Ersatz des vorderen Kreuzbands mit Roboter und Navigation

Der Ersatz des vorderen Kreuzbands durch autologe Sehnen ist heute das allgemein anerkannte Verfahren zur Behandlung von Rupturen desselben. Prinzipiell sind bei der Operation mehrere Schritte zu durchlaufen:

- Gewinnen eines Transplantats,
- Bohren je eines Bohrkanals in Femur und Tibia,
- Einziehen des Transplantats und
- Transplantatfixierung in den Bohrkanälen.

Für das Ergebnis von entscheidender Bedeutung ist die korrekte, anatomische Positionierung der Bohrkanäle. Gerade bei diesem Schritt jedoch kommt es bei Verwendung herkömmlicher Zielgeräte gehäuft zu Fehlern.

Es wird über die Erfahrungen berichtet, die anhand von 151 roboter- und 16 navigationsgestützten vorderen Kreuzbandersatzoperationen im Unfallkrankenhaus Berlin gesammelt werden konnten. Dabei wurden der Roboter bzw. das Navigationssystem zur Positionierung der Bohrkanäle verwendet.

Operationsablauf

Für die 151 robotergestützten Operationen kam der Operationsroboter CASPAR® (Fa. Orthomaquet, Fa. URS Ortho) zur Anwendung, für die navigierten Kreuzbandoperationen das Navigationssystem OrthoPilot® (Fa. Aesculap, Version ACL V1).

Roboterassistierte Operation

Bei gesicherter Diagnose (MRT und/oder Vorarthroskopie) werden in einer ersten Voroperation in Allgemeinnarkose über je etwa 15 mm lange Stichinzisionen sowohl in das distale laterale Femur als auch in den anteromedialen Schienbeinkopf Pins eingeschraubt, auf die in eindeutiger Weise 4-flügelige Kunststoffkreuze aufgeschraubt werden. Die Flügel der Kunststoffkreuze sind mit Metallkugeln markiert.

Mit liegenden Pins und aufgeschraubten Kunststoffkreuzen wird eine Computertomographie beider Kniegelenke in maximaler Streckung durchgeführt (■ Abb. 1), danach werden die Kunststoffkreuze entfernt.

Die CT-Datensätze werden auf die Planungsstation übertragen, an welcher anschließend die gewünschte Position sowohl des femoralen als auch des tibialen Bohrkanals unter Zugrundelegen der Verhältnisse des gesunden Kniegelenks geplant wird. Nach Übermittlung der Planungsdaten an den Operationsroboter beginnt die eigentliche Kreuzbandersatzoperation mit einer Arthroskopie. Transarthroskopisch werden Narbengewebe débridiert sowie Begleitverletzungen saniert. Anschließend wird das Transplantat entnommen, wobei ausschließlich das mediale Drittel der Patellasehne verwendet wird. Auf die in der Voroperation eingebrachten, noch unverändert liegenden Pins werden sterile Metallkreuze aufgeschraubt mit gleichen Ausmaßen und in

gleicher Positionierung wie die zuvor verwendeten Kunststoffkreuze. Sowohl das Bein, in etwa 110° Beugstellung des Kniegelenks in einem Halteinstrumentarium, als auch der Operationsroboter werden am Operationstisch fixiert. Zur Registrierung des tibialen Metallkreuzes setzt der Operateur die am Arbeitsarm des Roboters befestigte Registrierende auf 4 definierte Punkte der Flügel des Metallkreuzes auf. Die Registrierende wird gegen eine 10-mm-Diamant-Hohlschleife ausgetauscht und durch eine Inzision in die Weichteile des Schienbeinkopfs eingebracht. Der Roboter fräst nun den tibialen Bohrkanal entsprechend den präoperativ durchgeführten Planungen. Danach wird in entsprechender Weise der femorale Bohrkanal – zunächst mit Registrierung des femoralen Registrierkreuzes (■ Abb. 2), dann mit Fräsen des femoralen Kanals (■ Abb. 3) – angelegt. Unter arthroskopischer Sicht wird anschließend das aufbereitete Transplantat von tibial nach femoral in die Bohrkanäle eingezogen und femoral mit dem Rigidfix-System® (Fa. Mitek), tibial mit einer Titaninterferenzschraube (Fa. Arthrex) fixiert.

