

Intramedulläre Stabilisierungsverfahren bei Tibiafrakturen: State of the Art

■ U. Pfister

Zusammenfassung

Unter den Methoden zur Behandlung von Tibiafrakturen nehmen intramedulläre Stabilisierungsverfahren einen herausragenden Platz ein. Die aus mechanischen Gründen früher notwendige Beschränkung auf Schaftfrakturen fiel mit der Entwicklung verriegelbarer Nägel weg. Ein besseres Verständnis biologischer und biomechanischer Vorgänge im Verlauf der Frakturheilung führte zum Einsatz unaufgebohrt implantierbarer Marknägel und zur Ausweitung der Indikationen auch bei offenen Frakturen hoher Schweregrade.

Einleitung

Die Marknagelosteosynthese ist heute das favorisierte Verfahren in der Behandlung von vielen Frakturen der Tibia. Trotz im Vergleich mit anderen Stabilisierungsmethoden bestehender Vorzüge einer intramedullären Stabilisierung verbleiben aber Frakturen, bei denen die Anwendung der Methode problematisch, schlechter als andere Verfahren oder gar nicht möglich ist. Speziell auf die Versorgung dieser Frakturen gerichtete Neuentwicklungen sind noch experimentell oder in der klinischen Testphase. Aber auch die Wertung der bereits standardmäßig verwendeten unaufgebohrten Marknagelung ist noch nicht abgeschlossen. Es gibt Hinweise darauf, dass ihren unzweifelhaften biologischen Vorzügen mechanische Nachteile gegenüber stehen könnten. Dies muss nicht unbedingt negativ sein, da heute die operative Frakturbehandlung eindeutig unter der Prämisse

„so wenig Störung der Biologie wie möglich, so viel Stabilität wie notwendig“ steht und absolute Werte für die „unbedingt nötige Stabilität“ nicht feststehen. In diesem Sinn müssen auch Stabilisierungsverfahren in der Art elastischer Nägel zunächst noch überprüft und im Hinblick auf ihr Indikationsspektrum bewertet werden.

Vorbemerkungen zur Mechanik der Marknagelung an der Tibia

Ein in der Markhöhle eingebrachter Marknagel hat ohne zusätzliche Instrumentierung eine reine Schienenfunktion. Im Falle der Schaftfraktur gilt: Je besser und langstreckiger der Nagel proximal und distal einer Fraktur vollständig oder annähernd der harten Kortikalis anliegt, desto größer ist sein immobilisierender Effekt auf die Fragmentenden. Umgekehrt wird ein dünner Nagel ohne diesen Kontakt zur Corticalis deutlich mehr „Spiel“ im Frakturspalt zulassen, also weniger immobilisieren. Bei Frakturen am Übergang zum oder im gelenknahen $\frac{1}{3}$ führen aber auch Nägel mit größerem Durchmesser nicht zu einer zuverlässigen Stabilisierung, da sich die Markhöhle hier erweitert oder eine weiche Spongiosa vorliegt. Damit ist durch mangelnden Kortikaliskontakt die Schienenfunktion des Nagels nicht mehr gegeben. Wirken nun scherende, kippende und drehende Momente auf das gelenknahe Fragment ein, so wird die Spongiosa durch den Nagel zusammengedrückt, das Nagellager damit vergrößert oder der Nagel schneidet durch (**Abb. 1**).

Die Immobilisierung im Frakturbereich ergibt sich aber nicht nur aus der Art und Größe des Marknagels, auch der Bruchtyp und das erzielte Repositionsergebnis spielen eine Rolle.

Eine Einstauchung oder Verzahnung der Fragmentenden wird bereits für sich allein betrachtet mehr oder weniger immobilisierend wirken. Bei einer reinen Quer-



Abb. 1 Querschnitt Tibia, distales Drittel. Bett eines 12-mm-AO-Nagels mit zentralem Zapfen. Der Nagel liegt hier nur in weicher Spongiosa.

oder glatten Schrägfraktur tragen dagegen die Fragmentenden wohl kaum zur zusätzlichen Immobilisierung bei. Hier sind vor allem bei dünnen Nägeln Bewegungen zur Seite und Rotation möglich. Aber selbst ein großer Nagel kann die Rotation dann nicht zuverlässig verhindern. Völlig unkalkulierbar ist die mechanische Stabilisierung bei Trümmer- und Defektfrakturen, wobei hier die reine Schienenfunktion des Nagels, sei er nun aufgebohrt oder unaufgebohrt eingebracht, vor allem auch das Risiko der Verkürzung erwachsen lässt. Mit der Einführung verriegelter Nägel ließen sich einige dieser Probleme lösen.

