

Unaufgebohrte Marknagelung

Die Marknagelung der langen Röhrenknochen hat in den letzten Jahrzehnten heftige Fachdiskussionen hervorgerufen. Waren es zuvor die Differenzen der Anwender der Marknagelung gegen die Anhänger der Plattenosteosynthese, so verlagerte sich der Streit in den 1980er- und 90er-Jahren in die Reihen der „Nagler“ selbst. Die Diskussion und das Abwägen der aufgebohrten gegen die unaufgebohrte Einbringung des Implantats beherrschte Kongresse, Symposien und Fachzeitschriftenbeiträge.

Das Konzept einer „biologischen“ Osteosynthese, die am Knochen wenig Schaden anrichtet, beherrschte die Überlegungen im deutschsprachigen Raum, während im angelsächsischen Sprachraum das Konzept der möglichst großen Stabilität vorherrschte, ohne bezüglich der Vaskularität des Knochens große Bedenken zu zeigen. Retrospektive Fallstudien berichteten gleichermaßen über Erfolge der einen wie der anderen Methode, und je nach Gewichtung der eigenen, klinischen und tierexperimentellen Ergebnisse wurden Empfehlungen in die eine oder andere Richtung abgegeben, da lange Zeit die geforderten aussagekräftigen Studien fehlten, um die Kontroverse zu entscheiden. In den letzten Jahren sind nun jedoch entscheidende Fortschritte gemacht worden. Das in der orthopädischen/unfallchirurgischen Forschung relativ neue Instrument der Metaanalyse und die Durchführung randomisierter prospektiver Studien scheinen nun viele offene Fragen geklärt zu haben. Ein erneuter Paradigmenwechsel in der Mark-

nagelung im deutschsprachigen Raum hat stattgefunden.

In dieser Übersicht soll nun eine aktuelle Standortbestimmung der unaufgebohrten Marknagelung vor dem Hintergrund der besten vorliegenden Studien nach dem Konzept der „evidence-based medicine“ (EBM) versucht werden (▣ Tab. 1).

Geschichte der Marknagelung

Die Marknagelung wurde von Küntscher 1940 [30] entwickelt. Bereits 1940 wurde sie im Unfallkrankenhaus Wien von Lorenz Böhler an einer größeren Zahl von Fällen am Unterschenkel erprobt. Aufgrund der Auswertung der Fälle schrieb Böhler 1944, dass man bei der Indikation zur Marknagelung sehr zurückhaltend sein solle und dass er sie in seinem Bereich für offene Frakturen seit 1943 verboten habe. 1944 hatte er sie aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse auch für die ge-

deckte Marknagelung geschlossener Unterschenkelbrüche aufgegeben.

Der Grund für die Misserfolge wurde später von Jörg Böhler darin gesehen, dass mit den damaligen Küntscher-Marknägeln eine stabile Osteosynthese nicht erreicht werden konnte. Die Nägel waren zu weich, und auch mit dem Doppelnagel konnte keine ausreichende Stabilität erreicht werden. Außerdem musste man sich nach der engsten Stelle des Markraums richten, sodass die ersten Marknägeln sehr dünn ausfielen [5].

Im Lauf der nächsten 12 Jahre wurden wesentliche technische Änderungen eingeführt, die es ermöglichten, starre und dickere Marknägeln zu verwenden. Den wesentlichen Fortschritt brachte dann die von Küntscher beschriebene Aufbohrung des Markraums, zunächst mit Handbohrern, dann mit Motorbohrern mit flexibler Welle, die das Aufbohren über einen Führungsspieß ermöglichten [32]. Das Prinzip dahinter war die Verklebung des elasti-

Tab. 1 Beweisstufen von experimentellen und klinischen Untersuchungen

Level 1	Randomisierte, prospektive klinische Studie (RCT), die eine neue Therapie als signifikant ($p < 0,05$) besser als die herkömmliche Therapie belegt; Metaanalyse von Level-1-RCTs
Level 2	Prospektive, randomisierte, klinische Studie, die die Gleichwertigkeit einer neuen gegenüber der herkömmlichen Therapie belegt; Metaanalyse von Level-2-RCTs
Level 3	Prospektive, aber nichtrandomisierte Kohortenstudie
Level 4	Historische, nichtrandomisierte Kohorten- oder „Case-control“-Studie
Level 5	Klinische Fallberichtserie
Level 6	Tierexperimentelle oder mechanische Studie
Level 7	Übertragungen von existierenden Daten
Level 8	Anerkennung von historischen Standards als gängige klinische Praxis; gesunder Menschenverstand

Diese Einstufung in verschiedene Klassen demonstriert eine Einteilung aller Studien, um eine Wertung neuer Erkenntnisse vorzunehmen. (Adaptiert nach "Introduction to the International Guidelines 2000 for CPR and ECC: a consensus on science" [2000], Circulation 102 [Suppl. 1]: I-1–I-11 u. "Evidence-based medicine: What it is and what it is not" [Bhandari M, Giannoudis PV; 2006], Injury 37: 302–306)

schen Nagels im starren Knochen. Durch die Aufbohrung wurde die Kontaktfläche zwischen Implantat und Knochen vergrößert, die Anwendung des Nagels konnte auf komplexere sowie proximale und distale Frakturen ausgedehnt werden. In den 50er-Jahren wurde außerdem der Röntgenbildverstärker in Verbindung mit einer Fernsehanlage entwickelt, sodass aus der bis dahin „blinden“ Operation, während der sich der Operateur auf die Angaben seines Assistenten verlassen musste, eine Operation unter Sicht geworden war.

Es war auch Küntscher selbst, der 1962 über mögliche Gefahren der aufgebohrten Marknagelung und über pulmonale Komplikationen berichtete [31].

Ein weiterer Meilenstein war die von Grosse und Kempf erstmals vorgestellte Verriegelung des Nagels durch Schrauben. Der klassische Küntscher-Nagel erfuhr durch Klemm u. Schellmann 1972 [25] eine Weiterentwicklung zum eigentlichen Verriegelungsnagel, der sich nicht nur zur Versorgung von Schafffrakturen, sondern auch von metaphysennahen und Trümmerfrakturen eignete.

— Jahrzehntelang wurde der Begriff „Marknagelung“ synonym mit aufgebohrter Technik verwendet.

Im Laufe der 90er-Jahre entwickelte die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) den unaufgebohrten Verriegelungsnagel, welcher anfänglich als Alternative zum Fixateur externe bei der Erstversorgung von Frakturen mit offenem oder hochgradigem geschlossenen Weichteilschaden gedacht war.

Hintergrund für die Entwicklung der unaufgebohrten Marknagelung

Der Motor für die Entwicklung eines soliden unaufgebohrten Nagels waren die Berichte über die substanzielle Schädigung der Kortikalis durch Beeinträchtigung der enostalen Durchblutung und Hitzeentwicklung während des Aufbohrens.

