

Verlängerung der unteren Extremität mit dem Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD)

Limb Lengthening with the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD)

Stefan Hankemeier, Thomas Gösling, Hans-Christoph Pape, Ulrich Wiebking, Christian Krettek¹

Zusammenfassung

Operationsziel

Kallusdistraktion von Femur oder Tibia durch ein intramedulläres Implantat, welches sich mechanisch durch alternierende Rotationsbewegungen von mindestens 3° verlängert.

Indikationen

Beinverkürzungen des Femurs oder der Tibia zwischen 20 und 80 mm.

Gleichzeitige Korrektur von Achsendeformitäten im Bereich der Osteotomie möglich.

Kontraindikationen

Offene Wachstumsfugen.

Unzureichender Markrauminnendurchmesser (nach Aufbohrung des Femurs < 14,5 mm, der Tibia < 12,5 mm).

Mangelnde Mitarbeit des Patienten.

Ausgeprägte Fehlstellungen.

Osteitis.

Weichteilinfekte.

Operationstechnik

Rückenlagerung. Am Femur im proximalen oder mittleren Schaftdrittel Osteotomie nach fächerförmigen queren Anbohrungen, unter Rotationskontrolle mit zwei 3,0-mm-Kirschner-Drähten. An der Tibia quere Osteotomie mit einer Gigli-Säge. Korrektur von Achsen- oder Rotationsfehlstellungen. Antegrad aufbohren der Markhöhle am Femur 2,0 mm, an der Tibia 1,5 mm über den geplanten Nageldurchmesser. Einführen des Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD) in den Markraum, distale Verriegelung in Freihandtechnik, Kontrolle der Rotation sowie des Osteotomiespalts und proximale Verriegelung mit einem Zielgerät. Intraoperative Kontrolle der Distraktion des ISKD über einen externen Monitor. Am Femur 3 Tage und an der Tibia 5 Tage postoperativ Beginn zunehmender Mobilisation, um eine tägliche Distraktion von etwa 1 mm zu erreichen. Bei unzureichender Verlängerung führt der Patient gezielte Rotationsbewegungen durch, bis die erwünschte Verlängerung erreicht ist.

Abstract

Objective

Callus distraction of the femur or tibia with an intramedullary distractor, which lengthens mechanically through alternating rotations of at least 3°.

Indications

Femoral or tibial shortening between 20 and 80 mm.

Angular and rotational deformities can be corrected at the osteotomy site.

Contraindications

Open epiphyses.

Small medullary canal (after intramedullary reaming femoral diameter < 14.5 mm, tibial diameter < 12.5 mm).

Severe deformities.

Insufficient compliance.

Osteitis.

Soft-tissue infections.

Surgical Technique

Supine position. Femoral shaft osteotomy at the proximal or middle third by multiple drill holes completed with a chisel. For lengthening of the tibia, osteotomy with a Gigli saw is preferred. Control of the rotation by two parallel 3.0-mm Kirschner wires. Correction of angular or rotational deformities. Via stab incision reaming of the medullary canal with a flexible reamer. The femur is overreamed 2.0 mm and the tibia 1.5 mm above the desired implant diameter. Insertion of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD) into the medullary canal and distal locking in freehand technique. Control of the rotation and of the osteotomy gap. Proximal locking with an aiming device. For femoral lengthening 3 days and for tibial lengthening 5 days postoperatively the distraction is begun by increasing mobilization with partial weight bearing, to

Operat Orthop Traumatol 2005;17:79–101

DOI 10.1007/s00064-005-1123-5

¹Unfallchirurgische Klinik, Medizinische Hochschule Hannover.

Ergebnisse

Vier Patienten mit einem mittleren Alter von 29 Jahren (18–36 Jahre) wurde ein ISKD implantiert. Neben drei post-traumatischen Femurverkürzungen wurde eine kongenitale Tibiaverkürzung behandelt. Zwei Femora wiesen präoperativ komplexe Fehlstellungen auf. Die durchschnittliche Verlängerung betrug 31 mm (26–40 mm).

Der intraoperative Blutverlust betrug 230 ml (100–320 ml), die durchschnittliche Operationszeit 108 min (90–145 min). Die tägliche Distraktionsstrecke belief sich im Durchschnitt auf 1,2 mm (0,9–1,8 mm). Vollbelastung wurde nach 10 Wochen (7–14 Wochen) gestattet, Arbeitsfähigkeit bestand nach 11 Wochen (7–16 Wochen).

Bei der Nachuntersuchung durchschnittlich 2,3 Jahre postoperativ bestanden keine Einschränkungen der Kniegelenkbeweglichkeit. Das Kallusregenerat war 80 Tage (51–111 Tage) nach der Operation knöchern durchbaut bei einem mittleren Heilungsindex von 2,9 Tagen/mm (1,8–4,1 Tage/mm). Innerhalb des Beobachtungszeitraums waren keine Komplikationen aufgetreten. Gemäß dem Paley-Score erreichten alle Patienten ein exzellentes Ergebnis.

Schlüsselwörter

Beinverkürzung · Kallusdistraktion · Korrektur · Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor · ISKD · Verlängerungsnagel

Vorbemerkungen

Die Distraktionsosteoneogenese hat sich in der Unfallchirurgie und Orthopädie als Standardtherapie von Beinverkürzungen > 2–3 cm etabliert. Bei Behandlung mit einem Fixateur externe treten, in Abhängigkeit von der Distraktionslänge, dem Patientenalter und zusätzlichen Fehlstellungen, pro Patient im Durchschnitt 0,24–1,17 Probleme und Komplikationen auf [1, 5–7, 9, 16, 18, 24, 25]. Häufige Komplikationen stellen Infektionen, Achsenabweichungen, Refrakturen und ein nicht ausreichend belastbares Knochenregenerat dar. Die Patienten klagen regelmäßig über Beschwerden an den Pineintrittsstellen und Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeit [13, 18, 27]. Die lange Tragedauer des Fixateurs führt zu einer Verzögerung der Rehabilitation sowie des Wiedereintritts in das Arbeitsleben.

Die Kombination eines intramedullären Marknagels und eines Fixateur externe, der nur der Distrak-

achieven daily distraction of 1 mm. In case of insufficient distraction, additional rotations are performed by the patient while checking the external monitor that displays the daily and total distraction length.

Results

Intramedullary lengthening with the ISKD was performed in four patients having an average age of 29 years (18–36 years). Two femoral shortenings were combined with complex rotational and angular deformities. The average lengthening of three femora and one tibia was 31 mm (26–40 mm).

The average intraoperative blood loss was 230 ml (110–320 ml), the mean surgical time 108 min (90–145 min). The average daily distraction amounted to 1.2 mm (0.9–1.8 mm). Full weight bearing was permitted after 10 weeks (7–14 weeks), return to regular work after 11 weeks (7–16 weeks). At follow-up examination of an average of 2.3 years postoperatively the knee range of motion was full. Consolidation was noted 80 days (51–111 days) postoperatively with an average consolidation index of 2.9 days/mm (1.8–4.1 days/mm). No complications were observed. According to the Paley Score all patients had an excellent outcome.

Key Words

Limb length discrepancy · Callus distraction · Correction · Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor · ISKD · Intramedullary lengthening device

Introductory Remarks

Limb lengthening through progressive distraction has proven its place in orthopedic surgery when shortening exceeds 2–3 cm. Using the external fixator the average incidence of problems and complications per patient varies between 0.24 and 1.17 depending on the length of distraction, patient age, and additional malpositions [1, 5–7, 9, 16, 18, 24, 25]. Infection, axial malalignment, refracture and a mechanically weak regenerate are encountered among the most frequent complications. The patients often complain of pain at pin sites and a reduced range of joint motion [13, 18, 27]. The considerable length of fixator treatment delays rehabilitation and the return to work.

Combining an intramedullary rod with an external fixator accelerates the return to joint mobility and reduces the risk of pin site infection, as the fixator serves only for distraction and is removed after attaining the desired length. At this point the nail is statically locked

tion dient und nach deren Abschluss entfernt wird, beschleunigt die Wiederherstellung der Gelenkbeweglichkeit und reduziert das Risiko von Infektionen entlang den Pins [19]. Diese Methode wird als „Monorail“-System [21] oder „lengthening over nail“ [19] bezeichnet. Die prinzipielle Problematik der Pintraktinfektion, Gewebetransfixation, verminderten Gelenkbeweglichkeit und Narbenbildung bleibt jedoch bestehen. Infektionen um die Pins, die sich entlang dem Nagel im Markraum ausbreiten, können eine schwere Markraumphlegmone auslösen [17, 23].

Bereits in den 70er Jahren gab es erste Ansätze, Beinverlängerungen ohne Fixateur externe durchzuführen [2, 10, 22, 26]. 1990 stellten Betz et al. einen motorisierten Verlängerungsnagel vor, der sich zum Segmenttransport und zur Beinverlängerung eignet [3]. Aufgrund des motorbetriebenen Designs ist dieses Implantat mit höheren Kosten verbunden.

Guichet et al. gelang es, einen mechanisch distrahierenden Nagel zu entwickeln. Ihm liegt ein Ratschenmechanismus zugrunde, der durch Drehbewegungen von mindestens 20° aktiviert wird [12]. Dieser „Albizzia“-Nagel wurde in verschiedenen Kliniken an größeren Patientenkollektiven erfolgreich eingesetzt [8, 11]. Die extensiven Rotationsbewegungen können allerdings starke Schmerzen auslösen, die z.T. einer epiduralen Anästhesie oder einer Kurznarkose bedürfen [8, 11]. Ungeklärt ist, welchen Effekt Rotationsbewegungen von 20° im Distractionsspalt auf die Knochenregeneration haben.

Der Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD, Abbildung 1) ist ein mechanisch distrahender Marknagel, der sich durch alternierende Drehbewegungen im Osteotomiespalt von mindestens 3° verlängert. Der ISKD besteht aus einem schmalen distalen sowie einem breiteren proximalen Nagelanteil, die ineinander verschieblich sind. Distaler und proximaler Nagelanteil sind jeweils über einen Ratschenmechanismus mit einem inneren Gewindestab verbunden. Bei Drehbewegungen von wenigstens 3° zwischen dem

[19]. This method is known as monorail system [21] or lengthening over nail [19]. However, the major drawbacks such as pin tract infection, decreased mobility of soft tissues, reduced joint mobility, and scar formation persist. In addition, pin site infections that can spread to the medullary canal along the nail and lead to osteomyelitis are further known complications [17, 23].

Already in the 1970s efforts were made to obtain leg lengthening without an external fixator [2, 10, 22, 26]. In 1990 Betz et al. presented a fully implantable intramedullary, motor-driven system with programmable drive for segment transport and leg lengthening [3]. The motor-driven system explains the high cost of this implant.

Guichet et al. were successful in developing a nail that distracts mechanically. The ratchet mechanism is activated by rotational movements of at least 20° [12]. This so-called Albizzia nail has been used successfully in various institutions in large patients series [8, 11]. The considerable rotational movements, however, can lead to severe pain that necessitates on occasion an epidural anesthesia or short anesthesia [8, 11]. The effect of rotational movements of 20° on the bone formation in the distraction gap is unknown.

