

Intramedulläre Osteosynthesen zur Frakturversorgung an der unteren Extremität

Th. Hohaus, Ph. Bula, F. Bonnaire

Einführung

„Der Gedanke, in die Markhöhle eines gebrochenen Knochens Fremdkörper einzuführen, um so eine Heilung in guter Stellung zu erzielen, ist nicht neu. Metalldrähte und Stifte sowie Elfenbeinbolzen wurden dazu benutzt. Ohne Freilegung der Bruchstücke und die damit unvermeidlich verbundene Gefahr der Infektion war das Einlegen dieser Fremdkörper nicht möglich.

Das Wesentliche an dem Küntscher'schen Verfahren ist in erster Linie das Einführen des Fremdkörpers an einer bruchfernen Stelle. Es unterscheidet sich hierin grundsätzlich von den bisher üblichen Verfahren blutiger Knochenbruchbehandlung...“.

Dies sind die einführenden Worte von A. W. Fischer zu Küntscher's „Technik der Marknagelung“ aus dem Jahr 1945¹⁰.

Küntscher hatte das Konzept der Schenkelhalsnagelung von Smith-Petersen weiterentwickelt und auf die Anwendung am Röhrenknochen ausgedehnt.

Heute stellen intramedulläre Osteosynthesen sicher die häufigste Versorgungsform diaphysärer Frakturen der unteren Extremitäten dar.

Handelte es sich ursprünglich um Marknägel, bei denen das Ziel der Stabilisierung der Fraktur durch die Verklebung des v-förmig geschnittenen Implantates in der Markhöhle und die daraus resultierende Reibung erreicht werden sollte, so haben Unfallchirurgen heute ein breites Spektrum hochspezialisierter Nagelmodelle zur Auswahl, die zudem vielseitig einsetzbar sind. Moderne Nagelgenerationen können zum Beispiel bei Schaftfrakturen am Femur ante- oder retrograd eingesetzt werden.

Dadurch konnten die ursprünglichen Indikationen erweitert werden, auch wurde die Anwenderfreundlichkeit deutlich verbessert. Die Entwicklung schreitet weiter voran.

Technische Grundlagen

Der ursprüngliche Küntscher- oder Marknagel stellte eine geschlitzte Spannhülse dar⁵. Nach Einschlagen in den vorgebohrten Markraum kam es durch radiale und longitudinale Verspannung zur Fixierung der Fragmente. Interfragmentäre Kompression war nur bei axialer Belastung realisierbar und setzte geeignete Frakturformen im mittleren Schaftdrittel voraus. Torsionsdeformationen waren zu vernachlässigen.

Die erste wesentliche Weiterentwicklung des Küntscher-Nagels stellte das Einführen von Löchern im Nagel selbst zum Aufnehmen von Bolzen zur Verriegelung dar.

Formen der intramedullären Stabilisierung⁸:

- Stabilisierung durch alleinige Verklebung ohne Verriegelung
Beispiel: Küntscher Nagelung.
- Stabilisierung durch Verklebung und zusätzliche Verriegelung
Beispiel: AO – Universalnagel.
- Stabilisierung ohne Verklebung, Aufbohrung, Verriegelung
Beispiel: Lottes – Nail.
- Stabilisierung ohne Verklebung und ohne Aufbohrung, aber mit Verriegelung
Beispiel: Unaufgebohrter Nagel.

Beim Verriegelungsnagel nach Grosse-Kempf nimmt das Implantat an den Verriegelungspunkten Druck- und Torsionskräfte auf, die überbückte Frakturzone ist nur geringen Kräften ausgesetzt. Durch das Aufbohren der Markhöhle kann zudem die Kontaktfläche zwischen Knochen und Implantat vergrößert und dabei die mechanische Festigkeit gesteigert werden. Ein weiterer Stabilitätsgewinn resultiert hierbei aus der Vergrößerung des Implantatdurchmessers. Durch diese Entwicklung kam es zu einer wesentlichen Entwick-

lung des Indikationsspektrums. Auch Frakturen im metaphysären Bereich von Femur und Tibia konnten nun mittels intramedullärer Osteosynthesen versorgt werden.

