

C. Fink¹ · R.E. Rosenberger¹ · R.J. Bale² · M. Rieger² · W. Hackl¹ · K.P. Benedetto³
K.-H. Künzel⁴ · C. Hoser¹

¹ Universitäts-Klinik für Unfallchirurgie, Innsbruck · ² Universitäts-Klinik für Radiodiagnostik I, Stereotaktisches interventionelles Planungslabor (SIP Lab), Innsbruck

³ Landeskrankenhaus Feldkirch · ⁴ Anatomisches Institut, Universität Innsbruck

Computerassistierte retrograde Bohrung osteochondraler Läsionen am Talus

Zusammenfassung

Die Behandlungsprinzipien von osteochondralen Talusläsionen (OLT) bestehen meist aus Débridement des chondralen Anteils und Methoden, die die Revaskularisierung eines nekrotischen Knochenanteils fördern sollen. Letzteres wird häufig durch Anbohren der subchondralen Zone angestrebt. Da eine direkte antegrade Bohrung bei dorsomedial gelegenen Läsionen technisch manchmal unmöglich ist und außerdem den Gelenkknorpel schädigen kann, wurden retrograde Bohrtechniken entwickelt.

Die hier vorgestellte computerassistierte, retrograde Bohrung stellt eine Weiterentwicklung dieser Techniken dar. Dabei kann entsprechend der präoperativen Planung ein Bohrstift korrekt in das Zentrum der auf CT- oder MR-Datensätzen dargestellten Läsion platziert werden. Der Bohrstift kann dann entweder mit einem Hohlbohrer überbohrt und der Defekt mit Spongiosa aufgefüllt werden oder es können mittels Parallelbohrhülsen weitere Bohrungen in einen nekrotischen Knochenherd gelegt werden. Der Einsatz der computerunterstützten Navigation ermöglicht dabei eine Erhöhung der Präzision, die Verkürzung der effektiven Operationszeit, Vermeidung von Fehlbohrungen und Reduktion der intraoperativen Strahlenbelastung für das Operationsteam.

Schlüsselwörter

Computerunterstützte Chirurgie · Osteochondrale Talusläsion · Retrograde Bohrung

Die Problematik der operativen Behandlung symptomatischer osteochondraler Talusläsionen (OLT) ist häufig durch die schwierige Erreichbarkeit der Läsion gegeben [3, 16, 20]. Während anterolaterale Läsionen einer arthroskopischen Behandlung gut zugänglich sind, ist die arthroskopische Versorgung dorsomedial gelegener Läsionen deutlich schwieriger [7, 21]. Bei offenen Operationsverfahren sind diese Läsionen meist nur mittels Innenknöchelosteotomie erreichbar.

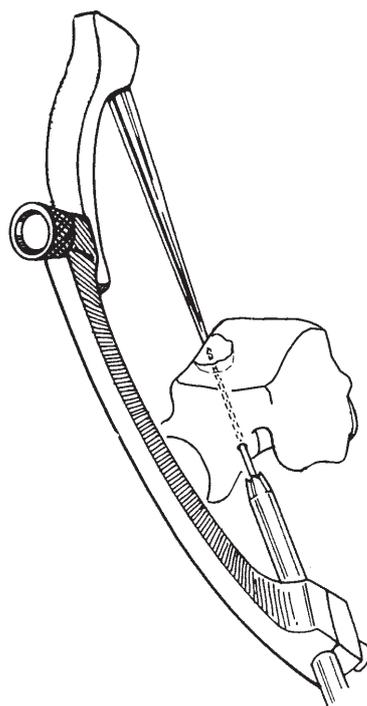


Abb. 1 ▲ Zielgerät zur arthroskopischen retrograden Bohrung von OLT

Obwohl sich arthroskopische und offene Operationstechniken im Detail unterscheiden sind die Behandlungsprinzipien von OLT sehr ähnlich [10, 11]. Sie beinhalten einerseits meist ein Débridement des chondralen Anteils und andererseits Methoden, die die Revaskularisierung eines nekrotischen Knochenanteils fördern sollen. Letzteres wird z. B. durch Anbohren der subchondralen Zone angestrebt. Die direkte antegrade Bohrung osteochondraler Läsionen ist v. a. bei den dorsomedial gelegenen Läsionen manchmal technisch unmöglich. Eine Modifikation stellen dabei die transmalleolare Bohrung [19] oder die Verwendung spezieller gebogener Bohrer [6] dar. Ein Nachteil aller antegraden Bohrtechniken ist aber, dass bei Läsionen mit intaktem Gelenkknorpel dieser geschädigt wird. Bei der transmalleolaren antegraden Bohrtechnik kommt es zusätzlich zur Verletzung des malleolaren Gelenkknorpels [19].

