out“ entgegenzuwirken, diesem „push out“ entgegenzuwirken, denn oft will man in dieser Situation nicht auf die Vorteile der ESIN verzichten! Dabei zeigte sich, dass der „push out“ durch Verblockung der distalen Nagelenden gegen den Knochen weitgehend verhindert werden kann. Für diesen Zweck wurden sog. EndCaps entwickelt, die sehr einfach in einer kritischen und stabilitätsmäßig unsicheren Situation ohne speziellen und zusätzlichen Aufwand eingebracht werden können. Damit kann die axiale Belastung um mehrere Faktoren erhöht werden (im Experiment am Modellknochen bis 300 kg Belastung!!). Es sei darauf hingewiesen, dass damit nur eine Prävention der Verkürzung und nicht eine Verbesserung der Rotations- oder Biegestabilität erreicht werden sollte, wobei sich jedoch auch Letztere verbesserten. Dies sei deshalb betont, da in einigen Publikationen, alle Parameter (Biegung, Drehung, Kompression) in einem untersucht und diese Daten vermischt wurden.

In der folgenden Abbildungsserie (■ **Abb. 9, 10, 11, 12**) soll diese Technik kurz dargestellt werden. Für genauere Details sei auf die jeweiligen Broschüren zur Operationstechnik verwiesen [6, 10].

Instrumente. Es sind lediglich ein spezieller, in das normale, vorhandene Einführinstrument einspannbarer Schrau-



Abb. 11 ◀ Lange Spiralfraktur bei einem 11-jährigen Jungen; EndCap-Applikation, **a** Unfallbild, **b** beide Nägel korrekt positioniert, **c** definitives Einschlagen nach Kürzung mit abgeschrägtem Impaktor, **d** korrekt, auf identischer Höhe liegende Nagelenden, **e** Stiftschlüssel mit End-Cap wird über Nagelende gestülpt, **f, g** klinische Situation, **h** postoperatives Bild mit perfektem Alignment und Länge bei korrekter EndCap-Lage (*kleines Bild*), problemlose Ausheilung nach 4 Monaten. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

benzieher sowie 2 EndCaps notwendig (▣ **Abb. 9, 10**). Die EndCaps für das Femur stehen nur in einer Größe zur Verfügung, da sie nur gegen den „push out“ wirken müssen.

Technik. Es sind im Prinzip 2 Situationen möglich:

1. Aufgrund der Fraktur, des Alters und des Gewichts des Kindes entschließt man sich von vornherein, die ESIN mit EndCaps anzuwenden.
2. Nach erfolgter Nagelung ist man mit der Situation bzw. evtl. Stellung und/oder Stabilität nicht zufrieden, und man entschließt sich, nicht die Me-

thode zu ändern, sondern EndCaps zu verwenden.

In beiden Situationen sind die Technik und der Zeitaufwand identisch. In **▣ Abb. 11** sind die einzelnen Schritte dieses Verfahrens wiedergegeben. Nach korrekter Platzierung der Nägel müssen diese, vorteilhaft mittels des abgeschrägten

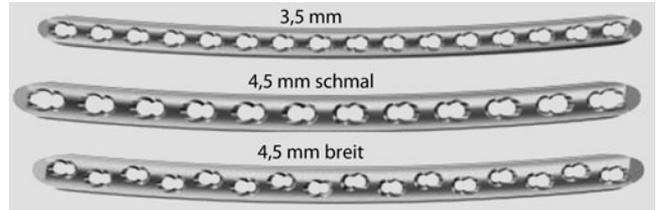


Abb. 13 ▲ Sog. „*curved plates*“ oder auch Bananenplatten, für Kinder und Jugendliche v. a. 3,5 und 4,5 mm schmal geeignet! (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