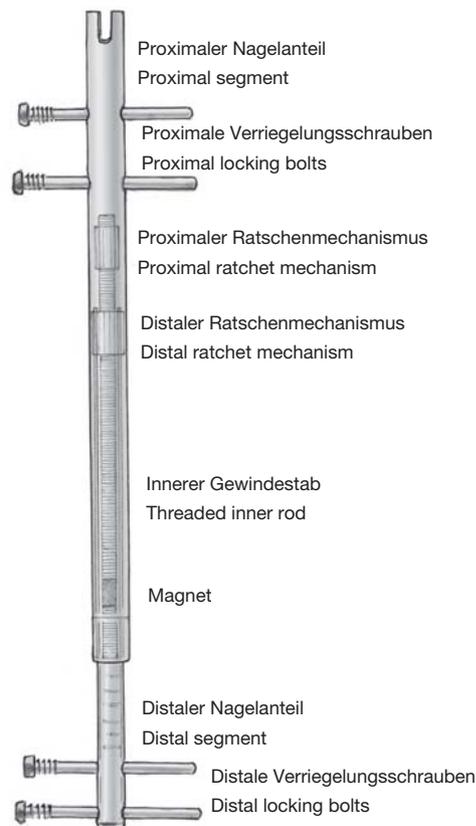


Abbildung 1
Aufbau des Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD).

Figure 1
Design of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD).

proximalen und distalen Nagelanteil wird ein Ratschenmechanismus aktiviert, so dass der Nagel sich verlängert. Der Ratschenmechanismus ist so konzipiert, dass 160 Drehbewegungen von 3° zu einer Verlängerung des ISKD um 1,0 mm führen. Der Ratschenmechanismus erlaubt keine Verkürzungen, sondern ausschließlich Verlängerungen des ISKD.

Die zur Distraction erforderlichen Drehbewegungen treten bereits bei physiologischen Belastungen oder Bewegungen auf [4]. Am distalen Anteil des inneren Gewindestabs ist ein Magnet angebracht. Die Polwechsel des sich bei Rotation drehenden Magneten werden vom Patienten über einen externen Monitor gemessen. Da im Display des Monitors die tägliche sowie gesamte Distaktionsstrecke angegeben werden, erhält der Patient Auskunft darüber, ob zusätzliche, gezielte Drehbewegungen zum Erreichen der täglich angestrebten Distraction von 1 mm erforderlich sind. Bei übermäßiger Distraction reduziert der Patient entsprechend die Aktivität. Der ISKD wurde von Dean Cole (Orlando, FL, USA) in Zusammenarbeit mit der Firma Orthofix (Mühlthal 3, 83626 Valley) entwickelt [4].

The Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD, Figure 1) is an intramedullary nail; distraction is triggered mechanically by an alternating rotational movement of at least 3° at the osteotomy gap. The ISKD consists of two parts: a smaller distal segment and a larger proximal segment. They are connected with an inner threaded rod through a ratchet mechanism. Rotational movements between proximal and distal segments of at least 3° activate the ratchet mechanism causing a lengthening of the ISKD. The ratchet mechanism is designed in such a way that 160 rotational movements of 3° lead to a lengthening of the ISKD by 1 mm. The ratchet mechanism allows only lengthening but not any shortening.

The rotational movements necessary for distraction already occur during normal weight bearing or movements [4]. A magnet is fastened to the distal part of the threaded inner rod. The change in polarity occurring during rotation of the magnet can be measured by the patient thanks to an external monitor. As the display on the monitor shows the daily as well as the total amount of lengthening, the patient can perform additional rotational movements to reach the daily goal of 1 mm lengthening. Any excess of lengthening can be compensated by the patient by reducing his/her activities. The ISKD has been developed by Dean Cole (Orlando, FL, USA) in collaboration with Orthofix (Mühlthal 3, 83626 Valley, Germany) [4].

Operationsprinzip und -ziel

Kallusdistraction des Femurs oder der Tibia über einen Verlängerungsmarknagel, dessen Ratschenmechanismus bei Drehbewegungen ab 3° mechanisch aktiviert wird. Nach querer Osteotomie im proximalen oder mittleren Schaftdrittel und Markraumbohrung antegrad Einbringen des ISKD in den Markraum und statische Verriegelung. Während der Distaktionsphase mindestens fünfmal täglich Kontrolle der Distraction über einen externen Monitor. Bei Bedarf Stimulation der Distraction durch gezielte Drehbewegungen des Beins. Automatische Beendigung der Verlängerung nach Erreichen der am ISKD vorgegebenen Distaktionsstrecke.

Surgical Principles and Objective

Callus distraction of femur or tibia over an intramedullary distraction nail that is activated by a ratchet mechanism responding to rotations exceeding 3° . After transverse diaphyseal osteotomy at the proximal or middle third and antegrade medullary canal reaming, insertion of the ISKD and static locking. During the phase of lengthening control of distraction with the help of the external monitor should be done at least five times a day. If needed, stimulation of distraction by purposely rotating the leg. Lengthening is ended automatically thanks to the predetermined distraction set on the ISKD.

Vorteile

- Vermeidung fixateurassoziierter Probleme und Komplikationen, wie schmerzhafte Weichteil- und Muskeltransfixation, Infektionen der Pineintrittsstellen, Narbenbildungen und psychische Belastungen.
- Gleichzeitige Korrektur von Achsendeformitäten über die zur Distraction erforderliche Osteotomie möglich.
- Verbesserte Beweglichkeit angrenzender Gelenke.
- Prophylaxe von sekundären Achsenabweichungen und Refrakturen durch intramedulläre Schienung.
- Frühzeitige Belastungsfähigkeit des verlängerten Beins.
- Beschleunigung der Rehabilitation und der Rückkehr zu alltäglichen Aktivitäten.
- Hoher Patientenkomfort.

Nachteile

- Gute Mitarbeit des Patienten erforderlich. Verständnis der Funktionsweise des Implantats und des Monitors notwendig.
- Abweichungen von der vorgesehenen täglichen Distractionstrecke möglich.
- Keine Verkürzung des Implantats möglich.
- Kein Segmenttransport.

Indikationen

- Beinverkürzungen des Femurs oder der Tibia zwischen 20 und 80 mm.
- Gleichzeitige Korrektur von Achsendeformitäten über die zur Distraction erforderliche Osteotomie möglich. Das tolerable maximale Ausmaß für eine gleichzeitige Korrektur hängt von Lokalisation, Art, Komplexität und Ausmaß der Fehlstellung, Weichteilverhältnissen sowie Narbenbildungen ab und ist individuell zu beurteilen.

Kontraindikationen

Absolut

- Offene Wachstumsfugen.
- Schwangerschaft.
- Mangelnde Compliance des Patienten.
- Unzureichender Markrauminnendurchmesser: nach Aufbohrung des Femurs < 14,5 mm, der Tibia < 12,5 mm.
- Unterschreitung der Mindestlänge von Femur oder Tibia (Implantatgrößen s. Instrumentarium und Implantate).
- Weichteilinfekte.
- Osteitis.

Advantages

- Avoidance of problems and complications associated with the use of an external fixator such as painful transfixation of soft tissues and muscles, pin site infection, scar formation, and psychologic trauma.
- Simultaneous correction of axial malalignment at the level of the osteotomy done for distraction.
- Improved mobility of neighboring joints.
- Avoidance of secondary axial malalignments and refractures thanks to intramedullary nailing.
- Early weight bearing on the operated limb.
- Earlier rehabilitation and return to activities of daily living.
- Excellent patient comfort.

Disadvantages

- Reliable patient's collaboration necessary. Need for comprehension of implant's and monitor's function.
- Possibility of variation of daily amount of distraction.
- The implant cannot be shortened.
- No possibility of segment transport.

Indications

- Shortening of femur or tibia between 20 and 80 mm.
- Axial malalignments accompanying shortening. Correction at the site of osteotomy. The tolerable maximal amount of simultaneous correction varies from one person to the other and depends on the location of the malalignment, kind of complexity and degree, as well as the soft-tissue conditions and scars.

Contraindications

Absolute

- Open physes (growth plates).
- Pregnancy.
- Poor patient compliance.
- Inadequate diameter of medullary canal: reaming of the femur must exceed 14.5 mm, for the tibia 12.5 mm.
- Femur or tibia too short for insertion of an available nail (for implant sizes see Surgical Instruments and Implants).
- Soft-tissue infection.
- Osteitis.
- Atrophic nonunions.
- Malalignments that cannot be corrected at the site of osteotomy.

- Atrophie Pseudarthrosen.
- Fehlstellungen, die nicht im Bereich der Osteotomie korrigiert werden können.
- Ausgeprägte Fehlstellungen, bei denen nach Korrektur ein postoperativer Nervenschaden droht.
- Operativ nicht korrigierbare Kontrakturen der zu behandelnden Extremität.
- Unfähigkeit, das kontralaterale Bein mit dem vollen Körpergewicht zu belasten.
- Herzschrittmacher und Adipositas permagna (Messungen des Monitors erschwert oder unmöglich).

Relativ

- Rauchen.
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit.
- Alter > 65 Jahre.
- Osteoporose.
- Kortikoiddauermedikation.

Patientenaufklärung

- Allgemeine Operationsrisiken.
- 15 kg Teilbelastung an zwei Unterarmgehstützen während der Distraktions- und zu Beginn der Konsolidierungsphase.
- Messungen der erzielten Verlängerung mit dem Monitor mindestens fünfmal täglich, zusätzlich bei besonderer körperlicher Aktivität. Gezielte Drehbewegungen, um die vorgesehene tägliche Verlängerung zu erreichen. Bei zu starker Verlängerung Verminderung der Belastung und Bewegung des Beins.
- Bewegungseinschränkungen im Bereich der betroffenen Extremität. Notwendigkeit einer operativen Lösung der Weichteile.
- Schmerzen durch Gewebezug oder bei Drehbewegungen. In sehr seltenen Fällen kann die Anlage eines epiduralen Schmerzkatheters während der Distraction hilfreich sein.
- Physiotherapie zur Wiederherstellung der vollen Gelenkbeweglichkeit, Kräftigung der Muskulatur und Verbesserung der Zirkulation. Gehtraining.
- Notwendigkeit einer erneuten Osteotomie bei frühzeitiger Knochenheilung.
- Notwendigkeit einer erneuten Operation bei ausbleibender Kallusregeneratbildung.
- Achsenfehlstellung.
- Verbleibende Beinlängendifferenzen.
- Implantatentfernung nach knöcherner Durchbauung nur bei lokalen Beschwerden erforderlich.

- Marked malalignments, as their correction could risk nerve damage.
- Contracture of the involved limb that cannot be corrected surgically.
- Inability to bear full weight on the opposite leg.
- Pacemaker and morbid obesity both rendering measurements with the monitor difficult or impossible.

Relative

- Smoking.
- Peripheral arterial occlusive disease.
- Age > 65 years.
- Osteoporosis.
- Long-term corticosteroid administration.

Patient Information

- Usual surgical risks.
- Partial weight bearing (15 kg) using two forearm crutches during the phase of distraction and the early phase of consolidation.
- Need for measurement of lengthening with the monitor at least five times a day, and more often, if the patient is physically active. To reach the necessary daily lengthening, purposeful rotational movements are required. If the daily lengthening exceeds the maximum, decrease of weight bearing and of motion of the limb.
- Risk of postoperative limitation of motion of the involved limb. Need for surgical soft-tissue release.
- Possibility of pain due to soft-tissue pull or rotation.
- In very rare cases insertion of an epidural catheter may become necessary during distraction for relief of severe pain.
- Physiotherapy to restore full joint movement, muscle strengthening, and improvement of circulation. Gait training.
- Need for a repeat osteotomy, if bony consolidation occurs too early.
- Need for revision surgery, if the bony regenerate does not develop.
- Axial malalignment.
- Remaining leg length discrepancy.
- Implant removal after bony consolidation only in the presence of local symptoms.

