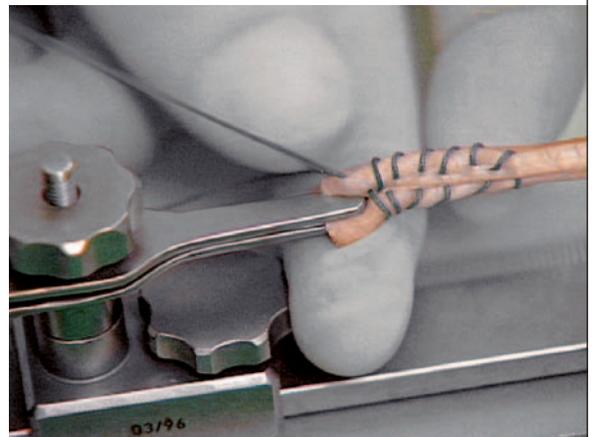
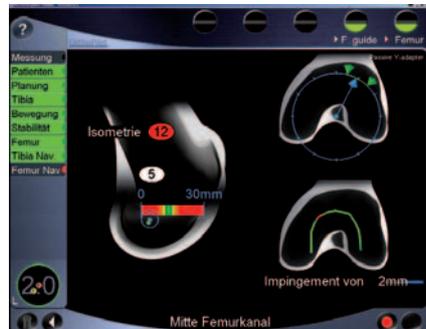
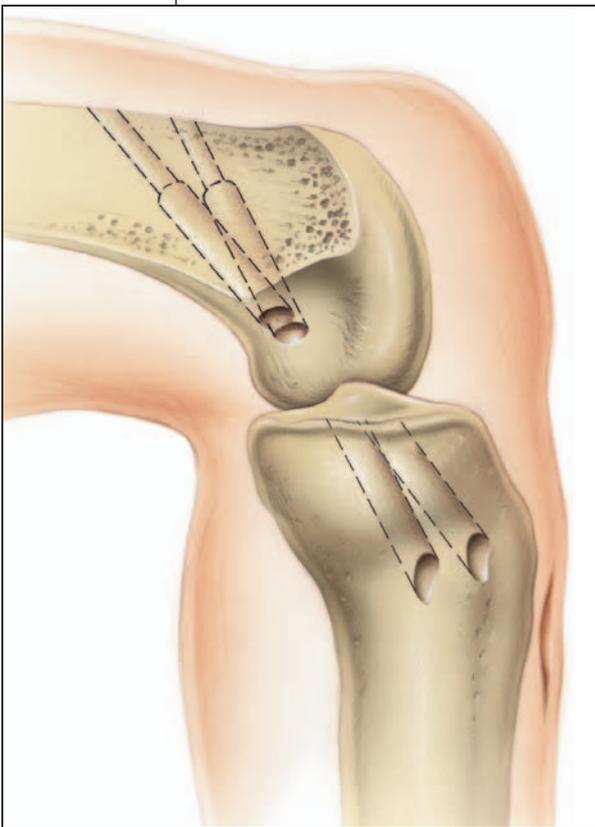




19

Aktuelle Trends zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes



Autoren:

Dr. med. Heinz Jürgen Eichhorn
Orthopädische Gemeinschaftspraxis
Bahnhofplatz 8, 94315 Straubing

Belegabteilung des Klinikums St. Elisabeth Straubing GmbH
St. Elisabeth-Str. 23, 94315 Straubing

Privatklinik St. Wolfgang
Ludwigpromenade 6, 94086 Bad Griesbach

Ambulantes OP-Zentrum
Stadtgraben 10, 84315 Straubing

eichhorn@ogp.de
www.ogp.de

Dr. med. Wolfgang Birkner
Ltd. Oberarzt
Klinik für Orthopädische Chirurgie
Kreiskrankenhaus Rheinfelden

birkner.wolfgang@klinloe.de
www.klinloe.de

Aktuelle Trends zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Dr. H.-J. Eichhorn, Dr. W. Birkner

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	4
2.	Wahl des Kreuzbandtransplantats	5
2.1	Historischer Rückblick	5
2.2	Ligamentum patellae	5
2.3	Hamstring-Sehnen	6
2.4	Quadricepssehne	6
2.5	Plantarissehne	6
2.6	Allografts	7
3.	Transplantat-Fixation	7
4.	Praktische Tipps für die Verwendung der Semitendinosussehne	8
5.	ACL Doppel-Bündel Rekonstruktion	8
5.1	Spezieller geschichtlicher Rückblick	9
5.2	Indikationen und Kontraindikationen	9
5.3	Präoperative Planung	9
5.4	Technik	10
5.4.1	Sehnenpräparation	11
5.4.2	Intraartikuläre Präparation	12
5.4.3	Zusätzliche Schritte für die computerassistierte ACL-Rekonstruktion	13
5.5	Ergebnisse	15
5.6	Komplikationen	15
5.7	Postoperative Nachbehandlung	15
5.8	Zukunft der Technik	15
5.9	Zusammenfassung	16
6.	Literatur	17

1 Einführung

In den letzten Jahren wird zunehmend der Ersatz des vorderen Kreuzbandes als operative Maßnahme durchgeführt. Dieser Umstand hat mehrere Gründe:

- Die diagnostischen Möglichkeiten, speziell durch die Kernspinuntersuchung, haben sich deutlich verbessert, so dass viele früher nicht erkannte vordere Kreuzbandrupturen nun diagnostiziert werden.
- Die Rasanzen vieler Sportarten hat sich erhöht. So haben z. B. beim Fußball die Frequenz und Geschwindigkeit der Kurzsprints drastisch zugenommen, die Zweikampftätigkeiten sind härter geworden. Des Weiteren sind Extremsportarten hinzu gekommen mit zunehmender Popularität, die speziell auch für das vordere Kreuzband eine zusätzliche Gefährdung darstellen.
- Nicht zuletzt sind auch die Anforderungen der Patienten an die Aktivität und Lebensqualität gestiegen, so dass sie heute eher dazu neigen, ein gerissenes Kreuzband versorgen zu lassen als noch vor vielen Jahren.

Gerade die präzisere Diagnostik der Knieverletzung hat dazu geführt, dass wir heute in zunehmendem Maße Akutversorgungen von vorderen Kreuzbandrupturen vornehmen können, bei denen wir dann den Patienten wartezeitbedingte zusätzliche Arbeitsausfallzeiten ersparen können. Durch die in 80 % aller Kreuzbandrisse zusätzlich aufzufindenden „Bone bruise“ Veränderungen im Knorpel und Knochen ist es angeraten, die ersten drei Wochen zur Entlastung des Kniegelenkes Gehstützen zu verwenden. Wenn es möglich ist, versuchen wir unsere Patienten im Rahmen der ersten Woche nach der Verletzung zu versorgen, da sie dann nur einmal die Gehstützen benutzen müssen und wir die Wiedereinstiegszeit in die Arbeits- und Sportfähigkeit um ca. 6 – 8 Wochen verkürzen können. Des Weiteren ist der Muskelabbau bis dahin noch nicht so weit vorangetrieben, so dass auch postoperative Reha-Maßnahmen effizienter greifen können. Entsprechend einer Meta-Analyse ist die Frühversorgung einer vorderen Kreuzbandruptur speziell beim Gebrauch der Semitendinosussehne nicht mit einem erhöhten Arthrofibrosierisiko verbunden. Auf diese Art und Weise können auch instabilitätsbedingte Zusatzschäden vermieden werden.

Auch hat in den letzten Jahren ein grundsätzliches Umdenken bezüglich der Beachtung offener Wachstumsfugen stattgefunden. Man weiß heute, dass bei Berücksichtigung verschiedener Kriterien das Risiko eines Fehlwachstums nur noch minimal ist und heutzutage durch Kallusdistraktionstechniken evtl. aufgetretene Fehlstellungen folgenlos beseitigt werden können. Sollten beim Zuwarten bis zum Schluss der Wachstumsfugen Knorpel- und Meniskusschäden auftreten, sind

diese heute zum großen Teil noch irreparabel und bedeuten eine dauernde Einschränkung der Einsatzfähigkeit des Kniegelenkes.

Kriterien bei offenen Wachstumsfugen:

- Schonung der Ranvierzellen Randgebiete
- Verwendung von möglichst kleinen Bohrkanälen bis max. 8 mm
- Keine Doppelbündelrekonstruktion
- Kein Fixationsmaterial über die Wachstumsfugen
- Nach Möglichkeit Verwendung von Hamstring-Sehnen, um das Einsetzen von Knochenmaterial in die Wachstumsfugen zu vermeiden.

