Bundeswehrkrankenhaus Ulm

Abteilung Chirurgie

Leiter: Prof. Dr. H. Gerngroß

Bewegungsschienen in der Nachbehandlung von Patienten mit vorderem Kreuzbandersatz – Ein Vergleich einer aktiven mit einer passiven Schiene

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Christian Bach

München

2004

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. C. Willy

2. Berichterstatter: Prof. P. Augat

Tag der Promotion: 20.01.06

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung S. 5
2. Grundlagen der Propriozeption des Kniegelenks S. 7
3. Material und Methode S. 10
   - Versuchsdurchführung S. 12
   - Ein- und Ausschlusskriterien S. 15
   - Operation S. 16
   - Begleitmedikation und Krankengymnastik S. 16
   - Schienenbehandlung S. 17
   - Statistische Auswertung – Winkelreproduktionstest S. 18
   - Statistische Auswertung – Nebenzielgrössen S. 18
   - Begutachtung durch die Ethikkommission der Universität Ulm S. 19
4. Ergebnisse S. 19
   - Patientengut S. 19
   - Therapieabbrecher S. 23
   - Dauer der postoperativen stationären Behandlung mit den Bewegungsschienen S. 23
   - Visuelle Analogskala S. 24
   - Bewegungsumgang S. 25
   - Sonografische Ergussbestimmung S. 27
   - Muskelumfänge S. 28
   - Ergebnisse Winkelreproduktionstest S. 31
5. Diskussion S. 45
   - Ursachen der Verbesserung der Propriozeption in der ersten postoperativen Woche S. 48
   - Bewertung Test S. 52
   - Bedeutung der Ergebnisse und offene Fragen S. 54
   - Schlussfolgerung S. 55
6. Zusammenfassung S. 56
7. Literaturverzeichnis S. 58

Abkürzungsverzeichnis

ACL:	Anterior Cruciate Ligament
BTB-Plastik:	Bone-Tendon-Bone-Plastik
CAM:	Controlled Active Motion
CPM:	Continuous Passive Motion
EMG:	Elektromyographie
LAN:	Lateral articular nerve
MAN:	Medial articular nerve
PAN:	Posterior articular nerve
Op:	Operation
STG-Plastik:	Semitendinosus-Gracilis-Plastik
TDPM:	Threshold to Detect Passive Motion
VAS:	Visuelle Analogskala
VKB:	Vorderes Kreuzband
WRT:	Winkelreproduktionstest
ZNS:	Zentrales Nervensystem

Einleitung

Nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes wird die physiologische Funktion des Kniegelenks durch die resultierende Instabilität erheblich beeinträchtigt. Diese besteht aus zwei Komponenten, nämlich einer mechanischen und einer funktionellen Instabilität.

Die mechanische Instabilität ist das Ergebnis einer vermehrten anterioren Translation der Tibia, deren Ausmaß klinisch mit dem Lachmann-Test festgestellt und mit dem KT-1000-Arthrometer oder sonografisch/radiologisch quantitativ bestimmt werden kann.

Die funktionelle Instabilität beruht auf einer Zerstörung der Rezeptoren im vorderen Kreuzband. Dadurch entsteht ein Defizit in den propriozeptiven Fähigkeiten des Kniegelenks, welches eine eingeschränkte sensomotorische Steuerung der das Kniegelenk umgebenden Muskulatur verursacht. Für die Messung der funktionellen Instabilität existieren verschiedene sog. Propriozeptionstests, u.a. wie ein in dieser Studie verwendeter Winkelreproduktionstest, wobei keine dieser Untersuchungsmethoden im klinischen Alltag Anwendung findet.

Beide Komponenten der Instabilität machen sich für den Patienten als subjektive Instabilität bemerkbar, die individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Allerdings besteht zwischen mechanischer und subjektiver Instabilität keine Korrelation, d.h. ein Patient kann klinisch (=mechanisch) minimal, aber subjektiv maximal instabil sein (und umgekehrt). Andrerseits korrelieren in sehr hohem positivem Maß propriozeptive Fähigkeiten und subjektives Empfinden (3, 5, 23, 26, 35). Die operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes ist aus diesem Grund als alleinige therapeutische Maßnahme von Rupturen nicht ausreichend, wenngleich durch die heutigen Operationsverfahren, vor allem bei der anteromedialen Instabilität, sehr gute mechanische Ergebnisse erzielt werden können. Konsequenterweise findet sich in der aktuellen Literatur fast immer der Hinweis auf die Notwendigkeit eines Propriozeptionstrainings bzw. sensomotorischen Trainings zur Kompensation der funktionellen Instabilität (8, 29, 35, 39, 40, 44, 45, 59, 67).

Die hierfür vorgeschlagenen Konzepte, wie z.B. die propriozeptive neuromuskuläre Faszilation (PNF), Koordinationsübungen sowie Balance-Übungen auf dem

Kippbrett, eignen sich aber aufgrund von Schmerzen, intraartikulären Drainagen und fehlender erlaubter Vollbelastung (19, 60) nicht für die unmittelbar postoperative Phase der Behandlung. Zusätzlich kommen in der Nachbehandlung meist passive Bewegungsschienen („continuous passive motion“, CPM-Schiene) in der ersten postoperativen Woche zum Einsatz, die in erster Linie zur Wiederherstellung des früheren Bewegungsumfangs beitragen sollen. Daneben werden Lymphdrainage, isometrische Übungen und gegebenenfalls ein Belastungsaufbau durchgeführt.

Eine neuere Entwicklung stellen aktive Bewegungsschienen („controlled active motion“, CAM-Schiene) dar. Diese erfordern vom Patienten ein aus eigener Muskelkraft der Beine gesteuertes Training des verletzten bzw. operierten Kniegelenks. Bei dieser aktiven Bewegungstherapie ist ein hohes Mass an Koordination notwendig, wodurch die inter- und intramuskuläre Koordination trainiert wird. Ausserdem wird dadurch ein funktioneller Reiz gesetzt, wodurch wiederum zentral gesteuerte Bewegungsmuster günstig beeinflusst werden können. Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass es sich um Übungen in einer geschlossenen kinetischen Kette handelt, so dass die Ersatzplastik während des Trainings keiner Zugbelastung ausgesetzt ist. Hierdurch ist ein unmittelbar postoperativer Behandlungsbeginn möglich.

Unklar ist, ob aktive Bewegungsschienen einen positiven Einfluss auf die propriozeptiven Fähigkeiten des Kniegelenks ausüben, und somit schon unmittelbar postoperativ die Therapie der funktionellen Instabilität eingeleitet werden kann.

Daraus ergibt sich folgende Fragestellung:

Kann das propriozeptive Defizit nach Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes in der ersten postoperativen Woche durch die Anwendung einer aktiven Bewegungsschiene (CAM-Schiene) im Vergleich zur Anwendung mit einer passiven Bewegungsschiene (CPM-Schiene) signifikant verbessert werden?

Grundlagen der Propriozeption des Kniegelenks

Definition der Propriozeption

Unter Propriozeption versteht man eine spezielle Sinneswahrnehmung, die sich sowohl auf die Gelenkbewegung (Kinesthäsie) als auch auf die Gelenkstellung bezieht (Stellungssinn).

Wie in Abbildung Nr. 1 veranschaulicht, sind Rezeptoren aus verschiedenen Strukturen für die propriozeptiven Fähigkeiten des Kniegelenks verantwortlich.

Daraus ist zu erkennen, dass die sensomotorischen Fähigkeiten des Kniegelenks auf einem Zusammenspiel von Afferenzen, zentralem Nervensystem (ZNS) und Efferenzen mit anschließender neuromuskulärer Antwort beruhen, wobei die Verarbeitung der Informationen im ZNS bewusst oder unbewusst erfolgt.

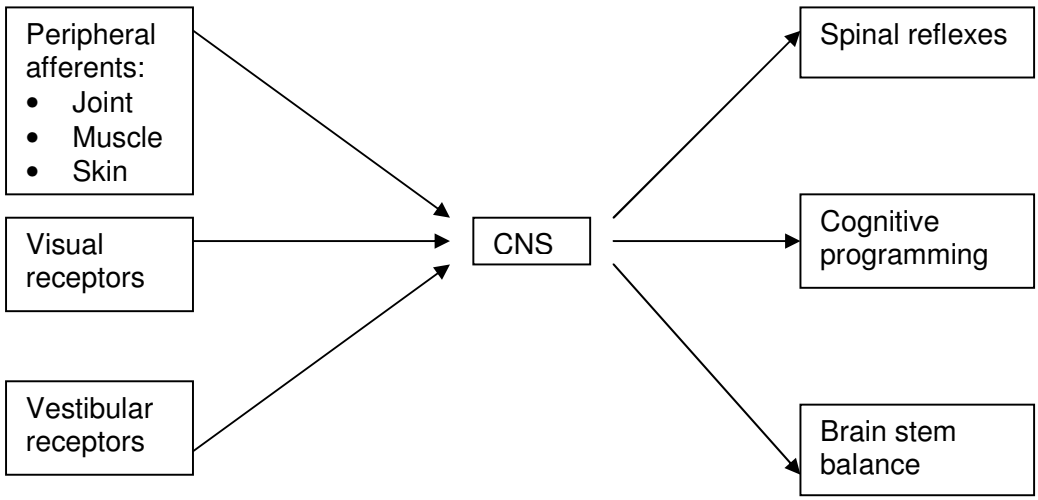

Abb. 1 Neuromuskuläre Steuerung (46), S. 150 (CNS: Central nerve system)

Die afferent-nervöse Versorgung des Kniegelenks leisten 3 Nerven:

- medial articular nerve (MAN) aus dem Nervus obturatorius und Nervus saphenus:

Dieser versorgt die im medialen Kompartiment liegenden Gewebestrukturen, sowie das Ligamentum patellae und den infrapatellaren Fettkörper.

- lateral articular nerve (LAN) aus dem Nervus peroneus:

Er innerviert die Kapsel der Articulatio tibiofibularis, die Pereonealmuskulatur und das laterale Kollateralband.

- posterior articular nerve (PAN) aus dem Nervus tibialis posterior:

Sowohl vorderes als auch hinteres Kreuzband werden vom PAN innerviert. Er ist außerdem an der Innervation beider Kollateralbänder beteiligt. Hinzu kommen noch die posteriore Kapsel, die posterioren Fetteinlagerungen, das Ligamentum popliteum obliquum, Whisberg und Humphrey (20).

Voraussetzung für die Propriozeption ist das Vorhandensein von Rezeptoren.

Extraartikulär stellen die Muskelspindeln in der das Kniegelenk umgreifenden Muskulatur den wichtigsten Rezeptortyp dar. Diese besitzen sowohl Afferenzen (Ia-Fasern), welche dynamische und statische Änderungen registrieren, als auch Efferenzen (χ-Fasern), die die Vorspannung der Muskulatur verändern können und dadurch Agonisten und Antagonisten beeinflussen. Die χ-Fasern erhalten ihre Information zusätzlich von zahlreichen anderen Rezeptoren und kutanen Afferenzen. Das bedeutet, dass „jede Schädigung, jede dem Patienten noch unbewußte Affektion (z.B. präarthrotische Gelenkprozesse) und jeder operative Eingriff ... den sensorischen Zustrom und damit die χ-Efferenzen“ verändert.(20, S. 536)

Intraartikulär finden sich 4 verschiedene Rezeptortypen, die von Freeman und Wyke beschrieben wurden.

- Typ 1: Ruffini-Körperchen

Bei diesem Typ von Mechanorezeptoren handelt es sich um langsam adaptierende Zugrezeptoren, die eine niedrige Reizschwelle besitzen.

- Typ 2: Vater-Pacini-Körperchen

Diese Sensoren werden lediglich bei Beschleunigungen oder Verzögerungen aktiviert, wobei die Reizschwelle niedrig und die Adaption schnell ist.

- Typ 3: Golgi-Körperchen und Golgi-Sehnenorgane

Bei den Sehnenorganen handelt es sich um in Serie geschaltete Spannungsmesser der Muskel-Sehneneinheit, die einer Zunahme der Muskelspannung über aktivierte Ib-Afferenzen hemmend entgegenwirken. „Die Muskulatur verfügt damit über 2 Rückkoppelungssysteme, ein Längen-Kontrollsystem mit den Muskelspindeln und ein Spannungs-Kontrollsystem mit den Sehnenorganen als Fühler. Im technischen Sinne sind sie Teil eines Feedback-Systems und Komponenten eines Funktionsmechanismus, der wie ein Regelkreis arbeitet. Afferenzen der Ib-Fasern beeinflussen neben den Motoneuronen der synergistischen und den antagonistischen Muskeln auch Motoneurone, deren Muskeln an anderen Gelenken angreifen.“(20, S. 533)

Allerdings wird den Golgi-Organen keine besondere Bedeutung hinsichtlich einer Schutzfunktion vor biomechanischen Extrembelastungen zugesprochen, da sie bereits bei geringer ligamentärer Spannung aktiviert werden.

- Typ 4: Freie Nervenendigungen

Diese Rezeptoren dienen in erster Linie der Nozizeption, wobei die mechanische Reizschwelle hoch ist. Bei unphysiologischen, das Gelenk belastenden Bewegungsabläufen wird die Schwelle überschritten und die motorischen Abläufe können durch Reflexauslösung geändert werden („giving-way-Phänomen“).

Ein Teil der freien Nervenendigungen besitzt außerdem die Fähigkeit nach Empfang von Schmerzreizen Neuropeptide (Substanz P, Kalzitonin-Gen-verwandtes-Peptid) zu exprimieren, die zu einer Entzündungsverstärkung führen. Zusätzlich werden sog. silent receptors aktiviert, die die Reizschwelle herabsetzen.

Weiterhin beeinflussen freie Nervenendigungen die Muskelfunktion. Ursache hierfür ist die Verbindung der Afferenzen der freien Nervenendigungen mit den χ-Efferenzen der Muskelspindeln. Dies erklärt die häufig nach Kniegelenkstraumata einhergehende Atrophie des Musculus vastus medialis (20, S.534).

Diese Rezeptoren wurden in histologischen Untersuchungen in fast allen Strukturen des Kniegelenks gefunden. Im vorderen Kreuzband sind die Rezeptoren vor allem am femoralen und tibialen Ende lokalisiert (58).

Die propriozeptive Funktion des VKB bewiesen Pitman et al., indem sie intraoperativ das VKB elektrisch reizten und dadurch verursachte kortikale somatosensorische evozierte Potentiale ableiten konnten (57).

Die oben aufgezeigten Grundlagen liefern die Erklärung für das Entstehen eines propriozeptiven Defizits im Kniegelenk nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes:
Die Rezeptoren bzw. die zugehörigen Afferenzen im VKB werden zerstört und dadurch das sensomotorische System in seiner Funktion eingeschränkt. Dies konnte von verschiedenen Autoren mit Hilfe unterschiedlicher Propriozeptionstests nachgewiesen werden (3, 7, 12, 22, 25, 26, 35, 39, 40, 48, 54, 63, 64, 69).
In diesen Untersuchungen zeigte sich entweder eine schlechtere Propriozeption im Vergleich zur gesunden Gegenseite oder zu einem gesunden Probandenkollektiv.

Material und Methode

In der Literatur sind verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der propriozeptiven Fähigkeiten beschrieben. Dabei handelt es sich im wesentlichen um Winkelreproduktionstests (2, 4, 5, 13, 15, 16, 22, 23, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 38, 56, 63, 64), Balance-Tests (31, 39, 40, 67) und EMG-Ableitungen, teils mit Ganganalyse (7, 8, 11, 17, 33, 47, 58) überwiegend der Hamstring-Muskulatur. Außerdem wird häufig als Propriozeptionstest die Fähigkeit des Patienten passive Bewegungen zu erkennen (TDPM) untersucht (2, 3, 12, 24, 25, 26, 41, 42, 44, 48, 53, 54, 55, 61, 63, 64, 65, 69). Allerdings gibt es bei allen Meßmethoden unterschiedliche Versuchsaufbauten und –durchführungen, so dass die Ergebnisse nur eingeschränkt vergleichbar sind.
Für uns war es wichtig, einen Test zu benutzen, der einen einfachen und kurzen Untersuchungsgang beinhaltet und somit die Compliance des Patienten während der Messung erhalten bleibt. Außerdem sollten die Messergebnisse nicht durch Überlagerungseffekte anderer Gelenke beeinflusst werden, wie es z.B. bei den Balance-Tests nicht zu vermeiden ist. Eine weitere Einschränkung war die fehlende Vollbelastung.
Als Prüfkriterium zur Messung der Propriozeption des Kniegelenks fungierte deswegen ein passiver Winkelreproduktionstest.
Die Messanordnung wurde nach dem Modell der von Jerosch et al. (34, 35, 37, 38) verwendeten Schiene gebaut (Abb. 2). Allerdings verzichteten wir auf eine Stützfußkonstruktion, sondern gaben der Schiene den notwendigen Halt, indem wir

sie auf einer Stützplatte befestigten. Dadurch wurde die Schiene durch das Gewicht des Patienten optimal stabilisiert. Die verschiedenen Winkel wurden mit Hilfe eines Elektrogoniometers der Firma Penny & Gilles® eingestellt und gemessen. Dieses Gerät arbeitete mit einer Genauigkeit von 0,5°.