Die Verriegelung ist geeignet, Verkürzung, sekundäre Rotation und ein Verkippen gelenknahe Fragmente bei allen Indikationen zu verhindern.

Allerdings müssen die einwirkenden Kräfte nun zum größten Teil durch die Verriegelungsbolzen aufgefangen werden. Sind diese Kräfte sehr stark oder wirken sie bei verzögerter Frakturheilung lange Zeit ein, kann es zur Auslockerung oder – sehr viel häufiger – zum Bolzenbruch kommen. Verschiedene Verläufe sind danach denkbar. Führt der Bolzen-



Abb. 2 Bolzenbruch bei ausbleibender Heilung nach offener Tibiafraktur.

bruch im Stadium einer bereits weit fortgeschrittenen Kallusbildung zu keiner wesentlichen Mobilitätszunahme der Fragmentenden, so heilt die Fraktur aus. Wird dagegen durch den Bruch des Bolzens der Frakturbereich wieder deutlich mobiler, so kann es zur Störung der Kallusbildung und damit zum Übergang in die Pseudarthrose kommen (**Abb. 2**).

Welcher Verlauf im Einzelnen eintreten wird, ist also weitgehend davon abhängig, welche Vorstufe des knöchernen Kallus vorhanden und wie deren Toleranz gegenüber Bewegungen und den daraus resultierenden Kräften im Frakturbereich ist.

Denkbar ist aber auch, dass durch die Verriegelung des Marknagels die Montage primär so rigide ist, dass der notwendige Reiz auf das im Frakturbereich vorhandene Gewebe fehlt. Ein Bolzenbruch kann dann über eine „spontane“ Dynamisierung zur Ausheilung führen.

Betrachtet man die mechanischen Gegebenheiten, so scheint bei Brüchen im Schaftbereich ein Nagel mit größerem Durchmesser gegenüber dem dünneren unaufgebohrt implantierten Nagel gewisse Vorteile aufzuweisen. Dabei ist bei verzahnten Fragmentenden eine Verriegelung nicht unbedingt notwendig. Diese erscheint sogar schädlich, wenn die Frakturrenden nach der Marknagelung „auf Distanz“ stehen. Dagegen sollte bei glatten Querbrüchen, längeren Schräg-



Abb. 3 a, b Aufgebohrt Universalnagel. Zusätzliche Stabilität durch Fibulaosteosynthese und Fixation einer Innenknöchelfraktur.

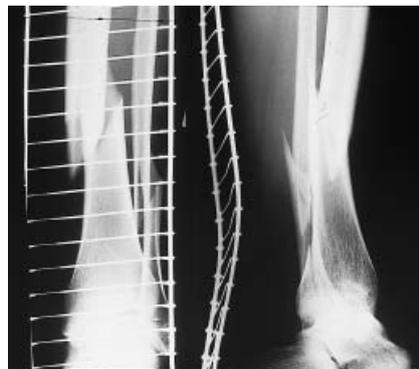
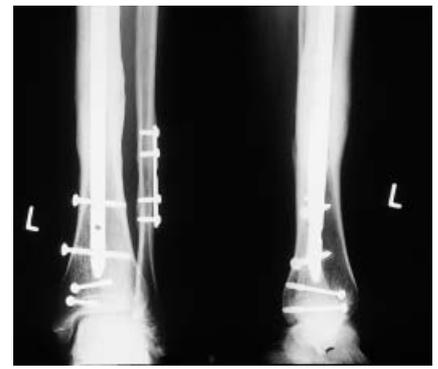


Abb. 4 a, b Torsionsfraktur distales Drittel. Versorgung mit UTN + zusätzlicher Fibulaosteosynthese zur Erhöhung der Stabilität. Schraubenosteosynthese zur Refixation des Volkmann'schen Dreiecks.



und Spiralfrakturen sowie Trümmerfrakturen auf jeden Fall verriegelt werden. Aus mechanischer Sicht ist auch bei Brüchen am Übergang zum oder im gelenknahen $\frac{1}{3}$ ein aufgebohrt eingebrachter Nagel mit größerem Durchmesser gegenüber unaufgebohrten dünnen Nägeln von Vorteil. Beide sollten aber mit möglichst viel Schrauben im Gelenkfragment verriegelt werden, um die oft nur kurzstreckige Verbindung von Nagel und gelenknahem Fragment so stabil wie möglich zu gestalten (**Abb. 3 u. 4**).