Parallel entwickelte sich ein Bedarf an dünneren Implantaten, dazu wurde auf das geschlitzte Profil verzichtet, woraus eine Erhöhung der Torsionssteifigkeit resultierte. Die aus dem kleineren Durchmesser resultierende verminderte Belastbarkeit wurde durch alternative Materialien (Titanlegierungen) sowie auch solide Implantate ausgeglichen. Diese brachten zwar nicht den gewünschten mechanischen Vorteil, hatten jedoch biologische Vorteile, da die nicht notwendige Aufbohrung und das fehlende Lumen des Implantates die Infektionsanfälligkeit der Osteosynthese reduzierte¹². Die fehlende Kanülierung erschwerte andererseits die Implantation des Nagels, da Führungsdrähte nicht verwendet werden konnten.

Erst später wurde auch die Kanülierung ungebohrter Implantate eingeführt.

In den letzten Jahren wurden Änderungen im Nageldesign vorgenommen, die auch winkelstabile Verbindungen zwischen Bolzen und Nagel ermöglichen. Dadurch und durch die inzwischen weit an die Nagelenden gerückten Verriegelungsoptionen konnte das Indikationsspektrum wesentlich erweitert werden.

Das anfänglich empfohlene weite Aufbohren des Markraumes zur Erhöhung der Stabilität hat sich als nicht notwendig erwiesen. Durch den Verzicht auf das Aufbohren konnte auch die Rate der durch den Bohrvorgang bedingten Nebenwirkungen reduziert werden.

Moderne intramedulläre Implantate können als kanülierte Nägel bei entsprechend kleinem Durchmesser sowohl ungebohrt als auch gebohrt eingebracht werden (s. Abb. 1, S. 423).

Biologische Grundlagen

Die Auswahl eines geeigneten intramedullären Osteosyntheseverfahrens muss die individuelle vaskuläre Situation berücksichtigen.

Die kortikale Durchblutung wird über drei Wege aufrechterhalten:



Abb. 1: Geschlossene Tibiafraktur AO 42 C 1: Ungebohrte antegrade Tibianagelung primär

- intramedulläre Versorgung,
- epimetaphysäre Versorgung,
- periostale Gefäße.

Durch das Aufbohren des Markraumes wird die intramedulläre Durchblutung gestört. Eine Reparatur erfolgt letztlich über die vorhandene periostale Versorgung⁵. Ist diese verletzungsbedingt oder iatrogen gestört, können schwerwiegende trophische Störungen die Folge sein. Daraus folgt, dass die Auswahl des Osteosyntheseverfahrens bei maximal möglicher Stabilität eine minimale Schädigung der Durchblutung hervorrufen sollte. Nach den Prinzipien der AO beinhaltet die Marknagelung eine innere Schienung der Diaphyse, die zu einer relativen Stabilität im Bruchbereich führt. Die Frakturheilung erfolgt über Kallusbildung.

Neben den Veränderungen unmittelbar am betroffenen Knochen kommt es zu systemischen Auswirkungen beim Verletzten. Sie sind durch die Einschwemmung von Knochenmark in die venöse Blutbahn bedingt. Diese werden insbesondere durch die entstehenden intramedullären Druckerhöhungen beim Aufbohren und Einbringen des Implantates in den Markraum hervorgerufen. Wenda et al. fanden Drücke zwischen 420 und 1510 mm Hg beim Aufbohrvorgang am Femur 21. Interessanterweise lagen die resultierenden Drücke beim Einbringen des eigentlichen Implantates wesentlich darunter (140 – 210 mm Hg). Wenda et al. konnten auch embolische Ereignisse von Knochenmarksubstanz nachweisen. Embolische Ereignisse wurden von zahlreichen Chirurgen beschrieben 16. Mül-

ler et al. fanden bei Untersuchungen im Modell, dass die Druckveränderungen insbesondere durch die Eigenschaften der flexiblen Bohrwelle bestimmt werden 13. Des Weiteren spielt die Geschwindigkeit des Bohrvorganges eine entscheidende Rolle.

