Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie der Technischen Universität München

(Leiter: Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff)

Experimentelle, magnetresonanztomographische Untersuchung am menschlichen Leichenknie und

retrospektive Patientenbefragung zum Thema:

Beschleunigte Rehabilitation nach arthroskopischer Meniskusnaht

Peter Kleekämper

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff

2. apl. Prof. Dr. Dr. H. P. Rechl

Die Dissertation wurde am 03.07.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 13.11.2002 angenommen.

GLIEDERUNG

1. EINLEITUNG	3
2. PROBLEMSTELLUNG	4
3. HISTORIE	5
4. ANATOMIE UND FUNKTION DES MENISKUS	8
4.1. Makroanatomie des Meniskus	8
4.2. Blutversorgung des Meniskus	11
4.3. Mikroanatomie des Meniskus	11
4.4. Biomechanik des Meniskus	12
4.5. Bewegung des Meniskus Bilder zur Meniskusbewegung:	
4.6. Voraussetzungen für eine Meniskusnaht	
4.7. Nahtmethoden	
Zeichnungen zur arthroskopischen, vertikalen Meniskusnaht	
5. MATERIAL UND METHODIK	20
5.1. Retrospektiver Teil	20
Fragebogen zur Meniskusnaht	
5.2. Experimenteller Teil Bilder zur arthroskopischen Meniskusnaht:	
6. ERGEBNISSE	28
6.1. Retrospektiver Teil	28
6.2. Experimenteller Teil	
MRT-Auswertungstabelle	33
7. DISKUSSION	35
7.1. Retrospektiver Teil	35
7.2. Experimenteller Teil:	37
8. ZUSAMMENFASSUNG	41
9. AUSBLICK	42
10. ANHANG	43
Legende zur Tabelle "Auswertung Fragebogen":	43
Auswertungstabelle 1	43 ke nicht definiert
11. LITERATURVERZEICHNIS	45

1. Einleitung

Das Kniegelenk ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers und wird gebildet von Patella, Femur und Tibia. Die femuralen und tibialen Gelenkflächen sind inkongruent zueinander, das heißt sie passen in ihrer Form nicht exakt aufeinander. Deshalb liegen zwischen ihnen die beiden Menisci, halbmondförmige Faserknorpelscheiben, die diese Inkongruenz ausgleichen und so zur Stabilität des Kniegelenks beitragen (49, 64, 67, 68, 89, 98, 112). Außerdem erfüllen sie weitere Funktionen wie Stoßdämpfung (34, 60, 61, 110) und Druckverteilung (1, 5, 18, 61, 78, 90, 99, 111) und tragen so einen großen Teil der Last, die auf das Kniegelenk wirkt. Damit schützen sie den Gelenkknorpel und sind wichtige Bestandteile des Gelenks. Denn ohne die Menisci würden der femurale und der tibiale Gelenkknorpel schnell durch den vermehrten gegenseitigen Kontakt Schaden nehmen, was zu einem deutlichen Gelenkverschleiß und folglich zur Arthrose führen würde.

Auf jeden Meniskus wirken große Kräfte und er wird mechanisch sehr stark beansprucht, was oft zur Folge hat, dass in seinem Inneren kleinste Läsionen entstehen, die sich im Laufe der Zeit zu einem größeren Riss ausbreiten können. Man spricht dann von einem chronischen (degenerativen) Meniskusschaden.

Außerdem entstehen häufig akute Meniskusverletzungen durch Unfälle im Alltag oder beim Sport, bei denen das Knie verdreht wird (Torsionstraumen). Letzteres betrifft vor allem jüngere Menschen.

Ein gerissener Meniskus macht sich meist durch Schmerzen im jeweiligen Gelenkskompartiment bemerkbar, wenn ein abgerissener und umgeschlagener Teil zwischen Femur und Tibia eingeklemmt wird, kommt es zu Blockierungen des Kniegelenks. Allerdings kann ein verletzter Meniskus auch über längere Zeit asymptomatisch und so unbemerkt bleiben.

Meistens lassen sich Meniskusläsionen anhand der klinischen Untersuchung erkennen, im Zweifel gibt eine Magnetresonanztomographie (MRT), die als diagnostisches Mittel der Wahl immer angefertigt werden sollte, Aufschluss über Meniskus- und Begleitschäden.

Das Meniskus-Hinterhorn ist durch seine anatomische Lage am häufigsten betroffen (siehe Kapitel 4). Es gibt verschiedene Arten von Meniskusrissen (siehe Abb. 1, Seite 7). Einige dieser Risse können durch eine Naht versorgt werden, bei manchen muss der Meniskus teilweise oder ganz entfernt werden (siehe Kapitel 4). Letztendlich obliegt die Entscheidung darüber dem Operateur und ist nicht immer einfach.

2. Problemstellung

Zur Nachbehandlung von Patienten, bei denen eine Meniskusnaht durchgeführt wurde gibt es heute noch keine einheitliche Meinung, obwohl die Biomechanik des Meniskus seit mehreren Jahren untersucht wird.

Viele Operateure sind nach wie vor der Ansicht, dass das Knie mit dem genähten Meniskus in seiner Bewegung, seiner Belastung oder sogar in beidem für längere Zeit eingeschränkt werden muss, um die Heilung des Meniskus nicht zu beeinträchtigen.

Das verlängert die Rehabilitationszeit des Patienten, verzögert seine Rückkehr zum Sport und behindert ihn im Alltag (Benützen von Unterarmgehstützen und Schiene über längeren Zeitraum). Viele Patienten, die sich der Bedeutung des Meniskus für das Knie nicht bewusst sind und die von ihren behandelnden Ärzten nicht darüber aufgeklärt werden, werden sich deshalb gegen eine Refixation des verletzten Meniskus entscheiden, weil seine (Teil)entfernung eine wesentlich kürzere Nachbehandlung nach sich zieht. Sie hören von Bekannten, die den Meniskus einfach "rausbekommen" haben und kurze Zeit später wieder sportfähig waren.

Außerdem tritt ein großer Teil der Meniskusverletzungen in Kombination mit einer vorderen Kreuzband - Läsion auf, die auf jeden Fall operativ mitversorgt werden sollte, um das Knie zu stabilisieren. Viele Studien zeigen, dass nach einer Operation am vorderen Kreuzband eine möglichst schnelle, aggressive Rehabilitation angestrebt werden muss, um Komplikationen wie die Arthrofibrose oder eine chronische Bewegungseinschränkung weitgehend zu vermeiden (11, 94).

Also sollte auch eine gleichzeitig durchgeführte Meniskusnaht nicht das Operationsergebnis durch eine verzögerte Nachbehandlung gefährden.

Ob sich die beschleunigte Rehabilitation nach einer Meniskusnaht selbst ähnlich positiv auf die spätere Kniefunktion auswirkt, bleibt zu klären. Auf jeden Fall gibt es mehrere Arbeiten, die belegen, dass der Meniskus in seiner Heilung dadurch nicht behindert wird (11, 14, 40, 66, 95).

Diese Arbeit soll bei der Entscheidungsfindung im Bezug auf eine angemessene Nachbehandlung helfen, schlägt eine beschleunigte Rehabilitation nach einer Meniskusnaht vor und versucht diese klinisch und experimentell zu begründen.

3. Historie

Die geschichtliche Entwicklung der Meniskuschirurgie

- 1885: Thomas Annandale beschreibt die erste Meniskusnaht ("Eine Operationsmethode für den dislozierten halbmondförmigen Knorpel") (4).
- 1897: Sutton beschreibt die Menisci als funktionslose Überreste rudimentärer Muskulatur (103).
- 1910: Fick erkennt, dass die Menisci eine Rolle bei der Stabilisierung des Kniegelenks spielen (33).
- 1936: King schließt nach Meniskektomie Studien an Hunden auf die Schutzfunktion der Menisci für die Gelenkknorpel und erkennt, dass die Heilung eines verletzten Meniskus von der Blutversorgung im Verletzungsgebiet abhängt (59).
- 1948: Fairbank zeigt mit einer Langzeit Studie die Folgeschäden (degenerative Veränderungen am Gelenkknorpel, frühzeitige Arthrose) von totalen Meniskektomien und vermutet daher eine direkte Last tragende Funktion des Meniskus (31).
- Ab Mitte der 70er Jahre: Übergang zur Teilentfernung des Meniskus (53, 72, 80).
- 1977: O'Connor führt die arthroskopische Teil Meniskektomie ein (80).
- 1980 1986: Die ersten arthroskopischen Meniskusreparatur Methoden werden entwickelt ("Inside-Out" von Henning (88), "Outside-In" von Warren (113), Johnson (55) und Morgan & Casscells (75)).
- 1986/7: Erste Versuche zur Meniskus Transplantation von Canham et al. (22) und Milachowski et al. (73, 74).
- 1991 stellt Morgan die erste "All-Inside" Technik vor (77)

Obwohl also bereits Ende des letzten Jahrhunderts von Annandale (4) eine Naht des Meniskus durchgeführt und beschrieben wurde, war man sich seiner Bedeutung für das Kniegelenk noch lange nicht bewusst. Er wurde als nutzloser, rudimentärer Rest eines Beinmuskels betrachtet (103) und, wenn er verletzt war, bedenkenlos komplett entfernt. Auch als dann nach und nach verschiedene Funktionen des Meniskus vermutet und bewiesen wurden, änderte sich daran nichts, man erreichte ja zunächst auch gute Ergebnisse, die Kniebeschwerden waren beseitigt. Obwohl King 1936 nach Tierexperimenten mit Hunden eine Schutzfunktion

des Meniskus für den Gelenkknorpel vermutete und 1948 Fairbank in Langzeitstudien degenerative Veränderungen in Knien nach Meniskusentfernung nachwies, dauerte es bis in die 60er und 70er Jahre, bis in weiteren Untersuchungen die Langzeitschäden nach totaler Meniskektomie bewiesen wurden (25, 26, 29, 36, 52, 56, 60, 65, 93, 106). Parallel dazu gab es viele Studien zum genauen zellulären und strukturellen Aufbau des Meniskus und zu seiner Biomechanik (siehe Kapitel 4). Man erkannte, welch wichtige Bedeutung seine verschiedenen, schon bekannten Funktionen (Stoßdämpfung, Stabilisierung, Druckverteilung, Lasttragen) für das Gelenk hatten und kam langsam von der totalen Meniskusentfernung ab. Von nun an versuchte man, von einem verletzten Meniskus möglichst viel zu erhalten, um die Folgeschäden gering zu halten. Die partielle Meniskektomie löste die totale ab (27, 53, 72, 80), und es wurde begonnen, den verletzten Meniskus, unter bestimmten Voraussetzungen, durch eine Naht zu reparieren und somit zu erhalten.

1977 führt O'Connor die arthroskopische partielle Meniskektomie ein (80), was einen großen Fortschritt bedeutete, da man nun die mehr zentral gelegenen Meniskusverletzungen viel leichter erreichen konnte.

Die ersten arthroskopischen Nahttechniken für den Meniskus wurden Anfang der 80er Jahre entwickelt, es gab zwei verschiedene Grundmethoden, die "Inside-Out" und die "Outside-In" Technik. Die erstgenannte wurde von Henning, die zweite von Johnson, Morgan & Casscells und Warren entwickelt. Sie wurden in der folgenden Zeit immer wieder leicht verändert und es wurden ständig neue Instrumente entwickelt, die das arthroskopische Vorgehen erleichtern sollten, die beiden Techniken an sich sind aber heute noch Standard. Vor einigen Jahren entstanden dann die "All-Inside" Techniken, die in Studien immer wieder, in verschiedenen Varianten, mit der herkömmlichen Naht verglichen werden (siehe Kap. 4.7).

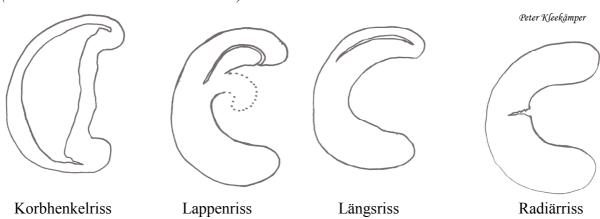
Heute gilt im Allgemeinen, dass Meniskusverletzungen unter bestimmten Voraussetzungen repariert werden. Ist das nicht möglich, wird der verletzte Teil des Meniskus unter bestmöglicher Schonung des gesunden Restes entfernt (Teilmeniskektomie). Damit kann der verbleibende Anteil seine Funktion weiter erfüllen und das Kniegelenk bleibt so vor frühzeitiger Arthroseentstehung bewahrt.

Wenn ein meniskuserhaltendes Vorgehen nicht möglich ist, gibt es seit einiger Zeit auch schon die Möglichkeit einer allogenen Meniskustransplantation (7, 22, 41, 51, 73, 74, 102, 108) und man forscht daran, Menisci durch autogenes Gewebe zu ersetzen (20).

Eine andere Technik, die schon seit längerem klinische Anwendung findet, ist das Einsetzen eines sogenannten Kollagenmeniskus. Dabei wird ein meniskusförmiges Kollagengerüst, das mit Faserknorpelzellen beschichtet wurde, an die Stelle eines resezierten Meniskus gebracht

und an die Kapsel genäht. Die Knorpelzellen synthetisieren dann Extrazelluläre Matrix und der Kollagenkörper wird mit Faserknorpelgewebe durchbaut (85).

(Abb. 1: Verschiedene Meniskusrisse)



4. Anatomie und Funktion des Meniskus

Das menschliche Kniegelenk ist, wie schon ein der Einleitung erwähnt, ein offenes, nicht kongruentes Gelenk, das heißt die beiden walzenförmigen Femurkondylen liegen dem annähernd flachen Tibiaplateau einfach auf. Stabilisiert wird das Gelenk nur durch die es überspannende Muskulatur und den festen Bandapparat, der das Femur und die Tibia verbindet: Die beiden Seitenbänder, die Kapsel, die in bestimmten Bereichen sehr fest ist, und die beiden Kreuzbänder, wobei das hintere Kreuzband den wichtigsten und stärksten Stabilisator für das Kniegelenk darstellt. Auch die Menisci tragen zur Stabilität bei (49, 64, 67, 68, 89, 98, 112) und erfüllen noch einige andere Funktionen, die bereits in der Einleitung kurz erwähnt wurden. Zunächst wird ihre grobe Anatomie beschrieben:

4.1. Makroanatomie des Meniskus

Die Menisci sind zwei halbmondförmige Gebilde aus Faserknorpel und liegen im Kniegelenk zwischen Tibia und Femur. Im Querschnitt sind sie annähernd keilförmig, wobei die dem Femur zugewandte Seite leicht konkav ist. Jeder Meniskus wird in drei Abschnitte unterteilt, das Vorderhorn, die pars intermedia und das Hinterhorn. Der Außen- und der Innenmeniskus unterscheiden sich etwas in Form und Größe:

Der Innenmeniskus beschreibt ungefähr einen Halbkreis, dessen Außendurchmesser ca. 3.5 cm beträgt und sein Hinterhorn ist deutlich breiter als sein Vorderhorn. Nach Ferrer-Roca und Vilalta beträgt die Durchschnittsbreite des Innenmeniskus am Hinterhorn 10,6 mm und nimmt über die Pars Intermedia (9,6 mm) zum Vorderhorn hin (7,7 mm) immer mehr ab (32). Das Vorderhorn und das Hinterhorn des Innenmeniskus sind im Bereich der area intercondylaris mit dem Tibiaplateau verbunden, das Vorderhorn vor dem Ansatz des vorderen Kreuzbandes, das Hinterhorn vor dem des hinteren Kreuzbandes, wobei der Ansatz des Hinterhorns sehr kräftig ist. Außerdem verbindet das meist vorhandene Transversalband die Vorderhörner der beiden Menisci. Die Basis des Innenmeniskus ist auf ihrer gesamten Länge durch das tibiale und das femurale Koronarband mit der Kniegelenkskapsel verwachsen. In der Mitte ist die Verbindung besonders fest durch die Verdichtung der Kapsel

in diesem Bereich, der oft als die tiefe Schicht des medialen Kollateralbandes bezeichnet wird.