Abb. 12 ◀ Leicht schräge, proximale Femurfraktur bei einem 8-jährigen Kind, insuffiziente Versorgung mittels Platte, in der Folge Ausreißen derselben vor Eintreten der Heilung. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 14 ▲ Schräge Femurfraktur bei einem eher übergewichtigen 13-jährigen Jungen mit **a** sehr engem Markraum von maximal 8,7 mm, **b** trotz kritischer Situation (enger Markraum, Lokalisation der Fraktur, Gewicht) Stellung der Indikation zur anterograden ESIN (elastisch-stabile interamedulläre Nagelung), technisch suboptimal, *linkes Bild* Instabilität nach 1 Woche, **c** wegen nicht akzeptierbarer Beinstellung Stellung der Indikation zur MIOP [“minimal invasive osteosynthese with plates“, kein ALFN („adolescent lateral entry femoral nail“, da Fugen noch weit offen), Einsatz einer langen Platte, um bereits vorhandene Inzision der ESIN nutzen zu können (adäquate Entscheidung), **d** theoretisch bessere Situation bei Nutzung einer Bananenplatte. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

Einschlaginstrumente, nach der Kürzung bis etwa 8 mm über die Kortikalis eingeschlagen werden. Die Endkappe kann dann direkt übers Nagelende gestülpt und mit genügendem Druck eingedreht werden. Es handelt sich um ein selbstschneidendes Spongiosagewinde. Die nach distal gerichteten Gewindeanteile müssen auf Knochenniveau zu liegen kommen (▣ **Abb. 11**).

Plattenosteosynthese [MIO-Technik (MIO: minimalinvasive Osteosynthese)]

Ist man in der ESIN-Technik nicht absolut sicher und sind die Gegebenheiten des Patienten und der Fraktur selbst problematisch, d. h. Gewicht, Entwicklung und instabile Fraktur, ist heute die Plattenosteosynthese sicherlich eine der ersten Alternativen,

um eine sichere und suffiziente Fraktur stabilisierung zu erreichen.

Die Technik der Plattenosteosynthese änderte sich besonders unter dem Einfluss der winkelstabilen Implantate wesentlich. Die Osteosynthese ist nicht mehr derartig rigide wie früher, die Biologie des Knochens und der Heilung wird mehr berücksichtigt. Dieser Umstand entspricht exakt der Frakturversorgung und der Heilung

