

## 2 Therapie der vorderen Kreuzbandruptur

Die wesentliche Therapieoption ist heutzutage der operative Ersatz des vorderen Kreuzbandes. Hierbei wird ein Kreuzbandtransplantat in anatomisch angelegte Kanäle in der proximalen Tibia und im distalen Femur eingebracht und in diesen Kanälen fixiert. Bei dieser Operation ist mittlerweile ein arthroskopisches Vorgehen internationaler Standard. Sowohl zur Transplantatwahl als auch für die Verankerungstechnik stehen dem Operateur unterschiedliche Verfahren zur Verfügung.

Auf Grund des genannten natürlichen Verlaufs bei chronischer Instabilität des vorderen Kreuzbandes ist der operative Ersatz, neben der subjektiven Stabilisierung, in erster Linie als prophylaktische Therapie zu werten.

### 2.1 Transplantate

Das zentrale Drittel der Patellarsehne mit erhaltenen Knochenblöcken aus der Patella und der Tuberositas tibiae, ist das derzeit am häufigsten verwendete Transplantat zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes [8, 8, 14, 19, 20, 30, 41, 48, 49, 57, 62]. Durch diese Methode lassen sich hohe initiale Fixationsfestigkeiten und Steifigkeiten erreichen, was durch eine Vielzahl von experimentellen und klinischen Arbeiten demonstriert werden konnte [8, 8, 44, 49, 54, 75, 78].

Der große Vorteil dieses Transplantates liegt in der erhaltenen Ligamentinsertion im Bereich der Knochenblöcke und der knöchernen Einheilung in die Bohrkanäle. Die Verwendung von Patellarsehnentransplantaten birgt aber auch Nachteile [27]. Durch Vernarbung (Fibrose) der Entnahmestelle und des im vorderen Kniekompartiment liegenden Hoffa'schen Fettkörpers kann es zu einer Verkürzung der Patellarsehne kommen. Daraus können biomechanische Veränderungen des Femoro-Patellargelenkes resultieren, die eine vorzeitige sekundäre Arthrose dieses Gelenkes bewirken. Als sehr therapieresistent können sich Schmerzen im Entnahmebereich darstellen. Betroffen sind vor allem Personengruppen mit knienden Tätigkeiten. Des Weiteren wird ein sogenanntes retropatelläres Schmerzsyndrom beobachtet, welches mit Schmerzen im Bereich der Patellaspitze, retropatellären Schmerzen bei langem Sitzen oder Treppaufgehen einhergeht, häufig in Kombination mit einer ausgeprägten Verkürzung des M. quadriceps [1, 3, 63, 75]. Seltener kommt es nach Entnahme der Patellarsehne zu Frakturen der Patella oder Rupturen der Patellarsehne [11, 21, 55, 65].

Auf Grund der beobachteten Entnahmemorbiditäten bei der Verwendung von Patellarsehnentransplantaten, wurde nach alternativen Ersatzgeweben gesucht. So wurden die bereits in den Anfängen der Kreuzbandchirurgie verwendeten Pes-anserinus-Sehnen, die Macey z.B. als distal gestieltes Sehnenstransplantat verwendete [18, 50], wiederentdeckt. Diese, auch als Hamstrings bezeichneten, sehnigen Ansätze der Mm. semitendinosus und gracilis inserieren zusammen mit der Sehne des M. sartorius im Pes anserinus superficialis am medialen Tibiakopf. In

biomechanischen Testungen zeigten diese Sehnen, als Vierfachtransplantat verwendet, Steifigkeiten nahe des nativen vorderen Kreuzbandes [14, 51, 62, 69, 79]. Seit ca. 10 Jahren werden Pes anserinus Sehnentransplantate zunehmend zur Rekonstruktion der Kreuzbänder eingesetzt. Derzeit wird in der Literatur ein drei-, besser aber viersträngiges Transplantat empfohlen, bei der entweder die Semitendinosussehne allein, oder aber in Kombination mit der Gracilissehne verwendet wird. Durch das Vorliegen multipler Stränge sind die Pes anserinus-Transplantate gut geeignet die natürliche Anatomie des vorderen Kreuzbandes mit seinen anteromedialen und posterolateralen Anteilen zu imitieren [62].