Operationsvorbereitungen

- Exakte klinisch-radiologische Bestimmung der Beinlängendifferenz. Die klinische Beinlängendifferenz wird durch Holzbrettchen ausgeglichen. Bei Betrachtung des Patienten von dorsal wird die Beinlängendifferenz klinisch ermittelt, indem unterschiedlich hohe Brettchen unter das verkürzte Bein gelegt werden, bis die Beckenkämme sowie die Glutealfalten auf einem Niveau erscheinen und die Michaelis-Raute sich symmetrisch darstellt. Radiologische Ganzbeinaufnahmen im Stehen unter Verwendung der Holzbrettchen zum Beinlängenausgleich, um eine gleichmäßige Beinbelastung zu erzielen sowie eine kompensatorische Kniebeugung, Spitzfußstellung oder Beckenkipfung zu verhindern. Die Beinlängendifferenz wird radiologisch ausgemessen (z.B. Differenz der Strecken vom Boden bis zum Beckenkamm). Prinzipiell muss zwischen anatomischen Beinlängendifferenzen (Verkürzung im Bereich des Knochens) und funktionellen Differenzen (Gelenkkontrakturen) unterschieden werden.
- Berücksichtigung eines radiologischen Vergrößerungsfaktors, z.B. durch Abbildung einer strahlendichten Metallkugel mit definiertem Durchmesser medial oder lateral des zu verlängernden Knochens.
- Analyse der beidseitigen anatomischen und mechanischen Beinachsen sowie der Gelenkwinkel, z.B. mit Hilfe der Normwerte von Paley et al. [20]. Streng ventrale Position der Patellae auf den anteroposterioren (a.p.) Aufnahmen ist Voraussetzung.
- Konventionelle Röntgenaufnahmen des Ober- oder Unterschenkels inkl. angrenzender Gelenke in zwei Ebenen.
- Computertomogramm (CT) zur Rotationsdifferenzmessung bei klinischem Verdacht auf Rotationsdifferenz.
- Beurteilung des Gangbilds.
- Untersuchung der Gelenkbeweglichkeit und -stabilität.
- Erhebung des neurovaskulären Status.
- Untersuchung der Weichteile (Narben, lokale Lappen, freie Transplantate, Infektionen).
- Anamnese relevanter systemischer Vorerkrankungen, wie periphere arterielle Verschlusskrankheit, Diabetes mellitus oder Knochenerkrankungen.
- Evaluation psychosozialer Faktoren (Compliance, Intelligenz, soziales Umfeld).
- Erklärung der Behandlungsmethode und der erforderlichen Verhaltensmaßnahmen.

Preoperative Work Up

- Clinical and radiologic determination of leg length discrepancy. Clinically, the difference is determined with wood boards under the heel and examining the patient from posterior. The thickness of the boards is increased until the iliac crest and the gluteal folds are at same level and the Michaelis rhomboid is symmetrical. Standing radiographs of the entire lower limbs using wood boards to compensate leg length discrepancy. At the time of radiography a compensatory knee flexion, pes equinus, or a pelvic tilt must be avoided. This allows measurement of the leg length discrepancy. It is important to distinguish between anatomic leg length discrepancy (due to shortening of a bone) and functional leg length discrepancy (due to joint contracture).
- Consider the radiologic magnification factor. We recommend the use of a metal sphere with a known diameter; it should be taped either medial or lateral to the involved thigh or leg.
- Analysis of the anatomic and mechanical leg axes of both limbs as well as of the joint angles. They can be determined with the standards values of Paley et al. [20]. The patella must point exactly anterior on the anteroposterior (AP) films.
- Plain radiographs of thigh and legs in two planes including the neighboring joints.
- Computed tomography (CT) to determine rotational malalignment, if suspected clinically.
- Assessment of gait.
- Examination of joint mobility and stability.
- Assessment of neurovascular status.
- Examination of soft tissues (scars, flaps, free transplants, infections).
- History of previous relevant systemic diseases such as partial arterial occlusive disease, diabetes mellitus, or bone diseases.
- Evaluation of psychosocial factors (compliance, intelligence, social climate).
- Explanation of the projected treatment and the required collaboration.
- The choice of the osteotomy level depends on the length of the nail, the extent of lengthening, axial malalignment, and soft-tissue conditions. At the tibia consideration has to be given to possible tibiofibular synostoses. As the nail consists of a larger proximal segment and a smaller distal one, the osteotomy after completion of distraction must lie at the level of the larger proximal nail segment for biomechanical reasons (Figure 2)

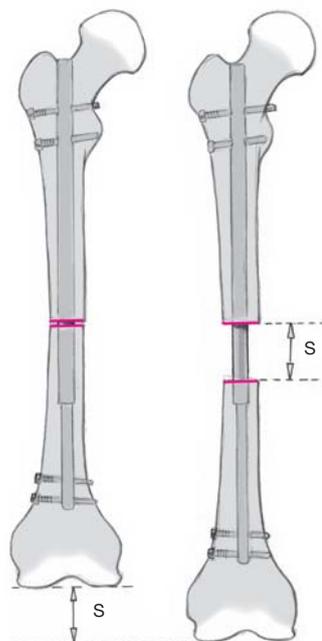
- Die Wahl der Osteotomiehöhe hängt von der Nagellänge, Verlängerungsstrecke, Achsenabweichungen sowie den Weichteilverhältnissen ab. An der Tibia sind bei der Planung der Osteotomiehöhe tibiofibuläre Synostosen zu berücksichtigen. Da der Nagel aus einem breiteren proximalen und einem schmalen distalen Anteil besteht, sollte die Osteotomie aus biomechanischen Gründen nach kompletter Distraction im Bereich des breiteren proximalen Nagelanteils liegen (Abbildung 2).
- Exakte Planung von Achsenfehlerkorrektur, Länge der Distraction, Implantatlage, Implantatdurchmesser und -länge. Berücksichtigung einer potentiellen Beinverlängerung durch die Korrektur von Achsenfehlstellungen. Aufgrund der Femuranteurkurvation kann nach Implantation des geraden ISKD eine geringe Rekurvation im Osteotomiebereich entstehen.
- Die Verlängerung des Femurs in der anatomischen Schaftachse bewirkt eine Valgisierung der mechanischen Beinachse. Insbesondere bei Osteotomien im Bereich des proximalen Femurschaftdrittels wirken varisierende Muskelkräfte dieser Valgisierung entgegen.
- Zur Verlängerung der Tibia ist statt einer einfachen Fibulaosteotomie eine Resektion von 1–2 cm Länge vorzuziehen, um eine frühzeitige Konsolidierung der Fibula zu verhindern.
- Bei Verlängerungen der Tibia > 30 mm Stabilisierung des distalen Tibiofibulargelenk mit einer Stellschraube.
- Die vorgegebene Distaktionsstrecke wird vor der Implantation des ISKD eingestellt und kann postoperativ nicht verändert werden. Je nach Modell kann sich der ISKD – wie unten angegeben – entweder um maximal 50 mm oder um maximal 80 mm verlängern. Soll eine Beinverlängerung von
- Precise planning of correction of axial malalignment, length of distraction, implant site, implant diameter, and length. A potential limb lengthening by correction of axial malalignments has to be taken into consideration. Given the anterior femoral bowing and the insertion of a straight ISKD, a straightening of the femur at the level of the osteotomy may occur.
- Femoral lengthening in line with the anatomic axis leads to a valgization of the mechanical axis. In particular, when an osteotomy is performed at the proximal femoral third, the valgization is opposed by varus muscle forces.
- When performing a tibial lengthening, a 1- to 2-cm resection of the fibula is preferred to a simple osteotomy to avoid an early consolidation of the fibula.
- When the planned tibial lengthening exceeds 30 mm, the distal tibiofibular joint should be stabilized with a syndesmosis screw.
- The planned length of distraction is set in the ISKD before implantation and cannot be altered postoperatively. Depending on the nail's model a maximum lengthening of 50 mm or of 80 mm is possible. If the goal length is 40 mm, and a 50-mm extensible ISKD has been chosen, the 50-mm lengthener must be extended 10 mm by manual rotational movements. The calibration marks allow reading the amount of lengthening on the proximal part of the distal nail segment. A shortening of the ISKD is not possible.
- Photographic documentation of the preoperative status.

Abbildung 2

Schematische Darstellung einer Femurverlängerung um die Strecke S mit Hilfe des ISKD. Da der Nagel aus einem breiteren proximalen und einem schmalen distalen Anteil besteht, sollte die Osteotomie aus biomechanischen Gründen nach kompletter Distraction im Bereich des breiteren proximalen Nagelanteils liegen.

Figure 2

Scheme of femur lengthening (distance marked by an S) using ISKD nail. As the nail consists of a broader proximal and narrower distal part, the level of the osteotomy after complete distraction should lie at the site of the broader proximal nail part for biomechanical reasons.



beispielsweise 40 mm erfolgen, wird der um 50 mm verlängerbare ISKD gewählt und vor seiner Implantation durch manuelle Drehbewegungen bereits um 10 mm distrahiert. Die noch ausstehende Distraktionsstrecke des ISKD wird an der Kalibrierung am proximalen Abschnitt des distalen Nagelanteils abgelesen. Ein Verkürzen des ISKD ist nicht möglich.

- Photodokumentation des präoperativen Befunds.

Instrumentarium und Implantate (Abbildungen 3 und 4)

- Chirurgisches Grundinstrumentarium.
- Steriler Stift.
- Osteotomieset: 3,2-mm-Bohrer, Osteotome, Gigli-Säge.
- 3-mm-Kirschner-Drähte (Rotationsbestimmung).

Abbildung 3

ISKD-Basisset.

1: Externer Monitor; 2: Femur-ISKD; 3: Tibia-ISKD; 4: Verriegelungsbolzen.

Figure 3

Basic ISKD set.

1: external monitor; 2: femoral ISKD; 3: tibial ISKD; 4: locking bolts.

Surgical Instruments and Implants (Figures 3 and 4)

- Basic set.
- Sterile marker.
- Osteotomy set: 3.2-mm drill bit, chisel, Gigli saw.
- 3-mm Kirschner wires for determination of rotation.
- Universal Jacob's chuck with T-handle.
- Flexible reamer (Synthes), guide wire with olive, exchangeable reamer heads, T-handle.
- ISKD for femur/tibia.

Available lengths for femoral ISKD with 12.5 mm and 14.5 mm diameter:

- 255–305 mm, 300–350 mm, 345–395 mm (50-mm distraction),
- 255–335 mm, 300–380 mm, 345–425 mm (80-mm distraction).



Abbildungen 4a und 4b

a) Femur-ISKD-Instrumentarium.

1: Gewebeschutzhülsen; 2: Bohrhülsen; 3: Inbusschlüssel; 4: Halteschraube für Femur-ISKD; 5: Handgriff für Femur-ISKD; 6: Femur-ISKD; 7: Führungsschiene für proximale Verriegelung; 8: T-Schlüssel; 9: Verriegelungsbolzen; 10: 4,8-mm-Bohrer.

b) Tibia-ISKD-Instrumentarium.

1: Führungsschiene für proximale Verriegelung; 2: Zielbügel für proximale Verriegelung; 3: Gewebeschutzhülsen; 4: Bohrhülsen; 5: Halteschraube für Tibia-ISKD; 6: Handgriff für Tibia-ISKD; 7: Tibia-ISKD; 8: Inbusschlüssel; 9: T-Schlüssel; 10: Verriegelungsbolzen; 11: 4,8-mm-Bohrer.