Einerseits durch die zusätzliche Schädigung des Knochens, andererseits durch den verbleibenden „Totraum“ in einem kanülierten Nagel wurde daraus auch ein er-

Orthopäde 2010 · 39:182–191 DOI 10.1007/s00132-009-1524-5
© Springer-Verlag 2010

R. Attal · M. Blauth

Unaufgebohrte Marknagelung

Zusammenfassung

Die aufgebohrte bzw. unaufgebohrte Marknagelung von Frakturen langer Röhrenknochen war in den letzten Jahrzehnten ein kontroverses und sogar emotionales Thema. Dieser Beitrag gibt einen historischen Überblick über die Entwicklung und beleuchtet den Hintergrund der Notwendigkeit einer unaufgebohrten Nagelung. Weiterhin wird durch die Beschreibung und Zusammenfassung der Resultate der bisher durchgeführten zusammengesetzten randomisierten kontrollierten Studien der aktuelle Wissensstand dargestellt. Vor dem Jahr 2000 empfahlen nahezu sämtliche deutsche Leitfäden der orthopädischen und traumatologischen Chirurgie die unaufgebohrte Marknagelung als „biologischere“ Therapie, die bei geringerer Gefäßschädigung gleich gute oder sogar bessere Ergebnisse erzielt. Insbesondere bei der Behandlung offener Brüche wurde die unaufgebohrte Nagelung befürwortet.

Unreamed intramedullary nailing

Abstract

Reaming and non-reaming of intramedullary nails in long bone fractures was a controversial and even emotional topic in recent decades. This article gives an historical overview of the development in this field and presents the background to the need for unreamed nailing. Furthermore, the current state of knowledge is illustrated by describing the results of a series of randomised controlled trials. Before the year 2000 nearly all German handbooks on orthopaedic and trauma surgery recommended unreamed intramedullary nailing as a more “biological” treatment that causes less harm to vascularity with equal or even better results. Unreamed nailing was in particular advocated for the treatment of open fractures.

Dies hat sich geändert, denn in der Folgezeit haben randomisierte kontrollierte Studien gezeigt, dass die unaufgebohrte Nagelung zu einer höheren Rate an verzögerter oder ausbleibender Knochenheilung führt, während für die genannten Vorteile bezüglich Blutversorgung und Infektionsrate kein Nachweis erbracht werden konnte. Gemäß der evidenzbasierten Medizin sollten isolierte Femur- und Tibiafrakturen aufgebohrt genagelt werden. Bei Vorliegen eines Polytraumas ist es sicherer, Frakturen langer Röhrenknochen mittels Fixateur externe zu stabilisieren, denn sowohl für die aufgebohrte als auch für die unaufgebohrte Nagelung wurden ungünstige Verläufe beschrieben.

Schlüsselwörter

Femurfraktur · Tibiafraktur · Intramedulläre Nagelung · Aufbohren · Unaufgebohrte Nagelung

The tide turned as randomised controlled trials conducted since 2000 gave evidence that unreamed nailing leads to a higher rate of delayed or non-union, while the advantages to blood supply and infection rate could not be proven. According to evidence based medicine isolated femur and tibia fractures should be nailed in a reamed procedure. In a severe multiple injury setting it is safer to stabilize long bone fractures with external fixators, as adverse events are described for reamed and unreamed nailing.

Keywords

Femur fracture · Tibia fracture · Intramedullary nailing · Reaming · Unreamed nailing

Tab. 2 Vor- und Nachteile der unaufgebohrten Marknagelung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Schonung der enostalen Durchblutung - Keine thermische Schädigung der Kortikalis - Geringe Fett- und Mediatoreinschwemmung - Verkürzte Operationszeit - Geringerer Blutverlust 	<ul style="list-style-type: none"> - Intramedulläre Schienung ohne Verklebung - Geringe Eigenstabilität - Erhöhte Rate an verzögerten Heilungen und Pseudoarthrosen - Materialbruch

höhtes Infektionsrisiko bei offenen Frakturen postuliert.

Durch den rezidivierend eingebrachten Bohrer während der Versorgung des Femur wurde auch ein vermehrtes Einschwemmen von Fett und Partikeln aus dem Markraum in die Lunge gezeigt. Besonders für polytraumatisierte Patienten mit bereits eingeschränkter Lungenfunktion und Abwehrlage wurde dieser Umstand mit Fettemboliesyndrom und ARDS („adult respiratory distress syndrome“) und damit mit potenziell tödlichem Ausgang in Zusammenhang gebracht.

Diese Überlegungen führten zur Entwicklung solider Titannägel, die unaufgebohrt eingebracht werden und durch Verriegelungsschrauben im proximalen und distalen Anteil des Nagels gegen Rotation gesichert werden.

Das Prinzip der „minimal-invasiven“ und „biologischen“ Osteosynthese, gepaart mit laufenden Verbesserungen der Verriegelungsoptionen, brachte gute prospektive unkontrollierte und retrospektive Studienergebnisse (EBM-Level 3, 4, 5), sowohl für knöcherne Heilungszeiten, Infektions- und Komplikationsraten als auch für sichere Anwendbarkeit bei höhergradig offenen Frakturformen an Femur und Tibia.

Vor- und Nachteile der unaufgebohrten Technik

Die Technik der unaufgebohrten Marknagelung besteht aus weniger Teilschritten, da der Markraum nicht stufenweise aufgebohrt werden muss. Aus diesem Grund ist der intraoperative Blutverlust geringer und die Operationszeit kürzer. Die Entwicklung von hochgradigen Knochennekrosen durch exzessives Aufbohren und von Knochensequestern mit dem Risiko der Osteomyelitis bleibt aus. Die Schädigung der enostalen Durchblutung fällt signifikant geringer aus, als dies bei der aufgebohrten Technik der Fall ist.

Die intramedulläre Druck- und Hitzeentwicklung ist in unaufgebohrter Technik geringer. Jeder Fremdkörper, der in den Markraum eingebracht wird, wirkt wie ein Stempel. Da in unaufgebohrter Technik nur einmal mit dem Nagel eingegangen wird und nicht rezidivierend zunächst mit Führungsstift, dann mit Bohrer in ansteigenden Größen und schließlich mit einem dicken Implantat, fällt der Grad der Embolisation von Markrauminhalt am Femur geringer aus. Damit ist auch die systemische Belastung des Körpers bei der unaufgebohrten Marknagelung geringer.

Das mechanische Prinzip des unaufgebohrten Verriegelungsnagels ist die intramedulläre Schienung. Es findet keine Verklebung statt. Somit ist die Stabilität des Implantat-Knochen-Konstrukts geringer. Das verwendete Material muss dem natürlichen Durchmesser des Markraums angepasst werden und ist daher oft schwächer. Materialbruch tritt daher signifikant häufiger auf. Eine erhöhte Rate an verzögerten Heilungen und Pseudoarthrosen konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Die Vor- und Nachteile der unaufgebohrten Marknagelung sind in **Tab. 2** gegenübergestellt.