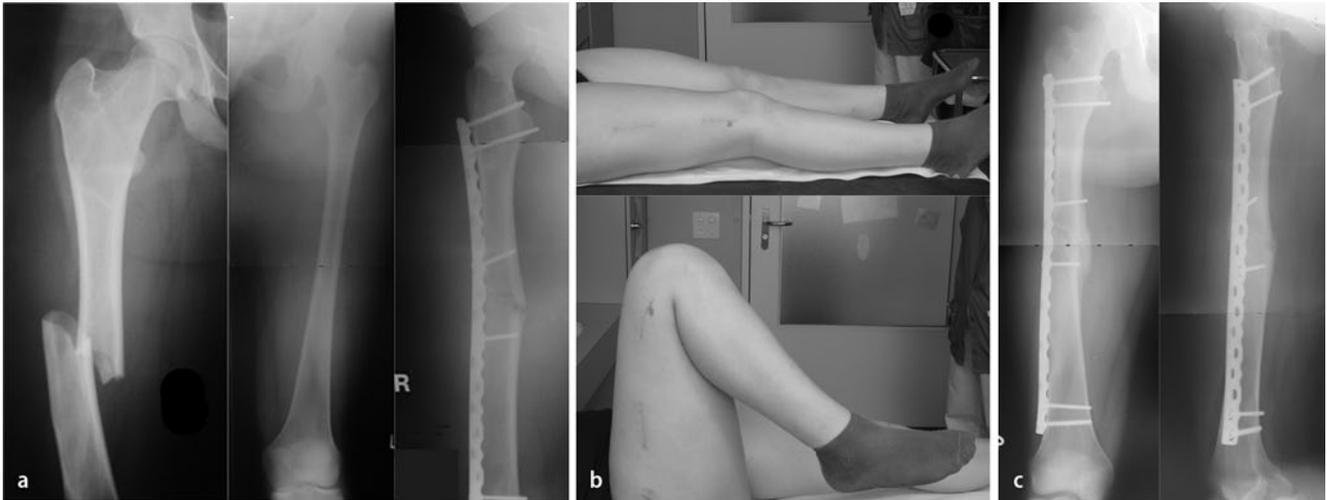


Abb. 15 ▲ **a** Auffällige, im Vergleich zum Femur links pathologische Femurfraktur bei ausgewachsenem Mädchen mit geschlossenen Fugen; Knochenbiopsie ohne schlüssige Diagnose der Pathologie; **b** Versorgung mit MIOP (da Nagel bei weitem Knochen und Markkanal u. U. problematisch), klinisch gute Beweglichkeit nach 6 Wochen sowie schön in Linie liegenden Narben (Narbe in der Mitte: von der Biopsie), **c** gute Heilung nach 6 Monaten. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 16 ▲ Femurschrägfraktur bei einem adulten Mädchen mit weder kindgerecht noch technisch einwandfrei durchgeführter Plattenosteosynthese, Verlauf der Operation am klinischen Bild ersichtlich (vermutlich mit kleinem Schnitt in der Mitte begonnen, dann nach distal und proximal erweitert), keine kosmetisch gute Schnitfführung. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo und P. Schmittenbecher)

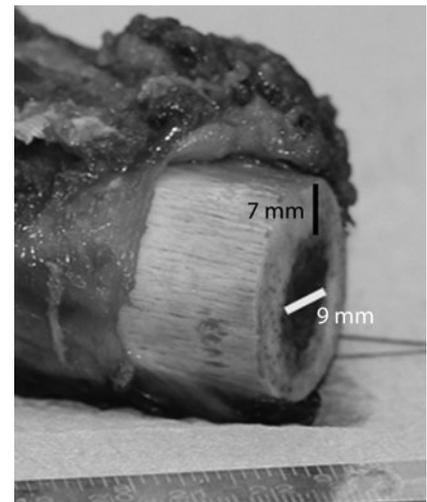


Abb. 17 ▲ Femurresektat mit anschaulich deutlichem Missverhältnis zwischen Knochendurchmesser und der Relation von Kortikalisdicke und Markraumdurchmesser. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

des kindlichen Knochens. Ein Fehler sollte jedoch in jedem Fall vermieden werden: nur aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein Kind handelt, zu kleine oder zu kurze Platten zu wählen (■ Abb. 12).

Grundsatz. Heute sollte eine Plattenosteosynthese, speziell beim Kind, möglichst biologisch durchgeführt werden, es sollten möglichst lange Platten (Metaphy-

se zu Metaphyse) im Sinne eines Fixateurs interne verwendet werden. Zudem sollten pro Fragmentseite maximal 3, besser je 2 Schrauben eingebracht werden.

Probleme konventioneller Platten beim Kind sind

- ihre zu hohe Rigidität,
- die Vernachlässigung der jugendlichen Biologie und

- die Tatsache, dass nur gerade Platten zur Verfügung stehen.

Forderungen für Plattenosteosynthesen beim Jungendlichen sind die Verwendung

- biologischer Platten [LCP („locking compression plate“) in MIO-Technik]
- langer Platten, die quasi als Fixateur interne wirken,