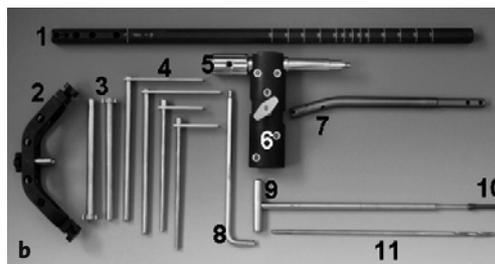
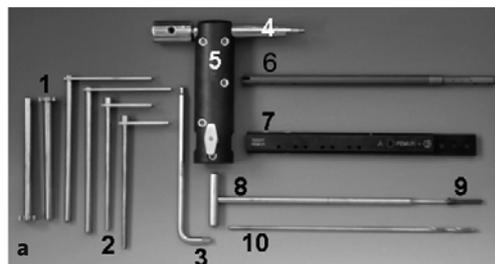
Figures 4a and 4b

a) Femoral ISKD instruments.

1: soft-tissue sleeves; 2: drill sleeves; 3: Allen key; 4: locking rod screw; 5: handle; 6: femoral ISKD; 7: femoral proximal locking rod; 8: T-wrench; 9: locking bolt; 10: 4.8-mm drill bit.

b) Tibial ISKD instruments.

1: tibial proximal locking rod; 2: proximal outrigger; 3: soft-tissue sleeves; 4: drill sleeves; 5: locking rod screw; 6: handle; 7: tibial ISKD; 8: Allen key; 9: T-wrench; 10: locking bolt; 11: 4.8-mm drill bit.



- Universalbohrfutter mit T-Handgriff.
- Flexible Markraumborner (Fa. Synthes, Bochum), Führungsdraht mit Olive, auswechselbare Bohrköpfe, T-Handgriff.
- ISKD für Femur bzw. Tibia.
Erhältliche Längen des Femur-ISKD mit 12,5 mm und 14,5 mm Durchmesser:
– 255–305 mm, 300–350 mm, 345–395 mm (50-mm-Distraktion),
– 255–335 mm, 300–380 mm, 345–425 mm (80-mm-Distraktion).
Erhältliche Längen des Tibia-ISKD mit 12,5 mm und 13,5 mm Durchmesser (einige Nagellängen sind auch für den Tibia-ISKD mit 10,7 mm Durchmesser erhältlich):
– 215–265 mm, 255–305 mm, 300–350 mm (50-mm-Distraktion),
– 255–335 mm, 265–345 mm, 300–380 mm (80-mm-Distraktion).
- ISKD-Verriegelungsbolzen (Durchmesser 4,8 mm, Längen 20–80 mm in 5-mm-Schritten), Längenmessgerät.
- Strahlendurchlässiges Winkelgetriebe.
- ISKD-Monitor in steriler Folie.

Anästhesie und Lagerung

- Intubationsnarkose oder Spinalanästhesie.
- Strahlendurchlässiger Operationstisch.
- In Rückenlagerung wird das kontralaterale Bein auf einer gynäkologischen Beinstütze mit Schutz des Nervus peroneus durch ein Gelkissen gelagert. Entfernung der kontralateralen Beinplatte. Adduktion und Flexion des Hüftgelenks erleichtern den Zugang zur Fossa piriformis (Abbildung 5). Je nach Präferenz des Operateurs kann der Femur-ISKD auch in Seitenlage implantiert werden.
- Zur Implantation eines Tibia-ISKD Rückenlagerung, maximale Flexion im Kniegelenk z.B. durch Verwendung eines Karbonrahmens.
- Überprüfung der Einstellbarkeit des Operationsgebiets im Bildwandler in zwei Ebenen.
- Infektionsprophylaxe durch einmalige präoperative Antibiotikagabe.

Available lengths for tibial ISKD with 12.5 mm and 13.5 mm diameter:

- 215–265 mm, 255–305 mm, 300–350 mm (50-mm distraktion),
- 255–335 mm, 265–345 mm, 300–380 mm (80-mm distraktion).
- ISKD locking bolts (diameter 4.8 mm, lengths 20–80 mm in 5-mm increments), depth gauge.
- Radiolucent drill.
- ISKD monitor in sterile package.

Anesthesia and Positioning

- Endotracheal anesthesia or spinal anesthesia.
- Radiolucent operating table.
- Supine with the opposite leg on a gynecologic stirrup taking care to protect the peroneal nerve with gel cushion. Removal of the contralateral leg support. Adduction and flexion of hip to facilitate access to the piriform fossa (Figure 5). Depending on surgeon's preference the nail can also be implanted with the patient in lateral decubitus.
- To implant the tibial ISKD in supine, the knee has to be in maximal flexion and held by a carbon frame.
- Checking of the position of the image intensifier in two planes for free access to the entire femur.
- Single preoperative administration of an antibiotic.

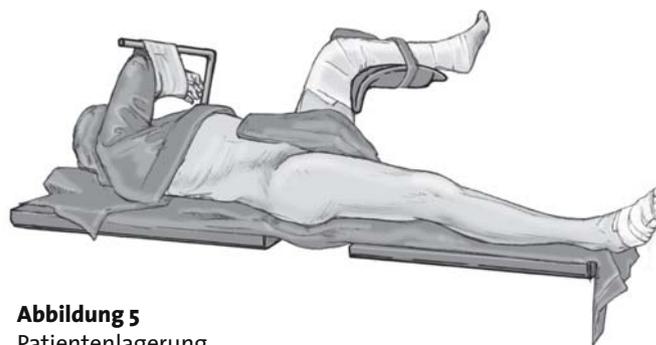


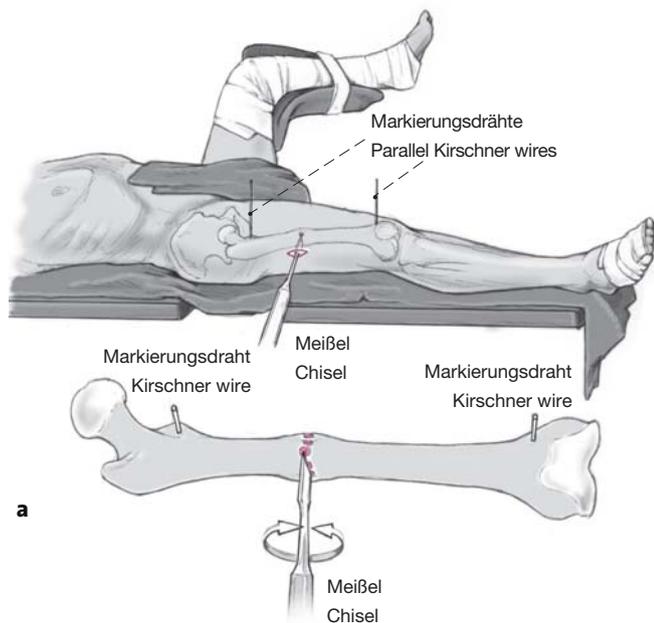
Abbildung 5
Patientenlagerung.

Figure 5
Patient positioning.

Operationstechnik

Abbildungen 6 bis 13

Am Beispiel einer posttraumatischen Femurverkürzung



Abbildungen 6a und 6b

Rotationskontrolle.

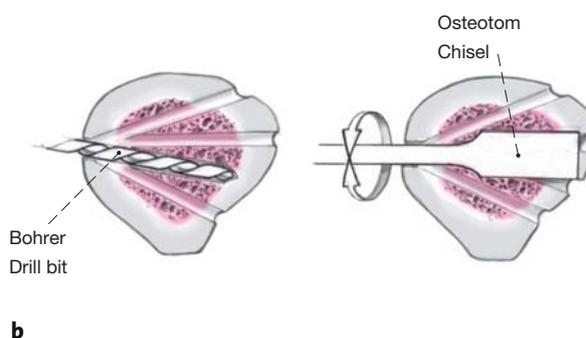
Markierung der präoperativen Rotationsstellung am proximalen und distalen Femur durch zwei parallele 3,0-mm-Kirschner-Drähte, welche außerhalb des Markraums in die Kortikalis eingebracht werden. Der proximale Markierungsdraht kann in sagittaler Richtung in den Trochanter minor eingebracht werden. Der distale Draht kann distal des vorgesehenen ISKD-Endes eingebracht werden. Alternativ können die Markierungsdrähte von lateral in der dorsalen Kortikalis platziert werden. Es ist darauf zu achten, dass die Drähte die Marknagelung nicht behindern.

Markierung der geplanten Osteotomiehöhe mit einem sterilen Stift unter Bildwandlerkontrolle. 1 cm lange longitudinale Inzision am lateralen Femur. Präparation durch die Faszia und stumpfes Auseinanderdrängen der Muskulatur bis auf den Knochen. Über eine Gewebeschutzhülse werden mit einem 3,2-mm-Bohrer fächerförmig quere Anbohrungen gesetzt (b). Anschließend wird der Knochen mit einem schmalen Osteotom durchtrennt. Durch Drehbewegungen des Osteotoms um die eigene Längsachse wird die Osteotomie vervollständigt (a). Radiologische Kontrolle der Osteotomie auf Vollständigkeit. Die Osteotomiefläche verläuft quer, um Rotationsbewegungen im Osteotomiespalt zu ermöglichen.

Surgical Technique

Figures 6 to 13

A Lengthening Procedure for a Posttraumatic Femur Shortening Serving as an Example



Figures 6a and 6b

Control of rotation.

The first step is the implantation of two parallel 3,0-mm Kirschner wires for reference of rotation inserted into each, the proximal and distal femur. Care has to be taken to place the wire into the cortex but not into the medullary canal. The proximal wire can be inserted in a sagittal direction into the lesser trochanter medial to the neurovascular bundle. The distal wire can be inserted distal to the planned end of the ISKD. Alternatively, the wires can be inserted from lateral into the posterior cortex. Again, be certain that the wires will not interfere with the intramedullary rodding.

Marking with a sterile pen of the planned level of osteotomy under image intensification. 1 cm long longitudinal incision over the lateral femur. Division of the fascia and blunt separation of the muscle down to bone. Using a drill sleeve multiple, transverse fan-shaped drilling with a 3,2-mm drill bit (b) and completion of the osteotomy with a small chisel. Opening of the osteotomy by turning the chisel around its own axis (a). Image intensification to check the completeness of the osteotomy. Care must be taken to obtain a transverse osteotomy allowing rotational movements at the osteotomy gap.

Abbildung 7a

Weichteilinzigung für Marknagelung.

Als Landmarken werden der Trochanter major, der laterale Femurkondylus sowie der Femurschaft getastet oder unter Bildwandlerkontrolle dargestellt und mit einem sterilen Stift markiert. Anschließend Einzeichnen der geplanten Inzision zur antegraden Eröffnung des Oberschenkelmarkraums. Die Inzision ist 2–3 cm lang und befindet sich exakt in Verlängerung der Markraumhöhle ca. 10–15 cm proximal der Trochanterspitze.

