

5 DISKUSSION

5.1 TRANSPLANTATEINHEILUNG

5.1.1 INSERTIONSNAHE TRANSPLANTATEINHEILUNG

Befestigt man ein freies Sehnenransplantat (FT) in einem Knochentunnel, so lässt sich der Heilungsprozess in drei Teilaspekte unterteilen: die Knochenheilung des Bohrkanals, die Heilung des Sehnenransplantates und die Sehnen-zu-Knochen-Heilung. Dagegen bietet das Patellarsehnenransplantat (BPTB) den Vorteil einer Knochenblock-zu-Knochen-Heilung innerhalb des Bohrkanals. Die Patellarsehne selbst inseriert am Knochen über eine direkte Bandinsertion. Es ist anzunehmen, dass eine Knochen-zu-Knochen-Heilung schneller erfolgt, als eine Sehnen-zu-Knochen-Heilung. Neben einer hohen initialen Festigkeit der VKB- Rekonstruktion ist die knöcherne Einheilung des Transplantates eine Grundvoraussetzung für die Langzeitprognose des Transplantates [201, 205].

Die vorliegende Studie beschreibt histologisch die Einheilung dieser beiden Transplantate unter gelenknaher Fixation mit Interferenzschrauben. Dabei zeigte sich eine Integration beider Transplantate unmittelbar am Tunneleingang. Sowohl die Flexorsehne, als auch der sehnige Anteil des BPTB-Transplantates wurden unter Ausbildung einer direkten Bandinsertion integriert. In der frühen Heilungsphase waren chondroide Zellen als Anzeichen für die Entstehung einer direkten Bandinsertion zu sehen. Zu diesem Zeitpunkt erschien die direkte Bandinsertion der BPTB-Transplantate weiter fortgeschrittenen im Vergleich zu den FT-Transplantaten. Nach einem Jahr inserierte in beiden Gruppen ein Neoligament über eine breite Zone aus Faserknorpel und Kalkknorpel in Form einer reifen direkten Bandinsertion am Knochen. Diese direkte Bandinsertion wies ein dem VKB vergleichbares histologisches Erscheinungsbild auf.

Der Heilungsverlauf von BPTB-Transplantaten und FT-Transplantaten wird in der Literatur sehr unterschiedlich dargestellt. So wird von den meisten Autoren schon in den frühen Heilungsphasen eine direkte Bandinsertion unter Verwendung von BPTB-Transplantaten beschrieben [102, 195, 218]. Dagegen heilten freie Sehnenransplantaten unter Ausbildung einer indirekten Bandinsertion ein [24, 43, 60, 73, 83, 97, 164, 165, 186, 190]. Erst in der späten Heilungsphase fielen einigen Autoren chondroide Zellen auf, die auf einen weiteren Umbau der Insertion hin zu einer direkten Bandinsertion schließen lassen [60, 185, 213]. Viele Autoren favorisieren das BPTB-Transplantat, da dieses den Vorteil einer Knochenblock

zu Knochenheilung bietet und histologisch auch in der frühen Heilungsphase eine direkte Bandinsertion zu beobachten ist [102, 195, 218].

Im Gegensatz zu diesen Studien zeigt sich in der vorliegenden Arbeit in beiden Gruppen unabhängig von dem verwendeten Transplantat die Ausbildung einer direkten Bandinsertion unmittelbar am Tunneleingang.

Histologische Studien, die die Einheilung von BPTB- Transplantaten gegenüber freien Sehnen transplantaten nach VKB- Rekonstruktion unter gelenknaher Befestigung durch Interferenzschrauben untersucht haben, gibt es unseres Wissens nach bisher nicht. Allerdings gibt es zahlreiche Untersuchungen der Transplantateinheilung von freien Sehnen transplantaten sowie BPTB-Transplantaten. Diese Studien variieren jedoch in Hinblick auf die Tiermodelle, aber vor allem in Bezug auf die Transplantatfixierung sowie die Operationsverfahren und das postoperative Management. Dadurch ist ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit oftmals schwierig.

Clancy et al. rekonstruierten vordere und hintere Kreuzbänder mit BPTB-Transplantaten bei Rhesusaffen [44]. Nach 8 Wochen beobachteten sie unorientiertes, fibroblastenreiches Bindegewebe zwischen Knochen und Transplantat. Sie stellten keine Anzeichen einer direkten Bandinsertion fest. Nach 9 Monaten dagegen bemerkten sie ebenfalls eine Insertion des Transplantates in Form einer direkten Bandinsertion. Im Vergleich zu der vorliegenden Studie ist die Transplantateinheilung in der frühen Heilungsphase verzögert. Eine Begründung hierfür mag im postoperativen Management liegen. Im Gegensatz zu der vorliegenden Studie, bei der die Schafe uneingeschränkt in ihrer Bewegungsfreiheit waren, immobilisierten Clancy et al. die Tiere 6 Wochen lang, indem sie nach der OP einen Castverband anlegten.

Andere Autoren dagegen beschreiben schon kurze Zeit nach der Operation eine direkte Bandinsertion zwischen Transplantat und Knochen unter Verwendung von BPTB-Transplantaten [43, 148]. So untersuchten Chiroff et al. die Einheilung eines gestielten Patellarsehnen transplantates an Hunden und konnten schon nach 4 Wochen chondroide Zellen am unmittelbaren Tunneleingang nahe der femoralen Gelenkfläche finden [43].

Auch Park et al. refixierten lediglich die tibiale Insertion der Patellarsehne in einem Knochentunnel [148]. Sie untersuchten die Einheilung der Sehne mit Knochenblock im Vergleich zu der Einheilung eines freien Sehnenendes und konnten in beiden Fällen die Ausbildung einer direkten Bandinsertion feststellen. Allerdings wurde das BPTB-Transplantat schon nach 8 Wochen vollständig integriert, dagegen benötigte das freie Sehnen transplantat 12 Wochen. Im Vergleich zu der vorliegenden Studie weisen diese

Arbeiten eine wesentlich reifere direkte Bandinsertion des BPTB- Transplantates auf. Dies lässt sich zum einen durch die Verwendung eines gestielten Transplantates erklären. Neben der tibialen Insertion bleibt auch die Gefäßversorgung einseitig intakt. Dagegen muss bei einem echten Kreuzbandersatz das Transplantat erst revitalisiert und vor allem revaskularisiert werden. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zu dieser Studie ist die Positionierung des Knochenblocks. Sowohl Park et al., als auch Chiroff et al. verankerten den Knochenblock auf Gelenkniveau. Daher handelt es sich in dieser Studie um eine echte Knochenblock-zu-Knochen-Heilung mit Erhaltung der direkten Bandinsertion der Patellarsehne auf Gelenkniveau und somit im Bereich der Insertion des nativen VKB. Dagegen ist in der vorliegenden Studie der Knochenblock weiter distal der Gelenkfläche im Knochentunnel positioniert. Die Länge des sehnigen Transplantatanteils der Patellarsehne ist durch die Anatomie fest vorgegeben und in der Regel ist die Patellarsehne wesentlich länger als die benötigte intraartikuläre Transplantatlänge. Um dennoch den Knochenblock auf Gelenkniveau zu verankern wurde eine „Flip-Technik“ entwickelt [84]. In der vorliegenden Arbeit wurde die Patellarsehne in dieser Technik präpariert, um die ursprüngliche Länge von 68 ± 6 mm soweit zu kürzen, dass der Knochenblock durch die Interferenzschraube fixiert werden konnte. Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten des Schafes schließt der Knochenblock trotz dieser Präparation nicht mit der Gelenkfläche ab und in dem Bereich des Tunneleingangs entwickelte sich dem zufolge eine neue Insertion zwischen Transplantat und Knochen.