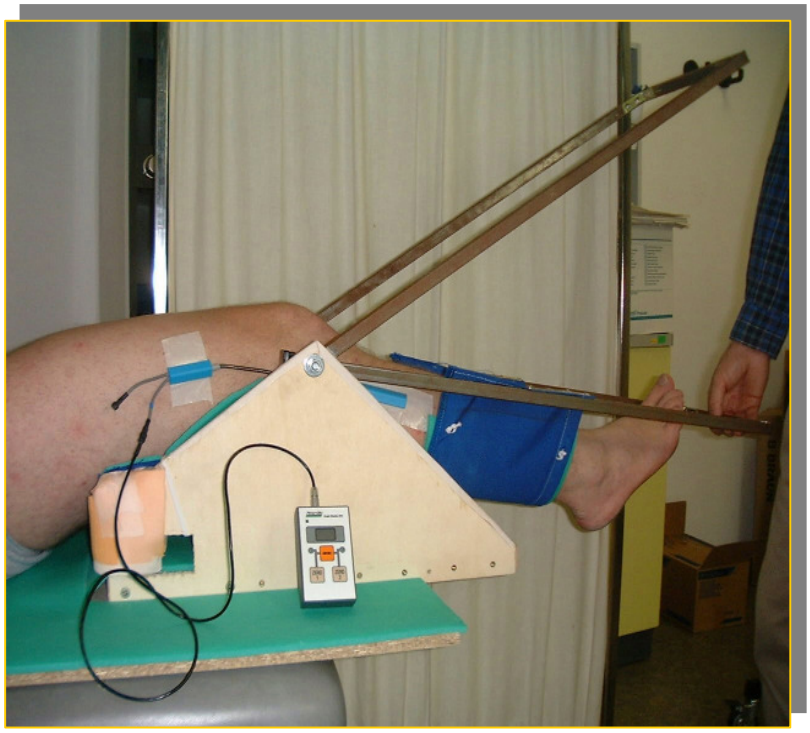

Abb. 2 Winkelreproduktionstest

Das mitgelieferte Tape zum Befestigen der Messblöcke erwies sich, wie bereits bei Jerosch und Mitarbeitern beschrieben, als nicht ausreichend und wurde durch ein Klebeband der Firma Tesa® ersetzt (34, 35, 37, 38).
Die Messungen wurden am entkleideten Bein durchgeführt, um Hautreizungen, die die Propriozeption beeinflussen können, durch Verschiebungen der Kleidung gegenüber der Haut zu verhindern. Ausserdem waren auch die Schlaufen, in denen das Bein lagerte, mit Schaumstoff ausgepolstert, wodurch eine Hautreizung und eine damit verbundene Zusatzinformation für den Patienten minimiert werden konnte. Ab- und Adduktions-, sowie Rotationsbewegungen waren nicht möglich.

Versuchsdurchführung

Bevor das Bein des Patienten in der Schiene gelagert wurde, befestigten wir an diesem die Messblöcke des Elektrogoniometers und ließen die Versuchsperson das Bein langsam bis 90° beugen, um den korrekten Halt dieser zu kontrollieren. Dann erfolgte der Nullabgleich am gestreckten Bein und anschließend die Lagerung in der Schiene.

Die visuellen Reize wurden durch eine Augenbinde eliminiert. Außerdem musste der Proband das zu untersuchende Bein völlig relaxieren, um den Einfluss von Muskel- und Sehnenrezeptoren möglichst gering zu halten.

Für das rechte Kniegelenk wurden folgende Winkel vorgegeben:

15°, 30° und 60°. Am linken Kniegelenk wurden folgende Einstellungen vorgenommen: 10°, 35° und 60°.

Wir wählten wie bei Jerosch et al. (34, 35, 37, 38) für das rechte und das linke Knie unterschiedliche Winkeleinstellungen, um einen Lernerfolg während der Messung zu verringern. Sowohl mit welchem Bein begonnen wurde als auch die Reihenfolge der Winkel wurde variiert.

Durch schnelles Strecken bzw. Beugen des Beins beim Vorgeben des Winkels und langsames Strecken bzw. Beugen des Beins in der Phase des „Wiedererkennens“ wurde der Versuchsperson die Möglichkeit genommen, sich die Position bewusst oder unbewusst über die Dauer der Vorgabe zu merken bzw. wiederzuerkennen (Untersuchungsablauf siehe Tab. 1).

Tab. 1 Durchführung des Propriozeptionstests

Extensionsnahe Winkel (10°, 15°, 30°, 35°)	**Flexionsnahe Winkel (50°, 60°)**
1. Ausgangsposition: 70°	1. Ausgangsposition: 0°
2. Vorgabe des jeweiligen Winkels für 4 Sekunden	2. Vorgabe des jeweiligen Winkels für 4 Sekunden
3. Strecken des Beines bis 0° und anschließende Rückführung in die Ausgangsposition	3. Beugen des Beines bis 70° und anschließende Rückführung in die Ausgangsposition
4. Strecken des Beines bis Patient durch Rufen von „Stop“ signalisiert den Winkel wiedererkannt zu haben	4. Beugen des Beines bis Patient durch Rufen von „Stop“ signalisiert den Winkel wiedererkannt zu haben

Um interindividuelle Unterschiede zu eliminieren, bildeten wir aus den absoluten Abweichungen folgende Seitendifferenzen, die wir als Maß für die propriozeptiven Fähigkeiten des jeweiligen Patienten nahmen (Berechnungsbeispiel siehe Tab. 2):

- 10°-Abweichung versus 15°-Abweichung (= Hauptzielgröße)
- 30°-Abweichung versus 35°-Abweichung oder umgekehrt
- 50°-Abweichung versus 60°-Abweichung oder umgekehrt

Als Hauptzielgröße diente die 10°/15°-Seitendifferenz, da aus funktionellen Überlegungen in diesem extensionsnahen Bereich die Hauptfunktion des vorderen Kreuzbandes liegt. Deswegen findet dieser Bereich die größte Aufmerksamkeit unter den meisten Autoren (5, 12, 16, 22, 24, 35, 42, 43, 46, 54, 61), unabhängig davon, ob sie zur Propriozeptionsmessung einen WRT oder TDPM verwenden.

„In this nearly extended knee position, which is the basis for most weight-bearing activities, patients with symptomatic ACL-deficient knees had an impaired awareness in detecting a passive movement.“ (S. 217; 24)

Tab. 2 Berechnung der Seitendifferenz

Beispiel zur Ermittlung der Seitendifferenz:
Ein Patient reproduzierte mit dem linken Bein 20° anstelle des vorgegebenen 10°-Winkels und mit dem rechten Bein 12° anstatt der vorgegebenen 15°.
Absolute Abweichung links: 20° - 10° = 10°
Absolute Abweichung rechts: 15° - 12° = 3°
Seitendifferenz 10°/ 15°: 10° - 3 °= 7°

Sowohl bei der Bildung der absoluten Abweichungen als auch der Seitendifferenzen wurde immer die kleinere Abweichung von der größeren abgezogen, um keine Differenzen mit negativem Vorzeichen zu erhalten. Wenn die Abweichung auf der gesunden Seite größer war als auf der verletzten bzw. operierten, so wurde dies vermerkt und in die Auswertung mit einbezogen.
Die Untersuchung wurde am Abend vor der Operation und nach erfolgter Schienentherapie am Abend vor der Entlassung durchgeführt.

Als Nebenprüfkriterien kamen folgende Untersuchungen zur Anwendung:

1. Sonografische Ergussbestimmung: Präoperativ, am 2. Tag nach der Operation und am Abend vor der Entlassung wurde das Kniegelenk im Bereich des Recessus suprapatellaris geschallt und ein eventuell vorhandener Erguss dokumentiert (qualitative Bestimmung).
2. Messung der Muskelumfänge: Diese erfolgte 20 cm proximal und 15 cm distal des Kniegelenkspalts. Die normalerweise üblichen Messbereiche 10 cm proximal des Kniegelenks und über dem Gelenksspalt wurde herausgenommen, da bei den verletzten bzw. operierten Beinen Ergüsse und Schwellungen die Umfangsmessungen verfälschten.
3. Messung des Bewegungsumfangs gemäß der Neutral-Null-Methode
4. Visuelle Analogskala zur Erfassung der Schmerzintensität (Skala von 1 bis 10)

Referenzgruppe:

Zur Erhebung von Referenzwerten wurde eine Kontrollgruppe bestehend aus 20 anamnestisch und klinisch kniegesunden Probanden untersucht. Diese Referenzwerte dienten zum einen zum Vergleich mit dem verletzten Patientenkollektiv, zum anderen waren sie für die Berechnung der Fallzahl für CPM- und CAM-Gruppe notwendig. Die Studienpatienten wurden nach folgenden Gesichtspunkten in die Studie aufgenommen bzw. ausgeschlossen.

Einschlusskriterien:

- Schriftliche Einwilligung des Patienten in die Studie
- Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit Indikation zur operativen Versorgung mittels Ersatzplastik
- Alter höchstens 35 Jahre
- kontralaterales Bein gesund

Ausschlusskriterien:

- erforderliche Brace- Versorgung
- Kontraindikation bezüglich Schienenanwendung
- Limitierung der Beweglichkeit durch Operationsverfahren
- Nichteinwilligung
- Postoperativer Infekt, antibiotische Therapie (ausser „single shot“)
- Tiefe Beinvenenthrombose
- Neurologische Erkrankungen
- Metabolische Gefäßerkrankungen mit neurologischer Komponente
- Verletzungen des oberen und/ oder des unteren Sprunggelenkes
- Verletzungen der Hüfte

Operation

Es wurde bei allen Patienten eine autologe Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes entweder mittels dem mittleren Drittel der Patellarsehne (BTB-Plastik) oder der Semitendinosus-Gracilis-Sehne (STG-Plastik) durchgeführt. Patienten, die eine BTB-Plastik erhielten, durften sofort belasten, die mit STG-Plastik mussten zwei Wochen entlasten. Die Eingriffe wurden nur von zwei Chirurgen vorgenommen, so dass ein standardisiertes operatives Vorgehen gesichert war.

Begleitmedikation und Krankengymnastik

Die Patienten erhielten postoperativ die ersten zwei Tage einen Schmerztropf bestehend aus 2,5 g Novaminsulfon® und 100mg Tramadol®. Danach bekamen die Patienten bei Bedarf Novalgintropfen (maximal dreimal täglich 30) und Tramadoltropfen (maximal dreimal täglich 20).

Im Rahmen der krankengymnastischen Nachbehandlung wurden die Patienten gemäß Studienplan zu Übungen angeleitet, die zur Erlangung der vollen Streckung des Kniegelenks notwendig sind. Außerdem wurden Lymphdrainage, isometrische Übungen und ein Belastungsaufbau (nur Patienten mit BTB-Plastik) durchgeführt.

Schienenbehandlung

Die Patienten begannen mit der ihnen zugeteilten Schiene am zweiten postoperativen Tag zu üben. Beide Gruppen wurden aufgefordert täglich 4 Stunden mit der jeweiligen Bewegungsschiene zu trainieren und dies auf einem Protokoll zu dokumentieren.

CPM-Schiene („Continuous Passive Motion“)

Die CPM-Schiene erfordert keine aktive Mitarbeit des Patienten. Die primär korrekte Einstellung der Schiene auf das Bein des Patienten erfolgte am ersten postoperativen Tag durch den Krankengymnasten. Der Patient lagert das operierte Bein in der Motorschiene, welches dann je nach Einstellung (0°-110°) gebeugt und gestreckt wird. Den Patienten wurde gezeigt, wie die Winkelgrade eingestellt werden, so dass eine schrittweise Erhöhung des Bewegungsumfangs bei entsprechender Beschwerdefreiheit des Patienten ständig gewährleistet war. Die Patienten erhielten die Motorschiene von der Firma arthromed®.

CAM-Schiene („Controlled Active Motion“)

Die Behandlung mit der CAM-Schiene erfordert die aktive Mitarbeit des Patienten. Bei der CAM-Schiene handelt es sich um eine Art Tretmaschine, bei der sowohl das operierte als auch das gesunde Bein während der Übung miteinbezogen werden. Es besteht für den Patienten die Möglichkeit, mit dem gesunden das kranke Bein über die Geräteanordnung zu bewegen. In dieser Studie wurden die Patienten allerdings dazu aufgefordert sofort das operierte Bein aktiv mit der gewünschten Geschwindigkeit zu bewegen und nach Möglichkeit mit dem gesunden Bein einen Widerstand aufzubauen, so dass koordinierte Bewegungen durchgeführt wurden. Außerdem konnte der Bewegungsumfang nach eigenem Ermessen kontinuierlich gesteigert werden.

Es handelt sich hierbei also um Bewegungsübungen in der geschlossenen kinetischen Kette, da immer die antagonistische Muskulatur mitaktiviert werden muss. Als aktive Schiene wurde die CAMOPED-Schiene der Firma OPED® verwendet (Abb. 3).

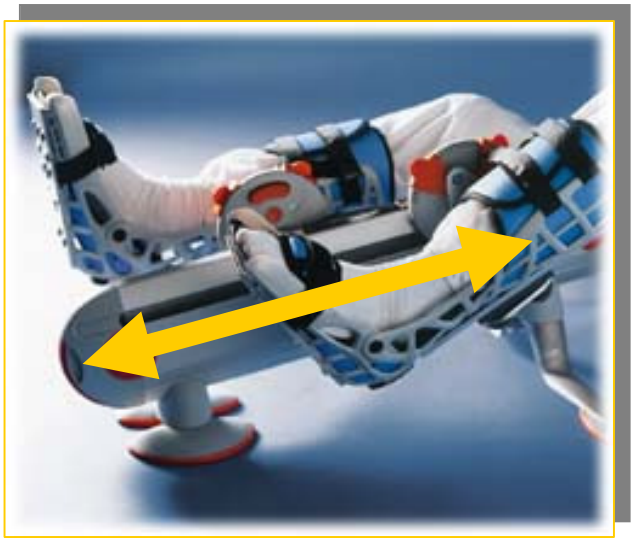

Abb. 3 Aktive Bewegungsschiene

Statistische Auswertung des Winkelreproduktionstests und Randomisierung

Nach Untersuchung und Auswertung der gesunden Kontrollgruppe (n=20) wurde eine Seitendifferenz von 2° zwischen CPM- und CAM-Gruppe als klinisch relevant festgelegt. Eine Gruppenstärke von jeweils 29 wurde benötigt, um oben genannten Unterschied mit einer Power von 80% feststellen zu können, wobei eine Standardabweichung von 3° berücksichtigt wurde. Die Auswertung erfolgte mit dem Wilcoxon-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%. Die Patienten wurden vor der Operation mittels Briefrandomisierung auf die „CPM-Gruppe“ und die „CAM-Gruppe“ verteilt. Wir legten für diese Studie eine Gruppenstärke von jeweils 30 Patienten fest.

Statistische Auswertung – Nebenzielgrößen

Zum Vergleich zwischen den Gruppen wurde bei der Messung der Muskel- und Bewegungsumfänge, sowie bei der visuellen Analogskala der t-test verwendet.

Begutachtung durch die Ethikkommission der Universität Ulm

Bei dieser Studie handelt es sich wie oben dargestellt um eine prospektive, randomisierte klinische Untersuchung, so dass eine Begutachtung durch die Ethikkommission der Universität Ulm (Vorsitz: Prof. Dr. U. B. Brückner) erforderlich war (Antrag-Nr. 11/99).

Die Begutachtung wurde am 29.04.1999 mit einem positiven Votum abgeschlossen.

Ergebnisse

Patientengut

Die CPM-Gruppe bestand aus 29 Männern und einer Frau, in der CAM-Gruppe waren 28 Männer und 2 Frauen.

In Bezug auf Alter (Durchschnittsalter CPM: 23,1 Jahre $\pm$ 3,7; CAM: 23,3 Jahre $\pm$ 3,7), Gewicht (Durchschnittsgewicht CPM: 77,7 kg $\pm$ 13,2; CAM: 78,7 kg $\pm$ 11,6 und dem Zeitraum zwischen der Verletzung des vorderen Kreuzbandes und Operation gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede (siehe Abb. 4 bis 6).

