

Die Verriegelungsnagelung von Unterarmfrakturen mit dem ForeSight™-Ulna/Radius-Nagel

Interlocking Nailing of Forearm Fractures with the ForeSight™ Ulna/Radius Nail

Christoph Weißer, Arnulf Weckbach¹

Zusammenfassung Operationsziel

Übungsstabile Osteosynthese von Ulna und/oder Radius mit einem soliden, durch Schrauben proximal und distal verriegelten Marknagel in grundsätzlich aufgebohrter Technik.

Indikationen

Geschlossene und offene Frakturen des zweiten bis vierten Schaftsechstels des Radius und des zweiten bis fünften Schaftsechstels der Ulna einschließlich Refrakturen nach Plattenosteosynthese.

Verfahrenswechsel nach primärem Einsatz des Fixateur externe.

Pathologische Frakturen.

Kontraindikationen

Akute und chronische Osteomyelitis der Unterarmknochen.

Offene Wachstumsfugen.

Allergie gegen Implantatstahl.

Operationstechnik

Anatomiegerechtes individuelles Vorbiegen des Nagels. Zugang Ulna: Olekranonspitze. Zugang Radius: unmittelbar radial des Tuberculum dorsale durch das zweite Strecksehnenfach. Eröffnen des Markraums und Erweiterung des Markraumzugangs. Auffräsen der Markhöhle mit Handfräsen. Möglichst geschlossene Reposition. Einbringen des Nagels mit aufgesetzter Bohrführung möglichst ohne Hammer. Verriegelung an der Nagelbasis über die Bohrführung, an der Nagelspitze in Freihandtechnik.

Weiterbehandlung

Keine zusätzliche Ruhigstellung erforderlich. Sofortiger Beginn mit aktiven und passiven Bewegungs- und Kräftigungsübungen unter Einschluss der Unterarmumwendung. Röntgenkontrollen postoperativ, nach 6, 12 und 18 Wochen. Implantatentfernung frühestens nach 18 Monaten.

Abstract Objective

Stable osteosynthesis of ulna and/or radius with a solid intramedullary nail, always inserted after reaming and locked proximally and distally by screws.

Indications

Closed and open fractures of the second to the fourth sixth of the radius and the second to the fifth sixth of the ulna.

Refractures after plate osteosynthesis.

Continuation of treatment after primary stabilization by an external fixator.

Pathologic fractures.

Contraindications

Acute and chronic osteomyelitis of the forearm bones.

Open growth plates.

Steel allergy.

Surgical Technique

Prebending of nail to adapt to shape of bones. Ulnar approach through the tip of the olecranon. Radial approach directly radial to Lister's tubercle through the second extensor tendon compartment. Opening of the medullary cavity and manual reaming of the medullary cavity. Closed reduction, if possible. Insertion of the nail without hammering, if possible. Locking at base of nail with the help of an aiming device and at nail tip by freehand technique.

Results

In a prospective study, 40 ForeSight™ nails have been implanted between June 1997 and December 2000 in 33 forearms of 32 patients (16–84 years). The radius alone was nailed in ten, the ulna alone in 16, and both bones in seven forearms. 31 fractures were fresh (including one refracture

Operat Orthop Traumatol 2003;15:151–69

DOI 10.1007/s00064-003-1069-4

¹Unfall- und Wiederherstellende Chirurgie, Chirurgische Universitätsklinik, Würzburg.

Ergebnisse

Im Rahmen einer prospektiven Studie wurden von Juni 1997 bis Dezember 2000 40 ForeSight™-Nägel bei 33 Unterarmen von 32 Patienten (16–84 Jahre) implantiert. Bei zehn Unterarmen wurde nur der Radius, bei 16 lediglich die Ulna und bei sieben beide Unterarmknochen genagelt. Bei 31 Unterarmen handelte es sich um frische Frakturen (darunter eine Refraktur nach Plattenentfernung), bei je einem um die Korrektur einer in Fehlstellung heilenden Radiusfraktur sowie um eine pathologische Fraktur. Derzeit sind 28 Frakturen an 24 Unterarmen verheilt. An Komplikationen traten bisher eine Pseudarthrose, zwei verzögerte Bruchheilungen, ein vollständiger und ein unvollständiger Brückenkallus, jedoch keine Infektion auf. Nach 13 Materialentfernungen wurde bisher keine Refraktur beobachtet. Die klinischen Ergebnisse sind mit einem mittleren DASH-Score von 11,3 und einer überwiegend guten und sehr guten Funktion ermutigend.

Schlüsselwörter

Verriegelungsnagelung · Radius · Ulna · Unterarm

Vorbemerkungen

Im Gegensatz zu Frakturen der langen Röhrenknochen Humerus, Femur und Tibia wurde das überlegene biomechanische Prinzip der Verriegelungsnagelung bei der Versorgung von Unterarmfrakturen bisher nicht angewendet. Die Gründe dafür liegen in den anatomischen Besonderheiten der Unterarmknochen mit ihrer komplexen Wechselwirkung, der mangelnden Stabilität der alleinigen intramedullären Schienung durch Metallstifte (z.B. Rush-Pins), die keine Sicherung gegenüber Torsionskräften gewährleisten, und den guten Ergebnissen, die mit der als Standard geltenden Plattenosteosynthese zu erzielen sind. Die Bündelnagelung ist mit ihrer elastischen Verklammerung in der Markhöhle bei eingeschränktem Indikationsspektrum als einziges intramedulläres Implantat in geübten Händen in der Lage, gute Ergebnisse zu erzielen [7]. Der Anfang der 90er Jahre eingeführte „True Flex“-Nagel mit sternförmigem Querschnitt zur Erzielung einer besseren Torsionsfestigkeit hat sich in der Praxis noch nicht ausreichend bewährt [8, 9]. Der von Lefèvre (Straßburg) 1990 beschriebene Verriegelungsnagel, der sich durch einen voluminösen Bügel an seinem Ende auszeichnet, eignet sich nur für die Ulna [3].

Nachteile der Plattenosteosynthese sind u.a. Narbenbildung, der besonders am proximalen Radius

after plate removal). One malunited radial fracture had to be corrected, and one fracture was pathologic. At present, 28 fractures in 24 forearms have consolidated. Complications occurred in form of one pseudarthrosis, two delayed unions, one complete and one incomplete synostosis, but no infection. After 13 implant removals, we did not observe any refracture. The clinical results, with a mean DASH score of 11.3, corresponding to good and excellent function, are encouraging.

Key Words

Ulna and radius fracture · Interlocking nailing · ForeSight™ nail

Introductory Remarks

Contrary to fractures of long bones such as humerus, femur and tibia, interlocking nailing of forearm fractures has not been used in the past in spite of its biomechanical advantages. Anatomic peculiarities of the forearm bones and their complex interaction, the inadequate torsional stability of simple intramedullary rodding such as Rush pins, as well as the good results obtained with internal plate fixation may be reasons for the absent interest in interlocking nailing. Elastic bundle nailing allows a wedging in the medullary cavity and leads to good results in the hand of experienced surgeons, although the spectrum of indications is limited [7]. The True Flex nail introduced in the early 90s is characterized by an improved torsional stability thanks to its star-shaped cross section; however, clinical results are still outstanding [8, 9]. In 1990, Lefèvre introduced a locking nail that has a large handle at its proximal end, limiting its use to the ulna [3].

The disadvantages of internal fixation with plates include scar formation, an approach to the proximal radius known for its complications, the repeatedly described refracture rate after plate removal varying between 4.3% and 22% [1–3, 5, 6, 10, 13, 14], as well as an incidence of nonunion between 1.5% and 10.3% [5, 11].

komplikationsträchtige Zugang, die häufig beschriebene hohe Refrakturrate von 4,3–22% nach Plattenentfernung [1–3, 5, 6, 10, 13, 14] sowie eine Pseudarthrose rate von 1,5–10,3% [5, 11].

Die Wiederlangung einer unbeeinträchtigten Umwendbewegung erfordert eine exakte Wiederherstellung der Geometrie des Unterarms hinsichtlich Rotation, Länge, Angulation und Radiusbogen [11, 12, 15–18]. Diese Anforderungen können in idealer Weise durch die Plattenosteosynthese [15], inzwischen aber auch durch den ForeSight™-Nagel erreicht werden, der den anatomischen Krümmungsverhältnissen individuell angepasst wird.

Der ForeSight™-Ulna/Radius-Nagel besteht aus rostfreiem Implantatstahl (ISO 5832/1), hat einen Durchmesser von 4 oder 5 mm und ist in Längen von 20, 22, 24 und 26 cm verfügbar. Die „Nagelbasis“ ist zur Aufnahme der Bohrführung, die mit einem Verbindungsbolzen rotationssicher festgeschraubt wird, über 2 cm Länge auf einen Durchmesser von 6 mm verdickt; die „Nagelspitze“ verjüngt sich über eine Strecke von 1 cm konisch und weist vier längs verlaufende Riefen auf, die der zusätzlichen Rotationssicherung dienen. Zur Verriegelung ist an der Basis eine Bohrung von 2,7 mm Durchmesser angebracht; hier erfolgt die Verriegelung durch eine 2,7-mm-Schraube mit durchgehendem Gewinde; an der Spitze finden sich zwei senkrecht aufeinander stehende Bohrungen von 1,9 mm Durchmesser, die durch eine Schraube mit 1,9 mm Kerndurchmesser und unikortikalem 2,7-mm-Gewinde verriegelt werden. Präoperativ muss der Nagel durch Vorbiegen an die individuelle Knochenform angepasst werden.

Restoration of a complete range of pro- and supination requires an exact reconstruction of the geometry (rotation, length, angulation, and radial bow) of the forearm bones [11, 12, 15–18]. These requirements are ideally met by a plate fixation [15], but also by the ForeSight™ nail that can be adapted to the anatomy of the bone.