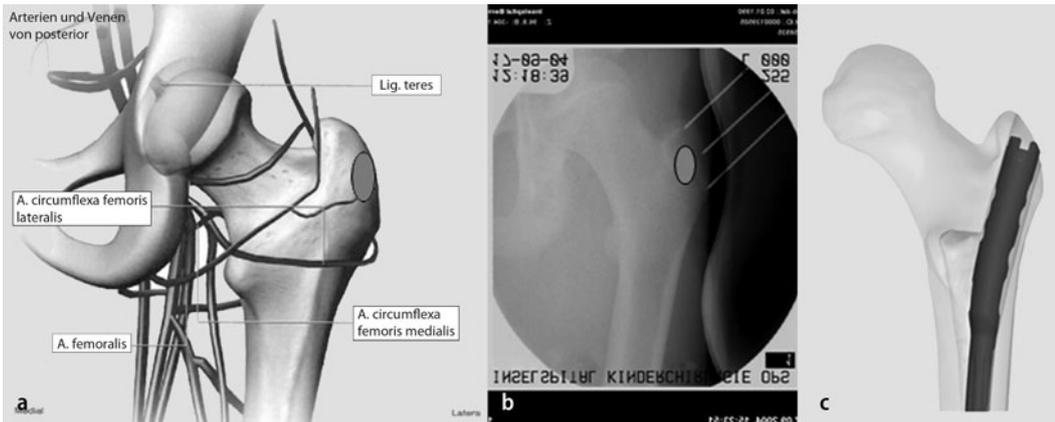


Abb. 18 ◀ **a** Gefäßfreie Zone am lateralen Trochanter major mit Eintrittspunkt (graue Ellipse rechts), **b** Überprüfung des Eintrittspunkts (graue Ellipse) anlässlich von Trochanterflipoosteotomien zur chirurgischen Hüftluxation, **c** einliegender Nagel. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

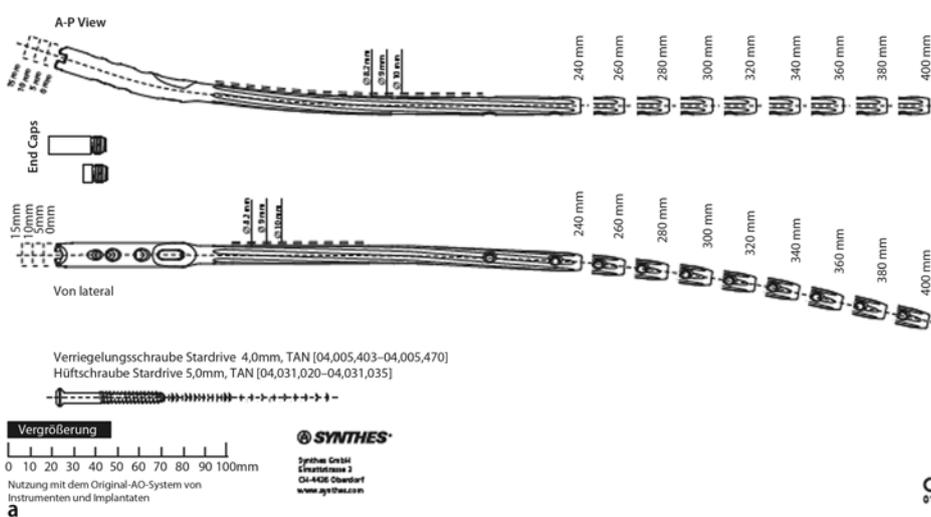


Abb. 19 ◀ Experten-ALFN für das rechte Femur, **a** Nagel in 8,2 mm, 9 mm und 10 mm Durchmesser und 240–400 mm Länge erhältlich, Anpassung der verfügbaren Längen und Dicken an die Helixform; **b** gesamter Nagel in a.-p. sowie in seitlicher Ansicht, ALFN „adolescent lateral entry femoral nail“. (Mit freundl. Genehmigung von Synthes)

- adäquater Größen (3,5 und 4,5 mm schmal) und
- anatomisch geformter Platten [“curved plates“ („banana plate“; **Abb. 13**)].

Mit den in **Abb. 14** und **15** dargestellten Beispielen soll diese Forderung bzw. Theorie unterstrichen werden.

Abb. 16 zeigt ein Beispiel einer Versorgung, die man möglichst vermeiden soll. Man kann davon ausgehen, dass mit einem mittleren Schnitt begonnen wurde, dieser dann (nicht in Linie mit dem ersten) nach distal und proximal verlängert wurde. Auch die Art der Osteosynthese ist sicherlich diskutabel!

