

Nitzsche N¹, Schulz H²

Wirkung eines Trainings im offenen und geschlossenen kinetischen Systems nach vorderer Kreuzbandplastik

Effect of Training in Open and Closed Kinetic Systems on the Anterior Drawer Laxity after Anterior Cruciate Ligament Graft during Outpatient Rehabilitation

¹Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Hochschule Lausitz

²Institut für Sportwissenschaft, TU Chemnitz

ZUSAMMENFASSUNG

Problem: Aufgrund höherer Dehnung des VKB werden offene kinetische Systeme im rehabilitativen Krafttraining nach VKP nicht empfohlen. Die Studie hatte zum Ziel, den Effekt eines Krafttrainings im offenen und geschlossenen System nach VKP auf die Laxizität des Kniegelenks während ambulanter Rehabilitation zu prüfen. **Methodik:** 31 Patienten nach VKP wurden in zwei Trainingsgruppen zugeordnet. Das Krafttraining begann ab zehnter postoperativer Woche und erstreckte sich über den verordneten Rehabilitationszeitraum. Zu Beginn und am Ende wurden die subjektive Befindlichkeit, Anthropometrie, vordere Schublade und Kraft geprüft. **Ergebnisse:** Das Risiko einer erhöhten Laxizität war in beiden Gruppen gleich (RR 0,96). Eine Straffungswahrscheinlichkeit der Plastik scheint im offenen kinetischen System erhöht (OR 3,3). Das prozentuale Kraftdefizit der Beuger und Strecker reduzierte sich signifikant ($p < 0,01$). Beide Belastungssysteme zeigten vergleichbare Abnahmen der Umfangsdifferenzen ($p > 0,05$). Die Lysholm Scores verbesserten sich signifikant ($p < 0,01$). Anhand des Vergleichs der Trainingssysteme ließen sich bei keinen der untersuchten Parameter signifikante Effekte nachweisen ($p > 0,05$). **Schlussfolgerung:** Rehabilitatives Krafttraining lässt in beiden kinetischen Systemen eine Zunahme der Kraftfähigkeiten erwarten. Das Risiko einer erhöhten Laxizität beider Trainingssysteme ist gleich gering. Der Einsatz offener kinetischer Systeme stellt kein zusätzliches Risiko für die Plastik dar. Somit eröffnet sich eine weitere Handlungsmöglichkeit im rehabilitativen Krafttraining und bedeutet für den Patienten mehr Übungsvielfalt.

Schlüsselwörter: Trainingstherapie, Krafttraining, vorderes Kreuzband, offene und geschlossene kinetische Systeme.

EINLEITUNG

Isolierte Knieextensionen ohne Co-Kontraktion des Antagonisten bewirken eine höhere Zugspannung für das vordere Kreuzband (10,31). Dabei tritt eine bis zu 4% temporäre Längenänderung des vorderen Kreuzbandes (VKB) ein. Das könnte für rekonstruierte VKB's ein Risiko darstellen und eine Bandlockerung oder Ruptur provozieren. Deshalb werden postoperativ im Therapieprozess geschlossene kinetische Systeme empfohlen. Durch das reflektorische Zuschalten der Beugemuskulatur während der Beinstreckung bleibt ein vermehrtes Tibiagleiten aus. Die Dehnung des rekonstruierten VKB ist dabei verringert. Temporäre Dehnungsreize auf das VKB können als biologische Wachstumsreize interpretiert und können straffend wirken (11). Bisherige Befunde deuten auf eine Vergleichbarkeit beider kinetischer Systeme im Hinblick einer

SUMMARY

Problem: Due to the greater elongation of the ACL, open kinetic systems are not recommended in rehabilitative strength training. The study was aimed at investigating the effect of strength training in open and closed systems on the laxity of the knee joint, evaluated during outpatient rehabilitation. **Methods:** 31 patients were allocated to two homogeneous training groups. Strength training started from the tenth postoperative week and stretched over the prescribed rehabilitation period. At the beginning and the end, the subjective state, anthropometry, anterior drawer and strength were tested. **Results:** The risk of increased laxity was similar in both groups (RR 0.96). A tightening of the plastic seems to be increased in an open kinetic system (OR 3.3). The percentage of the flexor and extensor strength deficit was significantly reduced ($p < 0.01$). Both systems showed similar decreases in load size differences ($p > 0.05$). The Lysholm Scores improved significantly ($p < 0.01$). Comparison of the training systems showed no significant effect of the examined parameters ($p > 0.05$). **Conclusions:** Rehabilitative strength training can result in an increase of force skills in both the kinetic systems. Here, the risk of increased laxity of the two training systems is equally low. This opens up a possibility of further activities in strength training and rehabilitation and means a wider variety of exercises for the patient.