Andere Autoren konnten ebenfalls eine Einheilung der Patellarsehne mit ihrem sehnigen Anteil im Bereich des Tunneleingangs feststellen. Auch in diesen Studien war aufgrund der fest vorgegebenen Länge der Patellarsehne der Knochenblock im Knochentunnel lokalisiert und schloss nicht mit der Gelenkfläche ab.

Yoshiya et al untersuchten die Transplantateinheilung eines BPTB-Transplantates nach VKB-Rekonstruktion an Hunden [218]. Der Knochenblock heilte nach einer anfänglichen Degenerationsphase innerhalb von 12 Wochen in den umgebenden Knochen des Bohrkanals ein, an der Insertion der Patellarsehne am Knochenblock konnten sie keine degenerativen Veränderungen feststellen. Zusätzlich stellten sie interessanterweise fest, dass der sehnige Anteil des Patellarsehnentransplantates unter Ausbildung einer indirekten Bandinsertion in den Knochen des Bohrkanals integriert wurde.

Tomita et al. untersuchten die Einheilung eines FT-Transplantates gegenüber einem BPTB-Transplantat nach VKB-Rekonstruktion an Hunden und bestätigten die von Yoshiya et al. dargestellten Beobachtungen [195]. Sie beschreiben ebenfalls die Entwicklung einer indirekten Bandinsertion bis zur 12. postoperativen Woche, sowohl bei den FT-

Transplantaten als auch im Bereich zwischen dem sehnigen Anteil des BPTB-Transplantates und der Wand des Knochentunnels. Der Knochenblock wurde in den umgebenden Knochen integriert, wobei die Insertion der Patellarsehne am Knochenblock nach 6 Wochen Anzeichen einer Degeneration aufwies.

Im Gegensatz zu diesen Studien ist jedoch in der vorliegenden Arbeit nach 6 Wochen die Entstehung einer direkten Bandinsertion anhand chondroider Zellen zu sehen. Der wesentliche Unterschied in der Methodik scheint hier die Art der Transplantatverankerung zu sein. Yoshiya et al. befestigten das Patellarsehnentransplantat mit einer Schraube in der Tiefe des Knochentunnels und wählten somit eine relativ insertionsferne Befestigungsmethode [218]. Auch Tomita et al. wählen eine indirekte, extraartikuläre Befestigung [195].

In der vorliegenden Arbeit dagegen wurden beide Transplantate durch Interferenzschrauben nahe dem Gelenkniveau fixiert.

Petersen et al. untersuchten Gewebe aus Biopsien nach VKB-Rekonstruktion am Menschen mit Patellarsehnentransplantaten und Hamstrings [150]. Die Hamstringsehnen wurden extraartikulär befestigt, die Patellarsehnen in den meisten Fällen über Schrauben. Anhand immunhistochemischer Untersuchungen wurden die Kollagene des Interfaces unterschieden. Die Patellarsehnentransplantate, die über eine direkte Bandinsertion am Knochen eingehilt waren, wiesen hauptsächlich Kollagen Typ II auf. Die Hamstringsehnen, die über Bindegewebe und eine indirekte Bandinsertion integriert wurden, enthielten vermehrt Kollagen Typ I und III. In den Fällen, in denen der Knochenblock der Patellarsehne wie die Hamstringsehnen über eine extraartikuläre Befestigung fixiert wurde und nicht auf Gelenkniveau fixiert war, entwickelte sich ebenfalls eine indirekte Bandinsertion. Auch dies ist hinweisend auf den Einfluss der Transplantatverankerung für die Transplantateinheilung.

Verschiedene Faktoren wurden untersucht, die außerdem einen Einfluss auf die Ausbildung einer indirekten Bandinsertion haben könnten. So untersuchten Jones et al. den Einfluss unterschiedlich großer Kräfte auf die Einheilung freier Sehnen-Transplantate und konnten jedoch keine Einflussnahme auf die Entwicklung einer indirekten Bandinsertion feststellen [97]. Des Weiteren konnte keine Abhängigkeit der Integration der FT-Transplantate von der Transplantation in kompakten oder spongiösen Knochen gefunden werden [190]. Ferner wurde der Einsatz von Substanzen zur Förderung der Bindegewebsreifung oder der Knochenneubildung untersucht, jedoch konnte auch hierdurch die Entwicklung einer indirekten Bandinsertion unter extraartikulärer Transplantatverankerung nicht verhindert werden [165, 186]. Einige Autoren wiesen bis nach 52 Wochen eine indirekte Bandinsertion

unter extraartikulärer Transplantatbefestigung bei Verwendung freier Sehnen transplantate nach [24, 71]. Yamazaki et al untersuchten den Einfluss des Knochentunneldurchmessers auf die Integration des Transplantates [214]. Bei einem 2 mm breiterem Knochentunnel und gleichem Transplantatdurchmesser fanden sie mehr kollagene Fasern zwischen dem Transplantat und dem Knochen. Dies hatte jedoch keinen Einfluss auf die Stabilität der VKB-Rekonstruktion. Auch die intraossäre Transplantatlänge war nicht entscheidend für die Entwicklung einer indirekten Bandinsertion [215]. Die indirekte Bandinsertion konnte sowohl bei einer intraossären Transplantatlänge von 15 mm als auch von 5 mm jeweils nur im proximalen Tunnelbereich beobachtet werden.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Transplantateinheilung in Form einer indirekten Bandinsertion, hat offensichtlich das Verankerungsniveau der Transplantate. Wird das Transplantat extraartikulär fixiert, muss verursacht durch die relative Bewegungsfreiheit des Transplantates, von einer Verzögerung der Transplantateinheilung am Tunneleingang ausgegangen werden [87, 92, 93, 99, 137]. Mikrobewegungen des Transplantates können zu dem Phänomen der Tunnelaufweitung führen (siehe Kap.2.3.1).

