

Karanikas K, Arampatzis A, Brüggemann GP

## Einfluss der Patellasehnen- und Semitendinosussehnen-Anterior cruciatum ligamentum-Ersatzplastik auf die muskulären Kraftfähigkeiten der unteren Extremitäten

*Influence on the muscle strength capability of the lower extremity ACL using patella tendon or semitendinosus grafts*

Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule, Köln

### Zusammenfassung

Die muskulären Kraftfähigkeiten sowie klinische Befunde im Vergleich – Patellasehnen-Ersatzplastik (BPTB: Knochenblock-PS-Knochenblock) und Semitendinosussehnen-Ersatzplastik (ST) – wurden bei 69 Patienten verglichen. Nach den Lysholm-Scores ausgewählt waren 28 Patienten 3 bis 6 Monate postoperativ (Mo.p.o.) (Gruppe ST, Gruppe BPTB I), 20 Patienten 6 bis 12 Mo.p.o. (Gruppe ST II, Gruppe BPTB II) und 21 Patienten 12 bis 24 Mo.p.o. (Gr. ST III, Gr. BPTB III).

Beim isokinetischen Drehmomentmaximum der Knieextensoren (60°/sec bei einem Kniewinkel von 0° und 45°) lassen sich signifikante Gruppenunterschiede ( $P < 0,05$ ) bei dem Gruppenvergleich ST II/ BPTB II und ST III/ BPTB III zugunsten der Patienten der ST-Ersatzplastik beobachten.

Anhand des klinischen OAK-Evaluationsbogens lässt sich keine eindeutige Überlegenheit einer Ersatzplastik feststellen. Bei den muskulären Kraftfähigkeiten stellen sich beim isokinetischen Drehmomentmaximum der Knieextensoren in der Zeit 6-12 und 12-24 Mo.p.o. größere muskuläre Schwächen bei den Patienten der BPTB-Ersatzplastik als bei den Patienten der ST-Ersatzplastik heraus, was auf die Traumatisierung der Patella zurückzuführen ist. Während die Patienten der BPTB-Ersatzplastik auch beim Vergleich zwischen betroffener und nicht betroffener Seite eindeutige muskuläre Schwächen aufweisen, signalisieren die Patienten der ST-Ersatzplastik bessere Regenerationsfähigkeiten ihrer muskulären Kraftfähigkeiten.

**Schlüsselwörter:** ACL-Rekonstruktion, muskuläre Kraftfähigkeiten, untere Extremität, Patella vs. Semitendinosussehnen-Ersatzplastik

### Einleitung

Die Verwendung der Patellasehne (BPTB: Bone Patella Tendon Bone) oder der Semitendinosussehne (ST: Semitendinosus Tendon) als Transplantat bei der ACL-Rekonstruktion (Anterior Cruciatum Ligamentum) hat sich die letzten 10 Jahre in der chirurgischen Praxis etabliert (9, 11). Bei der Verwendung der BPTB-Ersatzplastik sieht man als Vorteil einer stabilen Fixierung des Transplantates bessere Stabilitätswerte sowie die Schonung der ACL-Synergisten (3, 9, 11, 15). Bei der Verwendung der ST-Ersatzplastik hat man keine Verletzung an der Patellaregion – wie es bei der BPTB-Ersatzplastik der Fall ist – und schon den Streckapparat (2, 4, 11, 16). Studien, die sich mit dem Vergleich der beiden Ersatzplastiken befasst ha-

### Summary

In this study two groups of operatively-treated ACL-rupture patients (patella tendon graft (BPTB) or semitendinosus graft (ST) with a similar rehabilitation process were compared regarding their muscle strength capabilities, and the clinical outcome.

69 patients (mean age 31 years) were selected according to the Lysholm-score. Twenty-eight of the subjects were in the 3rd to 6th month post-surgery (MPS) (Gr. ST I, Gr. BPTB I), 20 patients were in the 6th to 12th MPS (Gr. ST II, Gr. BPTB II) and 21 patients in the 12th to 24th MPS (Gr. ST III, Gr. BPTB III). The subjects had to perform concentric contractions of the extensor and flexor muscles of the knee, hip and ankle at 60 °/s. In addition, the knee muscles were isometrically tested at knee angles of 0° and 45°. The analysis of the muscular strength capabilities revealed significant differences ( $P < 0,05$ ) in maximal isokinetic torque ( $M_{\max, \text{con}}$ ) for the knee extensor muscles between both the two reconstruction techniques in groups ST II/ BPTB II and ST III/ BPTB III favouring the ST method. The clinical tests (OAK evaluation form) cannot provide a criterion clearly favouring one of the studied techniques. When comparing the muscular strength capabilities, the isokinetic torque of the knee extensors for the intervals 6 to 12 and 12 to 24 MPS, the BPTB patients appear to be weaker than the ST patients. This can be attributed to the traumatic lesion of the patella. Whereas the BPTB patients also show strength deficits when comparing the affected with the unaffected side, the ST patients demonstrate better regeneration of their muscular strength capabilities.

