

# Der Einfluss einer aktiven Bewegungsschiene auf die Propriozeption nach vorderer Kreuzbandplastik

## Eine prospektiv randomisierte Studie

**B**ei Patienten mit Ruptur des vorderen Kreuzbands besteht neben einer mechanischen Instabilität eine funktionelle Instabilität, welche Folge des propriozeptiven Defizits ist. Diese ist bedingt durch die Schädigung von im vorderen Kreuzband gelegenen Rezeptoren [29]. Entsprechend ist die sensomotorische Steuerung des Kniegelenks eingeschränkt. Dabei können die Reizschwellen sowohl erhöht als auch erniedrigt sein, was sich z. B. am typischen Giving-way-Phänomen äußert [13]. Für die Propriozeption sind mehrere Rezeptoren verantwortlich, die in den verschiedenen Bereichen des Kniegelenks lokalisiert sind. Schultz et al. [35] konnten als erste 1984 histologisch Rezeptoren im vorderen Kreuzband des Menschen nachweisen. Mittlerweile ist bekannt, dass neben den Rezeptoren im vorderen und hinteren Kreuzband auch Rezeptoren in den Menisken und in dem das Kniegelenk umgebenden Weichteilgewebe vorkommen.

Dieses System aus Rezeptoren spielt für die propriozeptiven Leistungen des Gelenks eine herausragende Rolle [13, 18]. Die Mechanorezeptoren erfassen Informationen über die Dehnung und den Lastzustand des Kapselbandapparats und über Bewegungen des Gelenks. Anhand dieser Informationen werden die Bewegungsabläufe des Gelenks koordiniert. Eine Möglichkeit die propriozeptive Kapazität sum-

marisch zu messen, stellt unter anderem der von Jerosch [23] beschriebene Winkelreproduktionstest dar.

Es ist nachgewiesen, dass bei Patienten mit vorderer Kreuzbandruptur die propriozeptiven Fähigkeiten pathologisch verändert sind [17, 28]. Zusätzlich konnte nachgewiesen werden, dass es keine Korrelation zwischen mechanischer und subjektiver Instabilität, sehr wohl aber zwischen Propriozeption und subjektiver Instabilität gibt [2, 15]. Folglich sollte die operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands durch eine postoperative, propriozeptive/neuromuskuläre Therapie ergänzt werden, um das Ergebnis zu optimieren. In den meisten Fällen wird das geforderte propriozeptiv/neuromuskuläre Training jedoch erst nach Entlassung aus der stationären Behandlung durch ambulante Physiotherapeuten eingeleitet. Der Grund hierfür liegt unter anderem im postoperativen Schmerz, liegenden Drainagen, bestehender Schwellung, der fehlenden Vollbelastung und fehlendem Bewegungsumfang. Ziel sollte es sein, mit dem propriozeptiven Training möglichst frühzeitig zu beginnen, um möglichst schnell wieder die sensomotorische Leistungsfähigkeit des Gelenkes aufzubauen.

Ageberg et al. [1] kamen zu dem Schluss, dass alleinige konventionelle Physiotherapie und die Verwendung von Continu-

passive-motion-Schienen (CPM) zwar den Bewegungsumfang postoperativ steigern können, aber an dem durch das Trauma bedingten neuromuskulären Defizit nichts ändern. Die in der Literatur hierfür vorgeschlagenen Trainingsübungen, wie z. B. die propriozeptive neuromuskuläre Faszillation (PNF) sowie Balanceübungen mit Hilfe des Kippbretts, sind in der unmittelbar postoperativen Phase aufgrund der oben genannten Bedingungen nicht durchführbar.

Einen neuen Ansatz in der unmittelbar postoperativen Behandlung nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands stellt die Verwendung von kontrolliert aktiven Bewegungsschienen (CAM-Schienen) dar. Mit Hilfe dieser Schienen wird den Patienten frühzeitig ein aktives Bewegungs- und Koordinationstraining ermöglicht. Das Training mit der CAM-Schiene folgt dabei dem physiotherapeutischen Prinzip der geschlossenen Kette, da der Fuß in der CAM-Schiene fixiert wird. Vorteil dieser Schiene ist, dass im Vergleich zum Ergometertraining oder komplexen neuromuskulären Trainingsformen die Beugung des Kniegelenks dem aktuellen Befund angepasst werden kann und nur eine geringe mechanische Belastung auftritt, wie dies in der unmittelbar postoperativen Phase notwendig ist. Diese Form des Trainings fördert durch den hohen Anspruch an Koordination der Kniegelenkbewegun-

	CAM	NOB
<b>Alter</b>		
<20		3
20-25	18	18
26-30	4	4
31-35	2	
>35	1	
<b>Geschlecht</b>		
m	24	23
w	1	2
<b>Größe (cm)</b>		
160-165		1
166-170	1	2
171-175	9	4
176-180	7	10
181-185	4	4
186-190	4	4
<b>Gewicht (kg)</b>		
<60	1	
60-65	3	2
66-70	1	1
71-75	9	12
76-80	2	2
81-85	5	3
86-90	2	1
91-95	1	2
>95	1	2
<b>KG (verletzte Seite)</b>		
li.	13	11
re.	12	14
<b>OP-Technik</b>		
BTB	24	23
STG	1	2
<b>Begleitverletzung (Meniscen)</b>		
IM	6	8
AM	2	5
IM/AM	3	2
keine	14	10



Abb. 2 ◀ Die CAM-Schiene ermöglicht eine lineare Bewegung, wodurch sie sich von einem Bettfahrrad abgrenzt

Abb. 1 ◀ Patientendaten und Begleitverletzungen

gen gezielt die Propriozeption [14] und entspricht dem von Rivera [33] empfohlenem Therapiekonzept.

Ziel der hier vorgestellten Studie war es zu untersuchen, ob durch die Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und Verwendung der CAM-Schiene in der unmittelbar postoperativen Phase das durch die Ruptur des vorderen Kreuzbands bedingte propriozeptive Defizit reduziert werden kann.