Key Words: Exercise therapy, strength training, anterior cruciate ligament, open and closed kinetic systems.

schonenden Belastung der VKP hin (17, 18, 26, 27, 32, 39). Mikkelsen et al. (26) zeigten, dass Kreuzbandpatienten beim kombinierten Einsatz beider Systeme eher zum Sport zurückkehrten, als Patienten die nur im geschlossenen kinetischen System trainierten. Morrissey et al. (27) stellten zum Ende der Intervention mittels offenen kinetischem System fest, dass Patienten mit höherer Quadrizepskraft geringere Laxizitäten der VKP aufwiesen. Tagesson et al. (39) zeigten in einer Studie signifikante Unterschiede der Exten-

accepted: June 2012

published online: October 2012

DOI: 10.5960/dzsm.2012.027

Nitzsche N: Wirkung eines Trainings im offenen und geschlossenen kinetischen Systems nach vorderer Kreuzbandplastik. Dtsch Z Sportmed 63 (2012) 305 - 310.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden (TG=Trainingsgruppe).

	Alter (Jahre)	Masse (kg)	geschlossenes System (TG1) N=13		offenes System (TG2) N=18			
			Größe (m)	BMI (kg/m ²)	Alter (Jahre)	Masse (kg)	Größe (m)	BMI (kg/m ²)
Gesamt N=31								
MW	32,2	83,6	1,78	26,5	27,2	72,9	1,75	23,7
SD	9,5	11,9	0,08	3,5	7,1	13,3	0,07	4,2
Min	17	68	1,64	19,5	16	55	1,62	17,4
Max	44	110	1,87	31,5	42	100	1,87	29,5
Männlich N=23								
MW	33,4	86,4	1,81	26,4	26,5	77,6	1,78	24,3
SD	9,1	10,9	0,06	2,4	5,1	12,4	0,05	2,6
Min	19	75	1,74	23,7	19	60	1,71	18,7
Max	44	110	1,9	30,5	35	100	1,89	27,9
Weiblich N=8								
MW	26	68,5	1,65	25,3	28,7	63,7	1,69	22,2
SD	12,7	0,07	0	0	10,6	10,4	0,06	2,5
Min	17	68	1,64	25,3	16	55	1,62	19,7
Max	35	69	1,65	25,3	42	84	1,78	26,5

sorenkraft in der zwölften postoperativen Woche zu Gunsten des Trainings im offenen kinetischen System auf. Der in Studien untersuchte Beobachtungszeitraum und Zeitpunkt der Intervention ist oft nicht wie in der Praxis vom Kostenträger verordnet (27,28,32). Somit entspricht dies nicht dem klinischen Alltag. Aufgrund der existierenden Befunde ist anzunehmen, dass offene kinetische Systeme im Rehabilitationsprozess Vorteile für den Patienten bringen können, was aber unter klinischen Bedingungen untersucht werden sollte. In dieser prospektiv randomisierten Trainingsstudie wurden das Training im offenen und geschlossenem System auf das Risiko hinsichtlich einer höheren Laxizität, Effekt auf die Kraftfähigkeiten und subjektivem Empfinden hin untersucht.

METHODIK

Untersuchungsgut

31 Probanden (23 männlich, 8 weiblich) wurden nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung in die von der Ethikkommission der Sächsischen Landesärztekammer Dresden (EK-BR-26/08-1) genehmigten Studie aufgenommen (Tab.1). Die Probanden verletzten sich in den Sportarten Fußball (N=16), Handball (N=1), Volleyball (N=2), Basketball (N=1), Ski Alpine (N=2) und Sonstiges (N=9).

Untersuchungsgang

Die Probanden wurden nach klinischer Anamnese und unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien einem Prätest unterzogen. Als Einschluss galt zehn Wochen postoperativ, Semitendinosus-Grazilistransplantat, unilaterale Verletzung des VKB. Als Ausschluss galt eine Reruptur, schwere Knorpelschäden, Ergüsse sowie Bewegungseinschränkungen des Kniegelenks unter 90° Flexion. Infolgedessen ordnete man die Patienten abwechselnd der Kontrollgruppe (TG1=geschlossenes kinetisches System) und der Versuchsgruppe (TG2=offenes kinetisches System) zu. Zum Ende des verordneten Rehabilitationszeitraumes wurde dann der Posttest durchgeführt.

Testverfahren

Die Testverfahren bestanden aus dem Lachmantest zur Prüfung der vorderen Schublade (Rolimeter, Aircast*), isokinetischer Test der Oberschenkelmuskulatur (Cybex 6000 Norm*, Winkelgeschwindigkeit 120°/Sekunde, 5 Wiederholungen, konzentrisch-konzentrisches Testmuster), Oberschenkelumfangmessung im Liegen (10cm und 20cm proximal des oberen Patellapol), Lysholm Score und einem Achterlauf (6m Abstand, 1 Minute) (2). Der Lysholm Score als zuverlässiger Fragebogen prüft die Befindlichkeit des Patienten durch Therapieinterventionen nach Kreuzbandverletzungen (40). Der Achterlauf entstammt einer Testbatterie für Patienten nach VKB und gilt als zuverlässiger Test die Kniestabilität in der Laufbewegung zu prüfen (2). Die Aufgabe bestand hierbei, die maximale Anzahl an Achterrunden innerhalb einer Minute zu absolvieren. In der Literatur ist die biologische Variabilität des VKB nicht bekannt. Da diese Kenntnis aber wichtig ist, um klinisch relevante Veränderungen der Laxizität beurteilen zu können, wurden eigene Voruntersuchungen durchgeführt. Auf deren Basis wurde eine kri-

Tabelle 2: Übungen beider Trainingsgruppen mit Angabe der im wesentlichen angesteuerten Muskeln (Ü=Übung, M.=Musculus).

