

R. E. Rosenberger¹ · R. J. Bale² · C. Fink¹ · M. Rieger² · M. Reichkendl¹ · W. Hackl¹
K. P. Benedetto¹ · K.-H. Künzel³ · C. Hoser¹

¹ Universitätsklinik für Unfallchirurgie, Innsbruck · ² Universitätsklinik für Radiodiagnostik I, interdisziplinäres stereotaktisches interventionelles Planungslabor (SIP Lab), Innsbruck

³ Anatomisches Institut der Universität Innsbruck

Computerassistierte Zielbohrungen an der unteren Extremität

Technik und Indikationen

Zusammenfassung

Navigationstechnisches Operieren stellt für Chirurgen eine neue und interessante Herausforderung dar. Es ist jedoch zu beachten, dass diese neuen Techniken a) nicht einem Selbstzweck dienen, b) dem Patienten keinen zusätzlichen Schaden bringen und c) deshalb nur dort eingesetzt werden, wo sie eine effiziente Lösungsmöglichkeit von bisher problematischen oder ungenauen Operationschritten bringen können.

Die vorliegende Studie zeigt, dass mit einer nichtinvasiven Fixierungsmethode (FISCOFIX-Schale) Herdlokalisationen zwischen Sprunggelenk und Kniegelenk unter Navigationskontrolle exakt registriert und gezielt therapiert werden können. Dies ist aufgrund der schwierigen Erreichbarkeit von Läsionen v. a. in den hinteren Anteilen der Talusrolle von Vorteil gegenüber der arthroskopischen Therapie und transmalleolaren Zugang. Bei allen Patienten konnte durch die perkutane retrograde Bohrkanallegung (vgl. [6, 7, 9, 15, 20, 21]) der Gelenkknorpelüberzug geschont werden. Am Kniegelenk sehen wir den Wert dieser Methode bei komplexeren Problemen (vgl. [12, 13]) mit der Notwendigkeit, genaue Bohrungen zu setzen.

Schlüsselwörter

3D-Navigation · Rahmenlose Stereotaxie · Computergestützte Chirurgie · Osteochondrosis dissecans · Vordere Kreuzbandplastik

Durch eine Reihe von bildgebenden Verfahren ist es heutzutage möglich, beinahe jede anatomische Struktur zwei- und dreidimensional zu visualisieren, wodurch die Qualität der Diagnose und der Planung von operativen Eingriffen in der Unfallchirurgie entscheidend verbessert wird. Dieser hohen präoperativen Informationsdichte stehen im Allgemeinen eher bescheidene intraoperative Möglichkeiten der Bildgebung wie z. B. das Fluoroskop gegenüber.

Eine Alternative bietet die interaktive zwei- oder dreidimensionale Darstellung anatomischer Strukturen durch die Verwendung computerunterstützter Navigationssysteme. Das vom Rechner generierte 3D-Patientenmodell unterstützt präoperativ [22] den Chirurgen in der Diagnose und Indikationsstellung. Intraoperativ ermöglicht die computerunterstützte Navigation die interaktive Zielpunktelektion und die Anzeige der aktuellen Instrumentenposition am präoperativ erfassten Bilddatensatz. Der logistische Aufwand für die Anwendung von Navigationssystemen im OP ist allerdings beträchtlich und führt in vielen Fällen zu einer Verlängerung der Operationszeit.

Für die Anwendung computerunterstützter Navigationssysteme in der Unfallchirurgie und in der Orthopädie kommen Registrierungsverfahren mit invasiven und mit nichtinvasiven Methoden zum Einsatz. Die invasiven Me-

thoden mit Schrauben oder Pins im Knochen [16] gewährleisten eine hohe Genauigkeit, haben jedoch den zusätzlichen operativen Eingriff für die Implantation der Marker mit erhöhtem Infektionsrisiko und häufig angegeben postoperativen Schmerzen zum Nachteil. Zur Umgehung dieser Nachteile kommen Neu- und Weiterentwicklungen nichtinvasiver Methoden zum klinischen Einsatz. Die Verwendung von anatomischen Landmarken, Oberflächenstrukturen oder aufklebbaren Hautmarkern erbringen jedoch nicht die gewünschte Präzision [17, 18, 19]. Während für den Kopfbereich eine reproduzierbare nichtinvasive Fixation durch die Entwicklung eines speziellen Mundstückes (VBH Mundstück) ideal gelöst werden konnte, besteht diesbezüglich für die Extremitätenchirurgie keine zufriedenstellende Lösung [2, 3, 4].

In dieser Studie haben wir uns deshalb folgende Ziele gesetzt:

1. Entwicklung einer nichtinvasiven reproduzierbaren (OSG und Kniegelenk) Immobilisationsmethode des Patienten für Bilddatenaquisition und operativen Eingriff.