Navigierte vordere Kreuzbandersatzoperation

Transarthroskopisch wird das Narbengewebe débridiert, Begleitschäden werden saniert. Sowohl im Bereich des medialen Femurkondylus als auch im Bereich der Facies medialis der Tibia wird je ein Sen-

Abb. 1 ◀ Robotereinsatz: Computertomographie mit aufgesetzten Kunststoffregistrierkreuzen

Abb. 2 ◀ Robotereinsatz: Registrierung des femoralen Registrierkreuzes

Abb. 3 ◀ Robotereinsatz: Fräsen des femoralen Kanals in Outside-inside-Richtung

der über Kirschner-Drähte fixiert. Nach mehreren Gerätekontrollen werden die anatomischen Landmarken

- Tuberositas tibiae
- Tibiavorderkante
- „medialster“ Punkt des Tibiaplateaus
- „lateralster“ Punkt des Tibiaplateaus

- vorderer Rand des PCL auf dem Tibiaplateau
- Vorderhorn des lateralen Meniskus
- Spina des medialen interkondylären Tuberkels
- mediale Notchwand/laterale Notchwand
- anteriore Notchbegrenzung
- ACL-Eintrittsfläche am Femur

Zusammenfassung · Abstract

Trauma Berufskrankh 2004 · 6 [Suppl 4] : S450–S454
DOI 10.1007/s10039-003-0814-0
© Springer-Verlag 2003

K. Butenschön · A. Ekkernkamp

Ersatz des vorderen Kreuzbands mit Roboter und Navigation

Zusammenfassung

Beim Ersatz des vorderen Kreuzbands durch autologes Sehnentransplantat kommt es aufgrund von falscher Transplantatpositionierung gehäuft zu schlechten funktionellen Ergebnissen. Diese erfolgt im Unfallkrankenhaus Berlin seit 1999 computergestützt. Berichtet wird über Erfahrungen, die mit dem Operationsroboter CASPAR® (OrthoMaquet/URS Ortho) und dem Navigationssystem OrthoPilot® (Aesculap) bei diesen Operationen gesammelt wurden.

Schlüsselwörter

Vordere Kreuzbandersatzplastik · Operationsroboter · CASPAR · -System · Navigation · OrthoPilot

Replacement of the anterior cruciate ligament with robotics and navigation systems

Abstract

By the replacement of the anterior cruciate ligament of the knee with autologous tendons, poor functional results are often obtained due to false positioning of the transplant. At the Casualty Hospital in Berlin computer-aided procedures for positioning of replacement ligaments have been in use since 1999. The experience gained using the operation robotics system CASPAR (OrthoMaquet/URS Ortho) and the navigation system OrthoPilot (Aesculap) will be reported.

Keywords

Anterior cruciate ligament replacement · Operations robot · CASPAR system · Navigation · OrthoPilot

Abb. 4 ◀ Navigation: Akquisition der Landmarken

Abb. 5 ◀ Navigation: Einsetzen des tibialen Zielgeräts

Abb. 6 ◀ Navigation: schematische Darstellung der Positionierung des Zielgeräts auf dem Monitor

- 12-Uhr-over-the-Top-/laterale Over-the-Top-Position
- Kniekinematik

mit einem mit einem Sender ausgestatteten Hakenpointer erfasst (■ Abb. 4). Anschließend wird das tibiale Zielgerät, das ebenfalls mit einem Sender versehen ist, in das Kniegelenk eingeführt und vom Operateur positioniert (■ Abb. 5). Die jeweilige Positionierung des Zielgeräts auf dem Schienbeinplateau wird auf dem Monitor des Navigationssystems angezeigt