Die daraus folgenden ungünstigen Auswirkungen wie die Entwicklung eines ARDS (Adult Respiratory Distress Syndrom) muss der Operateur insbesondere bei akut oder chronisch beeinträchtigter Lungenfunktion berücksichtigen (Polytrauma, Lungenkontusion etc.).

Indikationen

Der ursprüngliche Küntscher – Nagel war auf Grund seiner biomechanischen Eigenschaften ausschließlich geeignet für die Versorgung einfacher Schaftfrakturen. Durch das Aufbohren des Markraumes konnten sowohl die Kontaktfläche Knochen-Implantat als auch der einzusetzenden Implantatdurchmesser vergrößert und damit die Stabilität der Osteosynthese erhöht werden. Eine Erweiterung des Indikationspektrums wurde durch den Einsatz verriegelbarer Marknägel erreicht. Dadurch konnten komplexere, aber auch mehr proximal oder distal gelegene Frakturen mit intramedullären Osteosynthesen versorgt werden (s. Abb. 2). Moderne Implantate weisen in der Regel drei Verriegelungsoptionen an beiden Nagelenden auf, auch

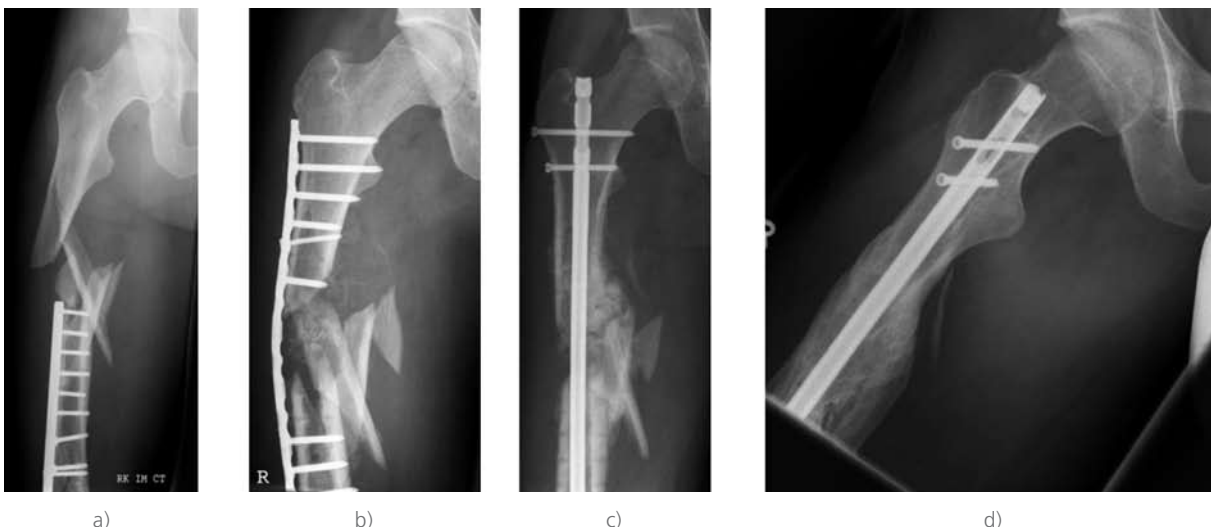


Abb. 2: Sekundäre Versorgung einer geschlossenen komplexen Femurschaftfraktur AO 32 C1.3 bei Z. n. distaler Femurfraktur und Winkelplattenosteosynthese mit einliegendem Implantat (a) präoperativ; b) LCP-Versagen; c) Statischer Verriegelungsnagel; d) Konsolidierung)