Aufgrund dieser Problematiken werden deshalb von einigen Autoren retrograde Bohrtechniken favorisiert [7, 21]. Die komplexe Anatomie des Talus macht aber eine exakte retrograde Bohrung, welche den Gelenkknorpel nicht perforiert, technisch anspruchsvoll und Fehlbohrungen sind auch trotz Kontrolle mit Röntgenbildverstärkern häufig. Zielgeräte (Abb. 1), ähnlich den Zielinstrumentarien zur Tunnelplatzierung bei vorde-

Dr. C. Fink

Universitätsklinik für Unfallchirurgie Innsbruck,
Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck, Österreich,
E-Mail: Christian.fink@uibk.ac.at

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

Computer-assisted retrograde drilling of osteochondral lesions of the talus

Abstract

Treatment principles of osteochondral lesions of the talus usually consist of debridement of the chondral part and methods that attempt to stimulate revascularization of the necrotic bony part of the lesion. The latter is mostly achieved through multiple drilling of the subchondral zone. Dorsomedial talar dome lesions are frequently inaccessible with antegrade drilling techniques. In addition, if the cartilage surface over the bony lesion is still intact, it can be injured by antegrade drilling.

To overcome these potential problems, retrograde drilling techniques have been developed using drill guides or intraoperative fluoroscopy. Our proposed method of computer-assisted retrograde drilling is an advancement of these techniques. The use of 3D navigation provides the possibility for placing a guide wire exactly in the center of the lesion defined on preoperative MRI or CT scans. This guide wire can then be overreamed with cannulated reamers followed by retrograde bone grafting of the lesion or allows multiple retrograde drilling of the subchondral plate using a parallel drill guide. We found that computer-assisted retrograde drilling could improve precision, avoid misplacement of guide wires, and reduce the time of surgery and intraoperative fluoroscopy.

Keywords

Computer-assisted surgery · Osteochondral talus lesions · Retrograde drilling

Zum Thema: Osteochondrale Läsionen am Talus

Tabelle 1

Zusammenfassung der notwendigen Schritte bei der computerassistierten Bohrung von OLT. Die Punkte 3–5 werden ohne Anwesenheit des Patienten im Planungslabor durchgeführt.

Punkt	Maßnahme
1.	Fixation des Sprunggelenks
2.	Bildgebung (CT oder MRI)
3.	Planung der Bohrung (Festlegung von Eintritts und Zielpunkt)
4.	Registrierung des Modells
5.	Justierung der Zielvorrichtung
6.	Operation

rer Kreuzbandplastik, sind zwar hilfreich, da Läsionen aber arthroskopisch gelegentlich nur schwer zu lokalisieren sind, auch nicht immer anwendbar.

Die im Folgenden dargestellte Technik der computerassistierten retrograden Bohrung versteht sich nicht als eigenständige Methode sondern ist eine Weiterentwicklung bereits bestehender Techniken. Sie dient dazu einen Bohrstift korrekt in das Zentrum der Läsion zu le-

gen. Dieser kann dann entweder mit einem Hohlbohrer überbohrt und der Defekt mit Spogiosa aufgefüllt werden [21] oder es können mittels Parallelbohrhül- sen weitere Bohrungen in einen nekrotischen Knochenherd gelegt werden.

Material und Methodik

Eine Voraussetzung für die Anwendung computerunterstützter Navigationssysteme ist die Übertragbarkeit eines Patientenbilddatensatzes (CT oder MRI) auf den realen Patienten. Um dies zu ermöglichen werden zur Bildgebung (CT oder MRI) Marker mitverwendet, die es später dem Navigationssystem ermöglichen, diese Beziehung herzustellen. Da Versuche mit einfachen aufklebbaren Hautmarkern nicht die gewünschte Präzision [24] erbrachten, werden heute in der Unfallchirurgie und Orthopädie zu- meist invasive Marker (am Knochen fixiert) verwendet [8, 9, 13, 17, 23]. Mit diesen Markern ist zwar eine exakte Datensynchronisierung möglich, sie bedingen aber einen zusätzlichen operativen Eingriff. Da uns dies zumindest im Falle der Behandlung einer OLT für den Patienten nicht zumutbar erschien, wurde an unserer Klinik eine spezielle Fixationstech-



Abb. 2 ▲ a Strumpf aus elastischem, in Polyurethanharz getränktem Fiberglasgewebe. b Fixierter Plexiglasskonnektor. c Fertige, an der Carbonplatte fixierte FISCOFIX-Schale mit aufgeklebten Markern. Die beiden Hälften werden mit Klettverschlüssen verbunden. In dieser Fixation wird auch die CT durchgeführt