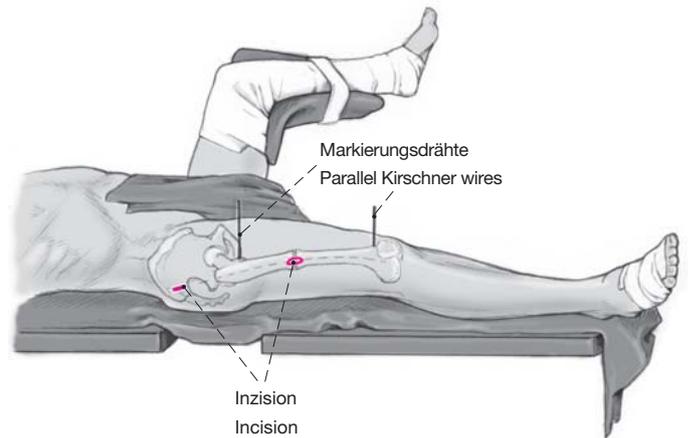


Figure 7a

Soft-tissue incision for medullary nailing.

To determine the landmarks the greater trochanter, the lateral femoral condyle and the femoral shaft are palpated or visualized under image intensification and marked with a sterile pen. Marking of the planned incision for antegrade opening of the medullary canal. The 2- to 3-cm incision is situated in perfect prolongation of the medullary canal approximately 10–15 cm proximal to the tip of the trochanter.

Abbildung 7b

Zugang zum Markraum.

Nach Spalten der Faszie wird die Muskulatur proximal des Trochanter major und an der lateralen Wand der Fossa piriformis in Faserrichtung auseinander gedrängt. Die anschließende Markraumeröffnung stellt einen Schlüsselschritt der Operation dar, da hierdurch die Achsenausrichtung der Fragmente definiert wird. Der Eintrittspunkt des ISKD liegt am Femur exakt in Verlängerung des Markraums leicht medial des Trochanter major. Zunächst wird mit einem Führungsdraht, welcher über ein Universalbohrfutter mit einem T-Handgriff befestigt ist, unter Bildwandlerkontrolle zentral in den Markraum eingegangen. Falls die Lage des Führungsdrahts nicht perfekt ist, wird ein zweiter Führungsdraht eingebracht und der erste als Referenz belassen. Wenn der Eintrittspunkt und die Richtung der Führungsdrahts stimmen, wird der fehlpositionierte Draht entfernt.

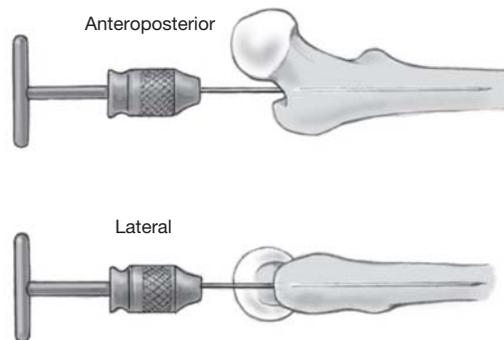


Figure 7b

Access to the medullary canal.

After splitting of the fascia the muscles proximal to the greater trochanter and overlying the lateral wall of the piriform fossa are spread in direction of their fibers. The following opening of the medullary canal constitutes the salient step of the procedure, as it determines the actual alignment of the fragments. The entry point lies in exact prolongation of the medullary canal slightly anterior to the piriform fossa and medial to the greater trochanter. The next step is the insertion of the guide wire mounted on a Jacob's chuck with a T-handle into the center of the medullary canal under image intensification. If its position is not perfect, a second wire is placed leaving the first one as a reference. If its entry point and direction are correct, the first wire is removed.



Abbildung 8

Achsenkontrolle mit der Kabelmethode.

Zur Kontrolle der Beinachse verwenden wir die Kabelmethode [14]. Hierzu wird das Knie gestreckt, und die Patella wird streng ventral positioniert. Mit dem Bildverstärker in exakt vertikaler Ausrichtung und dem Femurkopf im Zentrum des Bildverstärkers wird das Femurkopfbereich mit einem sterilen Stift auf der Haut markiert. Analog wird das Zentrum des Corpus tali steril auf der Haut bzw. dem Abdeckmaterial markiert. Der Assistent spannt nun das Kabel des Elektrokaufers vertikal zwischen den Markierungen des Hüftkopfs und des Corpus tali. Anschließend wird das Kniegelenk im Bildverstärker im Zentrum des Strahlenfelds eingestellt. Das projizierte Elektrokauferkabel zeigt den Verlauf der mechanischen Beinachse.

Aufbohrung.

Die Weichteile an der Nageleintrittsstelle werden mit einem Weichteilschutz geschont. Aufbohrung der Kortikalis im Eingangsbereich. Einführen eines langen Führungsspießes mit Olive in den Markraum. Einfädeln des Führungsspießes in das distale Fragment. Positionierung der Spitze des Führungsspießes im distalen Femur in korrekter Achsenstellung (in der Regel mittig im Markraum).

Aufbohrung des Markraums mit flexiblen Bohrwellen, die über den Führungsspieß geschoben werden. Die Aufbohrung wird in der Regel mit einem schmalen Bohrkopf der Größe 9 begonnen. Aufbohren des Markraums in 1-mm-Schritten, bis Kortikaliskontakt im Isthmusbereich zu spüren ist; anschließend Aufbohren in 0,5-mm-Schritten. Zur Vermeidung hoher intramedullärer Drücke sowie von Hitzeschäden werden beim Aufbohren der Markhöhle scharfe Bohrköpfe unter möglichst wenig Druck verwendet. Am Femur wird 2,0 mm, an der Tibia 1,5 mm über den ISKD-Durchmesser aufgebohrt. Anschließend Spülung der Wunde, um Bohrmehl aus den Weichteilen zu entfernen.

Figure 8

Control of the longitudinal axis with the cable method.

For the determination of this axis we use the cable method [14]. With the knee in full extension, the patella pointing anteriorly, and the image intensifier in the proper sagittal plane, the center of the femoral head is determined and marked on the skin with a sterile pen. In the same fashion the center of the talar body is marked either on the skin or on the drape. The assistant tensions the electrocautery cable between both points. Centering the image intensifier over the knee allows to evaluate the mechanical axis.

Reaming.

The soft tissues at the entry point are protected with retractors. Drilling of the cortex at the entry site and insertion of a long, olive-tipped guide wire into the medullary canal. Advancing of the guide wire into the distal fragment taking care that its tip lies in the center of the medullary canal.

Reaming of the medullary canal with flexible reamers that are driven over the guide wire starting in general with a reamer head size 9. Enlarging of the medullary canal in 1-mm increments until contact with the cortex is felt at the area of the isthmus. Reaming is then continued in 0.5-mm increments. To avoid high intramedullary pressure as well as heat damage, cutting reamer heads must be used while applying as little force as possible. The diameter of the reamed canal must exceed 2 mm of the ISKD's diameter at the femur and 1.5 mm at the tibia. Irrigation of the wound to remove particles from reaming.

Abbildung 9

Einstellen des ISKD.

Der ISKD-Nagel weist eine Distraktionsstrecke von entweder 50 oder 80 mm auf. Vor dem Einbringen in den Markraum wird der gewählte ISKD-Nagel durch manuelle Rotationsbewegungen so weit distrahiert, dass nur noch die gewünschte Knochenverlängerung möglich ist. Ist z.B. eine Distraktion von 40 mm vorgesehen, wird ein ISKD-Nagel mit einer Distraktionsstrecke von 50 mm vor Implantation um 10 mm distrahiert.

Figure 9

Setting of the ISKD.

The ISKD nails have a maximal distraction of either 50 or 80 mm. Before inserting the chosen nail into the medullary canal, the desired lengthening has to be set by rotational movements. For example: if a distraction of 40 mm is planned, and the 50-mm nail is used, the nail must be lengthened by 10 mm.

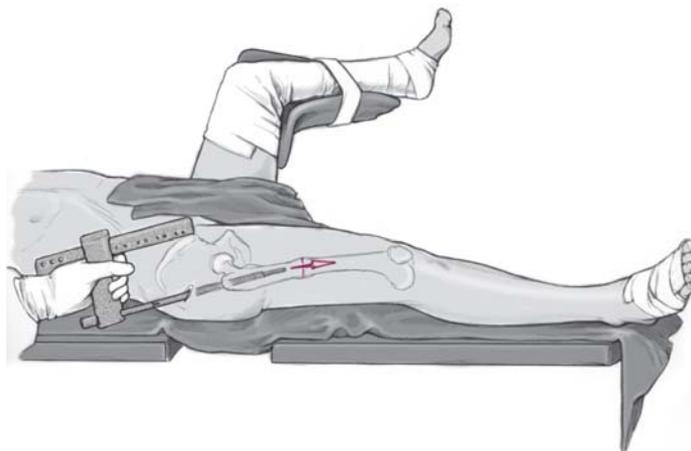


Abbildung 10

Einbringen des ISKD.

Der ISKD wird am Handgriff mit der Nagelhalteschraube befestigt, und diese wird fest angezogen. Der ISKD sollte manuell in den Markraum eingeführt werden, da Hammerschläge den Distraktionsmechanismus des Nagels schädigen können. Leichte Rotationsbewegungen können beim Einbringen des ISKD in den Markraum hilfreich sein. Mehrfache Rotationsbewegungen können jedoch über ein Auslösen des Distraktionsmechanismus zu einer geringen, unerwünschten Distraktion des Implantats führen. Kann der ISKD nicht ohne übermäßige Kraft in den Markraum eingebracht werden, ist der Markraum um 0,5 mm weiter aufzubohren, um den ISKD weitgehend spannungsfrei in den Markraum einzubringen. Erneute Kontrolle der Achsenverhältnisse sowie der Rotation.

Figure 10

Insertion of the ISKD.

The ISKD is mounted on the handle and fixed with a locking screw securely tightened. The ISKD must be inserted manually, as hammer blows can damage the ratchet mechanism. Slight, rotational movements can be of help. Repeated rotational movements, however, may activate the ratchet mechanism and lead to an undesired lengthening of the implant. If it is impossible to advance the nail without undue force, the medullary canal has to be enlarged by 0.5 mm allowing easy insertion of the nail. In this instance, the guide wire has to be inserted again and removed after drilling. Repeat axial alignment and rotation before reinserting the nail.

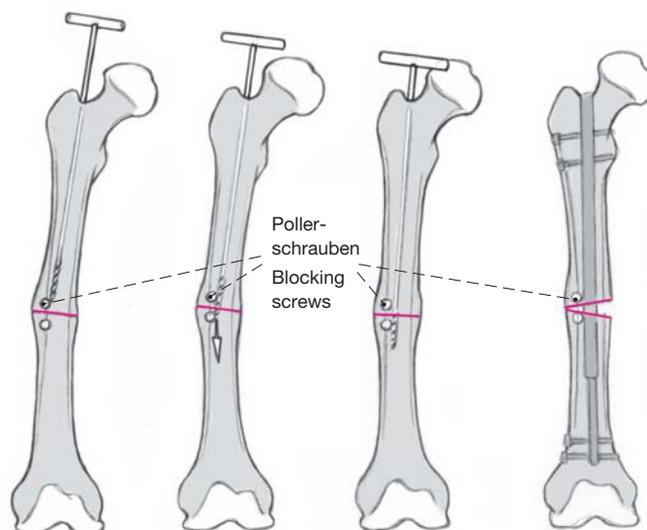


Abbildung 11

Pollerschrauben.

Pollerschrauben können die Position des implantierten ISKD korrigieren oder einen alten, falschen Nagelkanal blockieren, in den das Implantat sonst immer wieder zurückrutschen würde [15]. Unter einer geringen Überkorrektur werden Pollerschrauben unter Bildwandlerkontrolle bikortikal eingebracht, so dass eine Redislokation des ISKD in die vorherige Position verhindert wird. Bei leichten Achsenfehlstellungen kann das geringe Spiel des ISKD im Knochen für eine einzeitige, interne Korrektur mit Pollerschrauben genutzt werden. Als Pollerschrauben können Verriegelungsbolzen oder konventionelle Kortikalisschrauben verwendet werden.