Im folgenden wird der Stand des Wissens bis und ab dem Jahr 2000 dargestellt, da im neuen Jahrhundert Studien nach EBM-Level 1 und 2 (**Tab. 1**) vorliegen, die die vorherigen Ergebnisse relativieren und eindeutige Empfehlungen zulassen.

Stand der Forschung bis zum Jahr 2000

Zahlreiche tierexperimentelle Studien zeigten eine beträchtliche kortikale Durchblutungsstörung durch den Aufbohrvorgang ([13, 22, 24, 37, 44, 45]; Level 6) auch wenn dieser Effekt sich innerhalb von 8 Wochen reversiert und kein nachteiliger Einfluss auf die Kallusformation belegt werden konnte ([42]; Level 6). Be-

reits in den 80er-Jahren wurde daher eine „maßvolle“ Aufbohrung des Markraums empfohlen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde ein beträchtlich erhöhtes Infektionsrisiko in der Versorgung offener Frakturen angenommen, da zum eigentlichen Trauma die Schädigung der Vaskularität hinzukommt und in der Frühphase zu einer weiteren Schwächung der Knochenvitalität führt. Offene Frakturen galten im Allgemeinen als Kontraindikationen für die aufgebohrte Marknagelung ([19, 26]; Level 4 und 5). Wiss et al. berichteten 1995 eine Infektionsrate von 21% bei aufgebohrter Marknagelung offener Tibiafrakturen ([49]; Level 4). Durch die Beeinträchtigung der Knochendurchblutung wurden auch verlängerte Heilungszeiten und die begünstigte Entwicklung von Pseudoarthrosen gemutmaßt.

Es bestand also ein hoher Bedarf für ein Implantat, das unaufgebohrt eingebracht werden kann und auch bei geringerem Durchmesser ausreichend stabil ist, um belastbar zu sein und Verkürzung und Rotation zu verhindern. Durch den Einsatz von Titanimplantaten und verbesserten Verriegelungen konnte dieser Anspruch umgesetzt werden. Es wurde eine geringere Stabilität durch mangelnde Verklebung bewusst in Kauf genommen, um das Risiko einer Infektion zu senken. In folgenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die unaufgebohrte Nagelung nicht nur für offene Frakturen geeignet ist, sondern auch in der Versorgung geschlossener Frakturen gute Ergebnisse erzielt ([18, 27, 38, 40, 41, 46]; Level 3–5). Andererseits zeigte eine der ersten prospektiv randomisierten Studien am Unterschenkel keine Vorteile für die unaufgebohrte Marknagelung, ausgenommen die kürzere Operationszeit. Es wurden mehr verzögerte Heilungen und mehr Schraubenbrüche in unaufgebohrter Einbringung verzeichnet ([4]; Level 2).

Eine prospektiv randomisiert durchgeführte Studie zeigte 1997 gleichwertige Ergebnisse für aufgebohrte und unaufgebohrte Marknagelung bei offenen Unterschenkelfrakturen. Eine höhere Rate an Infektionen in aufgebohrter Technik lag nicht vor ([23]; Level 2).

Clatworthy et al. [10] verglichen 1998 in einer randomisierten prospektiven Studie



Abb. 1 ▲ Fallbeispiel einer isolierten Femurfraktur (AO 32A2) eines 20-jährigen Motorradfahrers. Offene Fraktur Grad II nach Gustilo und Anderson. Sekundärer Transport über 24 h ohne initiale Stabilisierung (a,b). Nach Aufnahme sofortige Operation mit Anlage eines Fixateur externe und Wundrevision mit VAC-Anlage (c,d). Sekundär mit lateralem Femurnagel (LFN) auf 10 mm aufgebohrt versorgt. Nach 9 Monaten zeigt sich eine atrophe Pseudoarthrose. Der Patient ist schmerzfrei und möchte die Revisionsoperation erst nach Abschluss seines Wehrdienstes (e,f)

(Level 1) die Anwendung der neuen Titan-nägel am Oberschenkel in aufgebohrter und unaufgebohrter Weise. Es zeigte sich eine signifikant längere Heilungszeit und eine höhere Rate an Implantatversagen in der unaufgebohrten Gruppe, die zum Abbruch der Studie führte.

Systemische Auswirkungen der Marknagelung

Während am Unterschenkel offene Frakturen das Hauptproblem darstellen, wurden am Femur die postulierten geringeren systemischen Auswirkung der unaufgebohrten Technik ins Treffen gebracht. Dazu zählen die pulmonale Embolisation von Markrauminhalt, temperaturbedingte

Änderungen des Blutgerinnungssystems sowie humorale, nervale und inflammatorische Reaktionen. Dies wurde besonders bei Mehrfachverletzten mit Beteiligung mehrerer Röhrenknochen und Polytraumapatienten mit pulmonalen Verletzungen als besonders relevant angesehen.

Das Auftreten eines posttraumatischen Lungenversagens einschließlich ARDS nach frühzeitiger Femurmarknagelung



Abb. 2 ◀ Fallbeispiel Unterschenkelfraktur AO 42B2. Offene isolierte Fraktur Grad III eines 34-jährigen Skifahrers. Nach Debridement initiale Stabilisierung mit Expert-Tibianagel Stärke 9 ohne Aufbohrung (a, b); postoperative Röntgenbilder (c, d). Ausheilungsbilder nach Metallentfernung: komplikationslose, jedoch verzögerte Heilung der Tibia. Aufgrund einer schmerzhaften Fibulapseudoarthrose erfolgt Segmentresektion der Fibula nach 9 Monaten; Metallentfernung des Marknagels nach knapp 2 Jahren (e, f)

wurde auf den Aufbohrvorgang zurückgeführt. Die Einschwemmung von thrombotischem Material in den Lungenkreislauf nach Aufbohren konnte in mehreren Studien nachgewiesen werden ([35, 48]; Level 4). Zwar führt jedes Einbringen eines Gegenstands (Bohrdraht, Bohrer, Nagel) zu einer Erhöhung des intramedullären Drucks, jedoch wurde das mehrfache Aufbohren als besonders nachteilig angesehen. Auch konnten Kröpfl et al. im experimentellen und klinischen Setting zeigen, dass das Ausmaß der Embolisierung mit dem intramedullären Druck korreliert und bei unaufgebohrter Marknagelung geringer ausfällt ([28, 29]; Level 3 und 6).

Die Ausschwemmung von Markinhalt in die systemische Zirkulation bewirkt eine komplexe Interaktion von immunologischen und mechanischen Abläufen, deren Endstrecke eine Schädigung des Lungengewebes ist. Dies ist als größter Nachteil der aufgebohrten Marknagelung anzusehen.