Abb. 3: Distale Tibiafraktur AO 42 A 1

winkelstabile Verriegelungsmöglichkeiten stehen bereits zur Verfügung. Nach den Empfehlungen der „AO / ASIF – Long Bone Expert Group“ können an der Tibia alle AO 42 A – C Frakturen mit Verriegelungsnägeln stabilisiert werden⁹. Diese Empfehlung wird sowohl für geschlossene als auch offene Frakturen ausgesprochen, wenn auch bei letzteren ein deutlich erhöhtes Infektionsrisiko besteht und eine sehr genaue Abwägung der Indikation durch den Operateur erfolgen sollte. Dieses Indikationsspektrum lässt sich nach unserer Erfahrung auch auf das Femur (AO 32 A – C) übertragen, wobei durch den Einsatz spezieller Implantate auch AO 31 A 1 – 3 Frakturen mit intramedullären Implantaten (dann mit Schenkelhalskomponente) versorgt werden können. Auswahl des Implantates und Anzahl der ausge-

fürten Verriegelungen sind dabei dem Operateur nach jeweils individueller Entscheidung überlassen, dies betrifft auch die Überschreitung dieser Indikationen. Je weiter metaphysär die Fraktur lokalisiert ist, umso kompletter sollte die Montage sein, das heißt die Möglichkeiten der Verriegelung sollten dann ausgeschöpft werden (s. Abb. 3). Beim Mehrfachverletzten und polytraumatisierten Patienten werden aus Gründen der systemischen Auswirkungen durch Knochenmarkemboli und deren kardiopulmonaler Belastung die Indikationen für eine Marknagelung vor allem bei Femurfrakturen strenger gestellt. Ein relevantes Thoraxtrauma stellt beim Polytraumatisierten mit einem ISS > 24 ein Risiko dar für die Ausbildung eines ARDS mit nachfolgender Ausbildung eines Multiorganversagens¹⁵.

Unaufgebohrte vs. gebohrte Implantation

Die Entwicklung der verschiedenen Nagelmodelle hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass in aller Regel das gleiche Implantat sowohl ungebohrt als auch gebohrt eingebracht werden kann. Moderne Implantate sind in der Regel kanüliert. Solide Nägel wiesen keinen mechanischen Vorteil gegenüber kanülierten Modellen auf. Allerdings ist das Risiko einer Infektion durch den fehlenden „Totraum“ im Nagel vermindert¹².

In vergleichenden Studien gebohrte vs. ungebohrte Technik bei der Versorgung geschlossener Tibiaschaftfrakturen konnte gezeigt werden, dass das Risiko einer Frakturheilungsstörung bei ungebohrter Technik höher einzuschätzen ist, s. Tab. 1, S. 426. Ebenso konnte bestätigt werden, dass die ungebohrte Implantation keinen Vorteil hinsichtlich einer evtl. Infektion besitzt^{1,3,7,11}. Ähnliche Ergebnisse fanden sich nach offenen Frakturen des Tibiaschaftes: es gab keine Vorteile eines Verfahrens hinsichtlich Frakturheilungsstörung, Reoperationsrate und Infektion. Allerdings findet sich ein Implantatversagen häufiger bei ungebohrten Nägeln.

Dies gilt wohl auch für Femurschaftfrakturen (s. Abb. 4). Tornetta et al. fanden im Rahmen einer prospektiv – randomisierten Studie bei 81 Patienten vermehrt technische Probleme im Rahmen der Osteosynthese beim ungebohrten Vorgehen²⁰. Keine Unter-



Abb. 4: Femurschaftfraktur AO 32 B 3.2: Gebohrte antegrade Femurnagelung



Abb. 5: II.gradig offene Tibiafraktur AO 42 C 2.2: primäre ungebohrte Tibianagelung



Abb. 6: II.gradig offene Tibiafraktur AO 42 C 1: Zweizeitige, ungebohrte Verriegelungsnagelung



Abb. 7: Einzeitige Versorgung von Femur- und Tibiafraktur über einen medianen, infrapatellaren Zugang

schiede fanden sich hinsichtlich Operationszeit, postoperativem Transfusionsbedarf und Heilungszeit.