Der Außenmeniskus beschreibt in seiner Form einen engeren Radius als der Innenmeniskus und schließt sich fast zu einem Kreis. Er ist vom Vorderhorn bis zum Hinterhorn ungefähr gleich breit (VH: 10,2 mm, PI: 11,6 mm, HH: 10,6 mm, nach Ferrer-Roca und Vilalta, (32) und bedeckt insgesamt eine größere Fläche des Tibiaplateaus als der Innenmeniskus. Sein Vorderhorn setzt in der area intercondylaris zwischen dem Ansatz des vorderen Kreuzbandes, in das einige seiner Fasern einstrahlen, und den eminentiae intercondylaris an, sein Hinterhorn zwischen den eminentiae und dem Ansatz des Innenmeniskus – Hinterhorns. Vorder- und Hinterhorn – Ansatz liegen also sehr nah beieinander. Das Hinterhorn ist meist durch ein meniscofemurales Band zusätzlich am Femur aufgehängt, wobei dieses Band entweder vor (Humphry – Band) oder hinter (Wrisberg – Band) dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes entspringt. Über die Prävalenz der meniscofemuralen Bänder gibt es in der Literatur keine einheitlichen Angaben, die Wahrscheinlichkeit, dass eines oder beide vorhanden sind, liegt zwischen 82 und 100 Prozent (46, 63, 83). Das Humphry – Band kann ein Drittel des Durchmessers des hinteren Kreuzbandes erreichen, das Wrisberg - Band die Hälfte (46). Der Außenmeniskus hat keine Verbindung zum lateralen Seitenband und ist nicht so fest mit der Kapsel verwachsen wie der Innenmeniskus. Im Bereich der pars intermedia gibt es eine Zone, in dem der Außenmeniskus gar keine Verbindung zur Kapsel hat, weil hier der musculus popliteus durch die Kapsel in das Gelenk zieht und etwas weiter oben am Femur ansetzt. Diese Lücke zwischen Meniskus und Kapsel wird als hiatus popliteus bezeichnet. Auf seinem Weg gibt der musculus popliteus einen Zügel an das Außenmeniskus - Hinterhorn ab (62).

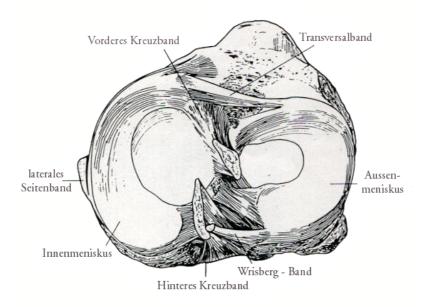


Abb. 2 (Aus Warren et al. (114), modifiziert)

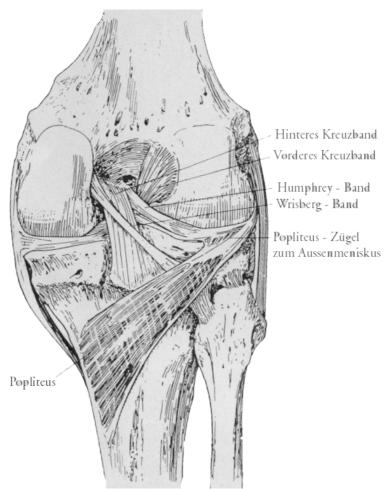


Abb. 3 (Aus Warren et al. (114), modifiziert)

4.2. Blutversorgung des Meniskus

Die Blutversorgung der beiden Menisci erfolgt durch die oberen und unteren arteriae medialis und lateralis genus. Äste aus diesen bilden einen Kapillarplexus in der Synovia an der Basis des Meniskus, von der Kapillargefäße radial in den Meniskuskörper einstrahlen und so etwa ein Drittel des Meniskus durchbluten (Abb. 6, Seite 16). Die Inneren zwei Drittel sind nicht vaskularisiert und werden ausschließlich durch Diffusion oder mechanisches (wechselnde Kompression des Meniskus Belastung) Pumpen unter über die Synovialflüssigkeit ernährt. Zusätzlich zu den genannten Gefäßen versorgt die arteria media genus die Vorder- und Hinterhörner der Menisci über den Synovialüberzug ihrer Ansätze (8). Der Meniskusober- und -unterfläche liegt peripher ein gut durchbluteter Synovialauszug auf, der zwar keine Gefäße in den Meniskus abgibt, aber für seinen Heilungsprozess von Bedeutung ist (9).

Der Meniskus wird in 3 Zonen eingeteilt, die seiner Blutversorgung entsprechen: Die periphere, gut durchblutete rote Zone, die intermediäre rot-weiße Zone und die innere, nicht durchblutete weiße Zone.

4.3. Mikroanatomie des Meniskus

Mikroskopisch betrachtet besteht der Meniskus aus Faserknorpel. Der vorherrschende Zelltyp sind die Fibrochondrozyten (44, 115). Sie werden so genannt, weil sie morphologisch Chondrozyten gleichen und die selbe Territorialmatrix wie Chondrozyten aus hyalinem Knorpel haben, aber wie Fibrozyten vor allem Kollagen Typ I synthetisieren.

Die extrazellulären Bestandteile des Meniskus, die die zellulären bei weitem überwiegen, sind Kollagene, Elastin, Proteoglykane, andere, nichtkollagenöse Matrix - Proteine und vor allem Wasser. Der Wasseranteil des Meniskus beträgt ca. 74%. Den größten Anteil der Trockenmasse stellen die Kollagene (etwa 75%) (5, 34, 58, 78). Der vorherrschende Kollagentyp ist Typ I (über 90%), außerdem kommen vor: Typ II, III, V und VI.

Das Kollagen Typ I im Meniskus ist stärker quervernetzt als das in Knochen, Sehnen oder Haut (30). Es wurde schon für den Gelenkknorpel gezeigt, dass diese große Anzahl an Quervernetzungen eine hohe Zugfestigkeit verleiht (87). Wie in jedem anderen Gewebe auch, lagern sich die Kollagenfibrillen zu langen Fasern zusammen. An der Meniskusoberfläche

verlaufen sie ungeordnet in der Ebene der Oberfläche. Im Meniskusinneren sind sie in bestimmte Richtungen angeordnet, wobei die Fasern dicke Bündel bilden. Der Hauptanteil der Fasern verläuft parallel zum Meniskusrand, also longitudinal vom Vorder- zum Hinterhorn, was der Hauptbelastungsrichtung des Meniskus entspricht (10, 21, 31, 99) (siehe Kapitel 4.4). Die anderen Fasern verlaufen radial, also senkrecht dazu und halten sie so zusammen (21, 100).

Dieser Grundaufbau des Meniskus variiert leicht in seinen verschiedenen Zonen, je nach der dort herrschenden mechanischen Beanspruchung (34, 35, 100).

4.4. Biomechanik des Meniskus

Der Meniskus ist so etwas wie eine bewegliche Gelenkfläche, er vergrößert die Kontaktfläche zwischen Femur und Tibia und ermöglicht so eine bessere Verteilung des dort auftretenden Drucks (1, 5, 18, 61, 78, 90, 99, 111). Er dämpft Stöße und schützt damit den Gelenkknorpel und den darunter liegenden Knochen (34, 60, 61, 110). Außerdem trägt er zur passiven Stabilisierung des Kniegelenks bei (49, 64, 67, 68, 89, 98, 112).

Schon bei Alltagsbeschäftigungen treten im Kniegelenk Lasten auf, die das Körpergewicht um das fünffache übersteigen. Durch die Inkongruenz von Femur und Tibia wäre ohne den dazwischen liegenden Meniskus die Kontaktfläche so klein, dass dort sehr große Drücke auftreten würden, welchen der Gelenkknorpel nicht lange gewachsen wäre. Durch den Meniskus wird die Last auf eine viel größere Fläche verteilt, der Druck wirkt größtenteils auf ihn und der Gelenkknorpel wird geschont. Von einem Teil der durch das Femur auf den Meniskus übertragenen Kraft wird der Meniskus radial nach außen gedrückt. Dadurch, dass er an seinen Enden fixiert ist, wandelt sich die radiale Kraft in eine Zugkraft entlang der vom Vorder- zum Hinterhorn verlaufenden Kollagenfasern um, den sog. "hoop stress" (99). Da die meisten Fasern diesen Verlauf haben, besitzt der Meniskus in dieser Richtung seine größte Zugfestigkeit (34, 35, 100).

Die Kollagenfaserbündel sind untereinander nicht sehr fest verbunden, sie können viel leichter voneinander getrennt werden als zerreißen. Die radialen Verbindungsfasern geben den longitudinalen Fasern zwar Halt, sie sind aber nicht so stark und so zahlreich wie diese. Entsteht in einem Meniskus also (z.B. nach einem Trauma) ein kleiner Riss, dann wird dieser sich entlang der longitudinalen Fasern fortsetzen, horizontal oder vertikal. Nach einer Zeit

bildet sich dann z.B. ein Korbhenkelriss, oder, wenn die ursprüngliche Verletzung ein Radiärriss war, ein Lappenriss (5, 21, 34).

4.5. Bewegung des Meniskus

Biomechanisch betrachtet ist das Kniegelenk wohl das komplexeste Gelenk des menschlichen Körpers. Zur Bewegung des Femur auf der Tibia während der Flexion gibt es verschiedene Modelle (17, 117). Am besten wird sie durch das sog. "crossed four-bar linkage system" (50, 57, 70, 71, 92) beschrieben. Damit eine volle Flexion von etwa 130 Grad überhaupt möglich wird, müssen die Femurkondylen auf dem Tibiaplateau eine Mischung aus Rollen und Gleiten ausführen (92). Wäre die Bewegung ein reines Rollen, würde das Femur dorsal vom Tibiaplateau kippen, würde er nur gleiten, würde die hintere Kante des Tibiaplateaus eine volle Flexion verhindern (siehe Zeichnung). Das Verhältnis von Rollen zu Gleiten ändert sich im Verlauf der Flexion, zu Beginn herrscht die Rollbewegung vor, dann nimmt die Gleitbewegung zu und die volle Flexion wird durch gleiten erreicht. Shapeero et al. beschreiben ein Gesamtverhältnis von Rollen zu Gleiten von 1 : 1 für den medialen Kondylus und von 1: 4 für den lateralen (92). Außerdem bewegt sich der laterale Kondylus etwa 2,3 mal so weit auf dem Tibiaplateau wie der mediale, was vor allem am sogenannten "screw home" Mechanismus liegt, einer automatischen Außenrotation der Tibia gegenüber dem Femur bei den letzten 20 Grad der Extension um etwa 15 Grad. Dementsprechend tritt zu Beginn der Flexion eine automatische Innenrotation von etwa 15 Grad auf, die durch eine leichte 90 Grad Flexion wieder abnimmt. Aus diesem automatische Außenrotation bei Bewegungsmuster von Femur und Tibia ergibt sich auch die grobe Bewegung der beiden Menisci während der Flexion des Knies.

Diese Bewegung wird außerdem durch ihre kapsulären, ligamentären und muskulären Verankerungen, sowie durch die Anatomie der Gelenkflächen von Femur und Tibia beeinflusst. Der Innenmeniskus ist durch seinen festen Kontakt mit der Kapsel und dem Innenband weniger beweglich als der Außenmeniskus. Außerdem liegen beim Außenmeniskus die tibialen Ansatzpunkte näher beieinander, was ihn zusätzlich mobiler macht.

Das mediale Tibiaplateau ist leicht konkav, was einerseits einen gewissen Schutz dagegen bietet, dass der mediale Femurkondylus in voller Flexion vom Tibiaplateau rutscht, andererseits die Rückwärtsbewegung des Innenmeniskushinterhorns einschränkt und dazu führt, dass dieses ab einer Flexion von etwa 70 Grad zwischen Femur und Tibia eingeklemmt wird (28). Das laterale Tibiaplateau ist dagegen leicht konvex, was dem Außenmeniskus wieder einen größeren Bewegungsspielraum lässt. Auch die meniscofemuralen Bänder (Humphry und Wrisberg) und der Popliteusmuskel beeinflussen die Bewegung des Außenmeniskus. Vor allem bei Gelenkstellungen wie beim Skifahren (Flexionsstellung bei unter Gewichtsbelastung): dabei kommt es einer leichten zu Vorwärtsbewegung des Femur auf dem Tibiaplateau, wodurch die meniscofemuralen Bänder angespannt werden und das Außenmeniskushinterhorn nach medial vorne gezogen wird. So wird die Kongruenz zwischen Femur und Meniskus erhöht. Nach Friederich und O'Brien (38) spannt sich das Humphry-Band bei Flexion zunehmend an und stabilisiert so das Hinterhorn des Außenmeniskus, während das Wrisberg-Band diese Funktion bei der Extension übernimmt (79). Bei Innenrotation der Tibia, wie bei der automatischen Rotation zu Beginn der Flexion, würde das Humphry-Band allein das Außenmeniskushinterhorn nach medial vorne ziehen und dieses würde dort vom Femurkondylus eingeklemmt werden; der Popliteusmuskel, der sich gleichzeitig kontrahiert, verhindert dies aber durch die Zügel, die er an das Außenmeniskushinterhorn abgibt und es so dorsal fixiert (62). Durch das Zusammenspiel von Muskel und Bändern wird so eine kontrollierte Bewegung des Meniskus gewährleistet.