Vorbemerkungen zur Biologie der Marknagelung an der Tibia

Die lokalen Folgen einer Aufbohrung der Markhöhle sind weitgehend geklärt [9]. Durch das Aufbohren wird das intracavi-

tale Gefäßsystem zusätzlich zur traumabedingten Läsion so geschädigt, dass zunächst die inneren Partien der Kortikalis nicht mehr durchblutet sind. Der avaskuläre Knochen muss im weiteren Verlauf auf dem Boden einer Revaskularisierung komplett umgebaut werden (Remodelling) (**Abb. 5**).

Beim Einbringen eines Nagels ohne vorhergehende Aufbohrung ist die Zone der primären Avaskularität sehr viel kleiner, das notwendige Remodelling weniger ausgedehnt und zeitaufwendig.

Aus diesen experimentell gewonnenen Erkenntnissen lässt sich leicht ableiten, dass soweit wie möglich das intracavitale Gefäßsystem geschont werden sollte, wenn aufgrund anderer Umstände das

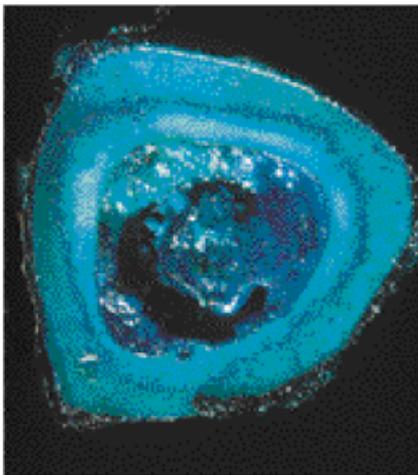
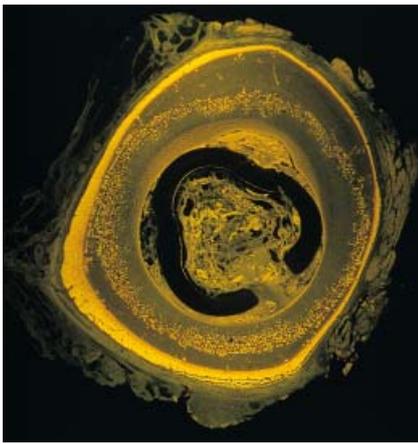
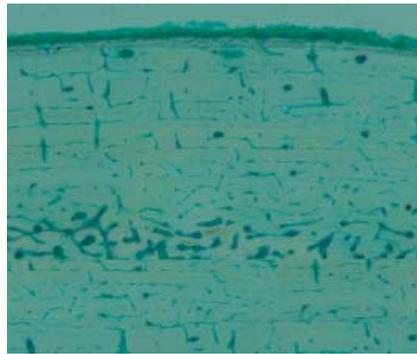


Abb. 5 a–d Querschnitte Schafstibia nach MN (a) Fluoreszenzmarkierung der Knochenneubildung. Ringförmige Umbauzone in der mittleren Kortikalisschicht. (b) Disulphinfärbung. Innere Kortikalisschicht nicht durchblutet. Der Umbau beginnt an der Grenze zur durchbluteten äußeren Kortikalis auf dem Boden großer gefäßhaltiger Vakuolen. (c) Gefäßdarstellung. Die Gefäße dringen in die innere Kortikalisschicht ein und bilden die Grundlage für neue Osteone. (d) Mikroradiographie. Während des Umbaus besteht eine erhebliche Porosierung des Knochens.

teilweise kompensatorisch einspringende periostale und parossale Gefäßsystem ganz oder teilweise zerstört wurde. Dies ist z.B. bei vielen offenen Frakturen, aber auch bei den höhergradigen geschlossenen Weichteilverletzungen der Fall. Ob auch bei geringem Weichteilschaden die unaufgebohrte Nagelung von Vorteil ist, ist dagegen fraglich. Reichert u.a. [10] konnten an der Schafstibia zeigen, dass es durch Aufbohren zu einer 6fachen Verstärkung des periostalen Blutflusses kommt. Diese verstärkte Durchblutung könnte der Anlass für eine beschleunigte periostale Kallusbildung und damit auch Frakturheilung sein.