Auf die systemische Problematik des Bohrvorganges wurde bereits hingewiesen. Die Rate embolischer Ereignisse ist jedoch relativ niedrig und kann durch angepasstes Verhalten des Operateurs beeinflusst werden.

Negative Faktoren beim Einsatz des Markraumbohrers sind:¹³

- stumpfer Bohrer,
- enger Markraum,
- hohe Vortriebsgeschwindigkeit,
- großer Bohrwelldurchmesser.

Damit sollte sich letztlich die Art der Implantation ausschließlich nach der Art der Fraktur und den individuellen Bedingungen des jeweiligen Verletzten richten.

Um die negativen Auswirkungen einer aufgebohrten Implantation zu vermeiden, sollte in folgenden Fällen eine ungebohrte Verriegelungsnagelung vorgenommen werden (s. Abb. 5):

- höhergradige offene Frakturen (Grad 2 und 3 nach Gustilo),
- Kompartmentsyndrom,
- Mehrfachverletzung, Polytrauma (insbesondere Thoraxtrauma/Lungenkontusion),
- schweres Schädel-Hirn-Trauma
- PAVK.

Selbstverständlich stehen in diesen Situationen auch alternative Stabilisierungsverfahren zur Auswahl, insbesondere die externe Fixation als passagere oder definitive Versorgung. Im Gegensatz dazu ist bei einfachen Frakturen, insbesondere in Schaftmitte oder bei Heilungsstörungen (interne Spongiosaplastik) eine gebohrte Technik zu bevorzugen, da hier die Vorteile der höheren Primärstabilität besonders vorteilhaft genutzt werden kann.

Offene Frakturen

Offene Frakturen erfordern eine sorgfältige Operationsvorbereitung und -ausführung. Dies trifft besonders auf eine geplante intramedulläre Osteosynthese zu, aber auch auf das Weichteilmanagement. Erst- und zweitgradig offene Frakturen nach

Gustilo können mit Verriegelungsnägeln stabilisiert werden, wenn eine zeitnahe Weichteildeckung möglich ist. Zudem sollten zusätzliche Risikofaktoren ausgeschlossen sein (PAVK, Diabetes mellitus). In diesen Fällen ist eine ungebohrte Implantation vorzuziehen¹⁷. Bei höhergradig offenen Frakturen kann auch zweizeitig vorgegangen werden, dies gilt jeweils auch für den polytraumatisierten Patienten, insbesondere mit drohendem oder manifesten adult respiratory distress syndrome (ARDS)^{15,16}. Nach primärer Stabilisierung mittels Fixateur kann auf eine intramedulläre Osteosynthese gewechselt werden, wenn eine ausreichende Stabilisierung der lokalen und Allgemeinsituation eingetreten ist⁴. Empfohlen wird, eine Wechseloperation unter Antibiotikaschutz (single shot perioperativ) vorzunehmen. Dieser sollte an der Tibia innerhalb von 10 Tagen erfolgen, um eine Infektion über die Eintrittsstellen der Schanz-Schrauben zu vermeiden. Bei längerem Belassen empfiehlt sich ein Intervall mit Gipsimmobilisation bis zum Abheilen der Eintrittsstellen⁶ (s. Abb. 6).