Im Umkehrschluss bewirkt eine gelenknahe Befestigung des Transplantates dagegen adäquate biomechanische Belastung bezüglich der angreifenden Kräfte und vor allem der auftretenden Krafrichtungen. Das Transplantat kann sich an die mechanischen Bedingungen adaptieren. Davon ausgehend, dass unter Interferenzschraubenbefestigung nach einer VKB-Rekonstruktion an der anterioren Seite des tibialen Tunneleingangs hauptsächlich Zugbelastung auftritt, während an der posterioren Seite des tibialen Tunneleingangs das Transplantat einer Druckbelastung ausgesetzt ist, wird die Entstehung einer direkten Bandinsertion durch Zugbelastung stimuliert (Abb. 5-1, S.73). Durch die Kompression der Interferenzschraube auf das intraossäre Transplantat wird wahrscheinlich die Bewegung innerhalb des Knochentunnels unterbunden. Unter dieser Krafteinwirkung nahe der ursprünglichen Insertion des VKB ist eine Einheilung des Transplantates mit Ausbildung einer direkten Bandinsertion möglich. Das Auftreten der chondroiden Zellen ist dann, hinsichtlich der kausalen Histiogenese, eine physiologische Reaktion auf einwirkende Druckkräfte, wie schon in Kap. 2.1.3 beschrieben [18, 109, 149]. Am Tunneleingang bildet sich in der frühen Heilungsphase unorientiertes, fibroblastenreiches Bindegewebe zwischen Transplantat und dem neu gebildeten Geflechtknochen. Bei Zugbelastung am Transplantat werden Zellen in diesem Gewebe komprimiert und transformieren zu chondroiden Zellen. Diese Zellen verkalken im weiteren Heilungsverlauf, und es entsteht eine Kalkfaserknorpelzone am Übergang zum neu gebildeten Geflechtknochen des Tunneleingangs. Demzufolge entwickelt sich eine direkte Bandinsertion als Adaption an die

mechanische Belastungssituation. Durch den direkten Kontakt zwischen Transplantat und Knochen innerhalb des Knochentunnels kann sich nur wenig fibroblastenreiches Bindegewebe innerhalb des Knochentunnels ausbilden. Eine fibröse Zwischenschicht (FIZ) kann sich dadurch kaum entwickeln.

Dagegen wirken unter extrakortikaler Transplantatverankerung Scherkräfte über die gesamte Länge des Knochentunnels zwischen dem Knochen und dem Transplantat, die eine Einheilung des Transplantates unter Ausbildung einer direkten Bandinsertion am Tunneleingang verzögern. Hierzu muss allerdings kritisch bemerkt werden, dass es bisher kein Modell gibt, mit dem es möglich ist, die *in-vivo* unmittelbar am Tunneleingang wirkenden Kräfte zu messen, um diese Aussage zu verifizieren.

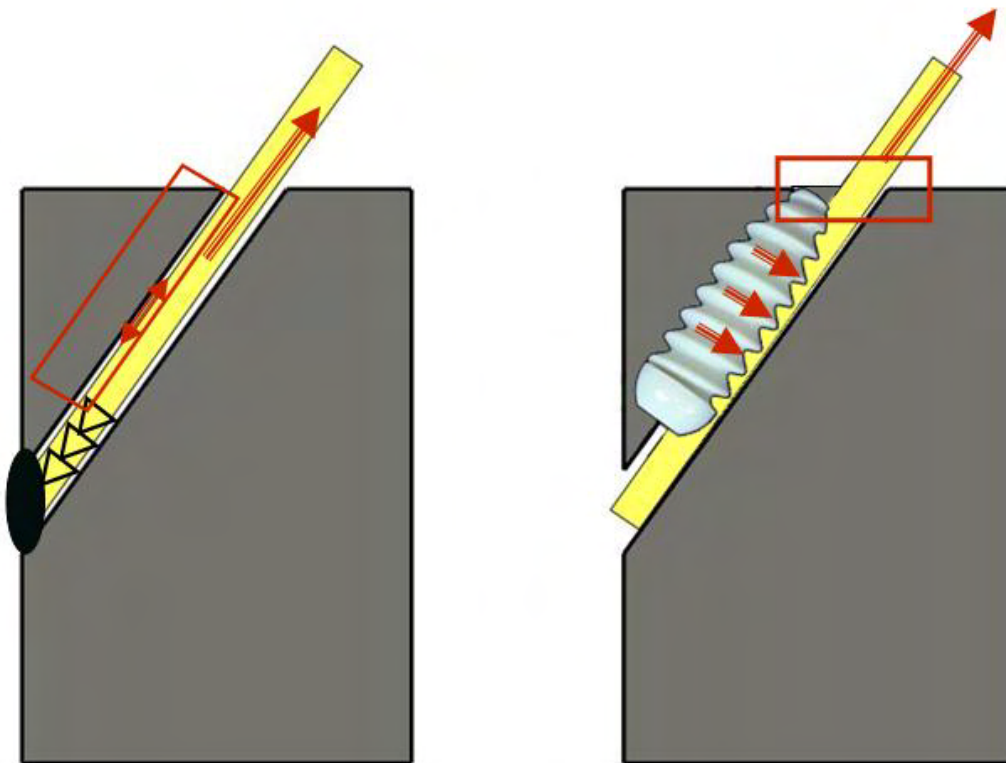


Abb. 5-1: schematische Zeichnung der Kräfte zwischen Transplantat und Knochen nach VKB-Rekonstruktion; links unter extraartikulärer Transplantatbefestigung, rechts unter Interferenzschraubenbefestigung.

Vorangegangene Arbeiten konnten ebenfalls die Entwicklung einer direkten Bandinsertion am Tunneleingang in Abhängigkeit von der Transplantatfixierung mit Interferenzschrauben für freie Sehnen-transplantate belegen [88, 201]. Hierfür wurden die Verminderung der Mikrobewegungen im Knochentunnel, sowie die direkte Kompression des Transplantates an den Knochentunnel und somit das Fehlen einer fibrösen Zwischenschicht in intraossären Bereich als Ursache angenommen.

Yamakado et al. postulierten 2002 ebenfalls, dass hauptsächlich Zugkräfte die Entwicklung der Sehnen-zu-Knochen-Heilung beeinflussen, während Druckkräfte die chondroide Zelltransformation bewirken und Scherkräfte kaum einen begünstigenden Einfluss auf den Heilungsprozess haben [213]. Sie untersuchten analog zu Rodeo et al. die Einheilung der Sehne des M. digitalis lateralis nach Transplantation in einen tibialen Knochentunnel [164]. Rodeo et al. beschreiben dabei die Entwicklung und Reifung einer indirekten Bandinsertion zwischen Sehnentransplantat und Knochentunnel bis zur 24. postoperativen Woche unter insertionsferner Befestigung. Im Gegensatz zu Rodeo et al. sahen Yamakado et al. Kalkknorpel und Faserknorpel an der oberen, proximalen Seite des Tunneleingangs. Die unterschiedlichen Beobachtungen erklärten Yamakado et al. durch eine Veränderung des Winkels bei der Platzierung des Bohrkanals. Den Bohrkanal platzierten sie in einem Winkel von 90° zum Transplantatverlauf, wodurch am unmittelbaren Tunneleingang auf der einen Seite vornehmlich Zugkräfte wirken, während an der anderen Seite das Transplantat über die Tunneleingangsseite gezogen wird und durch den Knochen des Tunneleingangs komprimiert wird. Rodeo et al. dagegen wählten einen Winkel von 45° für den Knochentunnel. Dadurch lag der Knochentunnel parallel zu der Zugrichtung des Transplantates.