➤ **Die Ausschwemmung von Markinhalt in die systemische Zirkulation und die resultierende Schädigung des Lungengewebes ist der größte Nachteil der aufgebohrten Marknagelung**

Pape et al. ([34]; Level 6) wiesen nach dem Aufbohrvorgang eine erhöhte Aktivierung der polymorphkernigen Leukozyten und eine vermehrte Fettembolisation in der Lunge im Schafmodell nach. Die Autoren empfehlen daher, im Angesicht von Lungenverletzung und hämodynamischem Schock eine alternative Fixationsmethode zu verwenden. Andererseits fanden Bosse et al. 1997 ([7]; Level 4) und Carlson et al. 1998 ([9]; Level 4) keine Nachteile der Marknagelung gegenüber der Plattenosteosynthese bezüglich des Risikos zur Entwicklung von ARDS, Pneumonie und Mortalität bei Femurfrakturen mit gleichzeitigen Thoraxverletzungen.

In den 90er-Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde die aufgebohrte Marknagelung zumindest im deutschsprachigen Raum zunehmend durch die unaufgebohrte Technik verdrängt. Die Emp-

fehlungen sämtlicher deutschsprachiger Lehrbücher bis ins Jahr 2000 geben aufgrund der angeführten Argumente eindeutig der unaufgebohrten Marknagelung von Femur und Tibia den Vorzug. Die unaufgebohrte Marknagelung wurde als eleganter und schonender betrachtet.

Nach Erscheinen von Metaanalysen und gut durchgeführten prospektiven randomisierten Studien vor allem aus Kanada und den USA nach den Kriterien der „evidence-based medicine“ (EBM) kam es nach 2000 zu einem Einbruch der Präferenz der unaufgebohrten Marknagelung.

Stand der Forschung seit 2000 bis heute

Femur

In einer Metaanalyse der prospektiven randomisierten Studien zu diesem Thema im Jahr 2000 konnten Bhandari et al. ([3]; Level 1) signifikant höhere Raten an Pseudoarthrosen und Implantatversagen für die unaufgebohrte Marknagelung nachweisen. Auch konnte kein erhöhtes Risiko für pulmonale Komplikationen, Kompartmentsyndrom oder Infektion gefunden werden. Bemerkenswert ist dabei, dass von 676 Arbeiten nur 60 Studien eindeutig nachvollziehbare Endpunkte aufwiesen und letztlich nur 4 Arbeiten randomisiert durchgeführt waren [4, 12, 23, 47]. (Level 1 und 2) Auch muss darauf hingewiesen werden, dass keine deutschsprachige Arbeit in diese Analyse eingeflossen ist, da nur englischsprachige Arbeiten untersucht werden konnten. Eine vergleichbare deutschsprachige Analyse liegt nicht vor.

Eine multizentrische randomisierte prospektive Studie der Canadian Orthopedic Trauma Society verglich die Rate an Pseudoarthrosen bei Femurmarknagelung mit und ohne Aufbohren und fand ein 4,5-fach höheres Risiko, wenn nicht aufgebohrt wurde ([8]; Level 1).

Die lange Kontroverse über die unaufgebohrte oder aufgebohrte Einbringung des Nagels am Femur bei isolierten Femurfrakturen scheint aufgrund der vorliegenden Studien zugunsten der aufgebohrten Technik entschieden zu sein (Fallbeispiel 1; ■ **Abb. 1**).



Abb. 3 ▲ Verschiedene Nageldesigns der Fa. Synthes für die Tibia von 1958 bis heute

➤ **Die Kontroverse über die optimale Einbringung des Nagels bei isolierten Femurfrakturen scheint zugunsten der aufgebohrten Technik entschieden**

Systemische Auswirkungen der Marknagelung

Die systemischen biologischen Komplikationen der aufgebohrten Marknagelung vor allem in Bezug auf das respiratorische System wurden in den letzten Jahren intensiv beforscht. Die Pathophysiologie des Lungenschadens scheint multifaktoriell zu sein. Hildebrand et al. ([20]; Level 6) berichteten ihre Ergebnisse zur aufgebohrten Marknagelung im Tiermodell mit Lungenkontusion. Verglichen mit der Anwendung eines Fixateur externe ließen sich eine signifikante Erhöhung der Permeabilität der Lungengefäße sowie signifikant vermehrt die Entwicklung eines Lungenödems und die Aktivierung von Entzündungszellen im Lungengewebe nachweisen.

Tab. 3 Übersicht der prospektiven randomisierten Studien zum Vergleich aufgebohrt/ unaufgebohrte Marknagelung (EBM-Level 1 und 2)

Autoren	Jahr	Lokalisation	n (uag)	n (agb)	Ergebnis			
					Unaufgebohrt		Aufgebohrt	
					Offen	Geschl.	Offen	Geschl.
Keating [23]	1997	Tibia	44	50	+/-	ka	+	ka
Blachut [4]	1997	Tibia	64	77	ka	+/-	ka	+/-
Finkemeier [15]	2000	Tibia			+/-	-	+/-	+
Larsen [33]	2003	Tibia	23	22	-	-	+	+
Bhandari [1]	2008	Tibia	604	622	+/-	-	+/-	+
Tornetta [47]	1997	Femur	42	39	ka	-	ka	+
Clatworthy [10]	1998	Femur	23	22	-	-	+	+
COTS [8]	2003	Femur	106	118	-	-	+	+

uag unaufgebohrt, agb aufgebohrt, + besseres Ergebnis, +/- schlechteres Ergebnis, kein signifikanter Unterschied, - sign. schlechteres Ergebnis, ka keine Angabe

Eine frühere Studie zeigte im Tierrmodell nur eine vorübergehende milde Erhöhung des pulmonalen Gefäßwiderstands ohne nachweisbare Auswirkung auf die Versuchstiere im Schafmodell mit Lungenkontusion ([14]; Level 6).

Andere Autoren haben die Auswirkungen der Marknagelung auf das Immunsystem untersucht und erhöhte Werte an Interleukin (IL)-6, IL-10 und Elastase im Serum bei gleichzeitiger Drosselung der HLA-DR Expression gefunden [43]. Auch eine Veränderung der Blutgerinnung und der fibrinolytischen Mechanismen durch verlängerte Prothrombinzeit, aktivierte partielle Thromboplastinzeit, erhöhtes D-Dimer und Prothrombinfragmente sowie eine Senkung der Fibrinwerte konnten nachgewiesen werden ([39]; Level 6).

Fettemboli treten bei 90% aller Traumapatienten auf, jedoch entwickeln nur 1 bis 5% klinische Zeichen eines Fettemboliesyndroms ([17]; Level 5). Neben den Fällen tödlicher pulmonaler Komplikationen im Rahmen der aufgebohrten Nagelung des Femurs sind auch Fälle beschrieben worden, die trotz unaufgebohrter Einbringung auftraten ([36]; Level 5). Die Entwicklung von pulmonalen Komplikationen im Rahmen von Polytraumen mit Thoraxverletzungen und Femurfrakturen scheint eher von der Schwere der pulmonalen Verletzung abzuhängen als von der Art der Frakturstabilisierung ([6]; Level 3).