The ForeSight™ nail is made from stainless steel (ISO 5832/1), has a diameter of 4 or 5 mm and a length of 20, 22, 24, or 26 cm. The driving end of the nail (base) is mounted on a drill guide for insertion of locking screw. A connecting bolt inserted between both prevents any rotation. The base of the nail has a diameter of 6 mm over a distance of 2 cm. The tip of the nail is reduced conically over a distance of 1 cm and has four longitudinal ridges that assure additional rotational stability. For locking, at the base a 2.5-mm hole is present for insertion of a 2.7-mm fully threaded, self-tapping screw. At the tip of the nail two 1.9-mm holes perpendicular to each other are made for insertion of a screw having a 1.9-mm core diameter and a unicortical 2.7-mm thread for locking. Preoperatively, the nail has to be adapted to the individual shape of the bone by prebending.

Operationsprinzip und -ziel

Übungsstabile Osteosynthese von offenen und geschlossenen Frakturen des zweiten bis fünften Schaftsechstels der Ulna und/oder des zweiten bis vierten Schaftsechstels des Radius mit einem soliden, durch jeweils eine Schraube proximal und distal verriegelten Marknagel in grundsätzlich aufgebogener Technik nach geschlossener oder offener Reposition. Die Ulna wird von proximal, der Radius von distal genagelt. Rasche Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des verletzten Unterarms. Sichere knöcherne Durchbauung.

Surgical Principles and Objective

Internal fixation of open and closed fractures between the second and fifth sixth of the ulna and /or between the second and fourth sixth of the radius with a solid nail allowing sufficient stability for exercises. After closed or open reduction and obligatory reaming, fixation is achieved with an intramedullary nail, locked proximally and distally with one screw each. Approach to the ulna for nail insertion from proximal and to the radius from distal. Speedy restoration of function. Reliable bony union.

Vorteile

- Anatomische Rekonstruktion der Unterarmknochen durch individuelle Anpassung der ForeSight™-Nägel in idealer Weise möglich.
- Ausreichende Stabilität gegen Torsion, Distraction und Verkürzung durch klassische Verriegelungstechnik mit zwei quer durch beide Kortikales und den Nagel eingebrachte Schrauben.
- Keine Denudierung der Fragmente und keine Eröffnung des Frakturhämatoms durch minimal invasive Technik, sofern die geschlossene Reposition gelingt.
- Übungsstabile Versorgung.
- Nageltypische Frakturheilung mit reduziertem Refrakturrisiko nach Implantatentfernung.

Nachteile

- Operationstechnisch aufwendiges, filigranes Verfahren.
- Verhältnismäßig flache Lernkurve; dadurch anfangs verlängerte Operations- und Durchleuchtungszeiten.
- Bei sehr kleinen Patienten ist eine Nagelung nicht möglich, da der kürzeste verfügbare Nagel für kurze Unterarme zu lang ist.

Indikationen

- Geschlossene oder offene Frakturen jedweden Typs im zweiten bis vierten Schaftsechstel des Radius und/oder im zweiten bis fünften Schaftsechstel der Ulna (Abbildung 1) einschließlich Refrakturen. Pathologische Frakturen in diesem Bereich.
- Alle Altersgruppen nach Schluss der Epiphysenfugen.
- Denkbare Indikationen sind auch Radiushalsfrakturen, bei denen der abgekippte Radiuskopf durch die Nagelspitze angehoben und gestützt werden kann.

Kontraindikationen

- Osteitis.
- Offene Wachstumsfugen.
- Allergie gegen Implantatstahl.
- Frakturen mit längs gerichteten Frakturausläufern im distalen Radiuschaft bis in die Radiusmetaphyse hinein, da hier die Hebelkräfte beim Einbringen des Nagels zu verstärkter Dislokation führen.

Patientenaufklärung

- Alternative Behandlungsverfahren (konservative Therapie bei alleiniger Ulnafraktur, Plattenosteosynthese).

Advantages

- Anatomic reconstruction of the forearm bones in an optimal position thanks to the ForeSight™ nail's adaptation to the individual shape.
- Adequate resistance to torsion, distraction, and shortening through classic locking technique using two bicortical screws inserted through the nail.
- No periosteal stripping and no opening of hematoma through minimally invasive technique, on the condition that closed reduction is successful.
- Fixation sufficiently stable for exercises.
- Fracture healing typical of intramedullary rodding with a reduced risk of refracture after implant removal.

Disadvantages

- Technique requires meticulous surgical skills.
- Relatively long learning curve prolonging initially the operating time and exposure to radiation.
- Small stature precludes use of this nail, as the shortest available nail is too long for short forearm bones.

Indications

- Closed and open fractures of the second to the fourth sixth of the radius shaft and/or the second to the fifth sixth of the ulna shaft (Figure 1).
- Refractures after plate osteosynthesis.
- Pathologic fractures.

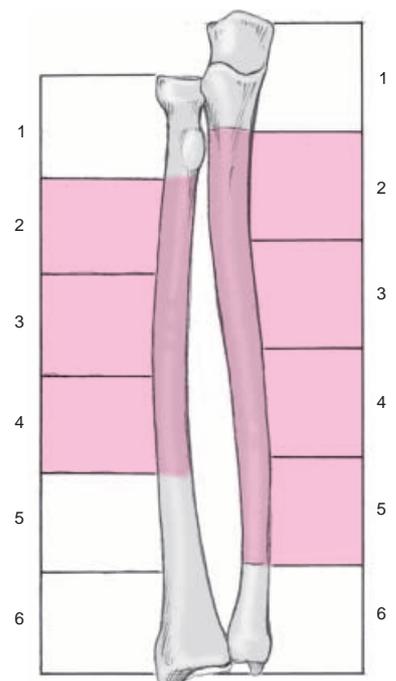


Abbildung 1
Nagelbarer Bereich von Radius und Ulna: zweites bis viertes Radiusechstel, zweites bis fünftes Ulnasechstel.

Figure 1
Closed or open fractures between the second and fourth sixth of the radius and second to fifth sixth of ulna can be treated with the nail.

- Allgemeine Operationsrisiken.
- Weichteil- und Knocheninfektionen.
- Nervenläsionen (Nervus ulnaris, Nervus interosseus dorsalis, Ramus superficialis nervi radialis).
- Läsion der Sehnen der Musculi extensores carpi radialis longus et brevis sowie des Musculus extensor pollicis longus.
- Bildung eines Brückenkallus zwischen Radius und Ulna mit dadurch bedingter Blockade der Umwendbewegung des Unterarms.
- Störung der Knochenheilung; Korrekturingriff bei Komplikationen.
- Zweiteingriff zur Implantatentfernung.

Operationsvorbereitung

- Röntgenaufnahmen des verletzten Unterarms mit angrenzenden Gelenken in zwei Ebenen.
- Röntgenaufnahmen des unverletzten Unterarms mit angrenzenden Gelenken in den zwei Standardebenen mit einem Film-Fokus-Abstand von 1 m.
- Vorbiegen der Nagelschablone anhand der Röntgenaufnahmen der unverletzten Seite am besten am Vortag der Operation (Abbildung 2).

Abbildung 2

Die biegbare Nagelschablone wird anhand von Röntgenbildern (exakt anteroposterior und seitlich) des unverletzten Unterarms vorgebogen, die zu diesem Zweck seitenverkehrt aufgehängt werden müssen. Das dem Nullpunkt entsprechende Ende der Schablone (erkennbar an der Längensmarkierung) wird über die vorgesehene Position der Nagelspitze auf dem Röntgenbild gehalten, und die Schablone wird nun zunächst in einer der beiden Röntgenebenen entsprechend dem Verlauf des Markraums gebogen. Dabei dient die auf der Nagelschablone angebrachte Beschriftung „Do not implant“ als Markierung z.B. für die der Dorsalseite des Arms entsprechende Seite der Schablone. In der zweiten Röntgenebene wird entsprechend vorgegangen; dabei muss die Schablone in ihrer Achse um 90° gedreht werden.

In der Frontalebene werden der Radiusnagel in der Regel eine dem Radiusbogen entsprechende radialkonvexe und der Ulnanagel eine leicht S-förmige Krümmung erhalten, während beide Nägel in der Sagittalebene eine geringe dorsalkonvexe Krümmung haben. Müssen Radius und Ulna versorgt werden, sollten die Schablonen entsprechend gekennzeichnet werden (z.B. auf der Sterilisationsverpackung).

Figure 2

The malleable nail template is bent in both planes using the reversed film of the opposite, uninjured forearm bone to match the contour of the canal. The zero point of the template (visible on the length markings) is held over the anticipated position of the nail tip on the radiograph, and the template is first bent based on one radiograph. The inscription “Do not implant” can serve for orientation and can correspond to the posterior aspect of the forearm. Identical procedure for the bending in the second plane, however, the template has to be turned around its longitudinal axis by 90°.

In general, the radial nail has a bow in the frontal plane corresponding to the radial convexity whereas the ulnar nail has a lazy S-shape. In the sagittal plane, both nails have a small, dorsally convex curvature. If both bones are to be nailed, the templates must be clearly marked “ulna” or “radius” on the outside of the package to be sterilized.

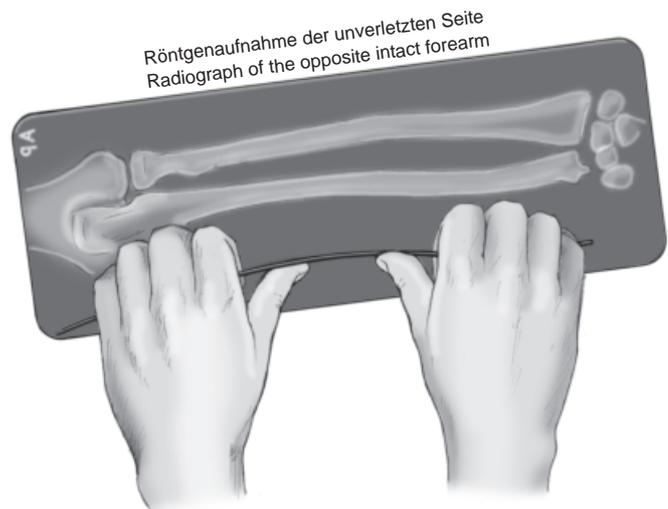
- Above-listed fractures in all age groups after closure of the growth plates.
- Possible indications include radial neck fractures in which the tilted radial head can be reduced and supported with the tip of the nail.
- Continuation of treatment after primary stabilization by an external fixator.

