

Arthroskopie 2013 · 26:21–34
 DOI 10.1007/s00142-012-0714-z
 Online publiziert: 18. Januar 2013
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Redaktion

K.P. Benedetto, Feldkirch
 W. Petersen, Berlin

T. Zantop¹ · W. Petersen²

¹ Sporthopaedicum Straubing

² Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin Grunewald

Anatomische Doppelbündelrekonstruktion mit autologer Semitendinosussehne

Die Faserzüge des vorderen Kreuzbands (VKB) werden in zwei funktionelle Bündel aufgeteilt [3–5, 8, 10, 23]. Der VKB-Ursprung und die Insertion weisen einen rund 3-fach größeren Querschnitt auf als die Mitsubstanz des Ligaments [14, 29]. Bei großen Insertionsarealen kann eine Einzelbündel(EB)-Rekonstruktion ggf. nur einen Kompromiss in Bezug auf die Wiederherstellung der VKB-Funktion darstellen. Hier kann eine Doppelbündel(DB)-Rekonstruktion hilfreich sein, um möglichst große Flächenanteile der femoralen mit der tibialen Insertion miteinander zu verbinden und somit Rotations- und anteriore Instabilität des Kniegelenks zu limitieren.

Die zunächst nur biomechanischen Einflüsse einer DB-Rekonstruktion auf die resultierende Kniegelenkinematik [24, 30, 37–39] scheinen sich in der aktuellen Literatur auch in den klinischen Studien zu bestätigen [16–19, 28]. Bei dieser Analyse der klinischen Literatur ist allerdings die detaillierte Betrachtung der Untersuchungs- und Kontrollgruppen notwendig. Meist wird eine schwache Kontrollgruppe gewählt, um die Ergebnisse der Untersuchungsgruppe positiv zu gestalten (trans-tibiale EB-Rekonstruktion vs. anatomische DB-Rekonstruktion oder anatomische EB-Rekonstruktion vs. nichtanatomische DB-Rekonstruktion [1, 11, 16–20, 21, 27, 28, 31, 32]).

Ein häufig angeführter Nachteil einer DB-Rekonstruktion ist die Fehlermöglichkeit bei der Tunnelplatzierung der femoralen und tibialen Tunnel [14]. Ziel die-

ses Beitrags ist es deshalb, die Prinzipien einer VKB-DB-Rekonstruktion unter besonderer Berücksichtigung der möglichen Fehler vorzustellen [26].

Operationstechnik

Als Transplantat bieten sich die Hamstring-Sehnen an. Bei korrekter Sehnenentnahmetechnik und entsprechender Patientengröße ist die DB-Rekonstruktion nur mit der Semitendinosussehne durchzuführen. Bei der Platzierung der femoralen und tibialen Tunnel wird nach einem Schema vorgegangen, das sich im Rahmen der klinischen Praxis bewährt hat (■ Tab. 1).

Zunächst wird der femorale AM-Bündel-Tunnel lokalisiert. In Abhängigkeit davon wird der PL-Bündel-Tunnel platziert. Beide Tunnel werden in der medialen Portaltechnik angelegt. Tibial erfolgt zuerst die AM-Bündel-Lokalisation und anschließend die PL-Bündel-Platzierung (■ Tab. 2). Die Tunnel müssen innerhalb

der anatomischen VKB-Insertionen gewählt werden. Nach Transplantateinzug wird die femorale Fixation mit Hilfe von jeweils einem Kippanker (FlippTack, Karl Storz, Tuttlingen) und die tibiale Fixation in Hybridtechnik mit resorbierbarer Interferenzschraube (Megafix, Karl Storz, Tuttlingen) und Fixationsknopf (Mini-EndoTack, Karl Storz, Tuttlingen) durchgeführt.

Transplantatentnahme und -vorbereitung

Zunächst erfolgt die Palpation des Pes anserinus superficialis sowie eine etwa 3–4 cm schräge Hautinzision. Diese Schnittführung ist vorteilhaft zur Vermeidung von Läsionen des R. infrapatellaris des N. saphenus und zur Lokalisation zweier unabhängiger tibialer Tunnel. Mit einer gebogenen Pinzette wird die Grazilissehne identifiziert und die Sartoriusfaszie distal davon inzidiert (■ Abb. 1). Die Inzision wird auf eine Länge von

Tab. 1 Femorale Operationsstrategie

Transplantatentnahme: Semitendinosussehne (ggf. Grazilissehne)
AM-Bündel-Lokalisation: Probebohrung AM
Kontrolle durch mediale Portalvisualisation
Erneutes Vorbohren AM K-Draht und bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer
PL-Bündel-Lokalisation: Probebohrung PL
Kontrolle durch mediale Portalvisualisation
Erneutes Vorbohren PL K-Draht und bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer
Längenbestimmung und Sacklochbohrung mittels eines dem Transplantatdurchmesser angepassten Bohrers
AM anteromedial, PL posterolateral.

Tab. 2 Tibiale Operationsstrategie

AM-Bündel-Lokalisation: K-Draht-Platzierung AM
PL-Bündel-Lokalisation: K-Draht Platzierung PL
Stufenweises Überbohren des AM- und PL-Drahtes, ggf. exzentrische K-Draht-Position zur Korrektur der Tunnelposition
Débridement der Tunneleingänge
Einzug PL-Transplantat
Einzug AM-Transplantat
Fixation PL-Bündel in etwa 10° Flexion
Fixation AM-Bündel in etwa 45° Flexion
AM anteromedial, PL posterolateral.

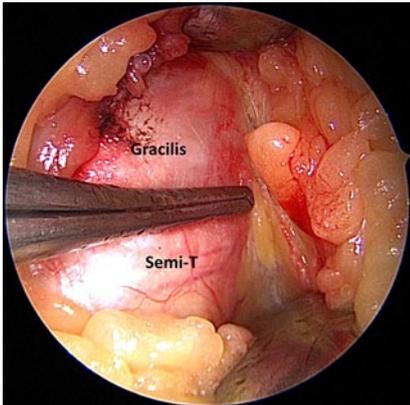


Abb. 1 ▲ Identifikation der Gracilissehne. Die gebogene Pinzette ist im Intervall zwischen Gracilis- und Semitendinosussehne positioniert

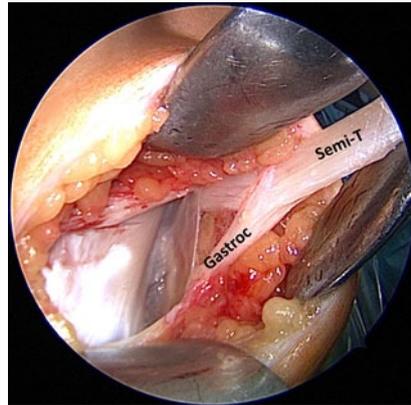


Abb. 2 ▲ Darstellung der Verbindungsfasern zum M. gastrocnemius. Hierfür wird die Sehne nach Absetzen an der Tuberositas nach medial geklappt

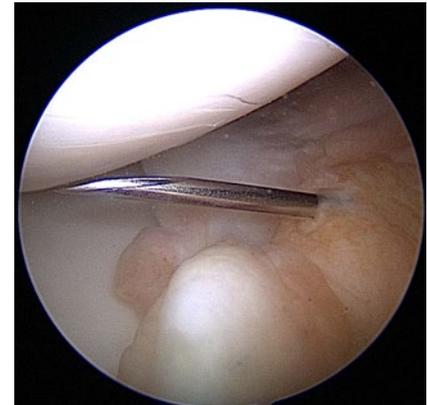


Abb. 5 ▲ Portalanlage streng suprameniskal und zur Vermeidung eines Kulissenphänomens in etwa 100° Flexion

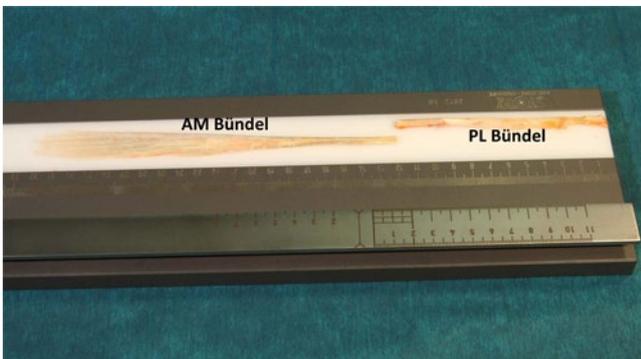


Abb. 3 ◀ Nach Abstreifen der Muskulatur wird das proximale Transplantatende zum AM-Bündel (Länge: 16 cm) und das distale Ende zum PL-Bündel (Länge: 12 cm)

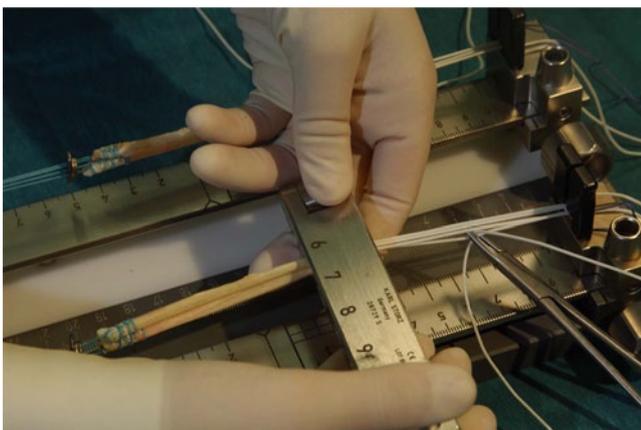


Abb. 4 ◀ Bestimmung des Transplantatdurchmessers auf einem speziellen DB-Sehnenboard (Karl Storz, Tuttlingen)

etwa 2 cm erweitert (Spaltung mit einem Scherchen in Faserrichtung). Die distal der Inzision lokalisierte Semitendinosussehne wird mit einem Overholt umfahren und mit einem Faden angeschlungen. Die Sehne wird bis zur Insertion im Bereich der Tuberositas tibiae präpariert und dort abgesetzt.