## Material und Methoden

### Patienten

Es wurde eine prospektive randomisierte Studie an 50 Patienten durchgeführt. Die

Studie wurde durch die Ethikkommission der Universität Ulm genehmigt (Nr. 165/2001). Die teilnehmenden Patienten und Probanden hatten ihr Einverständnis schriftlich erklärt.

Sämtliche Patienten hatten eine Ruptur des vorderen Kreuzbands. Die Patienten wurden klinisch untersucht und das aktive Bewegungsausmaß beider Kniegelenke bestimmt. Zusätzlich wurde der Zeitrahmen zwischen dem Trauma und der Operation festgehalten. Es wurden 2 Therapiegruppen (je 25 Patienten) untersucht. Die Einteilung in die CAM-Gruppe (Physiotherapie und CAM-Schiene) und die PT-Gruppe (nur Physiotherapie) erfolgte zufällig durch Briefrandomisierung. In der CAM-Gruppe waren 1 Frau und 24 Männer, wäh-

rend sich in der PT-Gruppe 2 Frauen und 23 Männer befanden.

In Bezug auf Alter, Gewicht und Körpergröße gab es zwischen den Gruppen keinerlei signifikante Unterschiede. In der CAM-Gruppe war bei 13 Patienten das linke und bei 12 Patienten das rechte Knie betroffen, während in der PT-Gruppe die Verteilung links/rechts bei 11 zu 14 lag. Klinisch relevante Unterschiede hinsichtlich Anzahl und Art der Begleitverletzungen in den beiden Gruppen lagen nicht vor (▣ Abb. 1).

Ausschlusskriterien für diese Studie waren eine erforderliche Brace-Versorgung, Kontraindikationen bezüglich der Schienenbehandlung, Limitierung der Bewegung durch Operationsverfahren, post-



Abb.3 ▲ Versuchsaufbau mit Goniometer für den passiven Winkelreproduktionstest

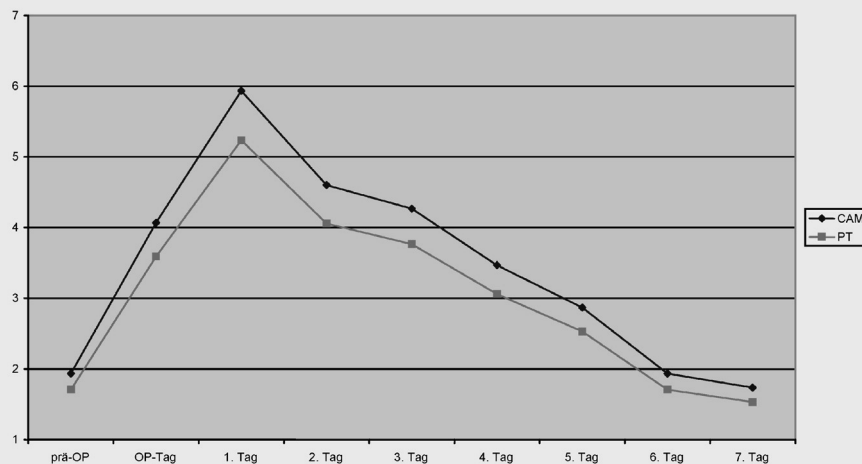


Abb.4 ▲ Darstellung des Schmerzes, im zeitlichen Verlauf gemessen mit der visuellen Analogskala (VAS, Spanne von minimal 1 bis maximal 10)

operativer Infekt, tiefe Beinvenenthrombose, neurologische Erkrankungen, metabolische Gefäßerkrankungen mit neurologischer Komponente, Verletzungen des oberen und/oder unteren Sprunggelenks, Verletzungen der Hüfte sowie ein passiver Bewegungsumfang von weniger als 70°.

### Operationstechniken

Die operative Behandlung der vorderen Kreuzbandruptur wurde entweder anhand einer Patellarsehnenplastik (BTB), oder mit einer Semitendinosus-Gracilis-Plastik (STG) mit insgesamt 4 Sehnensträngen vorgenommen. Die Patienten konnten nach entsprechender Aufklärung frei zwischen beiden operativen Verfahren wählen. In der CAM-Gruppe betrug daher das Verhältnis von Bone-Tendon-Bone-Ersatzplastik zur Semitendinosus-Gracilis-Plastik 24:1, in der PT-Gruppe hingegen 23:2. In beiden Fällen wurden die Transplantate mit Hilfe von bioresorbierbaren Schrauben sowohl in der Tibia als auch im Femur fixiert. Alle Patienten wurden von denselben beiden Chirurgen (B.F./W.S.) operiert.

### Postoperative Behandlung

Beiden Patientengruppen wurde erlaubt, die Kniegelenke schmerzabhängig frei zu bewegen. Die konventionelle Physiotherapie bestand in Lymphdrainage, Gangschule, aktiven und passiven Bewegungsübungen sowie isometrischen Streckübungen für beide Kniegelenke. Allen Patienten

wurde postoperativ Sohlenkontakt erlaubt. Besonders geachtet wurde auf frühzeitige Extensionsübungen. Nach Drainagenzug am zweiten postoperativen Tag erhielten die Patienten der CAM-Gruppe die CAM-Schiene. Verwendet wurde die CAMOPED-Schiene (OPED®, Valley, Deutschland, ■ Abb. 2).

Jeder Patient sollte täglich zwischen 2 und 4 Stunden mit der CAM-Schiene trainieren. Die Patienten der PT-Gruppe erhielten lediglich die gleiche konventionelle physiotherapeutische Beübung wie die Patienten der CAM-Gruppe.

Die Patienten wurden standardisiert einen Tag präoperativ stationär aufgenommen und am 7. postoperativen Tag entlassen. Sie befanden sich entsprechend 9 Tage in stationärer Behandlung, um für die Untersuchung vergleichbare, kontrollierte Bedingungen zu schaffen.