L'Insalata et al. untersuchten in einer prospektiven radiologischen Studie die Tunnelaufweitung nach VKB-Ersatz beim Menschen mit Hamstringsehnen, die insertionsfern über Endobutton fixiert wurden und BPTB-Transplantaten, die mit Interferenzschrauben befestigt wurden [110]. Sie konnten eine signifikant stärkere Tunnelaufweitung bei den Hamstringtransplantaten im Vergleich zu dem BPTB-Transplantaten nachweisen. Die Begründung dafür sahen sie ebenfalls in einem größeren Abstand zur physiologischen VKB-Insertion, wodurch sich die biomechanisch wirksame Länge der Verankerungskonstruktion vergrößert. Durch die Transplantatbewegung im Knochentunnel kommt es infolge dessen zu einer Tunnelaufweitung.

Außerdem hatte der Abstand der Knochenblöcke vom Gelenkniveau bei den BPTB-Transplantaten einen Einfluss auf die Tunnelaufweitung. Bei BPTB-Transplantaten unter Interferenzschraubenfixation konnte nur eine Tunnelaufweitung beobachtet werden, wenn der Knochenblock nicht mit dem Gelenkniveau abschließend verankert wurde [4, 110]. Hierzu muss kritisch angemerkt werden, dass in der vorliegenden Studie der Knochenblock ebenfalls nicht mit dem Gelenk abschließt. Der Grund dafür ist die Länge der Patellarsehne des Schafes und, obwohl die Transplantate „geflippt“ wurden, war der sehnige Anteil des BPTB-Transplantates so lang, dass der Knochenblock distal von der Gelenkfläche innerhalb des Knochentunnels platziert wurde. Da die Länge der Patellarsehne durch die Anatomie der

jeweiligen Spezies fest vorgegeben ist und individuelle Unterschiede existieren, ist eine optimale Verankerung beider Knochenblöcke auf Gelenkniveau selten möglich. Dieses Problem existiert auch in der Humanmedizin, auch beim Menschen konnten Längenunterschiede zwischen der Patellarsehne und der notwendigen intraartikulären Transplantatlänge beim Menschen festgestellt werden [49].

Im Gegensatz zu den von L'Insalata et al. gemachten Beobachtungen einer Tunnelaufweitung, war in der vorliegenden Studie dennoch weder histologisch, noch radiologisch eine Tunnelaufweitung zu erkennen. Lediglich an der Druckseite des Tunneleingangs fand in geringem Maß ein Knochenabbau nach 6 Wochen statt. In der Fluoreszenzmikroskopie zeigt sich schon nach einer Woche eine deutliche Fluoreszenz für das applizierte Calcein-Grün über die gesamte Länge des Knochentunnels. Die zu späteren Zeitpunkten applizierten Fluorochrome lagern sich im neu gebildeten Geflechtknochen an der Tunnelwand an. Für das nach 5 Wochen applizierte Tetracyclin zeichnet sich eine tendenziell stärkere Fluoreszenz am Tunneleingang ab. Dies weist auf eine verstärkte Knochenneubildung oder auch Umstrukturierung des Knochens im Bereich des Tunneleingangs ab der 5. postoperativen Woche hin. Geht man davon aus, dass mechanische Belastung ein Stimulus für die Knochenneubildung bzw. Umstrukturierung ist [69], so lässt sich daraus ableiten, dass es zu diesem Zeitpunkt zu einer verstärkten Krafteinwirkung am Tunneleingang kommt.

Die BPTB-Transplantate in dieser Studie zeigten nach 6 Wochen eine deutlich fortgeschrittene Entwicklung der direkten Bandinsertion im Vergleich zu den freien Sehnen-Transplantaten (siehe Ergebnisse Tab. 4-1, S.67). Weiler et al. beschreiben ein mit der vorliegenden Arbeit vergleichbares histologisches Erscheinungsbild nach 9- 12 Wochen für freie Sehnen-Transplantate [201].

Eine Begründung für diese leichte zeitliche Verzögerung bei der Einheilung der freien Sehnen-Transplantate mag in einer initial geringeren Steifigkeit der Verankerungskonstruktion bei freien Sehnen-Transplantaten gegenüber BPTB-Transplantaten liegen. Eine geringe Steifigkeit der VKB-Rekonstruktion kann Mikrobewegungen innerhalb des Knochentunnels begünstigen. Scheffler et al. und Adam et al. beobachteten geringere Transplantatsteifigkeiten bei Hamstringtransplantaten gegenüber BPTB- Transplantaten unter Interferenzschraubenverankerung [1, 170]. Dabei untersuchten Adam et al. außerdem die Mikrobewegungen des Transplantates im Knochentunnel durch eine Röntgenstereometrieanalyse (RSA) und konnten eine vermehrte Transplantatbewegung der reinen Sehnen-Transplantate gegenüber den BPTB-Transplantaten aufweisen. Durch die anhängenden Knochenblöcke wurde ein Herausgleiten der BPTB-Transplantate verhindert.

Es konnte auch gezeigt werden, dass durch Annähen eines Knochenblocks die Steifigkeit einer VKB-Rekonstruktion verbessert wird [32].

In der vorliegenden Studie lag der Versagensmodus der biomechanischen Untersuchungen (Dissertation Jörn Scherler) zum Zeitpunkt t_0 und nach 6 Wochen in einem partiellen Auszug der reinen Sehnentransplantate aus den Knochentunneln, während die BPTB-Transplantate vermehrt intraartikulär zerrissen. Dieser unterschiedliche Versagensmodus, bei nicht signifikantem Unterschied in der Versagenkraft, weist auf eine initial festere Verankerungsstabilität der BPTB-Transplantate im Knochentunnel hin. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die zum 6 Wochenzeitpunkt deutlich weiter entwickelte direkte Bandinsertion der BPTB-Transplantate gegenüber den reinen Sehnentransplantaten am Tunneleingang durch die höhere initiale Stabilität der BPTB-Transplantate im Knochentunnel bedingt ist. Aber auch andere Faktoren könnten die Integration der Patellarsehne gegenüber der Flexorsehne beschleunigt haben. Denkbar wäre eine Aktivierung des Knochenumbaus durch den Knochenblock selbst bzw. Wachstumsfaktoren, die mit dem Ab- und Umbau des Knochenblocks freigesetzt werden oder eine schnellere Integration der Patellarsehne aufgrund der zum nativen VKB ähnlicheren Morphologie und der höheren Steifigkeit der Patellarsehne selbst.