Muskelgruppe	Ü im geschlossenen System	Ü im offenes System
Oberschenkelstrecker (M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. vastus intermedius, M. rectus femoris)	Beinpresse	Beinstrecker
Beinbeuger (M. biceps femoris, M. semimembranosus, M. semitendinosus)	Seilzugtraining in Beugung ("Wischen")	Beinbeuger
Hüftstreckmuskulatur (M. gluteus maximus, medius et minimus)	Kniebeuge	Hüftstrecker
Wadenmuskulatur (M. gastrocnemius, M. soleus)	Wadenheben	Wadenheben

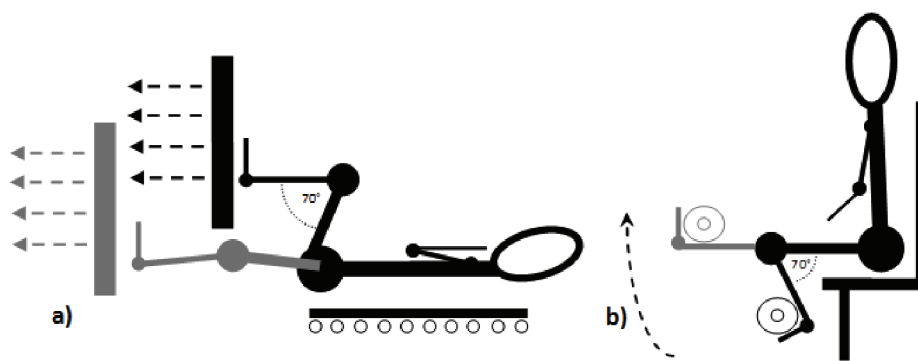


Abbildung 1: Beispielübungen zur Kräftigung der Oberschenkelstrecker a) Beinpresse im geschlossenen kinetischen System und b) Beinstrecker im offenen kinetischen System.

tische Differenz von 2 mm herangezogen (Root Mean Square Error (RMSE=0,6 mm)*2,77). Demzufolge können relevante Veränderung nur bei Überschreitung dieser Grenze angenommen werden.

Trainingsprogramm

Zu Beginn wurde eine zehnmütige Erwärmung auf dem Fahrradergometer durchgeführt (0,5-0,8 Watt/kg bei 60-80 U/min). Die Probanden trainierten wöchentlich 3 bis 5 mal mit einer Dauer von 30-45 Minuten. Die Festlegung der Ausgangswiderstände erfolgte an jedem Gerät mittels 20 Wiederholungsmaximum. Das Training fand an Sequenzgeräten sowie Seilzügen statt (Tab.2). Dabei wurde das Gewicht so gewählt, dass die letzten 2 Wiederholungen unter deutlicher Ermüdung zu realisieren waren. Im Training wurden 15 bis 20 Wiederholungen mit 4-5 Sätzen durchgeführt, wobei das

Trainingssystem (TS) wurden mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung geprüft. Das Signifikanzniveau wurde mittels Bonferroni korrigiert. Die Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten bzw. verringerten Laxizität wurden als relatives Risiko (RR) und Odds Ratio (OR) angegeben. Die Effektstärke wurde mittels Cohens d berechnet. Das Signifikanzniveau lag bei 5%.

ERGEBNISSE

Alle Probanden beendeten die Studie ohne Komplikationen. Die Patienten absolvierten $13 \pm 2,9$ verordnete Trainingstherapieeinheiten (TE). Die TG1 trainierte 12 ± 2 und TG2 14 ± 3 Tage (t-Test; $p > 0,05$). Das unverletzte Bein wies in beiden Trainingsgruppen eine geringere vordere Schublade auf (t-Test; $p < 0,01$) (Tab.3). Zwei Patienten der TG2 und einer der TG1 überschritten zum Posttest die kritische Differenz von 2 mm. Das relative Risiko (RR) einer erhöhten Laxizität lag zwischen beiden Trainingsgruppen bei 0,96 (95% KI 0,8-1,2). Neun Patienten der TG2 und drei der TG1 zeigten eine um mindestens 1,7 mm reduzierte vordere Schublade. Die Wahrscheinlichkeit einer reduzierten vorderen Schublade war im offenen System bei 50% und im geschlossenen System bei 23%. Das Odds Ratio einer geringeren Laxizität der VKP lag bei 3,3 (95% KI 0,7-16,3). Im Weiteren zeigten sich zwischen beiden Extremitäten signifikante Unterschiede der maximalen Drehmomente zu Beginn um am Ende der Trainingsintervention ($p < 0,05$). Nach der Intervention lagen in beiden Gruppen signifikante Steigerung der maximalen Drehmomente und damit verbunden signifikante Abnahmen der bilateralen Kraftdefizite und Oberschenkelumfangsdefizite vor (ANOVA, $p < 0,001$). Beide Trainingsgruppen zeigten signifikante Zunahmen des Lysholm Score. Ein Gruppeneffekt lag bei allen Parametern nicht vor (ANOVA, $p > 0,05$).