### Winkelreproduktionstest

Um die Propriozeption der Patienten zu untersuchen, wurde der von Jerosch et al. [22, 23] beschriebene Winkelreproduktionstest verwendet. Wir nahmen komplett passiv geführte Messungen vor. Die Winkel wurden mit einem Elektrogoniometer (Penny & Giles®, Doreset, GB, Genauigkeit des Goniometers  $\pm 0,5^\circ$ ) bestimmt. Das Gerät wurde lateral am Knie mit einem beidseits klebenden Klebeband (Tesa®, Hamburg) fixiert (■ Abb. 3).

Nach Anlage der Messblöcke und Kontrolle auf korrekten Sitz wurde das betreffende Bein bis 0° gestreckt und das Gonio-

meter kalibriert. Danach wurde jeder Patient aufgefordert, das Bein mehrmals bis zu 90° zu flektieren und die Messgenauigkeit überprüft. Durch eine Augenbinde waren die visuellen Stimuli genommen. Das Bein wurde nun nacheinander auf drei vorher definierte Gradeinstellungen (rechts: 15°, 30°, 50°; links: 10°, 35°, 60°) passiv bewegt und für 5 Sekunden gehalten. Der Patient sollte sich die jeweiligen Positionen merken.

Nach Rückkehr in die Ausgangsposition und passiv geführter, erneuter Bewegung sollte der Patient angeben, wann die vorgegebenen Winkel wieder erreicht wurden. Es wurden nach Jerosch et al. [22, 23, 24] unterschiedliche Winkel rechts und links gewählt, um einen Lerneffekt zu vermeiden. Außerdem wurde die Reihenfolge der Winkel bei jedem Patienten variiert. Der Seitenunterschied zwischen dem gesunden und kranken Kniegelenk wurde bestimmt und als propriozeptives Defizit des kranken Kniegelenks definiert.

### Weitere Beurteilungskriterien

Zusätzlich zum Reproduktionstest wurden der Muskelumfang 10 cm und 20 cm oberhalb des medialen Kniegelenkspalts und die Schmerzen präoperativ und bis zum Tag der Entlassung erfasst. Der Schmerz wurde anhand einer visuell analogen Skala (VAS, 10 cm) gemessen. Jeder an der Studie teilnehmende Patient musste die Trainingszeit mit der CAM-Schiene pro Tag dokumentieren.

### Statistik

Als Kontrollgruppe wurden vor Beginn der eigentlichen Studie 20 gesunde Probanden mit dem oben beschriebenen Winkelreproduktionstest untersucht, deren Ergebnisse auch zur Fallzahlberechnung der Gruppengrößen erforderlich waren. Die Kontrollgruppe zeigte in extensionsnaher Stellung (Hauptzielgröße) eine Seitendifferenz der Winkelreproduktion von durchschnittlich  $2,3^\circ \pm 1,9^\circ$ . Die Hauptzielgröße liegt in dem Bereich, dem in der Literatur die höchste Bedeutung bei der Messung des propriozeptiven Defizits nach Ruptur des vorderen Kreuzbands zugesprochen wird, da das vordere Kreuzband im extensionsnahen Bereich seine Hauptfunktion übernimmt [8, 17, 22, 28]. Die Winkelbereiche  $30^\circ/35^\circ$  und  $50^\circ/60^\circ$  wurden als Nebenzielgrößen festgelegt. Bei Messung der Nebenzielgröße  $30^\circ/35^\circ$  im Winkelreproduktionstest erreichten die gesunden Probanden eine durchschnittliche Seitendifferenz von  $2,1^\circ \pm 1,8^\circ$ . Die Messung der Nebenzielgröße  $50^\circ/60^\circ$  ergab eine durchschnittliche Seitendifferenz von  $1,8^\circ \pm 1,0^\circ$  im flexionsnahen Bereich.

Zur Berechnung der Fallzahl wurden eine Power von 80% und ein Fehler von  $p < 0,05$  festgelegt. Es resultierte eine Fallzahl von  $n=25$  je Gruppe. Es wurden die üblichen Prozeduren der deskriptiven und vergleichenden Statistik für die statistische Auswertung verwendet. Signifikanzen wurden durch den t-Test berechnet.

### Ergebnisse

#### Schmerz und aktiver Bewegungsumfang

Am Tag der Entlassung waren in beiden Gruppen über 70% der befragten Patienten absolut schmerzfrei. Ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich nicht (■ **Abb. 4**).

Sämtliche Patienten konnten präoperativ sowohl das gesunde als auch das verletzte Kniegelenk aktiv frei strecken. Die durchschnittliche aktive Flexion des gesunden Kniegelenks betrug präoperativ  $134,6^\circ \pm 7,6^\circ$  in der CAM-Gruppe und  $128,6^\circ \pm 9,6^\circ$  in der PT-Gruppe. Auf der kranken Seite betrug der aktive Bewe-

Unfallchirurg 2006 · 109:22–29  
DOI 10.1007/s00113-005-1006-0  
© Springer Medizin Verlag 2005

B. Friemert · F. v. Lübken · R. Schmidt · C. Jouini · H. Gerngroß

### Der Einfluss einer aktiven Bewegungsschiene auf die Propriozeption nach vorderer Kreuzbandplastik. Eine prospektiv randomisierte Studie

#### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Nach einer VKB-Ruptur besteht neben der mechanischen eine durch das propriozeptive Defizit bedingte funktionelle Instabilität. Es sollte überprüft werden, ob durch Einsatz von CAM-Schienen unmittelbar postoperativ das propriozeptive Defizit gesenkt werden kann.

**Patienten und Methoden.** In dieser prospektiv randomisierten Studie wurden 50 Patienten nach VKB-Plastik in eine PT-Gruppe (Physiotherapie) und eine CAM-Gruppe (Physiotherapie + aktive Bewegungsschiene) eingeteilt. Die propriozeptive Leistung wurde mit einem passiven Winkelreproduktionstest gemessen.

**Ergebnisse.** Bei Entlassung wurde bei 80% der CAM-Patienten und 25% der PT-Patienten eine Reduktion des propriozeptiven De-

fizits gemessen. Die CAM-Gruppe zeigte in der Hauptzielgröße eine Verbesserung um 83,7%. Die PT-Gruppe verschlechterte sich um 39,3%. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der CAM-Gruppe und einer gesunden Kontrollgruppe.