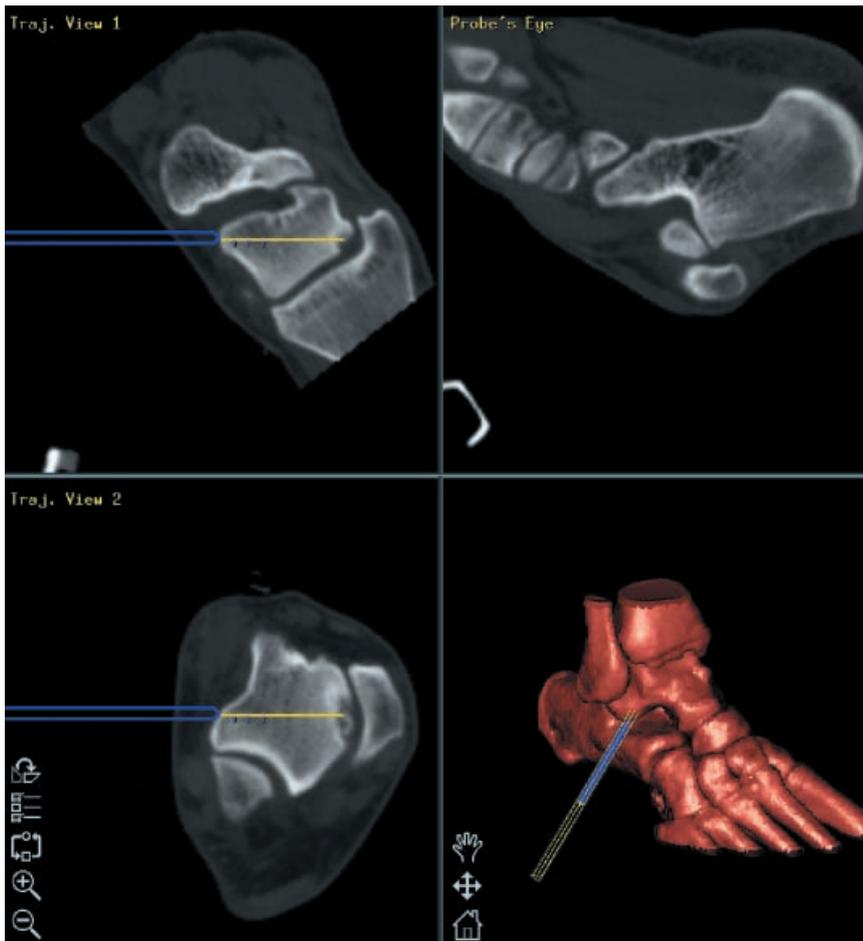


Abb. 3 ▲ Festlegen von Eintritts- und Zielpunkt auf dem CT Datensatz am Navigationssystem. Je nach Präferenz des Chirurgen kann dies an Schnittbildern oder der 3D-Rekonstruktion ausgeführt werden

nik entwickelt, welche beide Vorteile, Non-Invasivität und Präzision vereinigt [1]. Zudem war es unser Ziel, den intraoperativen Aufwand so gering als möglich zu halten. Dies wurde durch Verwendung einer speziellen, justierbaren Zielvorrichtung gewährleistet, durch welche die Verwendung des Navigationssystems auf die präoperative Planungsphase beschränkt werden kann [1].

Die im Folgenden im Detail beschriebenen Schritte von der Fixation bis hin zur eigentlichen Bohrung sind in Tabelle 1 kurz zusammengefasst.

Fixation des oberen Sprunggelenks

Die Fixationsvorrichtung (FISCOFIX-Schale) basiert auf einem individuell angepassten Abdruck, welcher an einem Plexiglasconnector fixiert wird. Zur Herstellung dieses Abdruckes wird ein Strumpf aus elastischem, in Polyurethanharz getränktem Fiberglasgewebe

verwendet (STS Copy-Sock, Götz GmbH & Co, Göppingen, Abb. 2a). Nach Aushärtung wird die Form so weit gespalten, dass eine Abnahme möglich ist. Anschließend wird die Außenseite des Modells mit mehreren Lagen Scotchcast



Abb. 4 ▲ Der jeweils am CT Datensatz (virtuell) des Navigationssystems ausgewählte Marker wird an der Schale (real) mit der Spitze, eines mit Dioden versehenen Registrierungsstabs abgetastet. Über das optische Erkennungssystem des Navigationssystems wird so der virtuelle Datensatz mit dem realen Objekt synchronisiert

(3 M Health Care, St. Paul, MN, USA) umwickelt und am Plexiglasconnector fixiert (Abb. 2b). Die fertige ausgehärtete Form wird mit einer oszillierenden Säge in 2 Hälften geteilt und strahlendichte Marker, welche für den späteren Registrierungsprozess notwendig sind (Philips Medical Systems, Best, Niederlande) auf die Schalenoberfläche geklebt. Während Bildgebung und auch beim eigentlichen Bohrvorgang wird der Fuß wieder in die Form gelegt, die beiden Halbschalen mit Klettverschlüssen fixiert und mittels Konnektor exakt an einer Kohlefaserplatte befestigt (Abb. 2c).

Bildgebung

In unserer Studien erfolgte die für die Navigation notwendige Bildgebung mittels Computertomographie (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, USA). Es kann aber ebenso ein MR-Datensatz verwendet werden. In beiden Fällen muss der Fuß jedoch in der individuell angepassten Fixationsvorrichtung positioniert werden (Abb. 2c). Der Bilddatensatztransfer kann entweder mittels CD ROM oder über eine direkte Netzwerkverbindung auf das Navigationssystem erfolgen.