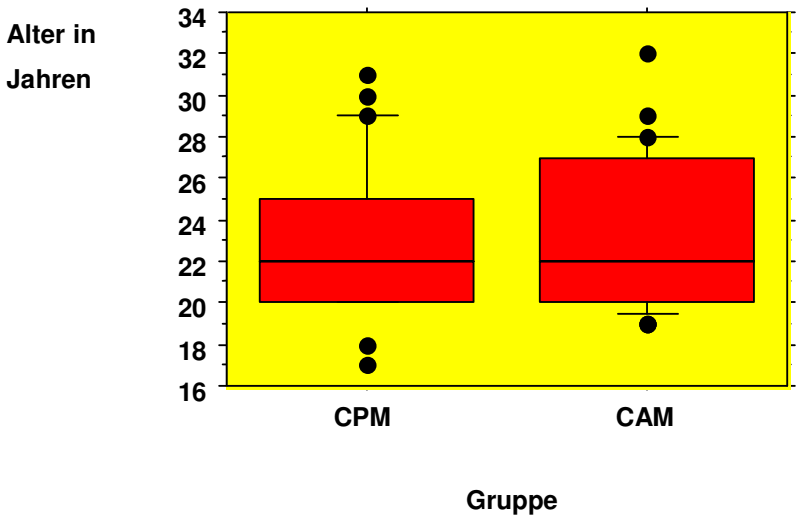

Abb. 4 Alter der Patienten
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion

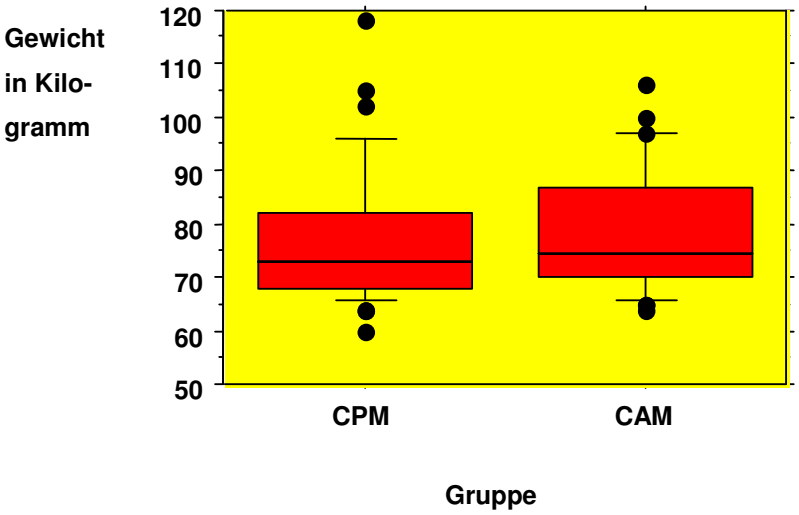

Abb. 5 Gewicht der Patienten
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion

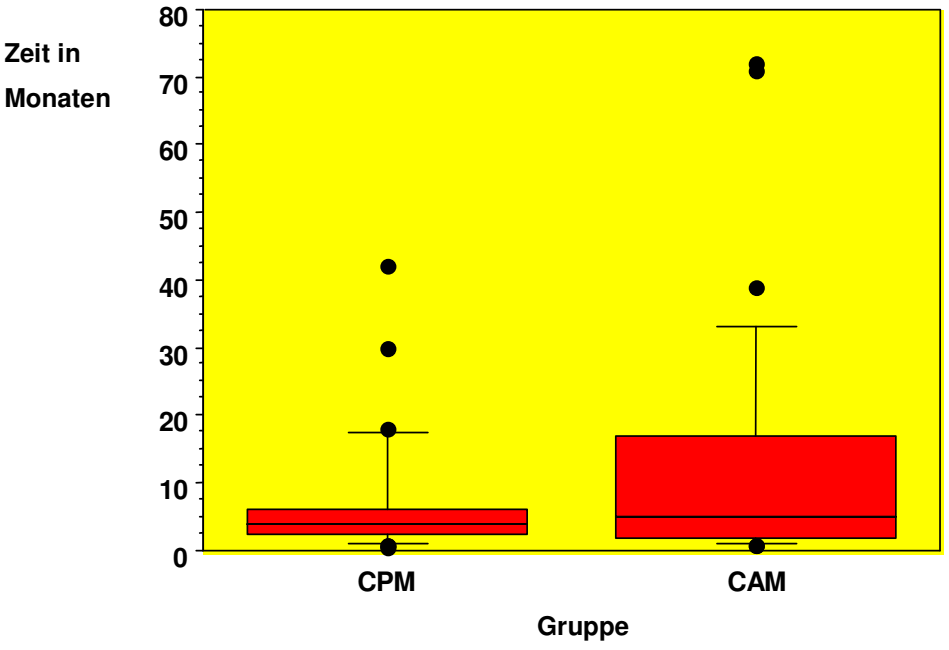

Abb. 6 Zeitraum von VKB-Ruptur bis Operation
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion;
VKB: Vorderes Kreuzband

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, wurden in die CAM-Gruppe zwei Patienten mit überdurchschnittlich langem Zeitraum (71 bzw. 72 Monate) zwischen Trauma und VKB-Plastik aufgenommen. Dies erklärt den großen Unterschied in den Mittelwerten (CPM: 6,9 $\pm$ 9,1 Monate, CAM: 12,3 $\pm$ 18,7 Monate). Ohne die Ausreisser läge der Durchschnitt in der CAM-Gruppe bei 7,9 $\pm$ 9,4 Monate. Der aussagekräftigere Median liegt in der CPM-Gruppe bei 3,9 Monaten und in der CAM-Gruppe bei 5,0 Monaten (mit Ausreissern).

Beide Ausreisser waren jahrelang bei geringem sportlichen Aktivitätsniveau beschwerdefrei und lehnten deswegen eine Operation ab. Erst nach Aufnahme regelmäßiger sportlicher Betätigung (Laufen bzw. Grundausbildung im Rahmen des Wehrdienstes) wurden beide Patienten subjektiv instabil und entschlossen sich zu einer VKB-Plastik. Intraoperativ zeigte sich bei einem dieser Patienten als Nebenbefund ein degenerativer Innenmeniskusschaden.

Bei der Betrachtung der Seitenverteilung der verletzten Kniegelenke, der Anzahl der Begleitverletzungen und insbesondere der Wahl des Operationsverfahrens in den Gruppen zeigten sich keine Unterschiede (siehe Abb. 7 bis 9).

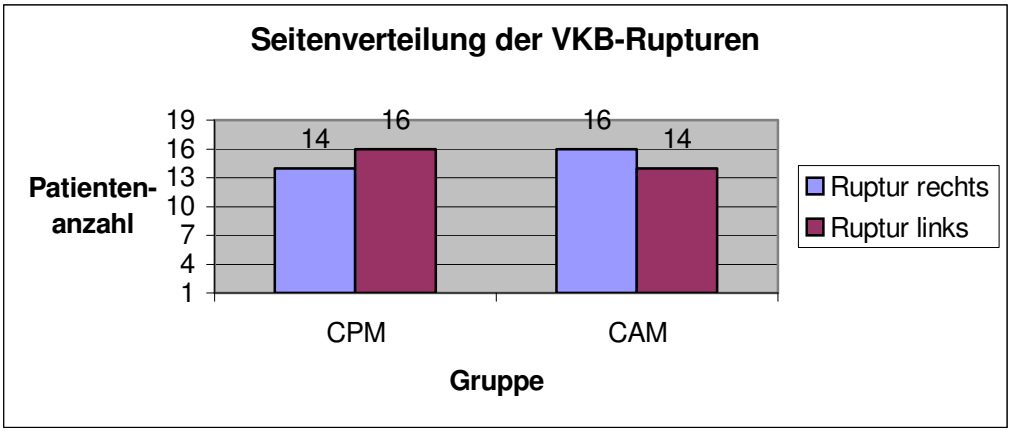

Abb. 7 Seitenverteilung der VKB-Rupturen in den jeweiligen Gruppen
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30;CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion; VKB: Vorderes Kreuzband

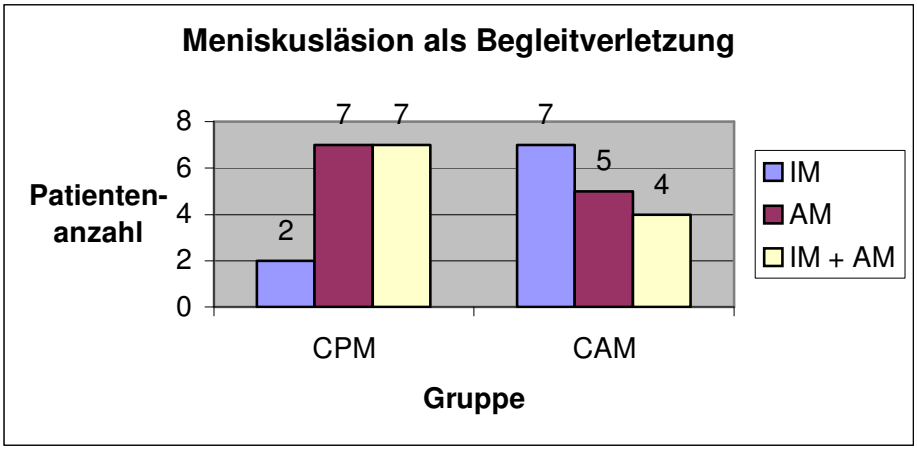

Abb. 8 Meniskusläsion als Begleitverletzung in der jeweiligen Gruppe
IM: Innenmeniskus, AM: Aussenmeniskus;
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion

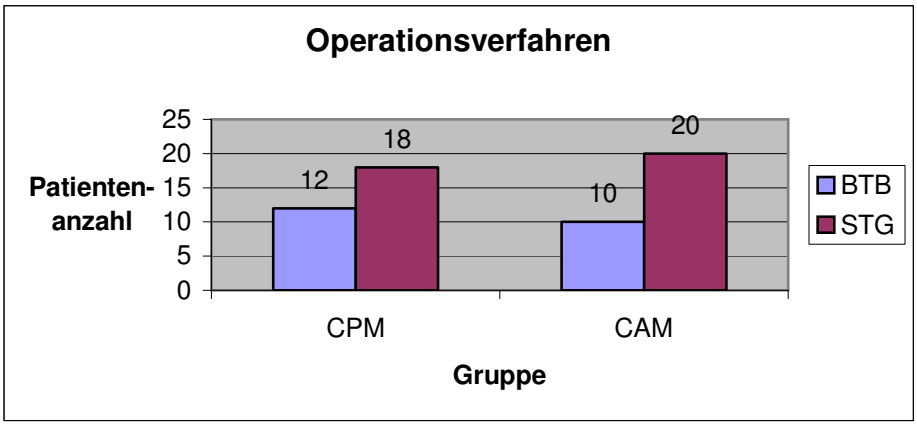

Abb. 9 Operationsverfahren in den jeweiligen Gruppen; BTB: Bone-tendon-bone-Plastik, STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik; CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30; CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion

Therapieabbrecher

Drei Patienten brachen die Therapie ab. Zwei (je einer aus CPM- und CAM-Gruppe) von ihnen wurden auf eigenen Wunsch vor Beendigung der Studie aus dem Krankenhaus entlassen. Ein weiterer Patient aus der CPM-Gruppe zeigte am ersten postoperativen Tag einen Wundinfekt mit dem Verdacht auf eine tiefe Beinvenenthrombose, die aber nicht bestätigt werden konnte. Deswegen mussten drei weitere Patienten nach Randomisierung untersucht werden.

Dauer der postoperativen stationären Behandlung mit den Bewegungsschienen

Sowohl in der CPM-Gruppe als auch in der CAM-Gruppe betrug der durchschnittliche postoperative stationäre Aufenthalt 6,6 Tage ± 1,2 (CPM) bzw. ± 1,3 (CAM).

In der CPM-Gruppe übten die Patienten durchschnittlich 19,3 ± 8,5 Stunden mit der Motorschiene. Die Patienten der CAM-Gruppe trainierten im Durchschnitt 17,3 ± 5,5 Stunden mit der Aktiv-Schiene. Auch hier besteht kein statistisch signifikanter Unterschied (siehe Abb. 10)

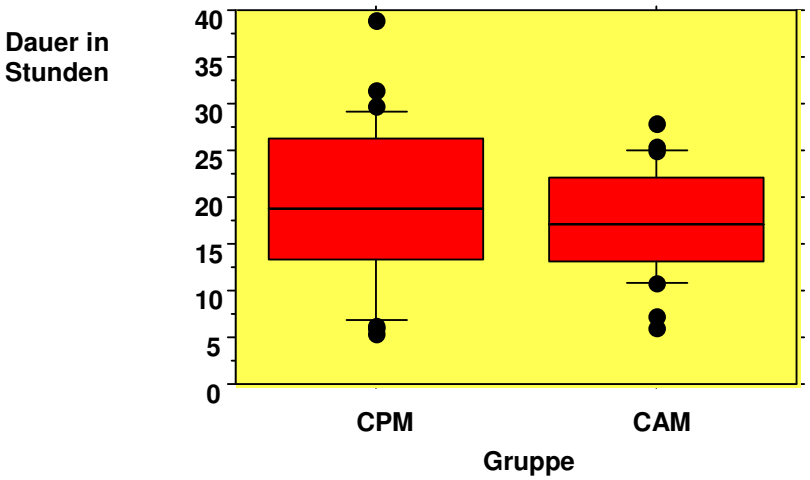

Abb. 10 Übungsdauer mit der jeweiligen Schiene in den Gruppen
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Visuelle Analogskala

Sowohl die Patienten in der CPM- als auch in der CAM-Gruppe gaben für den gesamten stationären Aufenthalt auf der VAS durchschnittlich einen Wert von 2,6 an. Präoperativ waren lediglich 5 Patienten in der CPM-Gruppe und 3 Patienten in der CAM-Gruppe nicht absolut schmerzfrei. Am Abend vor der Entlassung gaben 14 Patienten der CPM-Gruppe Schmerzfreiheit an, in der CAM-Gruppe 16 (siehe auch Abb. 11).

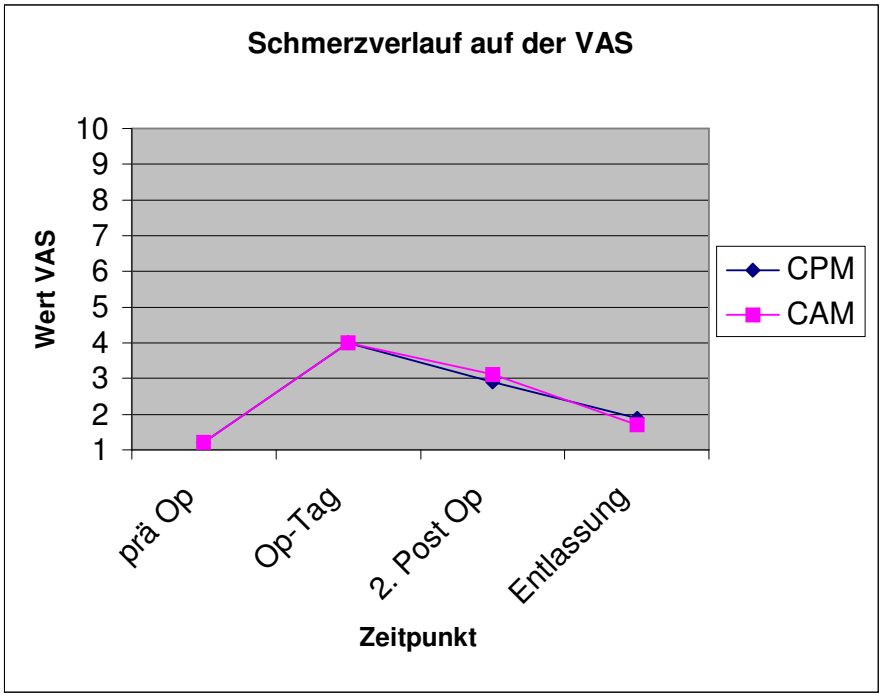

Abb. 11 Schmerzverlauf auf der Visuellen Analogskala (VAS)
prä Op = präoperativ; 2. Post Op = 2. postoperativer Tag
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Bewegungsumfang

Vor der Operation erreichten alle Patienten die volle Streckung, wobei in der CPM-Gruppe die durchschnittliche Flexion 137,5° ± 16,4 und in der CAM-Gruppe 139,5° ± 13,8 betrug. Am Entlassungstag hatten alle Patienten wieder die volle Streckung erreicht. Die CPM-Gruppe beugte durchschnittlich bis 95° ± 14, die CAM-Gruppe bis 101° ± 17, wobei sich kein statistisch signifikanter Unterschied ergab (siehe Abb. 12).