**Schlussfolgerung.** Durch den postoperativen Einsatz der CAM-Schiene kann das propriozeptive Defizit gegenüber einer alleinigen Physiotherapie signifikant reduziert werden.

#### Schlüsselwörter

Vordere Kreuzbandplastik · Funktionelle Instabilität · Neuromuskuläres Training · Propriozeptives Defizit · CAM-Schiene

### The influence of a controlled active motion splint on proprioception after anterior cruciate ligament plasty. A prospective randomized study

#### Abstract

**Background.** A ruptured anterior cruciate ligament (ACL) leads to both mechanical and functional instability. Functional instability is caused by proprioceptive deficit. The aim of this study was to determine whether the proprioceptive deficit can be reduced by using a controlled active motion (CAM) splint postoperatively.

**Patients and methods.** A total of 50 patients with ACL rupture were randomized into two groups. After ACL plasty the PT group received postoperative physiotherapy, while the CAM group were managed with a CAM splint and physiotherapy. Proprioceptive ability was measured with a passive angle-reproduction test.

**Results.** On the day of discharge 80% of the patients in the CAM group and 25% in the PT group had a reduced proprioceptive

deficit. Overall the main measured value in the CAM group improved by 83.7%, but deteriorated by 39.3% in the PT group. There was no significant difference between the CAM group and a healthy control group.

**Conclusion.** Using a CAM splint in addition to physiotherapy after ACL plasty in comparison to physiotherapy alone decreases the proprioceptive deficit significantly. We recommend the use of a CAM splint in the postoperative management following ACL plasty.

#### Keywords

Anterior cruciate ligament plasty · Functional instability · Neuromuscular training · Proprioceptive deficit · Controlled active motion splint

## Originalien

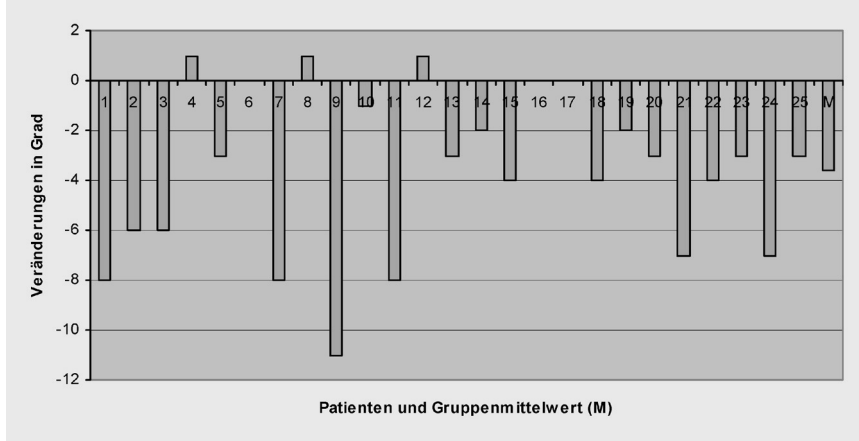


Abb. 5 ▲ Die Veränderungen des propriozeptiven Defizits in der CAM-Gruppe vom Tag der Aufnahme bis zum Tag der Entlassung. Die Säule M stellt den Mittelwert der Veränderung in der Gruppe dar

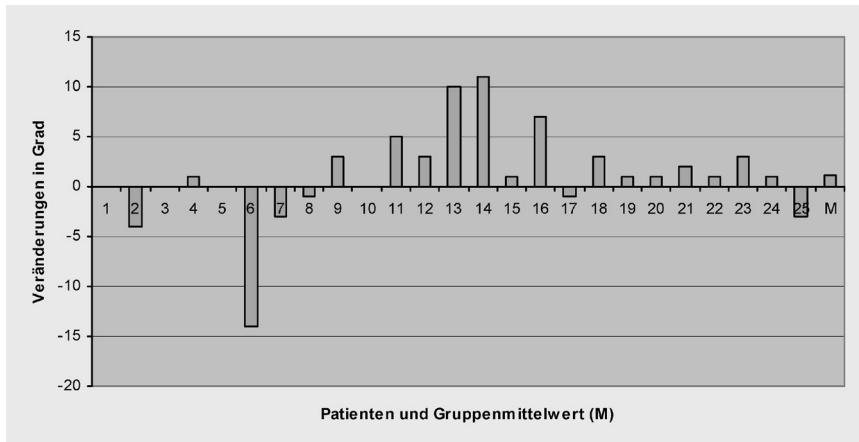


Abb. 6 ▲ Die Veränderungen des propriozeptiven Defizits in der PT-Gruppe vom Tag der Aufnahme bis zum Tag der Entlassung. Die Säule M stellt den Mittelwert der Veränderung in der Gruppe dar

gungsumfang präoperativ  $129,6^{\circ} \pm 9,1^{\circ}$  in der CAM-Gruppe und  $117,0^{\circ} \pm 16,9^{\circ}$  in der PT-Gruppe.

Am Tag der Entlassung bestand bei keinem Patienten ein Streckdefizit. Der aktive Bewegungsumfang der operativ versorgten Seite betrug bei Entlassung durchschnittlich  $98,8^{\circ} \pm 14,0^{\circ}$  in der CAM-Gruppe und  $85,4^{\circ} \pm 20,0^{\circ}$  bei den Patienten der PT-Gruppe. Der Unterschied im Bewegungsausmaß zwischen beiden Gruppen ist prä- und postoperativ signifikant. Die signifikante Differenz zwischen den beiden Gruppen lässt sich durch Ausreißer erklären. Die Differenz des aktiven Bewegungsausmaßes prä- zu postoperativ beträgt in der CAM-Gruppe  $-30,8^{\circ} \pm 15,2^{\circ}$  und  $-31,6^{\circ} \pm 18,0^{\circ}$  in der PT-Gruppe. Diese Differenz ist nicht signifikant.