Somit ist weder die aufgebohrte noch die unaufgebohrte Marknagelung im Rahmen des schweren Polytraumas frei von

Komplikationen. Das Immunsystem dieser Patienten wurde durch den „first hit“ des Traumas selbst bereits aktiviert, und eine Hyperstimulation durch den Aufbohrvorgang oder die alleinige Einbringung eines Nagels in den Markraum sollte vermieden werden.

Tibia

Im Jahr 2000 publizierten Coles et al. eine Übersichtsarbeit zu den bisher im englischsprachigen Raum durchgeführten prospektiven randomisierten Studien zur Versorgung der geschlossenen Tibiaschaftfraktur ([11]; Level 2). Gipsbehandlung, Plattenosteosynthese und Marknagelung wurden verglichen. 13 Studien mit 895 Frakturen wurden auf die Endpunkte knöcherner Heilung, Fehlstellung und Infektion untersucht. In dieser Untersuchung lag die Rate an verzögerter Heilung und Pseudoarthrose bei aufgebohrter Technik bei 8,0%, in unaufgebohrter Technik jedoch bei 16,7%. Oberflächliche Infekte waren in der aufgebohrten Gruppe mit 2,9% häufiger als in der unaufgebohrten Gruppe (0,5%). Die Rate in der Plattenosteosynthesegruppe lag mit 9% oberflächlichen Infekten deutlich höher. Keine Unterschiede ergaben sich bezüglich tiefer Infekte. Eine endgültige Stellungnahme, welches Verfahren am besten anzuwenden ist, konnte nicht abgegeben werden, da die einzelnen Gruppen zu klein waren.

Die bereits erwähnte Metaanalyse von Bhandari et al. aus dem Jahr 2000 ([3]; Level 1) bezieht sich auch auf die Marknagelung

der Tibia und zeigt signifikante Vorteile für die aufgebohrte Marknagelung bezogen auf Heilung und Implantatversagen.

Finkemeier et al. untersuchten im Jahr 2000 offene und geschlossene Tibiafrakturen in einer prospektiv randomisierten Studie im Hinblick auf aufgebohrte gegen unaufgebohrte Technik ([15]; Level 1). Gustilo-IIIB und -IIIC-Frakturen wurden ausgeschlossen. Bei offenen Frakturen ergaben sich keine Unterschiede für Heilungszeit oder Revisionsoperationen, während die aufgebohrten geschlossenen Frakturen signifikant schneller heilten und weniger Bolzenbrüche zu verzeichnen hatten. Bezüglich Infektion oder Kompartmentsyndrom fanden die Autoren keine Unterschiede, weshalb die Empfehlung gegeben wurde, geschlossene Frakturen der Tibia aufzubohren, da es zu einer schnelleren Heilung ohne zusätzliche Komplikationen kommt. 2001 untersuchten Bhandari et al. [2] das beste Behandlungsverfahren für offene Frakturen des Unterschenkels mittels systematischer Übersicht und Metaanalyse (Level 2). Von 68 Studien erfüllten 8 die Einschlusskriterien für die Untersuchung des Risikos für Reoperation, Heilungsstörung und Pseudoarthrose, Fehlverheilung und Infektion. Es konnte nachgewiesen werden, dass die unaufgebohrte Marknagelung der Behandlung mit Fixateur externe überlegen ist. Dies gilt für oberflächliche Infektionen, Anzahl an Reoperationen und Heilung in Fehlstellung.

Der direkte Vergleich zwischen aufgebohrter und unaufgebohrter Marknagelung bei offenen Frakturen ergab jedoch keine signifikanten Unterschiede. Aufbohren führte jedenfalls nicht zu einer nachweislich besseren Heilung oder zu einer höheren Infektionsrate.

Larsen et al. lieferten 2004 ([33]; Level 1) die nächste prospektiv randomisierte Studie zum Vergleich der beiden Verfahren am Unterschenkel. Sie schlossen offene und geschlossene Frakturen ein. Es wurde eine signifikant längere Heilungszeit bei Behandlung in unaufgebohrter Technik gefunden. Außerdem wurde eine Tendenz zu mehr Achsenabweichungen und Folgeoperationen konstatiert.