Dr. Ralf Ernst Rosenberger
Universitätsklinik für Unfallchirurgie
Innsbruck, Anichstraße 35, 6020 Innsbruck,
Österreich

R. E. Rosenberger · R. J. Bale · C. Fink
M. Rieger · M. Reichkender · W. Hackl
K. P. Benedetto · K.-H. Künzel · C. Hoser

Computer-guided drilling in the lower extremity. Technique and indications

Abstract

Computer assisted navigation-based surgery is a novel and interesting challenge for today's surgeons. One must however keep in mind, that the indications for these techniques (a) should be carefully considered, (b) used only if morbidity is not increased and (c) when previously problematic or inaccurate surgical methods can be improved upon.

This study reports that, using a non-invasive fixation method (FISCOFIX-Cast), lesions between the ankle- and knee- joints can be precisely localized, registered and treated. Due to the difficult access to lesions especially in the posterior areas of the talus, using conventional arthroscopic methods this procedure is very useful. Percutaneous retrograde drilling (cf. [6, 7, 9, 15, 20, 21]) spared the joint's cartilage in all cases. At the level of the knee joint we see the usefulness of this method for complex situations (cf. [12, 13]) requiring precise drilling.

Keywords

3D-Navigation · Frameless stereotactic targeting · Computer assisted surgery · Osteochondritis dissecans · Anterior cruciate ligament reconstruction

Tabelle 1

Das Konzept des stereotaktischen interventionellen Planungslabors (SIP Lab) Innsbruck beinhaltet die Beschränkung des Navigationssystemeinsatzes auf die präoperative Phase

Präoperative Phase

1. Anfertigung einer nichtinvasiven repositionierbaren Immobilisationsvorrichtung
2. Bildgebung (CT)
3. Planung
4. Registrierung
5. Justieren der Zielvorrichtung

Intraoperative Phase

6. Anbohrung

Originalien

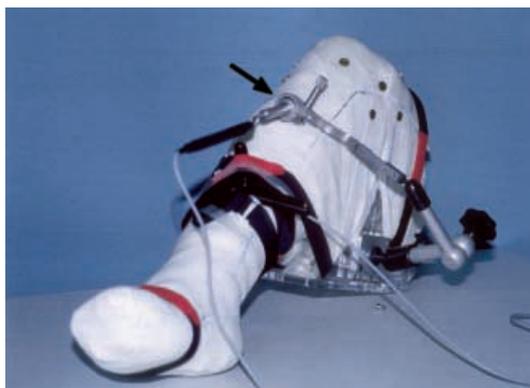


Abb. 1 ◀ Geschlossene FISCOFIX-Schale mit arretierter Zielvorrichtung (Pfeil) und nichtinvasiven Referenzpunkten an der Schalenoberfläche



Abb. 2 ◀ CT-Bilddatenerstellung: Die untere Extremität des Patienten wird reversibel immobilisiert

2. Beschränkung des Navigationssystemeinsatzes auf die präoperative Planung von Bohrungen und Adjustierung einer Zielvorrichtung im stereotaktischen interventionellen Planungslabor (SIP Lab, Innsbruck).

Diese Ziele sind wesentliche Bausteine für das Konzept des stereotaktischen interventionellen Planungslabors; eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit wird vorausgesetzt (Tabelle 1).

Material und Methodik

Die Genauigkeit von Bohrstiftsetzungen wurde vorerst an Talus und Kniegelenk im Leichenversuch evaluiert. Im Weiteren wird die klinische Anwendung dargestellt.

Nichtinvasive Immobilisation und Repositionierung der unteren Extremität

Fiberglas-/ Scotchcast-Fixationstechnik (FISCOFIX-Schale)

Diese nichtinvasive Fixationsvorrichtung basiert auf einem individuell angepassten Kernelement, einem in Polyurethanharz getränkten elastischen Fi-

berglasgewebe (STS Copy-Sock, Götz GmbH & Co, Göppingen, Deutschland). Der STS Copy-Sock wird wie ein Strumpf über den Fuß gezogen. Während der Aushärtungszeit wird der Fuß in 10° Plantarflexion gehalten und das Fiberglasgewebe exakt anmodelliert. Das nach 5 min ausgehärtete Gewebe wird zehnwärts bis auf Höhe der Lisfranc-Gelenklinie gespalten, das Modell kann abgenommen und der Patient entlassen werden.

Das Modell wird an der Außenseite mit mehreren Lagen Scotchcast (3 M Health Care, St. Paul, MN, USA) versteift und ein Plexiglassconnector angewickelt. Der Plexiglassconnector hält durch normierte Steck- und Schraubverbindungen die FISCOFIX-Schale an einer (Kohlefaser-)Basisplatte in einer eindeutig definierten Position. Nach Aushärtung des Scotchcastmaterials wird die Schale mit einer oszillierenden Säge in 2 Hälften geteilt.