### Hauptzielgröße $10^{\circ}/15^{\circ}$

Präoperativ konnte zwischen den Patienten der CAM-Gruppe und der PT-Gruppe kein statistisch signifikanter Unterschied gemessen werden. Der Mittelwert der Seitendifferenz betrug präoperativ in der CAM-Gruppe  $4,3^{\circ} \pm 3,9^{\circ}$  und in der PT-Gruppe  $2,8^{\circ} \pm 5,4^{\circ}$ . Am Tag der Entlassung bestand eine Seitendifferenz in der CAM-Gruppe von  $0,7^{\circ} \pm 2,3^{\circ}$  (Median  $1^{\circ}$ ) und  $3,9^{\circ} \pm 4,6^{\circ}$  (Median  $4^{\circ}$ ) in der PT-Gruppe. Das entspricht einer Reduktion der Seitendifferenz von 83,7% in der CAM-Gruppe und einer Erhöhung um 39,3% in der PT-Gruppe. Dies ist ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der CAM-Gruppe.

Zusätzlich ist die Verbesserung der prä- zu postoperativen Seitendifferenzen im Winkelreproduktionstest im Vergleich

mit  $3,7^{\circ} \pm 3,3^{\circ}$  für die CAM-Gruppe signifikant besser als mit  $-1,1^{\circ} \pm 4,8^{\circ}$  für die PT-Gruppe, was eine Verschlechterung im Vergleich zur präoperativen Messung darstellt. Es besteht postoperativ zwischen der CAM-Gruppe und der gesunden Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied im Winkelreproduktionstest bei  $10^{\circ}/15^{\circ}$ .

Um die Unterschiede zwischen der CAM- und der PT-Gruppe zu verdeutlichen, sind in **Abb. 5 und 6** die individuellen Veränderungen des propriozeptiven Defizits im Winkelreproduktionstest dargestellt. Es zeigt sich eine Reduktion des Defizits bei 80,0% der Patienten in der CAM-Gruppe. In der PT-Gruppe wird hingegen nur bei 24,0% der Patienten eine Reduktion festgestellt.

### Nebenzielgröße $30^{\circ}/35^{\circ}$

In den beiden untersuchten Patientengruppen wurden durchschnittlich  $1,8^{\circ} \pm 3,7^{\circ}$  (CAM) und  $1,9^{\circ} \pm 2,9^{\circ}$  (PT) präoperative Seitendifferenz gemessen. Es bestand kein signifikanter Unterschied. Postoperativ betrug die Seitendifferenz  $0,4^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$  in der CAM-Gruppe und  $1,5^{\circ} \pm 4,0^{\circ}$  in der PT-Gruppe. Dies entspricht einer Reduktion der Seitendifferenz um 78,0% in der CAM-Gruppe und 21,1% in der PT-Gruppe. Die postoperativen Ergebnisse bei diesem Test waren im Vergleich zu den präoperativen Ergebnissen zwar besser (CAM:  $1,4^{\circ} \pm 3,8^{\circ}$ , PT:  $0,4^{\circ} \pm 4,3^{\circ}$ ), eine signifikante Verbesserung wurde aber nicht gemessen.

### Nebenzielgröße $50^{\circ}/60^{\circ}$

In der CAM-Gruppe betrug die Seitendifferenz präoperativ durchschnittlich  $1,5^{\circ} \pm 3,7^{\circ}$ , während sie in der PT-Gruppe  $2,2^{\circ} \pm 3,3^{\circ}$  betrug. Ein signifikanter Unterschied bestand präoperativ nicht. Postoperativ betrug die Seitendifferenz  $0,4^{\circ} \pm 2,4^{\circ}$  in der CAM-Gruppe und  $3,6^{\circ} \pm 4,1^{\circ}$  in der PT-Gruppe. Dieser Unterschied zwischen der CAM und PT-Gruppe ist signifikant. Auch in der Veränderung der gemessenen Seitendifferenz von prä- zu postoperativ zeigte sich ein signifikant besseres Ergebnis für die CAM-Gruppe ( $1,1^{\circ} \pm 5,2^{\circ}$ ) verglichen mit der PT-Gruppe ( $-1,4^{\circ} \pm 3,3^{\circ}$ ). Die Seitendifferenz konnte in der CAM-Gruppe um 73,3% gesenkt werden, während sie in der PT-Gruppe um 63,6% anstieg.

## Oberschenkelumfang/ Trainingszeiten

Die Messung der Oberschenkelumfänge prä- und postoperativ zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die durchschnittliche Trainingszeit mit der CAM-Schiene betrug  $183 \pm 39$  min täglich bei einem Spanne von 49 bis 240 min.

## Diskussion

Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es zu überprüfen, ob durch den zusätzlichen Einsatz einer CAM-Schiene unmittelbar postoperativ bei Patienten mit VKB-Plastik das propriozeptive Defizit vermindert werden kann. Wir konnten in dieser Studie zeigen, dass die Verwendung der CAM-Schienen zusätzlich zur konventionellen Physiotherapie in der unmittelbar postoperativen Phase das propriozeptive Defizit im Vergleich zu einer alleinigen Physiotherapie signifikant vermindert. Bei den Patienten in der CAM-Gruppe besteht am Entlassungstag kein signifikanter Unterschied zu den untersuchten gesunden Probanden.

Der positive Effekt eines neuromuskulären Trainings auf die Propriozeption ist in vielen Studien belegt worden [4, 9, 21, 27]. Bouet et al. [9] konnte zeigen, dass allein durch ein 10-minütiges Ergometertraining die Propriozeption verbessert werden konnte. Andere Autoren wiesen eine verbesserte Propriozeption bei Turnern im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe [27] bzw. eine bessere Propriozeption bei Sportlern nach Durchführung eines Aufwärmtrainings nach [4].