Klinische Literaturergebnisse

Zur Marknagelung der Tibia existieren unzählige Publikationen. Trotzdem sind eindeutige Angaben zu Heilungsquoten, Heilungszeit und Komplikationen nicht einfach. In sehr vielen Arbeiten werden die Ergebnisse bei Nagelung offener und geschlossener Frakturen zusammengelegt, der Weichteilschaden nicht klassifiziert, der Frakturtyp und die Lokalisation nicht näher bezeichnet. Aus diesem Grund können nur wenige Arbeiten eindeutige Ergebnisse aufzeigen.

In einem Vergleich gebohrter und unaufgebohrter Verriegelungsmarknagelung der Tibia bei geschlossenen Frakturen des C 1-Typs nach der AO-Klassifikation fanden Courts-Brown u.a. [9], dass alle 23 Frakturen nach aufgebohrter Nagelung nach durchschnittlich 15,4 Wochen fest waren. Bei den 20 unaufgebohrten durchgeführten Marknagelungen mussten 5 Frakturen in einem zweiten Eingriff durch aufgebohrte Nagelung behandelt werden, um fest zu werden. Dadurch er-

gab sich eine mittlere Heilungszeit von 22,8 Wochen in dieser Gruppe. Bei der aufgebohrten Nagelung fand sich der Bruch eines Bolzens, in der unaufgebohrten Gruppe waren ein gebrochener Nagel und bei 13 Patienten Bolzenbrüche nachzuweisen. Bei zwei Patienten der aufgebohrten und bei drei Patienten der unaufgebohrten Gruppe entstanden Kompartiment-Syndrome.

Blachut u.a. [1] werteten in einer prospektiven randomisierten Studie 72 aufgebohrte und 63 unaufgebohrte Marknagelungen bei geschlossenen Tibiafrakturen aus. Die Fraktur- und Weichteilcharakteristika waren in beiden Gruppen vergleichbar. In der aufgebohrten Gruppe heilten 70 Frakturen (96%), in der unaufgebohrten Gruppe 56 (89%) ohne weiteren Eingriff aus. In der aufgebohrten Nagelgruppe kam es zu einer Nagelfraktur und einem Bolzenbruch. In der unaufgebohrten Gruppe kam es zu einer Infektion und bei 10 Frakturen zu Bolzenbrüchen. Die Autoren folgerten, dass die unaufgebohrte Nagelung geschlossener Tibiafrakturen eine hohe Prävalenz für Pseudarthrosen und Materialbrüche aufweisen.

Müller u.a. [7] werteten in einer prospektiven Studie die Ergebnisse von 66 mit einem unaufgebohrten Marknagel versorgten geschlossenen Tibiafrakturen aus. Frakturmuster und Weichteilbeteiligung entsprachen ungefähr den Angaben der o.g. Untersuchungen. 54 Patienten konnten nachuntersucht werden. 47 (=87%) der Frakturen heilten nach durchschnittlich 16 Wochen aus. In zwei Fällen einer verzögerten Frakturheilung heilte die Fraktur nach Dynamisierung aus, 1 × musste eine Spongiosaplastik angebracht werden. In 3 Fällen kam es zur Pseudarthrose, die eine Umnagelung erforderlich machte. Von 224 implantierten Bolzen brachen 7 (3%), ein Nagelbruch war nicht zu verzeichnen.

Keating u.a. [5] verglichen in einer randomisierten Studie bei offenen Frakturen 45 aufgebohrte Marknagelungen und 41 unaufgebohrte Marknagelungen. Frakturtypen und Weichteilverletzungen waren etwa vergleichbar. 4 (9%) der aufgebohrten Marknagelungen und 5 (12%) der unaufgebohrten Marknagelungen heilten nicht primär aus. In der Gruppe der aufgebohrten Marknagelungen waren 2 Infektionen, nach unaufgebohrter Marknagelung eine Infektion festzustellen. Bei der aufgebohrten Marknagelung kam es in 4 Fällen (9%) zu Bolzen- und in 2 Fällen zu Nagelbrüchen. In der unaufgebohrten

Gruppe waren bei 12 Frakturen (29%) Bolzenbrüche und ein Nagelbruch festzustellen. Die Heilungsdauer war in beiden Gruppen (unaufgebohrt 30, aufgebohrt 29 Wochen) praktisch identisch.

