

N. Nitzsche, H. Schulz

Trainingsmethodik in der Sporttherapie nach VKB-Rekonstruktion

Training Methods in Sports Therapy after Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament

Der Artikel befasst sich mit rehabilitativen Trainingsmethoden, die nach Verletzungen des vorderen Kreuzbandes zur Anwendung kommen, und vergleicht und bewertet diese Methoden. Einleitend werden die Verletzungsursachen des vorderen Kreuzbandes (VKB) beim Sport und dessen chirurgische Rekonstruktion dargestellt. Anschließend wird auf das rehabilitative Krafttraining eingegangen, bei dem geschlossene und offene kinetische Ketten unterschieden werden. Ziel der hier vorgestellten Studie war es, die Wirkung des offenen und des geschlossenen Systems miteinander zu vergleichen. Im Ergebnis konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Methoden festgestellt werden.

This article deals with training methods that are used in rehabilitation of patients after injuries of the anterior cruciate ligament (ACL). At first, the reasons for injuries of the ACL in sports and their surgical reconstruction are described. This is followed by a description of the training methods during postoperative rehabilitation using mechanical training devices. In this context, it is distinguished between closed and open kinetic chains. The aim of the prospective study presented in this article was to compare the advantages and disadvantages of both systems. The results did not show a significant difference between both methods.

Einleitung

Die Verletzung des vorderen Kreuzbandes (VKB) tritt häufig in Sportarten auf. Der Fußball nimmt dabei den größten Anteil ein. Charakteristisch für den Moment der Verletzung sind primär reaktive Richtungswechsel ohne Gegeneinwirkung [11]. Es hat den Anschein, dass die dabei auftretenden Kräfte durch die Morphologie der Bänder und die Kräfte des Sportlers nicht kompensiert werden können. Inwiefern ein systematisches präventives Training im Entwicklungsprozess der Sportler einen positiven Einfluss hat und solche Verletzungen verhindern könnte, ist gegenwärtig noch nicht geklärt.

Bei der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes wird primär die Sehne des M. semitendinosus verwendet. Hier liegen günstige morphologische Eigenschaften vor. Eine Entnahme kann durch andere Muskeln an der unteren Extremität gut kompensiert werden.

In der Rehabilitation der Sportler nach vorderer Kreuzbandplastik (VKP) ist das rehabilitative Krafttraining im Rahmen der medizinischen Trainingstherapie eine vielversprechende Säule im Rehabilitationsprozess. Ziel der Sporttherapie ist es, den Rehabilitationsprozess zu verbessern und zu beschleunigen [15]. Dabei wird unter Anwendung trainingswissenschaftlicher Prinzipien an der Reduktion bestehender Funktionsdefizite gearbeitet. Da die Sporttherapie, insbesondere die medizinische Trainingstherapie, noch eine junge Disziplin im Rehabilitationsprozess ist, wird sie häufig von der Physiotherapie determiniert.

Beispielhaft dafür ist die Diskussion um die Inhalte des rehabilitati-

ven Krafttrainings nach einer VKP. Grundsätzlich werden offene und geschlossene kinematische Ketten (Systeme) unterschieden. Offene Systeme werden gegen distale Widerstände an den Extremitäten durchgeführt. Dabei kommt es bei Beinstreckbewegungen zu isolierten Spannungen des M. quadrizeps. Die neuromuskuläre Aktivität ist höher als im geschlossenen System [17]. Bei aktiver Knieextension werden Transplantatkräfte unterhalb der kritischen Belastungsgrenze von 200 N (in der achten postoperativen Woche) angegeben und nur in einzelnen Fällen überschritten [14].

Demgegenüber treten bei geschlossenen kinetischen Ketten Co-Kontraktionen des Antagonisten auf. Dies betrifft am Oberschenkel bei Beinstreckung in der Beinpresse die ischiocrurale Muskelgruppe. Im offenen System wird bei isolierter Kontraktion des M. quadrizeps eine höhere Dehnung des VKB erwartet als im geschlossenen System [2, 3]. Somit liegen dabei höhere ventrale Scherkräfte vor, die für die Plastik als eine zu hohe Belastung eingeschätzt werden. Eine exakte Aufklärung der biomechanischen Funktionsweise des VKB liegt derzeit nicht vor [12]. Die Modellierung gestaltet sich schwierig und kann oft nur in einer Ebene dargestellt werden [13]. Im geschlossenen System liegen durch die Mantelspannung der gelenkumgebenden Muskulatur höhere Kompressionskräfte vor.