Im nächsten Schritt werden 6–10 strahlendichte Marker (Philips Medical Systems, Best, Niederlande) 10 cm proximal und distal des Läsionsbereichs asymmetrisch auf die Schalenoberfläche geklebt. Der Zeitaufwand für die individuelle Anpassung der FISCOFIX-Schale an Fuß und Unterschenkel beträgt 30 min.

Die beiden Schalenhälften werden während der Bilddatenakquisition und der operativen Phase mit Klettverschlussbändern am Patient sowie während des Registrierungs- und Navigationsverfahrens im SIP Labor (ohne Patient) aneinander fixiert. Die FISCOFIX-Schale dient einerseits der reproduzierbaren Fixation des Fuß-Unterschenkel-(Knie-)Bereichs und ermöglicht andererseits die Fixation der zur Registrierung benötigten Referenzpunkte (Abb. 1).

Evaluierung der Repositionierungsgenauigkeit der FISCOFIX-Schale

Um die Repositionierungsgenauigkeit der FISCOFIX-Schale in Relation zu anatomischen Strukturen zu bestimmen, wurden in 5 Leichenpräparaten Titanstifte platziert. Jedem Leichenpräparat wurde eine individuelle FISCOFIX-Schale angepasst. Die Titanstifte sollen bei jeder Reposition des Präparats in die Schale die gleiche Position im Raum relativ zu den an der Schalenoberfläche angebrachten Referenzpunkte einnehmen. Nur wenn dies gewährleistet ist, können die an die Oberfläche der FISCOFIX-Schale geklebten Marker als Referenzpunkte zur fehlerfreien Patientenregistrierung herangezogen werden. Die Präparate wurden insgesamt 25-mal repositioniert und Computertomographien angefertigt. Die erhaltenen CT-Datensätze wurden anschließend auf das Zeiss-Navigationssystem (C. Zeiss, Oberkochen, Deutschland) transferiert und mittels Image-Fusion-Software verglichen.

Bildgebung (CT)

Für die Erstellung des CT-Bilddatensatzes wird die untere Extremität des Patienten in der FISCOFIX-Schale positioniert (Abb. 2). Die CT-Untersuchung wird nach einem speziellen 3D-Fuß-Unterschenkel-Knie-Protokoll (1,25 mm HQ Multi Slice CT; Tischvorschub 3,75 mm; Untersuchungsmodus: Spiral-CT, 0° „gantry tilt“, 512×512-Matrix, 24 cm DFOV) durchgeführt, hierfür wurde ein General Electric HiSpeed Advantage Scanner (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, USA) verwendet. Über das lokale Netzwerk erfolgt der Bilddatensatztransfer online auf das im SIP Lab stationierte Navigationssystem.

3D-Rekonstruktion und Planung des Pfades

Für diese Studie wurden 3 auf einem optischen Positionenmesssystem (OPMS) basierende Navigationssysteme – Easy Guide (Philips Medical Systems Netherlands BV, Best, NL), StealthStation (Sofamor Danek, Memphis, TN, USA), STN Navigationssystem (C. Zeiss, Jena, Deutschland) – verwendet. Für ausführliche Beschreibungen der Funktionsweise von Navigationssystemen wird auf die Literatur verwiesen [19, 22]. Zur Operationsplanung können Schnittbilder der koronaren, sagittalen und axialen Hauptachse und ein rotierbares 3D-Objekt herangezogen werden. Die bis zu 400% Bildvergrößerung und die Darstellung in 3 Schnittebenen ermöglicht eine exakte Definition von Ziel- und Eintrittspunkt der geplanten Bohrung (Abb. 3).

Registrierung

Im stereotaktischen Planungslabor wird in Abwesenheit des Patienten die geschlossene FISCOFIX-Schale an der (Kohlefaser-)Basisplatte in definierter Position repositioniert. Im anschließenden Registrierungsverfahren wird der Bilddatensatz des Patienten mit der FISCOFIX-Schale durch Definierung der „virtuellen“ Marker am Bilddatensatz mittels Fadenkreuz und der Ansteuerung der korrespondierenden „realen“ Marker an der Schalenoberfläche mittels der Sonde des Navigationssystems abgestimmt.

Justieren der Zielvorrichtung

Zielvorrichtung

Für den Zielvorgang wurde die in Zusammenarbeit zwischen dem SIP Lab Innsbruck und Philips Medical Systems Inc. entwickelte Easy-Taxis-Zielvorrichtung [8] (Philips Medical Systems Nederland BV, Best, Niederlande) verwendet (Abb. 4). Das zentrale Element der Easy-Taxis-Zielvorrichtung, ist eine ringförmig gefasste, frei bewegliche Metallkugel mit einem zentralen Kanal zur Aufnahme verschiedener Führungshülsen. Die Metallkugel ist durch eine Feststellschraube fixierbar. Diese Kugel ist am freien Ende eines arretierbaren hydraulischen Armes mit 6 Freiheitsgraden montiert, der an die Kohlefaserbasisplatte reproduzierbar in einer definierten Position fixiert werden kann. Dadurch wird die Zielvorrichtung immer wieder in gleicher Relation zur FISCOFIX-Schale bzw. zum Fuß-Unterschenkel-Knie-Bereich repositioniert.