Somit kann die maximale Transplantatlänge ausgenutzt und auf eine Entnahme der Gracilissehne verzichtet werden.

Die Ausläufer der Semitendinosussehne zum Caput mediale des M. gastrocnemius werden mit einer Präparierschere durchtrennt. Hierfür bietet es sich an, die Sehne nach medial zu klappen und von anterolateraler Position zu inspizieren (Abb. 2). Dadurch werden der profunde Anteil der Sehne und der Abgang der Ausläufer sichtbar. Die Semitendinosussehne wird mittels eines geschlossenen Sehnenstrippers mit einem Durchmesser

von 7,5 mm entnommen. Ab einer Länge von 28 cm wird auf eine Gracilissehnenentnahme verzichtet. Bei kürzerer Semitendinosussehne wird zusätzlich die Gracilissehne in derselben Technik entnommen (der Overholt wird hierfür nach proximal geführt). Nach Sehnenentnahme wird die Satoriusfaszie mit resorbierbarer Naht der Stärke 1-0 USP verschlossen.

Die Transplantate werden auf einem speziellen Präparationsbrett (DB Board, Karl Storz, Tuttlingen) vorbereitet. Nach Abstreifen des muskulären Übergangs und einer Länge von >28 cm wird die Sehne asymmetrisch unterteilt. Da das AM- und das PL-Bündel intraartikulär deutliche Längenunterschiede aufweisen, wird das PL-Bündel mit einer Länge von 12 cm (gelooped 6 cm) und das AM-Bündel mit einer Länge von 16 cm (gelooped 8 cm) geplant. Der proximale (vom Muskel abgestreifte) Sehnenanteil wird aufgrund des etwas dickeren Sehnen durchmessers zum AM-Bündel, der distale Anteil wird zum PL-Bündel (Abb. 3). Beide Transplantate werden als 2-strängige Transplantate mit einer Baseballnaht präpariert (nichtresorbierbares Fadenmaterial, USP 2). Die beiden femoralen Transplantatschlaufen werden mit je einem Kippanker armiert (FlippTack, Karl Storz, Tuttlingen) und anschließend wird der Durchmesser bestimmt (Abb. 4). Die distalen Nähte werden durch einen tibialen Knopf geführt (MiniEndoTack, Karl Storz, Tuttlingen).

Portalanlage und femorale Tunnelplatzierung

Zur Portalanlage wird die Lichtkabelstellung in die 11-Uhr-Position (rechtes Knie; links: 1-Uhr-Position) gebracht und die Meniskusbasis des medialen Meniskus dargestellt. Aufgrund der guten subkutanen Verschiebbarkeit kann die Rekonstruktion bei optimaler Portallokalisation mit einer einfachen medialen Portalanlage durchgeführt werden. In Kanülentechnik wird die Lage ausgelotet und das mediale Portal in Funktionsstellung (etwa 100° Flexion) streng supramenisikal angelegt (■ **Abb. 5**). Eine zu mediale Portallokalisation ist mit der Gefahr einer iatrogenen Knorpelläsion verbunden und wird vermieden.

Als topographische Landmarke zur femoralen Tunnelanlage gilt der Knochenknorpel-Übergang des lateralen Femurkondylus im Bereich der Linea intercondylaris. Die Kenntnis der Veränderung des VKB-Ursprungs mit zunehmender Flexion ist essenziell. Während der Ursprung in Extension eher vertikal orientiert ist, kann in Flexion eine horizontale Anordnung des AM- und PL-Bündels beobachtet werden (■ **Abb. 6**).

Zur Lokalisation des femoralen AM-Bündel-Tunnels wird ein Doppelbündelzielgerät mit einem Offset von 8 mm (Distanz zwischen dem Zentrum des AM- und PL-Bündels) verwendet. Dieses besitzt transtibialen Zielgeräten gegenüber den Vorteil, dass es anatomisch für die mediale Portaltechnik konzipiert wurde und an die Anatomie des lateralen Femurkondylus angepasst ist. Diese Zielgeräte geben ihren Offset vom Zentrum des AM- zum Zentrum des PL-Bündels an (8 mm) und berechnen sich von einem Einhaken der Zielgerätenase in einen 4,5-mm-Tunnel. Da das Zielgerät aber in der Over-the-top-Position verwendet wird, ist der Offset 2 mm geringer und der Abstand vom Zentrum der Drahtbohrung zur Over-the-top-Position beträgt 6 mm. Der Offset ist dazu geeignet, das AM-Bündel anatomisch zu lokalisieren. Das Zielgerät wird in medialer Portaltechnik eingebracht und zur Probebohrung eine Flexion von etwa 110° eingenommen (■ **Abb. 7**).

Arthroscopie 2013 · 26:21–34 DOI 10.1007/s00142-012-0714-z
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

T. Zantop · W. Petersen

Anatomische Doppelbündelrekonstruktion mit autologer Semitendinosusehne

Zusammenfassung

Einleitung. Das Kontinuum der Fasern des vorderen Kreuzbands (VKB) wirkt als synergistische Zweibündelstruktur. Ziel der anatomischen VKB-Doppelbündelrekonstruktion ist es, die Hauptbündel mit Hilfe von separaten Transplantaten wiederherzustellen und somit die komplexen Stabilisierungsaufgaben des VKB zu imitieren.

Operationstechnik. Die Transplantatentnahme der Semitendinosusehne erfolgt mit Ablösung der Sehne im Bereich der Tuberositas tibiae (Optimierung der Transplantatlänge). Das anteromediale (AM) Bündel wird in medialer Portaltechnik mit einem Doppelbündelzielgerät in Flexion von etwa 110° lokalisiert. Nach Kontrolle der Probebohrung mittels medialer Portalvisualisation wird der K-Draht mit einem 4,5-mm-Bohrer überbohrt. Die posterolaterale (PL) Bündelplatzierung erfolgt individuell mit einem PL-Bündelzielgerät, das auf die Insertions- und Transplantatgröße abgestimmt wird. Auch hier wird zunächst eine bikortikale 4,5-mm-Bohrung durchgeführt und die AM- und PL-Sacklochbohrung an die Längenbestimmung angepasst. Tibial wird das AM-Bündel im VKB-

Stumpf auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns platziert. Mit einem tibialen DB-Zielgerät wird das PL-Bündel etwa 8–10 mm posterior vom Zentrum des AM-Bündels lokalisiert. Der Transplantateinzug erfolgt in medialer Portalvisualisation. Nach femoraler Fixation über einen extrakortikalen Kippanker wird das zunächst das PL-Bündel in etwa 10° Knieflexion und das AM-Bündel in 45° Flexion in Hybridtechnik mittels bioresorbierbarer Interferenzschraube und tibialen Button fixiert.

Diskussion. Die anatomische VKB-Doppelbündelrekonstruktion mit autologer Semitendinosusehne ist eine wichtige Operationstechnik im Konzept der anatomischen VKB-Rekonstruktion. Bei großen Insertionsarealen und hohem Aktivitätsniveau des Patienten kann sie die Rotations- und anteriore Instabilität reduzieren.

Schlüsselwörter

Vorderes Kreuzband · Anatomische Doppelbündelrekonstruktion · Semitendinosusehne · Operationsstrategie · Zielgerät

Anatomic double bundle reconstruction using semitendinosus tendon graft

Abstract

Introduction. Fibres of the anterior cruciate ligament (ACL) can be distinguished into two functional bundles. The aim of an anatomic double bundle ACL reconstruction is to replicate these two bundles and their function using two separate femoral and two separate tibial tunnels.

Surgical technique. Graft harvesting is performed with a preparation of the semitendinosus tendon to its insertion at the tibial tuberosity thereby increasing graft length. The anteromedial (AM) bundle is located in a medial portal approach using a specific double bundle aimer in 110° flexion. First, a k-wire is predrilled, controlled via medial portal visualization and subsequently overdrilled using a bicortical 4.5 mm drill. The posterolateral (PL) bundle is located using a PL bundle aimer with individual distance and with respect to the anatomic insertion size and graft diameter. The PL bundle is first predrilled and after visualization via the medial portal overdrilled (4.5 mm). Graft size tunnels are drilled

in accordance to the bicortical length. The tibial AM bundle is located with respect to the anterior horn of the lateral meniscus and the center of the PL bundle approximately 8–10 mm posterior to the AM k-wire. After femoral fixation of the graft passage with a cortical flip button the PL bundle is fixed in 10° knee flexion and the AM bundle in 45° flexion using medial portal visualization and tibial fixation in a hybrid technique.

Discussion. Anatomic double bundle ACL reconstruction is an important part of the concept of anatomic ACL reconstruction. In appropriate sized insertion areas and highly active patients this reconstruction can be beneficial limiting anterior and rotational instability.