Aufgrund dieser Annahme werden offene kinetische Ketten im rehabilitativen Krafttraining nach VKP nicht empfohlen, obwohl eine höhere neuromuskuläre Aktivität vorliegt und eine effizientere Sporttherapie im Hinblick auf den Aus-

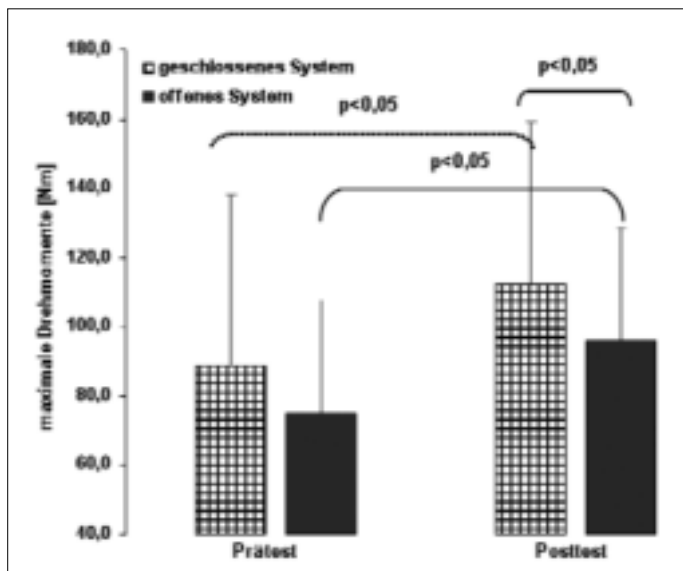


Abb. 1 Maximale Drehmomente (Isokinetik) der Extensoren beider Trainingsgruppen im Prä-Test und Post-Test.

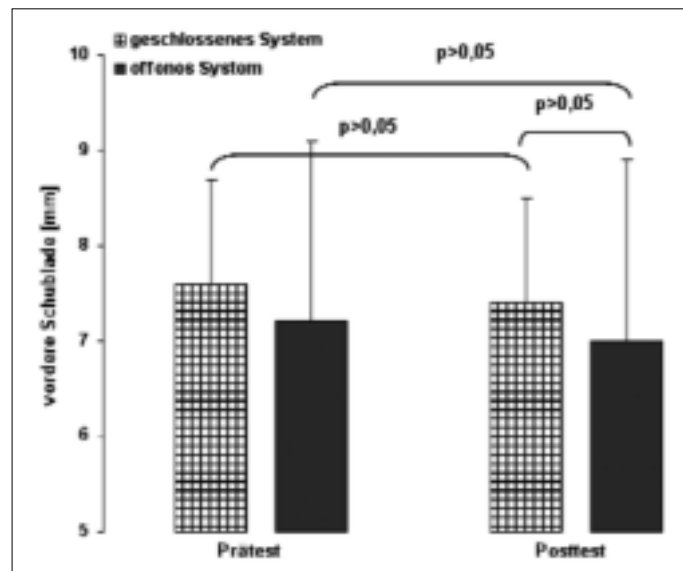


Abb. 2 Vordere Schublade der operierten Kniegelenke beider Trainingsgruppen im Prä-Test und Post-Test.

gleich muskulärer Dysbalancen zu erwarten ist [17].

Ziel der hier dargestellten prospektiven Trainingsstudie war es, die Wirkung des offenen und des geschlossenen Systems im rehabilitativen Krafttraining an Patienten nach VKP zu untersuchen.

Methodik

In die prospektiv zwischenklige Trainingsstudie wurden 34 Patienten (Alter $30 \pm 9,9$ Jahre, Gewicht $75,9 \pm 13,2$ kg, Größe $178,5 \pm 5,5$ cm, zehnte Woche postoperativ) nach vorderer Kreuzbandplastik eingebunden. Alle Patienten erhielten eine Plastik des M. semitendinosus der verletzten Extremität. Der Beobachtungszeitraum war abhängig vom jeweiligen Kostenträger der ambulanten Rehabilitation. Ausschlusskriterien waren starke Schmerzen, Ergüsse, Reruptur, begleitende Frakturen, Knorpelschaden III/IV, unhappy Triad sowie neurologische Erkrankungen. Nach mündlicher

und schriftlicher Aufklärung erfolgte durch Ausbalancieren eine Zuordnung in die Trainingsgruppe jeweils des offenen oder des geschlossenen Systems. Es wurden zu Beginn und am Ende der Rehabilitation eine isokinetische Testung (Cybex Norm bei 120 Grad/s konz./konz.; Abb. 1) und ein Test auf vordere Schublade (Abb. 2) mittels Lachmantest (Rolimeter Aircast) durchgeführt und die Oberschenkel-

lung. Effekte bei Postvergleichen (Zunahmen) wurden mittels einfaktorieller ANOVA geprüft. Bei Gruppenvergleichen erfolgte eine Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferoni. Das Signifikanzniveau lag bei fünf Prozent.