Zugang: antegrad vs. retrograd

Der jeweilig zu wählende Zugang richtet sich nach Lokalisation und Ausdehnung der Fraktur. Unabhängig



Abb. 8: Geschlossene Femurschaftfraktur bei Osteoporose AO 32 B 1.3: Ungebohrte retrograde Femurnagelung

von der Lokalisation soll er so klein als möglich gehalten werden. Die Inzision sollte in Verlängerung des Markraumes und nicht zu nah am Knochen liegen. So können auch Blutverlust und bei kleinerer Insertion am Knochen die Rate heterotoper Ossifikationen gemindert werden. Standard ist ein proximaler Zugang am Femur ebenso wie an der Tibia. Jedoch kann am Femur auch eine retrograde Insertion des Implantates sinnvoll sein. Dies gilt zunächst bei distal gelegenen Frakturen der Klassifikation AO 33 A 1 – 3, aber auch bei Kombination einer Femurschaftfraktur mit einer begleitenden Tibiafraktur (s. Abb. 7). In diesen Fällen ist es vorteilhaft, über eine mediane, infrapatellare Inzision beide Frakturen zu stabilisieren. Dadurch wird die Lagerung vereinfacht und die Operationszeit durch Einsparung eines Zuganges optimiert. Weitere empfohlene Indikationen können beidseitige Verletzungen,

Frakturen am Acetabulum, Adipositas, begleitende Schwangerschaften oder Mehrfachverletzungen sein^{14,18}. Chan et al. untersuchten 77 Patienten mit Femurschaftfrakturen. Sie fanden eine signifikant kürzere Heilungszeit bei retrogradem Zugang zur Nagelinsertion². Keine Unterschiede fanden sie jedoch hinsichtlich Knieschmerz, Schwellung, Funktion und postoperativen Achsverhältnissen. Die Autoren empfehlen den retrograden Zugang (s. Abb. 8).

Dabei sollte auf eine Minimierung des Zuganges am Kniegelenk geachtet werden. Schandelmaier et al. konnten zeigen, dass das Knievermögen postoperativ nicht nur von der ossären Nagelinsertion, sondern auch von der Länge der Inzision abhängt¹⁹.

Verriegelung

Nach dem Übergang vom einfachen Marknagel zum Verriegelungsnagel ist es heute bei den Nagelmodellen der letzten Generation möglich, trotz Besetzen proximaler und distaler Verriegelungsbolzen eine dynamische Fixierung zu erreichen. Diese kann sowohl bei der primären Nagelosteosynthese als auch sekundär im Rahmen einer Dynamisierung, das heißt des selektiven Entfernens statischer Bolzen erreicht werden, ohne dabei eine Sicherung der Rotation der Fragmente aufzuheben. Es werden generell zwei Bolzen je Hauptfragment empfohlen.

Standardzugänge		
Femur	antegrad	Linie Tr. Major – lateraler Femurkondylus, nach proximal ca. 10 – 15 cm verlängert
	retrograd	median durch Lig. Patellae, in Verlängerung der Markhöhle
Tibia	antegrad	wie oben, jedoch etwas proximaler gelegen (Patellaspitze)

Tab. 1: Vergleich Ergebnisse gebohrte / ungebohrte Implantation^{1,3,7,11}

Evidenzgrad	Kriterium	Zahl der Studien	Patienten	Gebohrte Implantation	Ungebohrte Implantation	Empfehlung
I – II	Pseudarthrose	4	n = 374 23 % männlich, 36 Jahre median	5 % (n = 9/193)	11% (n = 20/181)	Gebohrte Implantation
I – II	Infektion	4	n = 374 23 % männlich, 36 Jahre median	2,1 %	2,2 %	Kein Unterschied

Wenn immer möglich, sollte die primär dynamische Verriegelung angestrebt werden⁹. Eine sekundäre Dynamisierung wird man in Abhängigkeit vom Fortschritt der Konsolidierung nach etwa sechs bis acht Wochen vornehmen.

Am insertionsnahen Nagelende ist es möglich, die Verriegelungsbolzen mit Hilfe des Zielgerätes zu platzieren. Am insertionsfernen Nagelende dagegen muß eine Verriegelung in Freihandtechnik vorgenommen werden, meist mit Hilfe des strahlendurchlässigen Winkelgetriebes – verbunden mit einer erhöhten Strahlenbelastung des Operateurs.