Auch die Altersgrenzen nach oben konnten durch die minimalinvasiven Operationstechniken hinausgeschoben werden. So können bei entsprechend guter Kniegesamtsituation auch ältere Patienten mit entsprechendem Anspruch an das Aktivitätsniveau operativ versorgt werden.

Sollten allerdings instabilitätsbedingte Knorpelschäden zu stark sein und das Kniegelenk bereits eine pathologische Kongruenz aufweisen, ist eine operative Versorgung nicht mehr indiziert. Bei leichteren arthrotischen Veränderungen kann der Ersatz des vorderen Kreuzbandes heute problemlos mit einer Open-wedge-Osteotomie oder einer matrixgekoppelten autologen Chondrozytentransplantation verbunden werden, um den Patienten gegebenenfalls zwei größere Operationen zu ersparen.

2 Wahl des Kreuzbandtransplantats

Bei der Kreuzbandoperation hat sich der Ersatz mittels freier Sehnentransplantate durchgesetzt. Im deutschsprachigen Raum gilt heute als Standard die Verwendung von körpereigenen Sehnen des Pes anserinus (Semitendinosussehne oder Gracilissehne) oder eines Teiles des Ligamentum patellae mit Knochenblöcken. Darüber hinaus gewinnt die Quadricepssehne, insbesondere für die Revisionschirurgie, an Bedeutung. In den Vereinigten Staaten werden häufig Allografts von Organspendern verwendet.

2.1 Historischer Rückblick

Vor der arthroskopischen Ära wurde das vordere Kreuzband häufig in offener Technik genäht. Bereits 1895 hatte M. Robson mittels Catgut beide Kreuzbänder mittels Primärnaht operativ versorgt [30]. Freie Sehnentransplantate wurden bereits vor über 90 Jahren verwendet, teilweise in nicht anatomischen, extraartikulären Stabilisationsverfahren.

Grekow berichtet 1914 über die Verwendung eines freien Fascia-lata-Streifens [19], Hey-Groves 1917 über einen gestielten Streifen des Tractus iliotibialis [20]. Semitendinosussehne und Gracilissehne wurden bereits 1926 von Edwards verwendet [13], Lindemann und O'Donoghue haben diese Sehnen als Transplantate 1950 wieder aufgegriffen [24].

Bereits 1932 benutzte Zur Verth die gestielte Patellarsehne [40]. 1963 beschrieb Jones eine neue Technik unter Verwendung eines distal gestielten Transplantates des mittleren Patellarsehnedrittels [22], 1966 folgte Brückner mit der Beschreibung eines freien Patellarsehnentransplantates aus dem medialen Drittel [12], welches über Jahre den „golden standard“ bestimmte.

Wegen der Entnahmemorbidität wurden ab den 70iger Jahren die verschiedensten Kunstbänder, entweder als alleiniges Transplantat oder als Augmentation, eingesetzt. Kennedy führte 1976 das Kennedy-LAD aus Polypropylen ein, es folgten Kunstbänder aus Goretex, Dacron, Trevira, Kohlefaser u. a. Bereits die Frühergebnisse waren häufig relativ schlecht mit hoher Komplikationsrate [21].



Abbildung 1: Kunststoffbandreste nach VKB-Revision

Es kam oft zu chronischen Synovitiden durch Kunststoffabrieb oder „schwarzen Knie“ bei der Verwendung von Kohlefaserbändern. Die Implantation von Kunststoffbändern wurde deshalb bereits 1990 als Präarthrosemodell für das Knie bezeichnet [18]. Zusammenfassend muss die Verwendung von Kunststoffbändern heute als obsolet angesehen werden.

Die alleinige Naht des vorderen Kreuzbandes weist deutlich schlechtere Ergebnisse auf als eine Kreuzbandplastik. Bereits 1976 hat Feagin schlechte Langzeitergebnisse publiziert [15]. Aufgrund gut dokumentierter Studien kann eine alleinige Naht heute ebenfalls nicht mehr empfohlen werden [16;27]. Ob sich die von Stedman propagierte Methode des „Picking“ am femoralen Ansatz durchsetzen wird, kann noch nicht abschließend beurteilt werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass ein größerer Anteil der Kniegelenke, bei denen arthroskopisch oder kernspintomographisch eine Kreuzbandläsion beschrieben ist, nicht unbedingt klinisch eine relevante Instabilität entwickeln.

Standardtransplantat ist das Ligamentum patellae. Das Ligamentum patellae wurde von Brückner und Jones in offener Technik eingeführt. Mit Beginn der arthroskopischen Technik wurden häufig die Begleitverletzungen des Meniskus arthroskopisch operiert und die Kreuzbandoperation erfolgte „mini-open“ durch die Patellarsehne hindurch. Durch Verbesserung der Techniken und Instrumente ist ein rein arthroskopisches Verfahren heute Standard.

2.2 Ligamentum patellae

Das Transplantat aus dem mittleren Patelladrittel mit einem Knochenblock aus der Patellaspitze und aus der Tuberositas tibiae ist das am meisten verwendete und untersuchte Transplantat für den Kreuzbandersatz mit entsprechend gut dokumentierten Langzeitergebnissen. Häufig beschrieben ist ein vorderer Knieschmerz, welcher durch die Narbenbildung im Entnahmeareal, insbesondere im Hoffa-Bereich, erklärbar ist. Insbesondere bei Patienten aus Berufen mit kniender Tätigkeit ist dies nachteilig [32].



Abbildung 2: Patellafraktur als Komplikation bei Ligamentum patellae

Bei der Knochenblockentnahme kann es zu Frakturen der Patella kommen [9]. Eine dann erforderliche Osteosynthese kann zu Problemen für eine frühfunktionelle Nachbehandlung führen. Spätfrakturen der Patella sind beschrieben.

Durch die Entnahme der Sehne kann es zu einer Verkürzung des Ligamentum patellae kommen mit nachfolgendem Entstehen einer Patella baja [29], was zur persistierenden Bewegungseinschränkung führen kann. Das Auftreten einer ausgeprägten Patella baja ist zwar äußerst selten, aber – falls vorhanden – schwer therapierbar [38]. Durch die Entnahme aus dem Streckapparat kann es zu einer länger anhaltenden Schwächung der Extensionskraft kommen.

Die Dicke des Transplantates ist frei wählbar. Die Länge des Transplantates ist aber durch die Anatomie vorgegeben. Hierdurch kann ein Teil des Knochenblockes tibial aus dem Bohrkanaal hervorstehen. Bei der Wahl der Fixationsmethode muss dies berücksichtigt werden.

Für das Lig. patellae wurde eine zeitlang als wesentliches Argument die hohe Reißkraft angeführt [26]. Man weiß heute, dass nicht die Reißkraft des Transplantates der limitierende Faktor ist, sondern die Stärke der Fixation [35]. Zudem liegen die Beanspruchungen für das VKB bei Alltagsbelastungen deutlich unter den gemessenen Reißkräften für das Transplantat.

Die beiden Knochenblöcke des Transplantates erlauben eine stabile primäre Verankerung mit hoher Ausrisskraft durch Interferenzschrauben oder Press-fit-Technik und eine relativ schnelle Einheilung durch Knochen-Knochen-Kontakt [37]. Gute Langzeitergebnisse sind dokumentiert.

2.3 Hamstring-Sehnen

Die geringere Entnahmemorbidität und die Möglichkeit eines kleinen kosmetischen Schnittes sowie die elegante Fixierung mit der Flipanker-Technik haben für viele Operateure die Semitendinosussehne zum Transplantat der 1. Wahl gemacht [36].



Abbildung 3: Femorale Transplantatfixierung mit Flipanker (Bild: Aesculap)

Die Entnahme der Semitendinosussehne ist nicht einfach und benötigt eine deutliche Lernkurve. Die Anatomie des Pes anserinus ist individuell verschieden und es bedarf einiger Übung, die Semitendinosussehne schonend zu entnehmen, ohne Gracilissehne oder mediale Bandstruktur zu verletzen. Über den Entnahmeschnitt kann der tibiale Bohrkanaal angelegt

werden, so dass die gesamte Kreuzbandoperation einschließlich Transplantatentnahme über einen Minischnitt erfolgen kann.



Abbildung 4: Entnahme Semitendinosus-Sehne

Die Entnahmemorbidität ist sehr gering. Bei alleiniger Entnahme der Semitendinosussehne ohne Gracilis ist keine Schwäche nach einem halben Jahr mehr nachweisbar [25]. Es ist die Regeneration von Sehngewebe beschrieben [14].

Neue biomechanische Untersuchungen belegen, dass die Reißkraft der dreifachen und vierfachen Semitendinosussehne ausreichend ist und nicht den limitierenden Faktor der Transplantatkonstruktion darstellt [17]. Schwächstes Glied in der Kette ist die Verankerung der Sehne im Knochenkanal.