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass Patienten mit Verletzungen des vorderen Kreuzbands deutliche Einschränkungen der propriozeptiven Leistung des Kniegelenks aufweisen [8, 17, 19, 21, 24, 30, 36]. Dies konnten wir mit unseren präoperativen Messungen bestätigen. Es ist deshalb naheliegend, das nachgewiesene propriozeptive Defizit durch ein aktives, neuromuskuläres Bewegungstraining zu reduzieren.

Jerosch [21] wies einen positiven Einfluss eines propriozeptiven Trainings auf die sensomotorischen Fähigkeiten nach

Kreuzbandverletzungen nach. In seiner Studie erreichten die Patienten teilweise bessere Ergebnisse als die gesunde Probandengruppe. Das war in unserer Untersuchung nicht der Fall. Auf der anderen Seite wiesen die Patienten der PT-Gruppe eine leichte, nicht signifikante Verschlechterung des propriozeptiven Defizits am Tag der Entlassung auf. Wir erklären uns das damit, dass neben der Ruptur des vorderen Kreuzbands auch durch die Operation dem Kniegelenk ein zusätzliches propriozeptives Defizit zugefügt wird.

Aufgrund der Situation unmittelbar postoperativ mit liegenden Drainagen, postoperativen Schmerzen, bestehender Schwellung, eingeschränkter Beweglichkeit und noch nicht erlaubter Vollbelastung, sind viele „klassische“ Übungen des sensorischen/neuromuskulären Trainings, wie zum Beispiel die Nutzung des Kippbretts, die propriozeptive neuromuskuläre Faszillation (PNF) oder die Beinpresse nicht durchführbar. Die CAM-Schiene bietet hier die Möglichkeit, unmittelbar postoperativ durch ein aktives Beüben im Sinne einer geschlossenen Kette das propriozeptive Defizit zu therapieren. Die Therapie mit der CAM-Schiene entspricht dem *neuromuskulären* Training, das Rivera [33] fordert. Es verbindet Übungen mit muskulärer Aktivität in einer geschlossenen Kette unter Gebrauch der normalen propriozeptiven Mechanismen.

Mit der CAM-Schiene sind die guten Ergebnisse, die in den oben genannten Studien durch ein neuromuskuläres Rehabilitationsprogramm zu einem deutlichen späteren Zeitpunkt des Heilverlaufs erzielt wurden, bereits in der ersten postoperativen Woche erreichbar. Die Ergebnisse unserer Studie beziehen sich ausschließlich auf die erste postoperative Woche. Ob die in der ersten postoperativen Woche erzielte Reduktion des propriozeptiven Defizits langfristig erhalten bleibt, ist bisher nicht geklärt. Feil u. Pässler konnten mit einer im Rahmen eines Postervortrags (ISAKOS Kongress Auckland/Neuseeland, März 2003) präsentierten Studie zeigen, dass durch ein vierwöchiges Training mit der CAM-Schiene bei Zustand nach VKB-Plastik auch nach 12 Wochen noch deutliche Vorteile in funktionellen Tests im Vergleich zu alleiniger Physiotherapie bestehen.

Wir gehen deshalb davon aus, dass durch die Fortführung der CAM-Therapie nach Entlassung der Patienten in den ambulanten Bereich die propriozeptive Leistungsfähigkeit langfristig verbessert werden kann. Gerade die kontinuierliche Anwendung der CAM-Schiene im ambulanten Bereich ist unumgänglich, da die in unserer Untersuchung vorgenommene stationäre Behandlung von 9 Tagen nicht dem Normalfall entspricht. Für die Überprüfung des Effektes der Aktiven Bewegungsschiene waren jedoch möglichst standardisierte Bedingungen erforderlich.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch eine Naht des rupturierten Kreuzbands infolge der weiterhin vorhandenen Mechanorezeptoren die Propriozeption weniger beeinträchtigt werden würde als bei einem plastischen Ersatz des vorderen Kreuzbandes [26]. Allerdings sind die Ergebnisse der Kreuzbandnaht im direkten Vergleich mit der vorderen Kreuzbandplastik allein im Bezug auf die mechanische Stabilität schlecht [12].

Die meisten Autoren sind sich darin einig, dass nur die Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und neuromuskulärem Training zu einer verbesserten funktionellen Stabilität führen [10, 14]. Beard et al. [5] sehen in der Kreuzbandplastik die ideale Voraussetzung für eine gute sensomotorische Funktion, da sie bei Patienten mit chronischer Insuffizienz des vorderen Kreuzbands postoperativ eine signifikante Verbesserung der propriozeptiven Leistungsfähigkeit fanden.

Eine weitere Hypothese geht davon aus, dass auch in den Kreuzbandplastiken Mechanorezeptoren und Nozizeptoren zu finden sind, die Einfluss auf die Propriozeption nehmen. Diesbezüglich gibt es jedoch widersprüchliche Ergebnisse [3, 11, 20]. In der von uns untersuchten unmittelbar postoperativen Phase ist nicht mit *Mechanorezeptoren* und *Nozizeptoren* in den Kreuzbandplastiken zu rechnen, die aktiv an der Propriozeption des Gelenks teilnehmen.

Die Mechanismen, die in unserer Studie zum Rückgang des propriozeptiven Defizits geführt haben, sind nicht klar. Wir nehmen an, dass die Kreuzbandplastik einen indirekten Einfluss auf die Propriozeption des Kniegelenks hat. Wir verstehen die Kreuzbandplastik als eine Mög-

lichkeit, die Gelenkmechanik (Hömoostase) und somit den physiologischen Bewegungs- und Belastungsablauf weitestgehend wiederherzustellen.

Letztlich ist nicht geklärt, ob der Hauptanteil des propriozeptiven Defizits durch den Ausfall der propriozeptiven Leistungen des vorderen Kreuzbands bedingt ist und/oder durch die, infolge mechanischer Instabilität bedingte Fehlfunktion der anderen Gelenkstrukturen. Wir nehmen an, dass es durch die Ruptur des vorderen Kreuzbands zu veränderten Spannungen der Kapsel und v. a. des hinteren Kreuzbandes kommt. Dies wiederum führt zu einer Fehlfunktion der hier liegenden Rezeptorstrukturen, wodurch das propriozeptive Defizit verursacht wird.