Foster et al. ([16]; Level 1) stellten im Jahr 2005 in einer weiteren systemati-

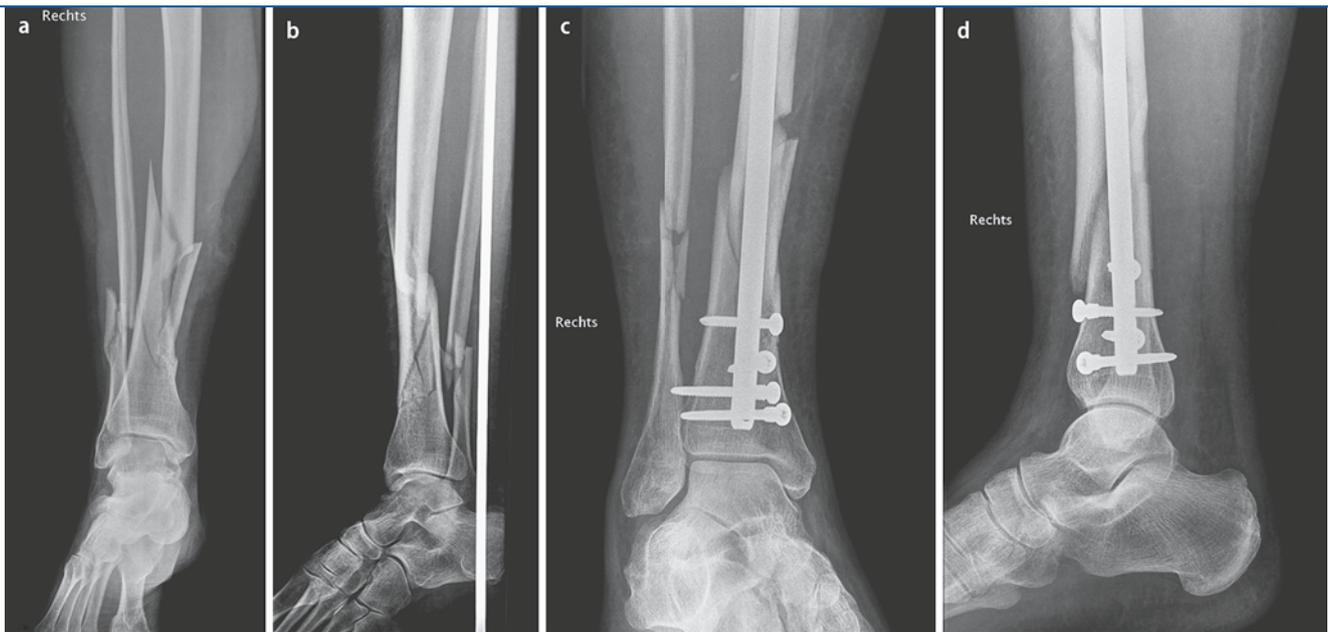


Abb. 4 ▲ Fallbeispiel einer distalen Unterschenkelfraktur (AO 42C3). 60 Jahre alte Skifahrerin mit inzipientem Kompartmentsyndrom. Entscheidung zur unaufgebohrten Versorgung mit Expert-Tibianagel und winkelstabiler Verriegelung (ASLS) bei bekannter Osteoporose und kurzem distalen Fragment. **a,b** Unfallbilder ap und seitlich; **c,d** Versorgungsbilder mit 3 ASLS-Schrauben und einer proximalen konventionellen Schraube. Die Fibula wurde nicht verplattet

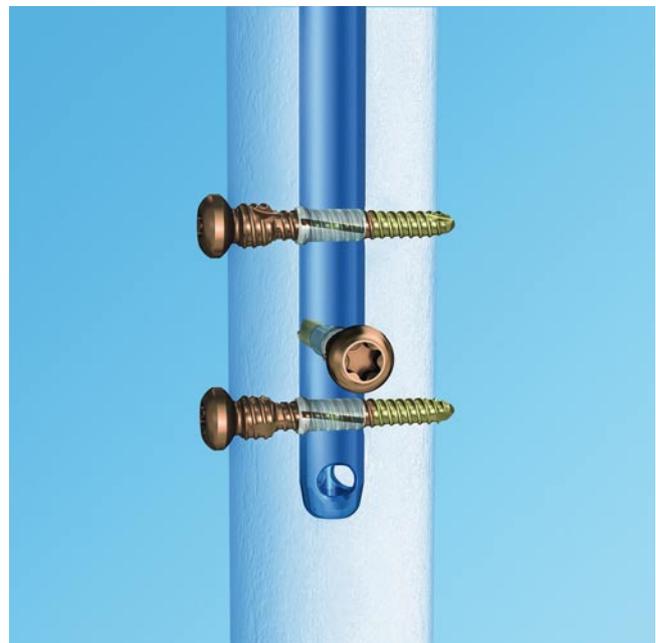
schen Übersicht erneut ein höheres Risiko für Pseudoarthrose und Bolzenbruch fest. Allerdings wurde den Autoren vorgeworfen, sie hätten im Grunde die gleichen Studien bearbeitet wie auch Bhandari et al. im Jahr 2000, nur hätten sie sich rein auf die Tibia bezogen.

Diese Studie war jedoch Wegbereiter für eine große multizentrische verblindete randomisierte Studie zum Vergleich der aufgebohrten gegen die unaufgebohrte Marknagelung am Tibiaschaft, die 2008 von Bhandari et al. ([1]; Level 1) publiziert wurde. 29 Kliniken in Kanada, den USA und den Niederlanden nahmen teil. Alle bisherigen Studien zeigten methodische Schwächen, die die Aussagekraft limitierten und hatten eine zu geringe Zahl an Patienten. In diese Studie wurden 1319 Patienten eingeschlossen; 622 wurden randomisiert aufgebohrt und 604 randomisiert unaufgebohrt versorgt.

Die Ergebnisse fallen weniger eindeutig aus als am Femur. Jedoch überwiegen die Vorteile der aufgebohrten Marknagelung bei geschlossenen Frakturen, während für offene Unterschenkelfrakturen kein Unterschied gefunden werden konnte (Fallbeispiel 2; **Abb. 2**).

■ **Tab. 3** gibt einen Überblick der Ergebnisse der randomisiert prospektiven Studien zum Vergleich der aufgebohrten gegen die unaufgebohrte Marknagelung

Abb. 5 ► Angular Stable Locking System (ASLS): winkelstabile Verriegelung für alle durchbohrten Nägel. (Mit freundlicher Genehmigung der Synthes GmbH, Obersdorf, Schweiz)



an Tibia und Femur. In **Abb. 3** sind die verschiedenen von der Firma Synthes im Zeitraum von 1958 bis heute entwickelten Nageldesigns für die Tibia dargestellt.

Neue Entwicklungen und Ausblicke

Um die Nachteile der geringeren Stabilität der unaufgebohrten Marknagelung zu kompensieren, wurde das Angular Stable

Locking System (ASLS; Fa. Synthes) entwickelt (**Abb. 4** u. **Abb. 5**). Die Verriegelungsschrauben werden mit Hülsen aus bioresorbierbarem Polylactid versehen, die sich in gebohrten Nägeln analog zu Dübeln ausdehnen und verspannen (Fallbeispiel 3; **Abb. 4**). Es ergibt sich daraus das neue Osteosyntheseprinzip des „intramedullären Fixators“. Es handelt sich um eine Synthese zwischen der „minimal-invasiven“ intramedullären

Marknagelung und der winkelstabilen Fixation der winkelstabilen Platte („Fixateur interne“). Eine signifikant erhöhte Stabilität im Vergleich zur konventionellen Verriegelung konnte in einer biomechanischen Studie bereits nachgewiesen werden ([21]; Level 6).

Ob sich die erhöhte Stabilität auch in einer geringeren Rate an Pseudoarthrosen und verzögerten Heilungen niederschlägt, wird sich in laufenden klinischen randomisierten prospektiven Studien zeigen.

Fazit für die Praxis

Aufgrund der Studienlage muss heute der aufgebohrten Marknagelung an Femur und Tibia der Vorzug gegeben werden. In jedem Fall gilt dies für die isolierte Femurfraktur und die geschlossene Tibiafraktur. Die unaufgebohrte Marknagelung der höhergradigen offenen Unterschenkelfraktur erbringt jedoch gleichwertige Ergebnisse bei kürzerer Operationsdauer und geringerem Blutverlust. Die postulierten Vorteile der unaufgebohrten Marknagelung konnten nicht bestätigt werden.

Zur Versorgung von Femurfrakturen im Rahmen des Polytraumas gibt es zurzeit widersprüchliche Ergebnisse. Es konnte jedenfalls gezeigt werden, dass auch die unaufgebohrte Marknagelung nicht frei von systemischen Auswirkungen und Komplikationen ist. Das derzeit sicheres Vorgehen bei schwerem Polytrauma mit pulmonaler Verletzung ist die initiale Stabilisierung einer Femurfraktur mittels Fixateur externe und der spätere Verfahrenswechsel zur Marknagelung.