Ergebnisse

Intramedulläre Osteosynthesen stellen ein standardisiertes Verfahren zur Versorgung geschlossener, aber auch offener Frakturen an den unteren Extremitäten dar. Dabei ist das Pseudarthrose-Risiko bei offenen mehrfragmentären Frakturen, insbesondere an der Tibia, nicht zu verachten. Die Wahrscheinlichkeit für Heilungsstörungen ist bei ungebohrter Implantation höher zu bewerten. Unabhängig ist hingegen das Infektionsrisiko von der Form der Nagelimplantation. Auf ein übermäßiges Aufbohren sollte allerdings verzichtet werden.

Ein Implantatversagen ist vorwiegend bei unaufgebohrter Technik zu erwarten. Vergleicht man die Risiken einer ausschließlich externen Fixation mit denen einer ungebohrten Verriegelungsnagelung bei offenen Frakturen, so überwiegen deutlich die Vorteile der intramedullären Technik (s. Tab. 1 – 3).

Zusammenfassung

Die AO Prinzipien werden heute wie folgt beschrieben:

- geeignete Reposition,
- geeignete Stabilisierung,
- Erhaltung der Vaskularität,
- schmerzfreie Frühmobilisation.

Diese Forderungen können sämtlich mit einer intramedullären Osteosynthese bei geeigneter Indikation erfüllt werden.

Die Anwenderfreundlichkeit der modernen Nagelgeneration ist hoch, ebenso die Sicherheit bei der Anwen-

Tab. 2: Vergleich Ergebnisse Gebohrte vs. ungebohrte Implantation bei offenen Frakturen

Evidenzgrad	Kriterium	Zahl der Studien	Patienten	Gebohrte Implantation	Ungebohrte Implantation	Empfehlung
I – II	Pseudarthrose	2	n = 132 16 % weiblich, 36 Jahre median	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine
I – II	Reoperation	2	n = 132 16 % weiblich, 36 Jahre median	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine
I – II	Tiefe Infektion	2	n = 132 16 % weiblich, 36 Jahre median	k. A.	k. A.	Keine
I – II	Implantatversagen	2	n = 132 16 % weiblich, 36 Jahre median	k. A.	k. A.	Gebohrte Implantation

Tab. 3: Vergleich Ergebnisse Intramedulläre Osteosynthesen vs. Fixateur externe

Evidenzgrad	Kriterium	Zahl der Studien	Patienten	Ungebohrter Nagel	Fixateur externe	Empfehlung
I – II	Pseudarthrose	5	n = 396 22 % weiblich, 35 Jahre median	15,7 % (n = 34/216)	24 % (n = 43/180)	Ungebohrter Nagel
I – II	Verzögerte Heilung	5	n = 396 22 % weiblich, 35 Jahre median	13,0 % (n = 28/216)	33,3 % (n = 60/180)	Ungebohrter Nagel
I – II	Reoperation	5	n = 396 22 % weiblich, 35 Jahre median	20 % (n = 43/216)	37 % (n = 67/180)	Ungebohrter Nagel
I – II	Tiefe Infektion	5	n = 396 22 % weiblich, 35 Jahre median	10,2 % (n = 22/216)	16,1 % (n = 29/180)	keine
I – II	Oberflächliche Infektion	5	n = 396 22 % weiblich, 35 Jahre median	6,0 % (n = 13/216)	42,2 % (n = 76/180)	keine

dung der Systeme. Die zu erwartenden Ergebnisse sprechen bei geeigneter Fraktur für eine gebohrte Verriegelungsnagelung mit mäßigem Aufbohren, im Verlauf sollte nach sechs bis acht Wochen eine Dynamisierung des Nagels geprüft werden.

Literatur bei den Verfassern
Anschrift der Verfasser
Dr. med. Thomas Hohaus
Dr. med. Philipp Bula
Prof. Dr. med. Felix Bonnaire
Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und
Handchirurgie
Städtisches Klinikum Dresden-Friedrichstadt
Friedrichstraße 41, 01067 Dresden