Planung der Bohrung

Für unsere Studie wurde ein auf optischer Positionserfassung (OPMS) basierendes Navigationssystem (StealthStation, Sofamor Danek, Memphis, TN, USA) verwendet [24]. Zur Definition von Ziel und Eintrittspunkt der geplanten Bohrung können koronare, sagittale und axiale

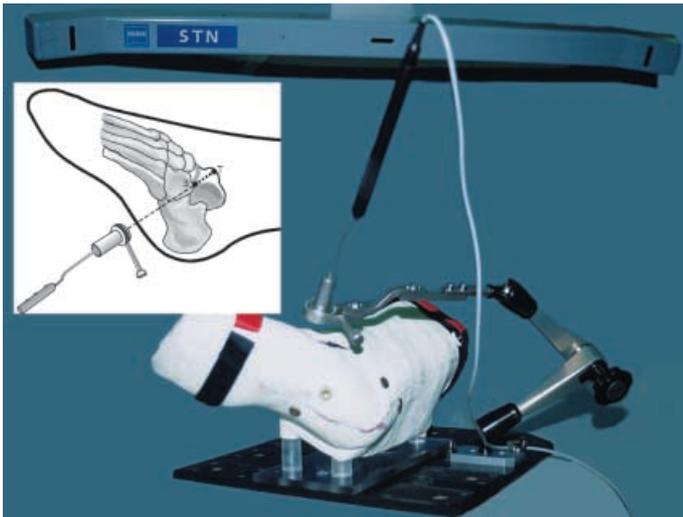


Abb. 5 ▲ Mit Hilfe des optischen Erkennungssystems des Navigationssystems wird die Zielvorrichtung justiert und arretiert

Schnittbilder oder ein rotierbares 3D-Objekt herangezogen werden (Abb. 3)

Registrierung

Der Registrierungsprozess wird in Abwesenheit des Patienten im stereotaktischen Planungslabor (SIP Lab) durchgeführt und dient der bereits angesprochenen Synchronisation zwischen Bilddatensätzen und der realen Situation [18]. Im hier dargestellten Fall wird mit Hilfe der an der Schalenoberfläche befindlichen Marker der Bilddatensatz „Sprunggelenk samt FISCOFIX-Schale“ mit dem realen Objekt „FISCOFIX-Schale“ übereingestimmt (Abb. 4).

Justieren der Zielvorrichtung

Für den Zielvorgang wird eine speziell entwickelte Zielvorrichtung (Easy Taxis, Philips Medical Systems Nederland BV, Best, Niederlande), [1] verwendet. Zentrales Element dieser Zielvorrichtung ist eine ringförmig gefasste, frei bewegliche Metallkugel mit einem zentralen Kanal zur Aufnahme verschiedener Führungshülsen. Diese Metallkugel ist durch eine Feststellschraube fixierbar. Die Kugel ist am Ende eines in allen Raumrichtungen beweglichen und arretierbaren Arms montiert, der ebenso wie die FISCOFIX-Schale an der Kohlefaserbasisplatte reproduzierbar fixiert werden kann.

Mit Hilfe des Navigationssystems wird die Zielvorrichtung so arretiert, dass der Bohrstift entlang des geplanten

Pfades (von Eintrittspunkt zu Zielpunkt) geführt werden kann (Abb. 5). Abschließend wird die exakte Länge der geplanten Bohrung vom Navigationssystem errechnet.

Im Bereich des geplanten Hauteintrittspunktes des Bohrstifts wird ein Areal von 3 cm im Durchmesser aus der Schale ausgefräst. Die fest arretierte Zielvorrichtung und die FISCOFIX-Schale werden abmontiert und anschlie-

ßend zusammen mit der Basisplatte, den Montageschrauben sowie den Klettverschlussbändern gassterilisiert.

Operation

Vor Narkosebeginn, aber nach sterilen Waschen und Abdecken wird die zu behandelnde untere Extremität des Patienten in der FISCOFIX-Schale repositioniert. Die FISCOFIX-Schale und die vorjustierte Zielvorrichtung werden wieder an der Basisplatte befestigt. Der Bohrstift wird dem errechneten Abstand „Zielvorrichtung – Zielpunkt“ entsprechend in das Bohrfutter eingespannt und ein 2,4-mm-Stift eingebohrt. Danach werden Zielvorrichtung, FISCOFIX-Schale und Basisplatte entfernt (Abb. 6).