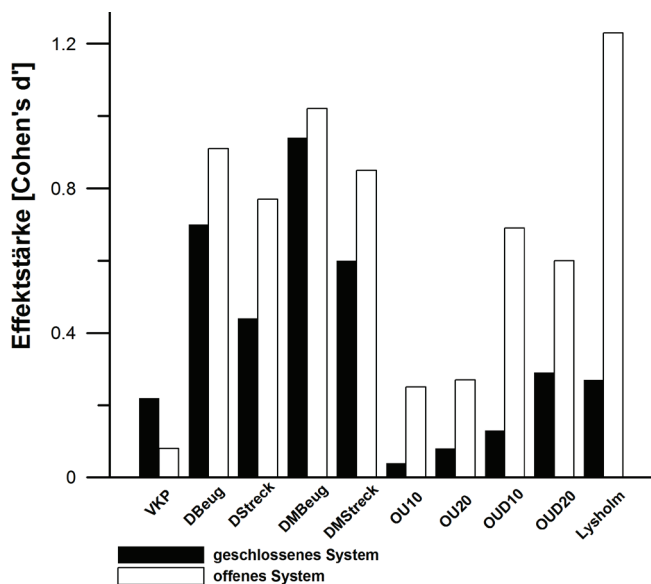


Abbildung 2: Effektstärken der untersuchten Parameter der operierten Extremität (VKP=Schublade der vorderen Kreuzbandplastik, DBeug=bilaterales Defizit der Beuger, DSStreck=bilaterales Defizit der Strecker, DMBeug=maximales Drehmoment Beuger, DMStreck=maximales Drehmoment Strecker, OU=Oberschenkelumfang 10 und 20 cm proximal Patella, OUD=bilaterale Oberschenkelumfangsdifferenz, Lysholm=Lysholm Score).

DISKUSSION

Die Studie hatte zum Ziel unter klinischen Bedingungen die Wirkung eines Trainings im offenen und geschlossenen kinetischen System während ambulanter Rehabilitation an Patienten nach VKP auf die Laxizität der Plastik, Kraftfähigkeiten, Oberschenkelumfang, Achterlauf und Befindlichkeit zu untersuchen. Die Befindlichkeit wurde mittels Lysholm Score, welcher als valider

Tabelle 3: Ergebnisse der untersuchten Parameter im Prä-Post Vergleich. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung. (TS=Trainingsssystem, Nm=Newtonmeter, cm=Zentimeter, mm=Millimeter, p=Wahrscheinlichkeit).

Parameter	Prätest	Posttest	Effektstärke	p	TS	
vordere Schubladen (mm)						
unverletzt	geschlossenes System	6,4±2,1	6,4±1,8	0	p>0,05	p>0,05
	offenes System	7,2±1,9	7,2±2,0	0	p>0,05	
operiert	geschlossenes System	8,2±1,6	7,8±1,8	0,22	p>0,05	p>0,05
	offenes System	8,4±1,9	8,6±1,3	0,08	p>0,05	
Maximale Drehmomente (Nm) - operiert						
Beuger	geschlossenes System	67,4±28,4	93,8±27,7	0,94	p<0,01	p>0,05
	offenes System	68,9±23,4	93,4±24,9	1,02	p<0,01	
Strecker	geschlossenes System	74,1±27,4	98,1±42,8	0,6	p<0,01	p>0,05
	offenes System	78,7±35,3	111,6±41,3	0,85	p<0,01	
Bilaterale Kraftdifferenzen (%)						
Beuger	geschlossenes System	31,8±24,1	17,1±17,8	0,7	p<0,01	p>0,05
	offenes System	28,8±14,7	17,0±12,0	0,91	p<0,01	
Strecker	geschlossenes System	48,6±24,2	37,0±23,9	0,44	p<0,01	p>0,05
	offenes System	46,6±18,5	30,9±14,8	0,77	p<0,01	
Oberschenkelumfangsdifferenzen (cm)						
10cm proximal	geschlossenes System	1,7±1,0	1,5±1,2	0,13	p<0,05	p>0,05
	offenes System	2,5±1,3	1,6±1,2	0,69	p<0,05	
20cm proximal	geschlossenes System	2,3±1,8	1,7±1,9	0,29	p<0,01	p>0,05
	offenes System	2,6±2,0	1,8±1,4	0,6	p<0,01	
Lysholm Score (Punkte)						
	geschlossenes System	71,5±23,2	77,4±20,9	0,27	p<0,01	p>0,05
	offenes System	74,2±10,9	84,7±5,9	1,23	p<0,01	
Sportmotorischer Test (Anzahl der Runden)						
Achterlauf	geschlossenes System		9,5±2,1			p>0,05
	offenes System		10,7±1,6			