Müller u.a. [8] untersuchte in einer prospektiven Studie – 78 offene Frakturen, darunter 28 Grad-III-Frakturen der Einteilung nach Gustilio. 55 (70%) der Frakturen heilten nach durchschnittlich 18 Wochen aus. 5 Frakturen heilten verzögert (1 Dynamisierung, 1 Plattenosteosynthese, 3 Umnagelungen). Zur Pseudarthrose kam es bei 9 Frakturen (11%), alle Frakturen lagen am Übergang oder im distalen Drittel. 4 × kam es zur Infektion. Von 267 eingebrachten Bolzen brachen 29 (11%), bei 17 Patienten (23%), ein Nagelbruch trat nicht auf. Unter Würdigung weiterer Arbeiten, die zu einzelnen Punkten Stellung nahmen, lässt sich folgendes sagen:

Bei geschlossenen Tibiafrakturen ist kein eindeutiger Unterschied in den Heilungsraten nach gebohrter und unaufgebohrter Marknagelung festzustellen, tendenziell ist aber die Pseudarthrose nach unaufgebohrter Marknagelung höher.

Für die unaufgebohrte Marknagelung sprechen das weniger aufwendige Verfahren und die kürzeren Operationszeiten, dagegen ist die Zahl der komplizierenden Bolzenbrüche deutlich höher als bei aufgebohrter Nagelung. Die Heilungszeiten scheinen identisch zu sein.

Bei offenen Tibiafrakturen gleichen sich die Ergebnisse bezüglich der Heilung nach unaufgebohrter und gebohrter Nagelung. Die unaufgebohrte Marknagelung weist aber eine sehr viel höhere Zahl von Bolzenbrüchen auf.

Als Voraussetzung für die primäre Anwendung des Marknagels wird von allen Autoren die sorgfältige Einhaltung der sonstigen Behandlungsprinzipien (sorgfältiges, wiederholtes Debridement, Spülung, Antibiotika-Gabe usw.) gefordert und für das Ergebnis für wesentlich erachtet.

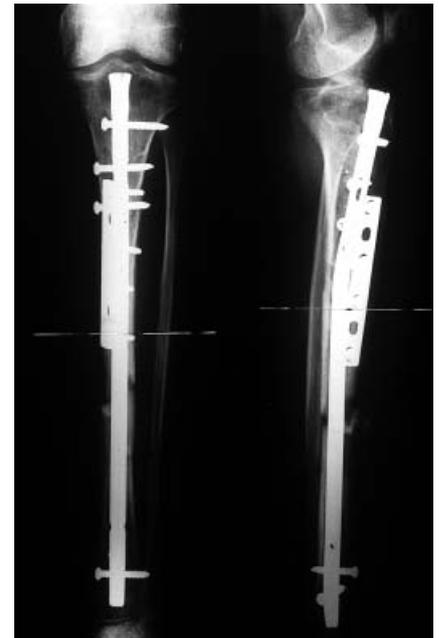
Praktische Erkenntnisse

Ohne Zweifel ist die Marknagelung eine gute, relativ sichere und aus der Behandlung von Schienbeinfrakturen nicht wegzudenkende Methode. Bei Durchsicht der Literatur fällt auf, dass die aus experimentellen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse über die biologischen Vorteile der unaufgebohrten Marknagelung



Abb. 6a–d Valgisierungstendenz proximaler Tibiafrakturen. Kann durch MN allein nicht verhindert werden. Ausheilung in perfekter Stellung nach sekundärer Umnagelung und Plattenosteosynthese.

in der Klinik nicht erkennbar werden. Trotzdem erscheint es sinnvoll, in Situationen mit erheblicher Schädigung des periostalen und parossalen Gefäßsystems und massiven Weichteilläsionen die Restdurchblutung des Knochens so gut wie möglich zu erhalten und die unaufgebohrte Nagelung anzuwenden. Dabei ist



einzukalkulieren, dass bei verzögerter Heilungstendenz der Fraktur aus mechanischen Gründen eine sekundäre Stabilisierung mit aufgebohrtem Nagel oder andere Eingriffe erforderlich werden können.