**Key words:** ACL reconstruction, muscle strength, lower extremity

ben, weisen in Bezug auf die klinischen Merkmale, auf die subjektive Einschätzung der Patienten sowie auf die Rückkehr zum Sport keine deutliche Überlegenheit einer Ersatzplastik auf (1, 2, 3, 9, 11, 13, 15). In Bezug auf die Regeneration der muskulären Fähigkeiten lässt sich aus den vorher genannten Literaturquellen, soweit diese überprüft sind, ebenso keine Überlegenheit einer Methode feststellen. Zur Überprüfung der muskulären Fähigkeiten werden bei vielen Studien (1, 2, 3, 7, 11, 13) nicht immer einheitliche postoperative Untersuchungszeitpunkte – diese variieren zwischen den 6 (3) und 48 (7) postoperativen Monats – sowie Messmethoden (2, 3) – verwendet. Aus diesem Grund ist es nicht immer einfach, über den Verlauf sowie über mögliche Unterschiede über die Entwicklung der muskulären Fähigkeiten zwischen den beiden Ersatzplastiken zu erfahren. Zu dieser Problematik kommt

noch hinzu, dass bei einigen Studien (1, 5, 13, 15) die Dauer, die Häufigkeit sowie die Struktur der Nachbehandlungsprogramme nicht für alle Patienten der ST-

Punkte und die klinische Untersuchung nach dem OAK-Evaluationsbogen mind. 80 Punkte aufweisen, um Faktoren wie Schmerz/Schwellung/Reizung und Bewegungs-

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) der anthropometrischen Daten, der subjektiven Einschätzung der Patienten nach den Lysholm-Scores, der klinischen Untersuchung nach dem OAK-Evaluationsbogen (OAK-Summe, Schmerz, Beweglichkeit, Bandstabilität) sowie das Aktivitäts-Niveau nach Tegner zum Zeitpunkt der postoperativen Monate der Untersuchung (Mo.p.o.). Insgesamt wurden 69 Patienten, davon 19 Frauen und 50 Männer untersucht (ST: Semitendinosussehnen-Ersatzplastik, BPTB: Patellasehnen-Ersatzplastik)

	Gruppe ST I 3-6 Mo.p.o. 8± (SD) n=12	Gruppe BTPB I 3-6 Mo.p.o. 8± (SD) n=12	Gruppe ST II 6-12 Mo.p.o. 8± (SD) n=12	Gruppe BTPB II 6-12 Mo.p.o. 8± (SD) n=12	Gruppe ST III 12-24 Mo.p.o. 8± (SD) n=12	Gruppe BTPB III 12-24 Mo.p.o. 8± (SD) n=12
Alter (Jahre)	32 ± 9	27 ± 8	32 ± 7	30 ± 8	33 ± 1	29,4 ± 7,4
Körpermasse (Kg)	72,5 ± 14,1	77,6 ± 14	71,4 ± 10,3	90,1 ± 13,8	80 ± 9,7	77,1 ± 14,3
Größe (cm)	177,5 ± 9,7	179,1 ± 8,4	176,9 ± 9,6	183,5 ± 7,1	178,9 ± 7,9	176,4 ± 9,7
Lysholm-Scores	87,5 ± 4,2	87,5 ± 3,3	92 ± 1,2	92,2 ± 7	9,4 ± 6,8	93,7 ± 6,3
O A K-Summe	84,5 ± 5,6	82,8 ± 4,5	88,4 ± 6	88,5 ± 5,4	88,5 ± 7,3	89,6 ± 2,1
1. Schmerz	16,8 ± 2,1	16,5 ± 2,1	17,7 ± 2,7	17,5 ± 1,2	17 ± 3	18 ± 2,1
2. Beweglichkeit	13 ± 1,5	12,1 ± 1,6	13,7 ± 1	13,4 ± 1,9	14,4 ± 1,3	14 ± 1,3
3. Bandstabilität	35,5 ± 1,5	35,8 ± 1,8	34,5 ± 2,4	36,4 ± 1	35,5 ± 1,1	35,3 ± 2,8
4. Funktionalität	19,2 ± 2,4	18,1 ± 1,4	22,4 ± 1,8	21 ± 2,4	21,6 ± 3,1	22,3 ± 2,7
Tegner-Skala	5 ± 2	5 ± 3	5 ± 3	5 ± 3	7 ± 3	7 ± 1

oder BPTB-Ersatzplastik einheitlich waren, was sicherlich die muskulären Profile sowie die Ergebnisse von klinischen Untersuchungen deutlich beeinflussen konnten. Weiterhin gibt es in der Literatur (10) wenige Informationen über Veränderungen der resultierenden Hüft- und Fußgelenksmomente nach der Entfernung der Semitendinossehne oder der Traumatisierung der Patellasehne. Die Entfernung der Semitendinossehne, z.B. aufgrund der zweigelenkigen Funktion des Muskels sowohl die resultierenden Momente der Kniegelenksflexoren als auch die resultierenden Momente der Hüftgelenkssextensoren verändern. Ebenso könnte z.B. die Traumatisierung der Patellasehne aufgrund der zweigelenkigen Funktion des M. rectus femoris die resultierenden Momente der Hüftgelenksflexoren verändern.

Das Hauptziel der Studie war es - neben den Ergebnissen klinischer Untersuchungen - hauptsächlich die zeitlich muskulären Profile der unteren Extremitäten nach der BPTB-Ersatzplastik und ST-Ersatzplastik zu untersuchen. Darüber hinaus wird die Regenerationsfähigkeit der Muskulatur nach einem vergleichbaren Rehabilitationsprogramm bei Patienten, die nach der Semitendinossehnen-Ersatzplastik operiert wurden, und Patienten, die nach der Patellasehnen-Ersatzplastik operiert wurden, in unterschiedlichen postoperativen Zeitpunkten überprüft.