Fragebogen nach Knieverletzungen gilt, erhoben (40). Dieser fragt nach Funktionseinschränkungen bei alltäglichen Belastungen, wie Treppensteigen oder Hocken. Situationen ohne Gegnereinwirkung mit schnellem Richtungswechsel nach Landung oder durch plötzliches Abstoppen können zur Kreuzbandverletzung führen (30). Zur Prüfung der Verträglichkeit dieser Aktivitäten werden motorische Tests drei bis sechs Monate nach der Operation zur Prüfung der Sporttauglichkeit eingesetzt (2,40). Ein zuverlässiger Test ist der hier gewählte Achterlauf. Da hier von der zehnten bis zur 14. postoperativen Woche untersucht wurde, konnte durch die Gefahr der Überlastung ein Achterlauf nur zum Posttest verwendet werden. Obwohl es der Patientenpool in Rehabilitationseinrichtungen kaum zulässt, homogene Patientengruppen zu rekrutieren, lag dies hier anhand der Ausgangsdaten vor. Aufgrund ungleicher Geschlechterverteilung, konnte wegen zu geringer Anzahl weiblicher Patienten in beiden Gruppen nicht auf Effekte geprüft werden. Der Belastungsreiz im offenen kinetischen System wurde hier ab der zehnten postoperativen Woche appliziert, da eine zu frühe Belastung nach der Rekonstruktion eine Elongation der Plastik provozieren kann (13). Die Tibiatranslation (vordere Schublade) im Lachmannstest unterliegt Faktoren wie der Zugkraft des Untersuchers, Muskelspannung sowie hormonellen Schwankungen. Aufgrund fehlender Daten wurde eine Variabilität bis 2 mm aus eigenen Voruntersuchungen als Grenze zur erhöhten Laxizität herangezogen.

Die vorliegenden Effektstärken beider Trainingsgruppen zeigen, dass ein Training mittels offener kinetischer Systeme stets hohe bis sehr hohe Effekte bewirkte (Abb.2). Auch wenn der bestehende Unterschied in den untersuchten Parametern nicht signifikant war, kann tendenziell von einem effektiveren Krafttraining im offenen kinetischen System gesprochen werden.

Das Risiko einer möglichen Lockerung der Plastik scheint für beide Trainingsvarianten gleich (Abb.3). Vielmehr könnte das Training im offenen kinetischen System straffend auf die Plastik wirken (27,39). Die von Fleming et al. (10) berechnete Dehnung des VKB bis 4,4% bei isolierter Knieextension scheint laut diesen Ergebnissen keinen negativen Effekt auf die Laxizität der Plastik zu zeigen. Diese Dehnung würde einer temporären Längenänderung von 1,7mm bis 1,8mm entsprechen (8,22). Bei aktiver Streckung des Kniegelenkes nehmen die Zugkräfte auf das Bandmaterial zu (35). Die maximal tolerierbare Zugkraft des Transplantats von 414N bis drei Monate nach Rekonstruktion scheint durch diese Belastung keine Überlastung darzustellen, wobei prinzipiell von einer hohen Variabilität auszugehen ist (25,35). Shoemaker et al. (37) berechneten bei simulierter Kniestreckung am Leichenpräparat Zugkräfte bis 38,1±10N. Die temporären Längenänderungen des VKB bei aktiver Extension mittels isolierter Quadrizepskontraktion besitzen scheinbar keinen negativen Effekt auf die Laxizität. Vielmehr ist anzunehmen, dass gelenkumgebendes Gewebe auftretende