Diese Vermutungen können durch die Untersuchung von Ochi et al. [31] unterstützt werden. Sie wiesen morphologische Veränderungen am vorderen Kreuzband nach Ruptur des hinteren Kreuzbands nach. Diese Veränderungen bezogen sich u. a. auf die Rezeptordichte, die reduziert war, obwohl das vordere Kreuzband nicht verletzt war.

Die sensomotorische Leistungsfähigkeit kann durch verschiedene Verfahren bestimmt werden. Die am meisten verbreiteten Verfahren sind der Winkelreproduktionstest (aktiv oder passiv) und der Test zur Erkennung von passiver Bewegung [16].

Diese Testverfahren sind geeignet die propriozeptiven Kapazitäten des Kniegelenks zu bestimmen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, anhand von EMG-Messungen im Zusammenhang mit Sprung- und Ganganalysen [34], mit Messungen der posturalen Reflexe [7] oder Latenzzeitbestimmungen [6] eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des gesamten sensomotorischen Systems zu treffen. Allerdings sind die 3 letztgenannten Verfahren in der unmittelbar postoperativen Phase (1. postoperative Woche) kaum anwendbar.

Ob die Art der vorderen Kreuzbandplastik einen Einfluss auf die Propriozeption haben könnte, wurde bisher nur in 2 Studien untersucht. So konnten MacDonald et al. [30] keinen Unterschied des propriozeptiven Defizits zwischen den auch in unserer Untersuchung verwendeten Operationstechniken feststellen. Dies wird in einer Untersuchung von Reider et al. [32] bestätigt. Bei den genannten Untersuchungen ka-

men der Winkelreproduktionstest bzw. der Test zur Erkennung von passiver Bewegung zur Anwendung. Diese Testverfahren sind die beiden am meisten verbreiteten Verfahren zur Messung der propriozeptiven Leistungsfähigkeit [16].

Rudroff [34] hingegen fand Vorteile der Semitendinosus-Plastik gegenüber der Bone-Tendon-Bone-Plastik. Die erzielten Ergebnisse beruhen auf EMG-Analysen im Rahmen von Gang- und Sprungübungen sowie isometrischen Übungen. Es ist durchaus zu erwarten, dass es bei Untersuchungsverfahren, bei denen aufgrund der Untersuchungsbedingungen ganze Bewegungsabläufe analysiert werden, bei denen es zu einer komplexen Reizung der afferenten/efferenten sensomotorischen Leitungsbahnen und insbesondere der Sehneneigenreflexe kommt, Unterschiede zwischen verschiedenen Transplantaten nachzuweisen sind [34], da unterschiedliche Transplantate z. B. jeweils ihre Eigenreflexbahn beeinflussen können. Im Rahmen von Winkelreproduktionstests spielen diese komplexen Mechanismen der Gangstabilisierung jedoch keine wesentliche Rolle.

Dass der postoperative Schmerz Einfluss auf die unterschiedlichen Ergebnisse in den beiden untersuchten Gruppen hat, konnten wir durch den nahezu identischen Schmerzverlauf ausschließen.

Es ist bekannt, dass nach Verletzungen der Kniegelenke besonders der M. vastus medialis atrophiert [13]. Auch postoperativ wird die Atrophie häufig beobachtet. Dies wird ebenfalls auf die Störung der Propriozeption des Kniegelenks durch die Zerstörung der im Gelenk befindlichen Mechanorezeptoren zurückgeführt [25]. In unserer Studie haben wir zusätzlich den Muskelumfang im Bereich des Oberschenkels präoperativ und am Tag der Entlassung gemessen. Dass das Training mit der CAM-Schiene, verglichen mit der alleinigen konventionellen Krankengymnastik, die Muskelatrophie stärker reduziert, konnten wir jedoch nicht nachweisen. Dies war jedoch in dem kurzen Untersuchungszeitraum postoperativ auch nicht zu erwarten.

Geht man die hier präsentierten Ergebnisse kritisch durch, fällt vor allem die bei einer randomisierten Studie nicht zu erwartende signifikante Differenz bezüglich des aktiven Bewegungsausmaßes zwi-

schen den beiden Gruppen sowohl prä- als auch postoperativ auf. Allerdings lässt sich das unterschiedliche Bewegungsausmaß durch Ausreißer erklären. In der CAM-Gruppe wies präoperativ kein Patient einen aktiven Flexionsumfang von unter 110° auf. In der PT-Gruppe konnten 2 Patienten weniger als 110° aktiv flektieren (60° bzw. 85°).

Postoperativ erreichten sämtliche Patienten der CAM-Gruppe einen aktiven Flexionsumfang von mindestens 60°. In der PT-Gruppe konnten 3 Patienten postoperativ weniger aktiv flektieren (40°, 45° und 45°). Der passive Bewegungsumfang betrug bei sämtlichen Patienten mindestens 70°, sodass der Winkelreproduktionstest in allen Fällen durchgeführt werden konnte. Die untergeordnete Bedeutung des Bewegungsunterschiedes wird durch den nicht signifikanten Unterschied in der Änderung des Bewegungsausmaßes von prä- zu postoperativ deutlich.