Nachteil der Hamstrings ist der fehlende Knochenblock, so dass die Heilung über die Sharpey-Fasern erfolgt [31], was zeitlich länger dauert als die Knochenblock-zu-Knochenheilung bei der Patellarsehne.

2.4 Quadricepssehne

Bisher gibt es relativ wenig Langzeitergebnisse. Die ersten Berichte zeigen, dass die Operationsergebnisse mit denen des Ligamentum patellae und den Hamstrings vergleichbar sind. Vorteil ist die variable Entnahmemöglichkeit. Dicke und Länge können frei gewählt werden. Bei der Fixationstechnik ist zu berücksichtigen, dass nur an einer Seite ein Knochenblock vorliegt. Wie beim Ligamentum patellae wird der Streckapparat für eine gewisse Zeit geschwächt.

Gerade bei der Revisionschirurgie kommt die Quadricepssehne häufiger zum Einsatz, wenn andere Transplantate bereits „verbraucht“ sind.

2.5 Plantarissehne

Ein selten verwendetes Transplantat ist die Plantarissehne. Über einen kleinen Hautschnitt oberhalb des Innenknöchels werden von beiden Seiten die beiden Plantarissehnen entnommen, welche in der Regel 28–32 cm lang sind. Als 8-fach-

Strang wird ein Transplantat wie bei der Semitendinosusehne hergestellt, was einen gesamten Durchmesser von 6-8 mm hat.

Nachteil ist die etwas aufwändigere Entnahmetechnik mit längerer OP-Zeit, da eine Blutsperrung und steriles Abdecken an beiden Beinen nötig ist. In ca. 15 % der Fälle ist die Plantarissehne zu dünn oder gar nicht vorhanden.

Bei sehr „zarten“ Kniegelenken oder bei der Revisionschirurgie ohne knöchernen Defekt stellt die Plantarissehne eine Alternative dar [41].

2.6 Allografts

In den USA werden häufig Allografts verwendet, insbesondere Patellarsehnen oder Achillessehne.

Vorteil ist die praktisch unbegrenzte Verfügbarkeit und die fehlende Entnahmemorbidity. Die Operationszeit kann dadurch verkürzt werden.

Nachteil ist der hohe Kostenfaktor, was in der heutigen Zeit von DRGs zunehmend wichtiger wird. Bezüglich des Einwachsverhaltens ist nicht geklärt, ob dies körpereigenen Sehnen annähernd entspricht. Zudem bleibt das Risiko bzw. die Angst, Infektionen mit dem Allograft zu übertragen. In Deutschland wird seit 2002 für jedes Allograft ein negativer Virusnachweis gefordert (z. B. mit der „polymerase chain reaction PCR“), was zwar das Risiko der Virusübertragung minimiert, aber die Verfügbarkeit von Allografts drastisch reduziert.

3 Transplantat-Fixation

Durch die immer schnellere und aggressivere Nachbehandlung gewinnt die sichere und stabile Fixation des Transplantates zunehmend an Bedeutung.

Die erforderliche Verankerungsfestigkeit muss sich an der Belastung des vorderen Kreuzbandes unter den Aktivitäten des täglichen Lebens orientieren. Noyes hat hier einen Wert von 454 N kalkuliert [26]. Die Reißkraft des Transplantates (Patellarsehne oder Hamstringsehnen) liegt deutlich darüber, so dass die Fixation zum entscheidenden Faktor in der Frühphase wird.

Grundsätzlich zu unterscheiden sind anatomische Fixationsmethoden mit Verankerung des Transplantates am Eintrittspunkt des Bohrkanales (z. B. Interferenzschrauben) von Fixationsmethoden mit gelenkferner Fixation (z. B. Flipanker).

Die Fixation der Patellarsehne mit Knochenblöcken stellt hier den „golden standard“ dar. Durch die Fixation mit Inter-

ferenzschrauben kann eine initiale Verankerungsfestigkeit von 400-500 N erzielt werden [23]. In zunehmendem Maße werden resorbierbare Interferenzschrauben verwendet (z. B. „Inion HEXALON“, Fa. Aesculap). Dies hat den Vorteil, dass nach der Kreuzbandoperation eine MRT durchgeführt werden kann. Allerdings benötigen auch resorbierbare Schrauben mehrere Jahre Resorptionszeit. Alternativ ist beim Patellarsehnen-transplantat auch eine „press-fit-Verankerung“ ohne Schrauben möglich [11].



Abbildung 5: Resorbierbare Interferenzschraube (Bild: Aesculap)

Die Semitendinosusehne wurde anfangs häufig nichtanatomisch, extrakortikal mit Staples oder Flipanker („Endobutton“, Fa. Smith & Nephew, „Flipptack“, Fa. Storz, „Suture Plate“, Fa. Aesculap) fixiert. Hierdurch konnten Transplantattunnelbewegungen entstehen, welche eine Einheilung des Gewebes am Tunneleingang verhinderten [38]. Bei den Nachuntersuchungen wurden Tunnelaufweitungen (Scheibenwischereffekt) beschrieben. Über die klinische Relevanz wird noch diskutiert. Biomechanisch kann die Transplantattunnelbewegung durch eine zusätzliche gelenknahe Fixation der Sehne (Hybridfixation mit Weichteil-Interferenzschraube oder Spongiosoplastik) minimiert werden [39].

Als Alternative für die femorale Fixation kann ein Transfixationssystem verwendet werden, welches von lateral durch das Transplantat eingebracht wird, wodurch eine sehr gelenknahe Verankerung erzielt wird (z. B. „Transfix“, Fa. Arthrex oder „Rigid Fix“, Fa. Mitek).

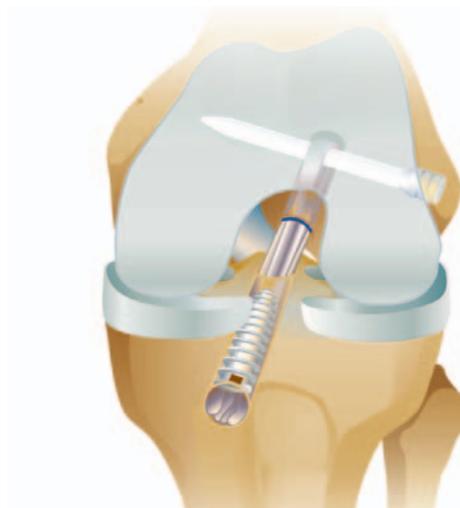


Abbildung 6: Femorale Transplantatfixierung mit Transfixationssystem (Bild: Arthrex)

4 Praktische Tipps für die Verwendung der Semitendinosussehne

- Schonende Entnahme ohne Verletzung der Gracilissehne erforderlich.
- Beim Anschlingen der Sehne mit nicht resorbierbarem Faden relativ wenig Fadenmaterial verwenden. Zu viel Faden im Kanal verlangsamt und schwächt die Einheilung.
- Die Bohrkanäle müssen „press-fit“ angelegt werden. Messen auf 0,5 mm-Schritte erforderlich. Eventuell Bohrkanäle stufenweise aufdilatieren.
- Transplantat über einige Minuten unter kräftiger Vorspannung vordehnen (Abb. 7).
- Vor Fixation des Transplantates das Knie mehrmals durchbewegen, damit sich das elastische Konstrukt etwas „setzen“ kann.

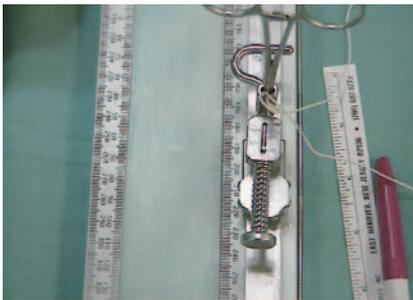


Abbildung 7: Transplantatvorspannung auf dem Präparierbrett

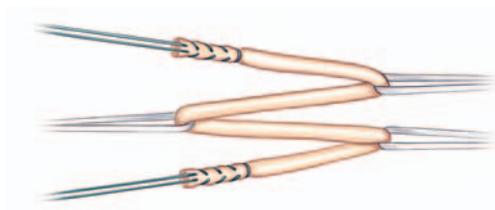


Abbildung 8: Quadrupeltransplantat in M-Technik für Einbündel-Technik

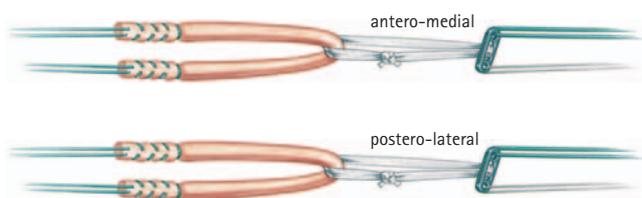


Abbildung 9: 2-fach Transplantat für Doppel-Bündel-Technik

5 ACL Doppel-Bündel Rekonstruktion

Die Ein-Bündel-Technik für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) mit Patellar- oder Semitendinosussehne hat einige Nachteile:

1. Die anatomischen Footprints des VKB an der Tibia und am Femur stimmen nicht mit den Bohrkanälen überein.
2. Die Kniestabilität sinkt bei steigender Knieflexion.
3. Die Ein-Bündel-Technik kann die folgenden biomechanischen Anforderungen des VKB nicht erfüllen:
 - Stabilisierung des gestreckten Knies durch das posterolaterale Bündel
 - Stabilisierung des geflexten Knies durch das anteromediale Bündel

Zusätzlich versagt das Einwachsen des zentralen Anteils des Transplantates, wenn die Transplantatdicke bei der Semitendinosussehne in Quadrupel-Technik zu groß ist.