Keywords

Anterior cruciate ligament · Anatomic double bundle reconstruction · Semitendinosus tendon · Surgical technique · Aimer

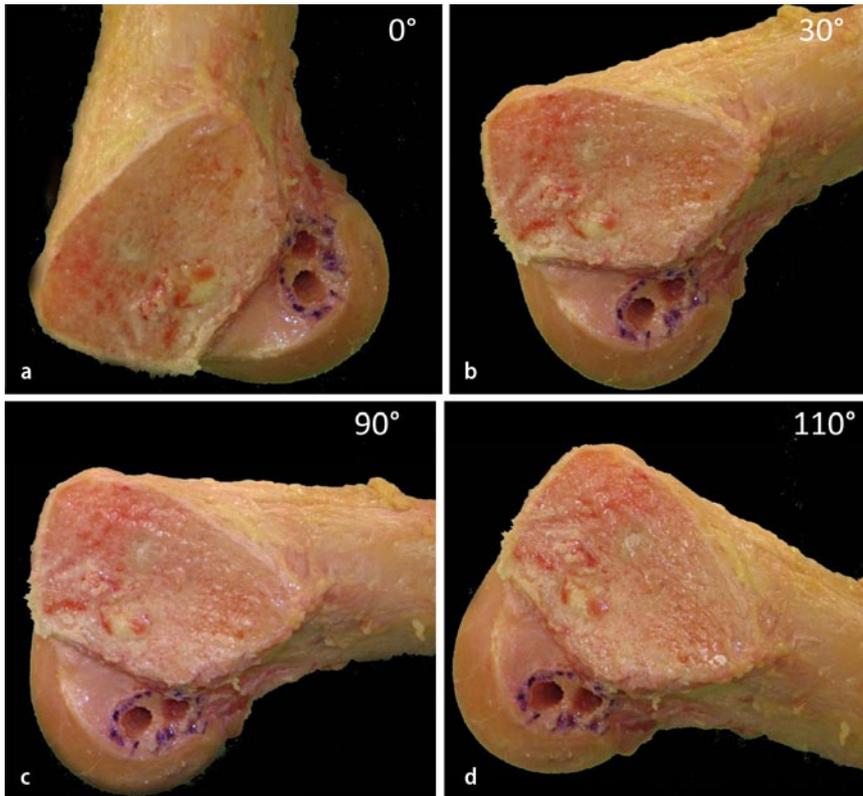


Abb. 6 ◀ Veränderung der Orientierung des VKB-Ursprungs mit zunehmender Flexion. AM- und PL-Bündel-Tunnel sind angelegt, um die Lage zueinander darzustellen. **a** 0°, **b** 30°, **c** 90°, **d** 110°

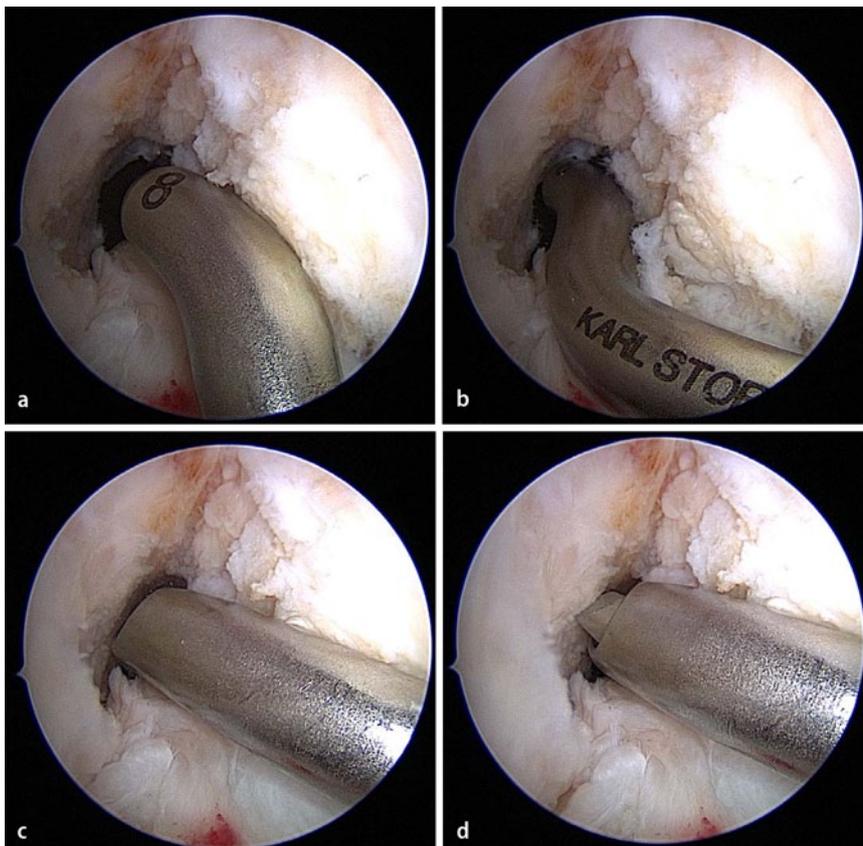


Abb. 7 ◀ AM-Bündel-Positionierung. Einbringen des Doppelbündelzielgerätes 8 mm in medialer Portaltechnik (**a**, **b**), Positionierung in der Over-the-top-Position (**c**) und Probepbohrung (**d**)

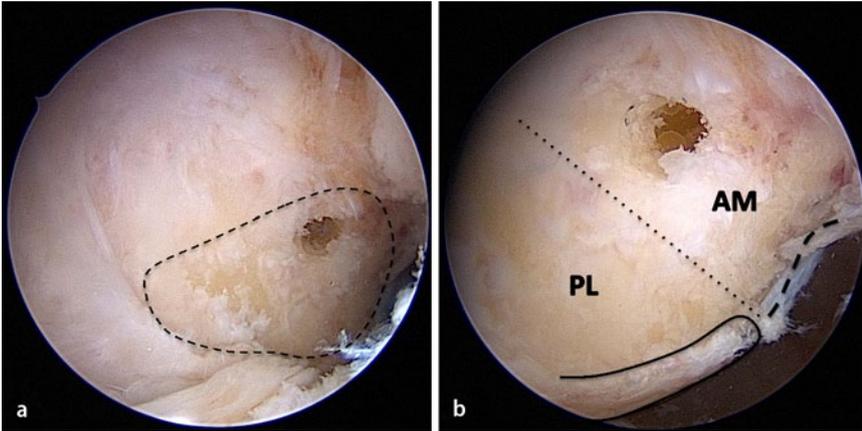


Abb. 8 ▲ Kontrolle der Probebohrung mit medialem Portalblick in 90° Flexion. **a** Darstellung in Übersicht und **b** relative Position der AM-Bündel-Position zum Knochen-Knorpel-Übergang. Am Schnittpunkt Knorpelüberzug des lateralen Femurkondylus (*durchgezogene Linie*) und der Linea intercondylaris (*gestrichelte Linie*) ist die Trennung der anteromedialen und posterolateralen Bündelfasern (*gepunktete Linie*). AM anteromedial, PL posterolateral

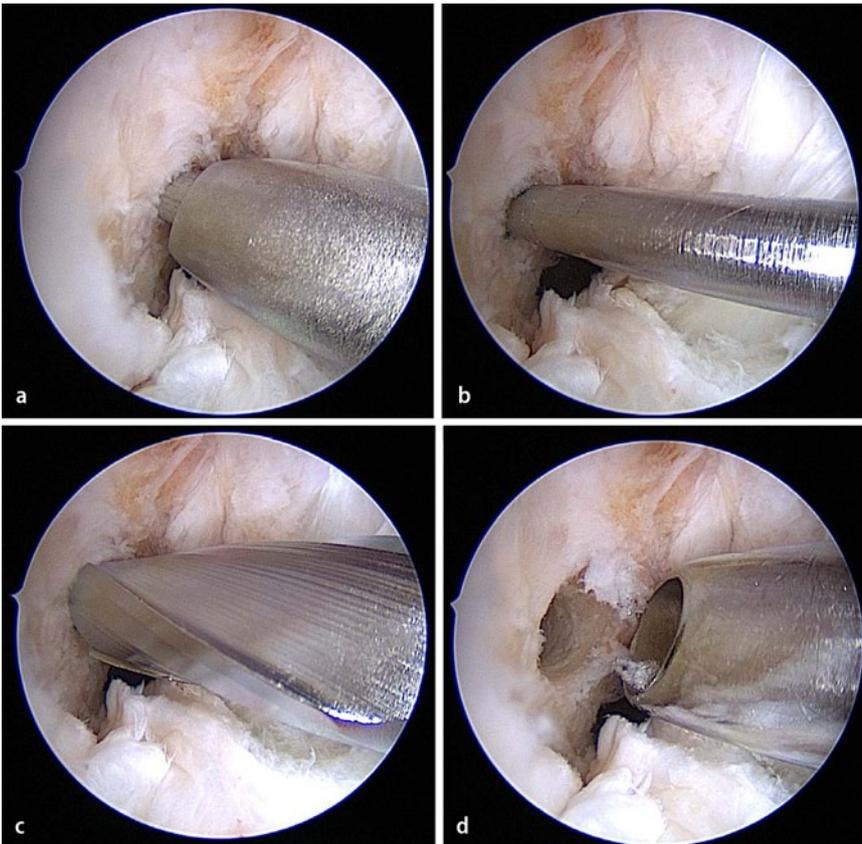


Abb. 9 ▲ Erneutes Einbringen des K-Drahtes (**a**) bis zur Penetration der Gegenkortikalis (**b**) und Überbohren mit einem 4,5 mm durchmessenden Bohrer (**c**). Klärung des Bohrmehls aus dem Tunnel mit einer Spülkanüle (**d**)

Tab. 3 Übersicht über die operativen Schritte und Fehlermöglichkeiten der femoralen Tunnelplatzierung

Operatives Vorgehen	Fehlermöglichkeiten
Probebohrung anteromediales (AM) Bündel	Zu steile und anteriore Fehlplatzierung des AM-Bündels vor dem Treffpunkt Linea intercondylaris und Knochen-Knorpel-Grenze
Kontrolle der geplanten femoralen Position durch medialen Portalblick	Keine Berücksichtigung der Knieflexionsstellung
Bikortikales Platzieren des AM-K-Drahtes	Zu geringe Knieflexion beim Bohrvorgang
Bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer	Verändern des Knieflexionsgrads
Probebohrung posterolaterales (PL) Bündel	1. Zu geringer Abstand und somit zu kleine Brücke zum AM-Bündel 2. Fehlplatzierung zu flach oder zu hoch
Bikortikales Platzieren des PL-K-Drahtes	Zu geringe Knieflexion beim Bohrvorgang
Bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer	Verändern des Knieflexionsgrads
Längenbestimmung und Sacklochbohrung mit einem dem Transplantatdurchmesser angepasster Bohrer	1. Veränderung des Flexionsgrades zwischen 4,5-mm-Bohrung und Sacklochbohrung 2. Penetration des zweiten Kortex mit Sacklochbohrer

Tab. 4 Übersicht über die operativen Schritte und Fehlermöglichkeiten der tibialen Tunnelplatzierung