In Abwesenheit des Patienten wird die Zielvorrichtung im stereotaktischen Raum so arretiert, dass der Bohrstift an den vorgeplanten Zielpunkt entlang des geplanten Pfades geführt werden kann. Abschließend wird die Länge der Bohrung vom Navigationssystem errechnet. Dieser Schritt wird im Falle mehrerer geplanter Bohrungen mit weiteren Zielvorrichtungen wiederholt. Intraoperativ werden dem jeweiligen Operationsschritt entsprechend die arretierten Zielvorrichtungen gewechselt.

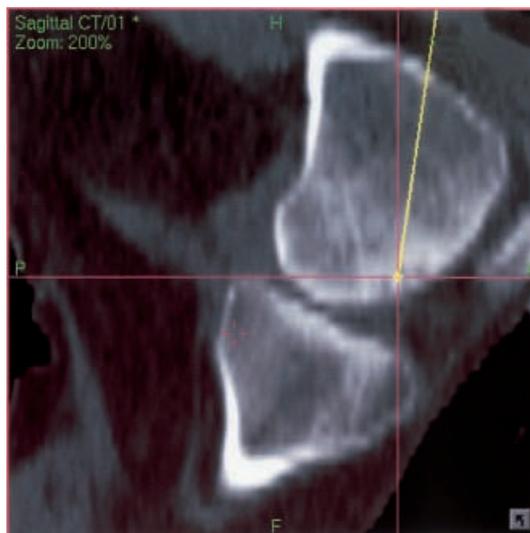


Abb. 3 ◀ Zielpunktdefinition am sagittalen Schnittbild nach 3D-Rekonstruktion des CT-Bilddatensatzes durch das Navigationssystem; Vergr. 200:1

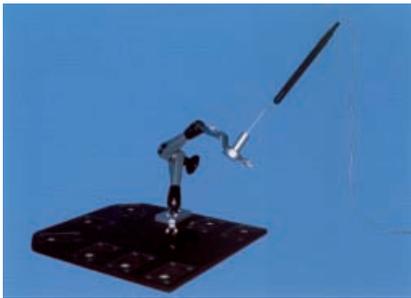


Abb. 4 ▲ Easy-Taxis-Zielvorrichtung



Abb. 5 ▲ Justierung der Zielvorrichtung mit Unterstützung des Navigationssystems

Ablauf des Zielvorgangs

Eine Sonde wird durch die Verwendung einer inkomplett gebohrten Führungshülse im geometrischen Zentrum der Metallkugel platziert. Mit Hilfe der Navigationssoftware wird im ersten Schritt ein Punkt in der gedachten Verlängerung des geplanten Operationspfades im stereotaktischen Raum aufgesucht. Nach Arretierung des mechanischen Arms wird die Sonde im Kugelgelenk der Zielvorrichtung rotiert, bis ihre longitudinale Achse mit der Achse des geplanten Operationspfades übereinstimmt. Dann wird auch das Kugelgelenk arretiert (Abb. 5).

Im Bereich des vorgeplanten Eintrittspunkts wird von der Schale ein Areal von 3 cm im Durchmesser ausgefräst, um beim fixierten Patienten intraoperativ die Hautoberfläche erreichen zu können. Die arretierte Zielvorrichtung sowie die FISCOFIX-Schale werden demontiert und zusammen mit der Basisplatte, den Montageschrauben sowie den Klettverschlussbändern gassterilisiert.

Bohrung

Vor Einleitung der Vollnarkose wird die untere Extremität des Patienten, unter sterilen Bedingungen, in der FISCOFIX-Schale repositioniert. Die FISCOFIX-Schale und die vorjustierte Zielvorrichtung werden an der Basisplatte befestigt und so die eindeutige Verbindung wiederhergestellt (Abb. 6).

Der Bohrstift wird dem errechneten Abstand „Zielvorrichtung–Zielpunkt“ entsprechend in das Jacob-Futter eingespannt. Dadurch wird eine zu tiefe Bohrung durch mechanischen Anschlag des Futters an der Zielvorrichtung verhindert. Nach Vorbohren wird der Stift aus dem Bohrer ausgespannt und in seiner Position belassen, die Zielvorrichtung demontiert. Unter Anwendung einer Parallelbohrhülse können nun mehrere Stifte fluoroskopisch kontrolliert eingebracht werden (Abb. 7).

In den bisher durchgeführten klinischen Fällen am OSG und Kniegelenk wurde anschließend eine Arthroskopie durchgeführt, um evtl. vorhandene lose Knorpelfragmente zu entfernen und die korrekte Bohrstiftlage von intraartikulär zu verifizieren.