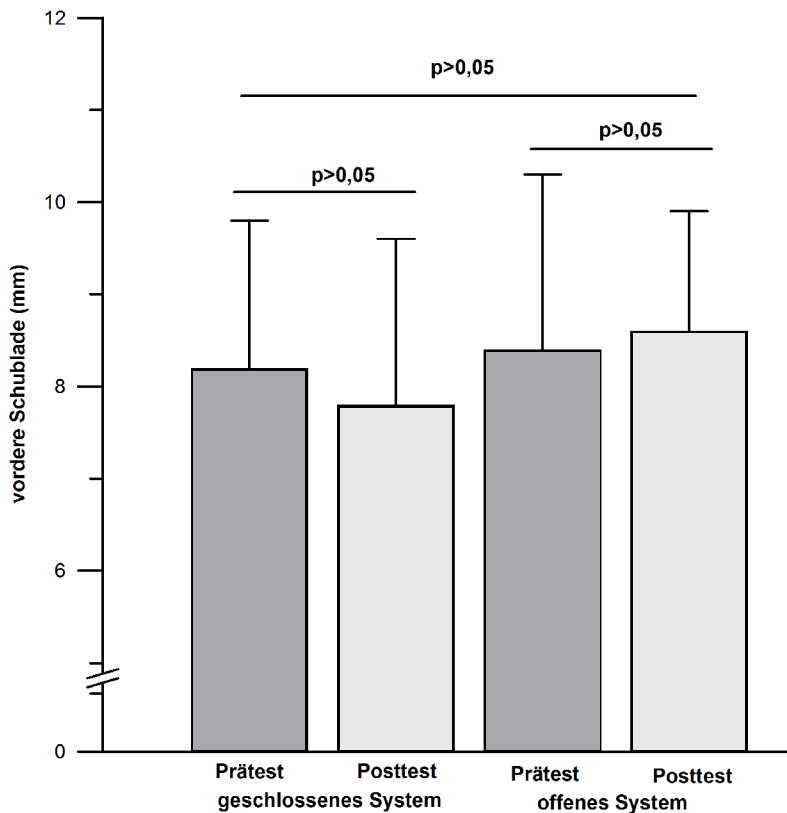


Abbildung 3: Vordere Schublade im Prä-Posttest beider Trainingsgruppen. Das relative Risiko für Lockerung der Plastik lag bei 0,96 (95 % KI 0,8 - 1,2) und das Odds Ratio für die Wahrscheinlichkeit einer Straffung lag bei 3,3 (95 % KI 0,7 - 16,3) zu Gunsten des offenen Systems. (p=Wahrscheinlichkeit, KI=Konfidenzintervall, mm=Millimeter).

läre Koordination erhöhen die Kraft besonders zu Beginn der Trainingsphase. Eine Reintegration des Bandtransplantates in das neuronale System und die dadurch verbesserte Afferenz führt zu Kraftanstiegen (6). Manuelle Messungen mittels Maßband sind eine praktikable und zuverlässige Möglichkeit zur Quantifizierung von Umfangsdifferenzen (3,34,38). Nach der Intervention wurde eine signifikante Reduktion der Umfangsdifferenzen festgestellt und sind zu diesem postoperativen Zeitpunkt (14. Woche) als gering einzuordnen. Umfangsdifferenzen korrelieren mit insuffizienter Quadrizepsmuskulatur nach VKP (5). Jedoch müssen Kraftzunahmen nicht generell mit der Abnahme von Umfangsseitendifferenzen einhergehen (9). Hypertrophie der Muskulatur kann durch Sauerstoff- und ATP-Mangel in der Muskelzelle stimuliert werden. Dies führt zur Aktivierung der Nukleinsäuren und der Eiweißsynthese. Krafttraining mit Schädigung

Kräfte absorbiert. Trainingsstudien über mehrere Wochen zeigten vergleichbare Ergebnisse (16,20,28,32,39). Temporäre Dehnungen des Transplantats könnten einen biopositiven Wachstumsreiz auf das proliferierende Gewebe auslösen und zur erhöhten Stabilität beitragen (11). Morrissey et al. (27) konnten bei höherer Kraftbelastung eine geringere Laxizität feststellen. Heijne und Werner (17) überprüften den Einsatz des Trainings offener und geschlossener Systeme in der zweiten und zwölften postoperativen Woche und stellten ebenso keine erhöhte Laxizität der VKP fest. In der vorliegenden Studie zeigten die Patienten postoperativ deutliche Kraftunterschiede zur gesunden Extremität. Das entstandene Defizit in den Extensoren wird auf eine selektive Muskelatrophie des M. vastus medialis unmittelbar nach der Verletzung zurückgeführt (12). Die Patienten entwickeln zur „Schonung“ einen funktionellen Adaptionsmechanismus, welcher die herabgesetzte Quadrizepsaktivität durch vermehrte Arbeit der ischiocruralen Muskulatur kompensiert (4). Eine verminderte neuronale Aktivierung aufgrund der geschädigten Bandstruktur gilt als Ursache für eine verminderte Kraft des Muskels (24,41). Das hier festgestellte höhere Defizit der Knieextensoren gegenüber den Flexoren blieb in beiden TG nach der Intervention erhalten. Eine gering höhere Kraftzunahme in den Extensoren konnte nur in der TG2 festgestellt werden, entgegen der Annahme, dass bei Extension der Knie im offenen System eine höhere neuromuskuläre Aktivität im Quadrizeps vorliegt (20,29). Mikkelsen et al. (26) und Tagesson et al. (39) zeigten signifikante Unterschiede in der Kraft zu Gunsten des Trainings im offenen kinetischen System auf. Das noch beträchtliche bilaterale Kraftdefizit nach der Rehabilitation deutet auf eine langsame neuromuskuläre Erholung hin. Erst Differenzen von 5-10% kann als normaler bilateraler Kraftunterschied angesehen werden (21). Der kostenträgerabhängige Zeitraum von 15-20 Tagen scheint für die meisten Patienten zu kurz. Eine verbesserte inter- und intramuskuläre

der Z-Scheiben führt zur Erhöhung von IGF-1, Zytokine (IL-4) und MGF (Mechano Growth Factor), welche dann eine Satellitenzellaktivierung stimuliert (14,15,19,23,33). Erst ein Zeitraum von sechs Wochen Krafttraining führt zur Hochregulation der IL-4 Rezeptoren (1,33). Da hier der Trainingszeitraum bei maximal vier Wochen lag, war hier die Intervention zu kurz, um Umfangsdifferenzen auszugleichen. Somit beschränkte sich die Adaption primär auf neuronale Mechanismen. Die Lysholm-Scores beider Trainingsgruppen lassen auf eine bessere Befindlichkeit der Patienten bei alltäglichen Belastungen unabhängig vom Training schließen. Tagesson et al. (39) konnten Vergleichbares feststellen. Es erreichen nur 85% der gesunden Männer und 69% gesunder Frauen 100 Punkte (7,40).