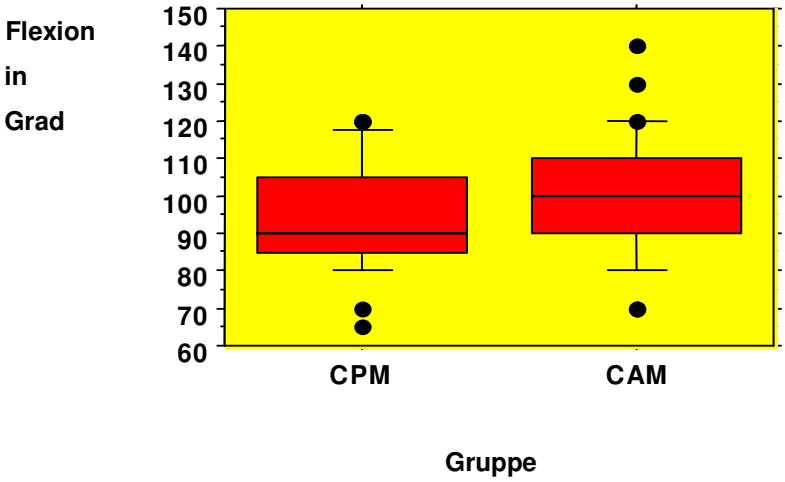

Abb. 12 Vergleich der Flexion zwischen den Patientengruppen am Entlassungstag
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Weiterhin wurden die jeweiligen Patientengruppen nach dem OP-Verfahren aufgeschlüsselt und die daraus entstandenen Untergruppen hinsichtlich ihrer Flexionswerte verglichen. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (siehe Abb. 13 und 14).

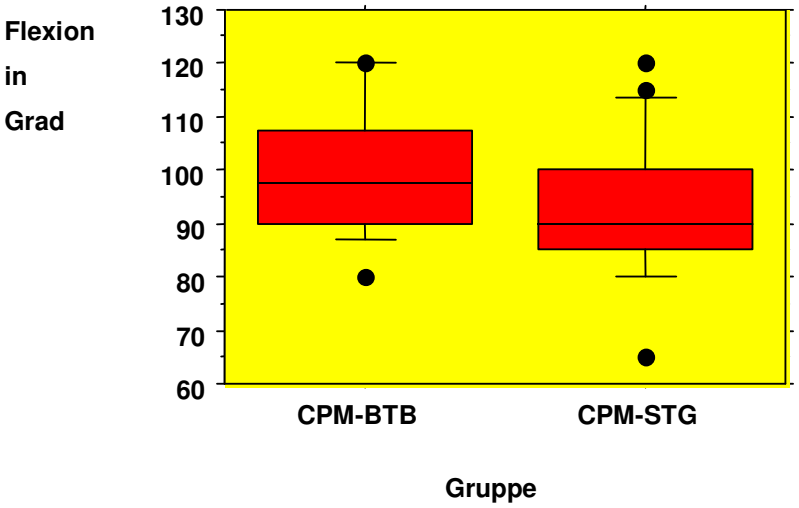

Abb. 13 Vergleich der Flexion zwischen Patienten mit BTB- und STG-Plastik in der CPM-Gruppe bei Entlassung
Boxplot-Diagramm: CPM-BTB: n=12, CPM-STG: n=18
BTB: Bone-tendon-bone-Plastik
STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik
CPM: Continuous passive motion

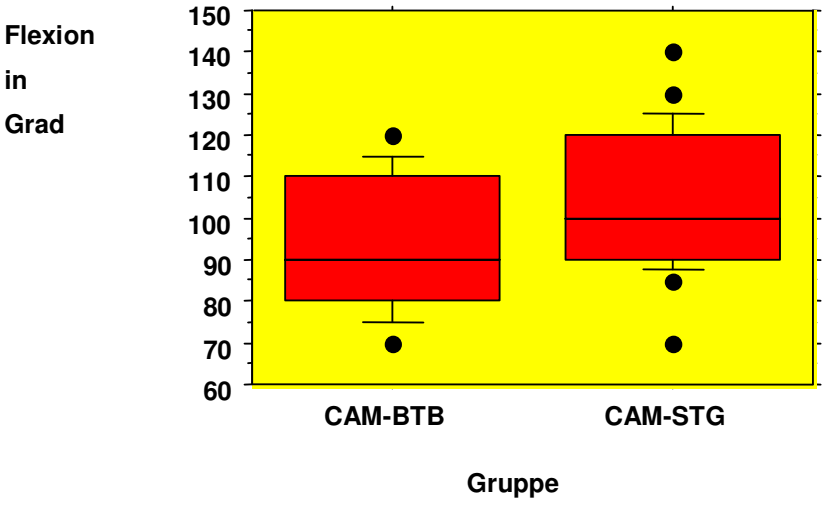

Abb. 14 Vergleich der Flexion zwischen Patienten mit BTB- und STG-Plastik in der CAM-Gruppe bei Entlassung
Boxplot-Diagramm: CAM-BTB: n=10, CAM-STG: n=20
BTB: Bone-tendon-bone-Plastik
STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik
CAM: Controlled active motion

Sonografische Ergussbestimmung

Sowohl in der CPM-Gruppe als auch in der CAM-Gruppe konnten wegen Ausfall des Ultraschallgeräts 3 Patienten nicht sonografiert werden. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden (Abb. 15).

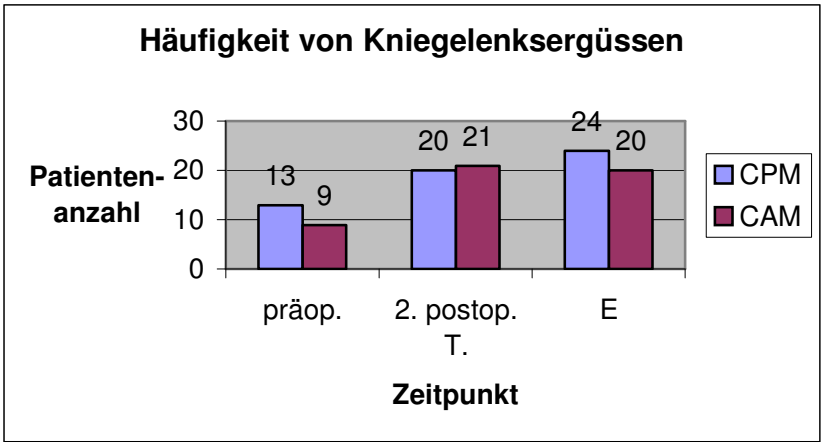

Abb. 15 Häufigkeit von Kniegelenksergüssen in der jeweiligen Gruppe
präop.: präoperativ, 2. postop. T.: 2. postoperativer Tag, E: Entlassung; CPM: n = 27, CAM: n = 27;
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Muskelumfänge

Präoperativ bestand in beiden Gruppen eine Muskelatrophie des verletzten Beins im Vergleich zur gesunden Seite (siehe Abb. 16).

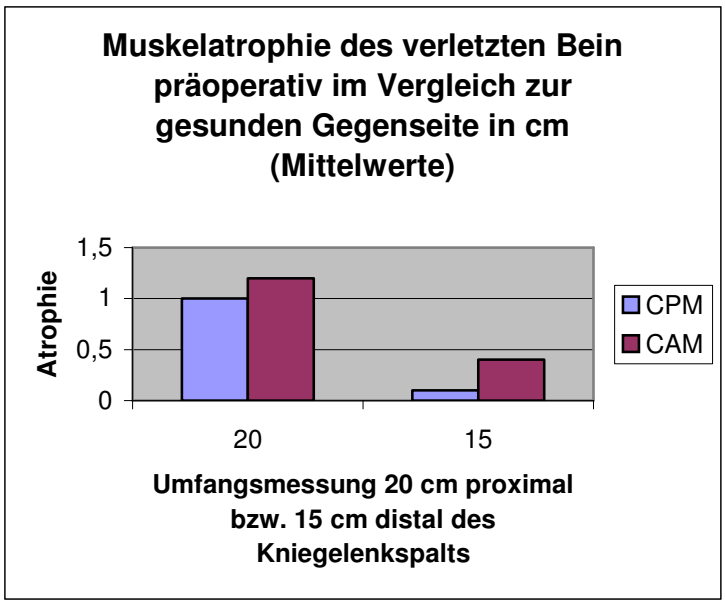

Abb. 16 Präoperative Muskelatrophie des verletzten Beins
im Vergleich zur gesunden Gegenseite
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Bei Entlassung hatten sowohl die operierten als auch die gesunden Beine erneut an Muskelumfang abgenommen (siehe Abb. 17 - 19)

Die Unterschiede zwischen CPM- und CAM-Gruppe waren in keinem Bereich statistisch signifikant, zeigten jedoch eine tendenziell geringere Muskelatrophie zugunsten der CAM-Gruppe.

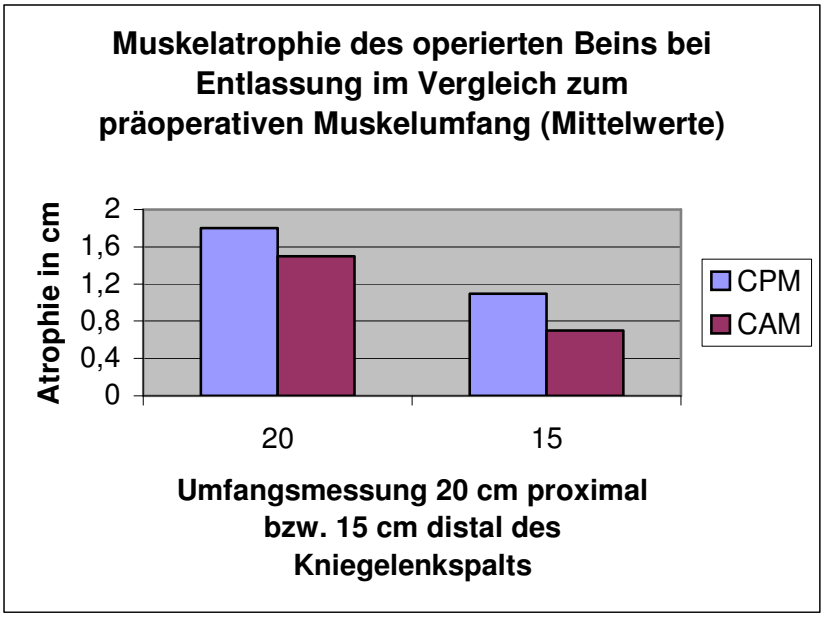

Abb. 17 Muskelatrophie des operierten Beins bei Entlassung
im Vergleich zum präoperativen Muskelumfang
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

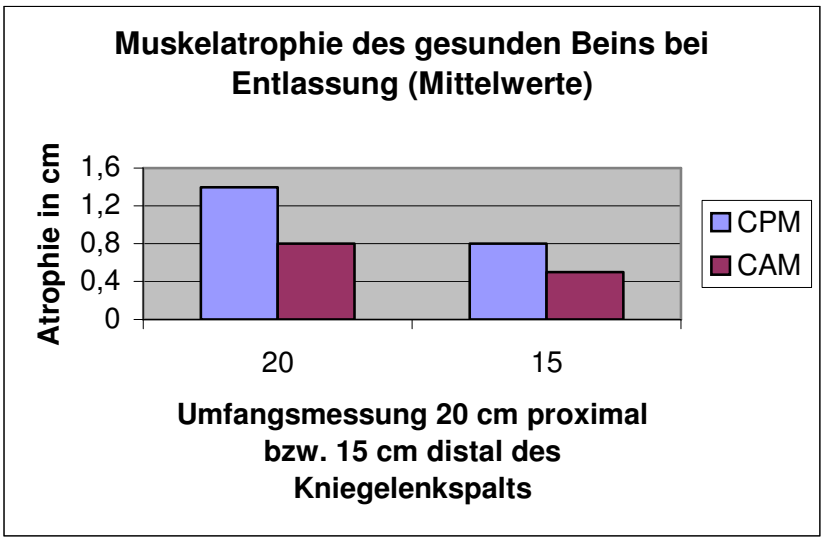

Abb. 18 Muskelatrophie des gesunden Beins bei Entlassung
im Vergleich zum präoperativen Muskelumfang
CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Bei der Aufschlüsselung der Patientengruppen nach dem jeweiligen Operationsverfahren erhielt man die in Abbildung 19 aufgeführten Werte.

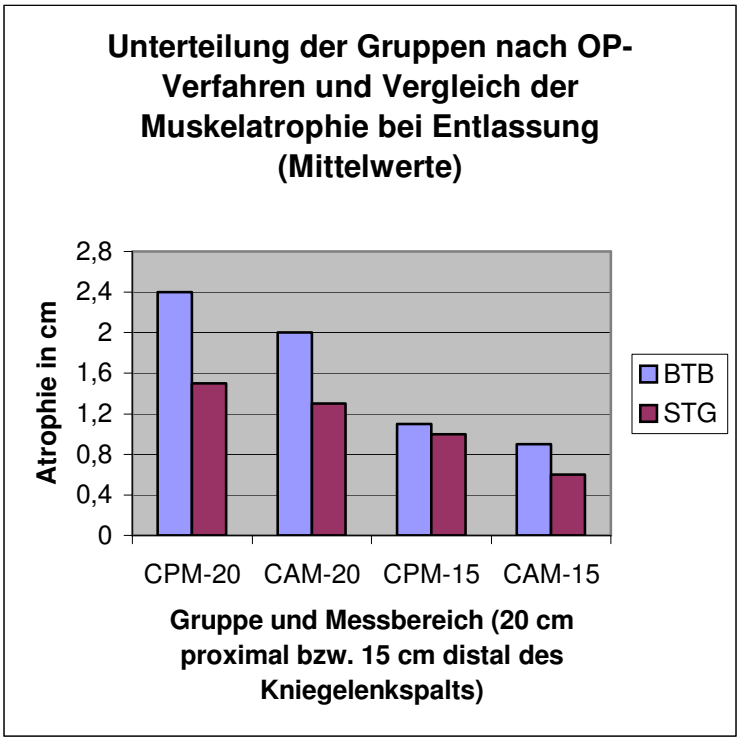

Abb. 19 Unterteilung der Gruppen nach Operationsverfahren
BTB-CPM: n=12; STG-CPM: n=18;
BTB-CAM: n=10; STG-CAM: n=20;
BTB: Bone-tendon-bone-Plastik
STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Auch hier konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Ergebnisse Winkelreproduktionstest

Hauptzielgröße 10°/ 15°

Referenzgruppe

Die gesunden Probanden erreichten durchschnittlich eine Seitendifferenz von 1,5° mit einer Standardabweichung von ± 0,7 im extensionsnahen Bereich (siehe Abb. 20).

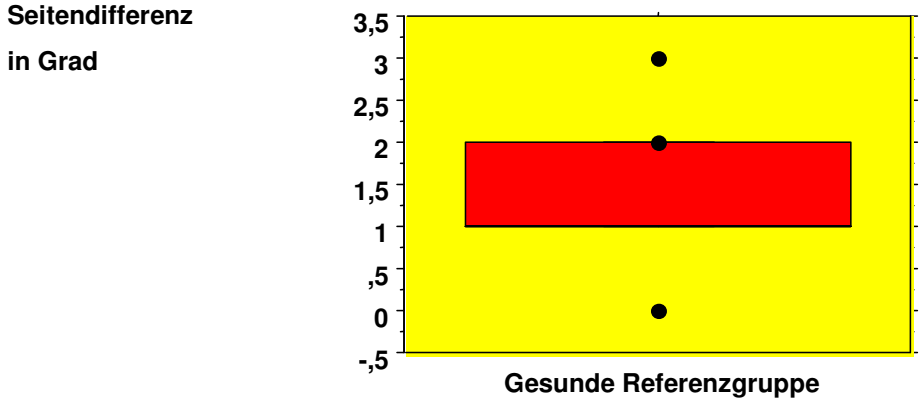

Abb. 20 Seitendifferenzen der gesunden Kontollgruppe
Boxplot-Diagramm: Der Median beträgt 1,0°.
(n=20)

Patienten

Vor der Operation bestand zwischen CPM- und CAM-Gruppe kein statistisch signifikanter Unterschied in der Seitendifferenz. Alle Patienten reproduzierten präoperativ mit dem verletzten Bein schlechter als mit dem gesunden.
Der Mittelwert lag in der CPM-Gruppe bei 5,9° ± 2,2, in der CAM-Gruppe bei 5,7° ± 2,4 (siehe Abb. 21).