Solider Marknagel [ALFN („adolescent lateral entry femoral nail“)]

Wie bereits oben erwähnt ist die Situation am Femur in der Altersgruppe zwischen

dem 13. und 16. Lebensjahr sehr speziell: Der Knochen weist in diesem Alter die höchste Elastizität auf, der Markraum ist noch eng, er misst meist nicht mehr als 9, maximal 10 mm, dafür ist die Kortikalis übermäßig dick. Die Knochen weisen in diesem Alter die höchste Festigkeit auf (**Abb. 17**). So ist es nur naheliegend, dass die meisten Marknägel für Erwachsene mit Durchmessern über 10 mm ungeeignet sind. Des Weiteren sind die Eintrittspunkte der Erwachsenennägel für Kinder und Jugendliche gefährlich, da sie zu folgenden Problemen führen können:

- avaskuläre Hüftkopfnekrose (AVN) als schwerwiegendste Komplikation,
- Coxa valga aufgrund des Trochanterfugenverschlusses und
- Veränderung der Femuranatomie aufgrund der Nagelform.

Für diese Altersgruppe sind nur solide Marknägel adäquat, die:

- einen Durchmesser zwischen 8 und 10 mm aufweisen,
- nicht aufgebohrt werden müssen (zähe, elastische Spongiosa),
- den Eintrittspunkt an der lateralen Seite des Trochanter major haben und
- der Anatomie des jugendlichen Femurs (starke Antekurvation) Rechnung tragen!

Der so genannte ALFN erfüllt all diese Anforderungen!

- Der Eintrittspunkt ist absolut an der lateralen Fläche des Trochanter major in einer gefäßfreien Zone gelegen. Wesentlich ist auch, dass die wenigen kleinen Gefäße an dieser Stelle keine Beziehung zum Schenkelhals oder Hüftkopf haben (**Abb. 18**).
- Die Dicke des Nagelschafts beträgt 8,2 oder 9 mm.