Distale Verriegelung.

Beim Einführen des Nagels in den Markraum kann eine ungewollte Distraction im Osteotomiespalt entstehen. Der ISKD wird daher zuerst distal verriegelt, um bei einem zu großen Osteotomiespalt den Nagel mitsamt dem verriegelten distalen Fragment manuell zurückziehen und den Distraktionspalt reduzieren zu können. Zur distalen Verriegelung wird wie bei der herkömmlichen Technik der Verriegelungsnagelung die sog. Freihandtechnik angewendet. Die Löcher für die Verriegelungsbolzen werden mit einem 4,8-mm-Bohrer gebohrt, und die Verriegelungsbolzen werden eingeschraubt.

Kontrolle des Osteotomiespalts.

Vor der proximalen Verriegelung Überprüfung der Rotationsstellung anhand der Markierungsdrähte im proximalen und distalen Fragment. Röntgenkontrolle des Osteotomiespalts, der eine Weite von 1–2 mm haben sollte, um Rotationsbewegungen zwischen dem proximalen und distalen Fragment zu ermöglichen.

Figure 11

Poller (blocking) screws.

Blocking screws can be used to either correct the position of an inserted ISKD or to block a channel made by an incorrectly inserted nail thus preventing the nail to slide into the faulty position [15]. Using a slight axial overcorrection bicortical insertion of the blocking screws prevents the nail to engage in the wrong track. As the ISKD has a little play in the medullary canal, blocking screws can be used to remedy minor axial malalignments. Locking bolts or standard cortical screws can be used as blocking screws.

Distal locking.

An unintentional distraction of the osteotomy can occur during nail insertion. For this reason the ISKD is first locked distally permitting to pull back the distal femoral fragment with the nail thus reducing the osteotomy gap. Insertion of the locking bolts is done by the freehand technique. The holes for the locking bolts are drilled with a 4.8-mm drill bit and the bolts are inserted.

Control of the osteotomy gap.

Before inserting the proximal locking screws the rotation has to be checked using the two Kirschner wires as guides. Viewing of the osteotomy gap under image intensification. The gap should have a width of 1–2 mm to allow rotational movements between both fragments.

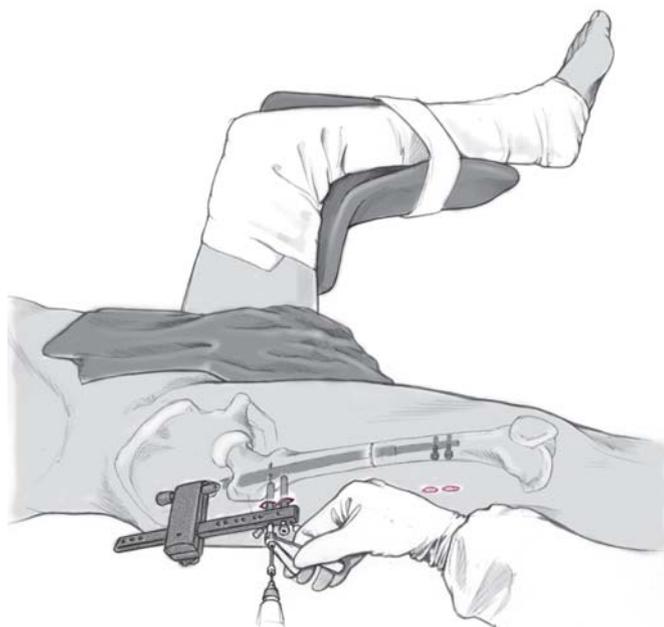


Abbildung 12

Proximale Verriegelung.

Zur proximalen Verriegelung wird die Führungsschiene in den Handgriff am proximalen Nagelende eingeschoben, bis eine entsprechende Markierung an der Führungsschiene eingestellt und arretiert ist. Die Bohrlöcher werden mit einem 4,8-mm-Bohrer gebohrt, und beide Verriegelungsbolzen werden eingebracht. Abschließende Röntgenkontrolle der korrekten Implantatlage in zwei Ebenen und Entfernung der Führungsschiene und des Handgriffs. Entfernung der Markierungsdrähte im proximalen und distalen Fragment. Sofern erforderlich, kann eine subfasziale Drainage in die proximale Wunde eingebracht werden. Wundverschluss und Anlage eines Wundverbands.

Figure 12

Proximal locking.

For proximal locking the femoral nail locking rod is slid into the handle until the corresponding gradation on the locking rod is set and then locked. The holes are drilled with a 4.8-mm drill bit and both locking bolts are inserted. Radiographic control in two planes to verify the proper implant position and removal of locking rod and handle. Removal of both Kirschner wires. If needed, drainage of the subfascial space of the proximal wound. Wound closure and dressing.

Abbildung 13

Intraoperative Kontrolle der Distraction des ISKD mit dem Monitor durch Drehbewegungen. Mit einem wasserfesten Stift wird auf der Haut die Stelle markiert, an der intraoperativ der Monitor in a.p. Ausrichtung das stärkste Magnetsignal empfängt. Diese Stelle entspricht dem distalen Anteil des internen Gewindestabs des ISKD.

Figure 13

Intraoperative control of the ratchet mechanism with the monitor while rotating the leg. A water-resistant pen is used to mark the spot on the skin where the monitor receives, in the AP plane, the strongest signal from the magnet that had been placed around the nail. This spot corresponds to the distal part of the inner threaded rod of the ISKD.



Postoperative Behandlung

- Elastisches Wickeln des Beins vom Mittelfuß bis zur Leiste.
- Mobilisation des Patienten ab dem 1. postoperativen Tag mit Teilbelastung von 15 kg an zwei Unterarmgehstützen.
- Zunehmende Mobilisation beim Femur-ISKD ab dem 3., beim Tibia-ISKD ab dem 5. postoperativen Tag mit dem Ziel einer täglichen Distraction von 1 mm.
- Der Monitor sendet tagsüber alle 3 h akustische Signale, um an die Monitormessungen zu erinnern. Zusätzlich sind Messungen bei besonderer körperlicher Aktivität durchzuführen, z.B. während der krankengymnastischen Übungsbehandlung. Alle Messungen des Patienten können ausgedruckt und so vom Arzt, Pflegepersonal oder auch Physiotherapeuten überprüft werden.
- Auf dem Display des Monitors werden jeweils die tägliche sowie die gesamte Distractionsstrecke angegeben. Bei unzureichender täglicher Verlängerung führt der Patient gezielte Rotationsbewegungen aus.
- Eine Distraction von 1 mm wird durch 160 Rotationen um 3° erreicht. Rotationen von bis zu 9° führen zu einer bis zu dreifach stärkeren Verlängerung. Ein Magnetpolwechsel wird bei einer halben Umdrehung des inneren Gewindestabs des ISKD registriert (entspricht 0,375 mm).
- Zur willkürlichen Distraction des Femur-ISKD gibt es mehrere Möglichkeiten. Beispielsweise kann der Patient Rotationsbewegungen im Sitzen durchführen, indem der Oberschenkel proximal manuell fixiert wird und der Unterschenkel in rascher Folge innen- und außenrotiert. Alternativ kann der Patient in Bauchlage bei gebeugtem Kniegelenk den Unterschenkel abwechselnd nach innen und außen drehen.
- Zur willkürlichen Distraction des Tibia-ISKD rotiert der Patient in sitzender Position bei fixiertem Kniegelenk den Fuß in rascher Folge abwechselnd nach innen und außen. Einige Patienten bevorzugen es, wenn eine andere Person diese Bewegungen durchführt.
- Wichtig für eine erfolgreiche Kallusdistraction ist die korrekte Handhabung des externen Monitors. Der Monitor ist bei den Messungen zu Beginn der Rotation in a.p. Richtung am Bein in Höhe der intraoperativen Markierung zu positionieren.
- Zunehmende Vollbelastung, sobald radiologisch eine Kortikalis durchbaut ist. Treten hierunter

Postoperative Management

- Tensor bandage from midfoot to groin.
- Patient allowed out of bed on day 1 using two forearm crutches and partial weight bearing of 15 kg.
- Increasing mobilization starting on day 3 for femoral ISKD and on day 5 for tibial ISKD with the goal to obtain a distraction of 1 mm/day.
- The monitor transmits acoustic signals every 3 h during the day to remind the patient to check the measurements. Additional measurements have to be taken when increased activities are performed such as after physiotherapy. All measurements can be printed out and submitted to physicians, nursing staff, and physiotherapists.
- The display on the monitor shows the daily and the entire amount of distraction. If the daily distraction is insufficient, the patient has to add rotational movements.
- 160 rotational movements are needed to obtain a 1-mm lengthening. Rotations of 9° increase the lengthening three times. A change in polarity of the magnet occurs during a half turn of the threaded inner rod (corresponds to 0.375 mm).
- To obtain additional distraction of the femoral ISKD, several possibilities exist. The patient can perform rotational movements while sitting; he holds the proximal part of the thigh with his hands and rotates the leg internally and externally in rapid sequences. Another possibility is internally and externally rotating the leg with the knee flexed and the patient in prone position.
- For added distraction of the tibial ISKD the sitting patient rotates the foot internally and externally while holding the knee. Some patients prefer to have this movement done by another person.
- Important for a successful distraction is the proper handling of the external monitor; it has to be placed always at the level of the intraoperatively marked spot on the skin.
- Increasing full weight bearing as soon as bony consolidation of one cortex is evident radiologically. If increase in weight bearing causes pain, it has to be reduced.
- Implant removal only in the presence of local symptoms.

Errors, Hazards, Complications

- Inadequate lengthening; checking of measurements on the monitor and the rotational movements done by the patient. Radiologic and sonographic controls of the amount of distraction. Premature callus mat-

Schmerzen auf, sollte die Belastungssteigerung zunächst zurückgestellt werden.

- Implantatentfernung nur bei lokalen Beschwerden.

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Unzureichende Verlängerung: Überprüfung der Messungen des Monitors und der Drehbewegungen des Patienten. Radiologische oder sonographische Kontrollen der Distraktionsstrecke. Radiologische Kontrolle einer vorzeitigen Kallusreifung oder inkompletten Osteotomie. Unzureichende Drehbewegungen aufgrund starker Schmerzen: Ausreichende orale Analgesie, ggf. Anlage eines Schmerzkatheters. Osteotomiespalt sollte postoperativ mindestens 1–2 mm betragen, da sonst die initialen Drehbewegungen sehr schmerzhaft sein können.
- Inkomplette Osteotomie: Exakte intraoperative Bildwandlerkontrolle der vollständigen Durchtrennung. Intraoperative Kontrolle der Funktion des implantierten ISKD mit steril eingepacktem Monitor. Sofern erforderlich, erneute Operation zur Komplettierung der Osteotomie mit einer Gigli-Säge oder einem Osteotom.
- Vorzeitige Konsolidierung: Erneute Osteotomie im Bereich der ehemaligen Osteotomie mit einer Gigli-Säge oder einem Osteotom. Prophylaxe einer vorzeitigen Konsolidierung bei rascher Kallusbildung durch eine Steigerung der Distraktionsgeschwindigkeit.
- Übermäßige Verlängerung: Erneute Aufklärung des Patienten, der angehalten wird, das Bein mehr zu entlasten und Bewegungen des Beins zu reduzieren. Bei zu schneller Distraktion der Tibia besteht die Möglichkeit, unerwünschte Drehbewegungen durch die Anlage eines Oberschenkelspaltgipsverbandes zu limitieren.
- Verzögerte oder ausbleibende Kallusregeneratbildung: Reduktion der Distraktionsgeschwindigkeit. Teilbelastung des Beins. Gegebenenfalls Anlage einer autogenen Spongiosaplastik.
- Fraktur des Femurschafts: Der ISKD ist ein gerades Implantat, das Femur hingegen besitzt eine Ante-kurvatur. Bei unzureichender Vorbereitung des Markraums besteht das Risiko einer Perforation der ventralen Femurschaftkortikalis. Gegebenenfalls komplementäre Osteosynthese bzw. Verfahrenswechsel auf Monorail-System oder Fixateur externe.
- Pulmonale Funktionsstörungen: Zur Prophylaxe wird die Osteotomie vor der Markraumborung ausgeführt und damit das Einschwemmen von Mark-

uration: radiographs will show a too early callus maturation and/or an incomplete osteotomy, caused by insufficient rotational movements due to strong pain: adequate oral analgesics; if necessary, epidural catheter. The width of the osteotomy gap must be at least 1–2 mm postoperatively, as otherwise the initial rotational movements can be very painful.