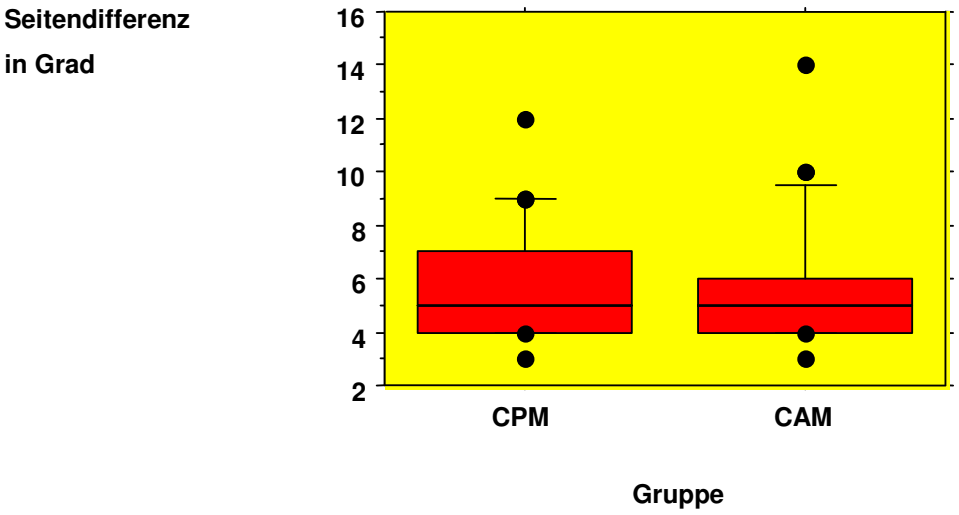

Abb. 21 Präoperative Seitendifferenzen der Patientengruppen in Grad
Boxplot-Diagramm: CPM-Gruppe: n=30, CAM-Gruppe: n=30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Zwischen den Patienten beider Gruppen und der gesunden Referenzgruppe fand sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$) (siehe Abb. 22).

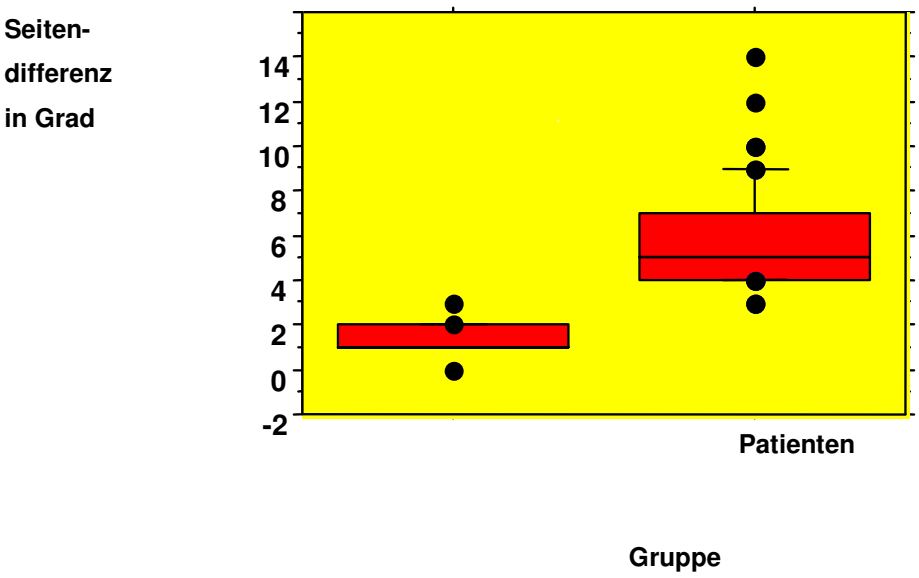

Abb. 22 Präoperative Seitendifferenz aller Patienten (n= 60) im Vergleich zur gesunden Referenzgruppe (n= 20); Boxplot-Diagramm

Zwischen Patienten mit und ohne Begleitverletzung (=Meniskusläsion) fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied (siehe Abb. 23).

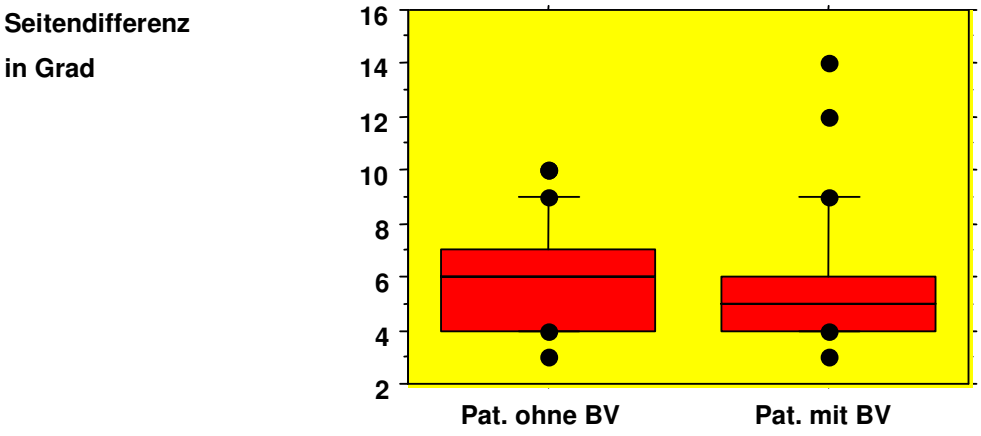

Abb. 23 Präoperative Seitendifferenzen in Grad der Patienten (Pat.) mit (n= 33) und ohne (n= 27) Begleitverletzungen (BV) Boxplot-Diagramm

Bei Entlassung zeigte sich zwischen den Patientengruppen ein hochsignifikanter Unterschied (p< 0,0001) von 2,2° in den Mittelwerten zugunsten der CAM-Gruppe (Abb. 24). Ein Patient aus der CAM-Gruppe hatte bei Entlassung mit dem operierten Bein eine geringere absolute Abweichung als mit dem gesunden.
Rein statistisch gesehen bestand in der durchschnittlichen Seitendifferenz am Abend vor der Entlassung zwischen CAM-Gruppe und gesunder Referenzgruppe kein signifikanter Unterschied (p= 0,0546), allerdings belief sich der Median in der CAM-Gruppe auf 2°, während er in der Referenzgruppe einen Wert von 1° hatte.

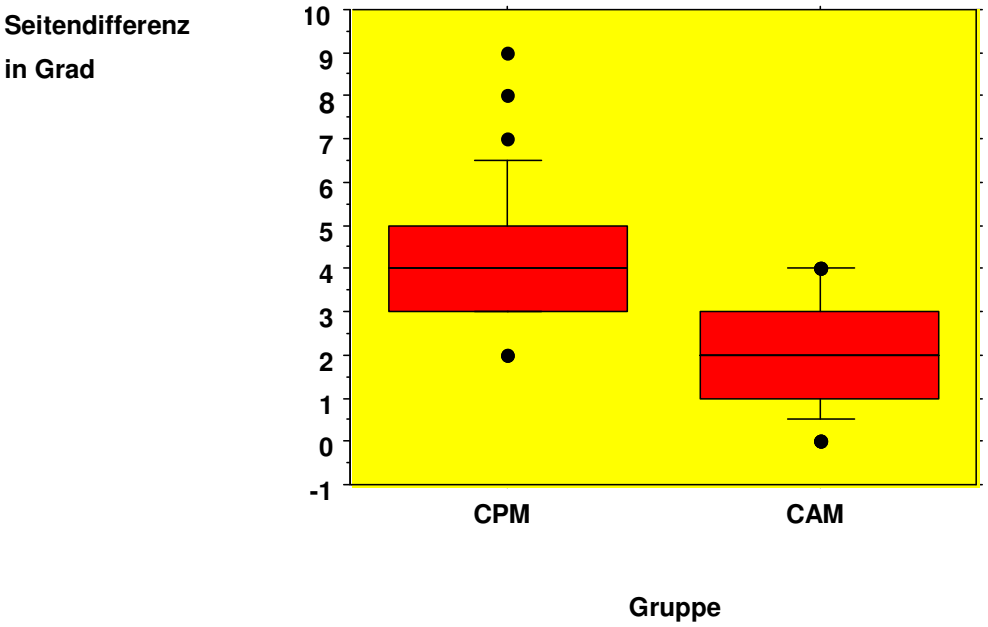

Abb. 24 Seitendifferenz bei Entlassung
Boxplot-Diagramm
CPM-Gruppe: n= 30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Innerhalb der CPM-Gruppe zeigten 5 Patienten bei der Messung am Entlassungstag keine Verbesserung, 4 verschlechterten sich im Vergleich zur präoperativen Messung.

In der CAM-Gruppe konnten sich 3 Patienten nach der Therapie nicht verbessern, eine Verschlechterung in der Seitendifferenz trat bei keinem Patienten auf.
Bei Betrachtung dieser „therapieresistenten“ Patienten ergeben sich für diejenigen, die sich verschlechterten (nur aus der CPM-Gruppe) folgende Besonderheiten:

1. Alle Patienten hatten am Abend vor der Entlassung einen Erguß.
2. Die Muskelatrophie 20 cm proximal des Kniegelenkspalts während des stationären Aufenthalts war fast doppelt so groß (3,4 cm) im Vergleich zur gesamten CPM-Gruppe (1,8 cm).
3. Der Bewegungsumfang lag mit 0-0-90° unter dem Durchschnitt (CPM-Gruppe: 0-0-94,7°).

Die Patienten, die die gleichen Seitendifferenzen erzielten, unterschieden sich von der Gesamtgruppe nur dadurch, dass alle einen Erguß bei der Abschlussmessung hatten.
Gesondert betrachtet wurden schliesslich noch die Patienten, die präoperativ lediglich eine Seitendifferenz von 3° oder 4° aufwiesen (kein Patient hatte 2° Seitendifferenz) und somit sich nur relativ gering von der gesunden Kontrollgruppe unterschieden (siehe Tab. 3)

Tab 3. Betrachtung der Patienten mit nur relativ geringer Seitendifferenz präoperativ (Hauptzielgröße) und deren Verlauf

	CPM-Gruppe	**CAM-Gruppe**
Anzahl der Patienten mit einer Seitendifferenz von 3° oder 4°	9	12
davon bei Entlassung mit Verbesserung	2	9
davon bei Entlassung gleich geblieben	4	3
davon bei Entlassung mit Verschlechterung	3	0

CPM: Continuous passive motion

CAM: Controlled active motion

Ergebnisse bei den absoluten Abweichungen (Hauptzielgröße)

Zwischen den absoluten Abweichungen der gesunden Kniegelenke der Patienten (Mittelwert: 2,0° $\pm$ 1,5) und der Referenzgruppe (Mittelwert: 2,4° $\pm$ 1,4) bestand kein statistisch signifikanter Unterschied (siehe Abb. 25).

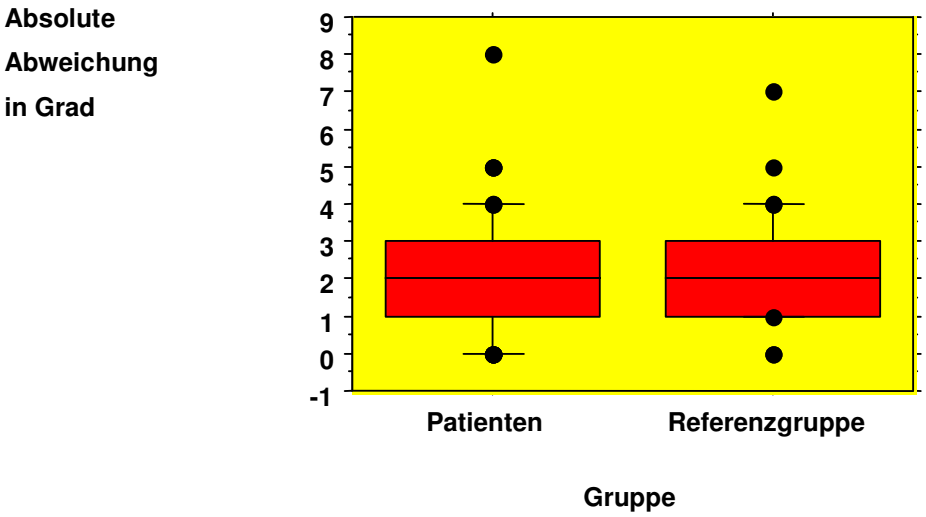

Abb. 25 Vergleich der absoluten Abweichungen in Grad von gesunden Kniegelenken der Patienten und gesunder Referenzgruppe (Hauptzielgröße) Patienten: n=60, Referenzgruppe: n=20 Boxplot-Diagramm

Beim Vergleich der absoluten Abweichungen der gesunden Kniegelenke zwischen CPM- und CAM-Gruppe fand sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied (Mittelwerte: CPM: 1,9° $\pm$ 1,7; CAM: 2,1° $\pm$ 1,3, siehe Abb. 26).

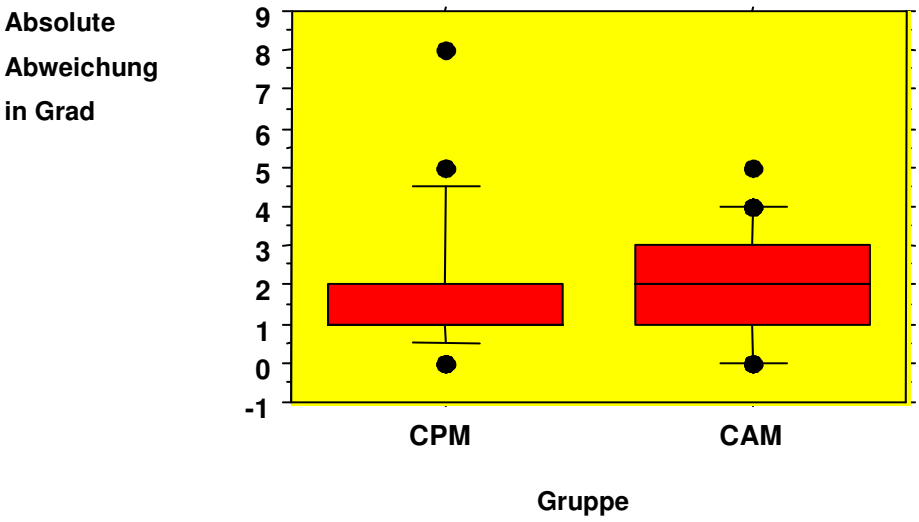

Abb. 26 Vergleich der absoluten Abweichungen in Grad der gesunden Kniegelenke der Patienten, getrennt nach Gruppen (Hauptzielgröße)
Boxplot-Diagramm
CPM-Gruppe: n= 30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Vergleicht man die präoperativen und am Entlassungstag erhaltenen absoluten Abweichungen der gesunden Kniegelenke der Patienten zeigen sich die in Tabelle 4 erhobenen Werte.

Tab. 4 Vergleich der präoperativen absoluten Abweichungen der gesunden Kniegelenke mit denen am Entlassungstag im Bereich der Hauptzielgröße

	Präoperativ	**E**
CPM	1,9° ± 1,7	1,9° ± 1,1
CAM	2,1° ± 1,3	2,2° ± 1,6

Durchschnittswerte mit Angabe der Standardabweichung, CPM: n=30, CAM: n=30
E: Entlassungstag; CPM: Continuous passive motion; CAM: Controlled active motion

Die intraindividuelle Differenz aus absoluter Abweichung mit dem gesunden Kniegelenk präoperativ und am Entlassungstag im Bereich der Hauptzielgröße beträgt 1,3° ± 1,3 (Median: 1,0).

Abb. 27 zeigt erstens, wie häufig es zu Abweichungen vom präoperativen Ausgangswert am Entlassungstag mit dem gesunden Bein des Patienten kam und zweitens wie groß die jeweilige Differenz war (absolute Abweichung im Bereich der Hauptzielgröße).

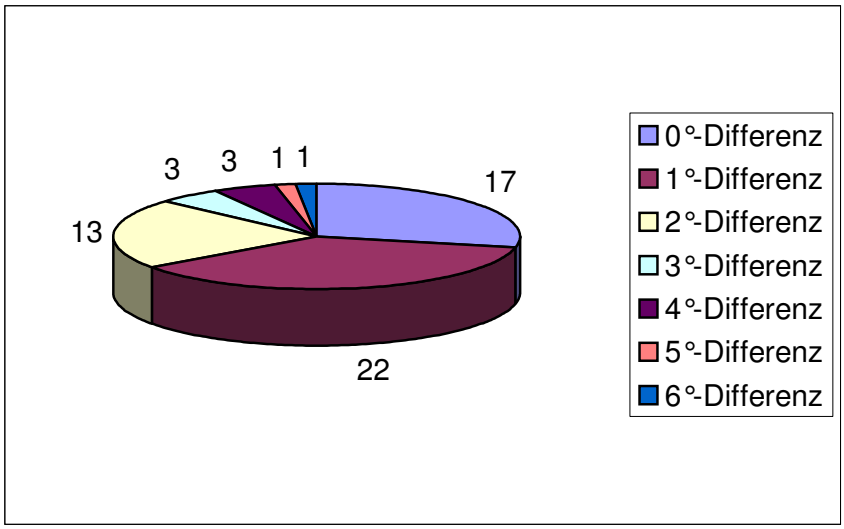

Abb. 27 Intraindividuelle Differenz aus absoluter Abweichung präoperativ und bei Entlassung (gesundes Bein, im Bereich der Hauptzielgröße)

Bei Betrachtung der absoluten Abweichungen der verletzten Kniegelenke zeigte sich präoperativ ein hochsignifikanter Unterschied zu den gesunden ($p < 0{,}0001$, siehe Abb. 28).