Operatives Vorgehen	Fehlermöglichkeiten
Schlechte Visualisation der tibialen Insertion	Zu hohe Knieflexion
Zieldraht trifft nicht das Loch des Zielgerätes	1. Verbiegen des Drahtes beim Vorbohren 2. Zu starkes Anspannen des Zielgerätes und somit diskretes Verbiegen des Zielarms
K-Draht-Platzierung AM-Bündel	Fehlplatzierung, besonders bei zu posteriorer Platzierung
Draht tritt bei erneuter Platzierung im alten Drahtloch aus	Korrektur durch exzentrische Drahtposition beim stufenweise Überbohren
Probleme beim Aushaken oder Verkippen des Zielgerätes für das PL-Bündel	K-Draht zu weit nach intraartikulär vorgebohrt
K-Draht-Platzierung PL-Bündel	1. Zu geringer Abstand und somit zu kleine Brücke zum AM-Bündel 2. Verletzung der posterioren Meniskuswurzel des Außenmeniskus („root tear“)
Herausgebrochene knöcherne Fragmente beim Überbohren	1. Unvorsichtiges Bohren mit zu hohem Druck 2. Bohren ohne Zwischenschritt

Nach Entfernen des Drahtes und des Zielgerätes erfolgt die Positionskontrolle mit dem medialen Portalblick (■ **Abb. 8**). Das AM-Bündel muss in etwa 90° Flexion im hinteren oberen Quadranten positioniert sein („deep and high“). Wir empfehlen diesen Schritt insbesondere bei Operateuren mit geringerer Erfahrung in der DB-Technik, da die nachfolgende PL-Position in hohem Maße vom AM-Bündel abhängt. Bei anatomischer Lokalisation wird die Arthroskopieposition in das hohe anterolaterale Portal gewechselt. Der K-Draht wird bikortikal eingebracht und anschließend zunächst mit einem 4,5-mm-Bohrer überbohrt (■ **Abb. 9**). Mit Hilfe des DB-Zielgerätes wird nun das PL-Bündel lokalisiert. Der Abstand zwischen dem Zentrum des AM- und des PL-Bündels wird an die Kniegelenk- und Transplantatgröße angepasst. In den meisten Fällen ist allerdings ein 9-mm-Offset-Zielgerät optimal.

» Mit Hilfe des Doppelbündelzielgerätes wird das PL-Bündel lokalisiert

Nun erfolgt das Einführen des Zielgerätes in den femoralen 4,5-mm-Tunnel, die K-Draht-Probebohrung sowie die Kontrolle durch das mediale Portal (■ **Abb. 10**). Bei diesem Schritt limitiert die notwendige maximale Flexion häufig die Visualisation. Bei anatomischer Lokalisation wird analog dem Vorgehen beim AM-Tunnel der K-Draht mit Hilfe des Zielgerätes erneut eingebracht und mit einem 4,5-mm-Bohrer bikortikal überbohrt. Anschließend erfolgt die Längenmessung der bikortikalen Strecke für das AM- und PL-Transplantat (■ **Abb. 11**).

In der klinischen Praxis ist der PL-Tunnel häufig länger als der AM-Tunnel. In Anpassung an die bikortikale Strecke erfolgt das Überbohren mit dem an den Transplantatdurchmesser angepassten Bohrer. Die Transplantatstrecke im fe-

moralen Tunnel beträgt für das AM-Bündel 18–20 mm und für das PL-Bündel 15–18 mm. Eine femorale Strecke von 15 mm Transplantat im femoralen Tunnel sollte nicht unterschritten werden. Bei der Verwendung einer extrakortikalen Fixation mit einem Kippanker werden die Tunnel also 25–28 mm für das AM-Bündel und etwa 23–25 mm für das PL-Bündel tief gebohrt (gewählte Transplantatlänge im femoralen Tunnel+7 mm Flippstrecke; ■ **Abb. 12**).

Eine abschließende Kontrolle mittels medialem Portalblick zeigt die anatomische Position und die Veränderung der Orientierung des Ursprungs (■ **Abb. 13**, Vergleich zum anatomischen Präparat s. ■ **Abb. 6**). Fallstricke und Komplikationen der einzelnen operativen Schritte sind in ■ **Tab. 3** zusammengefasst.

Tibiale Tunnelplatzierung und Débridement

Die tibiale Tunnelplatzierung erfolgt in extensionsnaher Knieposition, da sich

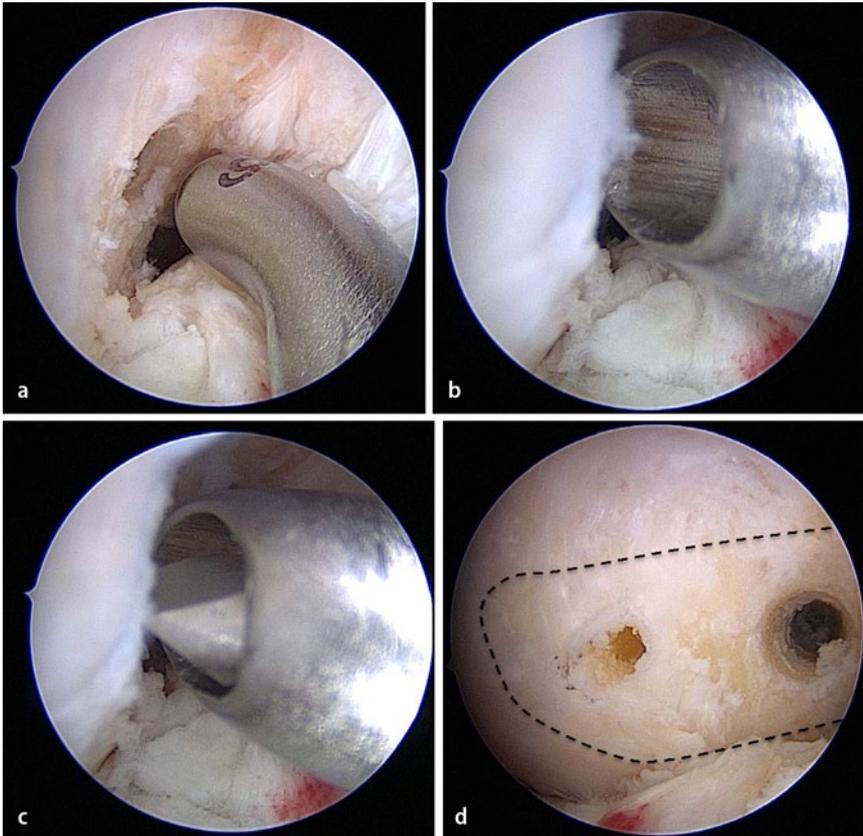


Abb. 10 ◀ PL-Bündel-Positionierung. **a** Einbringen des 9-mm-Doppelbündelzielgerätes, **b** maximale Knieflexion und horizontale Ausrichtung des Zielgerätes, **c** Probebohrung, **d** Kontrolle durch das mediale Portal in maximaler Knieflexion

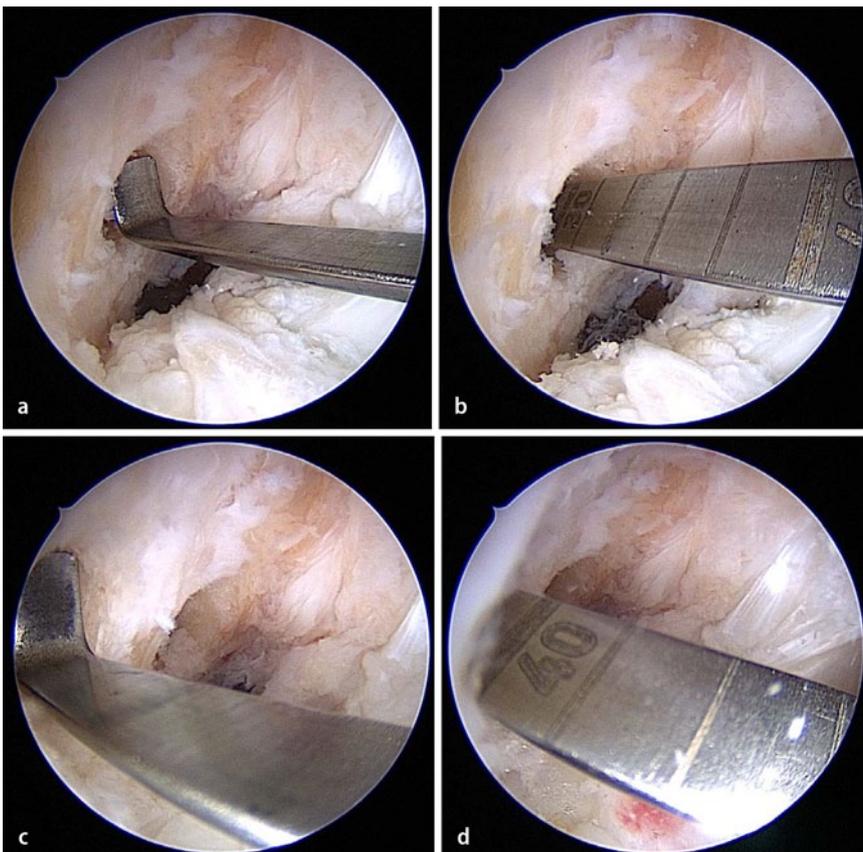


Abb. 11 ◀ Längenmessung. Zum Vorbringen der Messlatte in den femoralen anteromedialen (**a, b**) und posterolateralen (**c, d**) Tunnel ist die identische Knieflexion wie beim Bohrvorgang notwendig