## Methode

### Klinische Untersuchung

69 Freizeitsportler mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes wurden nach dem klinischen Auswahlverfahren Lysholm-Score (12) und dem OAK-Evaluationsbogen (Orthopädische Arbeitsgruppe Knie), modifiziert nach Müller et al. (14), für die Studie ausgewählt (Tab. 1). Der Zeitpunkt nach der Operation sollte mind. 12 Wochen postoperativ sein, der Lysholm-Score sollte mindestens 85

einschränkungen des Kniegelenkes bei der Auswahl der Patienten zu minimieren und gleichzeitig das Transplantat nicht zu gefährden. Patienten mit gleichzeitigen komplexen Verletzungen des Knies wurden von der Studie ausgeschlossen.

Die Patienten wurden nach der Ersatzplastik Semitendinossehnen-Ersatzplastik (ST), Patellasehnen-Ersatzplastik (BPTB) (Tab. 1) in drei postoperative Zeitpunkte 3-

6, 6-12 und 12-24 Monate (Mo.p.o) unterteilt. Nach dieser Unterteilung waren 28 Patienten 3-6 Mo.p.o., davon wurden 16 Patienten nach der BPTB-Ersatzplastik (Gruppe BPTB I 4 ± 1 Mo.p.o.) und 12 nach der ST-Ersatzplastik operiert (Gruppe ST I 4 ± 2 Mo.p.o.). Weitere 20 befanden sich zwischen den 6-12 Mo.p.o. und davon wurden 10 Patienten nach der BPTB-Ersatzplastik (Gruppe BPTB II: 9 ± 3 Mo.p.o.) und 10 nach der ST-Ersatzplastik operiert (Gruppe ST II: 8 ± 3 Mo.p.o.). 21 Patienten befanden sich zwischen den 12-24 Mo.p.o. Davon wurden 11 Patienten nach der BPTB-Ersatzplastik (Gr. BPTB III: 18 ± 6 Mo.p.o.) und 10 nach der ST-Ersatzplastik operiert (Gr. ST III: 19 ± 5 Mo.p.o.).

Innerhalb der postoperativen Zeitpunkte (3-6, 6-12 und 12-24 Mo.p.o.) bestand kein signifikanter Unterschied ( $P < 0,05$ ), was den Zeitpunkt der Untersuchung nach der Rekonstruktion angeht, zwischen den Patienten der ST-Ersatzplastik und BPTB-Ersatzplastik.

Bei der BPTB-Ersatzplastik wurde das mittlere Drittel des Lig. patellae mit Knochenblöckchen aus Patella und Tuberositas tibiae verwendet („Bone to Bone“-Technik) und mittels Interferenzschraube an der Tibia und Femur fixiert, während bei der ST-Ersatzplastik die Semitendinossehne entfernt und als Drei- oder Vierfachstrang mittels Interferenzschraube an der Tibia und Femur fixiert wurde. Bei beiden Ersatzplastiken wurde die Rekonstruktion arthroskopisch von zwei Operateurgruppen durchgeführt. Beide Operateurgruppen empfahlen die ersten vier postoperativen Wochen physiotherapeutische Maßnahmen bei einer Teilbelastung sowie eine Bewegungslimitierung des Kniegelenks von 0° für die Extension und 90° für die Flexion. Eine Orthese wurde ebenso von den Operateuren für ca. 2-3 Mo.p.o. verordnet.

### Rehaplan

Alle Patienten haben ein vergleichbares Rehabilitationsprogramm nach dem Konzept der EAP (Erweiterte Ambu-

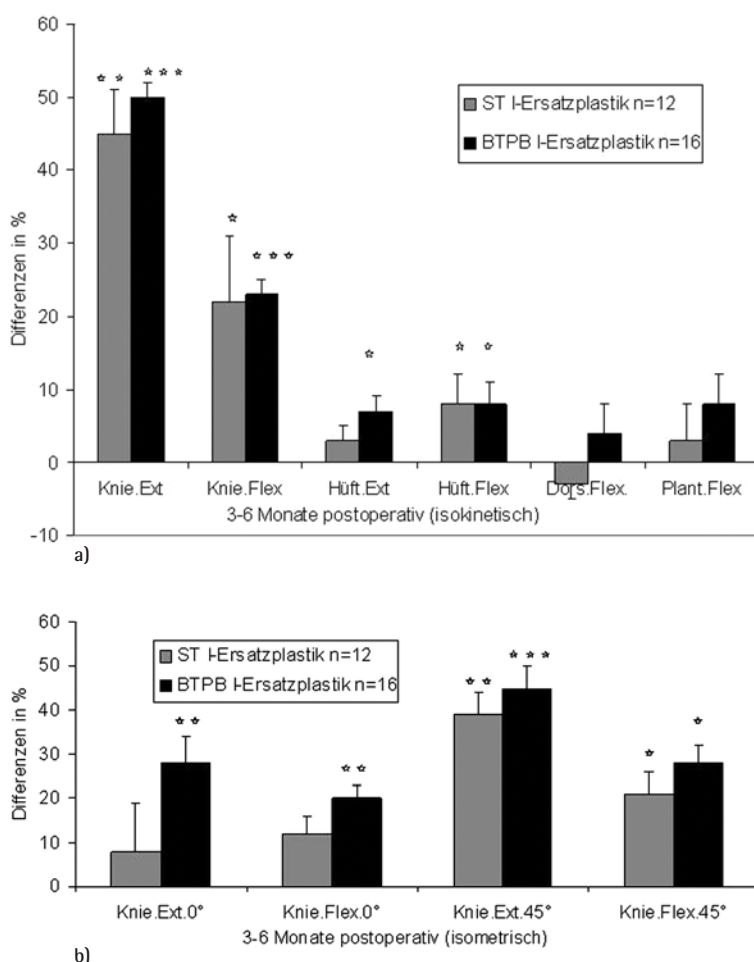


Abbildung 1 (a, b): Mittelwerte und Standardfehler (SEM) der prozentuellen Differenzen zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. \*: (P<0,05), \*\*: (P<0,01), \*\*\*: (P<0,001) : Statistisch signifikanter Unterschied zwischen betroffener und nicht betroffener Seite