- Incomplete osteotomy: check complete separation with image intensifier intraoperatively. Intraoperative control of function of the implanted ISKD with a sterile enveloped monitor. If needed, revision to complete osteotomy with a Gigli saw or chisel.
- Too early bony consolidation: repeat osteotomy at the level of the original one with a Gigli saw or chisel. To prevent this complication, increase speed of distraction.
- Excessive lengthening: repeat instructions and request patient to reduce activities and weight bearing. For too rapid distraction of the tibia consider the possibility of limiting unwarranted rotational movements by a long-leg posterior plaster slab.
- Delayed or absent callus formation: reduce speed of distraction, partial weight bearing of leg, consider autogenous cancellous bone grafting.
- Fracture of the femoral diaphysis: whereas the ISKD is a straight implant, the femur is characterized by an anterior bowing. If the femoral canal is not sufficiently reamed, a risk of perforation of the anterior cortex exists. If necessary, add internal fixation or change to monorail system or external fixation.
- Impaired pulmonary function due to embolism: the prevention consists of performing the osteotomy before reaming, thus reducing the amount of reamed particles and fat entering the blood stream. Symptomatic treatment.
- Development of paresis: discontinue distraction, check need for nerve decompression such as decompression of the peroneal nerve at the fibular neck.
- Joint contracture: physiotherapy, muscle-stretching exercises, soft-tissue release.
- Joint subluxation: discontinue distraction, physiotherapy, if needed, soft-tissue surgery and/or articulated fixator.
- Jamming of the ISKD in the medullary canal: rotational movements under epidural anesthesia. If necessary, correct implant position.
- Nail bending or breakage, bolt breakage: exchange implant, if consolidation has not been achieved yet.
- Axial malalignment, leg length discrepancy: meticulous preoperative diagnosis and planning, strict in-

rauminhalt in die venöse Blutbahn beim Aufbohrvorgang reduziert. Symptomatische Therapie.

- Entwicklung einer Parese: Distraction unterbrechen, Indikation zur Nervendekompression überprüfen, z.B. Dekompression des Nervus peroneus am Fibulakopf.
- Gelenkkontraktur: Physiotherapie, Muskeldehnungsübungen, Weichteilrelease.
- Gelenksluxation: Distraction unterbrechen, Physiotherapie, ggf. Weichteiloperation und/oder Bewegungsfixateur.
- Verklemmung des ISKD in der Markhöhle: Drehbewegungen in Epiduralanästhesie, ggf. Korrektur der Implantatlage.
- Nagelverbiegung und -bruch, Bolzenbruch: Implantatwechsel, sofern Konsolidierung noch aussteht.
- Achsenfehler, Beinlängendifferenz: Exakte präoperative Diagnostik und Planung, exakte intraoperative Kontrolle, ggf. intra-/postoperative Korrektur. Bei Rotationsfehler frühzeitige Quantifizierung mittels CT, operative Korrektur mit Neuplatzierung der Verriegelungsbolzen.
- Oberflächlicher Wundinfekt: Wundabstrich, gezielte antibiotische Behandlung, ggf. Fadenentfernung.
- Tiefer Wundinfekt: Revision, Wundabstrich, Débridement, Spülung, gezielte antibiotische Behandlung.
- Osteitis: Revision, Spülung, ggf. Implantatentfernung und Markraumaufbohrung. Verfahrenswechsel, lokale Applikation von Antibiotika.

Ergebnisse

Nach Genehmigung der lokalen Ethikkommission wurde im Rahmen einer prospektiven Studie zwischen dem 16. und 30.07.2002 vier Patienten (drei Männer, eine Frau, Durchschnittsalter 29 Jahre [18–36 Jahre]) ein ISKD implantiert (Abbildungen 14a bis 14g und 15a bis 15d). Die Einschlusskriterien lauteten: Femur- oder Tibiaverkürzungen zwischen 20 und 80 mm, ein Mindestalter von 18 Jahren, eine ausreichende Patientencompliance sowie kein Hinweis auf eine Osteitis während der vergangenen 12 Monate. Ausschlusskriterien waren: Patienten, die das kontralaterale Bein nicht voll belasten konnten oder bei denen sich keine Osteotomie im proximalen oder mittleren Schaftdrittel durchführen ließ, ausgeprägte oder multilokuläre Fehlstellungen sowie systemische Knochenkrankungen.

Zwei Femora wiesen präoperativ kombinierte Deformitäten in der Frontalebene sowie der Rotation

traoperative control, if needed, intra-/postoperative correction. Quantify early rotational malalignment by CT, revision surgery and repositioning of the locking bolts.

- Superficial wound infections: swab for culture and sensitivity, specific antibiotic therapy, if needed, removal of stitches.
- Deep wound infections: revision, swab for culture and sensitivity, debridement, irrigation, specific antibiotic therapy.
- Osteomyelitis: revision, irrigation, consider implant removal and medullary reaming. Change of procedure and local application of antibiotics.

Results

Having obtained the consent of the local ethics committee, a prospective study inserting the ISKD was conducted in three men and one woman (average age 29 years [18–36 years]) between July 16 and July 30, 2002 (Figures 14a to 14g and 15a to 15d). The inclusion criteria were: femoral or tibial shortening between 20 and 80 mm, minimum age 18 years, satisfactory patient compliance, and no history of osteitis during the preceding 12 months. Exclusion criteria: impossibility to bear full weight on the opposite limb, impossibility to perform the osteotomy at the proximal or middle third of the shaft, marked or multifocal malposition, systemic bone diseases.

Preoperatively, an axial malalignment and malrotation were seen in the femur of two patients, one femur exhibited a slight valgus malalignment, and in the fourth patient a congenital tibial shortening had to be treated. The average lengthening amounted to 31 mm (26–40 mm), the average duration of surgery to 108 min (90–145 min), and the estimated intraoperative blood loss to 230 ml (100–320 ml). No intraoperative complication occurred. An additional surgery on the same limb was done in three patients (implant removal twice, once removal of osteophytes, once corrective tibial osteotomy and intramedullary rodding). The patients were allowed out of bed on day 1. Patients with femoral ISKD attempted a daily distraction of 1 mm starting on day 3 and the patient with the tibial ISKD on day 5. One patient needed oral analgesics during the first 3 days of distraction. None of the other patients requested administration of analgesics during the distraction phase. The obtained distraction was measured radiologically or sonographically and correlated with measurements of the monitor (agreement ± 1 mm) before discharge from hospital. Discharge from hospital at an average of 10 days (8–11 days).

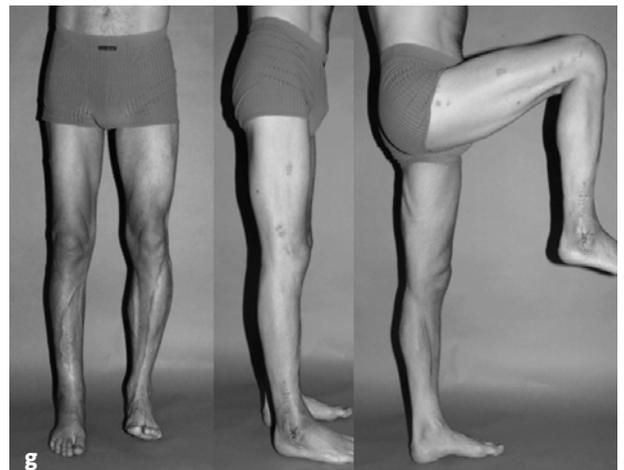


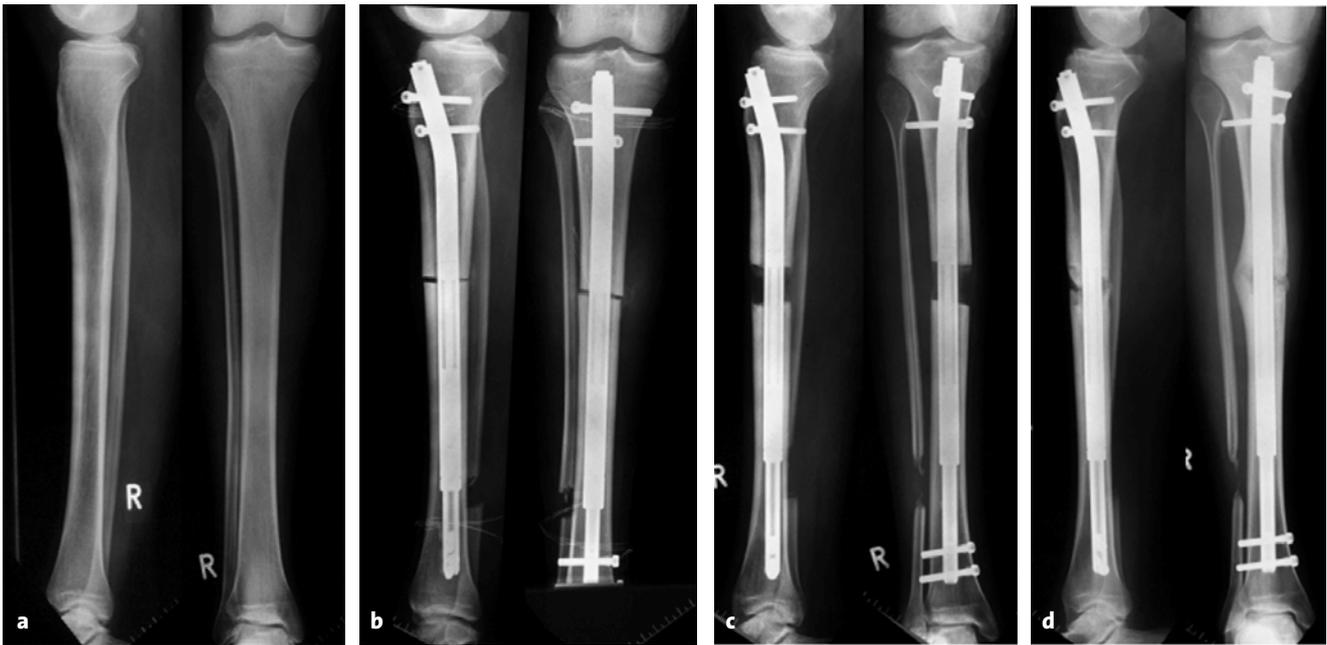
Abbildungen 14a bis 14g

- a) 36-jähriger Patient mit einer Femurverkürzung von 30 mm und 5° Valgusabweichung nach konservativ behandelter Femurschaftfraktur.
- b) Nach Femurschaftosteotomie und Markraumböhrung Implantation eines ISKD (Länge 300 mm, Durchmesser 12,5 mm). Distraction ab dem 3. postoperativen Tag mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,8 mm/Tag. Keine Analgetikaeinnahme während der Distractionsphase erforderlich; Entlassung nach insgesamt 9 Tagen.
- c) Kontrolle nach 4 Wochen bei abgeschlossener Distraction von 30 mm. Insert: Sonographisch nach 4 Wochen bereits deutliche Kallusbildung nachweisbar.
- d) 12 Wochen postoperativ vollständige Konsolidierung (Heilungsindex 1,8 Tage/mm).
- e) Präoperative Ganzbeinaufnahme.
- f) 12 Wochen postoperativ korrekte Beinachsen und Gelenkwinkel.
- g) Klinisches Ergebnis 6 Wochen nach der Operation unter Vollbelastung des rechten Beins. Minimal invasive Weichteilzugänge am rechten Oberschenkel.