Wenige experimentelle Studien haben sich mit dem Bewegungsausmaß der Menisci während der Flexion im Kniegelenk befasst. Bei sehr frühen Untersuchungen, z.B. von Shear (91), Brantigan und Voshell (19) oder DePalma (28) wurde das Kniegelenk bis auf die Kreuzbänder und die Kollateralbänder freipräpariert und die Menisci so direkt dargestellt, um ihre Bewegung zu verfolgen. Allerdings wurde ein großer Teil jedes Meniskus dabei von den Femurkondylen verdeckt. In einer neueren Arbeit von Thompson, Fu und Co (105) untersuchen diese die Bewegung der Menisci mit der MRT. Acht Leichenknie wurden in sagittaler Schnittebene in 10 Grad – Schritten von 0 bis 120 Grad Beugung untersucht und die erhaltenen Daten dreidimensional rekonstruiert. Dann wurde die anterioposteriore Bewegung von Vorder- und Hinterhorn der Menisci auf dem Tibiaplateau gemessen. Für den Innenmeniskus wurde eine durchschnittliche Translation von $5,1\pm0,96$ mm (Vorderhorn : Hinterhorn $1:2,4\pm0,81$) und für den Außenmeniskus von $11,2\pm3,27$ mm (Vorderhorn : Hinterhorn $1:1,3\pm0,23$) festgestellt. Diese Ergebnisse unterscheiden sich erstaunlicherweise kaum von denen der früheren Studien, bei denen das Kniegelenk freipräpariert wurde. Alle Studien zeigen eine deutlich größere Beweglichkeit des

Vorderhorns im Vergleich zum Hinterhorn, vor allem beim Innenmeniskus und eine generell größere Beweglichkeit des Außenmeniskus, was auch zu erwarten war (siehe oben). DePalma (28) beschreibt, dass die größte Bewegung des Außenmeniskus bereits bei einer Beugung von 5 bis 7 Grad auftritt, während der Innenmeniskus erst bei 17 bis 20 Grad Beugung anfängt, sich zu bewegen. Ab etwa 70 Grad wird der Innenmeniskus zwischen Femur und Tibia eingeklemmt und so an einer weiteren Bewegung gehindert.

Bilder zur Meniskusbewegung:

(eigene MRT-Bilder)

Bewegung des Aussenmeniskus bei Kniebeugung

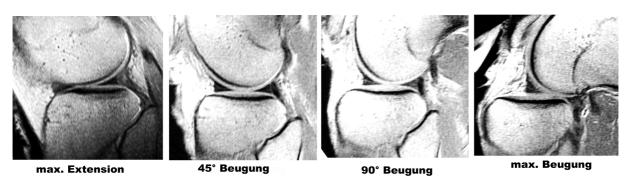


Abb. 4: Während das Vorderhorn des Außenmeniskus in Streckstellung des Knies weit an den ventralen Rand des Tibiaplateaus geschoben wird, wird sein Hinterhorn in maximaler Beugung deutlich über die posteriore Kante hinausgedrängt.

Bewegung des Innenmeniskus bei Kniebeugung

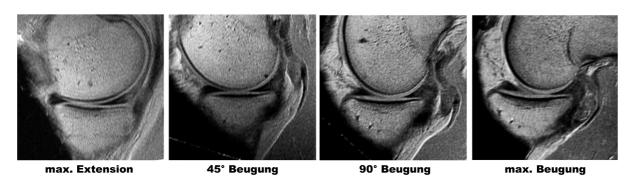


Abb. 5: Auch der Innenmeniskus wird mit seinem Vorderhorn in Extension weit nach vorne geschoben, durch die feste Verankerung mit der Kapsel ist seine Beweglichkeit aber so eingeschränkt, dass das Hinterhorn sich mit zunehmender Beugung kaum Bewegt und so zwischen Femur und Tibia eingeklemmt wird.

4.6. Voraussetzungen für eine Meniskusnaht



Aus früheren Untersuchungen zur Heilung des Meniskus ist bekannt, dass die Lokalisation einer Verletzung großen Einfluss auf seine Heilungstendenz hat. Je weiter eine Verletzung in der gut durchbluteten Zone (äußeres Drittel) des Meniskus liegt, um so besser wächst er bei guter Adaptation wieder zusammen (8, 27) (siehe Kap. 4.2).

Abb. 6 (Aus Arnoczky und Warren(8), modifiziert)

Die Zellen des Meniskus müssen, um wieder ein Kollagengewebe aufbauen zu können, durch Substanzen wie Fibronektin und Wachstums-Faktoren aus Thrombozyten stimuliert werden (107, 115, 116). Diese Substanzen können im Rahmen einer Entzündungsreaktion nur über das Blut zum Ort der Verletzung gelangen, die nicht oder nur schlecht durchbluteten Zonen des Meniskus können also kaum heilen.

Da ein großer Teil der Meniskusrisse aber in diesen Zonen auftritt, gab und gibt es immer wieder Versuche, auch diese zu reparieren und es wurden dafür verschiedene Methoden und Techniken ausprobiert.

Man versuchte etwa, durch Erweitern des Risses oder Bohren eines Kanals in die durchblutete Zone, Gefäße von dort zum Einsprossen in das verletzte Gebiet anzuregen (9, 42, 109, 118, 119). Von der Erweiterung des Risses ist man inzwischen abgekommen, weil man dem Meniskus dadurch einen größeren Schaden zufügt und seine mechanische Integrität stört. Die Trephination hingegen wird sogar als alleinige Therapie für kleinere Risse vorgeschlagen (37, 96).

Eine weitere Möglichkeit ist das Einnähen eines gut durchbluteten Synoviallappens oder eines entsprechenden autologen Transplantats in den Rissspalt, um die Heilung des Meniskus anzuregen, und es gibt alte (42, 43) sowie aktuellere Studien (54, 97), die Erfolge zeigen.

Aktuelle Versuche gibt es auch zu einer weiteren, schon vor Jahren angewandten Technik, dem "Rasping" (Anfrischen) der Synovia und des peripheren Meniskusanteils, was zu einer hypertrophen Reaktion der Synovia führt, die so bis zum Rissspalt ausdehnt (47, 81, 104).

Das Einbringen eines homologen "Fibrin – Clots" in den Rissspalt, der das lokale Zellwachstum z.B. über Fibronektin und Wachstumsfaktor aus Thrombozyten anregen soll, ist eine anerkannte Maßnahme zur Unterstützung einer Meniskusnaht (6, 48, 82).

Im allgemeinen gilt heute die Regel, dass ein vertikaler, kapselnaher Riss (Sonderform: Korbhenkelriss), der in der roten Zone des Meniskus liegt, auf jeden Fall genäht werden sollte. Bei einem Riss in der rot-weißen Zone kann, eventuell bei zusätzlicher Verwendung eines der oben genannten Verfahren, ein Nahtversuch unternommen werden. In der weiß-weißen Zone sind Reparaturen in der Regel wenig erfolgreich.

Ein Radiärriss macht meist eine Teilentfernung des Meniskus erforderlich, bei den Lappenrissen gibt es selten Fälle, bei denen der abgerissene Teil refixiert werden kann.

Eine weitere Voraussetzung für eine erfolgversprechende Naht ist das Fehlen von größeren, degenerativen Veränderungen des Meniskus.

Auch das Alter und das Aktivitätsniveau der Patienten sollte einen Einfluss auf die Entscheidung zum operativen Vorgehen haben. Vor allem bei jungen und bei sportlich aktiven Menschen muss auf jeden Fall versucht werden, die Menisci zum Schutz des Kniegelenks zu erhalten.

4.7. Nahtmethoden

Heute gibt es drei grundsätzliche Methoden zur arthroskopischen Meniskusrefixation: Die "Inside-Out" Technik (24, 86, 88), die "Outside-In" Technik (55, 75, 113) und die "All-Inside" Technik (2, 3, 15, 45, 77). Die beiden ersten Techniken unterscheiden sich im Bezug auf das Einbringen der Naht: Bei der "Inside-Out" Technik wird der Meniskus von der Innenseite des Gelenks her über ein Führungsinstrument mit einer speziellen, flexiblen Nadel durchstochen und diese dann mit einem Ende des Fadens durch die Kapsel nach außen geführt. Das zweite Ende des Fadens wird mit einer zweiten Nadel, leicht vertikal oder horizontal zur Eintrittsstelle der ersten versetzt, auch durch den Meniskus nach außen gebracht. Die beiden Fadenenden werden dann auf der freipräparierten Kapsel fest verknotet, der Meniskus ist durch den Faden an der Kapsel fixiert. Je nach Lokalisation der Meniskusverletzung (am Vorder- oder Hinterhorn) besteht dabei das Risiko der Verletzung eines Nerven (nervus peroneus, nervus saphenus) oder eines Gefäßes, da die Nadeln "blind"

nach außen geführt werden. Das Risiko kann gemindert werden, indem man gefährdete Nerven und Gefäße vorher präparativ darstellt und schützt.

Bei der "Outside-In" Technik wird diese Gefahr gemindert, indem die Naht dabei von außen eingebracht wird. Durch zwei Kanülen, die leicht versetzt zueinander durch die Kapsel und den Meniskus gestochen werden, wird der Faden in das Gelenk und wieder nach außen gebracht, seine Enden auf der Kapsel verknotet. Durch das gezielte Setzen der Kanülen von außen wird zwar eine Nerven- oder Gefäßverletzung sehr unwahrscheinlich, aber die Naht durch den Meniskus kann nicht so exakt platziert werden wie von innen. Auch ist das Ausführen des Fadens durch die zweite Kanüle anspruchsvoll.

Es gibt für beide Methoden zwei Möglichkeiten, die Naht zu setzen: Horizontal oder vertikal. Es hat sich gezeigt, dass die vertikale Naht der horizontalen im Bezug auf die Ausrissfestigkeit überlegen ist (84).

Die "All-Inside" Technik hat den Vorteil, dass das Verletzen eines Gefäßes oder Nerven nicht vorkommen kann, weil der Meniskus hier mit resorbierbaren Implantaten repariert wird, die vom Gelenkinneren aus im Meniskus platziert werden. Man braucht also keinen weiteren Hautschnitt, um die Kapsel und die Gefäße/Nerven darzustellen. Solche Implantate sind zum Beispiel T-Fix Anker (Acufex, Mansfield, MA), Meniscus-Arrow (Bionx, Tempere, Finnland), Dart (Arthrex, Naples, Fl), Stinger (Linvatec, Largo, Fl), Meniscal Screw (Innovasive, Marlborough, MA) und Fastener (Mitek, Westwood, MA) (16).

Auch ist die Operationszeit für die "All-Inside" Methoden meist kürzer.

Allerdings zeigen alle Meniskusimplantate bei rein biomechanischen in vitro Tests eine geringere Zugfestigkeit im Vergleich zur vertikalen Naht (12, 16).

Der Operateur hat natürlich die Möglichkeit, die herkömmliche Fadennaht mit einer der neueren "All-Inside" Techniken zu kombinieren, was sich vor allem bei längeren Rissen anbietet (16).

Zeichnungen zur arthroskopischen, vertikalen Meniskusnaht ("Inside-Out" – Technik):

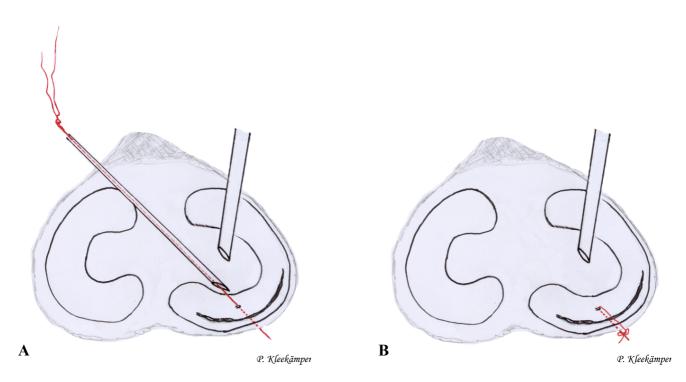


Abb. 7: Unter arthroskopischer Sicht wird durch eine spezielle Kanüle eine flexible Nadel mit Faden in das Kniegelenk geschoben. Sie wird zuerst durch den zentralen Meniskusanteil, durch den Riss und den peripheren Meniskusanteil und durch die Kapsel gestochen (A). So wird das eine Fadenende nach draußen gebracht. Danach wird das zweite Fadenende auf die selbe Weise über den Meniskus hinweg durch die Kapsel geführt und die beiden Enden außen auf der Kapsel verknotet (B).

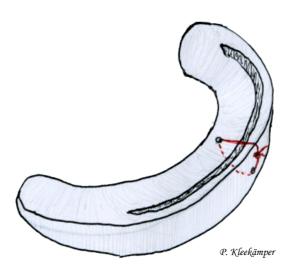


Abb. 8: Schema zur vertikalen Meniskusnaht

5. Material und Methodik

5.1. Retrospektiver Teil

Zwischen Januar 1989 und Oktober 1997 wurde bei insgesamt 132 Patienten eine arthroskopische, vertikale Meniskusnaht (siehe Abb. 8) in der "Inside-Out" – Technik mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial (Etibond 2/0) durchgeführt (isoliert oder in Verbindung mit anderen operativen Maßnahmen). Mithilfe eines erstellten Fragebogens (siehe Seite 22) sollten diese Patienten zum Ergebnis dieser Operation befragt werden. 105 der Patienten konnten angeschrieben werden und bekamen den Fragebogen zugesandt, von 72 erhielten wir ihn ausgefüllt zurück. Das entspricht einer Rücklaufquote von 69%.

- 35 Patienten hatten eine isolierte Meniskusverletzung (Gruppe I) mit oder ohne korrespondierendem Knorpelschaden, 34 Patienten zusätzlich eine vordere und 1 Patient eine hintere Kreuzbandruptur (Gruppe II).
- 2 Patienten mussten wegen einer gleichzeitig zur Meniskusläsion erlittenen Tibiakopffraktur aufgrund der somit nicht verwertbaren Aussagen zur Meniskusnaht aus der Auswertung genommen werden.

9 mal war der laterale, 59 mal der mediale und 2 mal waren beide Menisci betroffen.

Beim Innenmeniskus handelte es sich 32 mal um einen kapselnahen Abriss des Hinterhorns,

10 mal der Pars Intermedia und 3 mal des Vorderhorns und 16 mal um einen Korbhenkelriss.

Beim Außenmeniskus bestand 1 mal ein kapselnaher Abriss des Hinterhorns, 2 mal des Vorderhorns, 6 mal ein Korbhenkelriss, 1 mal ein Lappenriss und 1 mal ein Radiärriss.

Alle Patienten durchliefen postoperativ eine frühfunktionelle Rehabilitation, wobei sich die Reha – Schemata im Bezug auf Bewegung und Belastung des operierten Knies unterschieden. Zur Auswertung wurden die Patienten beider Gruppen je einer von 5 Untergruppen zugeteilt, die sich aus dem jeweils angewandten Rehabilitationsschema ergaben:

Gruppe A: Sofortige Vollbelastung bei freiem ROM

Gruppe B: Sofortige Vollbelastung bei eingeschränktem ROM für bis zu 6 Wochen

Gruppe B₁: Extension eingeschränkt

Gruppe B₂: Flexion eingeschränkt

Gruppe B₃: Extension und Flexion eingeschränkt

Gruppe C: Sofortiges freies ROM bei Vollbelastung nach 3 bis 5 Wochen

Gruppe D: Eingeschränktes ROM und eingeschränkte Belastung für 3 bis 4 Wochen

Gruppe E: Postoperative Ruhigstellung des Knies für bis zu 6 Wochen, danach volle Belastung und freie ROM

20 Patienten wurden Gruppe A, 26 Patienten Gruppe B (1 Patient B₁, 18 Patienten B₂, 7 Patienten B₃), 9 Patienten Gruppe C, 7 Patienten Gruppe D und 8 Patienten Gruppe E zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte retrospektiv anhand des im OP – Bericht festgehaltenen Nachbehandlungsschemas.