## **2.2 Verankerungstechniken**

Die Transplantatverankerung in der Kreuzbandchirurgie stellt bis zur biologischen Einheilung, das mechanische Bindeglied zwischen Transplantat und Knochen dar [12, 94]. Bis zur vollständigen Einheilung eines Kreuzbandtransplantates ist die Transplantatverankerung die wesentliche Schwachstelle des gesamten Konstruktes [12]. Keine bisher entwickelte Fixationsmethode besitzt mechanische Eigenschaften, die der natürlichen Kreuzbandinsertion vergleichbar sind [12]. Aktuelle Rehabilitationsprotokolle stellen jedoch bereits in der frühen postoperativen Phase hohe Anforderungen an die initiale Transplantatfestigkeit. Zudem ist bekannt, dass die Art der Transplantatverankerung einen wesentlichen Einfluss auf die ossäre Transplantatintegration haben kann [94].

Zur Verankerung von Kreuzbandtransplantaten werden prinzipiell anatomische von nicht-anatomischen Fixationstechniken unterschieden [94]. Anatomisch entspricht in diesem Zusammenhang der intraossären Verankerung des Transplantates auf Gelenkniveau, also am Ort der nativen Insertion des VKB. Als nicht-anatomisch bezeichnet man die gelenkferne bzw. extrakortikale Fixation. Das Konzept der anatomischen Verankerung wurde 1995 erstmals von Morgan als sog. „all-inside“ Rekonstruktion vorgestellt [58]. Bei einer intraossären Verankerung, die nicht auf Höhe des Gelenkniveaus erfolgt, spricht man von einer semi-anatomischen Fixation.

Des Weiteren unterscheidet man die indirekte Verankerung, bei der das Transplantat über anhängendes Fadenmaterial (Linkage-Material) verankert wird, von der direkten Verankerung ohne zwischengeschaltetes Fadenmaterial.

### **2.2.1 Mechanische Rahmenbedingungen**

Gebräuchliche Verankerungssysteme zeigen deutliche Unterschiede bezüglich der in-vitro gemessenen initialen Verankerungsfestigkeit (200 bis 1200 N). Nach wie vor ist allerdings unklar, welche Verankerungsfestigkeit tatsächlich klinisch notwendig ist [70]. Noyes et al. haben die Belastung des vorderen Kreuzbandes unter Aktivitäten des täglichen Lebens mit 454 N deklariert, basierend auf Untersuchungen der Versagenslast des nativen vorderen Kreuzbandes in biomechanischen Testungen [62]. Shelbourne und Gray berichteten 1997 über sehr gute klinische

Resultate nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit der Patellarsehne unter Verwendung einer nicht-anatomischen Verankerungstechnik, die eine Versagenslast von ca. 250 N aufweist [76], so dass davon ausgegangen werden muss, dass eine Versagenslast auch unter 454 N für den klinischen Alltag ausreichend ist.

Das native vordere Kreuzband besitzt eine intraartikuläre Länge von ca. 2,8 bis 3,7 cm. Bei der Rekonstruktion des anteromedialen Leitbündels beträgt die intraartikuläre Transplantatlänge ca. 2,5 bis 3,2 cm. Wird ein Transplantat femoral und tibial nicht-anatomisch bzw. extrakortikal fixiert, kann sich eine Gesamtlänge des Konstruktes von bis 10 - 15 cm ergeben (Abb. 2). In Korrelation zur Länge des Gesamtkonstruktes findet eine elastische (reversibel) Deformierung des Transplantates in longitudinaler Richtung statt. Diese Dehnung des Transplantates bzw. des Gesamtkonstruktes verhält sich umgekehrt proportional zur Steifigkeit (Elongation pro applizierte Kraft). Niedrige Konstruktsteifigkeiten resultieren in einer Zunahme der longitudinalen Bewegungen, die wiederum in vermehrten intraossären Scherbewegungen des Transplantates gegen die Tunnelwand (longitudinale Transplantat-Tunnel-Bewegungen, syn. „bungee-cord effect“) resultieren können. Dieses Phänomen wurde vor allem bei nicht-anatomischen, gelenkfernen Verankerungstechniken beschrieben [38]. Zusätzlich kann es unter zyklischer Belastung zu einer Konstruktlockerung, z.B. durch Knotenlockerung oder Setzverhalten der Sehnennaht, also zu einer viskoplastischen Deformierung (syn. „slippage“, nicht reversibel) kommen [12, 31, 94]. Dieses Phänomen kann auch bei alleiniger Verwendung von Interferenzschrauben in Form eines „Vorbeigleitens“ des Transplantates an der Schraube auftreten [52, 72]. Durch Kniebeugung und -streckung oder durch anterior-posteriore Translation können zusätzlich sagittale Transplantatbewegungen entstehen (syn. „windshield-whiper effect“) [36, 94]. Longitudinale und sagittale Transplantat-Tunnel-Bewegungen werden u.A. für das Auftreten von sog. Tunnelaufweitungen mit verantwortlich gemacht [37]. Vermutlich haben diese Tunnelaufweitungen einen negativen Einfluss auf die Knochen-Band-Heilung bzw. sind als Ausdruck eines zunehmenden Verlustes an Konstruktsteifigkeit zu werten [60]. Des Weiteren sind sagittale Transplantat-Tunnel-Bewegungen vermutlich für Transplantatteilrupturen am Tunneleingang verantwortlich [84]. Bezüglich einer Korrelation von Tunnelaufweitungen und Kniestabilität sind die Daten in der Literatur uneinheitlich [16, 36, 77]. Klinisch relevant werden ausgeprägte Tunnelerweiterungen allerdings besonders in der Revisionschirurgie.