Contraindications

- Acute and chronic osteomyelitis of the forearm bones.
- Open growth plates.
- Steel allergy.
- Acutely oblique fractures at the distal radial shaft reaching in the metaphysis, as the leverage necessary for introduction of the nail may increase the displacement.

Patient Information

- Discuss alternative methods of treatment (conservative, therapy in case of isolated ulna fracture, plate fixation).
- Usual surgical risks.



- Bestimmung der erforderlichen Nagellänge (Abbildung 3).
- Bestimmung des erforderlichen Nageldurchmessers: Die Weite der Markhöhle kann am Röntgenbild direkt abgemessen werden. Der Vergrößerungseffekt ist vernachlässigbar, da der Markraum aufgefräst wird.
- Sterilisieren der Schablone (reicht die Zeit bei dringlichen Operationen für eine ordnungsgemäße Sterilisierung nicht aus, kann die unsterile Schablone in einem sterilen durchsichtigen Plastikbeutel verpackt werden).
- Rasur des Unterarms einschließlich Hand- und Ellenbogengelenk bei starkem Haarwuchs unmittelbar präoperativ.

Instrumentarium und Implantate

- Spezielles Instrumentarium für den ForeSight™-Ulna/Radius-Nagel (Fa. Smith & Nephew GmbH, Surgical Division, 22869 Schenefeld/Hamburg; Abbildungen 5 und 7).
- Marknagel (Durchmesser 4 oder 5 mm; Länge 20/22/24/26 cm; Abbildung 4).
- Verriegelungsschrauben, 2,7 mm, selbstschneidend, für die Verriegelung an der Nagelbasis (Abbildung 6).
- Verriegelungsschrauben, 2,7 mm, unikortikal selbstschneidend (Kerndurchmesser 1,9 mm), für die Verriegelung an der Nagelspitze (Abbildung 6).
- Bohrmaschine mit Schnellspannbohrfutter für Kirschner-Drähte, Jakobs-Futter und röntgendurchlässigem Winkelgetriebe.

Anästhesie und Lagerung

- Allgemein- oder Regionalanästhesie.
- Rückenlage.
- Lagerung des Unterarms auf einem Handtisch: Zur Nagelung des Radius liegt der Arm gestreckt, zur

- Soft tissue and bone infection.
- Injury to nerves (ulnar, posterior interosseous, and superficial branch of radial nerve).
- Injury to tendons of extensor carpi radialis longus and brevis as well as to extensor pollicis longus.
- Formation of a synostosis between radius and ulna, blocking pro- and supination.
- Delayed union or nonunion necessitating a revision.
- Second intervention for implant removal.

Preoperative Work Up

- Radiographs in two planes of the injured and not injured forearms with the neighboring joints, film-tube distance: 1 m.
- Prebending of the nail template based on radiographs of the intact bone, preferably on the day before surgery (Figure 2).
- Determination of the necessary nail length (Figure 3).
- Determination of the required nail diameter: the width of the medullary canal can be directly measured on the radiographs. The magnifying effect is negligible, as the canal will be reamed.
- Sterilization of the template (if there is not enough time to do so, the nonsterile template can be placed in a sterile transparent plastic bag).
- Shaving of the forearm including wrist and elbow in instances of hypertrichosis immediately before surgery.

Surgical Instruments and Implants

- Special set for ForeSight™ ulna/radius nailing (Smith & Nephew, Surgical Division, 22869 Schenefeld/Hamburg, Germany, or 1450 Brooks Road, Memphis, TN 38116, USA; Figures 5 and 7).
- Intramedullary nail (diameter 4 or 5 mm; length 20/22/24/26 cm; Figure 4).
- Locking screws, 2.7 mm, self-tapping, for use at the base of the nail (Figure 6).



Abbildung 3

Bestimmung der erforderlichen Nagellänge am Beispiel der Ulna. Wird das dem Nullpunkt der auf der Nagelschablone aufgedruckten Längenskala entsprechende Ende der Schablone über die geplante Position der Nagelspitze gelegt, kann die erforderliche Nagellänge von der Skala abgelesen werden.

Figure 3

Determination of the necessary length of the nail using the ulna as an example. The zero point of the template is placed over the intended position of the nail tip, and the necessary nail length can be read on the scale of the template.

Abbildung 4

ForeSight™-Ulna/Radius-Nagel.

Figure 4

ForeSight™ ulna/radius nail.



Abbildung 5

Nagel mit Bohrführung, Verbindungsbolzen und Einschläger. Der Bolzen sollte beim Einschrauben in die Nagelbasis nicht mit dem Maulschlüssel, sondern nur mit der Hand angezogen werden, da sich sonst die Aufnahme der Bohrführung verziehen kann und die Bohrführung nicht mehr exakt auf die Bohrung im Nagel zielt.

Figure 5

Nail with drill guide for insertion of locking screw, connecting bolt and driver/extractor.

The bolt should not be tightened with a wrench but by hand during screwing into the base of the nail to avoid deformation of the base of the nail, as this could lead to loss of the exact direction of drilling.



Abbildung 6

Verriegelungsschrauben. 1: Verriegelungsschraube, selbstschneidend, 2,7 mm, 2: Verriegelungsschraube, unikortikal (selbstschneidend), 2,7 mm (Kerndurchmesser 1,9 mm).

Figure 6

Locking screws. 1: self-tapping locking screw, 2.7 mm, 2: unicortical, self-tapping locking screw, 2.7 mm (core diameter 1.9 mm).



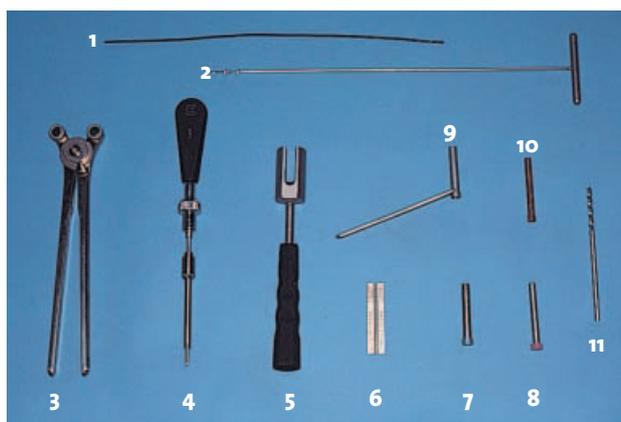
Abbildung 7

Spezielles Instrumentarium. 1: Biegbare Nagelschablone, 2: Handfräse (3,0/3,5/4,0/4,5/5,0/6,0 mm), 3: Nagelbiegeinstrument, 4: Schraubendreher mit Handgriff und Schraubenhalteaufsatz, 5: Schlitzhammer, 6: Schraubenlängenmesslehre, 7: Bohrhülse (türkis), 8,0 mm, zur Aufnahme von pinkfarbener Bohrhülse und Schraubenhalteaufsatz, 8: Bohrhülse (pink), 6,0 mm, zur Führung des Bohrdrachts, 9: Handbohrhülse, 8,0 mm, zur Aufnahme der röntgendurchlässigen Bohrhülse, 10: Bohrhülse röntgendurchlässig (bernsteinfarben), 6,0 mm, zur Verriegelung an der Nagelspitze, 11: kanülierte Fräse, 6,0 mm.

Figure 7

Special instruments. 1: pliable nail template, 2: T-handle reamer (3.0/3.5/4.0/4.5/5.0/6.0 mm), 3: nail bender, 4: screw driver with handle and screw holder

5: slotted hammer, 6: gauge to measure screw length, 7: screw sleeve (turquoise), 8 mm, to receive pink-colored drill sleeve and screw holder, 8: drill sleeve (pink) to guide trocar pin, 9: drill sleeve, 8 mm, to guide radiolucent drill guide. 10: radiolucent drill guide (amber-colored), 6 mm, for locking at nail tip, 11: cannulated reamer, 6 mm.



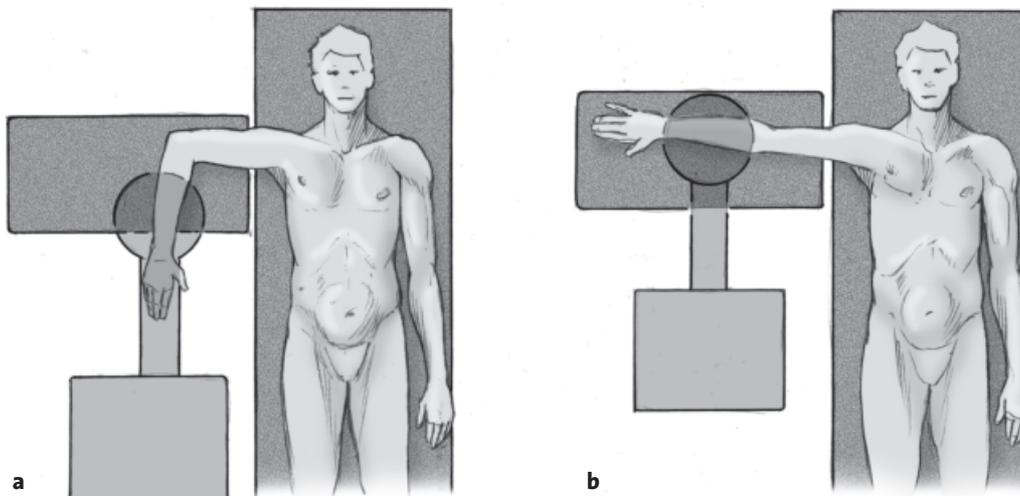
Nagelung der Ulna wird er im Ellenbogengelenk 90° gebeugt (Abbildungen 8a und 8b).