Bei der Auswertung wurden die Gruppen A und C (volle Bewegung) und die Gruppen B, D und E (Bewegung limitiert) zusammengefasst.

Das Durchschnittsalter der Patienten zum Operationszeitpunkt betrug 31,8 Jahre (13 bis 59 Jahre), die durchschnittliche Zeitspanne zwischen Operation und Evaluation 59,6 Monate (11 bis 115 Monate). 36 der Patienten waren Frauen, 34 waren Männer.

Einen Überblick über diese und weitere Daten (Art der Meniskusverletzung, Art der Begleitverletzungen (Kreuzbandverletzung/-ersatz, akuter oder chronischer Gelenkknorpelschaden) und das Rehabilitationsschema) gibt der erste Teil der Auswertungstabelle (Seite 43/44 im Anhang).

Die oben genannten Informationen stammen aus den jeweiligen OP-Berichts- und Epikrisenbögen.

Alle weiteren Ergebnisse in der Tabelle betreffen die Angaben der Patienten auf dem folgenden Fragebogen:

Fragebogen zur Meniskusnaht

Sind sie mit unserer Operation zufrieden?

O Ja O Nein

(Bitte ankreuzen)

(Wenn nein, warum?)

Würden sie unter gegebenen Umständen dieselbe Operation wieder durchführen lassen? (Wenn nein, warum?) O Ja O Nein

Legende: **Belastbarkeit:** 0 = voll belastbar

1 = leichte Schmerzen

2 = mittlere bis starke Schmerzen

3 = nicht möglich aufgrund von Schmerzen

(Bitte jeweils ankreuzen)

	IM ALLTAG (STEHEN, GEHEN)				BEI LEICHTER AKTIVITÄT (LAUFEN, JOGGEN)				BEIM SPORT (LEICHTATLETHIK, BALLSPORT, USW)			
VOR DER VERLETZUNG	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
ZWISCHEN VERLETZUNG UND OPERATION	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
NACH DER OPERATION (JETZT)	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3

Sportniveau: Legende: 0 = gar kein Sport

> 1 = gelegentlich Freizeitsport 2 = regelmäßig Freizeitsport

3 = Leistungssport 4 = Hochleistungssport

(Ritte jeweils ankreuzen)

(Bitte Jewells ankieuzen)					
VOR DER VERLETZUNG	0	1	2	3	4
ZWISCHENVERLETZUNG UND OP	0	1	2	3	4
NACH DER OP (JETZT)	0	1	2	3	4

Beweglichkeit: Legende: 0 = keine Bewegungseinschränkung (nach OP)

1 = leichte Bewegungseinschränkung 2 = deutliche Bewegungseinschränkung

(Bitte jeweils ankreuzen)

(Bitte Jewens and edzen)											
BEUGUNG	0	1	2								
STRECKUNG	0	1	2								

VIELENDank!

5.2. Experimenteller Teil

Anhand einer magnetresonanztomographischen Untersuchung an 7 isolierten menschlichen Leichenknien soll der Effekt der uneingeschränkten Bewegung auf den verletzten und den wieder genähten Meniskus gezeigt werden.

Dazu wurden 7 menschliche, frisch eingefrorene Knie verwendet, alle stammten von männlichen Toten:

- 2 Knie von einem 54-jährigen, 1,75 m groß und 75,0 kg schwer
- 2 Knie von einem 39-jährigen, 1,78 m groß und 81,6 kg schwer
- 2 Knie von einem 49-jährigen, 1,78 m groß und 80,9 kg schwer und
- 1 Knie von einem 19-jährigen, 1,77 m groß und 61,8 kg schwer.

Es wurden jeweils ca. 20 cm von Ober- und Unterschenkel erhalten, so dass ein etwa 40 cm langes Amputat entstand. Haut und Fettgewebe wurden entfernt. Nachdem die Präparate 14 Stunden lang bei 20 – 22 Grad Celsius unter ständiger Befeuchtung aufgetaut worden waren, wurde aus Femur und Tibia das Knochenmark entfernt und jeweils ein Rundholz von ca. 40 cm Länge und einem Durchmesser zwischen 1,4 und 2,0 cm (je nach Durchmesser der Markhöhle), eingebracht. Die Tibia wurde im Bereich der Apophyse in der Medio-Sagittal-Ebene durchbohrt und in den Bohrkanal (Durchmesser zwischen 1,0 und 1,5 cm) ein weiteres Rundholz mit entsprechendem Durchmesser und etwa 25 cm Länge gesteckt. Die Rundhölzer ermöglichten die Flexion und die Rotation der Kniegelenke für die Untersuchung im MRT.



Abb. 9: Das frisch aufgetaute Präparat, unten mit eingebrachten Rundhölzern, mit denen die Fixierung in verschiedenen Beuge-Stellungen in der Haltevorrichtung möglich ist.

Dazu wurde eine spezielle hölzerne Haltevorrichtung gebaut (siehe Abb. 10), in der die Knie mit Hilfe der Rundhölzer jeweils in voller Extension, in 45 Grad, 90 Grad und maximaler

Flexion und in 90 Grad Flexion mit zusätzlicher maximaler Außen- bzw. Innenrotation fixiert wurden. In diesen fixierten Stellungen wurden die Knie dann zunächst nativ in einem Magnetom Impact Magnetresonanztomographen der Firma Siemens (Feldstärke 1,0 Tessla) untersucht. Es wurde eine flexible, 30 cm breite Extremitätenspule verwendet. In jeder Stellung wurde eine T1-gewichtete (TR: 988,0 und TE: 20,0/1) Bilderserie in axialer und in sagittaler Ebene mit einer Schichtdicke von jeweils 3 mm



Abb. 10: Knie-Haltevorrichtung zur Einstellung der Winkelgrade

angefertigt. In Extension wurde zusätzlich eine T2-gewichtete (TR: 4732,0 und TE: 96,0/1) Serie in beiden Ebenen erstellt, um die Kniegelenke, v.a. aber die Menisci auf bereits bestehende Schäden zu untersuchen und solche zu dokumentieren.



Abb. 11:

Das in der Haltevorrichtung eingespannte und aus hygienischen Gründen komplett in Plastikfolie verpackte Knie wird in das MRT - Gerät gefahren

Danach wurde am Innen- und am Außenmeniskus arthroskopisch mit dem Meniskotom eine Läsion gesetzt (am Außenmeniskus 6 mal ein Korbhenkelriss, 2 mal zusätzlich ein Lappenriss, 1 mal wurde der Meniskus intakt gelassen; am Innenmeniskus 7 mal ein Korbhenkelriss) und die Knie nach dem selben Schema im MRT untersucht (nur T1-gewichtete Bilder). Im dritten Untersuchungsschritt wurden die Korbhenkelrisse arthroskopisch mit bis zu 3 Nähten mit nicht resorbierbarem Faden (Etibond 2/0) in der "Inside-Out" Technik refixiert, die beiden Lappenrisse reseziert und die Knie wieder im MRT gescannt. Wenn diese Arbeitsschritte mehr als einen Tag auseinander lagen, wurden die Präparate zwischendurch wieder eingefroren.

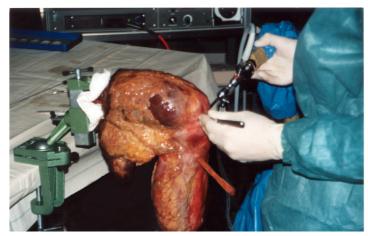
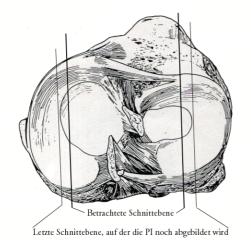


Abb. 12: In einem Schraubstock fixiert wird das Knie arthroskopiert

Für alle Messungen im MRT – Gerät wurden die Kniepräparate aus hygienischen Gründen komplett und wasserdicht in Plastikfolie verpackt.

Die so erhaltenen Bilder wurden folgendermaßen ausgewertet: Die Nativbilder dienen zur Verdeutlichung der normalen Meniskusbewegung bei Flexion des Kniegelenks. Sie wird in vielen Studien beschrieben (39, 71).

Da die Belastung der Menisci im Hinterhornbereich am größten ist und hier auch am häufigsten Läsionen auftreten, beschränkt sich die Auswertung der MRT – Bilder auf diesen Bereich. Betrachtet wurden die sagittalen Schnitte, auf denen der Meniskus 2 Schichten (6 mm) entfernt von der Stelle, an der der zentrale Anteil der Pars Intermedia gerade noch abgebildet wird, zu sehen ist (Abb. 13).



Beurteilung der Meniskus - Hinterhörner in der Sagittalebene an bezeichneter Stelle

Abb. 13: (Aus Warren et al. (114), modifiziert)

Der Riss wird bei 45° Beugung des Knies vor und nach Naht in drei Grade eingeteilt:

- Grad 1: Der Riss ist sichtbar, jedoch kaum Spaltbildung.
- Grad 2: Mäßige Spaltbildung.
- Grad 3: Der zentrale Meniskusanteil ist deutlich disloziert.

Danach wird der Riss bei Extension und 90° und 120° Beugung betrachtet und als kleiner, gleich oder größer (im Vergleich zu 45° Beugung) beurteilt.

Da die 45° Beugung auch bei den restriktiven Reha-Schemata (außer bei kompletter Ruhigstellung) immer im erlaubten Bewegungsumfang liegen, werden sie zum Vergleich herangezogen, um zu sehen, wie der Riss sich bei größerem Bewegungsumfang verhält.



Abb. 14: Außenmeniskus mit Riss bei 45° Beugung



Abb. 15: Der selbe Meniskus bei voller Streckung

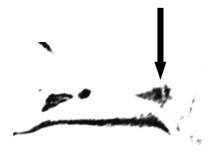


Abb. 16: Zur Verdeutlichung ist der Kontrast des Bildes erhöht, man erkennt deutlich den Riss

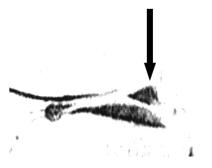


Abb. 17: In voller Streckung ist der Rissspalt kleiner

Bilder zur arthroskopischen Meniskusnaht:



Abb. 18: Arthroskopisch gesetzter Riss

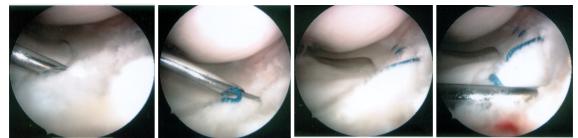


Abb. 19: Arthroskopische Naht in Inside-Out Technik

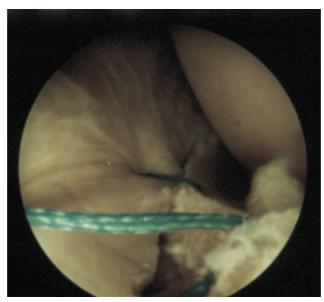


Abb. 20: Die hintere Naht ist festgezogen, der Meniskus gut adaptiert und an der Kasel fixiert, die Naht im Vordergrund ist noch locker

(Abb. 14 - 20: eigenes Material)

6. Ergebnisse

6.1. Retrospektiver Teil

72 der zwischen Januar 1989 und Oktober 1997 vom selben Operateur mit einer Meniskusnaht versorgten Patienten konnten zum Ergebnis der Operation befragt werden. Bei 2 von ihnen bestand als Begleitverletzung eine Tibiakopffraktur, sie wurden deshalb in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

64 Patienten (91,4 %) waren mit dem Ergebnis zufrieden und 65 (95,9 %) würden unter gegebenen Umständen die gleiche Operation noch einmal durchführen lassen.

4 Patienten (5,7 %) waren mit dem Ergebnis der Operation nicht zufrieden, 3 von ihnen hatten innerhalb von 6 Monaten erneut operiert werden müssen (partielle Meniskektomie). 2 Patienten äußerten sich zu dieser Frage nicht, bei einem von ihnen hatte der Meniskus später teilreseziert werden müssen.

Insgesamt gab es also 4 Therapieversager, was einer Quote von 5,7 % entspricht.

Alle Rerupturen traten bei Patienten mit postoperativ eingeschränktem Bewegungsumfang des Knies auf.

Bei 19 Patienten (27,1 %) besteht seit der Operation eine leichte Bewegungseinschränkung im Kniegelenk (bei 15 ist die Beugung, bei 1 die Streckung und bei 3 beides betroffen), bei 3 Patienten (4,3 %) eine deutliche Bewegungseinschränkung (je 1 mal Beugung, Streckung, beides).

Es zeigt sich hier kein Unterschied zwischen den Patienten, die eine zusätzliche Kreuzbandruptur erlitten hatten, und denen, bei denen eine isolierte Meniskusläsion bestand. Beide Gruppen umfassen 35 Patienten, von denen jeweils 11 eine postoperative Bewegungseinschränkung haben.

16 (72,7 %) der 22 Patienten mit Bewegungseinschränkung gehörten zu den Rehabilitationsschemata B, D oder E, bei denen die Bewegung des Knies postoperativ kurzzeitig eingeschränkt wurde.

Von der anderen Seite betrachtet leiden 16 (39,0 %) der 41 nach dem Rehabilitationsschemata B,D und E behandelten Patienten und 6 (20,7 %) der 29 nach den

Schemata A und C (sofortiger voller Bewegungsumfang postoperativ) behandelten Patienten unter einer Bewegungseinschränkung.

Dieser Unterschied ist in der Gruppe der Patienten mit isolierter Meniskusläsion (44,4 % gegenüber 17,6 %) sehr viel deutlicher als bei den Patienten mit begleitender Kreuzbandruptur (34,8 % gegenüber 25,0 %).

Im Bezug auf das Sportniveau ergab sich folgendes: Das Niveau sank postoperativ in der Gruppe mit isolierter Meniskusläsion bei 38,9 % der Patienten, denen eine Bewegungseinschränkung auferlegt wurde und bei 17,6 % der Patienten, die ihr Knie nach der Operation sofort voll bewegen durften.

Bei den Patienten mit begleitender Kreuzbandruptur ist dies wieder weniger deutlich (30,4 % gegenüber 25,0 %) (Siehe auch Grafiken Seite 30 - 32).

Insgesamt erreichten 48 Patienten (68,6 %) nach der Operation wieder das selbe (40 Patienten, 57,1 %) oder sogar ein höheres (8 Patienten, 11,4 %) Sportniveau als vor der Verletzung. Bei 20 Patienten (28,6 %) sank das Sportniveau postoperativ im Schnitt um 1,3 (1 bis 4) Stufen ab. Zwei machten keine Angaben. Ein Zusammenhang mit neben dem Meniskusriss bestehenden Begleitverletzungen wie Kreuzbandschäden oder Knorpelschäden konnte nicht erkannt werden.