Die Lage des Bohrstifts wird mit dem Röntgenbildverstärker kontrolliert (Abb. 7). In weiterer Folge wird eine Arthroskopie des OSG durchgeführt um den Zustand des Gelenkknorpels exakt beurteilen zu können (Abb. 8). Je nach dem diagnostischen Befund (Charakteristik der Läsion) werden nun entweder zusätzliche Bohrungen mittels einer Parallelbohrhülse in die osteonekrotische Läsion gesetzt oder der Bohrstift mit einem kanülierten Bohrer (3,5–5,0 mm) überbohrt (Abb. 9) und eine retrograde

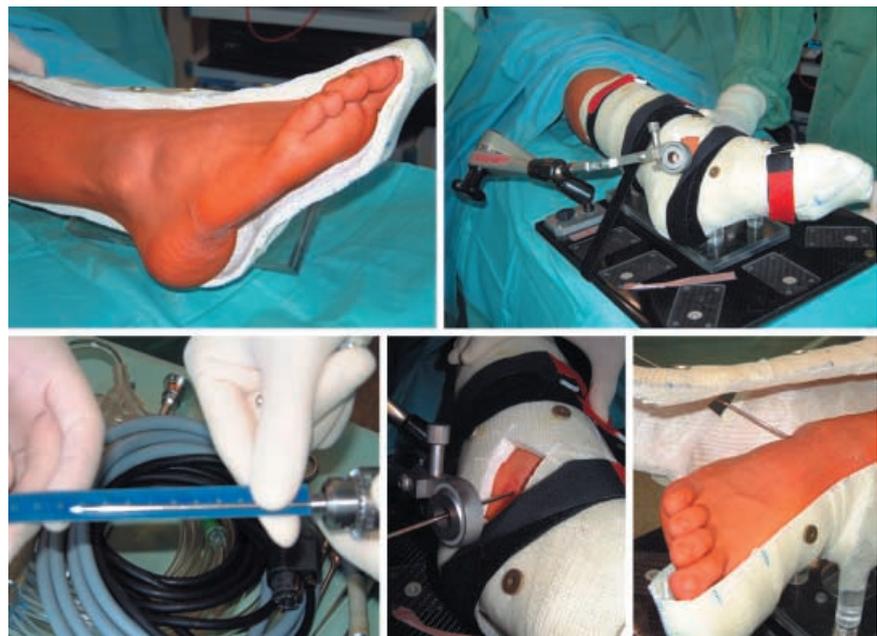


Abb. 6 ▲ Operationsschritte (von links oben nach rechts unten). Nach sterilem Waschen und Abdecken wird die FISCOFIX-Schale zusammengebaut. Schale und arretierte Zielvorrichtung werden an der Carbonplatte befestigt. Der Bohrstift wird in der vorher berechneten Länge ins Bohrfutter eingespannt. Nach einstecken der Führungshülse erfolgt die Bohrung. Abschließend wird die Fixation abgebaut

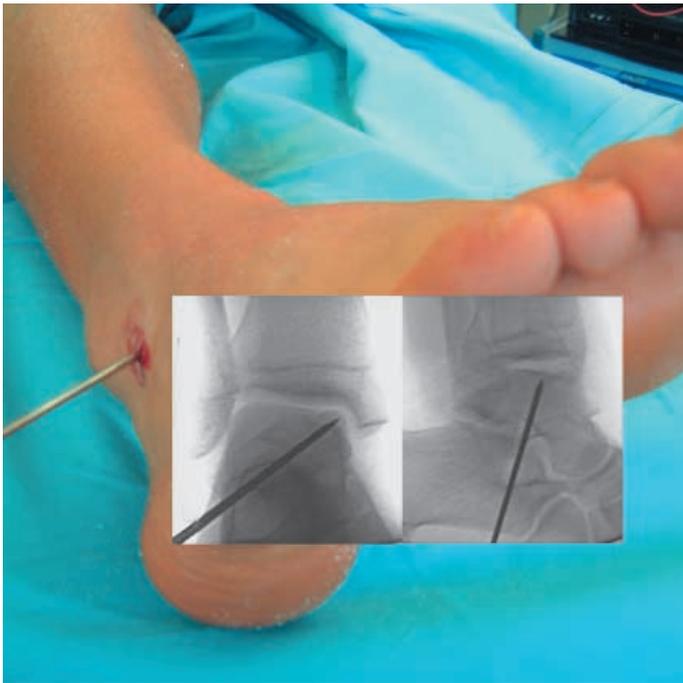


Abb.7 ◀ Die Lage des Bohrstifts kann mit dem Röntgenbildverstärker kontrolliert werden

Spongiosaunterfütterung in der von Conti et al. [7] beschriebenen Technik durchgeführt. Die Läsion wird dabei zuerst mit einer Kürette angefrischt, weitgehend ausgeräumt (Abb. 10) und anschließend mit einem Spongiosazylinder aus dem Kalkaneus oder der Tibiamethaphyse aufgefüllt (Abb. 11). Diese Methode erscheint v. a. für zystische Läsionen [10] günstig.

In-vitro-Versuche

Der ersten klinischen Anwendung dieser Methode gingen zahlreiche Versuche an Leichenpräparaten voran [1]. Sowohl die Repositionierungsgenauigkeit der FISCOFIX-Schale in Relation zu anatomischen Strukturen, als auch der Bohrvorgang selbst wurden an je 10 Leichenpräparaten getestet. Erst nach Erreichen einer konstanten Bohrgenauigkeit von $\pm 1,5$ mm wurde die Methode als klinisch tauglich angesehen.