Patienten

In der Zeit von Dezember 1998 bis September 2000 wurden an unserer Abteilung 11 computerassistierte Bohrungen an der nichtinvasiv fixierten unteren Extremität durchgeführt.

Die Indikation für den Einsatz eines Navigationssystems waren bei 7 Patienten eine Osteochondrosis dissecans tali [5, 6], bei einem Patienten eine Osteochondrosis dissecans mit disseminierten Läsionen im medialen und lateralen Femurkondylus. Weitere Indikationen waren eine Biopsieentnahme aus der Tibia, eine tibiale und femorale Bohrkanalsetzung im Rahmen einer vorderen Kreuzbandplastikoperation und eine tibiale und femorale Bohrkanalsetzung bei der Revision einer vorderen Kreuzbandplastik.

Evaluierung der Genauigkeit der Zielbohrungen

Zur Evaluierung der Genauigkeit von 3D-navigierten Zielbohrungen, wurde an 16 Leichenpräparaten der gesamte Operationsablauf simuliert. Um am 3D-

Rekonstrukt des CT-Bilddatensatzes einen exakt definierbaren Zielpunkt vorzufinden, der auch am anschließend freigelegten anatomischen Präparat in derselben Position auffindbar ist, wurden in Leichenmaterial (Unterschenkel–Fuß) kurze Titanstifte im Knochengewebe verankert. Die Abweichung der Bohrstiftspitze von eindeutig definierbaren Punkten im Talus (10 Präparate) bzw. in der Area intercondylaris anterior tibiae und Innenfläche des Condylus lateralis femoris (6 Präparate) war nach anatomischer Freilegung des Bohrstiftes messbar.

Ergebnisse

Repositionierungsgenauigkeit der FISCOFIX-Schale im Leichenversuch

Die repositionsbedingte Abweichung betrug für definierte Punkte im Malleolus medialis tibiae, Collum tali, Tuber calcanei, und Os naviculare zwischen 0,3 mm ($\pm 0,2$ mm) und 0,4 mm ($\pm 0,3$ mm) im Mittelwert. Kaudal des Tarsus nahm die repositionsbedingte Abweichung deutlich zu: Caput ossis metatarsalis I 1,1 mm ($\pm 0,6$ mm) im Mittelwert. Im Kniegelenkbereich zeigte sich der tibiale Anteil mit einer Abweichung von 0,5 mm ($\pm 0,4$ mm) besser repositionierbar als der femorale Anteil mit 0,6 mm ($\pm 0,3$ mm).

Genauigkeit der Zielbohrungen im Leichenversuch

Die 10 talaren Zielbohrungen erreichten den geplanten Zielpunkt 1,0–3,5 mm genau bei einer durchschnittlichen Abweichung von 2,1 mm ($\pm 1,0$ mm); bei den je 6 tibialen und femoralen Zielbohrungen im Kniegelenk konnte die Bohrstiftspitze an den geplanten Zielpunkt mit einer Abweichung von 0,5–3,0 mm (MW 1,6 \pm 0,8 mm) tibial und 1,0–3,5 mm (MW 1,8 \pm 0,9 mm) femoral herangeführt werden.

Genauigkeit der Zielbohrungen in der klinischen Anwendung

Osteochondrosis dissecans tali

An den 7 Patienten konnte die Spitze des jeweils ersten Bohrstifts, bei perkutanem retrogradem Zugang von lateral, mit einer Genauigkeit von 1,0 mm, 1,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, 3,0 mm, 3,5 mm

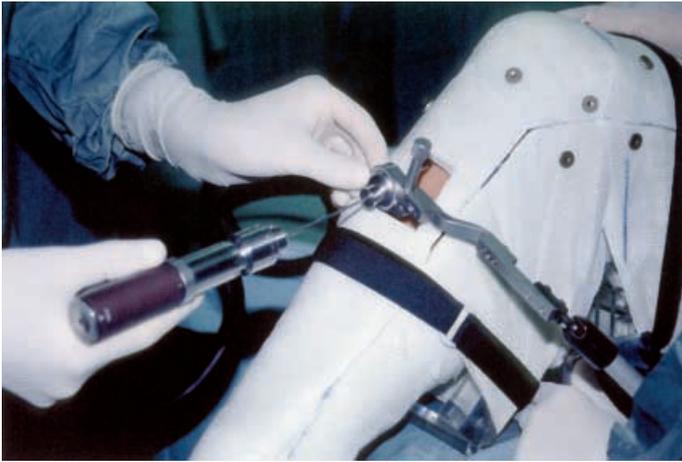


Abb. 6 ◀ Die arretierte Zielvorrichtung gibt die geplante Achse des Bohrkannals vor. Der Bohrstift wird entsprechend dem errechneten Abstand zum Zielpunkt in das Jacob-Futter eingespannt