Korrespondenzadresse

Dr. R. Attal

Universitätsklinik für Unfallchirurgie und Sporttraumatologie
Medizinische Universität Innsbruck
Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck
Österreich
rene.attal@uki.at

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehungen hin: Die Autoren sind als Referenten für die Fa. Synthes tätig.

Literatur

- Bhandari M, Guyatt G, Tornetta P 3rd et al (2008) Randomized trial of reamed and unreamed intramedullary nailing of tibial shaft fractures. *J Bone Joint Surg Am* 90:2567–2578
- Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF et al (2001) Treatment of open fractures of the shaft of the tibia. *J Bone Joint Surg Br* 83:62–68
- Bhandari M, Guyatt GH, Tong D et al (2000) Reamed versus nonreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: a systematic overview and meta-analysis. *J Orthop Trauma* 14:2–9
- Blachut PA, O'Brien PJ, Meek RN et al (1997) Interlocking intramedullary nailing with and without reaming for the treatment of closed fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 79:640–646
- Böhler L (1963) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Wilhelm Maudrich, Wien
- Bone LB, Anders MJ, Rohrbacher BJ (1998) Treatment of femoral fractures in the multiply injured patient with thoracic injury. *Clin Orthop Relat Res* 347:57–61
- Bosse MJ, Mackenzie EJ, Riemer BL et al (1997) Adult respiratory distress syndrome, pneumonia, and mortality following thoracic injury and a femoral fracture treated either with intramedullary nailing with reaming or with a plate. A comparative study. *J Bone Joint Surg Am* 79:799–809
- Canadian Orthopaedic Trauma Society (2003) Nonunion following intramedullary nailing of the femur with and without reaming. Results of a multicenter randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 85-A:2093–2096
- Carlson DW, Rodman GH Jr, Kaehr D et al (1998) Femur fractures in chest-injured patients: is reaming contraindicated? *J Orthop Trauma* 12:164–168
- Clatworthy MG, Clark DI, Gray DH et al (1998) Reamed versus unreamed femoral nails. A randomized, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br* 80:485–489
- Coles CP, Gross M (2000) Closed tibial shaft fractures: management and treatment complications. A review of the prospective literature. *Can J Surg* 43:256–262
- Court-Brown CM, Will E, Christie J et al (1996) Reamed or unreamed nailing for closed tibial fractures. A prospective study in Tscherne C1 fractures. *J Bone Joint Surg Br* 78:580–583
- Danckwardt-Lilliestrom G, Lorenzi L, Olerud S (1970) Intracortical circulation after intramedullary reaming with reduction of pressure in the medullary cavity. *J Bone Joint Surg Am* 52:1390–1394
- Duwelius PJ, Huckfeldt R, Mullins RJ et al (1997) The effects of femoral intramedullary reaming on pulmonary function in a sheep lung model. *J Bone Joint Surg Am* 79:194–202
- Finkemeier CG, Schmidt AH, Kyle RF et al (2000) A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft. *J Orthop Trauma* 14:187–193
- Forster MC, Bruce AS, Aster AS (2005) Should the tibia be reamed when nailing? *Injury* 36:439–444
- Giannoudis PV, Tzioupis C, Pape HC (2006) Fat embolism: the reaming controversy. *Injury* 37(Suppl 4):S50–S58
- Gregory P, Sanders R (1995) The treatment of closed, unstable tibial shaft fractures with unreamed interlocking nails. *Clin Orthop Relat Res* 315:48–55
- Gustilo RB, Merkow RI, Templeman D (1990) The management of open fractures. *J Bone Joint Surg Am* 72:299–304
- Hildebrand F, Giannoudis P, Van Griensven M et al (2005) Secondary effects of femoral instrumentation on pulmonary physiology in a standardised sheep model: what is the effect of lung contusion and reaming? *Injury* 36:544–555
- Horn J, Linke B, Höntzsch D et al (2009) Angle stable interlocking screws improve construct stability of intramedullary nailing of distal tibia fractures: a biomechanical study. *Injury* 40:767–771
- Hupel TM, Aksenov SA, Schemitsch EH (1998) Effect of limited and standard reaming on cortical bone blood flow and early strength of union following segmental fracture. *J Orthop Trauma* 12:400–406
- Keating JF, O'Brien PJ, Blachut PA et al (1997) Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 79:334–341
- Klein MP, Rahn BA, Frigg R et al (1990) Reaming versus non-reaming in medullary nailing: interference with cortical circulation of the canine tibia. *Arch Orthop Trauma Surg* 109:314–316
- Klemm K, Schellmann WD (1972) Dynamic and static locking of the intramedullary nail. *Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed* 75:568–575
- Klemm KW, Borner M (1986) Interlocking nailing of complex fractures of the femur and tibia. *Clin Orthop Relat Res* 212:89–100
- Krettek C, Schandelmaier P, Tscherne H (1995) Nonreamed interlocking nailing of closed tibial fractures with severe soft tissue injury. *Clin Orthop Relat Res* 315:34–47
- Kropfl A, Berger U, Neureiter H et al (1997) Intramedullary pressure and bone marrow fat intravasation in unreamed femoral nailing. *J Trauma* 42:946–954
- Kropfl A, Davies J, Berger U et al (1999) Intramedullary pressure and bone marrow fat extravasation in reamed and unreamed femoral nailing. *J Orthop Res* 17:261–268
- Küntschner G (1940) Marknagelung von Knochenbrüchen. *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir* 200:443–449
- Küntschner G (1962) Praxis der Marknagelung. Schattauer, Stuttgart
- Küntschner G (1959) The technic of enlargement of medullary cavity. *Chirurg* 30:28–35
- Larsen LB, Madsen JE, Hoiness PR et al (2004) Should insertion of intramedullary nails for tibial fractures be with or without reaming? A prospective, randomized study with 3.8 years' follow-up. *J Orthop Trauma* 18:144–149
- Pape HC, Dwenger A, Regel G et al (1992) Pulmonary damage after intramedullary femoral nailing in traumatized sheep—is there an effect from different nailing methods? *J Trauma* 33:574–581
- Pape HC, Krettek C, Maschek H et al (1996) Fatal pulmonary embolization after reaming of the femoral medullary cavity in sclerosing osteomyelitis: a case report. *J Orthop Trauma* 10:429–432
- Prosst RL, Majetschak M (2005) ARDS after unreamed femoral nailing. *Unfallchirurg* 108:332–336
- Rhineland FW (1974) Tibial blood supply in relation to fracture healing. *Clin Orthop Relat Res* 105:34–81