Patienten

In der Zeit von Dezember 1999 bis September 2000 wurden an unserer Abteilung computerassistierte Bohrungen von OLT bei 7 Patienten (2 Frauen, 5 Männer; Alter 16–35 Jahre) durchgeführt.

Zweimal wurde dabei eine retrograde Spongiosaplastik angewendet und in 5 Fällen multiple Bohrungen der Nekrosezone durchgeführt.

Ergebnisse

Genauigkeit der Zielbohrungen

An den 7 Patienten konnte die Spitze des präoperativ geplanten Bohrstifts, bei

perkutane retrogradem Zugang von lateral, mit einer Genauigkeit von $2,5 \pm 1,2$ mm platziert werden. In allen Fällen wurde die osteochondrale Läsion zentrumsnahe getroffen. Die arthroskopische Kontrolle bestätigte zudem, dass kein Stift den talaren Knorpelüberzug verletzte.

Dauer der Vorbereitung und Operationszeit

Die Erstellung der FISCOFIX-Schale dauerte nach Abschluss der technischen Entwicklung ca. 30 min. Für CT, Datentransfer und Navigation betrug der durchschnittliche Zeitaufwand 45–60 min. Die Anwesenheit des Patienten ist aber nur für das Anfertigen des Fußabdruckes (ca. 10 min), sowie für die Bildgebung (inklusive Positionierung in der Schale ca. 10 min) notwendig.

Im Operationsaal nehmen der Zusammenbau der Schale und das Aufsetzen der Zielvorrichtung 3–5 min in Anspruch. Beides kann aber noch vor Narkoseeinleitung geschehen. Der eigentliche Bohrvorgang samt Abbau der Schale dauert nochmals 2–3 min.



Abb.8 ▶ Sprunggelenkarthroskopie zur Beurteilung des Gelenkknorpels. In diesem Fall ist der Gelenkknorpel zwar weich, aber intakt

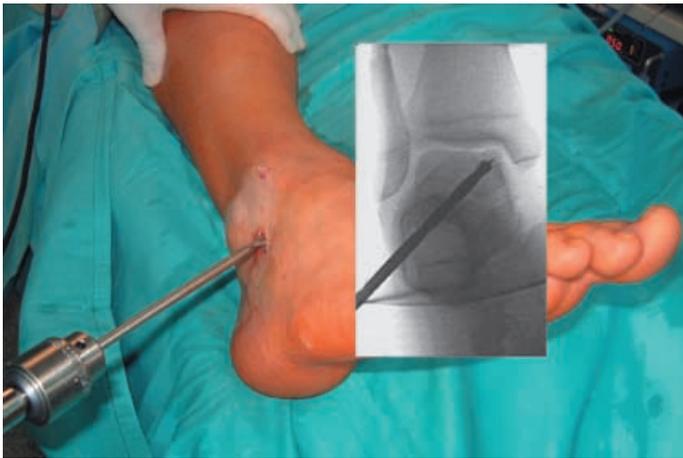


Abb. 9 ◀ **Überbohren des Stifts mit einem 4,5 mm kanülierten Bohrer**



Abb. 10 ◀ **Die nekrotische Knochenläsion wird mit einer abgewinkelten Kürette angefrischt**

Klinische Ergebnisse und Komplikationen

Der intra- und postoperative Verlauf war in allen 7 Fällen komplikationslos. Der stationäre Aufenthalt betrug $1,6 \pm 0,8$ (1–3) Tage.

Aufgrund des kurzen Nachuntersuchungszeitraums können wir derzeit noch keine relevanten klinischen Ergebnisse präsentieren. Es ist aber zu erwarten, dass diese zumindest in den für die in konventioneller retrograder Technik bereits beschriebenen Ergebnisse liegen [21].

Diskussion

Die computerassistierte retrograde Anbohrung von osteochondralen Talusläsionen zeigt sich als sichere und effiziente Methode. Durch gesteigerte Präzision und exakte präoperative Planung können die effektive Operationszeit verkürzt, Fehlbohrungen vermieden und

intraoperative Strahlenbelastung für das Operationsteam verringert werden. Der Einsatz eines computerunterstützten, stereotaktischen Navigationssystems, verbunden mit einer nichtinvasiven Fixationstechnik (FISCOFIX-Schale), ermöglicht die präoperative Justierung einer Zielvorrichtung entsprechend der Operationsplanung. Die intraoperative

Verwendung des Navigationssystems ist daher bei dieser Technik nicht notwendig und der zusätzliche apparative Aufwand bleibt minimal. Dies ist ein weiterer positiver Aspekt, der vom Operationspersonal geschätzt wird.