(■ Abb. 6). Nachdem sämtliche vom Navigationssystem vorgegebenen Kriterien bei der Positionierung des Zielgeräts erfüllt sind, wird über das liegende Zielgerät ein Kirschner-Draht in den Schienbeinkopf vorgetrieben, der im weiteren Verlauf der Führung des Bohrers für den tibialen Bohrkanal dienen soll. Entsprechend erfolgt die navigierte Positionierung des femoralen Kirschner-Drahts. Die Lage beider Kirschner-Drähte wird röntgenologisch überprüft; falls sie bei einem oder beiden Drähten nach röntgenologi-

schen Kriterien nicht befriedigend ist, werden diese mit herkömmlichen Zielgeräten unter Verzicht auf die Navigation erneut positioniert. Bei korrekter Lage der Drähte werden diese mittels kanülierter Bohrer überbohrt und unter arthroskopischer Sicht das Transplantat von tibial nach femoral eingezogen. Die Fixierung des Transplantats unterscheidet sich gegenüber der bei robotergestützten Operationen nicht.

Erfahrungen

Der direkte Vergleich der beiden beschriebenen computergestützten Verfahren für die Anlage der Bohrkanäle bei der vorderen Kreuzbandplastik zeigt, dass das robotergestützte Verfahren ganz sicher das gegenüber der Navigation aufwändigere Verfahren ist. ■ Tabelle 1 stellt die beiden Verfahren noch einmal im direkten Vergleich gegenüber.

Entsprechend war der Zeitaufwand bei den von uns durchgeführten Operationen bei Verwendung des Operationsroboters mit durchschnittlich 164 min (122–293 min) deutlich höher als bei den navigationsgestützten Operationen mit durchschnittlich 122 min (98–178 min). Der beschriebene Zeitaufwand umfasst dabei bei den robotergestützten Operationen zudem lediglich die eigentliche Kreuzbandersatzoperation, der Zeitaufwand für Pinimplantation, Computertomographie und Planung an der Planungsstation ist nicht berücksichtigt.

Bei den 152 Operationen, bei denen der Operationsroboter eingesetzt wurde, kam es 11-mal zu einem Abbruch des robotergestützten Eingriffs und zu einem Umsteigen auf konventionelle Zielgeräte. Ursachen waren ausschließlich technische Probleme: zu starke Bewegung im System (7-mal) und „Abstürzen“ des Steuerungscomputers (4-mal). Bei 16 Operationen, bei denen das Navigationssystem zum Einsatz kam, musste in 10 Fällen die navigationsgestützte Operation abgebrochen werden und der Eingriff mit herkömmlichen Zielgeräten weitergeführt werden.

Tabelle 1

Vergleich der Arbeitsschritte bei Roboter und Navigation

Arbeitsschritt	Roboter	Navigation
Pinimplantation	Erforderlich	Nicht erforderlich
Computertomographie	Erforderlich	Nicht erforderlich
Präoperative Planung	Erforderlich	Nicht erforderlich
Arthroskopisch durchführbar	Möglich	Möglich
Transplantatentnahme	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung
Definition der Lage	Registrierung der Registrierkreuze	Akquisition anatomischer Landmarken
Bohrkanalanlage	Fräsen mit Diamanthohlschleife durch den Roboter	Navigiertes Bohren von Kirschner-Drähten, anschließend Überbohren
Röntgenkontrolle	Nicht erforderlich	Erforderlich
Transplantatfixierung	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung

Diskussion

Mit dem Operationsroboter „CASPAR“ und dem Navigationssystem „OrthoPilot“ stehen neben den herkömmlich verwendeten Zielgeräten 2 computergestützte Verfahren zur Verfügung, die bei der Positionierung der Bohrkanäle in Femur und Tibia eingesetzt werden können. Beide Verfahren sind deutlich aufwändiger als die bisher zum Einsatz kommenden konventionellen Zielgeräte.