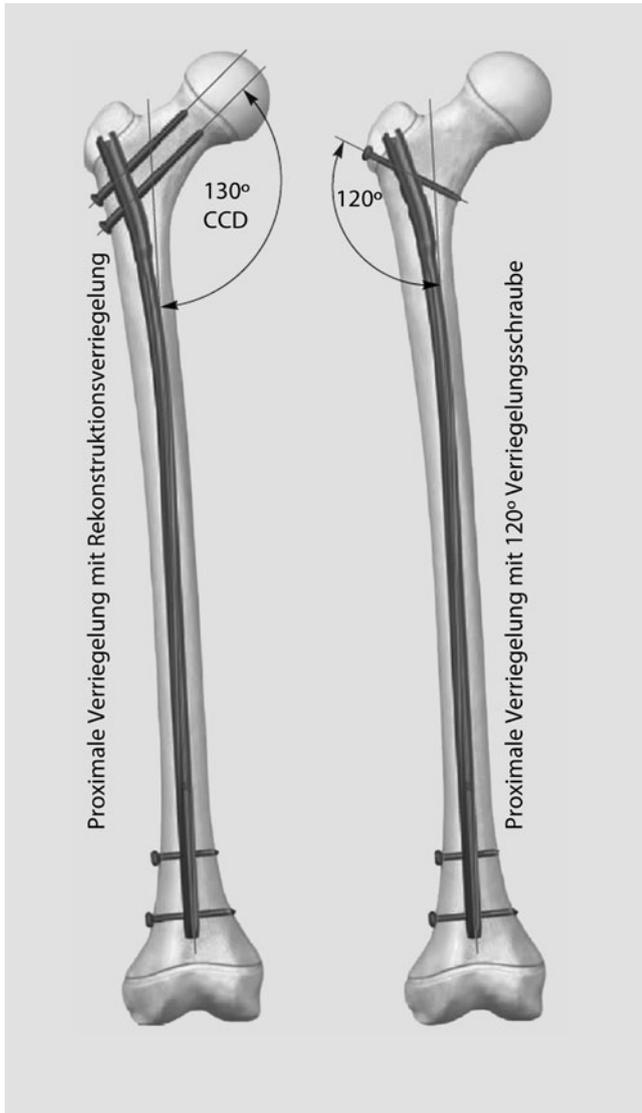


Abb. 20 ◀ Modell des korrekt eingebrachten ALFN, *links* mit proximaler Hüftschraubenverriegelung; *rechts* mit 120° Verriegelungsschraube in Richtung kleiner Trochanter, ALFN „adolescent lateral entry femoral nail“. (Mit freundl. Genehmigung von Synthes)



Abb. 21 ▲ **a** Unfallbild und primäre Versorgung mittels Fixateur externe einer Femurquerfraktur bei 15-jährigem Mädchen; wegen unbefriedigender Stellung und Situation Versorgung mittels ALFN nach 11 Wochen, **b** zwecks Rotationsstabilisierung nur je eine Verriegelungsschraube eingebracht, bereits nach 8 Wochen erhebliche Kallusbildung und weitgehende Heilung, ALFN „adolescent lateral entry femoral nail“. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)



Abb. 22 ▲ a Unfallbild (LODOX-Scan) eines 15-jährigen Mädchens (Polytrauma), transversale Fraktur rechtes Femur und komplexe Fraktur Femur links, offene Verletzung des Knies links, b intraoperative Dokumentation der Nagelinsertion, versorgte Frakturen beidseits, c Heilungsverlauf beidseits nach 12 Wochen mit guter Länge und Achse, LODOX „low dosage X-ray“. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

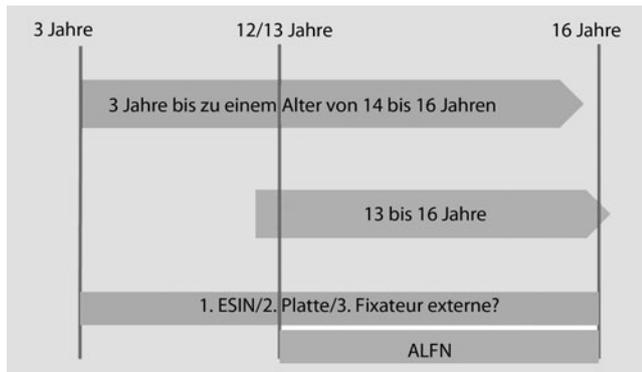


Abb. 23 ◀ Grafik unseres Versorgungsalgorithmus bei Femurfrakturen ab dem 3. Lebensjahr. (Mit freundl. Genehmigung von Dr. T. Slongo)

- Nur das proximale Ende des Nagels mit einer maximalen Dicke von 13 mm muss aufgebohrt werden.
- Die anatomische Form des jugendlichen Femurs wird durch die Helixform des Nagels respektiert (■ Abb. 19).

Es ist je nach Frakturmorphologie (Querfraktur, kurze oder lange Schrägfraktur oder lange Spiralfaktur bis hin zur mehrfragmentären Fraktur) dem Operateur überlassen, wie groß die axiale Stabilität sein muss. Prinzipiell können distal 2 Verriegelungsschrauben eingebracht werden, proximal hat man die Wahl zwischen fester und dynamischer Verriegelung oder dem Einbringen von 2 Hüftschrauben in den Schenkelhals.

Wir bevorzugen persönlich, proximal immer nur die normalen Verriegelungsschrauben einzubringen; die Achsstabilität ist praktisch immer gegeben. Es muss

beim Einbringen der Hüftschrauben auch darauf geachtet werden, dass beim Kind bzw. Jugendlichen der Antetorsionswinkel am Schenkelhals größer ist und man drauf achten muss, dass die Schrauben nicht dorsal den Schenkelhals perforieren (■ Abb. 20)! In ■ Abb. 21 und 22 ist unser Konzept an 2 typischen Beispielen dargestellt.