4. Ein zusätzlicher Stabilisierungseffekt durch das posterolaterale Bündel in der frontalen Ebene kann nicht erreicht werden.

Die Doppel-Bündel-Technik mit zwei 2-fach Semitendinosus-Transplantaten (Abb. 9) kann diese anatomischen und kinematischen Anforderungen erfüllen. Zusätzlich erlaubt die zweifache Flip-Anker-Fixierung eine getrennte Anspannung der beiden Bündel (anteriomediales Bündel in 45° Flexion und posterolaterales Bündel in 10° Flexion), was speziell den kinematischen Anforderungen des VKB entspricht. Der limitierende Faktor der Doppel-Bündel-Technik ist ein ausreichend dickes Transplantatbündel. Ist der Durchmesser des 2-fach Semitendinosus-Transplantats kleiner als 4,5 mm, sollte die Stabilisierung des Knies entweder mit einem 4-fach Semitendinosus-Transplantat in der Ein-Bündel-Technik (Abb. 8) oder bei Bedarf durch die zusätzliche Entnahme der Gracilissehne in Doppel-Bündel-Technik vorgenommen werden.

Über 3200 Kniestabilisierungen in Doppel-Bündel-Technik wurden zwischen 1996 und 2005 in Straubing durchgeführt. Nachuntersuchungen haben gezeigt, dass bei isolierten VKB-Rupturen die Ergebnisse mit der Doppel-Bündel-Technik in der Frühphase nur marginal besser sind als mit der Ein-Bündel-Technik (statistisch nicht signifikanter Unterschied).

Bei Fällen mit Begleitverletzungen wie Knorpel- oder Meniskusdefekten oder bei Seitenbandinstabilitäten kann allerdings mit der Doppel-Bündel-Technik eine gute Knie-Stabilisierung über einen erheblich längeren Zeitraum erzielt werden. Darüber hinaus wird eine bessere Rotationsstabilität erreicht.

5.1 Spezieller geschichtlicher Rückblick

Seit 1995 verwenden wir Hamstring-Sehnen für die VKB-Rekonstruktion. Die Anatomie beschreibt, dass das vordere Kreuzband aus zwei verschiedenen Bündeln besteht, die unterschiedliche kinematische Funktionen haben. Ursprünglich führten wir die femorale Doppeltunnel-Technik mit parallelen femoralen Bohrkanälen durch, jedoch waren die Ergebnisse enttäuschend. Nachdem wir durch intraoperatives Umlagern des Patientenbeins den Zugang zu einem zusätzlichen ventrokaudalen Punkt an der lateralen Fossawand ermöglichten, waren wir in der Lage, divergierende femorale Bohrkanäle zu erstellen. Zwischen 1996 und 1999 bohrten wir erst den tibialen Bohrkanal, durch welchen die beiden femoralen Bohrkanäle erstellt wurden. Seit 1999 verfügen wir über ein tibiales Zielgerät, mit dem zum Tibiaplateau hin konvergierende Kirschner-Drähte gesetzt werden können. Seitdem befestigen wir das VKB-Transplantat sowohl femoral als auch tibial in der Doppeltunnel-Technik.

5.2 Indikationen und Kontraindikationen

Die Doppel-Bündel-Technik kann bei allen Patienten angewandt werden, deren entnommene Semitendinosussehne mindestens 24 cm lang ist und deren dünneres 2-fach Semitendinosus-Transplantat der halbierten Sehne mindestens einen Durchmesser von 4,5 mm aufweist. Ist dies nicht gegeben, muss zusätzlich die Gracilissehne entnommen werden. Da die Doppel-Bündel-Technik eine minimal traumatische Prozedur ist und eine frühe postoperative Rehabilitation erlaubt, ist sie sogar für Patienten im Alter von weit über 60 Jahren geeignet, vorausgesetzt, sie sind einigermaßen körperlich aktiv und es liegt eine zufriedenstellende Knorpel- und Meniskus-situation vor. Bei jungen Patienten mit offenen Wachstumsfugen führen wir die Ein-Bündel-Technik durch, um die Größe der Verletzung der Wachstumsfugen so klein wie möglich zu halten. Bei diesen Patienten ist die Semitendinosussehne als VKB-Transplantat mit der extraartikulären Fixierung mit dem Suture Plate besonders geeignet, da weder Knochen noch Fixierungselemente in die offenen Wachstumsfugen eingebracht werden. In Straubing konnte mit dieser Technik bei Kindern mit offenen Wachstumsfugen bei mehr als 80 Fällen ein normales und komplikationsloses Einwachsen des VKB-Transplantates beobachtet werden.

Bei geeigneter Indikationsstellung können die Doppel-Bündel-Technik und die Open-Wedge-Umstellungsosteotomie zur selben Zeit stattfinden. Bei Knien mit pathologischer Kongruenz, ausgelöst durch fortgeschrittene Gelenkerkrankungen, sollte keine VKB-Ersatzplastik erfolgen.

Insbesondere für Revisionseingriffe ist die Doppel-Bündel-Technik von Vorteil, da es hier immer möglich ist, die neuen Bohrkanäle in gesunden spöngiösen Knochen zu bohren. Sollte eine VKB-Rekonstruktion in Doppel-Bündel-Technik revidiert

werden müssen, liegt der Vorteil darin, dass die kleinen Bohrkanäle (üblicherweise Ø 5 mm oder Ø 6 mm) bei der Erst-OP ein gutes Knochenlager für die Revisions-OP hinterlassen.

5.3 Präoperative Planung

Die Hauptindikationen sind ein positiver Pivot-Shift-Test, eine subjektive Knieinstabilität, eine Seit-zu-Seit-Differenz von mehr als 5 mm beim KT-1000 Test und ein nicht vorhandener fester Endpunkt beim Lachman-Test. Das laterale Röntgenbild wird in Hyperextension, das AP-Röntgenbild in der Rosenberg-Technik erstellt. Dies erlaubt die Darstellung der Beziehung zwischen der Blumensaat-Linie und der Spina des medialen interkondylären Tuberkels, welche für die Positionierung des tibialen Bohrkanals wichtig ist. Auch die Landmarken für die präoperative Planung bei der computerunterstützten Navigation können aus den Röntgenbildern entnommen werden.

Sollte die klinische Untersuchung nicht zu einer gesicherten Diagnose führen, erstellen wir einen MR-Scan. Bei frischen Verletzungen erstellen wir eine frontale Sequenz im STIR Modus, die eine klare Identifikation jeglicher begleitenden periartikulären Weichteilverletzungen erlaubt.

Die Landmarken und Linien (Länge der Blumensaat-Linie, mediales und laterales Tibia-Plateau, Spina des medialen interkondylären Tuberkels, etc.) liefern dem Navigationssystem die Informationen über die Knieabmessungen und bringen zusätzliche Sicherheit gegenüber falschen intraartikulären Landmarkenerfassungen beim Navigationsprozess.

Operationszeitpunkt:

Bei Patienten mit signifikanten posterolateralen und posteromedialen Begleitverletzungen und disloziertem Meniskus behandeln wir das Distorsionsstrauma sofort und rekonstruieren auch das vordere Kreuzband in derselben Sitzung. Ist der Spielraum für eine frühe Therapie verstrichen, wird die Rekonstruktion erst nach Erreichen einer Gelenkmobilität von 0/0/110 Grad durchgeführt.

Ein Vergleich mit zuvor durchgeführten Bone-Patellatendon-Bone Transplantaten hat gezeigt, dass das Semitendinosus-Transplantat eine deutlich geringere Inzidenz von Arthrofibrose aufweist. Dies hat uns zu dem Schluss geführt, dass der Operationszeitpunkt so früh wie möglich nach der Verletzung gewählt werden sollte.