Mehrere Auswertungen unsererseits mit postoperativ durchgeführten MRT-Untersuchungen im Vergleich zu den präoperativen Planungen haben gezeigt, dass mit dem Operationsroboter ein Hilfsmittel zur Verfügung steht, das es ermöglicht, die präoperativen Planungen der Positionierung der Bohrkanäle bei der Operation präzise umzusetzen.

Bei der Verwendung des Navigationssystems dagegen musste der eingeschlagene Weg in 10 von 16 Fällen verlassen werden, und zwar ausschließlich, weil die intraoperative Kontrolle der navigiert eingebrachten Kirschner-Drähte eine falsche Position zeigte. Die bei der Positionierung der Bohrkanäle zu fordernde Präzision konnte somit mit der Navigation nicht regelmäßig erreicht werden.

Als Vorteile der robotergestützten Operation sehen wir daher die Möglichkeit einer präzisen, reproduzierbaren Positionierung der Bohrkanäle und eine gute Dokumentation, da der gesamte Roboter-einsatz im System gespeichert wird, darüber hinaus kann die Planung ausge-

druckt dem Operationsbericht beigelegt werden. Vorteilhaft ist es in unseren Augen auch, dass die Planung der Kreuzbandplastik am gesunden Kniegelenk stattfindet und dann auf das verletzte Kniegelenk übertragen wird – so finden die individuellen Verhältnisse Berücksichtigung. Als Nachteile bei der Anwendung des Roboters muss sicherlich der erhebliche Aufwand angesehen werden: Es sind 2 Operationen mit 2 Narkosen und eine Computertomographie erforderlich, und der Zeitaufwand ist sehr hoch. Darüber hinaus ist auch der Kostenaufwand, nicht nur in Korrelation mit dem Zeitaufwand, sondern auch durch Anschaffungs- und Wartungskosten erheblich.

Demgegenüber ist der Aufwand bei der Navigation deutlich geringer, sie ist sicher auch einfacher erlernbar, und die Kosten sind gegenüber denen des Operationsroboters deutlich niedriger, auch durch eine vielfältigere Verwendbarkeit des Navigationssystems. Als entscheidender Nachteil muss jedoch die fehlende Präzision des Verfahrens angesehen werden.

Im Frühjahr 2003 hat der Betreiber des Operationsroboters Insolvenz angemeldet, sodass die Wartung des Roboters vorübergehend nicht mehr gewährleistet war und er entsprechend den Bestimmungen des Medizinproduktegesetzes nicht mehr am Patienten angewendet werden durfte. Zwischenzeitlich wurde wieder eine Wartung des Roboters ermöglicht, inwieweit eine Fortentwicklung der technischen Gegebenheiten erwartet werden kann, ist zurzeit offen.

Bei Abwägen der Vor- und Nachteile der geschilderten computergestützten Verfahren für die vordere Kreuzbandplastik können beide Verfahren für den routinemäßigen Einsatz nicht empfohlen werden. Eine Weiterentwicklung erscheint zunächst erforderlich. Welches der bisher konkurrierenden Verfahren schließlich nach Weiterentwicklung den Erfordernissen genügen wird, ist bisher offen, jedoch scheint in der Entwicklung die Navigation derzeit einen Vorsprung zu haben. Nach Eichhorn [5] wird die Navigation „im Hinblick auf gute Operationsergebnisse ... einen festen Platz in der Kreuzbandchirurgie bekommen“. Wie groß dieser Platz sein wird und ob endgültig eine bildfreie Navigation oder aber eine bildgestützte Navigation die Operationsergebnisse verbessern kann, bleibt zunächst offen. Möglicherweise kann hier bei der Weiterentwicklung der Navigation auf die Erfahrungen mit dem Operationsroboter zurückgegriffen werden, denn nicht die Glattheit der Bohrkanäle durch die Verwendung von Diamanthohlschleifen ist der große Vorteil des Roboters bei der Anwendung im Rahmen der Kreuzbandchirurgie, sondern die Präzision – und diese ist auf eine CT-gestützte Navigation zurückzuführen.