Die gewählten Operationstechniken zur Behandlung von OLT sind v. a. von Lokalisation, Ausdehnung des nekrotischen Knochenanteiles und dem Zustand des Gelenkknorpels abhängig [4, 5, 10, 22]. Während antegrade Bohrtechniken für viele Läsionen als geeignete Methode erscheinen und zu guten klinischen Ergebnissen führen [14, 15], bieten retrograde Bohrtechniken die Vorteile der leichteren Erreichbarkeit dorsal gelegener Läsionen und der Schonung eines noch intakten Gelenkknorpels [7, 21]. Auch im Falle ausgedehnter nekrotischer Knochenanteile oder zystischer Läsionen stellen sie durch die Erweiterbarkeit zu einer retrograden Spongiosoplastik [21] eine gute therapeutische Alternative dar.

Unsere Studie war aber nicht ausgerichtet, Techniken zu vergleichen, sondern die Methodik der retrograden Bohrung von OLT zu erleichtern und zu präzisieren. Aufbauend auf den positiven Erfahrungen mit diesem computerunterstützten Verfahren sind für die Zukunft auch neue Anwendungen denkbar. So könnte etwa die von Hongody et al. [12] beschriebene Technik der Transplantation von osteochondralen Zylindern aus dem Kniegelenk zur Behandlung von OLT durch den Einsatz computerunterstützter Technik modifiziert werden. Denkbar ist die retrograde Implantation osteochondraler Zylinder, wobei durch computerunterstützte präoperative Planung, sowohl der Entnahme als auch der Implantation, eine Wie-

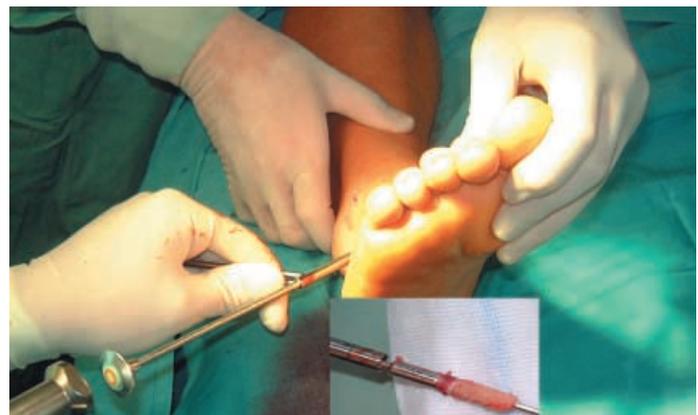


Abb. 11 ▶ **Einbringen eines aus dem Kalkaneus gewonnenen Spongiosazyinders**

derherstellung der Knorpelkontur der Taluskante erreicht werden sollte. Erste In-vitro-Versuche dazu werden derzeit an unserer Klinik durchgeführt.

Neben den instrumentellen Voraussetzungen setzen computerunterstützte Operationsverfahren eine gute Zusammenarbeit von Radiologen, Technikern und Chirurgen voraus. Gemeinsames Ziel sollte es dabei immer sein, ein komplexes operatives Problem zu erkennen und bei vertretbarem zusätzlichen Aufwand (zeitlich und instrumentell), dieses ohne Risiko für den Patienten optimal zu lösen. Bei entsprechender Teamarbeit beschränkt sich etwa der präoperative Zeitaufwand des Chirurgen, im Falle der computerunterstützten retrograden Bohrung von OLT, auf die Definition von Eintritts- und Zielpunkt der Bohrung. Durch die nichtinvasive Fixation entsteht für den Patienten keinerlei Mehrbelastung, bei präziserem Endergebnis. Der derzeit noch relativ große Aufwand der Anfertigung einer individuellen Fixationsvorrichtung (FISCO-FIX-Schale) wird in Zukunft möglicherweise durch eine wiederverwendbare, auf einer Vakuumtechnik basierenden Fixationmethode [2] deutlich reduziert.

Fazit für die Praxis

Die computerassistierte retrograde Anbohrung von osteochondralen Talusläsionen zeigt sich als sichere und effiziente Methode. Dem erhöhten präoperativem Aufwand stehen die Vorteile eines präzisen Bohrvorgangs und einer reduzierten Operationszeit gegenüber. Die Planung des Eingriffs unter Verwendung 3D-Datensätze (CT oder MR) ermöglicht zudem die exakte Übertragung des diagnostischen Befunds auf die interoperative Situation. Es ist außerdem zu erwarten, dass diese technischen Voraussetzungen es möglich machen, in Zukunft neue komplexere Operationstechniken zur Behandlung von OLT zu entwickeln und zu verwirklichen (z. B. retrograde osteochondrale Transplantation).