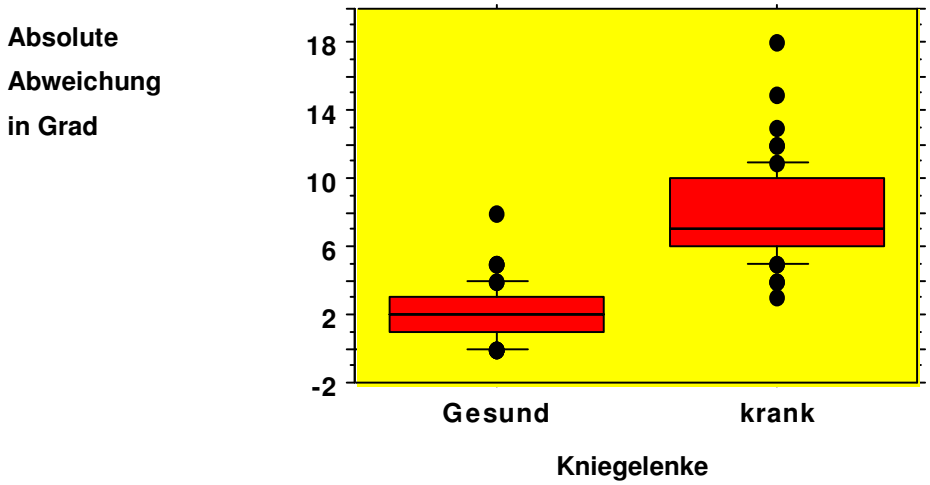

Abb. 28 Vergleich der absoluten Abweichungen in Grad von gesunden und kranken Kniegelenken Boxplot-Diagramm (Hauptzielgröße, präoperativ), n= 60 sowohl für krank und gesund

Zwischen den Patientengruppen war kein statistisch signifikanter Unterschied vorhanden (Mittelwerte mit Standardabweichung: CPM: 7,8° ± 2,9; CAM: 7,8° ± 2,7, siehe Abb. 29).

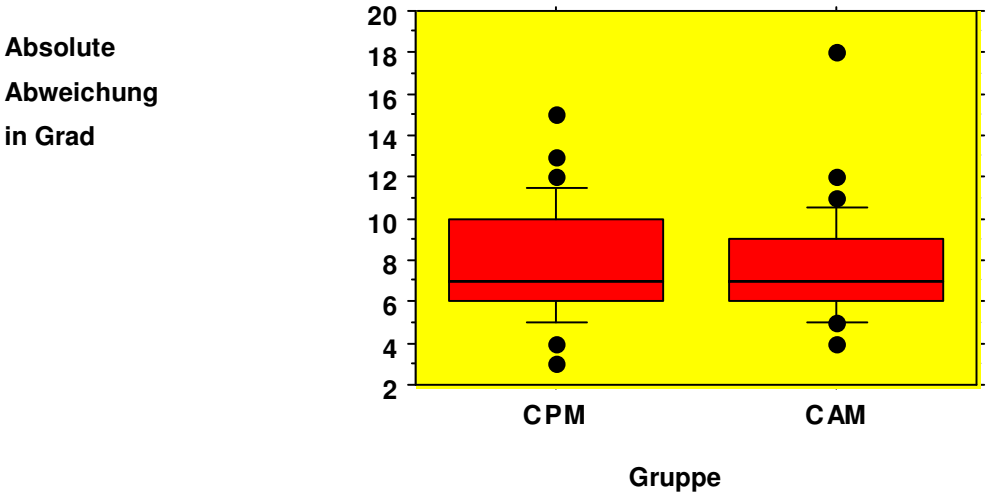

Abb. 29 Vergleich der absoluten Abweichungen in Grad der kranken Kniegelenke (Hauptzielgröße, präoperativ)
Boxplot-Diagramm
CPM-Gruppe: n= 30, CAM-Gruppe: n= 30
CPM: Continuous passive motion
CAM: Controlled active motion

Vergleich BTB und STG

Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied in den Seitendifferenzen zwischen den zwei verwendeten Operationsverfahren innerhalb der Gruppen (siehe Abb. 30 und 31).

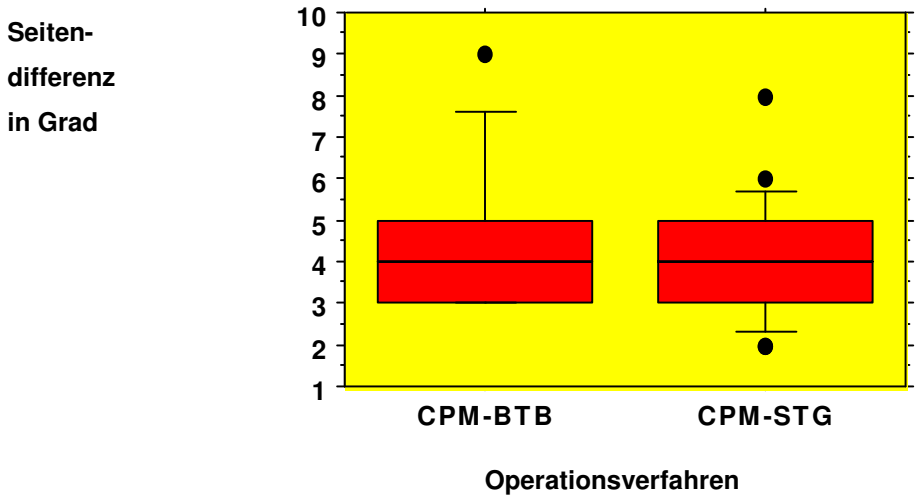

Abb. 30 Vergleich der Seitendifferenzen im Bereich der Hauptzielgröße bei Entlassung in der CPM-Gruppe, getrennt nach dem Operationsverfahren
Boxplot-Diagramm
CPM-BTB: n= 12, CPM-STG: n= 18
BTB: Bone-tendon-bone-Plastik
STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik
CPM: Continuous passive motion

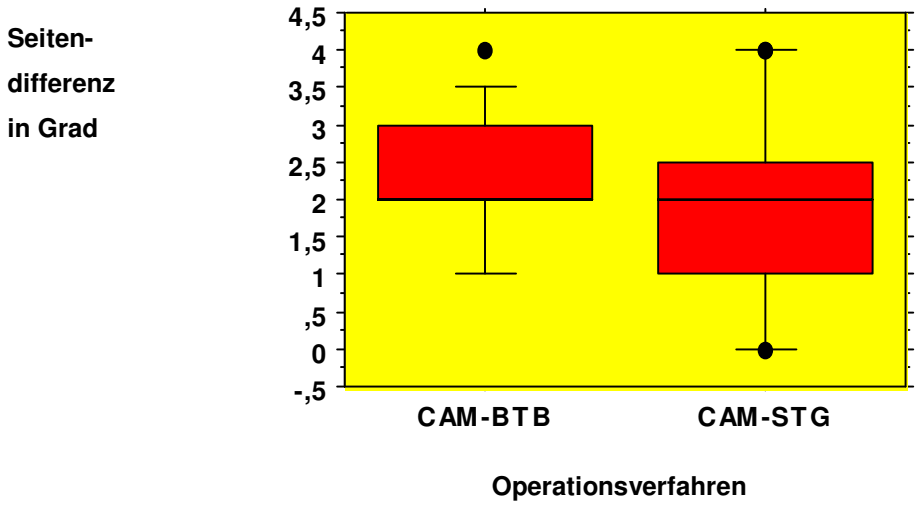

Abb. 31 Vergleich der Seitendifferenzen im Bereich der Hauptzielgröße bei Entlassung in der CAM-Gruppe, getrennt nach dem Operations-verfahren
Boxplot-Diagramm
CAM-BTB: n= 10, CAM-STG: n= 20
BTB: Bone-tendon-bone-Plastik
STG: Semitendinosus-Gracilis-Plastik
CAM: Controlled active motion

Nebenzielgröße 30°/ 35°

Referenzgruppe

Die gesunden Probanden erreichten eine durchschnittliche Seitendifferenz von 2,2° ± 1,8° für das Winkelpaar 30°/ 35°.

Patienten

In der CPM-Gruppe betrug die Seitendifferenz präoperativ 2,9° ± 2,4°, bei der Abschlußmessung 3,7° ± 2,5°.

Die CAM-Gruppe reproduzierte vor der Operation durchschnittlich mit 3,3° ± 2,9°, am Abend vor der Entlassung mit durchschnittlich 3,5° ± 2,1°.

In diesem Bereich stellten vor der Operation 7 Patienten der CPM-Gruppe und 11 Patienten der CAM-Gruppe mit dem verletzten Bein den vorgegebenen Winkel genauer als mit dem gesunden ein. Am Abend vor der Entlassung zeigten jeweils 11 Patienten aus beiden Gruppen mit dem operierten Bein die gleiche Tendenz, wobei hiervon 4 (CPM) bzw. 8 (CAM) Patienten bereits präoperativ mit dem gesunden Bein größere absolute Abweichungen zeigten.

Nebenzielgröße 50°/ 60°

Referenzgruppe

In der Kontrollgruppe betrug die durchschnittliche Seitendifferenz 2,1 ° ± 1,7°.

Patienten

Präoperativ lag die durchschnittliche Seitendifferenz bei 4,7° ± 3,3° (CPM) bzw. 4,6° ± 3,1° (CAM), am Abend vor der Entlassung bei 2,3° ± 1,9° (CPM) bzw. 2,8° ± 2,6° (CAM).

Auch in diesem Bereich stellten wieder 14 (CPM) bzw. 13 (CAM) Patienten mit dem verletzten Bein die Winkel genauer ein als mit dem gesunden. Am Abend vor der Entlassung reproduzierten 13 (CPM) bzw. 15 (CAM) mit dem operierten Bein besser als mit dem gesunden, von denen 6 (CPM) bzw. 5 (CAM) bereits präoperativ mit dem gesunden Bein die Winkel schlechter einschätzten.

Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es zwei unterschiedliche Bewegungsschienen in der unmittelbar postoperativen Phase nach Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Propriozeption zu untersuchen. Wir konnten zeigen, dass die CAM-Bewegungsschiene das propriozeptive Defizit im extensionsnahen Bereich in der ersten postoperativen Woche hochsignifikant besser reduziert als die CPM-Schiene.

Die Patientengruppen waren aufgrund ihrer anthropometischen Daten, der Häufigkeit ihrer Begleitverletzungen und der Dauer der postoperativen Schienenbehandlung gut zu vergleichen.

Propriozeptionstests wurden von verschiedenen Autoren zur Überprüfung von konservativen und/ oder operativen Therapieformen genutzt (5, 8, 11, 15, 16, 19, 22, 23, 39, 40, 42, 47, 48, 61, 64).

Bei der rein konservativen Therapie der vorderen Kreuzbandinsuffizienz gibt es gegensätzliche Aussagen zu den Erfolgen eines Propriozeptionstrainings, die aber auf den unterschiedlich durchgeführten Rehabilitationsprogrammen zurückzuführen sein könnten.

Carter et al. (15) überprüften ein Rehabilitationsprogramm, welches Muskel- und Propriozeptionstraining beinhaltete, für Patienten mit VKB-Ruptur mittels WRT. Diese Arbeitsgruppe konnte keine Verbesserung im Vergleich zum Zustand vor der Therapie feststellen.

Demgegenüber steht eine Studie von Beard et al. (8), die zwei unterschiedliche Behandlungsschemata für vordere kreuzbandinsuffiziente Patienten untersuchten. Eines betonte die Stärkung der Muskelkraft und das andere enthielt als Schwerpunkt ein Propriozeptionstraining. Nach erfolgter Therapie zeigte sich in beiden Gruppen eine Verbesserung der Reflexzeiten der Hamstring-Muskulatur (als indirektes Maß für die Propriozeption), wobei die Patienten mit Propriozeptionstraining signifikant besser abschnitten.

Jerosch et al. (39) gelang es mit einem propriozeptiven Trainingsprogramm Patienten mit vorderer Kreuzbandinsuffizienz derart gut zu therapieren, dass diese bei dem verwendeten Propriozeptionstest bessere Werte als die gesunde Kontrollgruppe erreichten.

Fitzgerald et al. (19) zeigten an Patienten mit vorderer Kreuzbandinsuffizienz die Überlegenheit eines Rehabilitationsprogramms, welches auf eine Verbesserung der neuromuskulären Funktion ausgelegt war. Die Patienten, die dieses Programm durchliefen, mussten auf einer von einem Therapeuten in verschiedene Richtungen bewegten Plattform ihr Gleichgewicht halten. Die Autoren weisen darauf hin, dass „This technique is similar to a proprioceptive neuromuscular facilitation-rhythmic stabilization technique."(S.134; 19)

Ebenfalls verschiedenartige Aussagen erhält man bei Betrachtung der Studien, die die postoperativen Ergebnisse bezüglich der Propriozeption überprüften.

Barrett (5) fand bei Patienten, die durchschnittlich 3,2 Jahre davor mit einer VKB-BTB-Plastik versorgt worden waren, signifikant bessere Propriozeptionswerte als bei einem konservativ behandelten Patientenkollektiv. Er führte dies darauf zurück, dass „... the anterior cruciate deficient knee moves in a non-physiological axis; alteration in gait and movement may follow (Berchuck et al. 1990). Thus, the remaining proprioceptive output will be non-physiological and disorganised. Patients feel the knee to be unstable because cortical interpretation and analysis of knee position is disturbed. By restoring physiological movement by anterior cruciate reconstruction, cortical interpretation is probably enhanced and the sensation of improved stability seems to follow."(S. 836; 5) Allerdings erreichten die operierten Patienten nicht die Werte von Gesunden.

Co et al. (16) führten in einer Nachuntersuchung durchschnittlich 31,6 Monate nach VKB-Rekonstruktion verschiedene Propriozeptionstests durch und kamen zu dem Schluß, dass „... a well done ACL reconstruction with appropriate rehabilitation can result in proprioception that is essentially equal to that of the contralateral limb."(S. 696; 16)

Fremerey et al. (22) untersuchten die Kniegelenkspropriozeption von Patienten mit vorderer Instabilität präoperativ, 3 und 6 Monate postoperativ, mit dem Ergebnis, dass die Physiotherapie nicht allein, sondern „erst die Kombination aus Rekonstruktion und Rehabilitation gewährleistete zumindest in den endgradigen Testintervallen eine Wiederherstellung der Propriozeption." (S.702; 22)

Lephart et al. (42) fanden in einer Nachuntersuchung 11 – 26 Monate nach VKB-Ersatzplastik (zur Hälfte mit allogenem Material durchgeführt) ein persistierendes

propriozeptives Defizit der betroffenen Kniegelenke im endgradigen Bereich verglichen mit der kontralateralen, gesunden Seite.

Bei einer Untersuchung von MacDonald et al. (48) konnte durchschnittlich 24 Monate nach Ersatzplastik des VKB keine Verbesserung der Kniegelenkspropriozeption im Vergleich zu Kniegelenken mit vorderer Kreuzbandinsuffizienz festgestellt werden.

Das genaue Gegenteil zeigte sich in einer Studie von Risberg et al. (61) die nach dem gleichen postoperativen Zeitraum mit der gleichen Meßmethode zwischen operiertem und gesundem Kniegelenk keinen signifikanten Unterschied mehr feststellen konnten.

Roberts et al. (64) wiederum fanden ebenfalls nach 2 Jahren sowohl im operierten als auch im gesunden Kniegelenk ein Propriozeptionsdefizit im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.

Die Autoren, die eine Verbesserung der propriozeptiven Fähigkeiten der operierten Kniegelenke feststellen konnten, werden durch eine Studie von Ochi et al. (50) unterstützt, in der durch elektrische Stimulation der STG-Plastik im Durchschnitt 18 Monate nach Rekonstruktion des VKB somatosensorische evozierte Potentiale abgeleitet werden konnten. Dieser Umstand wird als Beweis dafür gedeutet, dass sich sensorische Neurone in der Ersatzplastik regenerieren können.