Nach einem Jahr zeigten beide Gruppen die Ausbildung einer reifen direkten Bandinsertion zwischen Transplantat und Knochen. Zu diesem Zeitpunkt versagten alle Transplantate durch ein intraligamentäres Zerreißen in der biomechanischen Testung und auch histologisch zeigen beide Transplantate ein dem nativen VKB vergleichbares Erscheinungsbild. Am unmittelbaren Tunneleingang inserierte nach 52 Wochen ein Neoligament über eine direkte Bandinsertion am Knochen. Der intraossäre Anteil beider Transplantate weist nach 52 Wochen starke degenerative Veränderungen auf (siehe Kap. 5.1.2), daher kann zu diesem Zeitpunkt kein Beitrag des intraossären Transplantates zur Verankerungsstabilität geleistet werden. Es lässt sich daher annehmen, dass zu diesem Zeitpunkt alleine die direkte Bandinsertion der Rekonstruktion Stabilität verleiht.

5.1.2 INTRAOSSÄRES TRANSPLANTAT

Nach einer Kreuzbandtransplantation lässt sich der Heilungsprozess der Ersatzplastik, im zeitlichen Verlauf, in drei fließend ineinander übergehende Phasen einteilen. Initial kommt es zu einer Nekrose- bzw. Degenerationsphase, anschließend zu einer reparativ-proliferativen Phase (Revitalisierung) und zu einem Remodeling des Transplantates [8, 29]. Dagegen sind in der vorliegenden Arbeit im intraossären Transplantat bis nach einem Jahr avitale Bereiche zu sehen. Auch anderen Autoren beobachteten intraossäre Transplantatnekrosen unter insertionsferner, extraartikulärer Befestigung [24, 71, 73, 121, 164, 165, 186, 195, 201]. Verglichen mit diesen Studien scheinen die in vorliegenden Arbeit beschriebenen Nekrosen im intraossären Transplantat allerdings weit fortgeschritten und irreversibel [24, 71, 73, 121, 164, 165, 186, 195].

Eine Nekrose des im Kochentunnel gelegenen Transplantates birgt die Gefahr eines Versagens der VKB-Rekonstruktion. Biomechanische Studien zeigen, dass ein Verlust der Steifigkeit mit einer partiellen Nekrose des Transplantates einhergeht und gerade in der frühen Heilungsphase der Versagensmodus häufig in einem intraossären Ausriss aus dem Knochentunnel besteht [24, 44, 71, 195]. In dieser Arbeit dagegen konnte zu keinem Zeitpunkt ein vorzeitiges Transplantatversagen festgestellt werden, obwohl kein angepasstes Rehabilitationsprogramm erfolgte und die Schafe unmittelbar nach der Operation uneingeschränkt in der Bewegung waren. Die Schafe zeigten nach zwei Wochen eine Vollbelastung der operierten Gliedmaße. Auch die biomechanischen Ergebnisse (Dissertation Jörn Scherler) zeigen, dass die intraossären Transplantatnekrosen bei der Interferenzschraubenfixation keinen negativen Einfluss auf die Gesamtstabilität der VKB-Rekonstruktion haben. Es konnte nach 6 Wochen kein Unterschied hinsichtlich der Versagenskraft trotz unterschiedlicher Versagensmodi beider Transplantate festgestellt werden. Weiler et al. beschreiben ebenfalls intraossäre Transplantatnekrosen vergleichbaren Ausmaßes [201, 205]. Ihre biomechanischen Untersuchungen belegen, dass die intraossäre Transplantatnekrose bei der Interferenzschraubenverankerung im Gegensatz zur extraartikuläre Transplantatverankerung keinen negativen Einfluss auf die Gesamtstabilität der Rekonstruktion hat. Die Fixationskräfte der Interferenzschraube reichten aus, um ein vorzeitiges Versagen der Rekonstruktion in der frühen postoperativen Phase zu verhindern. Zu späteren Versuchszeitpunkten übernimmt die direkte Bandinsertion des Neoligamentes die tragende Funktion der Verankerungskonstruktion.

Auffällig sind in der vorliegenden Arbeit allerdings die nach 52 Wochen dargestellten Vakuolen, die sich randständig im intraossären Transplantat befinden. Diese traten sowohl bei den BPTB-Transplantaten als auch bei den FT-Transplantaten auf. Diese Vakuolen

wurden ebenfalls in den Bereichen beobachtet, in denen das intraossäre Transplantat der Kompression der Interferenzschraube ausgesetzt war und sind vermutlich degenerative Veränderungen in Folge einer fettigen Degeneration. Artefakte, die durch die Aufarbeitung der Präparate oder das Schneiden verursacht werden, können als Ursache ausgeschlossen werden. Das histologische Bild weist auf Fettzellen hin, außerdem wurden derartige Veränderungen zu keinem früheren Versuchszeitpunkt beobachtet oder vorher in der Literatur beschrieben. Aufgrund der histologischen Aufarbeitung ist allerdings ein Nachweis von Fett anhand einer spezifischen Färbung leider nicht möglich. Die Ursache einer solchen fettigen Degeneration liegt wahrscheinlich im Fehlen der mechanischen Belastung innerhalb des Knochentunnels, da zu diesem Zeitpunkt das Transplantat vollständig am Tunneleingang inseriert. Aber auch Ernährungs- und Diffusionsstörungen durch den Druck der Interferenzschraube kommen als Ursache der fettigen Degeneration in Frage.

Derartige lang anhaltende degenerative Veränderungen werden in anderen Studien unter insertionsferner, indirekter Befestigung bisher nicht beschrieben, sondern dort zeigt sich eine Revitalisierung und ein Remodeling in Form der Ausbildung und Reifung einer indirekten Bandinsertion zwischen Transplantat und Knochen [24, 71, 73, 121, 164, 165, 186, 195]. Die Ausbildung einer indirekten Bandinsertion konnte in der vorliegenden Arbeit nur partiell in den Bereichen ohne Kompression durch die Interferenzschraube beobachtet werden.