Wir bevorzugen die Vollnarkose, da eine adäquate intraoperative Muskelrelaxation die Sehnenspannung auf ein Minimum reduziert und damit den Sehnentnahmeprozess vereinfacht.

5.4 Technik

Ist die Diagnose unklar, wird zuerst eine diagnostische Arthroskopie durchgeführt. Ist jedoch eine gesicherte Diagnose vorhanden, entnehmen wir zuerst die Sehne, um unserem Präparationsteam genügend Zeit zur nötigen Präparation und Vorconditionierung (Vorstreckung) des Sehnentransplantates zu geben.

Der Hautschnitt beginnt 2 cm medial der Tuberositas und endet ca. 3 - 4 cm distal.

Das Fettgewebe wird eröffnet und die Sartoriusfaszie (erkennbar durch die Retinaculargefäße) wird dargestellt. Die Sehnen werden dann palpirt, wobei sich die Gracilissehne, die um die Tibia verläuft, oft dicker anfühlt als die mehr aponeurotisch gelegene Semitendinosussehne. Durch eine kleine Fensterinzision in der Sartorius Aponeurose oberhalb der Gracilissehne können die Gracilis- und die Semitendinosussehne von kranial identifiziert werden. Nachdem die Semitendinosussehne durch Anschlingen einer Fadenschleife gesichert ist, wird eine Inzision zwischen Gracilis- und Semitendinosussehne durchgeführt. Die Identifikation und die Präparation sollten am besten von der proximalen Position vorgenommen werden, da hier beide Sehnen intakt belassen werden können. Die Sartoriusfaszie, die hier sehr dünn ist, wird quer gespalten weggeschoben. Zuerst wird die Semitendinosussehne vom Paratenon entfernt. Für die Sehnenentnahme ist es entscheidend, dass alle peripheren Seitenäste der Sehne vor dem Strippen durchtrennt werden. Zusätzlich sollte der Operateur in der Lage sein, den Muskelbauch problemlos mit dem Finger zu erreichen. Die Gesamtsehne wird um ca. 1,5 cm verlängert, indem mit Hilfe eines Messers zusätzlich das Periost und das Sharpey'sche Fasernsystem bis zur Crista unterhalb der Tuberositas tibiae entnommen wird.

Zur Entnahme der Sehne wird ein geschlossener Sehnenstripper verwendet. Beim Strippen ist entscheidend, dass

- der Sehnenstripper der craniolateralen Richtung der Sehne folgt,
- die Sehne unter maximalem Zug gehalten wird und
- der Sehnenstripper schrittweise in Richtung des Sehnenverlaufs vorgeschoben wird, um die gesamte Sehne vom Muskelbauch zu lösen und nicht vorzeitig abzuschneiden.

Diese Sehnenentnahmetechnik liefert in 99 % aller Fälle ein zufriedenstellendes Transplantat. Die Quadrupeltechnik kann nur bei einer Mindestsehnenlänge von 24 cm durchgeführt werden.



Abbildung 10: Hautschnitt zur Entnahme der Semitendinosus-Sehne

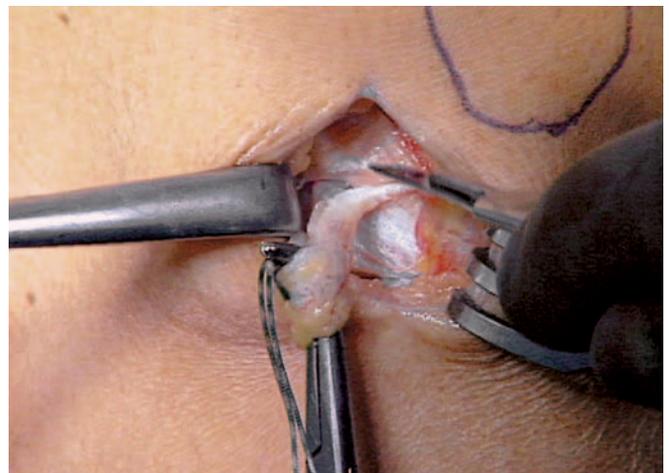


Abbildung 11: Darstellung und Anschlingen der Semitendinosus-Sehne



Abbildung 12: Entnahme der Semitendinosus-Sehne mit Sehnenstripper



Abbildung 13: Entfernen der muskulären Anteile der Semitendinosus-Sehne

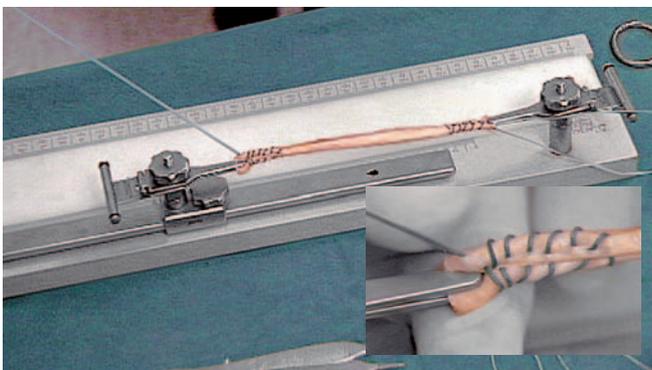


Abbildung 14: Armierung der Semitendinosus-Sehne mit „Baseball-Naht“

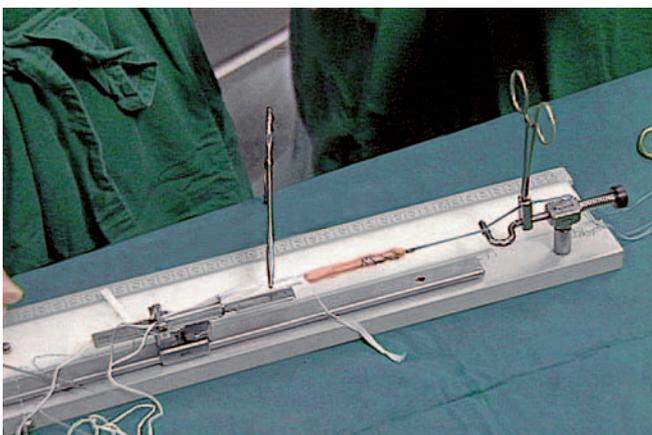


Abbildung 15: Vorspannung des Transplantates

5.4.1 Sehnenpräparation

Zuerst werden die muskulären Anteile von der proximalen Aponeurose entfernt. Die Länge der Sehne wird gemessen und die Sehne in der Mitte durchgeschnitten.

Der aponeurotisch proximale Sehnenanteil wird dann mit resorbierbarem Faden umstochen. Nachdem das Transplantat auf dem Sutureboard unter leichter Spannung aufgespannt wurde, werden die Enden mit nicht-resorbierbarem USP2 Nahtmaterial in „Baseball-Naht“ armiert.

Es muss dabei sichergestellt werden, dass die Schlaufen der Stiche sehr eng gezogen werden und dass der Abstand zwischen den Schlaufen mindestens 2 bis 3 mm ist. Es werden nur 3 oder 4 Stiche benötigt.

Das Ende der Fäden am dickeren anteromedialen Bündel wird mit einem Knoten gekennzeichnet, während die Fäden am dünneren posterolateralen Bündel mit zwei Knoten gekennzeichnet werden.

Jedes Bündel wird mit einem Suture Plate vorkonditioniert, auf das Sutureboard gespannt und mit zyklischer Vorspannung von 60 bis 80 Newton für 3 bis 4 Minuten beaufschlagt.

5.4.2 Intraartikuläre Präparation

Da der distale Stumpf bekannterweise eine hohe Konzentration von Propriozeptoren beinhaltet, belassen wir soviel des distalen Stumpfes wie möglich. Außerdem fungiert er als Ventil, um das Eindringen von Synovialflüssigkeit in den tibialen Bohrkanal zu verhindern. Die Spitze des tibialen Zielgeräts wird durch eine mediale parapatellare Inzision ins Gelenk eingeführt.

Der anteromediale tibiale Bohrkanal wird durch die Mitte des Kreuzbandstumpfes gebohrt. Ist kein Kreuzbandstumpf mehr vorhanden, werden die mediale Spina, der vordere Rand des hinteren Kreuzbandes und das Vorderhorn des Außenmeniskus als anatomische Landmarken herangezogen.

Nach der Fertigstellung des anteromedialen tibialen Kanals wird das zweite tibiale Zielgerät in den bereits gesetzten anteromedialen tibialen Bohrkanal eingeführt, wobei die Spitze des Zielgerätes intraartikulär dicht neben der Lateralkante des hinteren Kreuzbandes auf dem Tibiaplateau zu liegen kommt.