Im Vergleich zum Zustand vor der Verletzung erreichten 59 Patienten (84,3 %) nach der OP wieder die gleiche (oder eine höhere) Belastbarkeit (d.h. keine Schmerzen bei der Belastung) ihres Knies im Alltag, bei 8 (11,4 %) sank sie um 1 Stufe, bei 1 Patienten um 2 Stufen. 2 Patienten machten hier keine Angaben. Leichte Aktivitäten (z.B. Joggen) können 49 Patienten (70,0 %) wieder wie vor der Verletzung ausführen, bei 14 (20,0 %) sank die Belastbarkeit um 1, bei 4 (5,7 %) um 2 Stufen. Hier machten 3 Patienten keine Angaben.

Sport können 40 Patienten (57,1 %) wieder schmerzfrei treiben, bei 22 (31,4 %) sank die Belastbarkeit in diesem Bereich um 1, bei 3 (4,3 %) um 2 und bei 1 Patienten (1,4 %) um 3 Stufen. Vier Patienten machen hier keine Angaben.

Auch hier unterscheiden sich die Ergebnisse der Patienten mit isoliertem Meniskusschaden von denen mit begleitender Kreuzbandruptur.

All diese Angaben sind der Tabelle "Auswertung Fragebogen" im Anhang (Seite 43 - 45) zu entnehmen.

Diagramme:

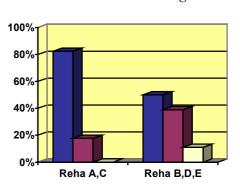
· Sportniveau:

Mit VKB-Ruptur:

Sportniveau p.o. gleich / höher
Sportniveau p.o. niedriger
Neine Angabe

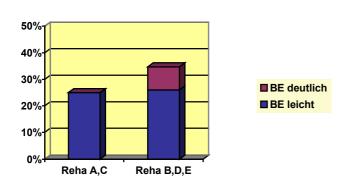
Reha A,C Reha B,D,E

Isolierte Meniskusverletzung:

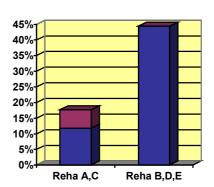


• Bewegungseinschränkung (BE):

Mit VKB-Ruptur



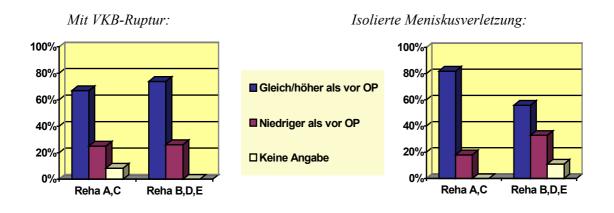
Isolierte Meniskusverletzung:



- **Belastbarkeit:**
 - Im Alltag:

Mit VKB-Ruptur: Isolierte Meniskusverletzung: 100% 80% 80% 70% ■ Gleich/höher als vor OP 60% 60% 50% ■ Niedriger als vor OP 40% 40% 30% 20% 20% ☐ Keine Angabe 10% Reha B,D,E Reha A,C Reha A,C

Bei leichter Aktivität:



Beim Sport:

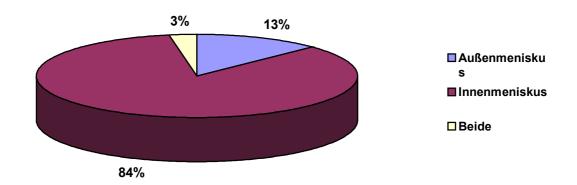
Mit VKB-Ruptur:

100% 100% 80% 80% ■ Gleich/höher als vor OP 60% 60% ■ Niedriger als vor OP 40% 40% ☐ Keine Angabe 20% 20% 0% Reha B,D,E Reha A,C Reha A,C Reha B,D,E

Isolierte Meniskusverletzung:

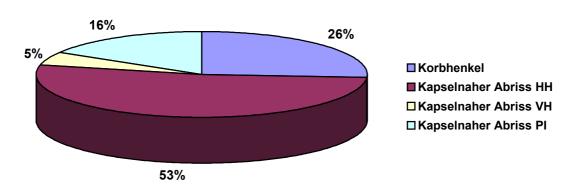
Reha B,D,E

• Betroffener Meniskus (n=70):

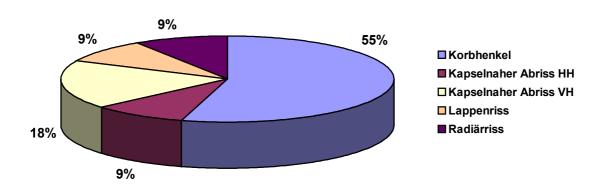


• Art der Verletzung:

Innenmeniskus:



Außenmeniskus:



6.2. Experimenteller Teil

Bei der Auswertung der MRT – Bilder ergab sich folgende Tabelle:

1		- 2	2	,	3	4	4	,	5		ô		7	
AM	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht
45°	3	3	2	1	0	0	1	1	2	1	2	3	3	1
Ext.	=	=	'	=			=	=	=	>	V	'	=	=
90°	<	=	=	=			^	=	=	=	=	=	=	=
Max.	<	٧	<	^			=	=	<	=	=	=	=	=
IM	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht	Riß	Naht
45°	2	3	1	2	2	2	1	1	?	?	1	1	2	1
Ext.	>	=	^	=	'	=	=	=	?	?	^	=	^	=
90°	>	<	=	=	=	=	=	=	?	?	=	=	^	=
Max.	<	=	=	=	<	'	>	=	?	?	=	=	=	=

Legende:

- 1: Der Riss ist sichtbar, jedoch kaum Spaltbildung.
- 2: Mäßige Spaltbildung.
- 3: Der zentrale Meniskusanteil ist deutlich disloziert.
- <, =, >: Der Spalt ist kleiner, gleich oder größer als bei 45°

Ein Außenmeniskus wurde als Kontrolle unversehrt gelassen und bei der Auswertung auch so erkannt. Bei den Innenmenisci war einer wegen vorbestehender Grad 3 Läsionen (nach Stoller, (103)) die bei der Arthroskopie nicht aufgefallen waren, nicht auswertbar.

Man sieht, dass sich beim Außenmeniskus in 45° Beugung des Kniegelenks der Riss vor der Naht im Schnitt deutlicher darstellt als beim Innenmeniskus. Nach der Naht nimmt die Spaltbreite beim Außenmeniskus im Schnitt ab (in 3 von 6 Fällen erscheint der Spalt kleiner, in 2 bleibt er gleich und in einem Fall ist er größer), beim Innenmeniskus jedoch scheint sie leicht zuzunehmen (in einem Fall ist er kleiner, in 3 Fällen gleich und in 2 Fällen größer).

Weitere Ergebnisse:

Außenmeniskus (alle Vergleiche beziehen sich auf den Riss bei 45° Beugung):

In Extension bleibt der Spalt vor der Naht in 4 Fällen gleich, in 2 Fällen stellt er sich weniger deutlich dar, nach der Naht erscheint er in einem Fall größer.

Bei 90° Beugung ist er vor der Naht in je einem Fall größer / kleiner, nach der Naht in allen Fällen gleich groß.

Bei maximaler Beugung vor Naht ist der Spalt in 3 Fällen kleiner, in den anderen Fällen gleich groß, nach Naht 4 mal gleich groß und je einmal größer / kleiner.

In den beiden Fällen, in denen der genähte Riss (einmal bei max. Beugung und einmal bei max. Streckung), deutlicher erscheint als bei 45°, ist er durch die Naht aber insgesamt kleiner geworden.

Innenmeniskus:

In Extension ist der Spalt vor Naht in 4 Fällen größer, in je einem Fall kleiner / gleich, nach der Naht in allen Fällen gleich groß wie bei 45° Beugung.

Bei 90° Beugung zeigt er sich in 2 Fällen größer, genäht in einem Fall kleiner, in den anderen Fällen gleich.

Bei maximaler Beugung wird der Spalt in 2 Fällen kleiner, in einem Fall größer, nach der Naht wird er in einem Fall kleiner.

7. Diskussion

7.1. Retrospektiver Teil

In den letzten Jahren gab es einige Studien, die gezeigt haben, dass eine beschleunigte Rehabilitation nach Meniskusnaht keinen negativen Einfluss auf die Heilungstendenz des Meniskus hat.

F. A. Barber (14) verglich 1994 zwei Gruppen von insgesamt 95 Patienten, bei denen eine Meniskusnaht durchgeführt wurde, isoliert oder in Verbindung mit einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Die eine Gruppe durfte das Knie erst nach 12 Wochen wieder belasten, außerdem wurde es für 6 Wochen in Flexionsstellung (über den Winkel macht er keine Angaben) immobilisiert. Der zweiten Gruppe wurde eine sofortige volle Bewegung und Belastung des Knies bis zur Schmerzgrenze erlaubt. Alle Patienten mussten prä- und postoperativ einen Fragebogen ausfüllen und wurden nach mindestens einem Jahr klinisch nachuntersucht, einige wurden rearthroskopiert. Es zeigte sich kein statistischer Unterschied im Bezug auf die Meniskus-Heilungsrate zwischen den beiden Gruppen.

Auch nach einer längeren follow-up-Zeit blieben die Ergebnisse nach einer beschleunigten Rehabilitation vergleichbar gut (11).

P. P. Mariani et al. (66) kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Heilungsrate von 86 % bei 2 Jahren follow-up) bei 22 Patienten, die alle sofort nach der Meniskusnaht uneingeschränkt bewegen und belasten durften.

Die Therapieversager-Quote wird in der Literatur mit 4 - 25 % angegeben, wobei sie von vielen Faktoren wie zum Beispiel Ort und Art des Meniskusrisses, Nahtmethode, zeitgleichem Kreuzbandersatz usw. abhängt.

Auch die Ergebnisse unserer Patientenumfrage zeigen, dass die beschleunigte Rehabilitation, die viele der Patienten durchliefen, keinen negativen Einfluss auf das Langzeitergebnis der Meniskusnaht zu haben scheint. Im Gegenteil, die Patienten, die das operierte Knie sofort nach der Operation uneingeschränkt bewegen durften (Gruppe A und C), haben postoperativ im Schnitt einen geringeren Abfall des Sportniveaus und zeigen weniger Fälle von Bewegungseinschränkungen als die Patienten, bei denen der Bewegungsumfang des Knies durch eine Schiene oder einen Gips zunächst reduziert war. Der Unterschied ist besonders

auffällig in der Gruppe von Patienten mit einer reinen Meniskusläsion (50% der Patienten, Gruppe I), bei den Patienten mit zusätzlichem vorderem Kreuzbandriss (Gruppe II) ist dies nicht so deutlich.

Außerdem traten alle vier Rerupturen bei Patienten mit limitiertem Bewegungsumfang auf, drei davon in der Gruppe I (das entspricht einer Therapieversagerquote von 8,6%, in Gruppe II sind es dagegen nur 2,9%).

Verschiedene Studien zeigen, dass sich ein gleichzeitig bestehender Kreuzbandriss positiv auf die Heilung des gerissenen und genähten Meniskus auswirkt, vorausgesetzt das Kreuzband wird operativ mitversorgt und das Knie so stabilisiert (14, 23, 76).

Wenn man nur die beiden Gruppen I und II vergleicht, sind die Langzeitergebnisse, abgesehen von den Rerupturen, sehr ähnlich. In Gruppe I erreichen 66% postoperativ das gleiche Sportniveau wie vor der Verletzung, in Gruppe II sind es 71%. In beiden Gruppen leiden 31 % postoperativ unter einer Bewegungseinschränkung im Kniegelenk. Auch die Belastbarkeit des operierten Knies in allen Lebenssituationen ist fast gleich.

Erst wenn man die beiden Gruppen in die Reha - Schemata unterteilt, erkennt man einen Unterschied.

Wie schon oben erwähnt profitieren die Patienten aus Gruppe I deutlich von der beschleunigten Rehabilitation ohne Bewegungslimitation, während dies in Gruppe II viel weniger auffällig ist.

Bei Patienten mit zusätzlichem Kreuzbandriss scheint eine aggressive Rehabilitation also keinen positiven Einfluss auf die spätere Funktion des Knies zu haben, obwohl sie gerade für diese Patienten gefordert wird, um zum Beispiel das Risiko einer Arthrofibrose möglichst gering zu halten.

Bisher galt eine Meniskusnaht, die parallel zur Kreuzbandersatz – Operation durchgeführt wurde, als limitierender Faktor für eine schnelle Rehabilitation. In dieser Studie zeigt sich aber, dass im Gegenteil gerade die Patienten mit einer reinen Meniskusnaht einer Rehabilitation ohne Bewegungseinschränkung zugeführt werden sollten, da so offensichtlich bessere Langzeitergebnisse erzielt werden können.

Es fällt nebenbei auch auf, dass Begleitverletzungen im Sinne eines akuten Knorpelschadens weniger Einfluss auf das postoperative Sportniveau hatten, als erwartet. Insgesamt kam es bei 28,6 % der Patienten zu einem Abfall des Sportniveaus, bei den Patienten, die einen akuten Knorpelschaden erlitten hatten, waren es 31,6 %. Man kann also davon ausgehen, dass die zwar erfassten, aber in der Auswertung nicht berücksichtigten Knorpelschäden, wenn überhaupt, nur einen sehr geringen negativen Einfluss auf das Ergebnis hatten.

Der statistische Teil der Studie ist rein retrospektiv, alle Patienten wurden anhand der im Operationsbericht festgehaltenen Rehabilitationsschemata in die verschiedenen Gruppen eingeteilt. Dabei muss man natürlich von einer guten Kompliance der Patienten ausgehen. Einerseits war wohl bei manchen Patienten, die voll bewegen hätten dürfen die Beweglichkeit postoperativ für einige Zeit schmerz- und schwellungsbedingt noch eingeschränkt, andererseits hat sich vielleicht der eine oder andere nicht ganz an die Einschränkungen der Bewegung gehalten. Das würde aber im Fall dieser Studie nur dazu führen, dass sich die Ergebnisse der beiden großen Gruppen (mit und ohne Einschränkung der erlaubten Beweglichkeit) einander nähern und die Ergebnisse weniger deutlich ausfallen. Der Fragebogen, der für diese Studie entworfen wurde, beruht auf subjektiven Einschätzungen der Patienten, objektive Messungen wurden am Patienten nicht erhoben. Objektive Daten sind die intraoperativen Befunde wie Ort und Art der Verletzung und das Ausmaß und die Art der Begleitverletzungen. Es wurde kein standardisierter Fragebogen wie IKDC, Lysholm- oder Tegner-Score verwendet, da bei den meisten Patienten keine präoperativen Vergleichswerte vorhanden waren. Der Fragebogen sollte möglichst einfach sein und von allen Patienten ohne Hilfe verstanden werden.