und 4,0 mm (MW $2,5 \text{ mm} \pm 1,2 \text{ mm}$) platziert werden. In allen Fällen zeigte die Bohrkannalachse einen zentrumnahen Verlauf. Für die anschließenden Parallelbohrungen wurde der primärimplantierte Bohrstift als Drehachse verwendet. Dadurch konnte mit Unterstützung des Fluoroskops die Läsion multipel gebohrt werden. Die arthroskopische Kontrolle bestätigte, dass kein Stift den talaren Knorpelüberzug verletzte. Für die Indikationsstellung „Osteochondrosis dissecans tali“ [2, 11] wird an unserer Abteilung im Vergleich zu herkömmlichen operativen Therapien eine Reduktion der Operationszeit von ca. 30 min erreicht.

Biopsatentnahme aus dem distalen Tibiaschaft

An einem Patienten wurde ein Bohrstift als Leitstruktur für eine 6 mm Hohlfräse im Läsionszentrum (Läsionsgröße $2 \times 3 \text{ mm}$) implantiert. Die fluoroskopische Kontrolle bestätigte die Bohrstiftachse im Läsionszentrum, die histologische Untersuchung und das postoperative CT zeigte die vollständige zylinderförmige Biopsatentnahme im Gesunden.

Kreuzbandplastik: femorale und tibiale Bohrkannalsetzung

Die femorale Bohrstiftsetzung konnte am ersten Patienten direkt für die Anlage des 9-mm-Bohrkanals zur Aufnahme des Kreuzbandtransplantats verwendet werden. Beim zweiten Patienten (Revisionsoperation) wurde eine Parallelbohrung 3 mm weiter dorsal angelegt. An der tibialen Seite wurde am ersten Patienten eine Parallelbohrung 3 mm dorsal ange-

legt. Am zweiten Patienten lag der Bohrstift im bereits vorhandenen Bohrkannal, der eine korrekte Lage aufwies. Die Bohrstiftlagen für die Kreuzbandplastik wurden arthroskopisch kontrolliert.

Osteochondrosis dissecans femoris

An der medialen Seite kam der Stift exakt im Läsionszentrum zu liegen. Lateral musste die Bohrung fluoroskopisch kontrolliert wiederholt werden, da der Stift an der Kortikalis abglitt und nicht den Zielpunkt erreichte. Mehrere Parallelbohrungen wurden anschließend mit der Parallelbohrhülse durchgeführt (Abb. 8).

Diskussion

Für eine Vielzahl von orthopädischen Eingriffen ist der Einsatz des Fluoroskops etabliert. Vorteilhaft erweist sich die Möglichkeit einer dynamischen Bildfolge, verbunden mit einer einfachen intraoperativen Handhabung. Die exakte Lokalisierung einer Osteochondrose in frühen Stadien oder sonstiger Knochenläsionen ist jedoch häufig aufgrund der limitierten Auflösung und des Fehlens der dritten Dimension der fluoroskopischen Bilder schwierig. Fehlbohrungen können die Folge sein.

Computerunterstützte stereotaktische Navigationssysteme ermöglichen, verbunden mit der nichtinvasiven FISCOFIX-Schale, eine präoperative interaktive Visualisierung der Instrumentenposition in Relation zum erstellten Datensatz und damit die Justierung der Philips-Easy-Taxis-Zielvorrichtung entsprechend der Operationsplanung. Der Einsatz des Navigationssystems im Operationssaal ist bei der in dieser Studie

beschriebenen Methode damit nicht notwendig. Der Zeitaufwand während der Operationszeit für eine gezielte Bohrung und die Strahlenbelastung durch das Fluoroskop wird deutlich reduziert.

Die Übertragbarkeit eines Patientendatensatzes auf den realen Patienten ist dabei von mehreren Faktoren wie Patientenfixation, Bilddatenrekonstruktion, Instrumentenkalibrierung, Bilddaten- und Patientenregistrierung abhängig. Die In-vitro-Genauigkeit optischer Navigationssysteme liegt bei $0,4\text{--}0,6 \text{ mm}$, die jedoch nur unter optimalen Bedingungen [19] auf den Patienten übertragbar ist [18]. Optische (IR) Lokalisatorsysteme zur Erfassung der Position des Patienten sind sowohl in der Neurochirurgie, als auch in der HNO und Orthopädie zur Zeit das Mittel der Wahl.