Ob die hier dargestellte Operationsmethode die klinischen Ergebnisse bei OLT verbessert, kann aufgrund der kleinen Fallzahlen und der kurzen Nachuntersuchungszeiträume bei unseren Patienten derzeit nicht beantwortet werden. Trotz des Vorteils der computerassistierten Chirurgie wird der Therapieerfolg osteochondraler Talusläsionen aber auch weiterhin zum Großteil von einer überlegten Indikationsstellung abhängen. Die computerassistierte Chirurgie kann nur helfen, die Vorstellungen des Operateurs in Zukunft noch genauer operativ umzusetzen. Aufgrund der hohen technischen und instrumentellen Voraussetzungen bleibt derzeit die computerunterstützte Bohrung osteochondraler Talusläsionen wohl nur spezialisierten Zentren vorbehalten.

Danksagung. Die Autoren danken der „Lorenz Böhler Gesellschaft – Verein zur Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Unfallchirurgie“ für die großzügige Unterstützung dieses Projekts.

Literatur

- Bale RJ, Hoser C, Rosenberger R, Rieger M, Benedetto KP, Fink C (2000) 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, Buchberger W, Lukas P, Jaschke W (1999) A new vacuum device for extremity immobilization. *Am J Roentgenol* 4: 1093–1094
- Baker CL, Andrews JR, Ryan JB (1986) Arthroscopic treatment of transchondral talar dome fractures. *Arthroscopy* 2: 82–87
- Berndt AL, Harty M (1959) Transchondral fractures of the talus. *J Bone Joint Surg Am* 41: 988–1020
- Bruns J, Behrens P (1998) Osteochondrosis dissecans. *Arthroscopie* 11: 166–176
- Bryant DD, Siegel MG (1993) Osteochondritis dissecans of the talus: a new technique for arthroscopic drilling. *Arthroscopy* 9: 238–241
- Conti SF, Taranow WF (1996) Transtalar retrograd drilling of medial osteochondral lesions of the talar dome. *Operat Tech Orthop* 6: 226–230
- Dessenne V, Lavallée S, Juillard R, Orti R, Martelli S, Cinquin P (1995) Computer-assisted knee anterior cruciate ligament reconstruction: First clinical tests. *J Image Guided Surg* 1: 59–64
- DiGioia AM III, Jaramaz B, Colgan BD (1998) Computer assisted orthopaedic surgery. *Clin Orthop* 354: 8–16
- Doré JL, Rosset PH (1995) Lésions ostéochondrales du dôme astragalien. *Etude multicentrique de 169 cas. Ann Orthop Quest* 27: 146–191
- Ferkel RD, Scranton PE (1993) Current concepts review: arthroscopy of the foot and ankle. *J Bone Joint Surg Am* 75: 1233–1242
- Hongody L, Kish G, Zarpati Z, Szerb I, Eberhardt R (1997) Treatment of osteochondritis dissecans of the talus: use of the mosaicplasty technique: a preliminary report. *Foot Ankle Int* 18: 623–634
- Joskowicz L, Milgrom C, Simkin A, Tockus L, Yaniv Z (1998) FRACAS: a system for computer-aided image-guided long bone fracture surgery. *Comput Aided Surg* 3: 271–288
- Kelberine F, Frank A (1999) Arthroscopic treatment of osteochondral lesions of the talar dome: a retrospective study of 48 cases. *Arthroscopy* 15: 1–9
- Kumai T, Takakura Y, Higashiyama I, Tamai S (1999) Arthroscopic drilling for the treatment of osteochondral lesions of the talus. *J Bone Joint Surg Am* 81: 1229–1235
- Lahm A, Erggelet C, Steinwachs M, Reichelt A (1998) Arthroscopische Therapie der Osteochondrosis dissecans des Talus – Nachuntersuchung mit einem neuen „Ankle-Score“. *Sportverl Sportschad* 12: 107–113
- Macunias RJ, Galloway RL, Latimer JW (1994) The application accuracy of stereotactic frames. *Neurosurgery* 35: 682–694
- Maurer CR, Fitzpatrick MJ, Wang MY, Galloway RL, Maciunas RJ, Allen GS (1997) Registration of head volume images using implantable fiducial markers. *IEEE Transactions Med Imag* 16: 447–462
- Morgan CD (1991) Gross and arthroscopic anatomy of the ankle. In: McGinty JB (ed) *Operative arthroscopy*. Raven Press, New York, pp 677–694
- Ritzler T, van Dijk CN (1998) Arthroscopische Behandlung der Osteochondrosis dissecans der Talusrolle. *Arthroscopie* 11: 187–192
- Taranow WS, Bisignani GA, Towers JD, Conti SF (1999) Retrograde drilling of osteochondral lesions of the medial talar dome. *Foot Ankle Int* 20: 474–480
- Van Buecken K, Barrack RL, Alexander AH, Ertl JP (1989) Arthroscopic treatment of transchondral talar dome fractures. *Am J Sports Med* 17: 350–355
- Vannier MW, Marsh JL (1996) Three-dimensional imaging, surgical planning and image-guided therapy. *Radiol Clin North Am* 34: 545–563
- Zinreich SJ, Tebo SA, Long DM et al. (1993) Frameless stereotactic integration of CT imaging data: accuracy and initial applications. *Radiology* 188: 735–742