Schlussfolgernd bleibt festzuhalten, dass auf Grundlage der vorliegenden Befunde beide Trainingssysteme als sicher, im Sinne einer Elongation der Plastik angenommen werden können. Damit eröffnet sich für den Patienten mehr Übungsvielfalt und kann einer Monotonie im Training vorbeugen. Zu prüfen bleibt, inwiefern eine Kombination beider kinetischer Systeme im klinischen Setting eine effektivere Reduktion des bilateralen Defizits herbeiführt.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine.

LITERATUR

- ADAMS G: Die molekulare Antwort der Skelettmuskulatur auf Krafttraining. Dtsch Z Sportmed 61 (2010) 61-67.
- AGEBERG E, ZÄTTERSTRÖM R, MORITZ U: Stabilometry and one-leg hop test have high-retest reliability. Scand J Med Sci Sports 8 (1998) 198-202. doi:10.1111/j.1600-0838.1998.tb00192.x.
- ALONSO A, HEKEIK P, ADAMS R: Predicting a recovery time from the initial assessment of a quadriceps contusion. In: Aust J Physiother 46 (2000) 167-177.

4. APPELL HJ: Skeletal muscle Atrophy during immobilization. *Int J Sports Med* 7 (1986) 1-5. doi:10.1055/s-2008-1025725.
5. ARANGIO GA, CHEN C, KALADY M, REED JF: Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 26 (1997) 238-243.
6. BIEDERT RM: Rehabilitation nach Kreuzbandverletzung. *Orthopädie Technik* 11 (1998) 859-860.
7. DEMIRDJIAN AM, PETRIE SG, GUANCHE CA, THOMAS KA: The outcomes of two knee scoring questionnaires in a normal population. *Am J Sports Med* 26 (1998) 46-51.
8. ELLISON AE, BERG EE: Embryology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am* 16 (1985) 3-14.
9. ENOKA RM: Muscle strength and its development. New perspectives. *Sports Med* 6 (1988) 146-168. doi:10.2165/00007256-198806030-00003.
10. FLEMING B, BEYNNON B, RENSTRÖM P: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during stair climbing: an in vivo study. *Arthroscopy* 15 (1999) 185-191. doi:10.1053/ar.1999.v15.015018.
11. FLEMING BC, RENSTROM PA, BEYNNON BD, BRADEN C, ENGSTROM B, PEURA GD, BADGER GJ, JOHNSON RJ: The effect of weightbearing and external loading on anterior cruciate ligament strain. *J Biomech*. 2001;34(2):163-170. doi:10.1016/S0021-9290(00)00154-8.
12. FREIWALD J, STARISCHKA S, ENGELHARD M: Rehabilitatives Krafttraining. *Dtsch Z Sportmed* 44 (1993) 368-378.
13. FUJIMOTO E, SUMEN Y, URABE Y, DEIE M, MURAKAMI Y, ADACHI N, OCHI M: An early return to vigorous activity may destabilize anterior cruciate ligaments reconstructed with hamstring grafts. *Arch Phys Med Rehabil* 85 (2004) 298-302. doi:10.1016/S0003-9993(03)00621-X.
14. HAMEED M, ORRELL RW, COBOLD M, GOLDSPINK G, HARRIDGE SD: Expression of IGF-I splice variants in young and old human skeletal muscle after high resistance exercise. *J Physiol* 547 (2003) 247-254. doi:10.1113/jphysiol.2002.032136.
15. HAWKE TJ, GARRY DJ: Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *J Appl Physiol* 91 (2001) 534-551.
16. HEHL G, HOELLEN I, WISSMEYER T, ZIEGLER U: Isokinetic muscle training with high motion speeds in the rehabilitation following surgical treatment of fresh anterior cruciate rupture. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 133 (1995) 306-310. doi:10.1055/s-2008-1039797.
17. HEIJNE A, WERNER AES: Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstrings graft: a prospective randomized outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15 (2007) 402-414. doi:10.1007/s00167-006-0246-z.
18. HOOPER DM, MORRISSEY MC, DRECHSLER W, MORRISSEY D, KING J: Open and closed kinetic chain exercise in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. Improvements in level walking, stair ascent, and stair descent. *Am J Sports Med* 29 (2001) 167-174.
19. HORSLEY V, JANSEN KM, MILLS ST, PAVLATH GK: IL-4 acts as a myoplast recruitment factor during mammalian growth. *Cell* 113 (2003) 483-494. doi:10.1016/S0092-8674(03)00319-2.
20. IRISH SE, MILLWARD AJ, WRIDE J, HAAS BM, SHUM GL: The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Strength Cond Res* 24 (2010) 1256-1262. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cf749f.