- Manschette für Blutsperre am Oberarm angelegt; wird aber nur bei Bedarf (offene Reposition) aufgepumpt.
- Bildwandler von fußwärts (Abbildungen 8a und 8b).

- Locking screws, 2.7 mm, unicortical, self-tapping (core diameter 1.9 mm), for use at the nail tip (Figure 6).
- Drill with automatic chuck for Kirschner wires, Jacob's chuck and radiolucent angular drive.

Anesthesia and Positioning

- General or regional anesthesia.
- Supine.
- Positioning of forearm on arm table: for the nailing of the ulna the arm is bent at the elbow at 90° (Figure 8a), for the nailing of the radius the arm is extended (Figure 8b).
- Tourniquet at upper arm, only to be inflated if necessary (open reduction).
- Image intensifier coming in from the foot end (Figures 8a and 8b).



Abbildungen 8a und 8b

Rückenlagerung des Patienten, verletzter Arm auf Handtisch.

a) Lagerung für die Nagelung der Ulna. b) Lagerung für die Nagelung des Radius.

Figures 8a and 8b

Supine positioning of the patient, injured arm on arm table.

a) Positioning for nailing of ulna. b) Positioning for nailing of radius.

Operationstechnik

Abbildungen 9 bis 16

Abbildung 9

Biegen des Nagels. Der ForeSight™-Nagel wird anhand der sterilisierten Schablone bei Operationsbeginn mit dem Nagelbiegeinstrument gemäß den individuellen anatomischen Verhältnissen des Patienten möglichst genau nachgeformt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Achse des Verriegelungslochs an der Nagelbasis immer parallel zur Frontalebene liegt. Die aufgeschraubte Bohrführung (Führungsbügel) erleichtert dabei die Orientierung. Der Nagel darf nicht geknickt werden.

Figure 9

Using the sterile template, the ForeSight™ nail is bent with the nail bender. Care has to be taken that the axis of the locking hole at the base of the nail is always parallel to the frontal plane of the forearm. The screwed-on drill guide facilitates orientation. Avoid sharp bending of the nail.

Surgical Technique

Figures 9 to 16

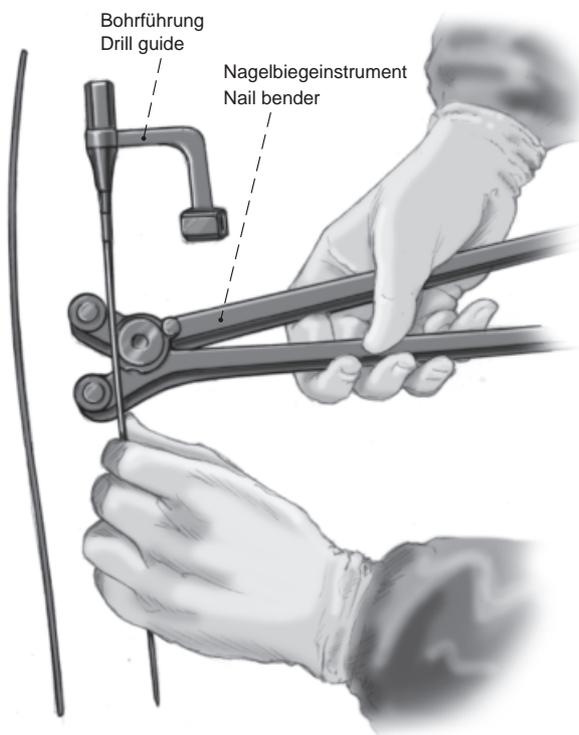
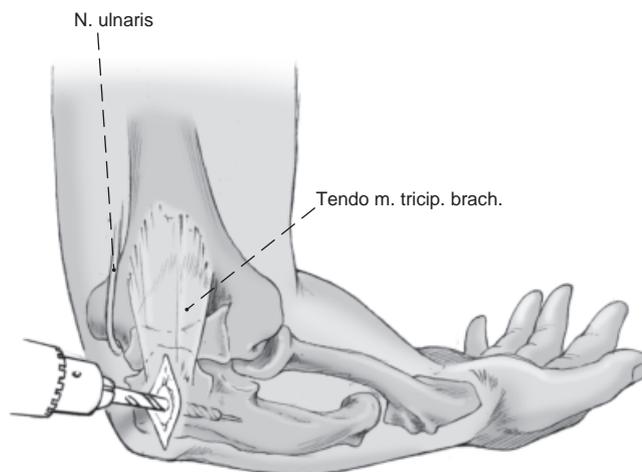


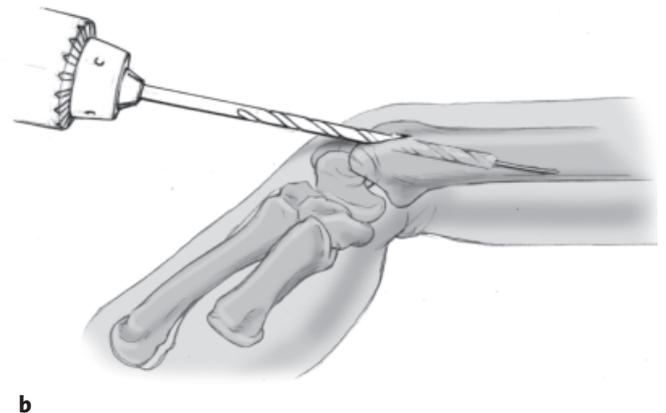
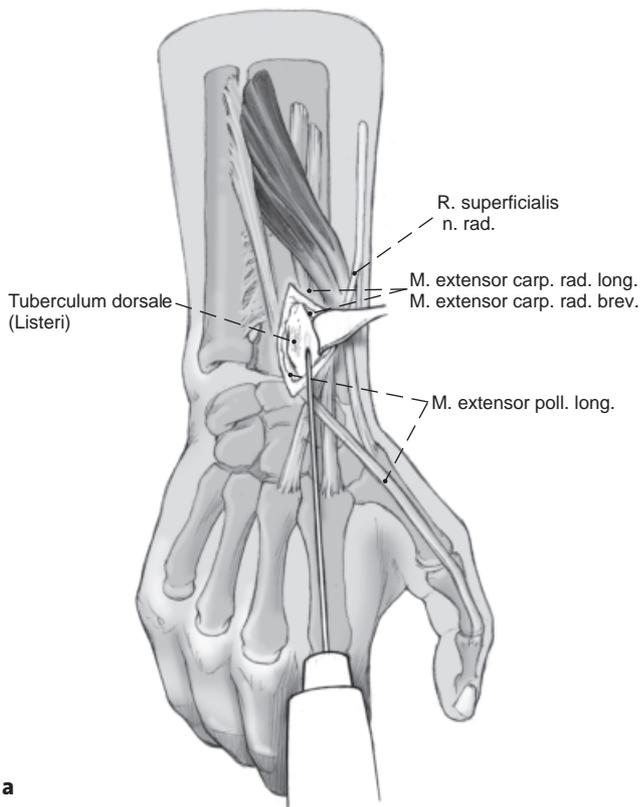
Abbildung 10

Zugang für die Nagelung der Ulna. 1,5 cm langer Hautschnitt in Längsrichtung von der Olekranonspitze nach distal. Längsspaltung von subkutanen Weichteilen und Ausläufern der Trizepssehne. Parallel zur dorsal tastbaren Kante der Ulna wird der 1,9-mm-Bohrdraht unter Bildwandlerkontrolle in die Markhöhle vorgebohrt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Bohrdraht nicht medial an der Ulna abrutscht und den Nervus ulnaris im Sulcus nervi ulnaris tangiert. Anschließend wird der Bohrdraht mit der kanülierten 6,0-mm-Fräse auf eine Strecke von etwa 3 cm überbohrt; eine Kerbe auf der Fräse zeigt die Länge des verdickten Nagelbasisteils an.

Figure 10

Approach for nailing of the ulna. 1.5 cm long longitudinal skin incision from the tip of the olecranon in a distal direction. Longitudinal splitting of the subcutaneous tissues and of the end of the triceps tendon. Parallel to the posterior border of the ulna, a 1.9-mm trocar pin is drilled into the medullary canal under image intensification. Care has to be taken that the wire does not slip over the ulna medially and touch the ulnar nerve in its groove. Overdrilling over the guide wire with a 6-mm cannulated reamer over a distance of 3 cm. A groove on the reamer corresponds to the length of the thickened part of the nail base.





Abbildungen 11a und 11b

Zugang für die Nagelung des Radius.

a) 3 cm langer Längsschnitt unmittelbar radial des Tuberculum dorsale (Tuberculum Listeri), in Höhe des Handgelenkspalts beginnend. Stumpfes Auseinanderdrängen des Subkutangewebes, um den Ramus superficialis nervi radialis nicht zu gefährden. Nun wird der proximale Anteil des zweiten Strecksehnenfachs unter Spaltung des Retinaculum extensorum 1–2 mm radial des Tuberculum dorsale in Längsrichtung eröffnet. Die Sehnen der Musculi extensores carpi radialis longus et brevis werden mit einem kleinen Langenbeck-Haken nach radial gehalten. 0,5–1 cm von der Gelenkfläche entfernt wird nun im Bett der radialen Handgelenkstrecker der 1,9-mm-Bohrdraht in einem flachen Winkel in die Markhöhle vorgebohrt, damit er nicht auf der palmaren Kortikalis aufläuft.

b) Anschließend wird der Bohrdraht mit der kanülierten 6,0-mm-Fräse analog zur Ulna überbohrt. Nach dem Auffräsen wird der Bohrdraht entfernt.

Figures 11a and 11b

Approach for nailing of the radius.

a) 3 cm longitudinal skin incision immediately radial to Lister's tubercle starting at the level of the wrist joint. Blunt separation of the subcutaneous tissues to spare the superficial branch of the radial nerve. Opening of the proximal part of the second extensor department through longitudinal splitting of the extensor retinaculum 1–2 mm radial to Lister's tubercle. Radial retraction with a small Langenbeck retractor of the tendons of extensor carpi radialis longus and brevis. 0.5–1 cm proximal to the joint surface, the 1.9-mm trocar pin is inserted into the second compartment and advanced into the medullary canal at a low angle to prevent engaging the palmar cortex.

b) Overdrilling of the trocar pin with the 6-mm cannulated reamer. After reaming, the trocar pin is removed.