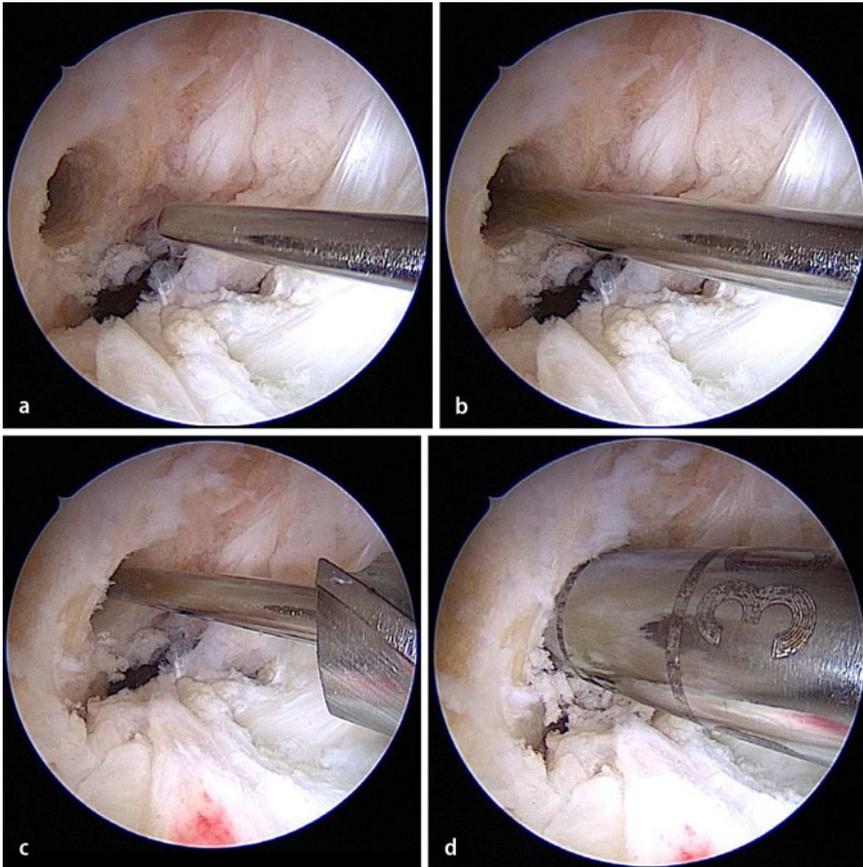


Abb. 12 ◀ Überbohren mit 6-mm-Transplantatbohrer am Beispiel des anteromedialen Bündels. **a, b** Einbringen des Drahtes, **c** Überbohren mit geringer Umdrehungszahl um eine Penetration des zweiten Kortex zu vermeiden, **d** Tiefe: etwa 24 mm

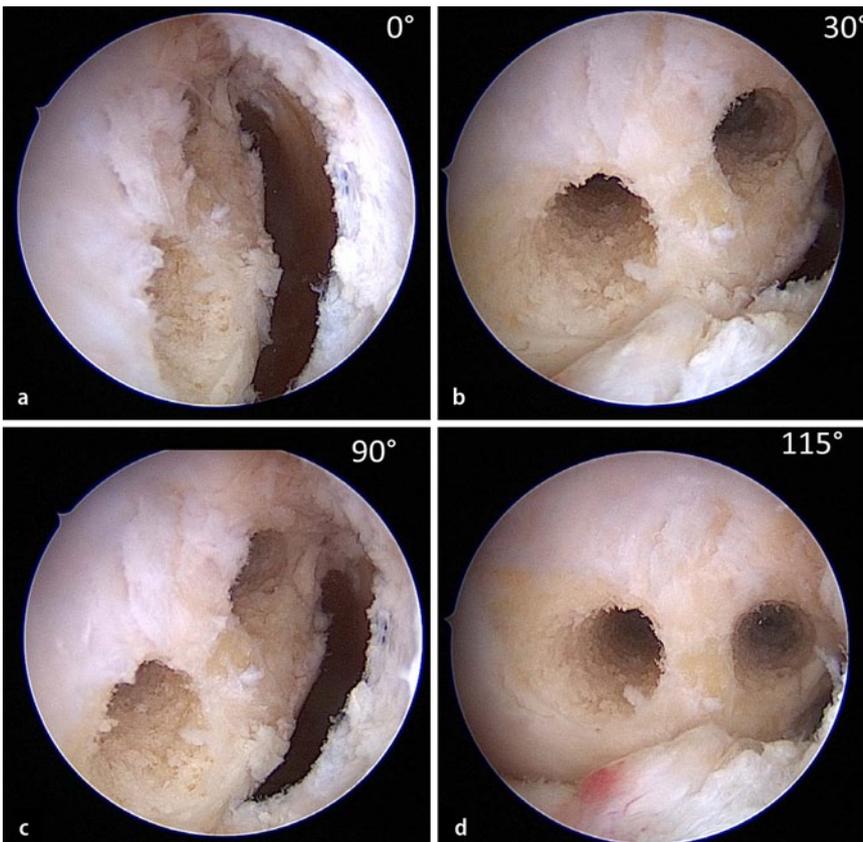


Abb. 13 ◀ Veränderung der Lage des AM- und PL-Bündel-Tunnels mit zunehmender Flexion. **a** In Extension vertikale Lagebeziehung, **d** in maximaler Flexion eher horizontale Beziehung (vgl. **Abb. 6**)

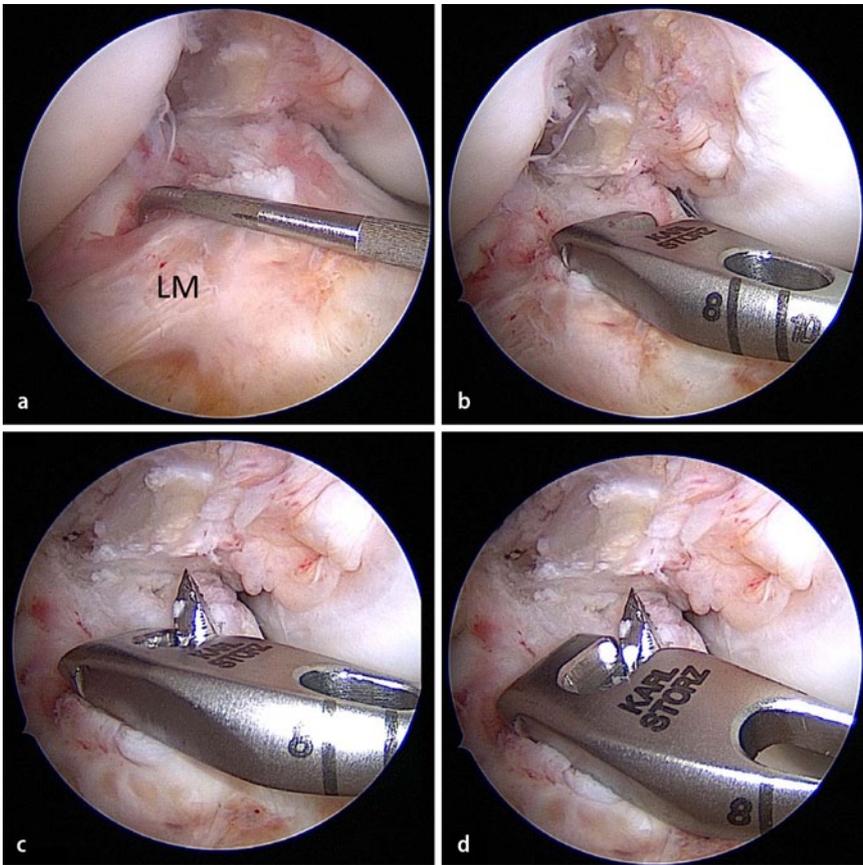


Abb. 14 ◀ Tibiale Platzierung des AM-Drahtes. **a** Ausloten des Außenmeniskusvorderhorns, **b** Einsetzen des Zielgerätes mit Orientierung des Flügels auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns, **c** Vorbohren und **d** Aushängen des Zielgerätes

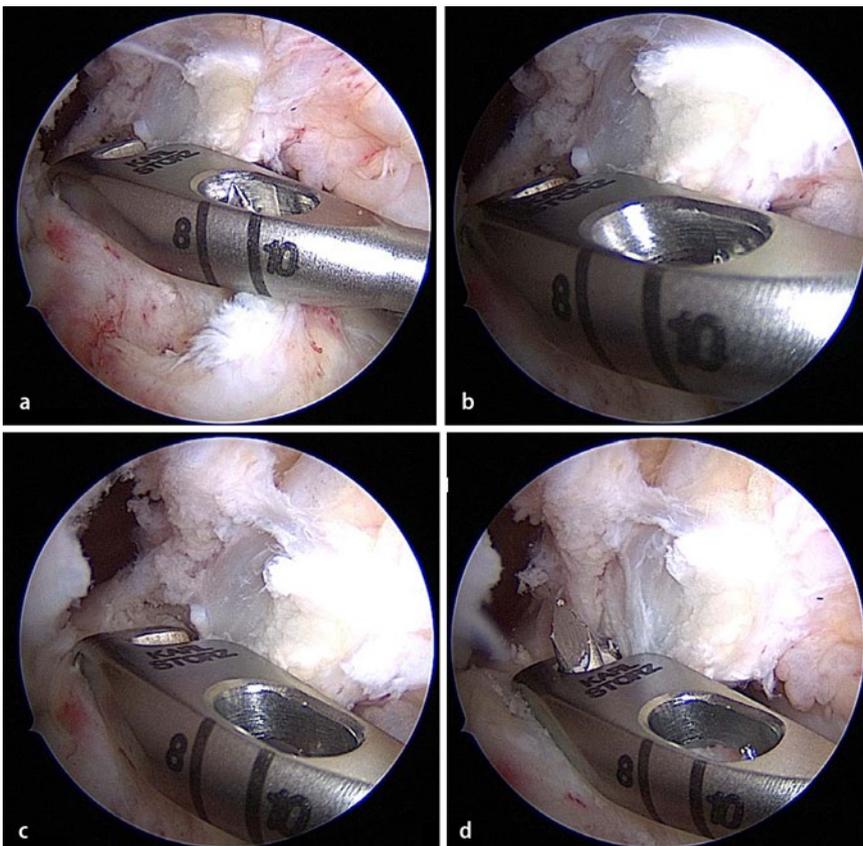


Abb. 15 ◀ Tibiale Platzierung des posterolateralen Drahtes. **a** Einhaken des anteromedialen Drahtes in das ovale Loch des Zielgerätes. **b**, **c** Bestimmung der individuellen Distanz, **d** Vorbohrung