Figures 14a to 14g

- a) Preoperative radiographs of a 36-year-old patient with a right 30-mm femoral shortening and a 5° valgus malalignment after a conservatively managed femoral fracture.
- b) After diaphyseal osteotomy and medullary reaming implantation of an ISKD (length 300 mm, diameter 12.5 mm). Distraction starting on day 3. Distraction index 1.8 mm/day. No need for analgesics. Discharge from hospital on day 9.
- c) Radiograph after 4 weeks when the distraction of 30 mm was reached. Inset: sonograph taken after 4 weeks showing already a marked callus formation.
- d) Complete consolidation 12 weeks postoperatively (consolidation index: 1.8 days/mm).
- e) Preoperative long-leg films.
- f) Radiographs taken 12 weeks postoperatively showing corrected leg axes and extension/flexion of hip and knee.
- g) Clinical result 6 weeks postoperatively when the patient was able to bear full weight on his right lower limb. Minimally invasive skin incision on the right thigh.





Abbildungen 15a bis 15d

- a) 18-jähriger Patient mit einer kongenitalen Beinverkürzung von 28 mm.
- b) Postoperative Röntgenbilder nach Implantation eines Tibia-ISKD (Länge 300 mm, Durchmesser 12,5 mm). Entlassung aus der stationären Behandlung 9 Tage nach der Operation.
- c) Nach 5 Wochen vollständige Distraction (Distractionsindex 1,0 mm/Tag), Vollbelastung nach 2 Monaten.
- d) Deutliche Durchbauung nach 9 Monaten (Heilungsindex 4,1 Tage/mm).

Figures 15a to 15d

- a) Radiographs of an 18-year-old patient with a 28-mm congenital shortening of the right tibia.
- b) Postoperative radiographs after implantation of a tibial ISKD (length 300 mm, diameter 12.5 mm). Discharge from hospital on day 9.
- c) Completed distraction after 5 weeks. Distraction index: 1.0 mm/day. Full weight bearing after 2 months.
- d) Radiographs showing a complete remodeling of the callus after 9 months (consolidation index: 4.1 days/mm).

auf, ein Femur eine geringe Valgusabweichung. Bei einem Patienten wurde eine kongenitale Tibiaverkürzung behandelt. Die vorgegebene Verlängerung betrug 31 mm (26–40 mm), die durchschnittliche Operationszeit 108 min (90–145 min) und der geschätzte intraoperative Blutverlust 230 ml (100–320 ml). Intraoperativ traten keine Komplikationen auf. Bei drei Patienten wurden zusätzliche Operationen an derselben Extremität durchgeführt (zwei Implantatentfernungen, eine Osteophytenabtragung, eine Umstellungsosteotomie der Tibia und Marknagelung). Die Mobilisation begann am 1. postoperativen Tag. Die Patienten mit einem Femur-ISKD strebten ab dem 3. postoperativen Tag eine tägliche Distraction von 1 mm an, der Patient mit dem Tibia-ISKD ab dem 5. postoperativen Tag. Ein Patient benötigte während der ersten 3 Distractionstage orale Analgetika (Tramadol). Die anderen Patienten nahmen keine Analgetika während der Distractionphase ein. Vor Entlas-

The planned lengthening was reached in all patients. Additional rotational movements were needed in three patients to obtain the planned daily distraction. The distraction index amounted to 1.2 mm/day (0.9–1.8 mm/day). The first signs of callus formation were observed sonographically at 18 days (12–25 days) after the start of distraction. Active knee flexion amounted to 126° (105–145°) preoperatively, to 107° (70–125°) at the end of distraction, and to 124° (105–140°) 9 months postoperatively. A transient extension lag of knee or ankle of 10° was seen in two patients during the phase of distraction. Full weight bearing was allowed after 10 weeks (7–14 weeks). The patients were able to return to work after 11 weeks (7–16 weeks).

Bony consolidation was observed after 80 days (51–111 days), the average consolidation index amounted to 2.9 days/mm (1.8–4.1 days/mm). At the time of follow-up after an average of 2.3 years the

sung aus der stationären Behandlung wurde die bisher erreichte Distraction radiologisch oder sonographisch mit den Messungen des Monitors korreliert, wobei sich eine Übereinstimmung von ± 1 mm zeigte. Die Entlassung aus der stationären Behandlung erfolgte nach insgesamt 10 Tagen (8–11 Tage).

Bei allen Patienten wurde exakt die geplante Verlängerung erzielt. Drei Patienten benötigten zwischenzeitlich gezielte Drehbewegungen zum Erreichen der vorgesehenen täglichen Distraction. Der Distaktionsindex betrug 1,2 mm/Tag (0,9–1,8 mm/Tag). Erste Kallusstrukturen ließen sich sonographisch 18 Tage (12–25 Tage) nach Distaktionsbeginn darstellen. Die maximale aktive Kniebeugung betrug präoperativ 126° (105 – 145°), nach Distaktionsende 107° (70 – 125°) und 9 Monate postoperativ 124° (105 – 140°). Bei zwei Patienten bestand temporär während der Distaktionsphase ein Extensionsdefizit von 10° am Kniegelenk bzw. oberen Sprunggelenk. Nach 10 Wochen (7–14 Wochen) wurde Vollbelastung gestattet. Arbeitsfähigkeit bestand nach 11 Wochen (7–16 Wochen).

Nach 80 Tagen (51–111 Tage) war das Kallusgewebe konsolidiert, der mittlere Heilungsindex betrug 2,9 Tage/mm (1,8–4,1 Tage/mm). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach 2,3 Jahren wurden anhand der Ganzbeinaufnahmen physiologische mechanische Beinachsen und normwertige Gelenkwinkel gemessen. Innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums wurden keine Infektionen, Implantatfehler oder andere Komplikationen beobachtet. Alle Patienten waren mit der Behandlung sowie dem Ergebnis sehr zufrieden. Nach dem Paley-Score erreichten alle Patienten ein exzellentes Ergebnis [19].

mechanical leg axis and the joint angles were measured on long-leg films. During the period of observation no infection, no implant failure, and no other complications were seen. All patients were very satisfied with the treatment and the result. Using the Paley Score all patients reached an excellent result [19].

Literatur – References

- Aldegheri R. Distraction osteogenesis for lengthening of the tibia in patients who have limb-length discrepancy or short stature. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:624–34.
- Baumann F, Harms J. The extension nail. A new method for lengthening of the femur and tibia. *Arch Orthop Unfallchir* 1977;90:139–46.
- Betz A, Baumgart R, Schweiberer L. First fully implantable intramedullary system for callus distraction – intramedullary nail with programmable drive for leg lengthening and segment displacement. Principles and initial clinical results. *Chirurg* 1990;61:605–9.
- Cole JD, Justin D, Kasparis T, et al. The Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD): first clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia. *Injury* 2001;32:Suppl 4:129–39.
- Dahl MT, Gulli B, Berg T. Complications of limb lengthening. A learning curve. *Clin Orthop* 1994;301:10–8.
- Danziger MB, Kumar A, DeWeese J. Fractures after femoral lengthening using the Ilizarov method. *J Pediatr Orthop* 1995;15:220–3.
- Faber FW, Keessen W, van Roermund PM. Complications of leg lengthening. 46 procedures in 28 patients. *Acta Orthop Scand* 1991;62:327–32.
- Garcia-Cimbrello E, Curto DIM, Garcia-Rey E, et al. The intramedullary elongation nail for femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84:971–7.
- Garcia-Cimbrello E, Olsen B, Ruiz-Yague M, et al. Ilizarov technique. Results and difficulties. *Clin Orthop* 1992;283:116–23.
- Götz J, Schellmann WD. Continuous lengthening of the femur with intramedullary stabilisation. *Arch Orthop Unfallchir* 1975;82:305–10.
- Guichet JM, Deromedis B, Donnay LT, et al. Gradual femoral lengthening with the Albizzia intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:838–48.
- Guichet JM, Grammont PM, Trouilloud P. A nail for progressive lengthening. An animal experiment with a 2-year follow-up. *Chirurgie* 1992;118:405–10.
- Herzenberg JE, Scheufele LL, Paley D, et al. Knee range of motion in isolated femoral lengthening. *Clin Orthop* 1994;301:49–54.
- Krettek C, Miclau T, Grun O, et al. Intraoperative control of axes, rotation and length in femoral and tibial fractures. Technical note. *Injury* 1998;29:Suppl 3:29–39.

15. Krettek C, Stephan C, Schandelmaier P, et al. The use of Poller screws as blocking screws in stabilising tibial fractures treated with small diameter intramedullary nails. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:963–8.
16. Noonan KJ, Leyes M, Forriol F, et al. Distraction osteogenesis of the lower extremity with use of monolateral external fixation. A study of two hundred and sixty-one femora and tibiae. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:793–806.
17. Oedekoven G, Jansen D, Raschke M, et al. The monorail system – bone segment transport over unreamed interlocking nails. *Chirurg* 1996;67:1069–79.
18. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 1990;250:81–104.
19. Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, et al. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Am* 1997;79:1464–80.
20. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, et al. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am* 1994;25:425–65.
21. Raschke MJ, Mann JW, Oedekoven G, et al. Segmental transport after unreamed intramedullary nailing. Preliminary report of a “monorail” system. *Clin Orthop* 1992;282:233–40.
22. Schöllner D. New possibilities in the surgical lengthening of the femur. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1972;110:971–4.
23. Simpson AH, Cole AS, Kenwright J. Leg lengthening over an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:1041–5.
24. Simpson AH, Kenwright J. Fracture after distraction osteogenesis. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:659–65.
25. Tjernstrom B, Olerud S, Rehnberg L. Limb lengthening by callus distraction. Complications in 53 cases operated 1980–1991. *Acta Orthop Scand* 1994;65:447–55.
26. Witt AN, Jager M. Results of animal experiments with an implantable femur distractor for operative leg lengthening. *Arch Orthop Unfallchir* 1977;88:273–9.
27. Young N, Bell DF, Anthony A. Pediatric pain patterns during Ilizarov treatment of limb length discrepancy and angular deformity. *J Pediatr Orthop* 1994;14:352–7.

Korrespondenzanschrift – Address for Correspondence

Dr. Stefan Hankemeier
Unfallchirurgische Klinik
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Straße 1
D-30625 Hannover
Telefon (+49/511) 532-2026, Fax -5877
E-Mail: hankemeier.stefan@mh-hannover.de