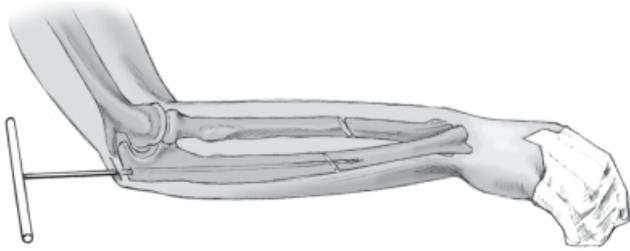


Abbildung 12

Reposition und Auffräsen der Markhöhle. Die Reposition der Fraktur wird geschlossen versucht. Bei Unterarmfrakturen wird mit dem Knochen begonnen, der sich leichter geschlossenen reponieren lässt. Gelingt eine geschlossene Reposition nicht, kann über einen limitierten offenen Zugang unter Freilegung der Fraktur oder perkutan über Stichinzisionen mit einer Repositionszange mit Spitzen reponiert werden. Ein manuelles Auffräsen der Markhöhle ist – außer bei durchgehend sehr weiter Markhöhle – generell angeraten. Es empfiehlt sich, bei 3 oder 3,5 mm beginnend, in Stufen von 0,5 mm zunehmend bis zu einem 0,5–1 mm über dem vorgesehenen Nageldurchmesser liegenden Maß aufzufräsen. Kann das Repositionsergebnis während des Wechsels der Fräsen nicht gehalten werden, muss beim Einsatz der nächstgrößeren Fräse erneut reponiert werden.

Figure 12

Attempt at closed reduction of the fracture. We suggest to start with the bone that can be reduced the easiest. If closed reduction does not succeed, limited open reduction and exposure of the fracture or a percutaneous stab incision and reduction can be done with a reduction forceps with pointed tips. A manual reaming of the medullary canal is recommended except in instances of a wide canal. It is advised to start with a 3- or 3.5-mm reamer and increase the size by 0.5-mm increments, until a reaming has been reached which exceeds the diameter of the planned nail by 0.5–1 mm. If the reduction is lost during the change of the reamer, the reduction must be repeated during the insertion of the next bigger-sized reamer.

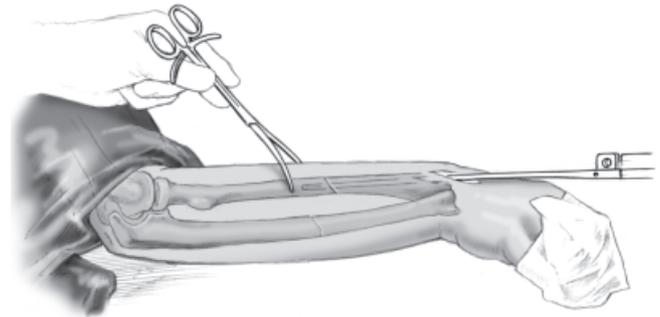


Abbildung 13

Der individuell vorgebogene Nagel wird manuell in korrekter Rotation eingeführt (evtl. muss bei diesem Operationsschritt erneut reponiert werden). Zur Insertion des Nagels in die Ulna wird das Ellenbogengelenk gebeugt gehalten, der Radiusnagel wird bei gebeugtem Handgelenk eingebracht. Nach Passieren der Fraktur kann der Nagel mit dem Handballen oder mit sanften Hammerschlägen auf den Einschläger platziert werden. Die endgültige Nagelposition ist erreicht, wenn die Nagelbasis am Radius nicht mehr über den Boden des Strecksehnenfachbodens hervorragt, um die Sehnen der radialen Handgelenkstrecke nicht zu kompromittieren. An der Ulna muss die Nagelbasis vollständig bündig mit der Kortikalis des Olekranons abschließen. Um einen Torsionsfehler zu vermeiden, wird vor der anschließenden Verriegelung die Unterarmumwendung überprüft.

Figure 13

The prebent nail is introduced manually in the proper rotation. It is sometimes necessary to repeat the reduction during this maneuver. For insertion of the ulna nail the elbow is bent, for insertion of the radius nail the wrist is flexed. It is important to retract the tendon of the extensor pollicis longus to avoid tendon injury. Once the nail tip has passed the fracture site, the nail can be advanced with the ball of the hand or with light hammer blows on the driver. The final position of the radius nail has been reached when the base of the nail is flush with the floor of the second extensor compartment, thus not to compromise the gliding of the wrist extensors. At the ulna, the base of the nail must be flush with the cortex of the olecranon. Before locking, pro- and supination are tested to exclude any rotational malalignment.

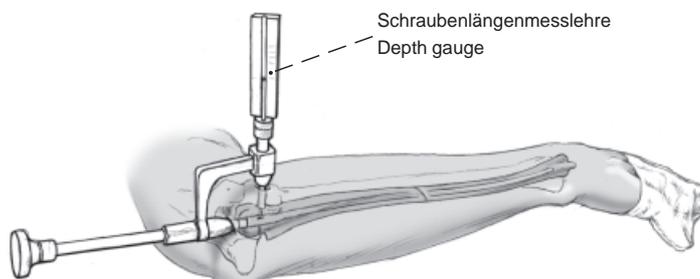
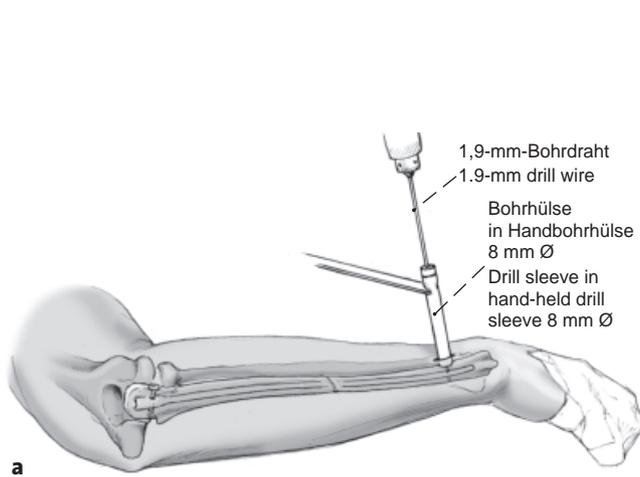


Abbildung 14

Die Verriegelung an der Nagelbasis erfolgt sowohl für den Radius als auch für die Ulna von radial. Durch die Öffnung der Bohrführung werden die türkis- und die pinkfarbene Bohrhülse eingesetzt. Die Insertionsstelle wird markiert und die Haut an dieser Stelle inzidiert. Die Bohrhülsen werden nach stumpfem Spreizen des Gewebes bis auf den Knochen vorgeschoben. Dann wird mit dem 1,9-mm-Bohrdraht durch beide Kortikales und den Nagel gebohrt. Wenn die Bohrdratsspitze mit der Gegenkortikalis fluchtet, wird mit Hilfe der Schraubenlängenmesslehre, die auf die pinkfarbene Bohrhülse aufgesetzt wird, die erforderliche Schraubenlänge bestimmt. Danach werden Bohrdrat und pinkfarbene Bohrhülse entfernt. Die ausgewählte selbstschneidende 2,7-mm-Schraube wird mit dem Schraubenhalter am Schraubendreher befestigt und durch die türkisfarbene Bohrhülse eingedreht, bis der Schraubenkopf der Kortikalis anliegt.

Figure 14

Locking of the radius as well as of the ulna at the base of the nail is done from the radial side. Through the opening of the drill guide serving as an aiming device, the turquoise screw sleeve and the pink drill sleeve are inserted. The insertion site is marked on the skin and the skin incised. Blunt spreading of soft tissue and advancement of the sleeves to bone. The 1.9-mm trocar pin is now driven through both cortices and the hole of the nail. Once the wire has just passed the opposite cortex, the appropriate screw length is determined with the gauge to measure screw length mounted on the pink drill sleeve. Removal of trocar pin and pink drill sleeve. The chosen self-tapping 2.7-mm screw is attached to the screw holder of the screw driver and inserted through the turquoise drill sleeve, until the screw head is in intimate contact with the cortex.

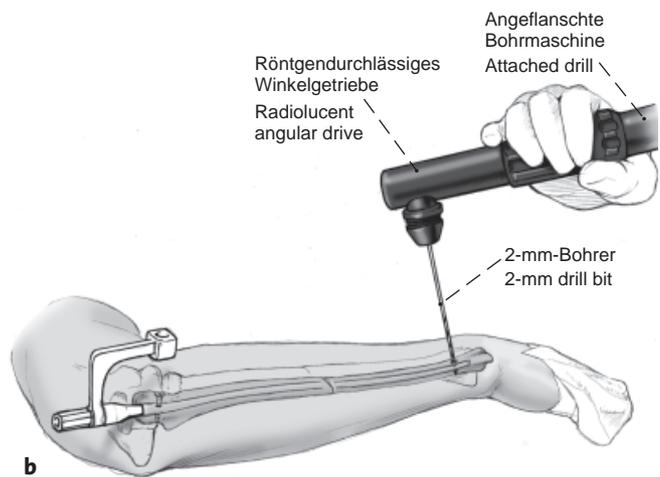


Abbildungen 15a und 15b

Vor der Verriegelung an der Nagelspitze, für die eine Verriegelungsschraube ausreicht, wird das Ausmaß der Unterarmumwendung nochmals überprüft. Eines der beiden Verriegelungslöcher wird mit Hilfe des Bildwandlers kreisrund eingestellt. Am Radius ist dies meist das parallel zur Bohrführung verlaufende Loch, das von radial in Neutralposition des Unterarms bei gestrecktem Ellenbogengelenk verriegelt werden kann. An der Ulna kann je nach Beweglichkeit des Arms im Schultergelenk bei gestrecktem und innenrotiertem Arm das zur Bohrführung parallele Loch entweder von dorsal oder in maximaler Pronation des Unterarms von ulnar für die Verriegelung verwendet werden.