Durch die sehr schräge Verlaufsrichtung der tibialen Bohrkänäle kann die laterale Fossawand für die Eintrittspunkte der femoralen Kanäle problemlos transtibial durch den anteromedialen bzw. posterolateralen tibialen Bohrkanal erreicht werden. Sollte dies nicht möglich sein, werden die femoralen Kanäle durch die anteromediale Porta gelegt.

Nur bei Patienten mit relativ alten Sekundärstabilisierungen ist unter Umständen eine Notchplastik nötig. In den Bohrkäneln werden dann die Pullout Pins platziert, an denen zuerst das posterolaterale und dann das anteromediale Bündel durch das Gelenk in die Bohrkäneln gezogen werden.



Abbildung 16: Bohrlöhre für tibialen Kanal des antero-medialen Bündels

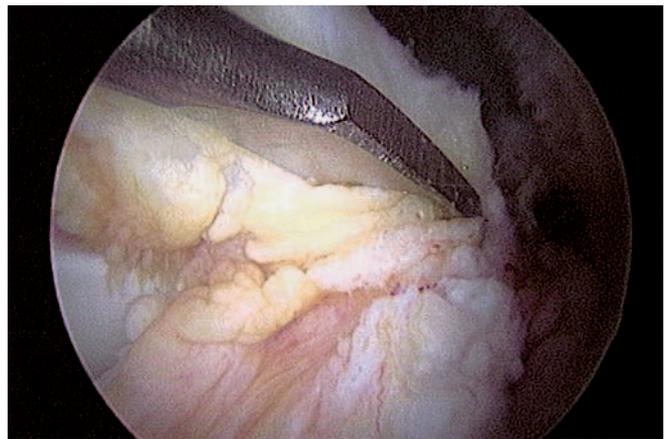


Abbildung 17: Intraartikulärer Austritt des antero-medialen Bündels

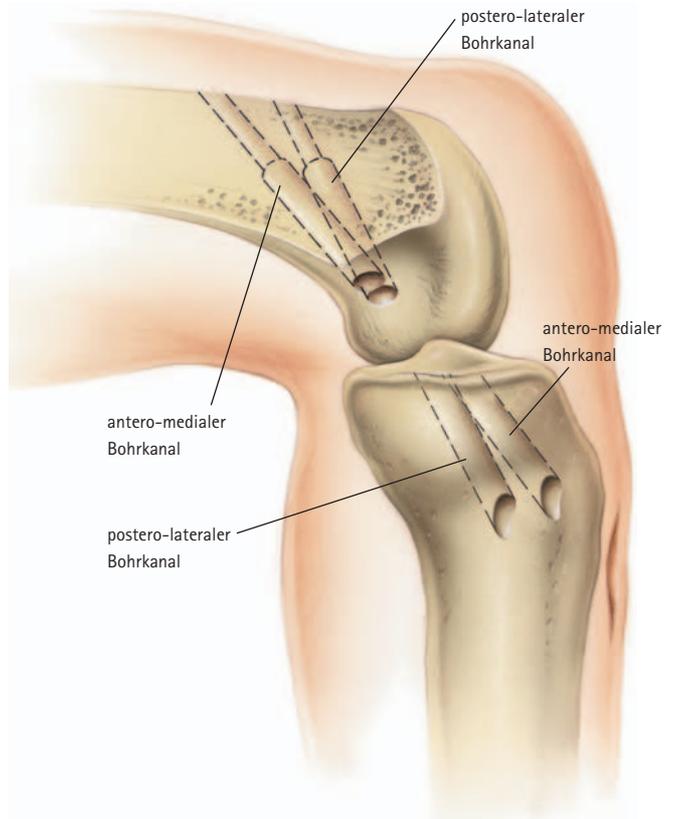


Abbildung 19: Bohrkannlagen bei der Doppel-Bündel-Technik



Abbildung 18: Bohrlöhre für tibialen Kanal des postero-lateralen Bündels

5.4.3 Zusätzliche Schritte für die computerassistierte ACL-Rekonstruktion

Nach dem Setzen von Sendern am Femur und der Tibia und der Erfassung der Kniekinematik und extra- und intraartikulärer Landmarken mit einem navigierten Pointer wird ein navigiertes Zielgerät zum Platzieren des tibialen Bohrkanals verwendet. Der Chirurg kann dabei in Echtzeit am Bildschirm verfolgen, wie sich der berechnete Zielpunkt in Relation zum Vorderrand des PCLs, zur medialen Spina und zum Vorderhorn des Außenmeniskus sowie in Relation von medial nach lateral darstellt. Als weitere Information zeigt das Navigationssystem die Beziehung des tibialen Bohrkanals zur Blumensaatinlinie in der lateralen Ansicht an sowie zur Darstellung der Impingementsituation die Projektion der anterioren Notchbegrenzung auf das Tibiaplateau jeweils in 0° Extensionsstellung des Knies. Da die Sicht auf die interkondyläre Notch in 0° Extensionsstellung versperrt ist, können diese Informationen arthroskopisch nicht generiert werden.

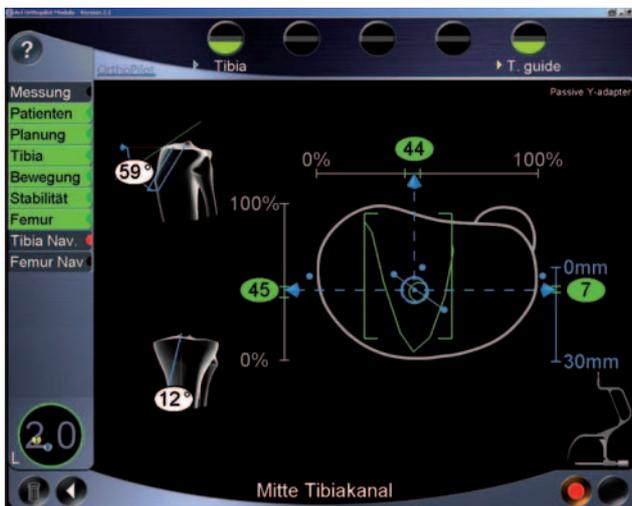


Abbildung 20: Navigationsbildschirm bei Anlage des tibialen Bohrkanals

Bei der Doppelbündel-Technik wählen wir für den anteromedialen Bohrkanal einen Abstand von ca. 10 mm zum PCL, weil wir den posterolateralen Bohrkanal zwischen dem PCL und dem anteromedialen Bohrkanal legen, um eine ovale Austrittsöffnung zu bekommen. Nach dem Anlegen des anteromedialen Bohrkanals wird ein navigiertes femorales Zielgerät zum Auffinden des richtigen Eintrittspunktes für den femoralen Bohrkanal in der lateralen Fossawand verwendet. Das Navigationssystem zeigt dabei die Isometrie- und Impingementsituation sowie den Abstand zur posterioren Fossakante und die Uhrzeit-Position innerhalb der lateralen Fossawand an. Durch die Navigation kann ein umfangreiches Fossadebridement vermieden werden, da man die Zielpunkte nicht unbedingt sehen muss.

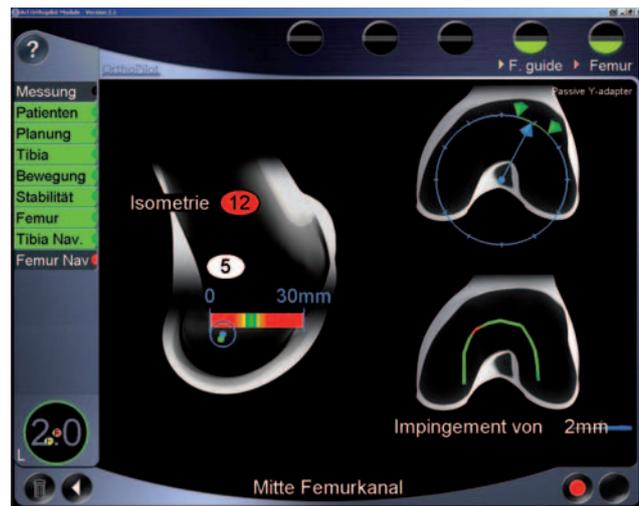


Abbildung 21: Navigationsbildschirm bei Anlage des femoralen Bohrkanals

Sollte der gewünschte femorale Eintrittspunkt transtibial durch den anteromedialen Bohrkanal nicht erreicht werden können, muss mit dem navigierten femoralen Zielgerät auf den anteromedialen Arthroskopiezugang gewechselt werden, um den richtigen femoralen Eintrittspunkt zu navigieren und den femoralen Kanal zu bohren. Bei der Doppel-Bündel Rekonstruktion navigieren wir das anteromediale Bündel und setzen das posterolaterale Bündel mit Hilfe von nicht-navigierten Zielgeräten in Relation zum navigierten anteromedialen Bohrkanal.