### 2.2.2 Biologische Rahmenbedingungen

Die biologischen Rahmenbedingungen sind neben einer anatomischen Tunnelposition [58] bestimmend für die Langzeitüberlebensrate einer VKB-Rekonstruktion. Im Gegensatz zu der eher unproblematischen ossären Integration eines Transplantates mit anhängendem Knochenblock ist die biologische Integration eines reinen Weichteiltransplantates von mehreren Variablen abhängig. Ziel ist es die natürliche ligamentäre Bandinsertion des VKB wiederherzustellen [94]. Diese zeigt einen vierschichtigen Aufbau, bestehend aus Knochen, Kalkknorpel, Faserknorpel und Band [47]. Wesentlichen Einfluss auf die biologische Einheilung des Transplantates hat die Art der

Verankerung. Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass eine anatomische Verankerung eines Weichgewebstransplantates, unter Kompression am Tunneleingang (Interferenzschraube), zu einer direkten Bandinsertion auf Gelenkniveau mit oben beschriebenem Aufbau führt, während bei nicht-anatomischer Verankerung die Entwicklung dieser direkten Bandinsertion, durch Transplantat-Tunnel-Bewegungen, ausblieb und sich eine zell- und gewebereiche fibröse Zwischenschicht (syn. „fibrous interzone“) entwickelte [90]. Diese entspricht morphologisch einer indirekten Bandinsertion im Bereich der Tunnelwand und unterliegt einer gewissen Scherinstabilität [80]. Es ist also davon auszugehen, dass Transplantat-Tunnel-Bewegungen die ossäre Integration des Transplantates auf Gelenkniveau unterdrücken bzw. verzögern und dass eine Neutralisierung dieser Bewegungen, durch Kompression am Tunneleingang, die ossäre Transplantatintegration und die Ausbildung einer direkten Bandinsertion fördert.

### 2.2.3 Ersatz des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung einer anatomischen und direkten Verankerung mit biodegradierbaren Interferenzschrauben

Das Konzept der Interferenzschraubenverankerung liegt in dem Einbringen der Schraube in den Tunnel parallel zu dem Transplantat, bewirkt damit eine Kompression des Transplantates an die knöcherne Tunnelwand und ermöglicht so eine stabile Verankerung und die biologische Einheilung des Transplantates [91, 94]. Die Verwendung biodegradierbarer Interferenzschrauben, im Vergleich zu Interferenzschrauben aus Metall, zeichnet sich durch eine ungestörte Bildgebung, eine verbesserte Revisionsmöglichkeit und ein geringeres Risiko der Transplantatschädigung aus [83]. Interferenzschrauben ermöglichen die direkte und anatomische Verankerung des Transplantates auf Gelenkniveau. Hierzu wird femoralseitig die Schraube nur wenige Millimeter unter Kortexniveau versenkt und tibialseitig die Schraubenspitze in outside-in-Technik bis auf Gelenkniveau eingedreht [94].

Eine anatomische Einheilung des Transplantates mit Ausbildung einer natürlichen Ligamentinsertion konnte für diese Verankerungstechnik im Tiermodell demonstriert werden [90].