21. KANNUS P: Isokinetic Evaluation of muscular Performance: Implication for Muscle Testing and Rehabilitation. *Int J Sports Med* 15 (1994) S11-S18. doi:10.1055/s-2007-1021104.
22. KENNEDY JC, HAWKINS RJ, WILLIS RB: Strain gauge analysis of knee ligaments. *Clin Orthop Relat Res* 129 (1977) 225-229.
23. LIU Y, HEINICHEN M, WIRTH K, SCHMIDTBLEICHER D, STEINACKER JM: Activation of satellite cells in human skeletal muscle in response to strength training. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) S72.
24. LUDWIG M: Verbesserung der Trainierbarkeit der Quadrizepsmuskulatur nach vorderer Kreuzbandplastik durch Akupunktur. *Dtsch Z Sportmed* 52 (2001) 100-103.
25. MARKOLF KL, GOREK JF, KABO JM, SHAPIRO MS: Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. *J Bone Jt Surg* 72 (1990) 557-567.
26. MIKKELSEN C, WERNER S, ERIKSON E: Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 337-342. doi:10.1007/s001670000143.
27. MORRISSEY MC, PERRY MC, KING JB: Is knee laxity change after ACL injury and surgery related to open kinetic chain knee extensor training load? *Am J Phys Med Rehabil* 88 (2009) 369-375. doi:10.1097/PHM.0b013e3181a0d7ed.
28. MORRISSEY MC, HUDSON ZL, DRECHSLER WI, COUTTS FJ, KNIGHT PR, KING JB: Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 343-348. doi:10.1007/s001670000161.
29. NITZSCHE N, WILKE C, ZSCHÄBITZ D, SCHULZ H: Vergleich der Aktivität ausgewählter Muskeln im geschlossenen und im offenen System bei unterschiedlichen Intensitäten. In Ertelt T. (Hrsg.) *Beiträge zur Bewegungswissenschaft* Bd. 2. Verlag Dr. Kovac, Hamburg 2011, 39-49.
30. OLSEN OE, MYKLEBUST G, ENGBRETSSEN L, BAHR R: Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball – a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 32 (2004) 1002-1012. doi:10.1177/0363546503261724.
31. PÄSSLER HH, SHELBORNE KD: Biologische, biomechanische und klinische Konzepte zur Nachbehandlung nach Bandeingriffen am Knie. *Orthopädie* 22 (1993) 121-135.
32. PERRY MC, MORRISSEY MC, KING JB, MORRISSEY D, EARNSHAW P: Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13 (2005) 357-369. doi:10.1007/s00167-004-0568-7.
33. PROKOPCHUK O, LIU Y, WIRTH K, SCHMIDTBLEICHER D, STEINACKER JM: Response of IL-4 and IL-4r of Human skeletal muscle strength training. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) S241.
34. RUDROFF T: Functional capability is enhanced with semitendinosus than patella tendon ACL repair. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 1486-1492. doi:10.1249/01.MSS.0000084425.07852.7D.
35. RUPP S, HOPF T, GLEITZ M, HESS T: Biomechanische Grundlagen in der Nachbehandlung der Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes. *Unfallchirurgie* 20 (1994) 303-310. doi:10.1007/BF02588742.
36. SHELBORNE KD, PATEL DV: Timing of surgery in anterior cruciate ligament-injured knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3 (1995) 148-156. doi:10.1007/BF01565474.
37. SHOEMAKER SC, ADAMS D, DANIEL DM, WOO SL: Quadriceps/ anterior cruciate graft interaction. *Clin Orthop Relat Res* 294 (1993) 379-390.
38. SODERBERG GL, BALLANTYNE BT, KESTEL LL: Reliability of lower extremity girth measurements after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiother Res Int* 1 (1996) 7-16. doi:10.1002/pri.43.
39. TAGESSON S, ÖBERG B, GOOD L, KVIST J: A Comprehensive Rehabilitation Program With Quadriceps Strengthening in Closed Versus Open Kinetic Chain Exercise in Patients with Anterior Cruciate Ligament Deficiency. A Randomized Clinical Trial Evaluating Dynamic Tibial Translation and Muscle Function. *Am J Sports Med* 36 (2008) 298-307. doi:10.1177/0363546507307867.
40. TEGNER Y, LYSHOLM J: Rating systems in evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 198 (1985) 43-49.
41. WILKE C, FROBÖSE I: Quantifizierung propriozeptiver Leistungen von Kniegelenken. *Dtsch Z Sportmed* 2 (2003) 49-54.

Korrespondenzadresse:**Dr. Nico Nitzsche****Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik****Hochschule Lausitz****Fakultät 1/ Gebäude 16****Großenhainer Str. 57****01968 Senftenberg****E-Mail: nico.nitzsche@hs-lausitz.de**