Ein weiterer Vorteil des OrthoPilot Navigationsystems ist die Möglichkeit des prä- und postoperativen Knie-Stabilitätstests. Präoperativ wird eine sehr präzise AP-Laxizität in Millimeter sowie das Ausmaß der Außen- und Innenrotation in Grad erfasst. Postoperativ, nach dem Anspannen beider Bündel, wird dieser Stabilitätstest wiederholt und im Vergleich zum präoperativen Stabilitätstest kann bestimmt und dokumentiert werden, wieviel Stabilität durch die Rekonstruktion gewonnen wurde.



Abbildung 22: Navigationsbildschirm beim Kniestabilitätstest

Mit diesem Stabilitätstest konnte der tatsächliche Nutzen der Doppel-Bündel-Technik dokumentiert werden. Bei der AP-Laxizität konnte kein Unterschied zwischen Ein-Bündel- und Doppel-Bündel-Rekonstruktion festgestellt werden, jedoch konnte die rotatorische Komponente in Bezug auf die Innen- und Außenrotation bei der Doppel-Bündel-Technik deutlich mehr reduziert werden. Wir glauben, dass dadurch eine längere Transplantatlebensdauer und ein besserer Knorpelschutz erreicht wird.

Nach der proximalen Fixierung mit dem Suture Plate und anschließender intraartikulärer Vorspannung wird die tibiale Fixierung mit Mini Suture Disks durchgeführt. Die Enden der Transplantat-Fadenarmierungen werden dabei über die Brücke des Mini Suture Disk geknotet und zwar bei 45° Flexionsstellung beim anteriomedialen Bündel und bei 10° Flexionsstellung beim posterolateralen Bündel. Das Bein des Patienten wird mehrfach durchbewegt und in Hyperextension gehalten. Dabei kommt es zu einem letzten Setzen des Transplantates und zum Nachgeben der tibialen Verknotung. Die so entstandene Restlaxizität wird durch Drehen der Suture Disks mit dem Twister beseitigt.



Abbildung 23: Bestimmung der Transplantatspannung mit dem Twister

Dadurch kommt es zu einer Verwindung der tibialen Fäden, die eine Spannungserhöhung des Transplantates pro Umdrehung bedeutet. Auch hier wird das anteriomediale Bündel bei 45° Flexionsstellung und das posterolaterale Bündel bei 0° Flexionsstellung angespannt.

Das Drehen der Suture Disks sollte sehr vorsichtig gemacht werden, da sich der Suture Disk zwar leicht drehen lässt, jedoch pro Umdrehung eine hohe Zunahme der Spannung auf das Transplantat erzeugt, welche dazu führen kann, dass die Armierungsfäden reißen. Üblicherweise werden 2 bis 4 Umdrehungen benötigt.

Vorbeugung vor dem Bungee-Effekt und dem Scheibenwischer-Effekt:

1. Ausgiebiges Vorspannen des Transplantates auf dem Präparationsbrett.
2. Setzen der Bohrkanäle in 0,5 mm Abstufungen für eine satte Press-Fit-Passung.
3. Ausreichendes Anspannen des gesamten Transplantatsystems mit dem Suture Disk.

Nachbehandlung:

Postoperativ wird ein 3-in-1-Schenkelblock für 24 Stunden gelegt. Mit einem Perfusor werden 3 bis 4 ml Analgetika pro Stunde appliziert, was eine ausreichende Analgesie für das gesamte Bein mit Ausnahme der Poplitearegion bewirkt.

5.5 Ergebnisse

1996 führten wir eine prospektiv randomisierte Studie durch, die den tatsächliche Nutzen zwischen der Ein- und Doppel-Bündel-Technik sowie das klinische Ergebnis zwischen isolierten Kreuzbandrupturen und Kreuzbandrupturen mit begleitenden Sekundärverletzungen verglich. Die Ergebnisse dieser Studie, die 2001 beim Jahreskongress der American Association of North America in Seattle präsentiert wurden, zeigten, dass in Fällen mit isolierten ACL-Rupturen nur marginal bessere Ergebnisse mit der Doppel-Bündel-Technik erzielt werden konnten (statistisch nicht signifikant). Jedoch bei Begleitverletzungen, wie z. B. Meniskusschäden, Knorpelschäden oder Verletzungen am sekundären Stabilisierungsapparat, sind die Langzeitergebnisse bei der Doppel-Bündel-Technik gegenüber der Ein-Bündel-Technik deutlich besser. Vermutlich ist dies auf die zusätzliche Stabilisation in der Frontalebene durch das posterolaterale Bündel zurückzuführen. Ein weiterer signifikanter Faktor neben den sehr positiven Stabilisierungsergebnissen ist der ereignislose postoperative Verlauf bei der Doppel-Bündel-Technik.

5.6 Komplikationen

Eine signifikant auftretende Komplikation sind starke Blutungen aus dem Sehnenentnahmebett, die in 0,5 % der Fälle auftreten und durch die Entfernung des Blutgerinnsels aus der OP-Wunde problemlos revidiert werden können. Bei Revisionseingriffen, bei denen die Doppel-Bündel-Technik deutliche Vorteile hat, können alte sklerotische Bohrkanäle von Voroperationen in manchen Fällen eine akurate Platzierung der neuen Bohrkanäle, insbesondere im Tibiakopf, behindern. In vier Fällen entstand ein Granulom mit begleitender Pseudobursa an den Knoten der tibialen Fixierung und führten 3 Monate postoperativ zu der Entfernung der tibialen Fixierung. Die Infektionsrate beim gesamten Patientengut betrug 0,2 %. In ca. 0,5 % der Fälle mussten ein Cyclops oder Adhäsionen durch einen zusätzlichen chirurgischen Eingriff entfernt werden, um die Kniegelenksbeweglichkeit wieder herzustellen.

5.7 Postoperative Nachbehandlung

Nach dem Wundverschluss und dem Anlegen des Wundverbandes wird das Knie für 7 Tage in einer 0°-Schiene mit integrierter Bandage für die isolierte Kreuzbandtherapie immobilisiert.

Therapie in der ersten Woche:

- Passive Bewegung in einem Flexionsbereich von 0° bis 80°
- Patellamobilisation
- Elektrostimulation des M. vastus medialis
- Maßnahmen zur Reduzierung von Entzündungen

Die relative Inaktivität des Patienten während der ersten Woche zahlt sich dadurch aus, dass sie die Abheilung der Wunde in der posterioren Beinmuskulatur und das Abklingen von entzündlichen Reaktionen erlaubt.

Ab der zweiten Woche verwenden wir die DonJoy Four-Point Schiene oder die Knieorthese Air-Support von THÄMERT. Die gefederten Systeme in der Schiene verhindern abrupte und unkoordinierte Hyperextensionen.

Die Rehabilitation im frühen postoperativen Verlauf besteht hauptsächlich aus antiinflammatorischen Maßnahmen (Lymphdrainagen), Verbesserung der Mobilität und propriozeptivem Training.

Arnotzky und Rodeo haben gezeigt, dass sich das Sharpey'sche Fasersystem zur Transplantatverankerung sechs bis acht Wochen postoperativ fast vollständig entwickelt hat. Ab diesem Zeitpunkt kann der Muskel durch isometrische Übungen an Kraftgeräten aufgebaut werden.

Erreicht der Patient keine zufriedenstellende Mobilität nach der vierten postoperativen Woche, veranlassen wir ein intensiveres Rehabilitationsprogramm. Nachuntersuchungen werden vier Wochen sowie drei, sechs und zwölf Monate postoperativ durchgeführt.

5.8 Zukunft der Technik

Der Aesculap OrthoPilot ist ein computerunterstütztes Navigationssystem, das die präzise Platzierung der Bohrkanäle für die Doppel-Bündel-Technik ohne ausgedehnte präoperative Planung via MRI oder CAT Scans erlaubt. Das Aesculap OrthoPilot System liefert dem Arthroskopiker, dessen Blick auf das OP-Feld eingeschränkt ist, kontinuierlich Informationen über die Topographie des gesamten Kniegelenkes. Ferner warnt das Aesculap OrthoPilot System den Chirurgen vor einem drohenden Impingement, was insbesondere unerfahrenen Chirurgen hilft, den Kardinalfehler, nämlich die inakurate Bohrkanalplatzierung, zu vermeiden.