38. Riemer BL, Dichristina DG, Cooper A et al (1995) Nonreamed nailing of tibial diaphyseal fractures in blunt polytrauma patients. *J Orthop Trauma* 9:66–75
39. Robinson CM, Ludlam CA, Ray DC et al (2001) The coagulative and cardiorespiratory responses to reamed intramedullary nailing of isolated fractures. *J Bone Joint Surg Br* 83:963–973
40. Runkel M, Wenda K, Degreif J et al (1996) Results of primary unreamed tibial nailing of tibial fractures with severe open or closed soft tissue injuries. *Unfallchirurg* 99:771–777
41. Schandelmaier P, Krettek C, Rudolf J et al (1995) Outcome of tibial shaft fractures with severe soft tissue injury treated by unreamed nailing versus external fixation. *J Trauma* 39:707–711
42. Schemitsch EH, Turchin PV, Kowalski MJ et al (1998) Quantitative assessment of bone injury and repair after reamed and unreamed locked intramedullary nailing. *J Trauma* 45:250–255
43. Smith RM, Giannoudis PV, Bellamy MC et al (2000) Interleukin-10 release and monocyte human leukocyte antigen-DR expression during femoral nailing. *Clin Orthop Relat Res* 373:233–240
44. Sturmer KM, Schuchardt W (1980) New aspects of closed intramedullary nailing and marrow cavity reaming in animal experiments. II. Intramedullary pressure in marrow cavity reaming (author's transl). *Unfallheilkunde* 83:346–352
45. Sturmer KM, Schuchardt W (1980) New aspects of closed intramedullary nailing and marrow cavity reaming in animal experiments. III. Bone-healing, revascularisation and remodelling (author's transl). *Unfallheilkunde* 83:433–435
46. Tornetta P 3rd, Bergman M, Watnik N et al (1994) Treatment of grade-IIIb open tibial fractures. A prospective randomised comparison of external fixation and non-reamed locked nailing. *J Bone Joint Surg Br* 76:13–19
47. Tornetta P 3rd, Tiburzi D (1997) The treatment of femoral shaft fractures using intramedullary interlocked nails with and without intramedullary reaming: a preliminary report. *J Orthop Trauma* 11:89–92
48. Wenda K, Ritter G, Degreif J et al (1988) Pathogenesis of pulmonary complications following intramedullary nailing osteosyntheses. *Unfallchirurg* 91:432–435
49. Wiss DA, Stetson WB (1995) Unstable fractures of the tibia treated with a reamed intramedullary interlocking nail. *Clin Orthop Relat Res* 315:56–63

Europas gesammelter Wissensstand

ExMEx Forum 26. bis 28. März 2010 in Berlin über minimalinvasive orthopädische Therapie

Im kommenden Frühjahr ist Berlin für orthopädische und Unfallchirurgen ganz sicher eine Reise wert: Von 26.–28. März 2010 findet hier das EFORT-ExMEx (Experts meet Experts) zum Thema minimal-invasive Hüft- und Kniegelenkoperationen statt.

„Die ExMEx-Treffen bilden innerhalb der fortgeschrittenen Trainingsprogramme der EFORT das höchste und anspruchsvollste Niveau“, erläutert Prof. Dr. Fritz Uwe Niethard, Direktor der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Aachen. „Erfahrene Orthopäden und Traumatologen erhalten hier ein Podium zum Austausch von Wissen und zur durchaus auch kontroversen Diskussion ihrer Erfahrungen. Auf diese Weise wird das Wissen ganz Europas, das in unterschiedlichsten Ländern und Gesundheitssystemen angesammelt wurde, gleichsam gegeneinander abgeglichen. Wenn wir auseinandergehen, wird jeder den aktuellsten Stand aller Regionen kennen. Es werden sich best practice-Modelle herauskristallisieren und es wird sich auch zeigen, welcher von möglicherweise sehr unterschiedlichen Lösungsansätzen für welches Gesundheitssystem der effizienteste ist.“

Tatsächlich hat sich die minimalinvasive Hüft- und Kniegelenkschirurgie aus untersuchenswerten Gründen in manchen Bereichen etabliert und in anderen nicht. „Unklarheiten bestehen nicht nur in der medizinischen Indikation, sondern auch in Bezug auf die ökonomischen Rahmenbedingungen, sodass Navigation und Robotik innerhalb der EU sehr unterschiedlich weit implementiert sind“, so Prof. Niethard. „Es ist von großem Wert zu erfahren, wie anderswo darüber gedacht und damit umgegangen wird. Sowohl medizinisch als auch ökonomisch, wenn es etwa um die Frage geht, ob die Anschaffung kostspieliger Navigationstechnologie vernünftig ist, bzw. welche Modifikationen sie allenfalls kommerziell tragbar machen würde.“

Dass für dieses ExMEx gerade nach Berlin geladen wird, ist der Tribut an eines der spannendsten Projekte zum Themenkreis Navigation, das unter dem Kürzel „orthoMIT – Der

orthopädische Operationssaal der Zukunft“ unter der Leitung von Prof. Niethard an mehreren deutschen Universitäten erarbeitet wird: „Das Akronym steht für ‚minimal-invasive Orthopädische Therapie‘, und ist ein Verbundvorhaben der deutschen Forschungsförderung mit dem konkreten Ziel eine integrierte Plattform für die schonende interventionelle Therapie zu entwickeln. Flexible Module für Hüft-, Knie- und Wirbelsäulenchirurgie sollen es ermöglichen, die therapeutische Vorgehensweise der individuellen Situation anzupassen.“

Zu Beginn des ExMEx-Meetings werden die bisherigen Ergebnisse von orthoMIT in drei Untergruppen vorgestellt werden:

- Smart Intraoperative Imaging
- Smart Knee and Hip Surgery
- Smart Integration

„Die Überschrift darüber könnte lauten, Optimierung durch Integration“, so Prof. Niethard. „Dabei geht es nicht nur um einen hochmodernen OP-Tisch selbst, sondern auch um alle Prozessabläufe darum herum, auch vor dem Operationssaal. Technisch ist eine der größten Herausforderungen – und damit auch einer der größten zu erwartenden Fortschritte – die Schaffung einer einheitlichen Schnittstellenkultur. Bisher haben sich etwa Apparaturen für Knieendoprothetik mit denen für Hüftendoprothetik nicht vertragen; die Anschlüsse und Formate von Bildgebungsgeräten waren nicht kompatibel und vieles mehr. Deshalb sind wir gemeinsam mit der technischen Industrie in der Schaffung einer gemeinsamen Basis bereits weit fortgeschritten – ein Thema, das als allererstes vom Tisch muss, wenn weitere technische Fortschritte auf ökonomisch tragbare Weise integriert werden sollen.“

Das Berliner ExMEx-Treffen könnte daher nicht nur die Anwender im OP-Saal anziehen, sondern durchaus auch den einen oder anderen budgetverantwortlichen Spitalmanager. Letztere werden erfahren können, wann integrierte und daher kostensynergetische Navigationssysteme einsatzbereit sein werden. „Die könnten die Schwelle, ab der sich der neueste, patientenschonende Stand orthopädischer Chirurgie auch ökonomisch rechnet, deutlich senken“, wie Prof. Niethard betont.

Quelle: EFORT