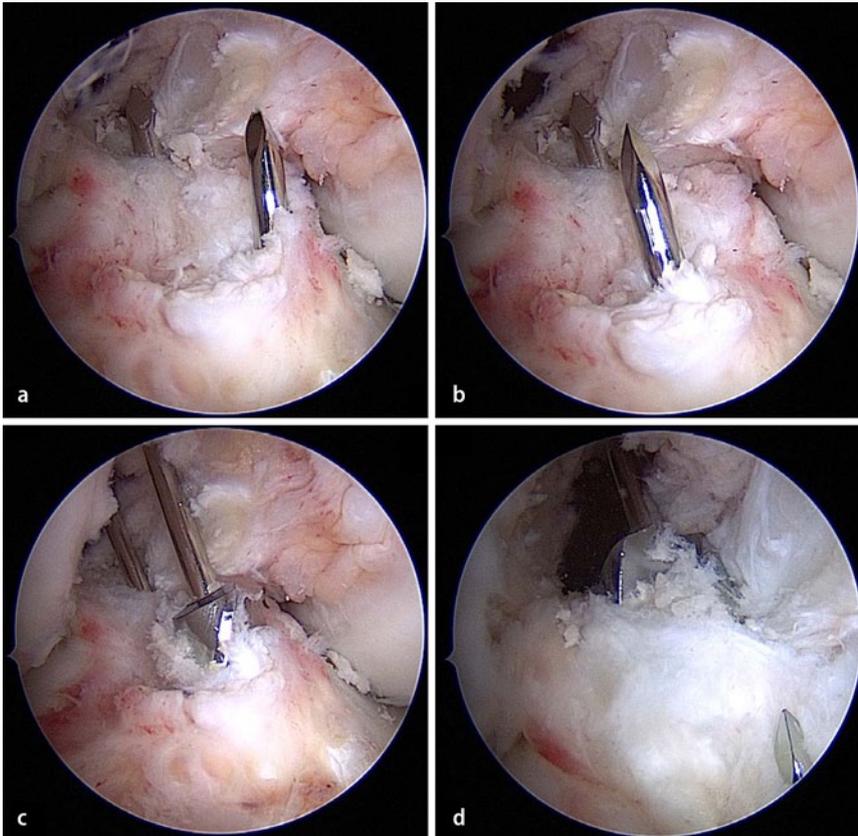


Abb. 16 ◀ Tibiale Korrekturmöglichkeit durch exzentrische Drahtposition im vorher angelegten (kleineren) Tunnel. Korrektur nach medial (a) oder lateral (b), bzw. nach anterior oder posterior. Überbohren mit einem dem Transplantatdurchmesser angepassten Bohrer für das AM- (c) und PL-Bündel (d)

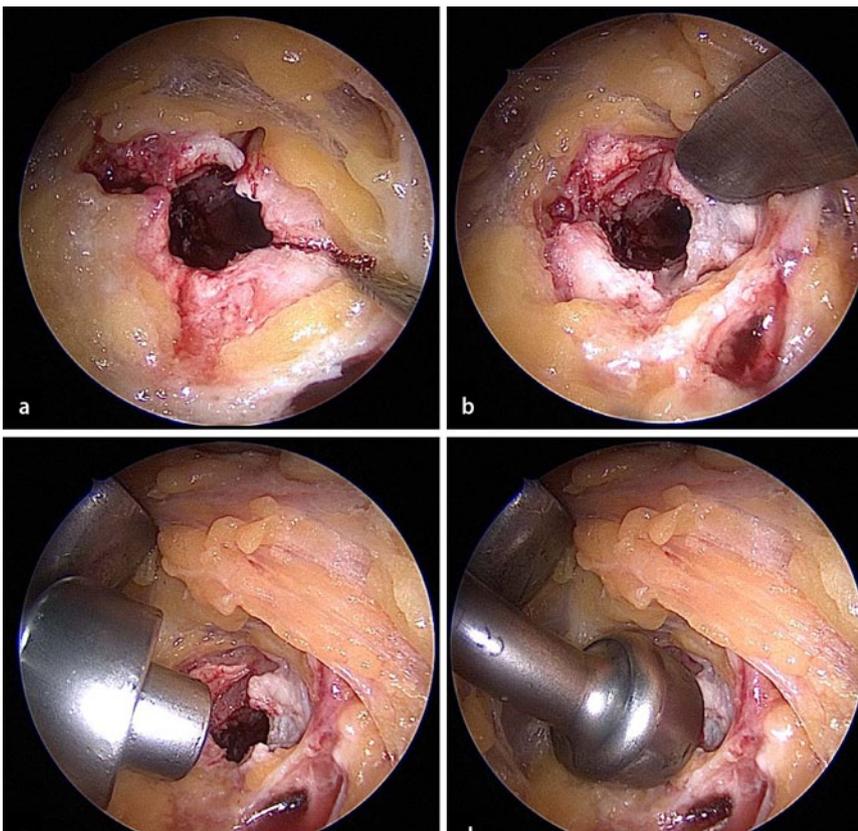


Abb. 17 ◀ Débridement am Tunneleingang. a Sternförmige Inzision und b Abschieben mit dem Rasp. c Einbringen des Setzgerätes und d Vorschlagen im 90°-Winkel zur Kortikalis

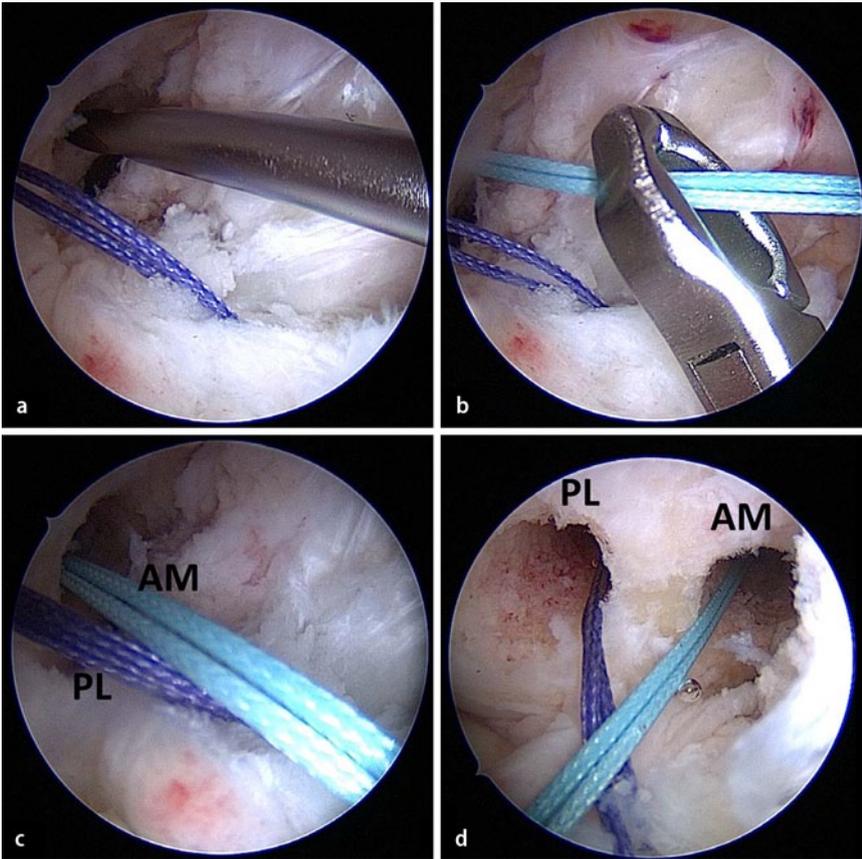


Abb. 18 ▲ Einbringen der Fadenschleife am Beispiel des AM-Tunnels. **a** Vorschieben des Drahtes durch das mediale Portal in den AM-Tunnel und **b** Ausleiten durch den tibialen AM-Tunnel mit einer Fadenfazzange. Blick des Transplantatverlaufs durch das **c** laterale und **d** mediale Portal

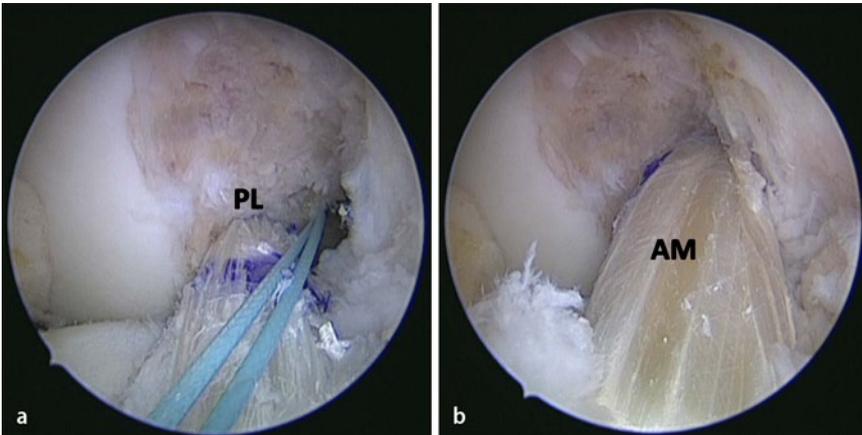


Abb. 19 ▲ a Einzug des PL-Transplantats und **b** des AM-Transplantats mit Visualisation durch das mediale Portal. Bei dieser Kameraposition kann die Markierung nach Zurückziehen des Transplantats gut visualisiert werden (Beispiel PL-Transplantat)