a) Nach Anlegen einer Stichinzision über dem Verriegelungslöch und stumpfem Spreizen des Gewebes bis auf den Knochen wird die bernsteinfarbene röntgendurchlässige Bohrnhülse in der Handbohrhülse durch den Hautschnitt bis auf den Knochen vorgeschoben, zum Strahlengang parallel ausgerichtet und fest gegen den Knochen gehalten. Dann wird mit dem 1,9-mm-Bohrdraht durch beide Kortikales und das Verriegelungslöch im Nagel gebohrt. Die erforderliche Schraubenlänge wird mit der Schraubenlängenmesslehre an der bernsteinfarbenen Bohrnhülse bestimmt. Anschließend werden Bohrdraht und Bohrnhülse entfernt und die ausgewählte selbstschneidende unikortikale Schraube mit dem Schraubendreher mit Schraubenhalter durch die Handbohrhülse, die immer noch parallel zum Strahlengang gehalten werden muss, eingeschraubt. Auch hierbei ist darauf zu achten, dass die Handbohrhülse möglichst vertikal gehalten wird. Um ein Ausreißen des Gewindes in der Kortikalis zu vermeiden, darf die Schraube nur so weit eingedreht werden, bis beim Auflaufen des Schraubengewindes auf den Nagel eine geringe Widerstandszunahme spürbar wird.

b) Alternativ kann bei der Verriegelung an der Nagelspitze das Schraubenloch mit dem röntgendurchlässigen Winkelgetriebe und einem 2,0-mm-Bohrer gebohrt werden. Die Verwendung des Schraubenhalters ist dann nicht nötig. Die Länge der erforderlichen Schraube wird mit der Längenmesslehre eines Kleinfragment-Instrumentariums bestimmt.



Figures 15a and 15b

For locking at the tip of the nail, one screw is sufficient. Testing of pro- and supination before locking. One of the holes in the nail must show under image intensification as being perfectly circular. For the radius, the hole parallel to the drill guide at the base of the nail is chosen. It is reached from the radial side with the forearm in neutral rotation and the elbow in extension. For the ulna, depending on the mobility of the shoulder, the arm is extended and internally rotated until one of the holes at the nail tip shows, or locking occurs from posterior in maximal pronation of the forearm.

a) Stab incision over the locking hole, blunt separation of the tissues down to bone and insertion of the amber-colored radiolucent drill sleeve placed into the drill sleeve with handle. The sleeves must be parallel to the beam of the image intensifier and pressed against the bone. The trocar pin is now driven through both cortices and the hole in the nail. The appropriate screw length is determined with the gauge mounted on the amber-colored drill sleeve. Trocar pin and sleeve are now removed, and the chosen, self-tapping unicortical screw held by the screw holder of the screw driver is advanced through the drill sleeve with handle, always parallel to the beam. It is important that the drill sleeve with handle is held as vertical as possible. To avoid stripping of the screw in the cortex, the insertion must be terminated when the threads of the screw come in contact with the nail felt by a slight increase in resistance.

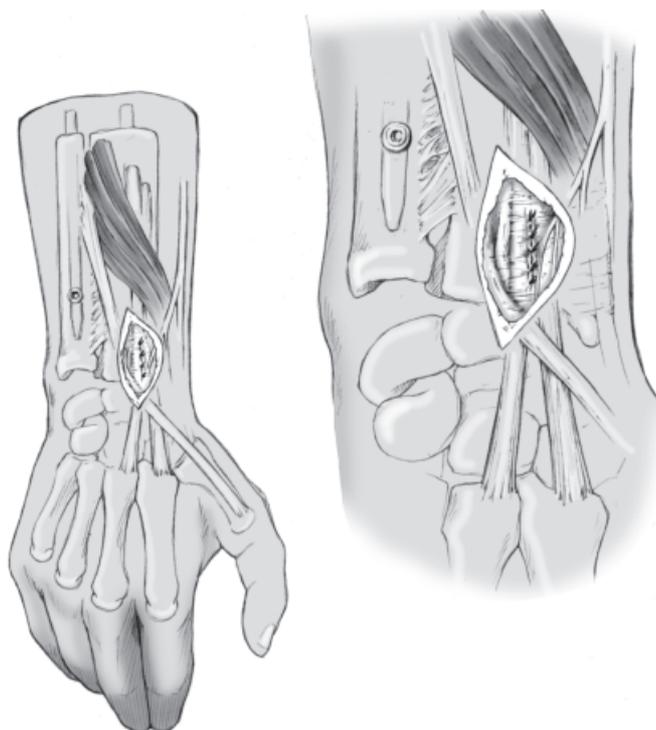
b) Alternatively, locking at the tip of the nail can be achieved with a radiolucent angular drive and a 2-mm drill bit. In this instance, the use of the screw holder is not necessary. The required length of the screw is determined with a depth gauge from the small-fragment set.

Abbildung 16

Wundverschluss. Das Retinaculum extensorum wird über dem zweiten Strecksehnenfach vernäht, und die Wunden werden verschlossen.

Figure 16

Wound closure. The retinaculum over the second extensor compartment and the wounds are closed.



Besonderheiten

- Vorbereitung der Schablone: Die Beschriftung auf der biegbaren Schablone sollte als Orientierungshilfe genutzt werden, um deren Krümmung korrekt auf den Nagel übertragen zu können.
- Bohrführung nicht mit dem Maulschlüssel anziehen.
- Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Bohrführung bereits vor dem Biegen des Nagels anzuschrauben, um die Orientierung der späteren Nagelposition im Knochen zu erleichtern.
- Die Verriegelung, die grundsätzlich wie bei den bekannten Verriegelungsnägeln erfolgt, erfordert wegen der Kleinheit des Implantats ein besonderes Maß an Gefühl und Erfahrung. Die Verriegelung an der Nagelspitze mit der vom Hersteller vorgesehenen röntgendurchlässigen Bohrhülse ist wenig praktikabel. Außerdem befinden sich die Hände des Operateurs nahe dem Strahlengang. Die Verwendung des röntgendurchlässigen Winkelgetriebes kann diesen Nachteilen abhelfen.

Postoperative Behandlung

- Steriler Pflasterverband, elastische Wickelung des Arms.
- Überprüfung der Funktion der intraoperativ gefährdeten Nerven (s.u.) nach Abklingen der Anästhesie.

Special Considerations

- Preparation of the template: inscriptions on the malleable template should serve for orientation to obtain correct planes of bending for transfer on the nail.
- The bolt connecting the nail with the drill guide should not be tightened with a wrench.
- It is recommended to attach the drill guide to the nail before bending the nail. This facilitates the orientation of the later placement of the nail in the bone.
- Locking of the nail although identical with other lock nailing techniques, demands a particular care and experience because of the smallness of the implant. Locking at the tip of the nail with the radiolucent sleeve that is supplied by the manufacturer is not easy to do. Moreover, the surgeon's hands are very close to the beam of radiation. The use of a radiolucent angular drive avoids these problems.

Postoperative Management

- Sterile elastoplast dressing, arm wrapped in an elastic bandage.
- As soon as the patient is able to respond, checking of the nerves which could have been damaged during surgery.
- No need for additional immobilization. Immediate start of active and passive motion and strengthening

- Keine zusätzliche Ruhigstellung erforderlich.
- Sofortiger Beginn mit aktiven und passiven Bewegungs- und Kräftigungsübungen unter Einschluss der Unterarmumwendbewegung, jedoch nicht gegen Widerstand.
- Entfernung der Wundfäden am 10. postoperativen Tag.
- Röntgenkontrollen postoperativ, nach 6, 12 und 18 Wochen.
- Implantatentfernung frühestens nach 18 Monaten.
- Die Materialentfernung ist fakultativ. Da die Insertionsstellen an anatomisch exakt definierten Stellen liegen, lassen sich die versenkten Nagelenden ohne Schwierigkeiten auffinden. Erforderliche Instrumente sind der Verbindungsbolzen für die Bohrführung, der Einschläger sowie der Schlitzhammer aus dem ForeSight™-Instrumentarium (Abbildungen 5 und 7).

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Ausreißen des Gewindes der Verriegelungsschraube an der Nagelspitze: Das kurze Gewinde der unicortikalen Schraube zur Verriegelung an der Nagelspitze ist mit 4,5 mm verhältnismäßig lang. Dies führt dazu, dass besonders bei dünner Kortikalis und kortikalisnaher Lage des Nagels das Gewinde bereits auf dem Nagel aufläuft, bevor der Schraubenkopf der Kortikalis anliegt. Deswegen ist es erforderlich, die Verriegelungsschraube an der Nagelspitze sehr gefühlvoll anzuziehen. Reißt die Schraube trotzdem aus, kann das zweite Verriegelungsloch an der Nagelspitze verwendet werden.
- Überstehen des Verriegelungsschraubenkopfs um bis zu 5 mm über die Kortikalis: Dies hat in der bisherigen Praxis noch nicht zu Problemen geführt, könnte aber in Ausnahmefällen Weichteilirritationen verursachen, die sich durch frühzeitige Entfernung der Schraube beheben lassen.
- Nervenläsionen: Beim Zugang zum Markraum am Olekranon und bei der proximalen Verriegelung an der Ulna kann trotz radialem Zugang der Nervus ulnaris verletzt werden. Bei der proximalen Verriegelung am Radius ist eine Läsion des Nervus interosseus dorsalis, beim Zugang zum Markraum und bei der Verriegelung am distalen Radius eine Läsion des Ramus superficialis nervi radialis möglich.
- Sehnenläsionen am distalen Radius sind bei exakter Präparation des Zugangswegs auszuschließen. Wird die Basis des Radiusnagels jedoch nicht mindestens bis auf das Niveau des Bodens des zweiten Strecksehnenfachs versenkt, kann die Nagelbasis an den radia-

exercises including pro- and supination, but not against resistance.