„Thus, reconstruction of the ACL is not simply the reconstruction of a mechanically strong ligament but also of knee function.“(S. 905; 50)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Mehrheit der Studien eine Verbesserung der Propriozeption nach einem geeigneten Training findet.

In der Literatur findet sich aber keine Studie, die sich mit den in der unmittelbar postoperativen Phase eingesetzten Bewegungsschienen und deren mögliche Effekte auf die Kniegelenkspropriozeption beschäftigt.

Die CPM-Schiene wurde 1978 von Salter und dem Ingenieur Saringer für den Menschen entwickelt, nachdem Salter zuvor dieses Konzept der „continuous passive motion“ in experimentellen Studien an Hasen getestet hatte (66). Hintergrund für die Entwicklung der CPM-Schiene war die Beobachtung, dass eine längere Immobilisation von Gelenken v.a. eine reduzierte Beweglichkeit, Schmerz

und Muskelatrophie nach sich zieht. Außerdem hatte man erkannt, dass Patienten mit verletzten Gelenken von einer frühzeitigen Bewegungstherapie profitierten (66). Die CPM-Schiene wird standardmäßig nach Kniegelenksoperationen und speziell auch nach VKB-Ersatzplastiken eingesetzt (18, 29, 49, 51, 68, 70), um o.g. Komplikationen zu verhindern.

Allerdings finden sich auch Autoren, die keine Verbesserung des Bewegungsumfangs (18, 70) feststellen konnten. Witherow et al. (70) zeigten außerdem in einer Studie mit sehr hoher Fallzahl, dass die Patienten, die nicht mit der CPM-Schiene behandelt wurden, signifikant weniger Schmerzmittel, weniger Blutverlust in den Drainagen sowie einen kürzeren stationären Aufenthalt hatten.

Von der aktiven Bewegungsschiene ist dem Autor keine offiziell veröffentlichte Studie bekannt, lediglich von Pässler und Monauni existiert eine für die Firma OPED erstellte Arbeit, die sich nur auf die Zufriedenheit der Patienten mit der CPM- und CAM-Schiene beschränkte. Dabei erhielt letztere den größeren Zuspruch. Es wurden allerdings keine objektiven Messdaten erhoben bzw. veröffentlicht, so dass auch keine Rückschlüsse auf die propriozeptiven Fähigkeiten und deren Verbesserung durch die aktive Schiene gezogen werden können.

Ursachen der Verbesserung der Propriozeption in der ersten postoperativen Woche

Es ist auszuschließen, dass das Transplantat eine sensorische Funktion zum Zeitpunkt der Abschlussmessung übernimmt. Der Unterschied zwischen CPM- und CAM-Gruppe muss also in einer Verbesserung der Funktion der das Kniegelenk versorgenden restlichen propriozeptiven Rezeptoren zu finden sein. Diese wird mit der durch die Operation wiederhergestellten Gelenkhomöostase erzielt, da der Kapselbandapparat, insbesondere auch das hintere Kreuzband, wieder gespannt wird und die entsprechenden Rezeptoren aktiviert werden. Dies stellt die Grundlage für ein funktionelles Training, wie z.B. mit der aktiven Bewegungsschiene dar, so dass hierdurch unserer Meinung nach eine bessere inter- und intramuskuläre Koordination der kniegelenksumgebenden Muskulatur

erreicht wird. Diese Vermutung wird auch durch die tendenziell besseren Werte der CAM-Gruppe bei den Muskelumfangmessungen gestützt.

Andere Studien untermauern diese Annahme.

Bouët und Gahéry (13) zeigten an gesunden Probanden, dass ein 10-Minuten-Training auf dem Ergometer zu einer Verbesserung des Stellungsinns und der Kinästhesie des Kniegelenks führt. Sie führten dies u.a. darauf zurück, dass möglicherweise bessere visko-elastische Eigenschaften und eine gesteigerte Oxygenierung der Muskulatur das Funktionieren der Rezeptoren positiv beeinflußt (13).

Ebenso Bartlett und Warren (6) wiesen einen verbesserten Stellungssinn bei Sportlern nach einer Aufwärmphase nach.

Auch Beard et al. (8) konnten sowohl nach einem rein auf Muskeltraining basierenden Rehabilitationsprogramm als auch nach einem speziellen sensomotorischen Training bei Patienten mit VKB-Ruptur eine verbesserte Propriozeption feststellen. Die Autoren lieferten allerdings keine Erklärungsmöglichkeiten.

Ebenso äußern Lephart et al. (44) aufgrund ihrer Untersuchungen der propriozeptiven Fähigkeiten der Kniegelenke von gesunden Turnerinnen im Vergleich mit einer normalen, gesunden Kontrollgruppe die Vermutung, dass

„effects of training on muscles and tendons may be the main factor for this enhanced kinesthesia in gymnasts, because muscle receptors provide reliable proprioceptive information."(S. 123; 44)

Ausserdem wurde für das Trainieren in der geschlossenen Kette, was beim Üben mit der aktiven Bewegungsschiene der Fall ist, nachgewiesen, „daß das neuromuskuläre System in der Lage ist, Defizite funktionell zu kompensieren, wenn ein funktioneller Reiz gesetzt wird. Es muss damit in der Rehabilitation ein gezieltes propriozeptives Training durchgeführt werden, damit die Funktion der Koaktivierung [der ischiokruralen Muskulatur] über Stimulation der Muskelspindeln zentral angebahnt wird. Dies findet möglicherweise durch Neuanbahnung des "common drives" auf supraspinaler Ebene im Sinne einer Veränderung des motorischen Stereotyps statt."(1, S. 100)

Wie bereits oben beschrieben, wurden die Patienten der CAM-Gruppe angewiesen, mit dem gesunden Bein dem operierten (und auch umgekehrt) Widerstand unterschiedlicher Stärke zu leisten, um so koordinierte Bewegungsabläufe zu erhalten. Somit erfüllt dieses Training auch die von Rivera (62) aufgestellte Forderung, dass ein funktionelles Training „must demand integration of muscular acctivity, must be of a closed kinetic chain nature, and must challenge the utilization of normal proprioceptive mechanisms“ (S. 154; 62).
Freiwald et al. (21) sehen ebenfalls rückkoppelbare Programmabläufe als ein einfaches Koordinationstraining an, da „die Kontraktion der Muskulatur ... in Einklang mit der sensorischen Rückkopplung (Lageveränderung, Schmerz usw.) vorgenommen [wird].“(S.557, 21)
An den eigenen Ergebnissen fällt allerdings auch auf, dass die CPM-Gruppe sich im Bereich der Hauptzielgröße verbesserte, obwohl sich kein Anhalt für propriozeptionsförderende Elemente in der CPM-Behandlung finden lassen.
Somit könnten folgende Gründe für die Verbesserung verantwortlich sein:

1. Ein positiver Einfluss der begleitenden krankengymnastischen Therapie ist wahrscheinlich.
2. Die Operation bewirkt durch die Wiederherstellung der physiologischen Gelenkstellung (Gelenkhomöostase) einen positiven Effekt auf die restlichen propriozeptiven Fähigkeiten (s.o.).
3. Eine Kombination aus den oben genannten Punkten.

Beim statistischen Vergleich von der CAM-Gruppe am Entlassungstag mit der gesunden Kontrollgruppe ist überraschenderweise kein signifikanter Unterschied festzustellen, sehr wohl aber ein qualitativer, da der Median in der gesunden Kontrollgruppe 1,0° weniger betrug.
Einige Autoren berichten über eine Mitreaktion im Sinne einer Verschlechterung der propriozeptiven Fähigkeiten des gesunden, kontralateralen Kniegelenks (7, 22, 40, 54).
Fremerey et al. (22) zeigten dies nur bei akuten VKB-Rupturen, bei chronischen Patienten fehlte eine Mitreaktion.

In der vorliegenden Studie konnte keine Mitreaktion gefunden werden, die gesunden Kniegelenke der Patienten reproduzierten sogar tendenziell besser als die der Kontrollgruppe.

Zusätzlich zur Hauptzielgröße wurden auch noch im Flexionsbereich Seitendifferenzen gemessen. Hier zeigte sich, dass sowohl die Seitendifferenzen bei 30°/ 35° als auch bei 50°/ 60° nicht aussagekräftig bzw. diese Bereiche nicht sensitiv sind, um ein Propriozeptionsdefizit feststellen zu können, da die Ergebnisse starke inter- und vor allem intraindividuelle Schwankungen bei der Winkelreproduktion offenbaren.

Dieses Ergebnis deckt sich mit dem von Friden et al. (24), die allerdings mit einem TDPM die Propriozeption von Gesunden und VKB-Patienten maßen.

Ebenfalls Borsa et al. (12) konnten mittels TDPM zeigen, dass der extensionsnahe Bereich entscheidend ist."... in deficient limbs proprioception is significantly more sensitive in the end ranges of knee extension (15°) and is significantly more sensitive moving into the direction of extension."(S.336, 12)

Hinsichtlich der aufgetretenen Kniegelenksergüsse konnte kein klinisch relevanter Unterschied zwischen den Patientengruppen gefunden werden. Es muss aber festgestellt werden, dass durch die aktive Therapie tendenziell weniger Ergüsse auftraten. Dies lässt darauf schließen, dass das Trainieren mit der aktiven Bewegungsschiene keine zu aggressive Behandlung darstellt. Dafür spricht auch, dass der Schmerzverlauf unter der Therapie mit den unterschiedlichen Bewegungsschienen nahezu identisch war.

Ebenfalls beim Bewegungsumfang konnte weder ein statistischer noch klinisch relevanter Unterschied zwischen CPM- und CAM-Gruppe gefunden werden.

Aber auch hier zeigt sich wieder eine Tendenz zugunsten der aktiven Schiene.

Als Hindernis zum Erreichen einer verbesserten Propriozeption scheint auch der Kniegelenkserguss mit daraus resultierender Muskelatrophie und Bewegungseinschränkung eine wichtige Rolle zu spielen.

Im Nebenschluss konnte außerdem festgestellt werden, dass Patienten mit nur einer geringfügig verschlechterten Propriozeption dennoch auf ein propriozeptives bzw. sensomotorisches Training positiv ansprechen können.

Bewertung Test

Der in dieser Studie verwendete passive Winkelreproduktionstest unterschied sich zu den in der bisherigen Literatur beschriebenen dadurch, dass dem Probanden bzw. Patienten die Möglichkeit genommen wurde, die Winkelpositionen über die Dauer der Vorgabe einzuschätzen. So gaben z.B. Jerosch et al. (34, 35, 37, 38) die Winkel immer aus der Streckstellung vor. Dabei wurde aber übersehen, dass je größer der einzustellende Winkel war, desto länger für die Vorgabe benötigt wurde. Somit kann unseres Erachtens nicht unterschieden werden, ob diese Ergebnisse darauf beruhen, dass je größer die Flexion, desto schlechter die Propriozeption ist, oder dass mit der immer größer werdenden Zeit für die Vorgabe, es für den Patienten immer schwieriger wurde, sich den Winkel über die Zeit zu merken.

Beim passiven WRT wird entweder ein Modell verwendet, an welchem der Proband oder Patient den ihm mittels Schiene vorgegebenen Winkel nachstellen muss (4, 5, 15, 64), oder der vorgegebene Winkel wird mit Hilfe des Handgelenks reproduziert (34, 35, 37, 38). Bei der Reproduktion am Modell muss der Proband unter Zuhilfenahme seiner Hand die Winkel nachstellen. Somit wird das Ergebnis zusätzlich zumindest noch von der Propriozeption der Finger- und des Handgelenks abhängig und möglicherweise verschlechtert. Außerdem kommen zusätzliche Messfehler am Modell in Betracht. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Schiene bzw. das Bein durch einen Motor bewegt wird, und der Patient die vorgegebene Position mit Hilfe eines „joysticks“ selbst nachstellt (13, 22, 23). Diese Methode ist die reliabelste, da die Winkeleinstellungen mit konstanter und definierter Winkelgeschwindigkeit erfolgen. Allerdings benötigt man hierzu einen erheblichen technischen Aufwand, welcher für diese Arbeit nicht zur Verfügung stand.

Eine weitere Möglichkeit der Propriozeptionsmessung ist die Reflexmessung der Hamstringmuskulatur (7, 33). Grundgedanke bei dieser Methode ist, dass die Hamstrings agonistisch zum vorderen Kreuzband wirken und somit eine verlängerte Reflexzeit für ein propriozeptives Defizit spricht. Aus eigenen Untersuchungen ist allerdings noch unklar, ob mit diesem Test eine Beurteilung

der Propriozeption möglich ist. Somit handelt es sich um ein noch nicht etabliertes Testverfahren.

An allen aufgeführten Methoden einschließlich der in dieser Studie verwendeten ist zu kritisieren, dass das ganze propriozeptive System des Kniegelenks gemessen wird und der Ausfall der das Kreuzband versorgenden Rezeptoren für sich nicht quantifizierbar ist.

Aufgrund der verschiedenen Testmethoden für die Propriozeption, zu denen noch aktive WRT, der Test zur Erkennung passiver Bewegungen (TDPM) gehören, sind die Ergebnisse schwer zu vergleichen. Aktive Tests, wie der Hop-Test (19), können in der ersten Woche postoperativ nicht angewendet werden.

Die Mehrheit der Autoren weist aber, unabhängig vom verwendeten Test, nach Ruptur des VKB ein propriozeptives Defizit im betroffenen Gelenk nach (3, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 22, 23, 26,35, 39, 42, 48, 54, 63, 64).

Kein propriozeptives Defizit nach VKB-Ruptur konnte nur eine geringe Anzahl von Autoren (30, 33) finden, zwei (24, 63, 64) nur nicht mit einem WRT, aber dafür mit TDPM. Good et al. (30) untersuchten mittels WRT allerdings nur Patienten mit akuten vorderen Kreuzbandrupturen, während in dieser Arbeit bis auf eine Ausnahme nur chronische getestet wurden.

Friden et al. (24) und Roberts et al. (63, 64) schließlich fanden nur mittels aktivem WRT keinen signifikanten Unterschied zwischen verletzten und gesunden Kniegelenken und führten dies darauf zurück, dass erstens eine zu hohe Geschwindigkeit bei der Flexion bzw. Extension des Kniegelenks durch den Untersucher ein Propriozeptionsdefizit maskieren könnte, da die langsam adaptierenden Bewegungsmelder nicht aktiviert würden . Zweitens unterstellten sie eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse durch den Untersucher, konkretisierten dies aber nicht weiter, so dass hierzu keine Stellungnahme abgegeben werden kann.

Zum ersten Kritikpunkt ist zu sagen, dass es bei manueller Vorgabe der Winkel nicht möglich ist, mit hoher Geschwindigkeit eine bestimmte Winkelposition exakt einzustellen, d.h. es muss in jedem Fall vor dem Erreichen des gewünschten Winkels die Geschwindigkeit reduziert werden. Dies bedeutet, dass sehr wohl auch langsam adaptierende Rezeptoren aktiviert werden.

Bedeutung der Ergebnisse und offene Fragen

Die klinische Bedeutung eines Propriozeptionsdefizits im Kniegelenk liegt in der funktionellen Instabilität aufgrund eines gestörten neuromuskulären Regelkreises des Patienten. Die Folge eines solchen Defizits kann ein verändertes Gangbild sein, welches wiederum zu einer unphysiologischen Gelenkbelastung mit einhergehender Knorpelschädigung führt (3). Hurley und Scott (32) weisen darauf hin, dass selbst kleine Abweichungen „at the knee will be amplified at the foot, resulting in large positional inaccuracies at heel strike. Consequently, even small improvements in positional acuity will result in more accurate foot placement, minimizing the transient impact forces during gait."(S.186, 32) Außerdem könnten verminderte propriozeptive Fähigkeiten im Gelenk eine Prädisposition zu einer erneuten Verletzung darstellen.

Frosch et al. (27) konnten bei Patienten mit VKB-Plastik zeigen, dass Patienten, die postoperativ eine erweiterte ambulante Physiotherapie erhielten, im Vergleich zu Patienten, die lediglich eine krankengymnastische Übungsbehandlung erhielten, nach knapp einem halben Jahr eine signifikant bessere Kniegelenkspropriozeption hatten.

Wird nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes nur eine geringe Verschlechterung der Propriozeption festgestellt, so sollte auch diese therapeutisch angegangen werden, da Propriozeptionstraining bereits als Prävention vor Verletzung erfolgreich eingesetzt wurde.

Caraffa et al. (14) teilten gesunde Amateurfußballer in zwei Gruppen auf, von denen eine zusätzlich zum normalen Training ein Propriozeptionstraining für mindestens 30 Tage in der Vorbereitungsphase durchführte. Sie konnten dann über drei Spielsaisonen ein signifikant geringeres Auftreten von VKB-Rupturen in der Gruppe mit Propriozeptionstraining feststellen.