Bei offenen Frakturen und Frakturen mit schwerem Weichteilschaden steht die primäre Marknagelung mit dem unaufgebohrten oder aufgebohrten Marknagel in Konkurrenz zur Behandlung mit dem Fixateur externe, wobei sowohl die endgültige Ausheilung mit dem Fixateur externe als auch die sekundäre Umwandlung zur Nagelosteosynthese gängige Verfahren sind. Ein Vergleich der Literatur lässt hier keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen erkennen.

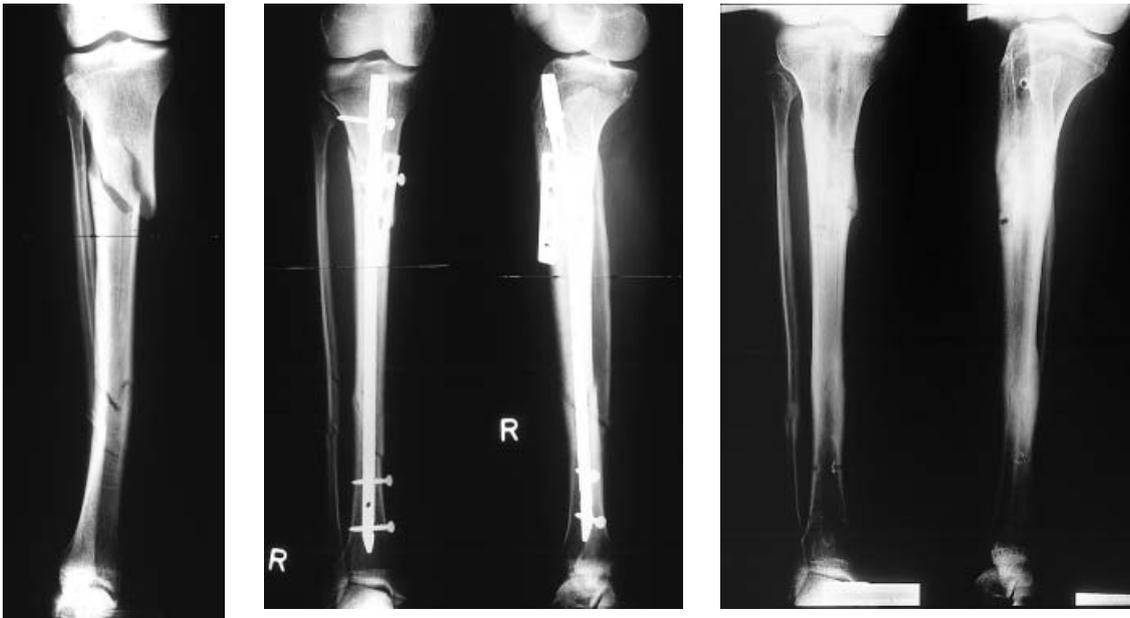


Abb. 7 a – c
Primäre Plattenosteosynthese und gleichzeitige MN.

Der höhere Komfort, die bessere Zugangsmöglichkeit zu den Weichteilen und die weniger häufig notwendig werdenden Zweiteingriffe sprechen aber für die primäre Nagelung.

In Ausnahmefällen kann bei multisegmentalen Frakturen sogar eine Reposition und zusätzliche temporäre Fixation mit dem Fixateur externe bei liegendem Nagel angebracht sein. Betrachtet man die Ergebnisse nach Marknagelung, so fällt auf, dass Komplikationen fast ausschließlich bei Frakturen am Übergang zum proximalen oder zum distalen Drittel der Tibia auftreten.

Die **Probleme bei proximalen Frakturen** scheinen vor allem mechanische Gründe zu haben. Sie sind bei unaufgebohrten und bei aufgebohrten Marknägeln vorhanden. Auch bei der empfohlenen etwas lateralen Insertion des Marknagels kommt es häufig zur Dislokation des proximalen Fragments im Antekurvations- und Valgussinn. Deshalb erscheint die zusätzliche primäre und sekundäre Plattenosteosynthese notwendig oder ist primär ein anderes Vorgehen (z. B. Fixateur externe – Platte, Doppelplatten u. ä.) angezeigt. Ob die Entwicklung von Spezialnägeln bessere Ergebnisse bringen kann, wird sich in Zukunft zeigen müssen (Abb. 6 u. 7).