lante Physiotherapie) im gleichen Rehabilitationszentrum durchgeführt. Begonnen hat dieses Programm nach der 4.-6. Woche postoperativ und dauerte bis zu der 20.-24. Woche postoperativ. Danach erfolgte das Training nach einem vorgegebenen Plan 2x wöchentlich auf eigene Verantwortung. In den ersten 4-6 Wochen postoperativ führten alle Patienten physiotherapeutische Maßnahmen zur Schmerzlinderung, Verbesserung der Beweglichkeit und der koordinativen Fähigkeiten durch. Zwischen der 4. und 12. Woche postoperativ erfolgte ein kraftausdauerorientiertes Training der unteren Extremität, ab der 12. bis 24. postoperativen Woche wurde das Training auf die Verbesserung der Hypertrophie und der neuronalen Fähigkeiten orientiert. Ab der 24. postoperativen Woche wurde das Krafttraining der unteren Extremitäten 2x wöchentlich parallel zu den anderen sportlichen Aktivitäten beibehalten.

## Testprotokoll

Die klinische Untersuchung wurde von einem Orthopäden nach dem standardisierten Evaluationsbogen von OAK, den Lysholm-Scores und dem Aktivitätsniveau nach Tegner (17) durchgeführt. Nach der klinischen Untersuchung erfolgten die Messungen an dem isokinetischen System

Cybox 6000 (Cybox, Ronkonkoma, USA) unter der Leitung eines erfahrenen Therapeuten. Nach einem 10-minütigen Aufwärmen auf dem Fahrradergometer und 5-minütigem Dehnen der unteren Extremität wurden nachfolgende Tests durchgeführt. Getestet wurden zuerst die gesunde und dann die betroffene Seite:

1. Testserie: Test der Kniegelenksmuskulatur dynamisch (konzentrisch) sitzende Position mit 90° Beugung der Hüftgelenke. Das Bewegungsausmaß betrug 90°. Der Test wurde mit dem „Johnson-Antischub-Zubehör“ durchgeführt, um das Transplantat nicht zu gefährden. Nach dieser Testserie erfolgte eine Pause von ca. 15 Minuten.

2. Testserie: Um einen möglichen Einfluss der Verletzung/Operation auf die muskulären Kraftfähigkeiten des Fußgelenks zu überprüfen, wurden die Dorsal- und Plantarflexoren dynamisch (konzentrisch) getestet. Die Testserie wurde in der Bauchlage (Knie und Hüfte waren in gestreckter Position) sowohl für die Extensoren als auch für die Flexoren durchgeführt. Der Patient war am Becken und am Sprunggelenk fixiert. Das Bewegungsausmaß war 70°. Nach dieser Testserie erfolgte erneut eine 15-minütige Pause.

3. Testserie: Um einen möglichen Einfluss der Verletzung/Operation auf die muskulären Kraftfähigkeiten des Hüftgelenks zu überprüfen, wurden die Hüftextensoren und Hüftflexoren dynamisch (konzentrisch) getestet. Die Testserie wurde in der Rückenlage durchgeführt. Das Kniegelenk war ca. 90° gebeugt. Der Patient war am Becken und an der Brust fixiert. Das Bewegungsausmaß betrug 90°. Nach dieser Testserie erfolgte eine Pause von ca. 30 Minuten.

4. Testserie: Tests der Kniegelenksmuskulatur isometrisch. In einer ähnlichen Positionierung wie bei der dynamischen Testserie wurden sowohl die Knieextensoren als auch die Knieflexoren noch einmal isometrisch bei 0° (vollständige Streckung) und bei 45° Kniegelenkwinkel getestet. Nach jeder maximalen Wiederholung erfolgten 2 Minuten Pause.

Die Patienten sollten im konzentrischen Modus bei 60°/sec und im isometrischen Modus für 6 sec. zuerst 3 Probewiederholungen durchführen und dann 6 maximale Wiederholungen (davon wurde der Mittelwert ermittelt) in Extension als auch in Flexion durchführen. Im Bereich des Kniegelenks wurden die Tests mit dem „Johnson-Antischub-Zubehör“ durchgeführt, um das Transplantat nicht zu gefährden.

## Parameter

Aus den ermittelten Daten wurden folgende Parameter ausgewählt und analysiert: Aus der klinischen Untersuchung wurden die gesamten Punkte des OAK-Evaluationsbogens, die Punkte von den Lysholm-Scores sowie das Aktivitätsniveau nach Tegner statistisch berücksichtigt.

Gleichzeitig wurden die einzelnen Punkte der Kategorien Schmerzintensität, Beweglichkeit, Kniestabilität und Funktionalität für alle Gruppen aus dem OAK-Evaluationsbogen dargestellt. Bei den isokinetischen Tests (Testserie 1, 2 und 3 bei der Winkelgeschwindigkeit von 60°/sec) wurde das Maximum des Drehmoments von Knie-, Hüft- und Fußgelenksmuskulatur zur Überprüfung des höchst erzeugten Drehmoments der betroffenen und nicht betroffenen Seite unter dynamischen Bedingungen verwendet.

Bei den isometrischen Tests (Testserie 4) wurde das Maximum des Drehmoments der Kniegelenksmuskulatur bei 0° und 45° im Kniewinkel zur Überprüfung des höchst erzeugten Drehmoments der betroffenen und nicht betroffenen Seite unter isometrischen Bedingungen verwendet.