7.2. Experimenteller Teil:

Die Ergebnisse aus dem experimentellen Teil der Studie unterstützten die oben genannten Beobachtungen am Patienten.

Beim Außenmeniskus mit Riss zeigt sich sowohl bei voller Extension als auch bei maximaler Beugung in keinem der 6 Fälle eine Zunahme der Spaltbreite im Vergleich zu 45 Grad Beugung. Das liegt vermutlich an der guten Mobilität des Außenmeniskus auf dem Tibiaplateau, die es ihm erlaubt, dem Femurkondylus auszuweichen. Er wird bei zunehmender Beugung vom Femur an den hinteren Rand des Plateaus und schließlich sogar darüber hinaus verdrängt (siehe Abb. 4 und 5 Seite 15). Der zentrale, abgerissene Meniskusanteil wird so im Hinterhornbereich gegen den peripheren Teil in Richtung der Kapsel gepresst, der Spalt wird also eher kleiner. Ob allerdings im Meniskus Scherkräfte auftreten, die die Rissränder gegeneinander verschieben, lässt sich anhand der MRT-Bilder nicht sagen.

Der Innenmeniskus ist durch die feste Verbindung der Kapsel mit dem medialen Kollateralband in diesem Bereich in seiner Beweglichkeit eingeschränkt, sein Hinterhorn wird bei zunehmender Beugung ab etwa 70 Grad zwischen Femur und Tibia eingeklemmt (28).

Dies wirkt sich aber offensichtlich nicht negativ auf den Riss aus. In Extension dagegen scheinen die längs und quer zum Meniskusverlauf wirkenden Zug- und Scherkräfte durch seine mangelnde Beweglichkeit erhöht zu sein, was sich in einer Zunahme der Spaltbreite in vier von sechs Fällen zeigt.

Die Naht scheint aber die Rissränder des Innenmeniskus gut und fest zu adaptieren, so dass danach in keinem Fall mehr eine Zunahme der Spaltweite auftritt.

Bei den Außenmenisci kommt es einmal bei voller Extension und bei einem anderen in maximaler Beugung zu einer leichten Verbreiterung des Spaltes, in beiden Fällen ist der Riss nach der Naht aber insgesamt weniger ausgeprägt als vorher.

Auffällig ist, dass es durch die Naht beim Außenmeniskus in der Hälfte der Fälle zu einer Abnahme der Spaltbreite in der MRT kommt (in einem Fall zu einer leichten Zunahme), beim Innenmeniskus jedoch in zwei Fällen zu einer Zunahme und nur in einem Fall zur Abnahme.

Der Riss zeigt sich beim Außenmeniskus insgesamt im Schnitt viel deutlicher als beim Innenmeniskus.

Wenn man all diese Beobachtungen zusammenfasst, ergibt sich folgendes:

- 1. Beim Außenmeniskus ist der Rissspalt deutlicher zu sehen als beim Innenmeniskus.
- 2. Beim Außenmeniskus nimmt der Rissspalt durch die Naht eher ab, beim Innenmeniskus eher zu.
- 3. Beim Außenmeniskus kommt es vor der Naht weder durch volle Beugung noch durch volle Streckung zu einer Zunahme der Spaltbreite.
- 4. Beim Innenmeniskus kommt es vor der Naht durch volle Streckung zu einer Zunahme der Spaltbreite, durch volle Beugung nicht.
- 5. Nach der Naht kommt es beim Außenmeniskus vereinzelt zur Zunahme der Spaltbreite durch volle Beugung bzw. Streckung.
- 6. Nach der Naht kommt es beim Innenmeniskus nicht mehr zur Zunahme der Spaltbreite durch volle Beugung oder Streckung.

Das kann folgende Gründe haben: Die hohe Mobilität des Außenmeniskus führt bei 45 Grad Beugung und damit eher entspanntem Kapsel-Bandapparat im Fall eines Risses zu einer

größeren Spaltbildung als beim fixierten, unbeweglicheren Innenmeniskus. Entstehen am Meniskus aber in endgradiger Beugung oder Streckung durch die Kapsel und das Femur größere Kräfte, wirkt sich die höhere Beweglichkeit positiv aus.

In maximaler Streckung werden beide Menisci durch das Femur auf dem Tibiaplateau weit nach vorne geschoben, in der Beweglichkeit des Vorderhorns unterscheiden sie sich wenig (39). Gleichzeitig spannt sich die hintere Kapsel maximal an und schränkt das Hinterhorn der Menisci in der Vorwärtsbewegung ein, beim Innenmeniskus viel deutlicher als beim Außenmeniskus. So treten beim Innenmeniskus größere Kräfte auf, der Riss wird auseinandergezogen. Der Außenmeniskus profitiert von der besseren Beweglichkeit seines Hinterhorns.

Warum es durch die Naht bei Bewegung allerdings zu einer relativen Zunahme der Spaltbreite beim Innenmeniskus kommt, kann nicht sicher begründet werden und bedarf eventueller weiterer Untersuchungen. Eine mögliche Ursache ist die zusätzliche Bewegungseinschränkung durch die Naht, die sich beim Innenmeniskus deutlicher auszuwirken scheint.

Insgesamt lässt sich sagen, dass sich die volle Bewegung des Kniegelenks, das heißt sowohl die volle Beugung als auch die volle Streckung, nicht negativ auf den genähten Meniskus im Sinne einer Rissspaltvergrößerung auswirken und so eine Einschränkung des erlaubten Bewegungsausmaßes nach einer Meniskusnaht nicht nötig ist.

Es können jedoch keinerlei Aussagen über den Einfluss der Gewichtsbelastung des Knies auf den genähten Meniskus gemacht werden, die experimentelle Untersuchung beschränkt sich rein auf die Bewegung des Kniegelenks.

Es gibt aber eine Studie von Ganley at al. (40), die sich mit der Belastung des genähten Meniskus beschäftigt. Es wurden künstliche Längsrisse im Hinterhornbereich des Innenmeniskus von sieben Leichenknien erzeugt. In verschiedenen Beugegraden (0, 30 und 60 Grad) wurde das Knie mit Hilfe der MRT untersucht, erst ohne, dann mit einer Last von 50 Kg, die auf das Kniegelenk gebracht wurde. Die gleiche Untersuchung wurde nach Naht der Menisci wiederholt. Es zeigt sich, dass die Last keinen negativen Einfluss auf den genähten Meniskus hat. Allerdings wird bei dieser Studie ein Bewegungsausmaß von über 60 Grad nicht überschritten.

Da also offensichtlich auch eine Belastung des Knies dem Meniskus keinen mechanischen Schaden bringt, spricht nichts gegen ein aggressives, beschleunigtes Rehabilitationsprogramm, das den Patienten sofort nach der Operation eine volle Bewegung und wenigstens eine Teilbelastung des Knies erlaubt. Wie im retrospektiven Teil dieser Studie gezeigt wird, profitieren die Patienten auch auf lange Sicht davon.

Wie sich der genähte Meniskus bei einer Beugung von über 60 Grad und gleichzeitiger Belastung verhält, muss in weiteren experimentellen Studien untersucht werden.

Des weiteren muss beachtet werden, dass der gesamte aktive Stabilisierungsapparat, das heißt die Muskulatur, bei den Präparaten außer Kraft gesetzt ist. So entfällt auch ihr direkter Einfluss auf die Menisci (siehe Kap. 4.5).

Weiterhin bleibt zu klären, ob die Menisci durch das teilweise dreimalige Auftauen und wieder Einfrieren des Kniepräparates strukturelle Schäden erlitten haben könnten. Diese hätten dann gegebenenfalls zu einer Verschlechterung der Ergebnisse geführt, weil sie im letzten Teil der Untersuchungen, also beim Meniskus mit Naht, am stärksten ausgeprägt gewesen wären. Der Rissspalt wäre bei gleicher auf den Meniskus wirkenden Kraft bei einer strukturellen Gewebeschwächung sicherlich größer.

8. Zusammenfassung

In dieser vorliegenden Arbeit wurde zum einen experimentell gezeigt, dass ein uneingeschränkter Bewegungsumfang des Knies auf einen gerissenen und auf einen wieder genähten Meniskus keinen negativen Einfluss hat. Es zeigt sich bei den im MRT untersuchten Innen- und Außenmenisci von 7 Leichenknien weder bei zunehmender bis maximaler Extension noch bei zunehmender bis maximaler Flexion eine Verbreiterung des arthroskopisch künstlich gesetzten und im nächsten Schritt wieder genähten Risses.

Daraus lässt sich schließen, dass es selbst bei voller Beweglichkeit des Knies nicht zu Kräften am oder im Meniskus kommt, die seinen Heilungsprozess stören oder verzögern könnten.

Ein restriktives Nachbehandlungsschema mit postoperativ eingeschränkter Bewegung nach einer Meniskusnaht scheint somit nicht nötig.

Dass eine beschleunigte Rehabilitation nach einer arthroskopischen Kniegelenksoperation erstrebenswert ist, wurde schon in vielen Studien gezeigt, die Meniskusnaht war bisher eine Ausnahme

Zum anderen zeigt auch der statistische Teil der vorliegenden Arbeit, dass eine beschleunigte Rehabilitation nach einer Meniskusnaht mit sofortiger postoperativer Vollbelastung und uneingeschränkter Bewegung des Knies keinen negativen Einfluss auf den Heilungserfolg hat. Die Patienten profitieren sogar davon, vor allem bei einer reinen Meniskusnaht ohne Begleitoperation. Es kommt seltener zu einer postoperativen Bewegungseinschränkung, die Patienten erreichen ein höheres Sportniveau und die Belastbarkeit des Knies in jeder Lebenssituation ist ebenfalls besser.

In Zukunft kann den Patienten also durch eine forcierte Rehabilitation auch eine schnellere Rückkehr zur vollen Aktivität ermöglicht werden. Das wird dem einzelnen Patienten auch die Entscheidung zugunsten einer Meniskusnaht erleichtern und so die Anzahl der nicht unbedingt nötigen Meniskusteilresektionen reduzierten.

9. Ausblick

Die vorliegende Studie kann aufgrund ihrer relativ geringen Fallzahl nur richtungsweisend sein, es bedarf noch groß angelegter, prospektiver Studien mit einer großen Zahl an Patienten, die die Langzeitergebnisse nach einer beschleunigten mit denen nach einer restriktiven Rehabilitation unter gleichen Bedingungen (Art, Ort und Größe des Risses, Nahtmethode und -material, traumatischer / degenerativer Schaden, begleitende Kreuzbandverletzung, Alter des Patienten, Zeitspanne zwischen Verletzung und Operation, präoperatives Sportniveau, vorbestehende Schäden) vergleichen.

Ähnliche Studien wird es auch mit meniskustransplantierten Patienten geben müssen, denn auch hier existiert noch keinen Standard und es entstehen die selben Diskussionen über eine angemessene Nachbehandlung.

Es wird immer auch Fälle geben, in denen der Meniskus so degenerativ verändert ist, dass er nicht erhalten werden kann, deshalb wird es interessant sein zu sehen, welche neuen Methoden des Meniskusersatzes noch entwickelt werden neben der bereits etablierten Methode der Transplantation und der sich noch in der klinischen Erprobung befindlichen Kollagenmeniskus-Implantation. Vielleicht gelingt es eines Tages, ein synthetisches Gewebe zu entwickeln, das den komplizierten mikrobiologischen und biochemischen Eigenschaften des Meniskus so ähnlich ist, dass es seine vielen verschiedenen Aufgaben suffizient übernehmen kann.

Hier gibt es also noch viel Raum für Forschung.

10. Anhang

Legende zur Tabelle "Auswertung Fragebogen":

Meniskusschaden:

AR = Abriss von der Kapsel (kapselnaher Längsriss),

KH = Korbhenkelriss, LAR = Lappenriss, RR = Radiärriss,

VH = Vorderhorn, HH = Hinterhorn, PI = Pars Intermedia,

GA = Ganglion, RES = Resektion, RF = Refixation,

DEGEN = degenerative Veränderung, Zn TRE = Zustand nach Teilresektion

Kreuzbandschaden:

KL = (Fibrin-)Klebung, TR = Teilruptur, N = Naht,

R = Ruptur, E = Ersatz, LAD = Ligament Augmentation Device,

APL = Aplasie, INS = Insuffizienz, ELO = Elongation,

RI = Reinsertion, AU = Augmentation

Knorpelschaden:

TKFR = Tibiakopffraktur, MC = medialer Kondylus,

LC = lateraler Condylus, MTP = mediales Tibiaplateau,

LTP = laterales Tibiaplateau, MP = mediopatellar,

KFR = Knorpelfraktur, RP = retropatellar,

1, 2, 3 = Grad des Schadens: leicht, mittel, schwer

Rehabilitationsschema: siehe Seite 21

Sportniveau:

X = Sportniveau gleich,

Ziffer = Sportniveau um entsprechende Stufen höher / niedriger

Ziffer in Klammern = Sportniveau vor der Verletzung

Bewegungseinschränkung:

B = Beugung, S = Streckung

Belastbarkeit:

X = Belastbarkeit gleich,

Ziffer = Belastbarkeit um entsprechende Stufen höher/niedriger

Auswertung Fragebogen: Patienten mit begleitendem Kreuzbandriss

												Sportniveau		p.o. Bewegungs - Einschränkung		Belastbarkeit							Mit Ergebnis	
	Statistik		Menisk	usschaden	Begleitverletzungen			Reha	Im Alltag		Bei leichter Aktivität					Beim Sport		der OP zufrieden						
Fragebogennummer	Geschlecht	Alter bei OP	Alter bei Befragung	Follow - Up	Aussenmeniskus - Schaden	Innenmeniskus - Schaden	VKB - Schaden	HKB - Schaden	Akuter Knorpelschaden	Chronischer Knorpelschaden	Reha - Schema	Gleich oder höher	Niedrigerals vor der Verletzung	Leicht	Deutlich	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Ja	Nein	
4	Y	28	36	97		AR HH	R E+LAD	ROLL ENG			Α	× [2]				X	1 To	X		X		X		
7	Y	43	50	89		AR HH	R E+LAD				Α	x[2]		В		×		x		×		X		
8	Y	31	37	78		AR HH Zn TRE	R E+LAD			MC MTP RP 2	Α	x [2]		BONE		X		x	DE SIN	X		X		
12	Y	26	32	76		AR HH	R E+LAD				Α	x[1]		?	?	×		X		х		X		
14	X	28	33	56		AR HH	R E+LAD		MC	RP1-2	A		1 [3]	В			1	?	?	?	?		×	
15	X	45		52		AR HH	RE		MC	RP 2	Α	x[2]		В		X		X			1	X		
20	X	31	34	39		AR HH	R RI+AU				A	x [1]					1		1		1	X		
21	X	51		36		AR HH	RE			MC 2, RP 1	Α	x [2]				X			1		1	X		
22	X	55	57	28		KH	RE		MC	RP 2-3	A	1 [1]				X		X		X		X		
23	X	24	_	55		AR HH	RE			RP 1	B1	1 [1]		В		X		X			1	X		
24	X	34	38	52	NAME OF STREET	AR PI	RE				B2		1 [2]			X	54.5	X			1	X		
25	X	23	_	50	LR HH	KH	RE		MC		B2		1 [3]	В		X		X			1	X		
27	X	46		49		KH	RE		MC	RP3	B2	x [2]				X		X		X		X		
29	X	20	_	49	KH		RE				B2		1 [3]	В		X		Х		X		X		
30	Y	33		45	Columbia and Silvania	KH	RE				B2		1 [2]	В		X	UNITED S	X		X		X		
32	Y	31		33	DEGEN	KH	RE			RP 1	B2		1 [2]	В		X			2		2	?	?	
35	Y	34		29	KH	LAR HH, Res	RE	(sp. Res.,	<u>Arztwechsel)</u>	RP 1	<u>B2</u>		2 [2]		B+S		1		2		3		X	
38	X	53		28		AR HH	R		MC 2-3	RP 1	B2	x [2]				×		X		X		X		
40	X	50		13	KH	Zn Subtotal, Res	RE		LC, LTP3	MC, MTP 3	B2	x [3]				1		1		1		X		
42	X	28		75		AR HH LAR RES	R E+LAD				B3	x[1]				X		Х		×		Х		
44	Y	30	_	73		KH	R E+LAD				B3	x [2]		B+S		X			1		1	X	EM 100	
45	X	27	_	53		AR PI		RN			B3	1 [1]				X		Х		X		X		
46	X	48		42		AR HH	R RI+AU				B3	x [2]			And the second		1	X		X		X	10000	
49	X	26		40		AR HH	R RI+AU			RP 1-2	B3	x [2]			В	X		X		Х		Х		
52	X	37		113		AR HH	R E+LAD			RP 1-2	С		1 [2]		Element All		1		1		1	X		
53	Y	29		75		AR HH	R E+LAD				С	x [2]				X		X		X		X		
56	Y	19		66	Existence (E.M.)	AR HH	R E+LAD	TRN		RP1	С		1 [3]			X		X			1	X	100000	
57	Y	19	_	98	-	AR PI	R E+LAD		MC		D	2 [1]				X			1		1	X		
59	Y	15	_	91		AR HH	R E+LAD			MODIFICATION IN	D	x [3]			FRIENDS AND	X	KUT DES	X	ACCEPTED IN	X	W/45000	X	1000000	
62	X	25	_	77		AR HH	R E+LAD	70.01			D	1 [1]	4 101			X		×	-	X		X		
64	X	43	_	76	SHOW THE PROPERTY.	AR HH	R E+LAD	TRRI	110		D	101	1 [2]			X			1		1	X		
65	X	17	_	41		KH	R RI+AU		MC		D	x [3]	Name and Address of the Owner, where the Owner, which the Owner, where the Owner, which the			×		X		X		X		
66	X	35		102	1711	AR PI	R E+LAD		d samuel desired in the second	DE PERSONNEL	E	× [1]		Manufacture Tele		X		X	-		1	X		
67	X	16	_	65	KH	KH	R			200	E	1 [1]				X			1		1	X		
72	X	53	55	28	LR HH belassen	AR HH	RE			RP3	E	x [2]			P. State St.	X		X		X		X		

Auswertung Fragebogen: Patienten mit isoliertem Meniskusschaden

											D.1.			p.o. Bewegungs -		Belastbarkeit						Mit Ergebnis	
	Statistik				Menisk	cusschaden	Begleitverletzungen				Reha	Sportniveau		Einschränkung		Im Alltag		Bei leichter Aktivität		Beim Sport		der OP zufrieden	
Fragebogennummer	Geschlecht	Alter bei OP	Alter bei Befragung	Follow - Up	Aussenmeniskus - Schaden	Innenmeniskus - Schaden	VKB - Schaden	HKB - Schaden	Akuter Knorpelschaden	Chronischer Knorpelschaden	Reha - Schema	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Leicht	Deutlich	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Gleich oder höher	Niedriger als vor der Verletzung	Ja	Nein
28	Y	29	34	66		RES HH; AR VH	INS		ME SET	MC MTP RP 3	Α	1 [1]				X		X			1	X	
34	Υ	49	54	55		AR HH	INS		MC	RP 1-2	Α	x [2]				×		х		×		x	
37	Y	32	36	53		AR HH					Α	× [2]				×		X		X		X	
47	Υ	36	40	49		AR VH	TR, ELO		MC 2		Α		1 [2]			×		х		×		×	
48	Y	25	29	45	KHHH				LC	RP1	A	x [2]				X		X		X		x	Blan
58	Y	23	26	38	LAR(RES), RR				LC, LTP		Α		1 [4]		S	х		X		1		x	
60	X	39	42	35		GA HH, RES+RF					A	x [2]				X		X		X		X	
61	Х	59	62	34	DEGEN	AR HH			MC 2,MTP	RP 3+	Α	x [2]				x		х		×		X	
71	Y	44	45	15		LAR VH,RES+RF PI				MC, MTP	A	x [2]		В		X			1		1	X	
31	Y	44	49	57		KH HH	TR				Α	× [2]				×		×		×		X	
69	Y	49	51	19		GA PI, R+RF				RP 2	Α	x [2]				×		X		X		X	
39	Х	27	31	53		AR PI				RP 2	B2	x[1]				×		х		х		X	
41	Y	27	31	52		<u>KH</u>		(sp. Ti	R des KH)	RP 1	B2											A CONTRACTOR	X
43	Y	26	30	51		AR HH					B2	x [2]		S		×		X		×		×	
50	Y	31	35	44		KH					B2	x [2]				X		X		X		X	
	Х	13	17	43		AR HH	ELO			RP 2	B2		1 [3]	В		X			1	?	?	X	
54	Y	23	26	41		KH	TR?				B2		4 [4]	B+S		X		X		X		X	
63	Υ	28	31	32		KH	ELO				B2	x [2]				2		1		2		X	
70	Y	30	31	15	КН						B2	×[1]				X		X		X		X	
73	X	43	44	11	AR Discoid!		Zn RI+AU				B2	x [2]		_			0-1		0-1		0-1	X	
33	Y	47	52	55		RES LAR KH HH			MTP	RP3	B3		1 [3]	В		X		X			1	X	
36	Y	23	27	54	451111	KH HH-VH			MP-KFR	5510	B3	701	2 [3]	В		X		X			1	×	
10	Y	20	28	97	AR HH	ADIIII				RP 1-2	C	x [3]	4.701	W.EASTARS	N5/841/2	X	1	X		X	-	X	
11	_	16	24	97		AR HH			MC			[0]	1 [2]				1		1		2	X	
16	X	43	40 50	89 89		AR HH AR HH	TR	ELO	MC	RP1	C	x [2]		B+S		1 1		X	ALC: TEGE	X 1	-	X	
	Y		31	88		Zn TRE AR HH	IR	ELU			C	x [2]		B+5				X	20 mm			X	
18 68	X	24	43	24		LAR HH.RES+RF PI			MC . MTP	RP 1-2	C	x [3] x [1]				X	2	X	2	X	2	X	-
2	Ŷ	15	25	115		AR VH		- 1	6 Mon. sp. TF		D	X[I]	1 [2]	В	CONTRACTOR OF THE PARTY OF THE		1		2	1000000	1	X	· ·
26	X	13	19	73		KH	APL	(3 Mon. sp. Res. des KH)		D	NEW COLUMN	114									2	2	
1	Y	25	35	115		AR HH	TRKL	IO IVI	T op. 1103. 0	007(17)	E	× [2]		0-1 B		X			0-1		1	×	-
5	X	51	60	112		AR PI	INTE		MC	RP 1-2	E	1 [1]		0.10	-	X			1		1	X	
6	Y	15	24	105	AR VH	ANTI			MO	111111111111111111111111111111111111111	E		1 [3]			×		×		X		×	
13	Y	22	30	94	7.11, 61,	AR PI	TR N+KL	ELO			E	x [2]	. [0]			×		×		X		×	
19	X	20	27	86		AR HH			The same of	DESCRIPTION OF THE PERSON OF T	E	1	2 [3]	В		X			1		1	Y	

11. Literaturverzeichnis

- 1. Ahmed AM, Burke DL: In vitro measurement of static pressure distribution in synovial joints, part 1: tibial surface of the knee. *J Biomech Eng* 105: 216 225, 1983
- 2. Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Burgaard P, Joergensen U, Toerholm C: The arrow versus horizontal suture in arthroscopic meniscus repair. A prospective randomised study with arthroscopic evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7(5): 268 273, 1999
- 3. Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Tormala P: Meniscus bucket-handle fixation with an absorbable Biofix tack: development of a new technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1(2): 104 –106, 1993
- 4. Annandale T: An operation for displaced semilunar cartilage. *Br Med J* 1: 779. 1885
- 5. Arnoczky SP, Adams ME, Mow V, DeHaven K, Eyre D: The meniscus. In: Buckwalter Jr. JA, Woo SL-Y, eds. The injury and repair of musculoskeletal soft tissue. Park Ridge, IL: Am Acad Orthop Surg 487 537, 1988
- 6. Arnoczky SP, Warren RF, Spivak JM: Meniscal repair using an exogenous fibrin clot. An experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg* 70A: 1209 1217, 1988
- 7. Arnoczky SP, Warren RF, McDevitt CA: Meniscal replacement using a cryopreserved allograft. *Clin Orthop* 252: 121 128, 1990
- 8. Arnoczky SP, Warren RF: Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med* 10: 90 95, 1982
- 9. Arnoczky SP, Warren RF: The microvasculature of the meniscus and its response to injury an experimental study in the dog. *Am J Sports Med* 11: 131 141, 1983
- 10. Aspden RM, Yarker YE, Hukins DWL: Collagen orientations in the meniscus of the knee joint. J *Anat* 1240: 371 380, 1985
- 11. Barber FA, Click SD: Meniscus repair rahabilitation with concurrent anterior cruciate reconstruction. *Arthroscopy* 13(4): 433 437, Aug. 1997
- 12. Barber FA, Herbert MA: Meniscal repair devices. Arthroscopy 16(6): 613 618, 2000
- 13. Barber FA, Stone RG: Meniscal repair using an arthroscopic technique. *J Bone Joint Surg Br*. 67: 39 41, 1985
- Barber FA: Accerlerated rehabilitation for meniscus repairs. Arthroscopy 10(2): 206 210,
 Apr. 1994
- 15. Barrett GR, Richardson K, Koenig V: T-Fix endoscopic meniscal repair: Technique and approach to different types of tears. *Arthroscopy* 11(2): 245 251, 1995
- Becker R, Schroder M, Starke C, Urbach D, Nebelung W: Biomechanical investigations of different meniscal repair implants in comparison with horizontal sutures on human meniscus. *Arthroscopy* 17(5): 439 – 444, 2001

- 17. Blankevoort L, Huiskes R, de Lange A: The envelope of passive knee joint motion. *J Biomech* 21(9): 705 720, 1988
- 18. Bourne RB, Finlay JB, Papadopoulos P, Andreae P: The effect of medial meniscectomy on strain distribution in the proximal part of the tibia. *J Bone Joint Surg* 66A: 1431 1437, 1984
- 19. Brantigan OC, Voshell AE: The mechanics of the ligaments and menisci of the knee joint. *J Bone Joint Surg* 23A: 44 50, 1941
- 20. Bruns J, Kampen J, Kahrs J, Plitz W: Autogener Meniskusersatz mittels Rippenperichondrium. Orthopäde 29: 145 150, 2000
- 21. Bullough PG, Maneura L, Murphy J, Weinstein AM: The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure. *J Bone Joint Surg* 52B: 564 570, 1970
- 22. Canham W, Stanish W: A study of the biological behavior of the meniscus as a transplant in the medial compartment of a dog's knee. *Am J Sports Med*. 14(5): 376 379, 1986
- Cannon WD Jr, Vittori JM: The incidence of healing in arthroscopic meniscal repairs in anterior cruciate ligament-reconstructed knees versus stable knees. Am J Sports Med 20(2): 176-181, Mar-Apr 1992
- 24. Cannon WD: Arthroscopic meniscus repair. In: McGinty J. ed. *Operative arthroscopy*. New York: Raven Press, 237 251, 1991
- 25. Cox JS, Nye DE, Schaefer WW, Woodstein IJ: The degenerative effects of partial and total resection of the medial meniscus in dog's knees. *Clin Orthop Rel Res* 109: 178 183, 1975
- 26. Dandy DJ, Jackson RW: The diagnosis of problems after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 57B: 349 352, 1975
- 27. DeHaven KE: Peripheral meniscal repair: an alternative to meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 63B: 463, 1981
- 28. DePalma AF: Diseases of the knee: management in medicine and surgery. Philadelphia: Lippincott, 1954
- 29. Elmer RM, Moskowitz RW, Frankel VH: Meniscal regeneration and post meniscectomy degenerative joint disease. *Clin Orthop Rel Res* 124: 304 310, 1977
- 30. Eyre DR, Wu JJ: Collagen of fibrocartilage: a distinctive molecular phenotype in bovine meniscus. FEBS Lett 158: 265 270, 1983
- 31. Fairbank FJ: Knee joint changes after meniscectomy. J Bone Joint Surg. 30B: 664 700, 1948
- 32. Ferrer-Roca O, Vilalta C: Lesions of the meniscus. Part I: Macroscopic and histologic findings. *Clin Orthop.* 146: 289 300, 1980
- 33. Fick RA: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln. Gustav Fischer Jena, 1910
- 34. Fithian DC, Kelly MA, Mow VC: Material properties and structure-function relationships in the menisci. *Clin Orthop Rel Res* 252: 19 31, 1990