### Fazit für die Praxis

**Wir konnten nachweisen, dass durch die Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und unmittelbar postoperativ beginnendem neuromuskulärem Training mit Hilfe der CAM-Schiene das präoperativ bestehende propriozeptive Defizit signifikant gesenkt werden kann, was mit der Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und konventioneller Physiotherapie allein nicht gelang. Wir empfehlen deshalb, den Einsatz der CAM-Schiene unmittelbar im Anschluss an die operative Versorgung fest in die Therapie mit einzubinden. Ob der Vorteil der CAM-Schiene auch langfristig über einen Zeitraum von über 6 Monaten bestehen bleibt, ist jedoch in längeren Anwendungsbeobachtungen – v. a. unter ambulanten Bedingungen – noch zu untersuchen.**

### Korrespondierender Autor

**Dr. B. Friemert**

Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Abt. Chirurgie,  
Oberer Eselsberg 40, 89081 Ulm  
E-Mail: dr.benediktfriemert@dr-friemert.de

**Interessenkonflikt:** Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

## Literatur

- Ageberg E, Zatterstrom R, Moritz U, Friden T (2001) Influence of supervised and nonsupervised training on postural control after an acute anterior cruciate ligament rupture: a three-year longitudinal prospective study. *J Orthop Sports Phys Ther* 31(11): 632–644
- Ahmad CS, Stein BE, Jeshuran W, Nercessian OA, Henry JH (2001) Anterior cruciate ligament function after tibial eminence fracture in skeletally mature patients. *Am J Sports Med* 29(3): 339–345
- Aune AK, Hukkanen M, Madsen JE, Polak JM, Nordsettem L (1996) Nerve regeneration during patellar tendon autograft remodelling after anterior cruciate ligament reconstruction: an experimental and clinical study. *J Orthop Res* 14(2): 193–199
- Bartlett MJ, Warren PJ (2002) Effect of warming up on knee proprioception before sporting activity. *Br J Sports Med* 36(2): 132–134
- Beard DJ, Dodd CA, Simpson HA (2000) Sensorimotor changes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 372: 205–216
- Beard DJ, Kyberd PJ, Fergusson CM, Dodd CA (1993) Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication of the need of surgery? *J Bone Joint Surg Br* 75(2): 311–315
- Bonfim TR, Jansen Paccola CA, Barela JA (2003) Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Arch Phys Med Rehabil* 84(8): 1217–1223
- Borsa PA, Lephart SM, Irrgang JJ, Safran MR, Fu FH (1997) The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *Am J Sports Med* 25(3): 336–340
- Bouet V, Gahery Y (2000) Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neurosci Lett* 289(2): 143–146
- Co FH, Skinner HB, Cannon WD (1993) Effect of reconstruction of the anterior cruciate ligament on proprioception of the knee and the heel strike transient. *J Orthop Res* 11(5): 696–704
- Denti M, Monteleone M, Berardi A, Panni AS (1994) Anterior cruciate ligament mechanoreceptors. Histologic studies on lesions and reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 308: 29–32
- Frank CB, Jackson DW (1997) The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 79(10): 1556–1576
- Freiwald J, Engelhardt M, Reuter I, Konrad P, Gnewuch A (1997) Die nervöse Versorgung der Kniegelenke. *Wien Med Wochenschr* 147(23–24): 531–541
- Fremerey RW, Lobenhoffer P, Born I, Tscherne H, Bosch U (1998) Can knee joint proprioception by reconstruction of the anterior cruciate ligament be restored? A prospective longitudinal study. *Unfallchirurg* 101(9): 697–703
- Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J et al (2000) Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br* 82(6): 801–806
- Friden T, Roberts D, Ageberg E, Walden M, Zatterstrom R (2001) Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J Orthop Sports Phys Ther* 31(10): 567–576
- Friden T, Roberts D, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U (1996) Proprioception in the nearly extended knee. Measurements of position and movement in healthy individuals and in symptomatic anterior cruciate ligament injured patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4(4): 217–224
- Grüber J, Wolter D, Lierse W (1986) Der vordere Kreuzbandreflex. *Unfallchirurg* 89(12): 551–554
- Hewett TE, Paterno MV, Myer GD (2002) Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clin Orthop Relat Res* 404: 76–94
- Hogervorst T, Brand RA (1998) Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg Am* 80(9): 1365–1378
- Jerosch J, Pfaff G, Thorwesten L, Schoppe R (1998) Effects of a proprioceptive training program on sensorimotor capacities of the lower extremity in patients with anterior cruciate ligament instability. *Sportverletz Sportschaden* 12(4): 121–130
- Jerosch J, Prymka M (1995) Proprioceptive capacities of the healthy knee joint: modification by an elastic bandage. *Sportverletz Sportschaden* 9(3): 72–76
- Jerosch J, Prymka M (1996) Knee joint proprioception in normal volunteers and patients with anterior cruciate ligament tears, taking special account of the effect of a knee bandage. *Arch Orthop Trauma Surg* 115(3–4): 162–166
- Jerosch J, Prymka M (1996) Proprioceptive capacity of the knee joint area in patients after rupture of the anterior cruciate ligament. *Unfallchirurg* 99(11): 861–868
- Johansson H, Lorentzon R, Sjolander P, Sojka P (1990) The anterior cruciate ligament. A sensor acting on the y-muscle-spindle systems of muscles around the knee joint. *Neuro Orthop* 9: 1
- Johansson H, Sjolander P, Sojka P (1991) Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. *Crit Rev Biomed Eng* 18(5): 341–368
- Lephart SM, Giraldo JL, Borsa PA, Fu FH (1996) Knee joint proprioception: a comparison between female intercollegiate gymnasts and controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4(2): 121–124
- Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA, Harner CD (1992) Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil* 1:188–196
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH (1997) The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 25(1): 130–137
- MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Sutherland K (1996) Proprioception in the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. *Am J Sports Med* 24(6): 774–778
- Ochi M, Murao T, Sumen Y, Kobayashi K, Adachi N (1999) Isolated posterior cruciate ligament insufficiency induces morphological changes of anterior cruciate ligament collagen fibrils. *Arthroscopy* 15(3): 292–296
- Reider B, Arcand MA, Diehl LH et al. (2003) Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 19(1): 2–12
- Rivera JE (1994) Open versus closed kinetic chain rehabilitation of the lower extremity: a functional and biomechanical analysis. *J Sport Rehabil* 3: 154–167
- Rudroff T (2003) Functional capability is enhanced with semitendinosus than patellar tendon ACL repair. *Med Sci Sports Exerc* 35(9): 1486–1492
- Schultz RA, Miller DC, Kerr C, Micheli L (1984) Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg* 66(7): 1072–1076
- Valeriani M, Restuccia D, Di Lazarro V et al. (1999) Clinical and neurophysiological abnormalities before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Acta Neurol Scand* 99(5): 303–307