Die Ergebnisse dieser Studie werfen folgende Fragen auf:

1. Kann die gesamte Rehabilitation durch die unmittelbar postoperative aktive Therapie verkürzt werden? Im positiven Falle würde der Patient schneller in sein Berufsleben zurückkehren, was wiederum eine Kostenersparnis für das Gesundheitswesen bedeuten würde.

2. Führt die CAM-Schiene durchschnittlich zu einer höheren Belastbarkeit/ höherem Sportniveau?

Schlussfolgerung

Die aktive Bewegungsschiene (CAM) reduziert das propriozeptive Defizit signifikant besser als die passive Bewegungsschiene (CPM). Die aktive Bewegungstherapie unmittelbar postoperativ birgt keinerlei Nachteile in sich, im Gegenteil, der Bewegungsumfang ist tendenziell besser, die Atrophie der Muskulatur sowie die Anzahl von Kniegelenksergüssen ist geringer.

Deswegen sollte der aktiven Bewegungsschiene (CAM) in der postoperativen Nachbehandlung von Ersatzplastiken des vorderen Kreuzbandes der Vorzug gegeben werden.

Zusammenfassung

Es ist bekannt, dass eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) zum einen eine mechanische Instabilität nach sich zieht, welche trotz operativer Versorgung nicht vollständig therapierbar ist. Zum anderen ist erwiesen, dass ein propriozeptives Defizit durch Zerstörung von Rezeptoren im VKB entsteht, welches eine Funktionsstörung der das Kniegelenk stabilisierenden Muskulatur bewirkt. Hieraus resultiert die sog. Funktionelle Instabilität, welche großen Anteil daran trägt, dass die Rehabilitation 6-9 Monate dauert.

Außer in speziellen Zentren beginnt die Therapie der Funktionellen Instabilität im Sinne von Propriozeptionstraining bzw. sensomotorischem Training nicht unmittelbar postoperativ nach VKB-Plasik, sondern erst nach dem stationären Aufenthalt in einem geeigneten Rehazentrum. Diese therapeutische „Lücke“ wird durch Genehmigungsverfahren für die Rehamaßnahmen bei den Krankenkassen zusätzlich auf teilweise bis zu drei Wochen verlängert. Die übliche postoperative Behandlung nach VKB-Plastik besteht vor allem aus krankengymnastischen Übungen und der Anwendung einer passiven Bewegungsschiene („continuous passive motion“), um den ursprünglichen Bewegungsumfang wieder zu erreichen und Folgeschäden durch Immobilisation zu verhindern.

Mittlerweile sind aber sog. aktive Bewegungsschienen auf dem Markt, von denen die Hersteller behaupten, dass durch diese eine Verbesserung der Propriozeption erreicht werden kann.

Deswegen verglichen wir eine aktive Bewegungsschiene mit einer passiven mit folgender Fragestellung:

Kann das propriozeptive Defizit nach Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes in der ersten postoperativen Woche durch die Anwendung einer aktiven Bewegungsschiene („controlled active motion“; CAM) im Vergleich zur Anwendung mit einer passiven Bewegungsschiene („continuous passive motion“; CPM) signifikant verbessert werden?

Es handelte sich dabei um eine prospektive, randomisierte Studie in der 60 Patienten nach VKB-Plastik zu gleichen Anteilen entweder mit der CPM- oder der aktiven Bewegungsschiene, der sog. CAM-Schiene, übten.

Als Prüfkriterium verwendeten wir einen Winkelreproduktionstest. Hierbei wurde sowohl das gesunde als auch das verletzte bzw. operierte Bein gemessen, um die Seitendifferenz bilden zu können. Somit wurden interindividuelle Unterschiede bezüglich der propriozeptiven Fähigkeiten eliminiert. Die Hauptzielgröße lag im extensionsnahen Bereich.

Zur Ermittlung von Referenzwerten und Fallgröße, sowie zur Festlegung der statistischen Auswertung wurde als erstes eine gesunde Kontrollgruppe gemessen, die im extensionsnahen Bereich eine Seitendifferenz von durchschnittlich 1,5° erzielte.

Die Ergebnisse des Winkelreproduktionstests sahen folgendermaßen aus:

Vor der VKB-Plastik bestand zwischen CPM- und CAM-Gruppe kein Unterschied in der Seitendifferenz. Der Mittelwert in der CPM-Gruppe lag bei 5,9 $\pm$ 2,2°, in der CAM-Gruppe bei 5,7 $\pm$ 2,4°.

Bei Entlassung verbesserte sich die CPM-Gruppe auf einen Mittelwert von 4, 2° $\pm$ 1,6, die CAM-Gruppe auf 2,0° $\pm$ 1,2.

Dieser Unterschied ist hochsignifikant. Als Ursache für die deutlich bessere Propriozeption der CAM-Gruppe vermuten wir eine durch die aktive Schiene induzierte verbesserte intra- und intermuskuläre Koordination.

Bei den Nebenzielgrößen gab es keine signifikanten Unterschiede. Keiner der Patienten hatte ein Streckdefizit. Auffällig, aber statistisch nicht signifikant, war eine geringere Muskelatrophie in der CAM-Gruppe.

Auch bei den Trainingszeiten war kein relevanter Unterschied vorhanden.

Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass die aktive Bewegungsschiene in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik bevorzugt werden sollte und somit die Möglichkeit besteht die therapeutische Lücke zwischen Operation und Rehabilitation zu schließen.

Literaturverzeichnis

1. Banzer W, Neumann D: Offene und geschlossene kinetische Kette in der Rehabilitation nach Sportverletzungen. Sportverletz Sportschaden 9: 98-100 (1995)
2. Barrack RL, Skinner HB, Cook SD: Proprioception of the knee joint. Am J Phys Med 63: 175-181 (1984)
3. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL: Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. Am J Sports Med 1: 1-6 (1989)
4. Barret DS, Cobb AG, Bentley G: Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. J Bone Joint Surg (Br) 73- B: 53-56 (1991)
5. Barret DS, Cobb AG, Bentley G: Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. J bone Joint Surg (Br) 73-B: 833- 837 (1991)
6. Bartlett MJ, Warren PJ : Effect of warming up on knee proprioception before sporting activity. Br J Sports Med 36:132-134 (2002)
7. Beard DJ, Kyberd PJ, Fergusson CM, Dodd CAF: Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg (Br) 75- B: 311-315 (1993)
8. Beard DJ, Dodd CAF, Trundle HR, Sompson AHRW: Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. J Bone Joint Surg (Br) 76-B: 654- 659 (1994)
9. Beard DJ, Dodd CAF: Home or supervised rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. J Orthop Sports Phys Ther (United States) 2: 134-143 (1998)
10. Beynnon BD, Ryder SH, Konradsen L, Johnson RJ, Johnson K, Renström PA: The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception. Am J Sports Med 27: 150-155 (1999)
11. Biedert R.M., Zwick E.B.: Ligament-muscle reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction: electromyographic evaluation. Arch Orthop Trauma Surg 118: 81- 84 (1998)

12. Borsa PA, Lephart SM, Irrgang JJ, Safran MR, Fu FH: The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. Am J Sports Med 25: 336-340 (1997)
13. Bouët V, Gahéry Y: Muscular exercise improves knee position sense in humans. Neurosci Lett 289: 143-146 (2000)
14. Caraffa A, Cerulli G, Projetti M, Aisa G, Rizzo A: Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4: 19- 21 (1996)
15. Carter ND, Jenkinson TR, Jones DW, Torode AS: Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. Br J Sports Med 31: 209-212 (1997)
16. Co FH, Skinner HB, Cannon WD: Effect of reconstruction of the anterior cruciate ligament on proprioception of the knee and the heel strike transient. J Orthop Res 11: 696-704 (1993)
17. Eckhardt R, Scharf HP, Puhl W: Die Bedeutung der neuromuskulären Koordination für die sportliche Belastbarkeit des Kniegelenks nach vorderen Kreuzbandverletzungen. Sportverletz Sportschaden 8: 16-24 (1994)
18. Engstrom B, Sperber A, Wredmark T: Continuous passive motion in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 3: 18-20 (1995)
19. Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L: The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physically active individuals. Phys Ther 80: 128-140 (2000)
20. Freiwald J: Die nervöse Versorgung der Kniegelenke Wien Med Wschr 147: 531-541 (1997)
21. Freiwald J, Engelhardt M, Gnewuch A, Reuter I, Konrad P: Trainigstherapeutische Behandlung nach Knietraumen. Wien Med Wschr 147: 556-568 (1997)
22. Fremerey RW, Lobenhoffer P, Born I, Tscherne H, Bosch U: Kann die Kniegelenks-propriozeption durch Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes wiederhergestellt werden? Unfallchirurg 101: 697-703 (1998)

23. Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tscherne H: Proprioception after rehabilitation in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg (Br) 82-B: 801-806 (2000)
24. Friden T, Roberts D, Zätterström R, Lindsrand A, Moritz U: Proprioception in the nearly extended knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4: 217-224 (1996)
25. Friden T, Roberts D, Movin T, Wredmark T: Function after anterior cruciate ligament injuries. Acta Orthop Scand 69: 590-594 (1998)
26. Friden T, Roberts D, Zätterström R, Lindsrand A, Moritz U: Proprioceptive defects after an anterior cruciate ligament rupture – the relation to associated anatomical lesions and subjective knee function. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 7: 226-231 (1999)
27. Frosch KH, Habermann F, Fuchs M, Michel A, Junge R, Schmidtmann U, Stürmer KM: Ist die erweiterte ambulante Physiotherapie (EAP) nach vorderer Kreuzbandersatzplastik indiziert? Ein Vergleich von Kosten und Nutzen. Unfallchirurg 104: 513-518 (2001)
28. Fuchs S, Thorwesten L, Niewerth S: Proprioceptive function in knees with and without total knee arthroplasty. Am J Phys Med Rehabil 78: 39-45 (1999)
29. Gnewuch A, Freiwald J, Engelhardt M: Physiotherapeutische Behandlung nach Knietraumen. Wien Med Wschr 147: 570-576 (1997)
30. Good L, Roos H, Gottlieb DJ, Renström PA, Beynnon BD: Joint position sense is not changed after acute disruption of the anterior cruciate ligament. Acta Orthop Scand 70: 194-198 (1999)
31. Harrison EL, Duenkel N, Dunlop R, Russel G: Evaluation of single-leg standing following anterior cruciate ligament surgery and rehabilitation. Phys Ther 74: 245-252 (1994)
32. Hurley MV, Scott DL: Improvements in quadriceps sensorimotor function and disability of patients with knee osteoarthritis following a clinically practicable exercise regime. Br J Rheumatol 37: 1181-1187 (1998)
33. Jennings AG, Seedhom BB: Proprioception in the knee and reflex hamstring contraction latency. J Bone Joint Surg (Br) 76-B: 491- 494 (1994)

34. Jerosch J, Prymka M: Propriozeptive Fähigkeiten des gesunden Kniegelenks: Beeinflussung durch eine elastische Bandage. Sportverletz Sportschaden 9: 72-76 (1995)
35. Jerosch J., Prymka M.: Propriozeptive Fähigkeiten im Bereich des Kniegelenks bei Patienten nach vorderer Kreuzbandruptur; Unfallchirurg 99: 861- 868 (1996)
36. Jerosch J, Prymka M: Proprioception and joint stability. Knee Surg, Sports Traumatol, Arthroscopy 4: 171-179 (1996)
37. Jerosch J, Schmidt K, Prymka M: Beeinflussung der propriozeptiven Fähigkeiten von Kniegelenken mit einer primären Gonarthrose. Unfallchirurg 100: 219-224 (1997)
38. Jerosch J, Prymka M: Propriozeptive Defizite des Kniegelenks nach Ruptur des medialen Meniskus. Unfallchirurg 100: 444-448 (1997)
39. Jerosch J, Pfaff G, Thorwesten L, Schoppe R: Auswirkungen eines propriozeptiven Trainingsprogramms auf die sensomotorische Fähigkeiten der unteren Extremität bei Patienten mit einer vorderen Kreuzbandinstabilität. Sportverletz Sportschaden 12: 121-130 (1998)
40. Jerosch J, Schäffer C, Prymka M: Propriozeptive Fähigkeiten bei operativ und konservativ behandelten kreuzbandinsuffizienten Kniegelenken. Unfallchirurg 101: 26-31 (1998)
41. Koralewicz LM, Engh GA: Comparison of proprioception in arthritic and age-matched normal knees. J Bone Joint Surg 82-A: 1582-1588 (2000)
42. Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA, Harner CD: Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. J Sport Rehab 1: 188-196 (1992)
43. Lephart SM, Fu FH: The role of proprioception in the treatment of sports injuries. Sport Exerc Injury 1: 96-102 (1995)
44. Lephart SM, Giraldo JL, Borsa PA, Fu FH: Knee joint proprioception: a comparison between female intercollegiate gymnasts and controls. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4: 121-124 (1996)

45. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH: The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. Am J Sports Med 25: 130-137 (1997)
46. Lephart SM, Pincivero DM, Rozzi SL: Proprioception of the ankle and the knee. Sports Med 25: 149-155 (1998)
47. Ludwig M: Funktionsanalytische Untersuchungen des rehabilitativen Krafttrainings nach vorderer Kreuzbandplastik und ihre Konsequenzen. Dtsch Z Sportmed 48: 193-200 (1997)
48. MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Sutherland K: Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. Am J Sports Med 24: 774-778 (1996)
49. Noyes FR, Mangine RE, Barber S: Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 15: 149-160 (1987)
50. Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, Adachi N, Sumen Y: The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg (Br) 81-B: 902-906 (1999)
51. Pässler HH, Shelbourne KD: Biologische, biomechanische und klinische Konzepte zur Nachbehandlung nach Bandeingriffen am Knie. Orthopäde 22: 421-435 (1993)
52. Pässler HH, Monauni F: Studie Camoped Aktivbewegungsschiene versus CPM Motorschiene. Keine Publikation bekannt, Studie von Firma OPED erhalten.
53. Pap G, Machner A, Awiszus F: Einfluß der Retropatellararthrose auf die Propriozeptionsfähigkeit von Gonarthrosepatienten. Orthopäde 27: 619-624 (1998)
54. Pap G, Machner A, Nebelung W, Awiszus F: Detailed analysis of proprioception in normal and ACL-deficient knees. J Bone Joint Surg (Br) 81-B: 764-768 (1999)
55. Pap G, Weiler HT, Machner A, Awiszus F: Proprioception after total knee arthroplasty. Acta Orthop Scand 71: 153-159 (2000)
56. Payne MW, Petrella RJ: Viscosupplementation effect on proprioception in the osteoarthritic knee. Arch Phys Med 81: 598-603 (2000)

57. Pitman MI, Nainzadeh N, Menche D, Gasalberti R, Kyoo Song E: The intraoperative evaluation of the neurosensory function of the anterior cruciate ligament in humans using somatosensory evoked potentials. Arthroscopy 4: 442-447 (1992)
58. Raunest J, Sager M, Bürgener E: Proprioception of the cruciate ligaments: receptor mapping in an animal model. Arch Orthop Trauma Surg 118: 159-163 (1998)
59. Rebel M: Koordinatives Training nach VKB-Operationen. Sportverletz Sportschaden 14: 12-19 (2000)
60. Reichel HS: PNF: Gangschulung. Sportverletz Sportschaden 10: A 11- A 20 (1996)
61. Risberg MA, Beynnon BD, Peura GD, Uh BS: Proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction with and without bracing. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 7: 303-309 (1999)
62. Rivera JE: Open versus closed kinetic chain rehabilitation of the lower extremity: a functional and biomechanical analysis. J Sport Rehab 3: 154-167 (1994)
63. Roberts D, Friden T, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U: Proprioception in people with anterior cruciate ligament –deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients. J Orthop Sports Phys Ther 29: 587-594 (1999)
64. Roberts D, Friden T, Stomberg A, Lindsrand A, Moritz U: Bilateral proprioceptive defects in patients with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between patients and healthy individuals. J Orthop Res 18: 565-571 (2000)
65. Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH: Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. Am J Sports Med 27: 312-319 (1999)
66. Salter RB: The biologic concept of continuous passive motion of synovial joints. Clin Orthop 242: 12-25 (1989)

67. Schlumberger A, Schmidtbleicher D: Zur Erfassung und Trainierbarkeit propriozeptiver Fähigkeiten. Sportverletz Sportschaden 12: XXI-XXIV (1998)
68. Shelbourne KD, Nitz P: Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 18: 292-299 (1990)
69. Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, Franceschi F, Fabbriciani C, Tonali P: Clinical and neurophysiological abnormalities before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. Acta Neurol Scand 99: 303-307 (1999)
70. Witherow GE, Bollen SR, Pinczewski LA: The use of contiuous passive motion after arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction: help or hindrance?. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc (1): 68-70 (1993)