Weiler et al. dagegen beschreiben ebenfalls lang anhaltende degenerative Veränderungen des intraossären Transplantates unter Interferenzschraubenfixation [201]. Diese Beobachtung entspricht der in der vorliegenden Studie, wobei Weiler et al. einen Abbau des intraossären Transplantates mit vermehrt phagozytierenden Zellen feststellten. Diese phagozytierenden Zellen waren schon nach 12 Wochen sichtbar, nach einem Jahr war das intraossäre Transplantat nur noch rudimentär vorhanden. Nach zwei Jahren war der Knochentunnel fast vollständig geschlossen und durch Knochen ersetzt [88]. Der von Weiler et al. schon nach 24 Wochen beschriebene massive Abbau des intraossären Transplantates geht mit dem Abbau einer sehr viel schneller degradierenden PDLLA- Interferenzschraube einher und wird wahrscheinlich durch diesen Implantatabbau ausgelöst. Dagegen scheint in der vorliegenden Studie das intraossäre Transplantat unabhängig von der biodegradierbaren Interferenzschraube zu degenerieren. Hier wurde ein langsam degradierendes Polymer implantiert, das bis nach einem Jahr noch makroskopisch intakt erhalten war. In der Fluoreszenzmikroskopie zeigten sich innerhalb des Knochentunnels die drei Fluoreszenzbanden mit immer weiter in den intraossären Bereich des Transplantates vordringenden Farbbanden. Im Zusammenhang mit der vakuoligen Auflockerung, die sich in der Durchlichtmikroskopie randständig im intraossären Transplantat befand, ist diese

Einengung des Knochentunnels ebenfalls ein Indiz für den Abbau des intraossären Transplantates. Diese Bereiche werden anschließend von Knochen ausgefüllt, wie sich an den immer weiter in den Bereich des Transplantates vordringenden Fluoreszenzbanden erkennen lässt.

5.2 COMPOSITE INTERFERENZSCHRAUBE

Composite Interferenzschrauben sollen die gleichen Vorteile wie reine Polymere haben und wirken durch den Zusatz von Tricalciumphosphat (TCP) und Hydroxylapatit (HA) zusätzlich osteokonduktiv [63, 65, 90, 104, 115, 116, 174]. Durch die osteokonduktive Wirkung der Composite Implantate ist ein positiver Effekt auf die osseäre Integration des Transplantates denkbar. Die zweite Fragestellung dieser Arbeit beschäftigt sich daher mit dem Einfluss der Composite Interferenzschraube auf die Transplantateinheilung.

Eine osteokonduktive Wirkung, wie sie in der Literatur für Composite Implantate beschrieben wird, zeigte sich in dieser Studie nach 6 Wochen. Um die Composite Schrauben war vermehrt neu gebildeter Knochen gewachsen, der sich innerhalb der Schraubenwindungen wesentlich kompakter darstellte, als vergleichsweise bei den reinen PLLA-Implantaten. Ein Einfluss auf die Einheilung des Transplantates konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die Entwicklung einer direkten Bandinsertion zeigte sich nach 6 Wochen sowohl unter der Composite Interferenzschraube, als auch bei der reinen PLLA- Schrauben.

Nach einem Jahr war die kompakte Knochenbildung unmittelbar am Implantatlager nicht mehr vorhanden. Stattdessen zeigten sich aufgrund der schon weiter vorangeschrittenen Degradation der Composite Schrauben gegenüber den PLLA- Schrauben vermehrt Bindegewebe und eine Zellinfiltration an der Schraubenoberfläche. Dennoch beeinflusste die beginnende Implantatdegradation die Einheilung des Transplantates offensichtlich nicht. Nach einem Jahr hatte sich nach intraartikulär ein Neoligament gebildet. Dieses inserierte am Tunneleingang über eine kontinuierlich ausgebildete Schicht von Faserknorpel und Kalkknorpel. Auch Weiler et al. konnten keinen Einfluss der Implantatdegradation auf die Transplantateinheilung feststellen, obwohl sie eine wesentlich schneller degradierende PDLLA Interferenzschraube zur Transplantatbefestigung verwendeten [201, 205].

Während der Operation traten allerdings bei der Verwendung der Arthrex® Composite Interferenzschraube vermehrt Schraubenbrüche im Vergleich zu den reinen PLLA-Schrauben auf. Die mechanischen Eigenschaften eines Composite Implantates hängen im Wesentlichen von dem Matrixpolymer, sowie den Mengen der hinzugefügten Calciumphosphate ab. Die in dieser Studie eingesetzte Composite Interferenzschraube

besteht aus 60% PLLA und jeweils 20% aus HA und TCP. Dieser hohe Anteil an HA und TCP verursachte offensichtlich die sprödere Beschaffenheit der Schraube, wodurch sich die vermehrten intraoperativen Schraubenbrüche erklären lassen. Das Risiko von Schraubenbrüchen während der Operation, kann zu schwerwiegenden intraoperativen Komplikationen führen [96, 129, 208]. Auch andere Autoren stellten fest, dass durch den Zusatz von TCP oder HA die mechanischen Eigenschaften des Implantates verschlechtert werden. Heidemann et al. bemerkten, dass die Beimengung von Calciumphosphaten nicht unbedingt die Biokompatibilität erhöht, aber die mechanischen Eigenschaften des Implantates signifikant reduziert [79]. Smith et al. publizierten zwei klinische Fälle, in denen eine PLLA/TCP Composite Schraube während einer Kreuzbandoperation gebrochen waren [189]. Prokop et al. versuchten in einer tierexperimentellen Studie Composite Pins mit 30 % TCP in den Knochen von Schafen einzubringen, aber in drei von vier Fällen brach der Pin beim Implantieren. Bei einem Gehalt von nur 10 % TCP zeigte sich dieser nachteilige Effekt nicht [157]. Andere Autoren wiederum konnten keine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften ihrer Composite Implantate beobachten [63, 65, 115, 118, 119]. Allerdings war der Zusatz von TCP oder HA wesentlich geringer oder sie verwendeten andere Polymere.

Nach einem Jahr waren in dieser Studie deutliche Anzeichen einer Degradation der Arthrex® Composite Interferenzschrauben gegenüber den reinen PLLA-Implantaten zu erkennen. Pistner et al. teilten die Degradation von Implantaten in 5 Phasen ein [154-156] (Tab. 5-1).

Phasen	Beschreibung
Heilungsphase	unverändertes Implantat umgeben von fibroblastenreichem Bindegewebe
latente Phase	Abgekapseltes unveränderte Implantat
beginnende Resorption	Beginn die Implantatdegradation
progressive Resorption	Fortgeschrittene Implantatdegradation
Wiederherstellungsphase	Ersatz des ehemaligen Implantatlagers durch Bindegewebe oder Knochen

Tab. 5-1: Phasen der Implantatdegradation nach Pistner

Beurteilt man die Implantatdegradation der Arthrex® Composite Interferenzschrauben nach 6 Wochen und einem Jahr, so befanden sich die reinen PLLA- Schrauben nach 6 Wochen in Phase 1 und die Composite Schrauben in Phase 2. Die Composite Schrauben wurden von kompakterem Knochen umschlossen. Dies ist vermutlich auf die osteokonduktive Wirkung

des TCP und HA zurückzuführen. Nach einem Jahr zeigte sich bei den Composite Implantaten eine weiter fortgeschrittene Degradation im Vergleich zu den PLLA- Implantaten. Die PLLA- Schrauben sind noch bis auf drei Stück komplett erhalten, 11 Schrauben befinden sich nach Pistner in Phase 2 und 3 Schrauben Phase 3. Die Composite Schrauben dagegen sind zur Hälfte in Phase 3 und zur anderen Hälfte schon in Phase 4. Die Hälfte der Composite Schrauben weisen Fissuren oder Frakturen auf, an der Oberfläche aller Composite Implantate sind vermehrt Makrophagen und auch FKRZ zu sehen.