Bei der **Problemfraktur am Übergang zum distalen Drittel** lassen sich biologische und mechanische Faktoren verantwortlich machen. Menck [6] konnte in anatomischen Studien zeigen, dass die distale Tibia nur von einer Arterie, der Ar-

teria tibialis anterior versorgt wird. Daher besteht hier eine Schwachstelle der Blutversorgung. Hinzukommt, dass der stabilisierende Effekt vor allem dünner Marknägeln in der Spongiosa der distalen Tibia gering ist. Die wesentliche Stabilisierung geschieht über Verriegelungsbolzen. Sie können aber offensichtlich bei einer aus biologischen Gründen verzögerten Frakturheilung den auftretenden Kräften häufig nicht Stand halten und brechen. Dadurch kommt es zusätzlich zur Instabilität im Frakturbereich. Aus theoretischer Sicht erscheint die Stabilisierung mit aufgebohrten Nägeln und größerem Durchmesser aus mechanischen Gründen bei diesen Frakturen vorteilhaft. Und diese theoretische Überlegung lässt sich auch durch die klinischen Ergebnisse bestätigen (Courts-Brown u. a., 2). Die mechanische Problematik spricht auch dafür, dass bei gleichzeitigem Vorliegen einer distalen Fibulafraktur diese zusätzlich verplattet werden sollte. Höntzsch u. a. [4] konnten dadurch eine deutliche Zunahme der Primärstabilität (36%) feststellen. Da die als eindeutiger Vorteil der Marknagelung angesehene frühe Belastungsfähigkeit bei diesen Frakturen wegfällt, ist die Verwendung des Nagels auch in Konkurrenz mit der Plattenosteosynthese zu sehen. Es ist aber eindeutig, dass gerade die kritische Weichteilsituation an der Innenseite der distalen Tibia ein intramedulläres Verfahren in vielen Fällen favorisiert.

Literatur

¹ Blachut PA, O'Brien PJ, Meek RN, Brockhuysen HM. Interlocking intramedullary nailing with and without reaming for the treatment

of closed fractures of the tibial shaft. JBJS 1997; 79-A: 640 – 646
² Court-Brown CM, McQueen MM, Quaba AA, Christie J. Locked intramedullary nailing of open tibial fractures. JBJS 1991; 73-B: 959 – 964
³ Court-Brown CM, Will E, Christie J, McQueen MM. Reamed or unreamed nailing for closed tibial fractures. JBJS 1996; 78-B: 580 – 583
⁴ Höntzsch D, Weller S, Dürselen L, Claes L. Die begleitende Fibulaosteosynthese bei der kompletten Unterschenkelfraktur. Traumatologie aktuell II 1993
⁵ Keating JF, O'Brien PJ, Blachut PA, Meek RN, Brockhuysen HM. Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft. JBJS 1997; 79-A: 334 – 341
⁶ Menck J, Bertram C, Lierse W. Sectorial angioarchitecture of the human tibia. Acta anatomica 1992; 143: 67 – 73
⁷ Müller CA, Strohm P, Morakis Ph, Pfister U. Intramedullary nailing of the tibia: Current status of primary unreamed nailing. Part 1: Results for closed fractures. Injury 1999; 30: 37 – 43
⁸ Müller CA, Morakis Ph, Strohm P, Pfister U. Intramedullary nailing of the tibia: Current status of primary unreamed nailing. Part 2: Results of open fractures. Injury 1999; 30: 44 – 54
⁹ Pfister U, Rahn BA, Perren SM, Weller S. Vascularität und Knochenumbau nach Marknagelung langer Röhrenknochen. Akt Traumatol 1979; 9: 191 – 195
¹⁰ Reichert ILH, McCarthy ID, Hughes SBF. The acute vascular response to intramedullary nailing: microsphere estimation of blood flow in the intact ovine tibia. JBJS 1995; B-77: 490 – 493

Prof. Dr. med. U. Pfister
Abteilungsleiter

Unfall-, Hand- u. Wiederherstellungschirurgie – Städt. Klinikum
Postfach 6280
76042 Karlsruhe