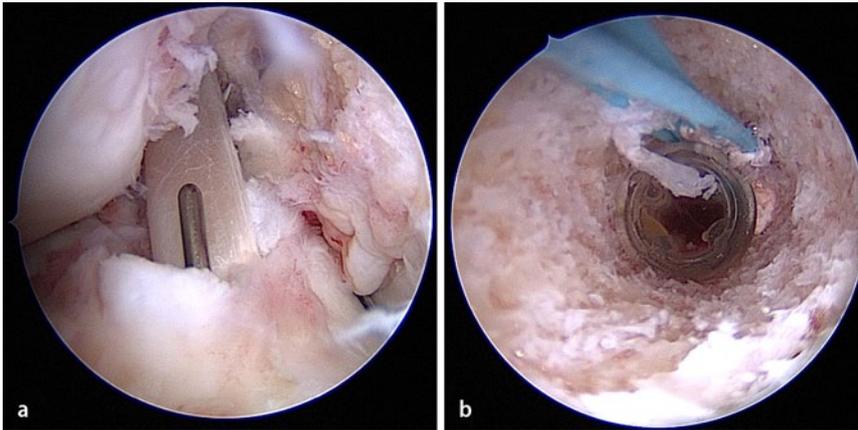


Abb. 20 ▲ Tibiale Fixation. **a** Nitinoldrahtposition für das AM-Transplantat anterior des Transplantats. **b** Kontrolle der Schraubenfixation mit Kameraposition im tibialen Tunnel

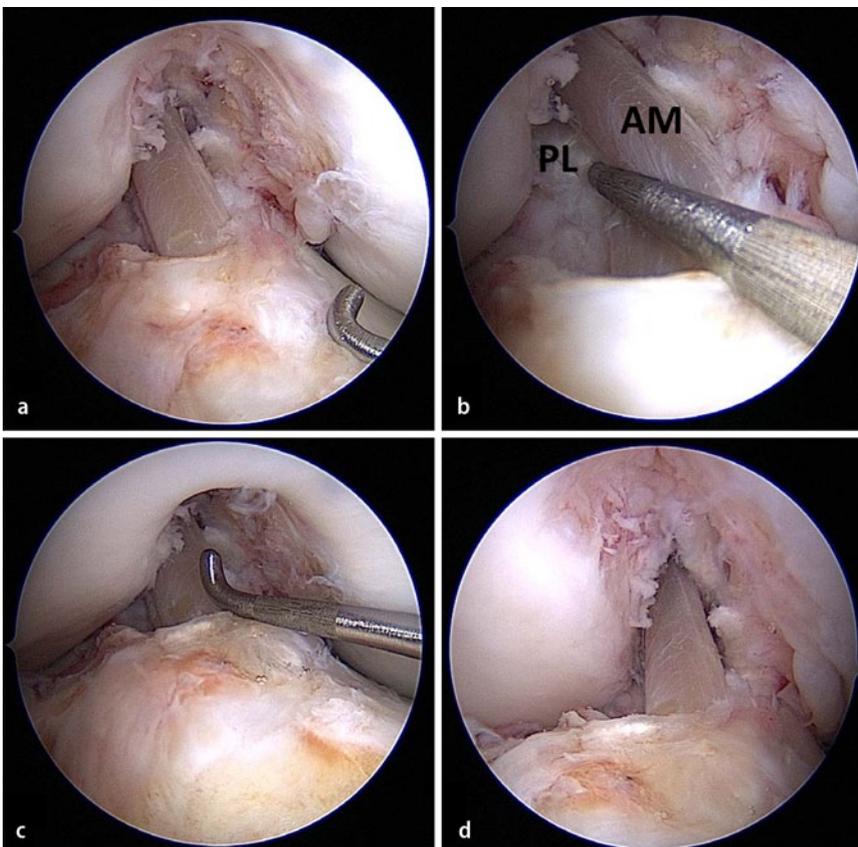


Abb. 21 ▲ **a** Abschließende Inspektion der Rekonstruktion, **b** Darstellung des PL-Bündels, **c** Extensionsaufnahmen zum Impingement-Ausschluss, **d** Visualisation über das mediale Portal

hier der Hoffa'sche Fettkörper weniger interferiert und so die Insertion gut überschaubar ist. Mit einem tibialen DB-Zielgerät (Karl Storz, Tuttlingen) wird der AM-Bündel-K-Draht auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns eingebracht (Abb. 14). Das Zielgerät wird ausgehakt und der gesetzte Draht mit dem ovalen Loch eingefangen. So können mit einem Zielgerät beide tibialen Tun-

nel anatomisch platziert werden. Der Abstand zwischen dem Zentrum des AM- und PL-Bündels wird individuell definiert (Abb. 15). Um eine gute Verschiebemöglichkeit des Drahtes in dem querovalen Loch zu haben, darf der Draht nicht zu weit in das Gelenk hineingetrieben werden.

Nach Vorbohren des PL-Bündel-Drahtes werden die Drähte zunächst mit

einem Bohrer überbohrt, der einen etwa 1 mm kleineren Durchmesser hat als der gemessene tibiale AM- oder PL-Anteil (Abb. 16). Durch eine exzentrische K-Draht-Position in dem kleineren Tunnel kann dann beim Überbohren noch eine leichte Korrektur erfolgen. Im Anschluss folgt das Débridement am Tunneleingang. Nach sternförmiger Inzision wird das Periost mit dem Rasparatorium abgeschoben und das Bett für den tibialen Knopf (Mini-EndoTack, Karl Storz, Tuttlingen) mit dem Setzgerät vorbereitet (Abb. 17). Häufige Fallstricke und Komplikationen der einzelnen operativen Schritte sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Transplantateinzug und Fixation

Zunächst wird ein K-Draht mit Fadenschleife in den femoralen PL-Tunnel geschoben und mit Hilfe einer Fadenfasse aus dem tibialen PL-Tunnel ausgeleitet (Abb. 18). Gegebenenfalls kann anschließend der Draht für das AM-Bündel in gleicher Art und Weise eingeschoben und der Faden aus dem tibialen AM-Tunnel ausgeleitet werden. Sollte die AM-Fadenschleife den PL-Transplantateinzug behindern, kann mit einem Tasthaken durch das anterolaterale Portal die Schleife zur Seite gehalten werden. Das PL-Transplantat wird zuerst eingezogen. Zur optimalen Darstellung der Flippmarkierung auf dem Transplantat wird die Kamera in das mediale Portal gewechselt (Abb. 19).

» Der Transplantateinzug erfolgt in medialer Portalvisualisation

Nach AM-Bündel-Einzug und femoraler Fixation wird eine 6×23 mm Interferenzschraube (MegaFix, Karl Storz, Tuttlingen) und ein Mini-EndoTack (Karl Storz, Tuttlingen) zur tibialen Hybridfixation verwendet. Das PL-Bündel wird unter einer Spannung von 80 N in extensionsnaher Position (10°) und das AM-Bündel in etwa 45° angespannt (ebenfalls mit 80 N). Der Nitinoldraht für die Interferenzschraubenfixation muss anterior des AM-Bündels zum Liegen kommen, da bei

posteriorer Schraubenposition die Gefahr eines pathologischen Impingements erhöht ist (■ Abb. 20).

Eine ausreichende Schraubentiefe und somit ein sicherer Griff des Transplantats kann mit der Kameraposition im tibialen Tunnel objektiviert werden. Nach extrakortikaler Fixation über den Mini-EndoTack wird der intraartikuläre Verlauf der DB-Transplantate mit dem Tasthaken palpirt und in Extensionsposition auf ein pathologisches Impingement überprüft. Insbesondere der belassene tibiale Stumpf darf in dieser Gelenkstellung nicht in Kontakt mit dem Dach der Fossa intercondylaris stehen (■ Abb. 21).

Diskussion

Positive Effekte der DB-Rekonstruktion stehen technischen Anforderungen und Bedenken im Revisionsfall gegenüber [7, 14, 25, 35]. Durch eine optimierte Operationstechnik und eine sinnvolle Operationsstrategie lassen sich die einzelnen Operationschritte standardisieren und Fallstricke beseitigen. Die experimentelle Datenlage zeigt bezüglich des Einflusses einer anatomischen DB-Rekonstruktion auf die resultierende Gelenkkinematik Vorteile gegenüber einer EB-Rekonstruktion [24, 30, 33–39]. Zusammenfassend implizieren die Ergebnisse der In-vitro-Studien, dass eine Rekonstruktion mit zwei femoralen und zwei tibialen Tunneln in medialer Portaltechnik einer Technik mit zwei femoralen und einem tibialen Tunnel überlegen ist [24]. Vergleichbar mit der Studienlage bei EB-Rekonstruktionen [3, 4, 15, 22], ist auch bei der DB-Rekonstruktion die femorale Tunnelpositionierung von entscheidendem Einfluss auf die Kinematik. Eine nichtanatomische femorale Tunnelpositionierung weist signifikante Unterschiede zum intakten Gelenk auf und ist deshalb zu vermeiden [39]. Der theoretisch nachgewiesene Benefit einer DB-Rekonstruktion kann also klinisch nur dann zum Tragen kommen, wenn die Tunnel anatomisch in der femoralen und tibialen Insertion platziert werden.

Die Datenlage der klinischen Studien ist deutlich komplizierter zu analysieren [1, 2, 11, 16–21, 27, 28, 31, 32]. Bei einigen Studiendesigns wurde eine schwache Kontrollgruppe gewählt, welche die Er-

gebnisse in der experimentellen Gruppe besser darstellt. Ein Problem bei der Interpretation der klinischen Studien ist außerdem, dass die Tunnelposition postoperativ nicht radiologisch kontrolliert wurde. Daher ist es nicht immer möglich zu beurteilen, ob es sich um anatomische oder nichtanatomische Techniken handelt. Aus wissenschaftlicher Sicht sollte eine objektive postoperative Tunnelanalyse des Studienkollektivs gefordert werden, um so auch unterschiedliche Studien untereinander besser vergleichbar zu machen.

■ Zusammenfassend konnte der überwiegende Teil der publizierten Studien die biomechanischen Vorteile der DB-Technik bestätigen.