Korrespondierender Autor

Dr. K. Butenschön

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,
Unfallkrankenhaus Berlin,
Warener Straße 7, 12683 Berlin
E-mail: kay.butenschon@ukb.de

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

1. Aesculap®, OrthoPilot Modul für die ACL Rekonstruktion, Gebrauchsanweisung für Prototyp Version: acl_v1_1 02-04-15
2. Bernard M, Hertel P (1996) Intraoperative and postoperative insertion control of anterior cruciate ligament plasty. A radiologic measuring method. Unfallchirurg 99: 332-340
3. Brown CCH Jr, Carson EW (1999) Revision anterior cruciate ligament surgery. Clin Sports Med 18: 109-171

Call for papers

4. Butenschön K, Handke S, Ekkernkamp A (2002) Computerassistierte Verfahren für die vordere Kreuzbandplastik – Techniken für die Zukunft. In: Frenzel G, Wuschech H (Hrsg) Arthroskopische Gelenkchirurgie. Gestern – Heute – Morgen. Congress Compact, Berlin, S 119–125
5. Eichhorn J (2003) Computerassistierte Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit dem OrthoPilot-System. In: Konermann W, Haaker R (Hrsg) Navigation und Robotik in der Gelenk- und Wirbelsäulenchirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 317–323
6. Howell SM, Taylor MA (1993) Failure of reconstruction of the anterior cruciate ligament due to impingement by the intercondylar roof. J Bone Joint Surg Am 75: 1044–1055
7. Petermann J, Schierl M, Niess C et al. (2000) Computerassistierte Planung und roboterassistierte Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes mit dem CASPAR-System. Arthroskopie 13: 270–279
8. Stäubli HJ, Rauschnig W (1994) Tibial attachment area of the anterior cruciate ligament in the extended knee position. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2: 138–146

Die Zeitschrift Trauma und Berufskrankheit steht für eine ganzheitliche Information zu Fragen aus dem Bereich der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, der Berufserkrankungen sowie für die Bearbeitung aller Aspekte der gesetzlichen Unfallversicherung.

In diesem Rahmen werden Themen der Unfallverhütung, der Diagnostik, der operativen und konservativen Therapie, der Folgeschäden und Folgeeingriffe, der Rehabilitation sowie gesetzliche Grundlagen, Kriterien der Entschädigung und Aspekte der Umschulung u. a. behandelt.

Um diese Themenvielfalt aktuell und praxisnah in der Zeitschrift abzubilden, möchten wir Sie ermuntern, interessante Arbeiten bei uns einzureichen.

Im Vordergrund stehen dabei Beiträge, die sich mit folgenden Themen befassen:

- Berufskrankheiten
- BG-Heilverfahren
- Arbeitsmedizin
- Begutachtung
- Rehabilitation
- Qualitätssicherung
- Der besondere Fall
- Forschung
- Spezielle Techniken, Innovationen
- Arzneimitteltherapie
- Tipps & Tricks

Bitte schicken Sie Ihre Manuskripte in 2-facher Ausfertigung inkl. Diskette (bzw. Datei per E-Mail) an Herrn Prof. Dr. D. Wolter (koordinierender Schriftleiter) oder Herrn Priv.-Doz. Dr. C. Jürgens, Ärztlicher Direktor des Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhauses, Bergedorfer Straße 10, 21033 Hamburg, Tel.: 040/7306-2701, Fax: 040/7306-2703, E-Mail: ch.juergens.bukh@t-online.de

Ihre Arbeit wird anschließend von wenigstens zwei Gutachtern geprüft.

Die Schriftleitung behält sich das Recht vor, Manuskripte abzulehnen.

Unsere Hinweise für Autoren finden Sie im Internet unter

TraumaundBerufskrankheit.springer.de