Während der Implantatdegradation können von Makrophagen aufgenommene Abbauprodukte zu einer Fremdkörperreaktion führen [112]. Durch die Ausschüttung von Mediatoren werden Osteoklasten, Makrophagen und FKRZ aktiviert [82, 105, 133]. Ninomiya et al. untersuchten den Effekt von HA Partikeln auf Zytokine und Proteasen in einer Fibroblasten Zellkultur [138]. Die HA Partikel verursachten einen signifikanten Anstieg der Proteasen und Zytokine. Offensichtlich hat die Partikelgröße einen entscheidenden Einfluss auf die Biokompatibilität. Keramikpartikel, die kleiner als 10 µm sind können von Makrophagen phagozytiert werden und durch den intrazellulären Anstieg von Calcium in den phagozytierten Partikel, kann es zum Zelltod kommen [107].

Die Arthrex® Composite Interferenzschrauben zeigten bis nach einem Jahr eine gute Biokompatibilität. Das Auftreten von Makrophagen, Rundzellinfiltraten und auch FKRZ vor allem nach einem Jahr ist wahrscheinlich durch die Degradation bedingt. Bis nach einem Jahr waren keine klinisch relevanten Osteolysen zu beobachten. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass Osteolysen vor allem im finalen Stadium der Degradation auftreten [174, 203]. Dieses ist nach einem Jahr aufgrund des sehr langsam degradierenden PLLA noch nicht erreicht. PLLA ist fünf bis sieben Jahre nach Implantation in den Knochen vorhanden [21]. Daher ist eine endgültige Aussage über die Biokompatibilität der Arthrex® Composite Interferenzschraube nach einem Jahr nicht möglich.

5.3 METHODENKRITIK

In der vorliegenden Studie wurden lediglich zwei unterschiedliche Standzeiten in einem relativ großen Abstand untersucht. Nach 6 Wochen war anzunehmen, dass der Knochenblock der Patellarsehne in den umgebenden Knochen eingeeilt ist. Nach einem Jahr war eine vollständige Integration des Transplantates zu erwarten. Außerdem zeigte sich frühestens nach einem Jahr ein Einfluss der Schraubendegradation auf das Transplantat, da es sich bei dem PLLA als Grundsubstanz um ein langsam degradierendes Polymer handelt.

Um die notwendige Tierzahl so gering wie möglich zu halten, wurden daher nur diese zwei Gruppen mit einem Patellarsehnentransplantat operiert.

Die größte Schwachstelle dieser Studie liegt allerdings in der Länge der BPTB-Transplantate. Das Schaf hat eine relativ lange Patellarsehne. Diese wurde um zu gewährleisten, dass der Knochenblock der Patellarsehne im Knochentunnel direkt der Wand anliegt „geflippt“. Diese Technik hat sich bezüglich der mechanischen Stabilität bewährt [84]. Trotz diese Maßnahmen war der Knochenblock recht tief im Knochentunnel fixiert. Wenn der Knochenblock nicht mit dem Gelenkniveau abschließend verankert wird, kann in der Folge eine Tunnelaufweitung am Tunneleingang entstehen [4, 110]. Ein beidseitiges „flippen“ der Patellarsehne kann diese Positionierung eventuell verbessern. Andererseits bringt das „flippen“ der Patellarsehne ebenfalls Nachteile mit sich. Zum einen wird durch das Umschlagen der Patellarsehne die native Insertion am Knochenblock distal des Tunneleingangs platziert. Somit liegt die native Insertion entgegen der Zugrichtung des Transplantates und degeneriert. Außerdem ist es möglich, dass durch das „Flippen“ der Knochenblock neben dem sehnigen Anteil der Patellarsehne im Knochentunnel zu liegen kommt. In diesem Fall würde die Patellarsehne durch die Interferenzschraube fixiert und die Verankerung ähnelt somit der von freien Sehnentransplantaten mit Interferenzschrauben. Dennoch ist diese Problematik nicht ausschließlich beim Schaf zu finden, auch in Studien beim Menschen konnte gezeigt werden, dass oftmals ein Missverhältnis zwischen der benötigten intraossären Transplantatlänge und der Länge der Patellarsehne besteht [110, 150].

Als Versäumnis muss angemerkt werden, dass keine Untersuchungen zur Typisierung für das Kollagen I, II und III durchgeführt wurden. Durch einen Nachweis der entsprechenden Kollagentypen kann die Entstehung einer direkten oder einer indirekten Bandinsertion besser analysiert werden, da unter der Entstehung einer direkten Bandinsertion vermehrt Kollagen Typ II vorkommt, während eine indirekte Knochen-Bandverbindung vornehmlich Typ I Kollagen aufweist. Dieser Kollagennachweis kann über verschiedene Methoden erfolgen. So ist eine immunohistologische Bestimmung der Kollagentypen möglich, allerdings gestaltet sich diese in der Praxis oft schwierig, da es kommerziell keinen spezifischen Antikörper für das Schaf gibt. Als funktionell haben sich mittlerweile im Kaninchen polyklonal hergestellte Anti-Kollagen I und II vom Rind erwiesen. In einem nachfolgenden Projekt über das Transplantatremodeling sterilisierter, freier allogener Sehnentransplantate von Dr. Sven Scheffler wurde diese Typisierung des Kollagens etabliert. Durch eine Aufspaltung mit Bromzyan und eine anschließende Gelelektrophorese und photometrische Messung kann eine semiquantitative Aussage über den vorherrschenden Kollagentyp gemacht werden.

Studien neuen Datums zeigen einen positiven Effekt verschiedener biologischer Faktoren, wie Wachstumsfaktoren, zum Beispiel TGF-1 β und mesenchymaler Stammzellen auf die Transplantateinheilung [117, 216]. Untersuchungen biologischer Faktoren unter gelenknaher Verankerung des Transplantates gibt es bisher noch nicht. Weiterer Forschungsbedarf besteht außerdem in der Verifizierung von Mikrobewegungen des Transplantats innerhalb des Knochentunnels. Der Hypothese folgend, dass die Ausschaltung dieser Mikrobewegungen wesentlich für die Ausbildung einer direkten Knochen-Sehnen-Verbindung ist, könnten hier aber auch wesentliche Erkenntnisse über den Wechselmechanismus zwischen mechanischen Bedingungen und ihren biologischen Konsequenzen gewonnen werden.

5.4 KLINISCHE RELEVANZ

Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse liegen einer tierexperimentellen Studie zugrunde. Demgemäß ist eine unmittelbare Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen nicht möglich. Die Gewichtslast bei einem Schaf und anderen Vierbeinern ist anders verteilt, als beim Menschen. Zusätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die biologischen Reaktionen und der Stoffwechsel eines Tieres anders verlaufen und somit auch die Heilung nach einer Kreuzbandrekonstruktion schneller erfolgt.