### Statistik

Die statistische Auswertung wurde mit dem SPSS-Programm durchgeführt. Dabei wurde der T-Test für abhängige Stichproben zur Prüfung der Signifikanz bei dem Vergleich der betroffenen und nicht betroffenen Seite verwendet. Ebenso für unabhängige Stichproben zur Prüfung der Signifikanz bei dem Vergleich der Behandlungsmethoden. Um die interindividuellen Unterschiede aufzuweisen, wurde der Vergleich der betroffenen und nicht betroffenen Seite ermittelt, während für den direkten Vergleich der beiden Gruppen die prozentuellen Differenzen zwischen der betroffenen (Betr.) und nicht betroffenen (n. Betr.) berücksichtigt wurden. Die prozentuellen Differenzen zwischen betroffener und nicht betroffener Seite wurden folgendermaßen berechnet:

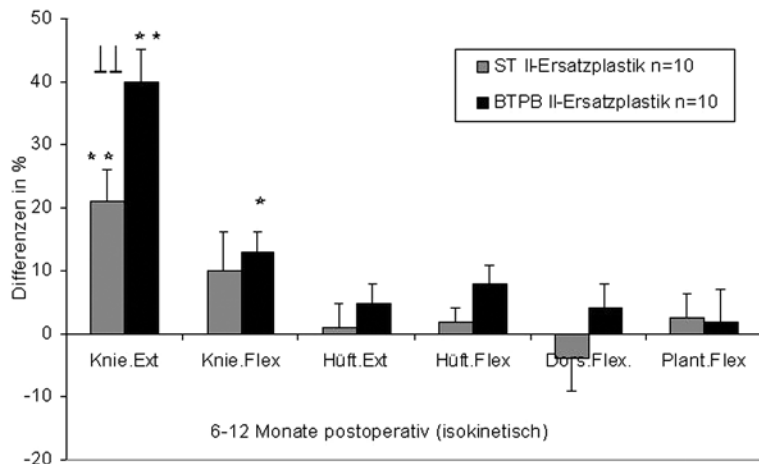
$$\% \text{ Differenzen} = \frac{(n. \text{ Betr.} - \text{ Betr.})}{n. \text{ Betr.}} \times 100$$

Für die Überprüfung des Signifikanzniveaus der Unterschiede wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit ( $P < 0,05$ ) festgelegt. Bei der Darstellung der Ergebnisse in den Tabellen wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen (SD) verwendet, während bei den Abbildungen die Mittelwerte und die Standardfehler (SEM) verwendet wurden.

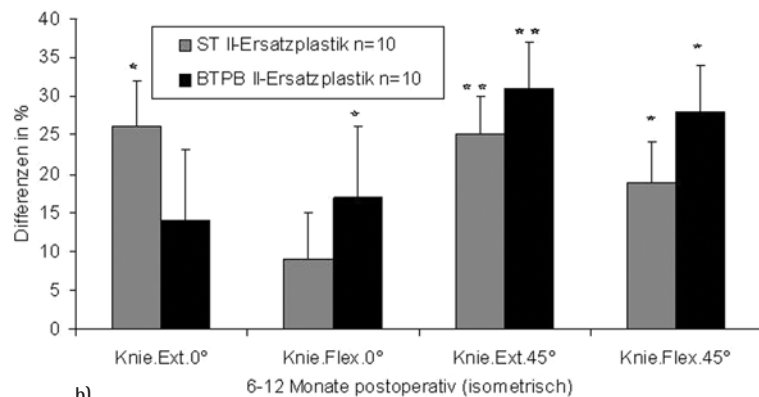
### Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der klinischen Untersuchungen anhand der Summe der OAK-Scores, der subjektiven Einschätzungen der Patienten sowie dem Aktivitätsniveau nach Tegner konnte zwischen den beiden Ersatzplastiken kein Unterschied in allen postoperativen Zeitpunkten festgestellt werden (Tab. 1).

Beim Vergleich der muskulären Kraftfähigkeiten anhand der prozentuellen Differenzen (der betroffenen und nicht betroffenen Seite) zwischen den beiden Ersatzplas-



a)



b)

Abbildung 2 (a, b): Mittelwerte und Standardfehler (SEM) der prozentuellen Differenzen zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. \*: ( $P < 0,05$ ), \*\*: ( $P < 0,01$ ), \*\*\*: ( $P < 0,001$ ): Statistisch signifikanter Unterschied zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. †: ( $P < 0,05$ ): Statistisch signifikanter Unterschied zwischen der ST- und BTPB-Ersatzplastik

tiken konnten beim isokinetischen Drehmomentmaximum der Knieextensoren signifikant ( $P < 0,05$ ) geringere prozentuelle Differenzen bei den Patienten der BPTB-Ersatzplastik im Vergleich zu den Patienten der ST-Ersatzplastik in den postoperativen Zeiten 6-12 Mo.p.o. (BPTB II/ ST II) und 12-24 Mo.p.o. (BPTB III/ ST III) festgestellt werden (Abb. 2a und 3a). Bei allen anderen untersuchten Parametern konnte zwischen den Ersatzplastiken kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abb. 1a, b, 2a, b und 3a, b).