- Pulling of stitches on day 10. Radiographs postoperatively and after 6, 12, and 18 weeks.
- Implant removal not before 18 months.
- Implant removal optional. Since the sites of insertion are situated on anatomically exactly defined sites, the finding of the buried nail ends is easy. The locking screws are easily located due to the overlying scars and are removed through stab incisions. Instruments needed: screw driver, connecting bolt, driver/extractor, and slotted hammer from the ForeSight™ set (Figures 5 and 7).

Errors, Hazards, Complications

- Stripping of the threads of the locking bolt at the tip of the nail: the length of the threaded portion of the unicortical locking screw measuring 4.5 mm is relatively long. This can cause a contact of the threads with the nail, before the screw head comes in contact with the cortex, particularly in instances of thin cortices and a nail lying close to the cortex. It is therefore important to tighten the locking screw very carefully to avoid stripping of the threads in the cortex resulting in loss of purchase power. If stripping happens, the second locking hole should be used.
- A locking screw head that stays proud of the cortex by 5 mm may exceptionally cause irritation of the soft tissues. In our experience, this has not created any problems but could exceptionally lead to soft tissue irritation. Early removal of screw will settle it.
- Injuries to nerves are possible intraoperative complications: lesion of the ulnar nerve could occur during the approach to the medullary canal at the olecranon and during proximal locking of the ulna in spite of the radial approach. The posterior interosseous nerve can be damaged during proximal locking of the radius, whereas injury to the superficial branch of the radial nerve can occur during opening of the medullary canal and distal locking of the radius.
- Injury to tendon at the level of the distal radius cannot occur as long as the dissection is done properly. If the base of the radius nail has not been buried into the floor of the second extensor compartment, the radial wrist extensors may be exposed to fraying. The tendon of the extensor pollicis longus can be injured during nail insertion, if the tendon is not retracted correctly. A surgical revision and suture are indicated for primary or secondary tendon injury.

len Handgelenkstreckern scheuern. Die Sehne des Musculus extensor pollicis longus kann verletzt werden, wenn sie bei der Nagelinsertion nicht sicher beiseite gehalten wird. Bei primärer oder sekundärer Verletzung der Sehne chirurgische Revision und Naht.

- Insgesamt beansprucht das Verriegelungsinstrumentarium wegen seiner Kleinheit im Gegensatz zu den Nagelsystemen für die großen Röhrenknochen eine verlängerte Lernkurve, kann aber mit zunehmender Erfahrung sicher gehandhabt werden.

Ergebnisse

Wir haben in einer prospektiven Studie die prinzipielle Eignung des ForeSight™-Ulna/Radius-Nagels als Osteosynthesystem für Unterarmfrakturen (Radius, Ulna oder beide) untersucht. Hinsichtlich der grundsätzlichen Begrenzungen der Indikation zur Nagelung ergaben sich dabei in der Praxis keine weiteren Einschränkungen. Gerade auch Mehretagenfrakturen, die in günstigen Fällen sogar geschlossen reponierbar sind, lassen sich mit dem Nagel versorgen.

Im Zeitraum von Juni 1997 bis Dezember 2000 wurden 40 ForeSight™-Nägel bei 33 Unterarmen von 32 Patienten (23 Männer, neun Frauen; Alter 16–84 Jahre, Mittelwert 36,7 Jahre) implantiert. 31 Unterarme wiesen frische Frakturen auf (darunter eine Refraktur nach Plattenentfernung, Abbildung 17), ein Unterarm zeigte eine pathologische Fraktur und ein Unterarm eine in Fehlstellung verheilende Fraktur nach Implantation eines intramedullären Kirschner-Drahts.

- The learning curve of this technique is longer than that of the other locking nail systems because of the small size of the instruments, but can be mastered safely with increasing experience.

Results

In a prospective study, we investigated the suitability of the ForeSight™ ulna/radius nail for internal fixation of forearm fractures (ulna, radius, or both bones). Besides the limitation of indications listed, we could not detect further restrictions for its use. In particular, segmental fractures could be internally fixed with the nail, often after closed reduction.

Between June 1997 and December 2000, we used 40 ForeSight™ nails in 33 forearms of 32 patients (23 men, nine women; 16–84 years old, average age 36.7 years). In 31 forearms, the fractures were fresh, including one refracture after plate removal (Figure 17), one forearm showed a pathologic fracture, and one a malunited fracture after treatment with an intramedullary Kirschner wire.

In December 2000, the insertion of 29 nails in 24 patients (25 forearms) had been done for > 6 (7–42) months. One 69-year-old female patient died of multiple injuries; one patient could not be traced after transfer to another hospital. We could follow up the healing progress of the remaining 22 patients (27 forearm bones in 23 forearms) either personally (23 bones) or through assessments of radiographs sent from the treating physicians (four bones). 25 fractures had

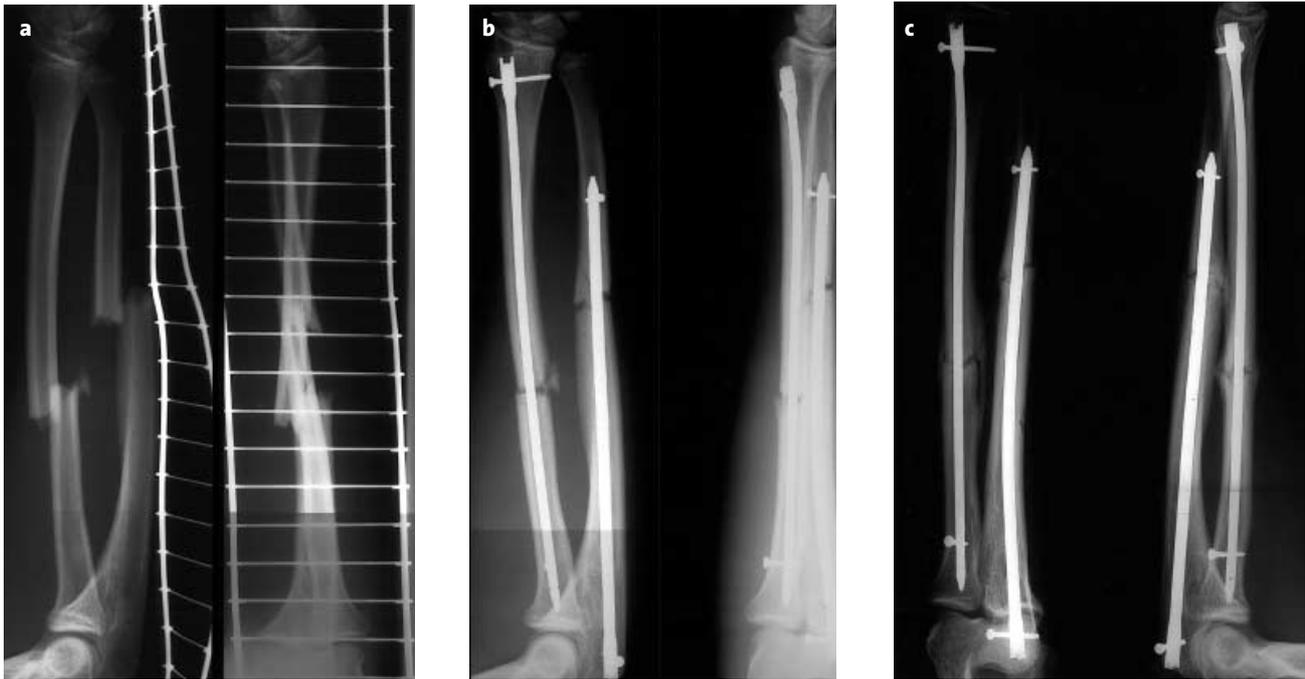


Abbildungen 17a und 17b

- a) Refraktur der Ulna 2 Monate nach Plattenentfernung (25 Monate nach Plattenosteosynthese): Rarefizierung der Knochenstruktur.
 b) Gutes knöchernes Remodeling 2 Jahre nach Nagelung und Anlagerung eines kortikospongiosen Spans.

Figures 17a and 17b

- a) Radiograph taken after refracture of the ulna, 2 months after plate removal (25 months after open reduction and fixation) shows marked osteopenia.
 b) Impressive bony remodeling 2 years after nailing and apposition of a cortico-cancellous bone graft.



Abbildungen 18a bis 18e

Typischer Heilungsverlauf einer mit ForeSight™-Nägeln stabilisierten Unterarmfraktur.

- a) Fraktursituation (AO 22-B3.2).
- b) Unmittelbar nach Nagelung (geschlossene Reposition) verbliebene Lücke von 2 mm in den Frakturspalten.
- c) 3 Monate nach Nagelung bereits deutliche Kallusüberbrückung der verbliebenen Frakturspalten.
- d) 1 Jahr nach Nagelung kräftige Strukturierung der ehemaligen Frakturzone.
- e) Zustand nach Materialentfernung 18 Monate nach Nagelung.

Figures 18a to 18e

Typical course of healing of a forearm fracture stabilized with ForeSight™ nails.

- a) Original fracture (AO 22-B3.2).
- b) Radiograph taken immediately after closed reduction and nailing shows fracture gaps of 2 mm.
- c) State after 3 months: plainly recognizable callus bridging the fracture gaps.
- d) 1 year after nailing: sound remodeling of the fracture site.
- e) State after implant removal, 18 months postoperatively.



Die Implantation von 29 Nägeln bei 24 Patienten mit 25 betroffenen Unterarmen lag im Dezember 2000 bereits > 6 (7–42) Monate zurück. Eine 69-jährige Patientin ist an den Folgen des erlittenen Polytraumas verstorben; ein Patient war nach Verlegung in ein auswärtiges Krankenhaus nicht mehr auffindbar. Der Heilverlauf der verbliebenen 22 Patienten mit 27 operierten Unterarmknochen an 23 Unterarmen konnte persönlich (23 Knochen) oder dank Übermittlung der bei den weiterbehandelnden Ärzten angefertigten Röntgenaufnahmen (vier Knochen) verfolgt werden. 25 Frakturen wiesen eine problemlose Heilung mit meist kräftiger Kallusbildung innerhalb 3–6 Monaten auf (Abbildungen 18a bis 18e).