Des Weiteren wurden die Tiere nach der Operation nicht in ihrer Bewegung eingeschränkt. Im Gegensatz zum Menschen wurde also kein angepasstes Rehabilitationsprogramm durchgeführt. Da aber gerade die angreifenden Zugkräfte ein Promotor für die Entwicklung einer direkten Bandinsertion zu sein scheinen [213], ist anzunehmen, dass ein freies Sehnentransplantat im Tiermodell einer anderen Einheilungskinetik folgt, als beim Menschen. Um dennoch mit dem Knie des Menschen vergleichbare Größenverhältnisse und Belastungssituationen zu simulieren, wurde das Schaf als Tiermodell gewählt. Im Vergleich zu anderen Tiermodellen, wie dem Kaninchen, Hund oder Schwein eignet sich das Schaf aufgrund der zum Menschen ähnlichsten Anatomie, Morphologie und biomechanischen Eigenschaften des Kniegelenks gut [6, 89, 159]. Scranton et al. untersuchten 1998 das Transplantatremodeling von FT- Transplantaten am Schaf nach VKB-Rekonstruktion unter Interferenzschraubenbefestigung [176]. Sie zeigten dabei, dass sich das Schaf aufgrund der anatomischen Verhältnisse als Tiermodell eignet und auch bezüglich des Remodeling und der Histologie eine Analogie zum VKB des Menschen besteht. Das Schaf hat sich in der orthopädischen Forschung, insbesondere im Bereich der VKB-Rekonstruktion, als Tiermodell durchgesetzt [6, 7, 27, 28, 30, 70-72, 88, 89, 158, 159, 177, 201, 205].

Viele Studien, die die Transplantateinheilung untersucht haben verwendeten Kleintiermodelle und eine extraartikuläre Transplantatbefestigung [60, 74, 97, 103, 121, 186, 209, 214]. Diese Modelle sind allerdings nicht geeignet, um die Transplantateinheilung nach einer VKB-Rekonstruktion unter realistischen Bedingungen zu beurteilen. Das Kaninchen ist alleine schon aufgrund der Größe des Kniegelenkes nicht für eine standardisiert, reproduzierbare VKB-Rekonstruktion mit Interferenzschrauben geeignet. Auch die postoperative minimale Belastung aufgrund der Käfighaltung dieser Tiere erschwert die Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen. Ein weiterer Nachteil ist die Neigung von Kaninchen zur Automutilisation, wodurch in der postoperativen Phase oft schwerwiegende Wundheilungsstörungen bis hin zu Tierverlusten auftreten. Diese Nachteile wurden beim Schaf bisher noch nicht beschrieben. Gerade das Handling und die Haltung der Schafe nach der Operation haben sich als besonders günstig erwiesen. Andere Autoren halten den Hund aufgrund der Morphologie der VKB für das optimalere Tiermodell [136]. Allerdings scheint der Hund nach VKB-Rekonstruktion oftmals Knorpeldefekte zu entwickeln [67]. Auch das Schwein wird in tierexperimentellen Studien zur VKB-Rekonstruktion eingesetzt [212] und hinsichtlich der anatomischen und morphologischen Gegebenheiten für geeignet befunden, allerdings ist das Handling dieser Tiere in der postoperativen Phase oft schwierig.

Histologische Arbeiten, in denen die Einheilung von Transplantaten unter Interferenzschraubenverankerung beim Menschen untersucht worden sind, gibt es nur sehr wenige. So beschreiben Pinczewski et al. die Sehnen-zu-Knochen-Heilung anhand von zwei Revisionseingriffen, die nach 12 bzw. 15 Wochen nach dem Ersteingriff durchgeführt wurden [153]. Der Grund für den Revisionseingriff war in beiden Fällen ein Transplantatversagen nach 6 bzw. 10 Wochen. Das Transplantat zeigte weder nach 6 noch nach 10 Wochen Anzeichen einer direkten Bandeinheilung. Stattdessen hatte sich zwischen Transplantat und Knochen eine bindegewebige Zwischenschicht mit Sharpeyschen Fasern, die in den Knochen einstrahlten, entwickelt. Das Auftreten von chondroiden Zellen, als Anzeichen einer direkten Bandinsertion wird nicht beschrieben.

Andererseits beschreiben Logan et al. einen Fallbericht von einer Revisionsoperation, in der nach 7 Wochen der intraossäre Transplantatteil aus dem tibialen Knochentunnel ausgeräumt wurde [124]. Vier Wochen nach einer Kreuzbandersatzplastik mit einem vierfachen Hamstringsehnen-Transplantat unter Interferenzschraubenbefestigung wurde ein Hämatom im Bereich des tibialen Knochentunnels diagnostiziert. In einer arthroskopischen Untersuchung konnte ein intaktes intraartikuläres Transplantat dargestellt werden, das an der tibialen Gelenkoberfläche inserierte. Im tibialen Knochentunnel wurde kein funktionelles Transplantat gefunden. Aus diesem Bereich wurde lytisches Restgewebe des Transplantates

entfernt. In einer bakteriologischen Untersuchung zeigte sich eine Infektion des Knochentunnels, die allerdings nicht auf das Gelenk übergegriffen hatte. In diesem Fall kann aufgrund der inflammatorischen Situation nicht von einer physiologischen Transplantateinheilung ausgegangen werden. Dennoch vermutet der Autor, dass die Transplantateinheilung auf Gelenkniveau soweit fortgeschritten war, dass die Kniegelenksstabilität trotz Entfernen des intraossären Transplantates nach 7 Wochen erhalten blieb.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen eine fortgeschrittene Einheilung in Form einer direkten Bandinsertion der BPTB- Transplantate im Vergleich zu den freien Sehnen transplantaten nach 6 Wochen. Dies bestätigt die klinische Meinung, dass die angepassten Rehabilitationsprogramme nach VKB- Ersatz mit einem BPTB- Transplantat aggressiver durchgeführt werden können, als bei Verwendung von reinen Sehnen transplantaten [56, 131, 182]. Neuere klinische Studien bezüglich der Langzeitprognose und Stabilität der VKB-Rekonstruktion unter Interferenzschraubenbefestigung können allerdings keinen Unterschied beider Transplantate mehr feststellen [54, 182]. Auch in der vorliegenden Studie kann nach einem Jahr kein Unterschied bezüglich der Transplantateinheilung festgestellt werden. In der Gesamtheit, vor allem in Hinblick auf die durch die Transplantatentnahme verursachten Probleme (siehe Kap.2.3.2), zeigen sich bessere klinische Ergebnisse bei Verwendung eines reinen Sehnen transplantates gegenüber dem bisher als „Golden Standard“ geltendem Patellarsehnen transplantat [198].