Bei dem Vergleich der betroffenen und nicht betroffenen Seite wurden bei den Knieextensoren sowohl für die Patienten der BPTB- als auch der ST-Ersatzplastik in allen postoperativen Zeitpunkten 3-6, 6-12 und 12-24 Mo.p.o. (Gr. BPTB I, II, III und Gr. ST I, II, II) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isokinetische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite festgestellt. Bei den Knieflexoren wurden bei den Patienten der BPTB-Ersatzplastik in allen postoperativen Zeitpunkten (Gr. BPTB I, II, III) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isokinetische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite festgestellt (Abb. 1a, 2a, 3a). Bei den Patienten der ST-Ersatzplastik waren diese nur in der Zeit 3-6 Mo.p.o. (ST I)

Bei den Hüftflexoren der Patienten der BPTB-Ersatzplastik und der ST-Ersatzplastik in der Zeit 3-6 (Gruppe BPTB I und Gruppe ST I) sowie bei den Hüftextensoren der Patienten der BPTB-Ersatzplastik auch in der Zeit 3-6 Mo.p.o. (Gr. BPTB I) wurden ebenso geringe isokinetische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite festgestellt (Abb. 1a).

Bei der Erzeugung der isometrischen Drehmomentmaxima zwischen betroffener und nicht betroffener Seite wurden beim Kniewinkel von 0° bei den Knieextensoren der Patienten der BPTB-Ersatzplastik in der Zeit 3-6 Mo.p.o. (Gr. BPTB I) und bei den Patienten der ST-Ersatzplastik in der Zeit 6-12 Mo.p.o. (Gr. ST II) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isometrische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite festgestellt (Abb. 1b, 2b). Bei den

nen Seite festgestellt werden. Für die Knieflexoren lassen sich bei den Patienten der BPTB in allen postoperativen Zeiten (Gr. BPTB I, II, III) und für die Patienten der ST-Ersatzplastik in den Zeiten 3-6 und 6-12 Mo.p.o. (Gr. ST I, II) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isometrische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite feststellen (Abb. 1b, 2b, 3b).

## Diskussion

Bei den klinischen Untersuchungen konnte man zwischen den beiden Ersatzplastiken anhand der gesamten Punkte des OAK-Evaluationsbogens, der subjektiven Einschätzung der Patienten gemäß den Lysholm-Scores und dem Aktivitätsniveau nach Tegner keinen Unterschied zwischen den Ersatzplastiken feststellen, wie es in der Literatur (1, 3, 9, 11, 13) auch von anderen Autoren bisher berichtet wurde.

Bei der Betrachtung der muskulären Kraftfähigkeiten zwischen betroffener und nicht betroffener Seite stellt man in der Zeit 3-6 Mo.p.o. bei dem größten Teil der untersuchten Parameter eindeutige muskuläre Schwächen sowohl bei den Patienten der BPTB I-Ersatzplastik als auch bei den Patienten der ST I-Ersatzplastik fest. Die muskulären Schwächen beschränken sich in dieser postoperativen Zeit (3-6 Mo.p.o.) nicht nur auf die Knieextensoren, sondern betreffen auch die Knieflexoren und zum großen Teil auch die Hüftflexoren und -extensoren. Ob die hier beschriebenen muskulären Schwächen allein auf die Traumatisierung der Patella oder der Semitendinosussehne zurückzuführen sind, konnte beim Vergleich der beiden Ersatzplastiken bei keinem der untersuchten Parameter bestätigt werden (Abb. 1a, b). Als Gründe für die muskulären Schwächen in diesem postoperativen Zeitpunkt (3-6 Mo.p.o.) werden die Traumatisierung des Kniegelenks selbst bei dem komplizierten operativen Eingriff, die noch nicht regenerierten Sehnen in diesem relativ frühen postoperativen Zeitpunkt der Messungen sowie das noch nicht abgeschlossene Nachbehandlungsprogramm bei einer großen Zahl der Patienten für beide Gruppen angeführt werden.

Die deutlich vorhandenen muskulären Schwächen der Patienten in dem vorherigen postoperativen Zeitpunkt sind in der Zeit 6-12 Mo.p.o. bei dem Vergleich zwischen betroffener und nicht betroffener Seite bedeutend geringer, was auf die Wirkungen des Nachbehandlungsprogramms zurückzuführen ist. In dieser Zeit war das überwachte Training im Rehabilitationszentrum für alle Patienten abgeschlossen. Damit konnten bessere Adaptations- und Regenerationsvorgänge bei der Erzeugung der Momente möglich gemacht werden. Die Regeneration der muskulären Fähigkeiten scheint hier zumindest bei dem isokinetischen Drehmomentmaximum der Knieextensoren bei den Patienten, die nach der ST II-Ersatzplastik operiert wurden, schneller zu verlaufen als bei den