Diskussion

In der Frühpubertät sowie der Pubertät weisen die Kinder, Mädchen noch ausgeprägter als Jungen, eine große körperliche Varianz auf, was einerseits die Körpergröße sowie das Gewicht und andererseits die Körperreife betrifft. In dieser Situation, besonders im Zusammenhang mit sehr instabilen Frakturen, vermag die ESIN nur ungenügend zu stabilisieren. Deshalb müssen wir Alternativen kennen und diese anwenden können. Für

uns ergibt sich heute somit folgender Algorithmus, der auch in ■ Abb. 23 grafisch dargestellt ist: Wurde mit einer ESIN begonnen und ergibt sich eine ungenügende Stabilität, soll primär mit EndCaps versucht werden, die erforderliche Stabilität zu erreichen. Liegt eine Situation, die primär eine erhöhte Stabilität erfordert, vor, kommt bei uns primär der ALFN zur Anwendung, in Abhängigkeit der Lokalisation (metaphysär) in zweiter Linie die MIOP.

Korrespondenzadresse

Dr. T. Slongo
Kinder-Traumatologie/-Orthopädie,
Chirurgische Universitätskinderklinik, Inselspital,
3010 Bern, Schweiz
Theddy.Slongo@insel.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Slongo gibt 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. Agus H, Kalenderer O, Eryanilmaz G, Omeroglu H (2003) Biological internal fixation of comminuted femur shaft fractures by bridge plating in children. *J Pediatr Orthop* 23(2):184–189
2. Anglen JO, Choi L (2005) Treatment options in pediatric femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 19(10):724–733
3. Bowyer C, Gonzalez-Herranz P (1995) Complications of paediatric femoral nailing. *J Bone Joint Surg Br* 77(4):666–667
4. Dietz HG, Schmittbecher P, Illing P (1997) Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter. Urban & Schwarzenberg, München
5. Dietz HG, Schmittbecher P, Slongo T, Wilkins K (2006) Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in children. *AO manual of fracture management*. Thieme, Stuttgart New York
6. Ellis HB, Ho CA, Podwieszka DA, Wilson PL (2011) A comparison of locked versus nonlocked Enders rods for length unstable pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 31:825–833
7. Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA et al (2001) Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: a multicenter study of early results with analysis of complications. *J Pediatr Orthop* 21(1):4–8
8. Gregory P, Sullivan JA, Herndon WA (1995) Adolescent femoral shaft fractures: rigid versus flexible nails. *Orthopedics* 18:645–649
9. Hunter JB (2005) The principles of elastic stable intramedullary nailing in children. *Injury [Suppl 1]* 36:A20–A24
10. Kanlic E, Cruz M (2007) Current concepts in pediatric femur fracture treatment. *Orthopedics* 30:1015–1019
11. Kanlic EM, Anglen JO, Smith DG et al (2004) Advantages of submuscular bridge plating for complex pediatric femur fractures. *Clin Orthop Relat Res* 426:244–251
12. Keeler KA, Dart B, Luhmann SJ et al (2009) Antegrade intramedullary nailing of pediatric femoral fractures using an interlocking pediatric femoral nail and a lateral trochanteric entry point. *J Pediatr Orthop* 29:345–351
13. Nectoux E, Giacomelli MC, Karger C et al (2008) Use of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial unstable fractures in children: preliminary results in 11 fractures. *J Child Orthop* 2(4):309–314
14. Poolman RW, Kocher MS, Bhandari M (2006) Pediatric femoral fractures: a systematic review of 2422 cases. *J Orthop Trauma* 20(9):648–654
15. Sink EL, Hedequist D, Morgan SJ, Hresko T (2006) Results and technique of unstable pediatric femoral fractures treated with submuscular bridge plating. *J Pediatr Orthop* 26(2):177–181