Um die bereits beschriebenen Nachteile von invasiven Markern zu umgehen wurde eine nichtinvasive reproduzierbare Immobilisation für die untere Extremität entwickelt. Die FISCOFIX-Schale ist eine rigide nichtinvasive Konstruktion. Bei Wiederverwendung des Adapters beträgt der Materialkostenaufwand in etwa $180,- \text{ EUR}$ pro Patient. Die verwendeten Materialien produzieren sowohl bei der CT-Untersuchung als auch bei MR-Aufnahmen keine Artefakte. Die Herstellung einer individuell angepassten FISCOFIX-Schale mit integriertem Adapter benötigt ca. 30 min. Für den Patienten betrug der Zeitaufwand 10 min, danach konnte er bis zur CT-Bilddatenaquisition entlassen werden. Die Anpassung der Schale stellt für den Patienten keine weitere Belastung dar. Der intraoperative Zeitaufwand für das Anlegen



Abb. 7 ▲ Lokalisation der Bohrstiftspitze am freigelegten anatomischen Präparat

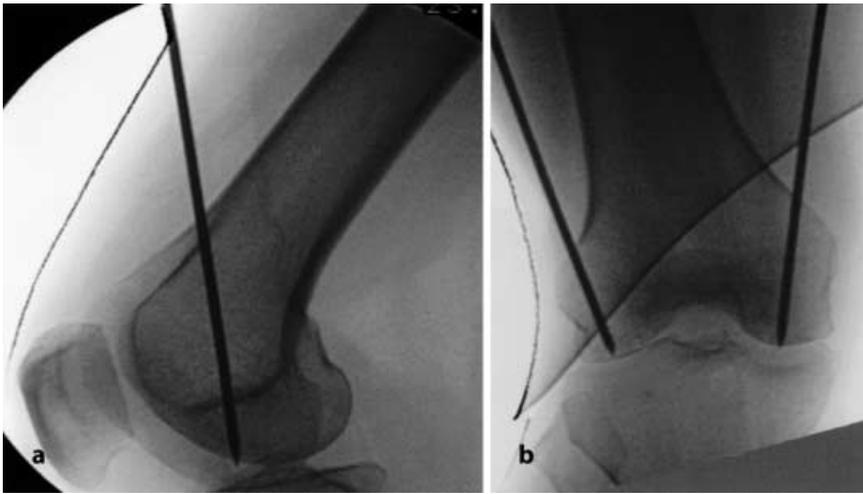


Abb. 8a, b ▲ **Operationsindikation: Osteochondrosis dissecans femoris. Intraoperative fluoroskopische Kontrolle der Bohrstiftlage. a Ansicht a.-p., b Operationsindikation: Osteochondrosis dissecans femoris. Intraoperative fluoroskopische Kontrolle der Bohrstiftlage, laterale Ansicht**

der FISCOFIX-Schale beträgt etwa 5 min. Danach wird der Patient anästhesiert und die Bohrung wird gesetzt. Der verminderte Zeitaufwand für das Setzen der Bohrung (Zielmanöver unter Bildverstärkereinsatz mit Bildern in 2 Ebenen entfällt) kann als Zeitgewinn in Rechnung gestellt werden, der schwierig quantifizierbar ist.

Für die Therapie von osteochondralen Talusläsionen, bei welchen der talar Knorpelüberzug noch intakt scheint, werden heute zunehmend retrograde Techniken der Anbohrung, den antero-graden Bohrtechniken vorgezogen [1, 7, 10, 14]. Mechanische Zielgeräte bzw. Bohrführungshilfen [21] sind hierfür zwar hilfreich, gelegentlich jedoch mit technischen Problemen verbunden. Während im oberen Sprunggelenk anteriore talare Läsionen arthroskopisch in der Regel noch gut eingesehen und mittels Zielgeräten erreicht werden können, sind posteriore Läsionen oft nur schwer zugänglich. Eine intakte chondrale Oberfläche kann sogar die arthroskopische Lokalisation anteriorer Läsionen schwierig machen. Auch die unterstützende Anwendung eines Röntgenbildverstärkers erlaubt nicht immer eine exakte Darstellung der Läsion.

Die von uns angewandte computerunterstützte retrograde Bohrungstechnik ermöglicht – in einem Großteil der Fälle – ein exaktes Erreichen der Läsion. Die intraoperative fluoroskopische Kontrolle erlaubt anschließend die Setzung von Parallelbohrungen, sodass in jedem

Fall eine Perforation der Sklerosezone und somit das Operationsziel erreicht werden kann. Somit war selbst in den Fällen, bei denen die Position des gesetzten Stiftes nicht zufriedenstellend war, der operative Eingriff insgesamt deutlich erleichtert, da das Setzen von Parallelbohrungen rasch und korrekt durchgeführt werden konnte.

Während wir für primäre vordere oder hintere Kreuzbandoperationen keine generelle Indikation für computergestützte Chirurgie sehen, kann diese Technik jedoch im Rahmen von Revisionseingriffen wesentliche Vorteile bringen. Eine exakte präoperative Planung der neuen Bohrkanaäle kann dabei unter Umständen schwierige Metallentfernung unnötig machen. Einen weiteren interessanten Anwendungsbereich computerunterstützter Methoden am Kniegelenk stellen komplexe Osteotomien (z. B. Korrekturen in 2 Ebenen) dar. Erste In-vitro-Versuche wurden an unserer Klinik dazu bereits durchgeführt.