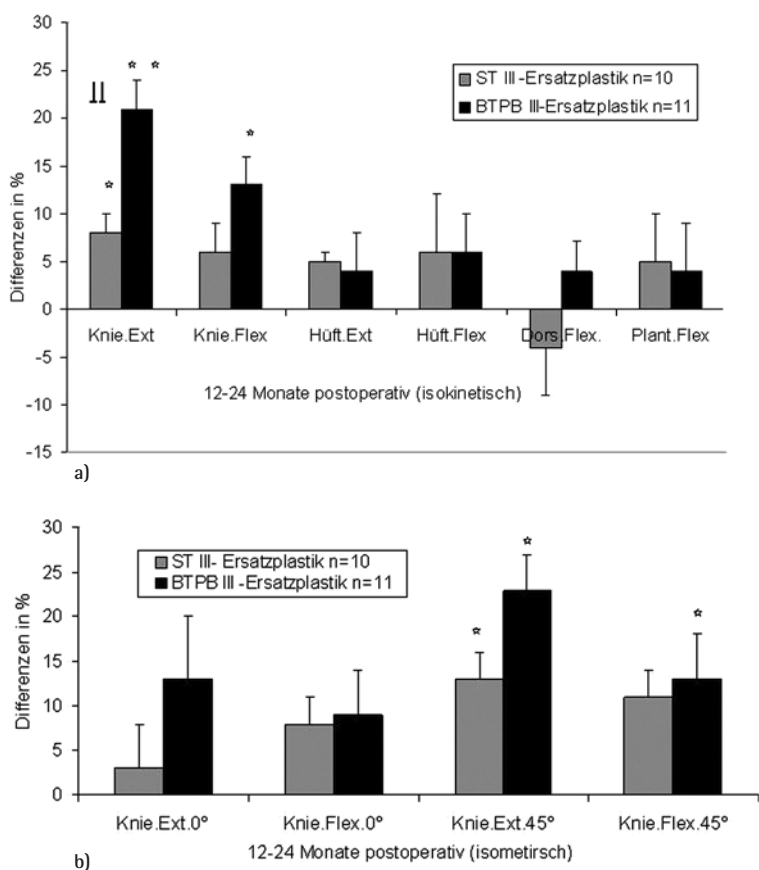


Abbildung 3 (a, b): Mittelwerte und Standardfehler (SEM) der prozentuellen Differenzen zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. †: ( $P < 0,05$ ),\*: ( $P < 0,01$ ),\*\*:( $P < 0,001$ ): Statistisch signifikanter Unterschied zwischen betroffener und nicht betroffener Seite: ( $P < 0,05$ ): Statistisch signifikanter Unterschied zwischen der ST- und BTPB-Ersatzplastik

Knieflexoren wurden hier nur bei den Patienten der BPTB-Ersatzplastik in den Zeiten 3-6 und 6-12 Mo.p.o. (Gr. BPTB I, II) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isometrische Drehmomentmaxima bei der betroffenen Seite (Abb. 1b, 2b) festgestellt.

Beim Kniewinkel von 45° konnten für die Knieextensoren sowohl für die Patienten der BPTB- als auch der ST-Ersatzplastik in allen postoperativen Zeitpunkten (Gr. BPTB I, II, II und Gr. ST I, II, III) signifikant ( $P < 0,05$ ) geringe isometrische Drehmomentmaxima bei der betroffe-

Patienten, die nach der BPTB II-Ersatzplastik operiert wurden, wie es aus dem Vergleich der beiden Ersatzplastiken anhand des isokinetischen Drehmomentmaximums der Knieextensoren abzuleiten (Abb. 2a). Allerdings konnten diese Beobachtungen nicht bei den isometrischen Drehmomentmaxima (Abb. 2b) beobachtet werden, was durchaus auf die hier fehlende Geschwindigkeit der Kniebewegung und die damit verbundenen koordinativen Anforderungen zur Stabilisierung des Gelenks zurückzuführen ist.

Auch in der Zeit 12-24 Mo.p.o., in der die Patienten vollständig ihre beruflichen und sportlichen Aktivitäten aufgenommen haben, lässt sich beim Vergleich der beiden Ersatzplastiken eine bessere Regeneration der Knieextensoren bei den Patienten, die nach der ST III-Ersatzplastik operiert wurden, im Vergleich zu den Patienten, die nach der BPTB III-Ersatzplastik operiert wurden gemäß des isokinetischen Drehmomentmaximums bestätigen (Abb. 3a). Die Folgen der Traumatisierung der Patellasehne bei den Patienten, die nach der BPTB-Ersatzplastik (Gruppe BPTB II und Gruppe BPTB III) operiert wurden, sind zumindest bei der Entwicklung des isokinetischen Drehmomentmaximums nachweisbar und signalisieren damit eine langsame Heilung der Entnahmestelle. Das Fehlen des mittleren Drittels der Patellasehne bei der BPTB-Ersatzplastik konnte laut Literaturangaben (4, 15) eine mechanische Störung der Patella als auch eine Störung der Gefäßversorgung der verbleibenden Sehne verursachen und so die Erzeugung der Momente der Kniestrecker beeinflussen.

Die vorherigen Beobachtungen bei den Knieextensoren lassen sich bei den Knieflexoren anhand des Vergleichs der beiden Ersatzplastiken in keinem postoperativen Zeitpunkt feststellen. Obwohl die Sehne des M. Semitendinosus bei den Patienten der ST-Ersatzplastik entfernt wurde und ihre Entfernung einen Einfluss auf die Erzeugung der Momente der Knieflexoren haben konnte, lässt sich kein Unterschied zwischen den Ersatzplastiken feststellen. Selbst bei den isometrischen Drehmomentmaxima bei einem Kniewinkel von 0°, wenn die Knieflexoren hohe Momente entwickeln, weisen die Patienten der ST-Ersatzplastik (Gruppe ST II und Gruppe ST III) keinen statistisch nachweisbaren Unterschied zwischen betroffener und nicht betroffener Seite auf. Die geringen prozentuellen Differenzen zwischen der betroffenen und nicht betroffenen Seite und die damit verbundene bessere Regeneration bei den Knieextensoren der Patienten der ST-Ersatzplastik - Gruppe ST II (21 %) und Gruppe ST III (8 %) - in Relation zu den Knieextensoren der Patienten der BPTB-Ersatzplastik - Gruppe BPTB II (40 %) und Gruppe BPTB III (20 %) -, wie es bei den isokinetischen Drehmomentmaxima der Fall ist (Abb. 2a, 3a), zeigte hier einen Einfluss auf den gesamten muskulären Status des Kniegelenks und kann auch die Momententwicklung der Kniebeuger durchaus positiv beeinflussen.