- 35. Fithian DC, Schmidt MB, Ratcliffe A, Mow VC: Human meniscus tensile properties: regional variation and biochemical correlation. *Trans Orthop Res Soc* 14: 205, 1989
- 36. Fox JM, Blazina ME, Carlson GJ: Multiphasic view of medial meniscectomy. *Am J Sports Med* 7: 161 164, 1979
- 37. Fox JM, Rintz KG, Ferkel RD: Trephination of incomplete meniscal tears. *Arthroscopy* 9(4): 451 5, 1993
- 38. Friederich NF, O'Brien WR: Funktional anatomy of the meniscofemoral ligaments. Presented at the Fourth Congress of the European Society for Knee Surgery and Arthroscopy, Jena, 1990
- 39. Fu FH, Thompson WO: Motion of the Meniskus During Knee Flexion. *Knee Meniskus: Basic and Clinical Foundations* (Mow vC, Arnoczky SP, Jackson DW), Raven Press, New York, 1992
- 40. Ganley T, Arnold C, McKernan D, Gregg J, Cooney T: The impact of loading on deformation about posteromedial meniscal tears. *Orthopedics* 23(6): 597 601, Jun. 2000
- 41. Garrett JC, Steensen RN: Meniscal transplantation in the human knee: a preliminary report. *Arthroscopy* 7: 57 – 62, 1991
- 42. Gershuni DH, Skyhar MJ, Danzig LA, Camp J, Hargens AR, Akeson WH: Experimental models to promote healing of tears in the avascular segment of canine knee menisci. *J Bone Joint Surg* 71A: 1363 1370, 1989
- 43. Ghadially FN, Wedge JH, Lalonde JM: Experimental methods of repairing injured menisci. *J Bone Joint Surg* 68B: 106 110, 1986
- 44. Ghardially FN, Lalonde JM, Wedge JH: Ultrastructure of normal and torn menisci of the human knee joint. *J Anat* 136: 773 791, 1983
- 45. Hayhurst J: Endoscopic meniscal repair using the T-Fix. Technical bulletin. Acufex Microsurgical, Inc.
- 46. Heller L, Langman J: The meniscofemoral ligaments of the human knee. *J Bone Joint Surg* 46B: 307 313, 1964
- 47. Henning CE, Lynch MA, Clark JR: Vascularity for healing of meniscus repairs. *Arthroscopy* 3: 13 18, 1987
- 48. Henning CE, Lynch MA, Yearout KM, Vequist SW, Stallbaumer RJ, Decker KA: Arthroscopic meniscal repair using an exogenous clot. *Clin Orthop* 252: 64 70, 1990
- 49. Hsieh H-H, Walker PS: Stabilising mechanisms of the loaded and unloaded knee joint. *J Bone Joint Surg* 58A: 87 93, 1976
- 50. Huson A: Biomechanische Probleme des Kniegelenks. Orthopäde 3: 119 129, 1974
- 51. Jackson DW, McDevitt CA, Simon TM, et al: Meniscal transplantation using fresh and cryopreserved allografts: an experimental study in goats. *Am J Sports Med* 20: 644 656, 1992
- 52. Jackson JP: Degenerative changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 49B: 584, 1967

- 53. Jackson RW, Dandy DJ: Partial meniscectomy. J Bone Joint Surg 58B: 142, 1976
- 54. Jitsuiki J, Ochi M, Ikuta Y: Meniscal repair enhanced by an interpositional free synovial autograft: an experimental study in rabbits. *Arthroscopy* 10(6): 659 666, 1994
- 55. Johnson L: Arthroscopic surgery: principles and practice, 3rd ed. St. Louis: Mosby 1034 1037, 1986
- 56. Johnson RJ, Kettlekamp DB, Cark W, Leaverton P: Factors affecting late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 56A: 719 729, 1974
- 57. Kapandji IA: The physiology of the joints, vol II. Edinburgh. London: Churchill Livingstone, 1970
- 58. Kelly MA, Fithian DC, Chern KY, Mow VC: Structure and function of the meniscus: basic and clinical implications. In: Mow VC, Ratcliffe A, Woo SL-Y, eds. Biomechanics of diarthrodial joints, vol.1. New York: Springer-Verlag, 191 211, 1990
- 59. King D: The function of the semilunar cartilages. J Bone Joint Surg 18: 1069 1076, 1936
- 60. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG: Mechanical changes in the knee joint after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 58A: 599 604, 1976
- 61. Kurosawa H, Fukubayashi T, Bakajima H: Load bearing mode of the knee joint: physical behaviour of the knee joint with or without menisci. *Clin Orthop Rel Res* 149: 283 290, 1980
- 62. Last RJ: The popliteus muscle and the lateral meniscus. J Bone Joint Surg 32B: 93 99, 1950
- 63. Lee BY, Jee WH, Kim JM, Kim BS, Choi KH: Incidence and significance of demonstrating the meniscofemoral ligament on MRI. *Br J Radiol* 73(867): 271 274, 2000
- 64. Levi IM, Torzilli PA, Warren RF: The effect of medial meniscectomy on anterior-posterior motion of the knee. *J Bone Joint Surg* 64A: 883 888, 1982
- 65. Lynch MA, Henning CE, Glick KR Jr.: Knee joint surface changes: Long term follow-up meniscus tear treatment in stable anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop* 172: 142 153, 1983
- Mariani PP, Santori N, Adriani E, Mastantuono M: Accelerated rehabilitation after arthroscopic meniscal repair: a clinical and magnetic resonance imaging evaluation. *Arthroscopy* 12(6): 680 686, Dec. 1996
- 67. Markolf KL, Bargar WL, Shoemaker SC, Amstutz HC: The role of joint load in knee stability. *J Bone Joint Surg* 63A: 570 – 585, 1981
- 68. Markolf KL, Kochan A, Amstutz HC: Measurement of knee stiffness and laxity in patients with documented absence of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg* 66A: 242 253, 1984
- 69. McGinty JB, Guess LF, Marvin RA: Partial or total meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 59A: 763 766, 1977
- 70. Menschik A: Mechanik des Kniegelenks Teil 1. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 112(3): 481 495, 1974

- 71. Menschik A: Mechanik des Kniegelenks Teil 2: Die Endrotation. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 113(3): 388 400, 1975
- 72. Metcalf RW, Coward DB, Rosenberg TD: Arthroscopic partial meniscectomy. A five year follow up study. *Orthop Trans* 7: 5404, 1983
- 73. Milachowski KA, Weismeier K, Erhardt W, Ramberger K: Meniscus transplantation animal experiment study. *Sportverletz Sportschaden* 1(1): 20 24, 1987
- 74. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ: Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results. *Int Orthop* 13(1): 1 11, 1989
- 75. Morgan C, Casscells SW: Arthroscopic meniscus repair: a safe approach to the posterior horn tear. *Arthroscopy* 2(1): 3 11, 1986
- 76. Morgan CD, Wojtys EM, Casscells CD, Casscells SW: Arthroscopic meniscal repair evaluated by second -look arthroscopy. Am J Sports Med 19: 632 638, 1991
- 77. Morgan CD: The "all inside" meniscus repair. Arthroscopy 7: 120 125, 1991
- 78. Mow V, Fithian DC, Kelly MA: Fundamentals of articular cartilage and meniscus biomechanics. In: Ewing JW, ed. Articular cartilage and knee joint function. New York: Raven Press 1 18, 1989
- 79. Muller W: The knee: form, function, and ligament reconstruction. New York: Springer-Verlag, 8 115, 1982
- 80. O'Connor RL: Arthroscopy. Philadelphia: Lippincott, 43 71, 1977
- 81. Okuda K, Ochi M, Shu N, Uchio Y: Meniscal rasping for repair of meniscal tear in the avascular zone. *Arthroscopy* 15(3): 281 286, 1999
- 82. Port J, Simon TM, Jackson DW: Preparation of an exogenous fibrin clot. *Arthroscopy* 11(3): 332 337, 1995
- 83. Poynton AR, Javadpour SM, Finegan PJ, O'Brien M: The meniscofemoral ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 79(2): 327 330, 1997
- 84. Rimmer MG, Nawana NS, Keene GC, Pearcy MJ: Failure strengths of different meniscal suturing techniques. *Arthroscopy* 11(2): 146 150, 1995
- 85. Rodkey WG, Steadman JR, Li ST: A clinical study of collagen meniscus implants to restore the injured meniscus. Clin Orthop (367 Suppl): 281 291, Oct. 1999
- 86. Rosenberg TD, Scott SM, Coward DB, et al.: Arthroscopic meniscal repair evaluated with repeat arthroscopy. *Arthroscopy* 2:14 20, 1986
- 87. Schmid MB, Schoonbeck JM, Mow VC, Eyre DR, Chun LE: The relationship between collagen cross-link and the tensile properties of articular cartilage. *Trans Orthop Res Soc* 12: 134, 1987
- 88. Scott GA, Jolly BL, Henning CE: Combined posterior incision and arthroscopic intra-articular repair of the meniscus. *J Bone Joint Surg* 68A: 847 861, 1986

- 89. Seale KS, Haynes DW, Nelson CL, McLeod PC, Gardes MH: The effect of meniscectomy on knee stability. *Trans Orthop Res Soc* 236, 1981
- 90. Seedholm BB, Hargreaves DJ: Transmission of the load in the knee joint with special reference to the role of the menisci. *Eng Med* 8: 220 228, 1979
- 91. Shaer H: Der Meniskusschaden. Leipzig: Georg Thieme: 9 15, 1938
- 92. Shapeero LG, Dye SF, Lipton MJ, Gould RG, Galvin EG, Genant HK: Functional dynamics of the knee joint by ultrafast, cine-CT. *Invest Radiol* 23(2): 118 123, 1988
- 93. Shapiro F, Glimcher MJ: Induction of osteoarthrosis in the rabbit knee: histologic changes following meniscectomy and meniscal lesions. *Clin Orthop Rel Res* 147: 287 295, 1980
- 94. Shelbourne KD, Nitz P: Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruktion. *Am J Sports Med* 18(3): 292 299, 1990
- 95. Shelbourne KD, Patel DV, Adsit WS, Porter DA: Rehabilitation after meniscal repair. *Clin Sports Med* 15(3): 595 612, Jul.1996
- 96. Shelbourne KD, Rask BP: The sequelae of salvaged nondegenerative peripheral vertical medial meniscus tears with anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 17(3): 270 274, 2001
- 97. Shirakura K, Niijima M, Kobuna Y, Kizuki S: Free synovium promotes meniscal healing. Synovium, muscle and synthetic mesh compared in dogs. *Acta Orthop Scand* 68(1): 51 54, 1997
- 98. Shoemaker SC, Markolf KL: The role of the meniscus in the anterior-posterior stability of the loaded anterior cruciate deficient knee. Effects of partial versus total excision. *J Bone Joint Surg* 68A: 71 79, 1986
- 99. Shrive NG, O'Connor JJ, Goodfellow JW: Load bearing in the knee joint. *Clin Orthop Rel Res* 131: 279 287, 1978
- 100. Skaggs DL, Mow VC: Function of radial tie fibres in the meniscus. *Trans Orthop Res Soc* 15: 248, 1990
- 101. Stoller DW: Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics and Sports Medicine, Second Edition, Lippincott-Raven, Philadelphia, 1997
- 102. Stollsteimer GT, Shelton WR, Dukes A, Bomboy AL: Meniscal allograft transplantation: a 1-to 5-year follow-up of 22 patients. *Arthroscopy* 16(4):343-7, 2000
- 103. Sutton JB: Ligaments: their nature and morphology. London: M. K. Lewis and Co. 1897
- 104. Talley MC, Grana WA: Treatment of partial meniscal tears identified during anterior cruciate ligament reconstruction with limited synovial abrasion. *Arthroscopy* 16(1): 6 10, 2000
- 105. Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF: Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *Am J Sports Med* 19: 210 216, 1991
- 106. Trapper EM, Hoover NW: Late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 51A: 517 526, 1969

- 107. Vander Schilden JL, York JL, Webber RJ: Age-dependent fibrin clot invasion by human meniscal fibrochondrocytes. A preliminary report. *Orthop Rev* 20(12): 1089 – 94, 1096 – 1097, 1991
- 108. Verdonk R, Kohn D: Harvest and conservation of meniscal allografts. *Scand J Med Sci Sports* 9(3):158-9, 1999
- 109. Veth RPH, Den Heeten GJ, Jansen HWB, Nielsen HKL: Repair of the meniscus. An experimental investigation in rabbits. *Clin Orthop Rel Res* 175: 258 262, 1983
- 110. Voloshin AS, Wosk J: Shock absorption of meniscectomized and painful knees: a comparative in vivo study. *J Biomed Eng* 5: 157 161, 1983
- 111. Walker PS, Erkman MJ: The role of the menisci in force transmission across the knee. *Clin Orthop Rel Res* 109: 184 192, 1975
- 112. Wang C-J, Walker PS: Rotatory laxity of the human knee joint. *J Bone Joint Surg* 56A, 161 170, 1974
- 113. Warren RF: Arthroscopic meniscus repair. Arthroscopy, J Arthro Rel Surg 1: 170 172, 1985
- 114. Warren R, Arnoczky SP, Wickiewicz TL: Anatomie of the knee. In: Nicholas JA, Hershman EB, eds. *The lower extremity and spine in sports medicine*. St. Louis: CV Mosby, 657 694, 1986
- 115. Webber RJ, Harris MG, Hough AJ Jr: Cell culture of rabbit meniscal fibrochondrocytes: proliferative and synthetic response to growth factors and ascorbate. *J Orthop Res* 3: 36 42, 1985
- 116. Webber RJ, York L, Van der Schilden JL, Hough AJ Jr: Fibrin Clot invasion by rabbit meniscal fibrochondrocytes in organ culture. *Trans Orthop Res Soc* 12: 470, 1987
- 117. Yamaguchi GT, Zajac FE: A planar model of the knee joint to characterise the knee extensor mechanism. *J Biomech* 22: 1 10, 1989
- 118. Zhang Z, Arnold JA, Williams T, McCann B: Repairs by trephination and suturing of longitudinal injuries in the avascular area of the meniscus in goats. *Am J Sports Med* 23(1): 35 41, 1995
- 119. Zhongan Z, Kaiyuan T, Yinkan X, Wenming Z, Zhentian L, Shihuan O: Treatment of longitudinal injuries in avascular area of meniscus in dogs by trephination. *Arthroscopy* 4: 151 159, 1988

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr. K. Riel für die anfängliche Betreuung und die tatkräftige Unterstützung in der experimentellen Phase der Arbeit bevor aus geographischen Gründen eine Weiterbetreuung nicht mehr möglich war.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr. A. Imhoff für die problemlose Übernahme meiner Doktorarbeit, für die Bereitstellung eines ständigen Ansprechpartners und für die kontinuierliche Betreuung durch die ganze Abteilung im Rahmen der regelmäßigen Doktorandentreffen.

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. P. Weiß, der für über ein Jahr mein ständiger, geduldiger Ansprechpartner war und mir in vieler Hinsicht bei formellen und inhaltlichen Fragen zur Seite stand.

Vielen Dank auch an Herrn OA Dr. Pickel, der mir von radiologischer Seite mit großem zeitlichem und persönlichem Aufwand bei der Erstellung der MRT-Bilder und bei der experimentellen Planung behilflich war.

Ein weiterer großer Dank gebührt der RTA Frau G. Kammermeier, ohne deren stundenlange Anwesenheit meist zu später Stunde die Erstellung der MRT-Bilder gar nicht möglich gewesen wäre.

Mein Dank gilt auch den OÄ Herrn Dr. V. Martinek und Herrn Dr. A. Burkart für die Leitung der Doktorandentreffen, in deren Rahmen man immer wieder motiviert und zur Weiterarbeit angetrieben wurde, was meist auch nötig war.

Am Schluss möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Eltern bedanken, die es mir durch jahrelange finanzielle und mentale Unterstützung ermöglichten, neben dem Studium und der Doktorarbeit genügend Zeit für den mir sehr wichtigen regelmäßigen Sport zu finden.