Die Genauigkeit der in unseren Studien bisher verwendeten nicht invasiven Fixationstechnik (FISCOFIX Schale) liegt jedoch im Kniegelenkbereich unter der für den Talus und mittleren/distalen Tibiabereich erreichten. Dies ist in erster Linie durch den dicken Haut-Weichteilmantel zu begründen. Derzeit sind vielversprechende Versuche mit der neuen „BodyFix“ Vacuum-Ansaug-Absaug-Fixierungstechnik [3] (Medical Intelligence, Schwabmünchen, Deutschland) im Gange.

Danksagung. Die vorliegende Studie wurde von der „Lorenz Boehler Gesellschaft – Verein zur Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Unfallchirurgie“ (Proj. 2/99) großzügig unterstützt.

Literatur

- Angermann P, Jensen P (1989) Osteochondrosis dissecans of the talus: long-term results of surgical treatment. *Foot Ankle* 10: 161–163
- Bale RJ, Hoser C, Rosenberger R et al. (2001) Initial experiences with computer assisted retrograde drilling of osteochondral lesions of the talus – feasibility and accuracy. *Radiology* (im Druck)
- Bale RJ, Vogele M, Rieger M et al. (1999) A new vacuum device for extremity immobilization. *Am J Roentgenol* 4: 1093–1094
- Bale RJ, Vogele M, Martin A et al. (1997) VBH head holder to improve frameless stereotactic brachytherapy for cranial tumors. *Comput Aided Surg* 2: 286–291
- Berndt AL, Harty M. (1959) Transchondral fractures of the talus. *J Bone Joint Surg* 41-A: 988–1020
- Bruns J, Behrens P (1998) Osteochondrosis dissecans. *Arthroskopie* 11: 166–176
- Conti SF, Taranow WF (1996) Transtalar retrograd drilling of medical osteochondral lesions of the talar dome. *Operat Tech Orthop* 6: 226–230
- Dorward NL, Alberti O, Dijkstra A et al. (1997) Clinical introduction of an adjustable rigid instrument holder for frameless stereotactic interventions. *Comput Aided Surg* 2: 180–185
- Ferkel RD, Scranton PE (1993) Current concepts review: arthroscopy of the foot and ankle. *J Bone Joint Surg* 75-A: 1233–1242
- Ferkel RD, Fasulo GS (1993) Arthroscopic treatment of ankle injuries. *Orthop Clin North Am* 1: 17–32
- Fink C, Rosenberger RE, Bale RJ et al. (2001) Computerassistierte retrograde Bohrung osteochondraler Läsionen am Talus. *Orthopäde* 30: 59–65
- Gosse F, Brack C, Götte H et al. (1997) Roboterunterstützung in der Knieendoprothetik. *Orthopäde* 26: 258–266
- Julliard R, Lavalley S, Dessenne V (1998) Computer assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Rel Res* 354: 57–64
- Lahm C, Erggelet C, Steinwachs M, Reichelt A (1998) Arthroskopische Therapie der Osteochondrosis dissecans des Talus – Nachuntersuchung mit einem neuen „Ankle-Score“. *Sportverletz Sportschad* 12: 107–113
- Loomer R, Fisher C, Lloyd-Smith R, Sisler J, Cooney T (1993) Osteochondral lesions of the talus. *Am J Sports Med* 21: 13–19
- Macunias RJ, Fitzpatrick J, Galloway RL, Allen GS (1993) Beyond sterotaxy: extreme levels of application accuracy are provided by implantable markers for interactive image-guided neurosurgery. *Interactive image-guided neurosurgery. Neurosurgical Topics, AANS*: 259–270
- Macunias RJ, Galloway RL jr, Latimer JW (1994) The application accuracy of stereotactic frames. *Neurosurgery*; 35: 682–694
- Martin A, Bale RJ, Vogele M et al. (1998) Vogele-Bale-Hohner Mouthpiece: Registration device for frameless stereotactic surgery. *Radiology* 208: 261–265
- Maurer CR, Fitzpatrick MJ, Wang MY et al. (1997) Registration of head volume images using implantable fiducial markers. *IEEE Transact Med Imaging* 16: 447–462
- Ritzler T, van Dijk CN (1998) Arthroskopische Behandlung der Osteochondrosis dissecans der Talusrolle. *Arthroskopie* 11: 187–192
- Taranow WS, Bisognani GA, Towers JD, Conti SF (1999) Retrograde drilling of osteochondral lesions of the medial talar dome. *Foot Ankle Int* 20: 474–480
- Zinreich SJ, Tebo SA, Long DM et al. (1993) Frameless stereotactic integration of CT imaging data: accuracy and initial applications. *Radiology* 188: 735–742