Die Angaben in der Literatur (3, 5, 13) über Schwächen bei den Maximalmomenten der Knieflexoren bei Patienten mit ST-Ersatzplastik im Vergleich zu den Patienten der Patella-Ersatzplastik wurden hier nicht bestätigt. Aller-

dings war sowohl bei den Patienten von Marder et al (13) als auch bei den Patienten von Corry et al. (5) neben der Semitendinosussehne auch die Grazilisehne verletzt und die Erzeugung der Momente der Knieflexoren dadurch stärker beeinflusst, während bei der hier verwendeten Ersatzplastik nur die Semitendinosussehne verletzt wurde.

Weder bei den Fußgelenks- noch bei den Hüftgelenksmuskeln konnten zwischen den Ersatzplastiken irgendwelche Unterschiede festgestellt werden. Die Annahme, dass nach der Entfernung der Semitendinosussehne oder nach der Traumatisierung der Patellasehne - aufgrund der zweigelenkigen Muskelfunktion - die resultierenden Momente der Hüftgelenksexensoren und -flexoren unterschiedlich zwischen den beiden Ersatzplastiken beeinflusst werden, lässt sich hier nicht bestätigen.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass nach einem vergleichbaren Nachbehandlungsprogramm die Patienten, die nach der ST-Ersatzplastik operiert wurden, in den postoperativen Zeiten 6-12 und 12-24 Monate bessere Regeneration bei der Erzeugung des isokinetischen Drehmomentmaxima der Knieextensoren aufweisen im Vergleich zu den Patienten, die nach der BPBT-Ersatzplastik operiert wurden. Auch wenn es beim Vergleich der beiden Ersatzplastiken nicht bei allen untersuchten Parametern die Überlegenheit einer Ersatzplastik festgestellt wurde, scheint die Traumatisierung der Patellasehne einen größeren Einfluss auf die Entwicklung der Kniegelenksmomente als die Entfernung der Semitendinosussehne zu haben. Dieses lässt sich auch bei dem Vergleich der betroffenen und nicht betroffenen Seite feststellen und signalisiert damit eine bessere Regenerationsfähigkeit der muskulären Kraftfähigkeiten der Oberschenkelmuskulatur bei den Patienten, die nach einer ST-Ersatzplastik operiert wurden.

## Literatur

1. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G: Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* (1994) 211-218.
2. Anderson A., Snyder RB, Lipscomb AB: A prospective randomized study of three surgical methods. *Am J Sports Med* 29 (2001) 272-279.
3. Aune AK, Holm I, Risberg MR, Jensen HK, Steen H: Four-standard Hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone-autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 29 (2001) 722-728.
4. Bosch U, Kasperczyk WJ: Healing of the Patellar Tendon autograft after cruciate ligament reconstruction - a process of ligamentization. *Am J Sports Med* 20 (1992) 558-569.
5. Corry IS, Webb JM, Clingeleffer AJ: Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstrings tendon autograft. *Am J Sports Med* 27 (1999) 444-454.
6. Cybex - Aktive Multigelenkssysteme, Bedienungshandbuch, Proxomed Medizintechnik. Wolftratshausen, 1993.
7. Ejerhed L, Kartus JK, Sernert N, Köhler K, Karlsson J: Patellar tendon or semitendinosus autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 31 (2003) 19-24.
8. Fink C, Hoesser C, Benedetto KP, Judmaier W: Neuromuskuläre Veränderungen der kniegelenkstabilisierenden Muskulatur nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Sportverl Sportschad* 8 (1994) 25-30.

9. *Fredmann KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Basch BR*: Arthroscopic anterior cruciate: A metaanalysis comparing patellar tendon und hamstrings autografts. *Am J Sports Med* 31 (2003) 2-11.
10. *Freiwaldt J, Starischka S, Engelhardt M*: Rehabilitatives Krafttraining. *Dtsch Z Sportmed* 44 (1993) 368-378.
11. *Jansson KA, Linko E, Sandelin J, Harilainen A*: A prospective randomized study of patellar versus hamstrings tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction *Am J Sports Med* 31 (2003) 12-19.
12. *Lysholm M, Gillquist J*: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 10 (1982) 150-154.
13. *Marder R, Raskind JR, Carroll M*: Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction. Patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon. *Am J Sports Med* 19 (1991) 478-484.
14. *Müller W, Biedert R, Hefti F*: OAK Knee evaluation. A new way assess knee ligament injuries. *Clin Orthop* 232 (1988) 37-50.
15. *O'Neil DB*: Arthroscopically assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective randomized analysis of three techniques. *J Bone Joint Surg* 78A (1996) 803-813.
16. *Scherer MA, Früh HJ, Ascherl R*: Biomechanische Untersuchungen zur Veränderung der Partellasehne nach Transplantatentnahme. *Akt. Traumatologie* 23 (1993) 129-134.
17. *Tegner Y, Lysholm J*: Rating system in evaluation of knee ligament injuries. *Clinic Orthop* 198 (1985) 43-49.
18. *Viola RW, Sterett WI, Newfield D, Steadmann JR, Torry MR*: Internal and external tibial rotation strength after anterior cruciate ligament reconstruction using ipsilateral semitendinosus and gracilis tendon autografts. *Am J Sports Med* 28 (2000) 552-555.

**Korrespondenzadresse:**

**PD Dr. Adamantios Arampatzis**  
**Deutsche Sporthochschule Köln**  
**Carl-Diem-Weg 6**  
**50933 Köln**  
**E-mail: arampatzis@dshs-koeln.de**