Allerdings schlagen sich die Vorteile bisher nicht in einer Verbesserung der klinischen Scores nieder. Kondo et al. [20] schlossen pro Gruppe mehr als 100 Patienten ein und berichteten über eine signifikant bessere a-p.-Stabilität und Pivotshift-Werte in der DB-Gruppe. Die klinischen Scores unterschieden sich nicht signifikant.

Eine aktuelle Metaanalyse von Tiamklang et al. [28] beleuchtet 1433 Patienten in insgesamt 17 Studien. Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich klinischer Scores (Subjective IKDC Score, Tegner Activity Score, Lysholm Score), Komplikationen, Bewegungsfreiheit und Transplantatversagen gefunden. Bei den Langzeitergebnissen zeigten sich signifikant bessere Ergebnisse für die DB-Rekonstruktion bei Limitation des Pivotshifts, geringere KT-1000-Werte, bessere IKDC-Werte, geringere postoperative Meniskuspathologien und Rezidivinstabilität. Jarvelae et al. [17] konnten 20 Studien in einem systematischen Review herausarbeiten. Von diesen zeigten 6 Studien keinen signifikanten Unterschied zwischen DB- und EB-Rekonstruktion, während 14 Studien signifikant bessere Ergebnisse für die DB-Rekonstruktion zeigten. Keine einzige Studie zeigte ein signifikant schlechteres Ergebnis der DB-Rekonstruktion.

Zur Standardisierung der Operationstechnik verwenden wir individuelle Zielgeräte sowohl am Femur als auch an der Tibia. Obwohl diese Zielgeräte eine sinn-

volle Unterstützung darstellen, ist die individuelle Anpassung der Abstände des AM- und PL-Bündel-Zentrums zueinander die Aufgabe des Operateurs (Wahl der richtigen Größe: femoraler Offset 8, 9, 10 mm, tibialer Abstand zwischen 8 und 10 mm). Hierfür ist eine Visualisierung der femoralen Tunnelposition über das anteromediale Portal sehr hilfreich. Eine detaillierte Übersicht über die femorale Insertionszone, insbesondere im Bereich der PL-Gebiets, ist aufgrund ihrer sagittalen Geometrie nur von medial möglich. Zusätzlich muss die Veränderung des Ursprungs mit zunehmender Flexion beachtet werden. Tibial erfolgt die Tunnelanlage in extensionsnaher Position, wobei das AM-Bündel auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns lokalisiert wird. Das PL-Bündel wird etwa 8–10 mm posterior des AM-Tunnel-Zentrums angelegt.

Nachteil der DB-Technik ist unter ökonomischen Gesichtspunkten die Verlängerung der Operationszeit. Dennoch ist in keiner der bisherigen Studien eine erhöhte Infektions- und Komplikationsrate aufgefallen [18]. Unserer Erfahrung nach hat die Verwendung von DB-Zielgeräten im Vergleich zur Freihandlokalisierung der Tunnelposition die Operationszeit deutlich reduziert. Die Verlängerung ist jedoch immer individuell für den Erfahrungsgrad des Operateurs zu bestimmen. Es ist anzunehmen, dass ein erfahrener Operateur eine geringere Verlängerung der Operationszeit erfährt als ein in der VKB-Rekonstruktion weniger erfahrener Operateur.

Die vorgestellte Technik verwendet femoral eine Kippankerfixation und tibial jeweils eine Hybridfixation. Somit handelt es sich um einen hohen Kostenfaktor bei der VKB-Rekonstruktion im stationären Sektor. Mehrere Studien befassen sich mit Ansätzen, die Fixation von DB-Rekonstruktionen kostengünstiger zu gestalten. Hierbei handelt es sich allerdings meist um Case-Reports oder Fallserien mit kleinen Patientenzahlen. Der häufig angeführte Nachteil der Tunnelweitung wird durch die Studien von Hantes et al. [12] und Kawaguchi et al. [18] von wissenschaftlicher Seite aus in Frage gestellt. Beide Studien zeigen mit zuverlässigen Methoden eine vorhandene Brücke zwischen AM- und PL-Tunnel (Nachuntersuchungszeitraum: 17 Mo-

nate [12]) sowie eine signifikant geringere Inzidenz und ein geringeres Ausmaß der femoralen Tunnelweitung nach DB-Rekonstruktion im Vergleich zur EB-Rekonstruktion (n=169, Nachuntersuchungszeitraum: 2 Jahre [18]).

Fazit für die Praxis

- Die anatomische Doppelbündelrekonstruktion des vorderen Kreuzbands ist ein technisch anspruchsvolles Verfahren.
- Bezüglich dieser Operationstechnik liegen keine Daten zur Indikationsstellung vor.
- Es scheint sich herauszukristallisieren, dass die Indikation bei aktiven Patienten mit großen Insertionsarealen gestellt werden kann.
- Um intraoperative Komplikationen zu vermeiden, ist eine klare Operationsstrategie nötig.
- Zielgeräte können bei der anatomischen Doppelbündelrekonstruktion hilfreich sein.

Korrespondenzadresse



PD Dr. T. Zantop
 Sporthopaedicum Straubing
 Bahnhofsplatz 27,
 94315 Straubing
 zantop@sporthopaedicum.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist für sich und seinen Koautor auf folgende Beziehungen hin: Karl Storz, Tuttlingen, beratende Tätigkeit.

Literatur

1. Adachi N, Ochi M, Uchio Y et al (2004) Reconstruction of the anterior cruciate ligament: single versus double-bundle multistranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br* 86:515–520
2. Aglietti P, Giron F, Cuomo P et al (2007) Single- and double-incision double-bundle ACL reconstruction. *Clin Orthop Rel Res* 454:108–113
3. Amis A, Bull AMJ, Lie DT (2005) Biomechanics of rotational instability and anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Orthop* 15:29–35
4. Amis AA, Dawkins GP (1991) Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fiber bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 73:260–267
5. Amis AA, Jakob RP (1998) Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6(Suppl 1):S2–S12

6. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T (1997) Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 10:14–21
7. Beynon B, Johnsson RJ, Abate JA et al (2007) Treatment of anterior cruciate ligament injuries. Part II. *Am J Sports Med* 33:1751–1765
8. Chhabra A, Starman JS, Ferretti M et al (2006) Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles. *J Bone Joint Surg Am* 88(Suppl 4):2–10
9. Diermann N, Schumacher T, Schanz S et al (2009) Rotational instability of the knee: internal tibial rotation under a simulated pivot shift test. *Arch Orthop Trauma Surg* 29(3):353–358
10. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL et al (2004) Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res* 22:85–89
11. Hamada M, Shino K, Horibe S et al (2001) Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endobutton femoral fixation: a prospective study. *Arthroscopy* 17:801–807
12. Hantes ME, Liantis AK, Basdekis GK et al (2010) Evaluation of the bone bridge between the bone tunnels after anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a multidetector computed tomography study. *Am J Sports Med* 38(8):1618–1625
13. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM et al (1999) Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy* 15(7):741–749
14. Harner CD, Poehling GG (2004) Double bundle or double trouble? *Arthroscopy*
15. Herbolt M, Lenschow S, Fu FH et al (2010) ACL mismatch reconstructions: influence of different tunnel placement strategies in single-bundle ACL reconstructions on the knee kinematics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18(11):1551–1558
16. Järvelä T, Molsala AS, Paakkala T, Paakkala A (2008) Tunnel enlargement after double bundle ACL reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Arthroscopy* 24:1349–1357
17. Järvelä T (2007). Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15(5):500–507
18. Kawaguchi Y, Kondo E, Kitamura N et al (2011) Comparisons of femoral tunnel enlargement in 169 patients between single-bundle and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(8):1249–1257
19. Kondo E, Yasuda K, Azuma H et al (2008) Prospective clinical comparisons of anatomic double bundle versus single bundle ACL reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med* 36:1675–1687
20. Kondo E, Yasuda K, Azuma H et al (2008) Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med* (Epub 19. Mai 2008)
21. Muneta T, Koga H, Mochizuki T et al (2007) A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy* 23(6):618–628
22. Musahl V, Plakseychuk A, VanScyoc A et al (2005) Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee. *Am J Sports Med* 33(5):712–718
23. Petersen W, Tillmann B (1999) Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol (Berl)* 200:325–334
24. Petersen W, Tretow H, Weimann A et al (2007) Biomechanical evaluation of two techniques for double bundle ACL reconstruction using a Robotic/UF5 testing system. *Am J Sports Med* 35:228–234
25. Petersen W, Zantop T (2007) Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454:35–47
26. Petersen W, Zantop T (2007) Technik der Doppelbündelrekonstruktion. *Arthroscopie* 2:132–138
27. Siebold R, Dehler C, Ellert T (2008) Prospective randomized comparison of double bundle versus single bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 24:137–145
28. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Lao-paiboon M (2012) Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev*
29. Woo SL, Kanamori A, Zeminski J et al (2002) The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am* 84:907–914
30. Yagi M, Wong EK, Kanamori A et al (2002) Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 30:660–666
31. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H et al (2004) Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 20:1015–1025
32. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H et al (2006) Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 22:240–251
33. Zantop T, Herbolt M, Raschke MJ et al (2007) The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med* 35(2):223–227
34. Zantop T, Petersen W (2007) Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Arthroscopie* 2:94–104
35. Zantop T, Petersen W (2007) Double bundle revision of a malplaced single bundle vertical ACL reconstruction: ACL revision surgery using a two femoral tunnel technique. *Arch Orthop Trauma Surg*
36. Zantop T, Petersen W, Sekiya JK et al (2006) Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14:982–992
37. Zantop T, Schumacher T, Diermann N et al (2006) Anterolateral rotational knee instability: role of posterolateral structures. *Arch Orthop Trauma Surg*
38. Zantop T, Wellmann M, Fu FH, Petersen W (2007) Tunnel positioning of AM and PL bundle in anatomical ACL reconstructions: anatomic and radiographic findings. *Am J Sports Med* 36(1):65–72
39. Zantop T, Diermann N, Schumacher T et al (2007) Anatomic and non-anatomic double-bundle ACL reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med* 36(4):678–685