5.9 Zusammenfassung

Vorteile der Doppel-Bündel-Technik:

1. Anatomische Rekonstruktion des anteromedialen und des posterolateralen Bündels sowie die Rekonstruktion des anatomisch ovalen tibialen Ansatzes des vorderen Kreuzbandes.
2. Verbesserte Kniekinematik durch das Anspannen des anteromedialen Bündels in 45° Flexionsstellung und der damit besseren Stabilitätskontrolle bei höheren Beugegraden in Verbindung mit der Stellung und der Stabilität des posterolateralen Bündels beim gestreckten Knie.
3. Bessere Kniegelenksstabilisierung in der Frontalebene durch den diagonalen Verlauf des posterolateralen Bündels und unterstützt durch die medialen und lateralen Seitenbänder.
4. Kraftaufteilung auf die beiden Bündel.
5. Bessere Kontrolle der Rotation durch die doppelte Anzahl von Fixierungspunkten.
6. Verdopplung der Kontaktfläche zwischen Knochen und Sehnentransplantat und damit deutliche Erhöhung der Sharpey'sche Fasern für die sekundäre Transplantatfixierung.
7. Verbesserte Aussichten für Revisionseingriffe durch die verwendeten sehr kleinen Bohrkanäle.
8. Separates Anspannen der beiden Bündel im letzten OP-Schritt ermöglicht das Einstellen der anterior-posterior Stabilität entsprechend der nichtverletzten Seite, da sowohl Über- als auch Unterspannung des Transplantates einen negativen Einfluss auf die Kniefunktion hat.

Aus unserer Sicht stellt die Doppel-Bündel Technik einen signifikanten Fortschritt in Bezug auf die anatomische Rekonstruktion und die Verbesserung der Langzeitergebnisse dar.

6 Literatur

1. Ahmed AM, Burke DL, Duncan NA, et al.: Ligament tension pattern in the flexed knee in combined passive anterior translation and axial rotation. *J. Orthop Res.* 192; 10:854-867
2. Asano T, Akagi M, Tanaka K, et al. : In vivo three-dimensional knee kinematics using a biplanar image-matching technique. *Clin. Orthop.* 388 (2001) 157-166
3. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P: Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 22 (1994) 211-217
4. Allen CR, Fox RJ, Fu FH, Rudy TW, Sakane M, Woo SL-Y: Do bone-patellar tendon-bone and the quadruple-hamstrings tendon grafts restore intact ACL funktion? *Arthroscopy* 14 (1998) 20
5. Beynnon BD, Fleming BC: Anterior cruciate ligament strain in-vivo: a review of previous work. *J Biomech.* 31 (1998) 519-525
6. Beynnon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al.: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension: a comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med.* 25 (1997) 823-829
7. Bonamo JJ, Fay C, Firestone T: The conservative treatment of the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med* 18 (1990) 618-623
8. Bonamo JJ, Krinick RM, Sporn AA: Rupture of the patellar ligament after use of ist central third for anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Surg Vol.* 66-A (1984) 1294-1297
9. Bonatus T, Alexaner A: Patellar fracture and avulsion of the patellar ligament complicating arthroscopic ACL reconstruction. *Orthopedics* 20 (1991) 770-774
10. Bosch U, Kasperczyk WJ Healing of the patellar tendon autograft after posterior cruciate ligament reconstruction - a process of ligamentization? *Am J Sports Med* 20 (1992) 558-566
11. Boszotta H: Arthroscopic reconstruction of the ACL using BTB patellar ligament in the press-fit-technique. *Surg Technol Int* 11 (2003) 249-253
12. Brückner H: Eine neue Methode der Kreuzbandplastik. *Chirurg* 37 (1966) 413-414
13. Edwards AH: Rupture and repair of the ACL. *Br J Surg* 13 (1926) 432-438
14. Eriksson K, Kindblom LG, Hamberg P, Larsson H, Wredmark T: The semitendinosus tendon regenerates after resection: a morphologic and MRI analysis after resection for ACL reconstruction. *Acta Orthop scand* 72 (2001) 379-384
15. Feagin J, Curl W: Isolated tear of the ACL. 5-year follow-up study. *AmJSportsMed* 4 (1976) 95-100
16. Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Hackl W, Gabl M: Langzeitergebnisse nach konservativer oder operativer Therapie der vorderen Kreuzbandruptur. *Unfallchirurg* 99 (1996) 964-969
17. Hamner D, Brown C, Steiner M, Hecker A, Hayes W: Hamstring tendon grafts for reconstruction of the ACL: Biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am* 81 (1999) 549-557
18. Henche, HR: Einbau eines Kreuzbandes aus Kunststoff - ein Arthrosemmodell?: Editorial. *Arthroscopie* 3 (1990) 1
19. Hesse, E.: Über den Ersatz der Kreuzbänder des Kniegelenkes durch freie Sehnenstreifen. *Verh Dtsch Ges Chir* 43 (1914) 188-189
20. Hey-Groves, E. W.: Operation for repair of the crucial ligament. *Lancet* 2 (1917) 674
21. Jensen, KU, Klein W: Probleme und Komplikationen beim künstlichen Kreuzbandersatz. *Arthroscopie* 3 (1990) 15-23
22. Jones KG: Reconstruction of the ACL. *J Bone Joint Surg Am* 45 (1963) 925-932
23. Kohn D, Rose C: Primary stability of interference screw fixation. Influence of screw diameter and insertion torque. *Am J Sports Med* 22 (1994) 334-338
24. Lindemann K: Über den plastischen Ersatz der Kreuzbänder durch gestielte Sehnenverpflanzung. *Z Orthop* 79 (1950) 316-334
25. Lipscomb A, Joohnston R, Snyder R, Warburton M, Gilbert P: Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the ACL. *Am J Sports Med* 10 (1982) 340-342
26. Noyes FR, Butler DI, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS: Biomechanical nalysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am* 66 (1984) 344-352
27. Odensten M, Lysholm J, Gillquist J. Suture of fresh ruptures of ACL. A 5-year follow-up. *Acta Orthop Scand* 55 (1984) 270-272
28. O'Donoghue D: Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 32 (1950) 721-738
29. Paulos L, Wnorowski D, Greenwald A: Infrapatellar contracture syndrome: Diagnosis, treatment and long-term follow-up. *Am J Sports Med* 22 (1994) 440-449
30. Robson AW: Ruptured crucial ligaments and their repair by operation. *Ann Surg* (1903) 716-718
31. Rodeoe S, Arnoczky S, Torzilli P, Hidaka C, Warren R: Tendon-healing in a bone tunnel. A biomechanical and histological study in the dog. *J Bone Joint Surg Am* 75 (1993) 1795-1803
32. Rosenberg J, Franklin J, Baldwin G, Nelson K: Extensor mechanism function after patellar tendon graft harvest for ACL reconstruction. *Am J Sports Med* 20 (1990) 519-525
33. Shelbourne KD, Davis TJ, Klootwyk TE (1998) The relationship between intercondylar notch width of the femur and the incidence of anterior cruciate ligament tears. *Am J Sports Med* 26: 402-408
34. Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M: Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sport Med* 19 (1991) 332-336
35. Stecker S, Parker R: Graft selection in knee cruciate ligament surgery: autograft, allograft and synthetic. *Operat Tech Orthop* 9 (1999) 248-255
36. Strobel MJ, Schulz MS: VKB-Rekonstruktion mit dem Semitendinosus-Grazilis-Sehnetransplantat. *Der Orthopäde* 31 (2002) 758-769
37. Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Yamazaki S, Tohyama H: Comparison of intraosseous graft healing between the double flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-bone graft in ACL reconstruction. *Arthroscopy* 17 (2001) 461-476
38. Weiler A, Scheffler S, Höher J: Transplantatauswahl für den primären Ersatz des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31 (2002) 731-740
39. Weiler A, Scheffler S, Südkamp NP: Aktuelle Aspekte in der Verankerung von Hamstring-Transplantaten in der Kreuzbandchirurgie. *Chirurg* 71 (2000) 1034-1044
40. Zur Verth: Aussprache 27. Kongress 5.-7. Sept 1932, Mannheim. *Verh Dtsch Orthop Ges* (1933) 268-270
41. Henche, HR, Birkner W.: Die 8fache Plantarissehne - eine neue Methode zur Kreuzbandrekonstruktion. *Orthopädische Praxis* 34 2 (1998) 126 - 129

Stiftung zur Förderung
der Arthroskopie
Postfach 29
78501 Tuttlingen
Telefon 07461 77496
Telefax 07461 95-2675
www.sfa-stiftung.org

L96401

0906/3

Ausgabe 19