Die Implantation des Nagels gelang bei 24 von 40 Frakturen nach geschlossener Reposition, 14 Frakturen mussten offen durch Freilegung des Frakturspalts reponiert werden, und in zwei Fällen wurde perkutan mit einer frakturnah eingesetzten Repositionszange mit Spitzen reponiert. Bei 37 Knochen wurde die Markhöhle aufgefräst, bei drei Knochen konnte der Nagel wegen durchgehend weiter Markhöhle ohne Auffräsen eingebracht werden. Die Operationszeiten, bezogen auf die einzelnen Knochen, lagen bei 67 (27–150) min, die entsprechenden Durchleuchtungszeiten bei 4,4 (1,4–14,9) min. Dabei resultierten Operationszeiten > 60 min und Durchleuchtungszeiten > 5 min aus dem Versuch, eine offene Reposition nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die Dauer der Knochenheilung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen isolierten Frakturen von Radius und Ulna, Frakturen beider Knochen oder Galeazzi-Frakturen.

Zwei isolierte Ulnafrakturen in Schaftmitte wiesen eine verzögerte Heilung mit knöcherner Konsolidierung nach 11,6 bzw. 10,2 Monaten auf. Im einen der beiden Fälle handelte es sich um eine Refraktur im Anschluss an eine Materialentfernung nach Plattenosteosynthese mit erheblich reduzierter Knochenstruktur (Abbildung 17), im anderen zeigten sich bereits 3 Monate nach Nagelung Osteolysen um die Nagelspitze, die als Zeichen mangelnder Stabilität gedeutet wurden. Ein Patient mit offener Radiusfraktur im vierten Schaftsechstel entwickelte eine Pseudarthrose bei von Anfang an bestehender Dehiszenz von ca. 3 mm im Frakturspalt, die nach Kompressionsplattenosteosynthese ausheilte. Der Patient hatte vermutlich das Implantat durch Aufnahme seiner Arbeit als Metzger 8 Wochen nach Osteosynthese überbeansprucht. Ein Brückenkallus bildete sich in zwei Fällen (Ulnafraktur am Übergang vom fünften zum sechsten Schaftsechstel bei Polytrauma; Galeazzi-Fraktur mit Schädel-Hirn-Trauma) und wurde nach Konsolidierung der Fraktur

healed uneventfully with a marked callus formation between 3 and 6 months (Figures 18a to 18e).

An insertion of the nail after closed reduction was possible in 24 out of 40 fractures, 14 needed an open reduction, and in two patients a percutaneous approach using a pointed bone forceps was successful. Reaming of the medullary canal was done in 37 bones, and in three the medullary canal was large enough to insert the nail without reaming. The duration of surgery calculated as it relates to the individual bone amounted to 67 (27–150) min and the corresponding duration of fluoroscopy to 4.4 (1.4–14.9) min. Prolonged operating time > 60 min and duration of fluoroscopy > 5 min were due to our attempt to avoid an open reduction.

No significant difference in respect to time for consolidation was found between isolated fractures of radius and ulna, fractures of both bones, or Galeazzi fractures.

A union of two isolated midshaft ulna fractures was delayed by 11.6 and 10.2 months, respectively, after nailing. One of these patients had suffered the refracture after plate removal, and the other showed an osteolysis around the tip of the nail already 3 months postoperatively, interpreted as a sign of inadequate stability. One patient with an open radius shaft fracture in the fourth sixth developed a nonunion, probably due to a persisting fracture gap of roughly 3 mm. The fracture healed after compression plating. We believe that this patient resuming his occupation as a butcher 8 weeks postoperatively overloaded the internal fixation. Formation of a synostosis was seen twice (ulnar shaft fracture between the fifth and sixth sixth in a polytrauma patient; Galeazzi fracture in a patient with head trauma). Following consolidation of the fractures, early implant removal and resection of the synostosis were done 5.8 and 13.3 months, respectively, after nailing. Both patients remain with a limited pronation and supination. The five open fractures did not develop an infection. No injuries to nerves or tendons were observed.

In the meantime, 13 nails were removed after bony consolidation at a mean of 16.8 (5.8–29.1) months, and the patients have been followed since for an average of 16.8 (1–25) months. Neither complications during nor refractures after implant removal occurred.

The functional outcome was assessed using the DASH questionnaire [4] in all 23 patients with 24 forearm fractures after an average of 19 (5.6–37.5) months; the point score varied between 0 and 63 points. 19 forearms reached between 0 and 19 points and, thus, an excellent result. The poorer outcome (≥ 20 points) was

im Rahmen einer vorgezogenen Materialentfernung (5,8 bzw. 13,3 Monate postoperativ) reseziert. In beiden Fällen verblieb jedoch eine Einschränkung der Unterarmumwendbewegung. Infektionen wurden selbst nach fünf offenen Frakturen nicht beobachtet; auch Nerven- oder Sehnenläsionen traten nicht auf.

13 Nägel wurden mittlerweile nach knöcherner Heilung entfernt. Die Materialentfernungen erfolgten durchschnittlich 16,8 (5,8–29,1) Monate nach Nagelung und liegen inzwischen 1–25 (im Mittel 16,8) Monate zurück. Komplikationen bei oder Refrakturen nach Materialentfernung traten bisher nicht auf.

Das funktionelle Ergebnis wurde mit dem DASH-Fragebogen [4] bei allen 23 Patienten für 24 Unterarme durchschnittlich 19 (5,6–37,5) Monate nach Versorgung der Fraktur ermittelt. Es ergaben sich Werte zwischen 0 und 63 Punkten, wobei 19 Unterarme 0–19 Punkte und somit ein sehr gutes Ergebnis erreichten. Die schlechteren Ergebnisse (≥ 20 Punkte) verteilten sich auf die beiden Patienten mit Brückenkallus, einen Patienten mit rheumatoider Arthritis und bereits präoperativ eingeschränkter Funktion, eine Patientin mit erheblichen Begleitverletzungen an demselben Arm sowie die Patientin mit Nagelung nach Refraktur.

Literatur – References

1. Bednar DA, Grandwilewski W. Complications of forearm-plate removal. *Can J Surg* 1992;35:428–31.
2. Chapman MW, Gordon JE, Zissimos AG. Compression-plate fixation of acute fractures of the diaphyses of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg Am* 1989;71:159–69.
3. De Pedro JA, Garcia-Navarrete F, Garcia De Lucas F, Otero R, Oteo A, Lopez-Duran Stern L. Internal fixation of ulnar fractures by locking nail. *Clin Orthop* 1992;283:81–5.
4. Germann G, Wind G, Harth A. Der DASH-Fragebogen – ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1999;31:149–52.
5. Hertel R, Pisan M, Lambert S, Ballmer FT. Plate osteosynthesis of diaphyseal fractures of the radius and ulna. *Injury* 1996;27:545–8.
6. Hidaka S, Gustilo RB. Refracture of bones of the forearm after plate removal. *J Bone Joint Surg Am* 1984;66:1241–3.
7. Holmenschlager F, Winckler S, Brug E. Bündelnagelung bei Unterarmschaftfrakturen – eine retrospektive Studie des Krankengutes aus 18 Jahren. *Zentralbl Chir* 1997;122:1002–9.
8. Jones DJ, Henley MB, Schemitsch EH, Tencer AF. A biomechanical comparison of two methods of fixation of fractures of the forearm. *J Orthop Trauma* 1995;9:198–206.
9. Krettek C, Schandelmaier P, Tscherner H. Neue Entwicklungen bei der Stabilisierung dia- und metaphysärer Frakturen der langen Röhrenknochen. *Orthopäde* 1997;26:408–21.
10. Labosky DA, Cermak MB, Waggy CA. Forearm fracture plates: to remove or not to remove. *J Hand Surg [Am]* 1990;15:294–301.
11. Langkamer VG, Ackroyd CE. Internal fixation of forearm fractures in the 1980s: lessons to be learnt. *Injury* 1991;22:97–102.
12. Matthews LS, Kaufer H, Garver DF, Sonstegard DA. The effect on supination-pronation of angular malalignment of fractures of both bones of the forearm. An experimental study. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:14–7.

seen in the two patients with synostosis, in one patient with rheumatoid arthritis already presenting preoperatively with a limited function, one patient with severe additional injuries to the same arm, and the patient with nailing for refracture.

13. Mih AD, Cooney WP, Idler RS, Lewallen DG. Long-term follow-up of forearm bone diaphyseal plating. *Clin Orthop* 1994;299:256–8.
14. Rumball K, Finnegan M. Refractures after forearm plate removal. *J Orthop Trauma* 1990;4:124–9.
15. Schemitsch EH, Jones D, Henley MB, Tencer AF. A comparison of malreduction after plate and intramedullary nail fixation of forearm fractures. *J Orthop Trauma* 1995;9:8–16.
16. Schweiberer L, Betz A, Eitel F, Wilker D. Bilanz der konservativen und operativen Knochenbruchbehandlung – obere Extremität. *Chirurg* 1983;54:226–33.
17. Skahan JR, Palmer AK, Werner FW, Fortino MD. The interosseous membrane of the forearm: anatomy and function. *J Hand Surg [Am]* 1997;22:981–5.
18. Tynan MC, Fornalski S, McMahon PJ, Utkan A, Green SA, Lee TQ. The effects of ulnar axial malalignment on supination and pronation. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82:1726–31.

Korrespondenzanschrift – Address for Correspondence

Dr. Christoph Weißer
 Oberarzt
 Unfall- und Wiederherstellende Chirurgie
 Chirurgische Universitätsklinik
 Josef-Schneider-Straße 2
 D-97080 Würzburg
 Telefon (+49/931) 201-31249, Fax -31552
 E-Mail: christoph.weisser@mail.uni-wuerzburg.de