Trainingsmethodik

Alle Patienten führten im Rahmen einer ambulanten Rehabilita-

Umfang (TE/Woche)	Intensität (% F _{max})	Wdh (N)	Sätze (N)	Dauer (Min)	Pausen (s)
3–5	60–75%	15–20	4–5	45–60	45–60

Tab. 1 Belastungsnormative im rehabilitativen Krafttraining nach vorderer Kreuzbandplastik.

umfänge gemessen. Alle Daten wurden mit SPSS 11.5. ausgewertet. Die Prüfung auf Normalverteilung fand mittels Shapiro-Wilk-Test statt. Die Aufdeckung statistisch relevanter Effekte durch das rehabilitative Krafttraining und durch Gruppeneffekte erfolgte durch eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederho-

tion das rehabilitative Krafttraining unter der Betreuung von Sporttherapeuten in der medizinischen Trainingstherapie durch. Nach der studienrelevanten Diagnostik wurden die Probanden in das jeweilige Trainingsprogramm eingewiesen. Die Widerstände wurden mittels 20 RM (repetition maximum) festgelegt.

Übung zur Kräftigung der:	geschlossenes System (TG1)	offenes System (TG2)
– vorderen Oberschenkelstrecker (M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. vastus intermedius, M. rectus femoris)	• Beinpresse	• Beinstrecker
– hinteren Beinbeuger (M. biceps femoris, M. semimembranosus)	• „Wischen“ am Seilzug	• Beinbeuger
– Hüftstrecker (M. gluteus maximus)	• Kniebeuge	• Hüftstrecker
– Wadenmuskulatur (M. gastrocnemius, M. soleus)	• Wadenheben	• Wadenheben

Tab. 2 Inhalte des rehabilitativen Krafttrainings nach vorderer Kreuzbandplastik.



Abb. 3 Beinpresse als Beispiel für das geschlossene System zur Kräftigung der Extensoren.

Eine Steigerung der Gewichte sollte alle zwei bis drei Trainingstage stattfinden. Eine Übersicht zur Belastungsnormative bietet Tabelle 1.

Jede Trainingseinheit begann zur Mobilisierung der Kniegelenke mit einem Ergometertraining bei 0,75–1,0 W/kg. Hohe Intensitäten wurden wegen der Gefahr einer Inflammation vermieden. Die Inhalte des Krafttrainings setzten sich aus Übungen an Sequenzgeräten, Seilzügen und Freihanteln zusammen. Dabei kamen Kraftübungen für die Extensoren und Flexoren zum Einsatz. Es wurde ein Mehrsatztraining im Stationsbetrieb durchgeführt. Tabelle 2 zeigt die durchgeführten Übungen. Abbildung 3 zeigt exemplarisch eine Übung im geschlossenen System und Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine Übung für das offene System.

Ergebnisse

Alle Patienten konnten die Trainingsstudie ohne Komplikationen beenden. Insgesamt wurden 15 ± 4 Trainingseinheiten im Rahmen der medizinischen Trainingstherapie während der ambulanten Rehabilitation durchgeführt. Beide Gruppen zeigten Abnahmen des bilateralen Kraftdefizits zur unverletzten Extremität in Beugern und Streckern. Jedoch war in der Gruppe des offenen Systems die Reduktion des Kraftdefizits in den Beugern und Streckern signifikant (in den Beugern $38 \pm 40,7$ Prozent auf $18,2 \pm 20,4$ Prozent; in den Streckern

$71,5 \pm 77,5$ Prozent auf $50 \pm 41,6$ Prozent; ANOVA, $p < 0,05$). Im geschlossenen System lag ein signifikanter Unterschied nur in den Streckern vor ($83,4 \pm 102,4$ Prozent auf $51,4 \pm 82,6$ Prozent; ANOVA, $p < 0,05$). Das Trainingssystem zeigte bei allen untersuchten Parametern keinen signifikanten Effekt (zweifaktorielle ANOVA, $p > 0,05$). Hinsichtlich der Kraftzunahmen konnte ebenso kein signifikanter Effekt durch das jeweilige Trainingssystem festgestellt werden (einfaktorielle ANOVA $p > 0,05$). Was die Defizite des Oberschenkelumfangs bei dem verletzten Bein im Vergleich zur unverletzten Extremität betrifft, so konnten die Rehabilitation und das Trainingssystem keinen signifikanten Effekt auslösen ($p < 0,05$; Tab. 3).

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Anwendung offener Systeme keinen negativen Effekt auf die Laxizität des vorderen Kreuzbandes aufweist. Zwischen den beiden Trainingsgruppen zeigten sich auch in Hinblick auf den Abbau bilateraler Kraftdefizite nur in den Beugern statistisch relevante Unterschiede. Prinzipiell ist der Effekt als gleichwertig auf die untersuchten Parameter einzuordnen. Dies zeigt, dass entgegen der bestehenden Auffassung in der Trainingsmethodik weitere Inhalte in Betracht gezogen werden sollten. Andere Untersuchungen konnten ebenso zeigen, dass durch den Einsatz offener Systeme an Patienten nach VKP keine erhöhte Laxizität der Plastik beziehungsweise eine Überlastung festzustellen war [6, 9, 10, 16]. Jedoch war nur in der Studie von Tagesson et al. [16] eine sig-

nifikant höhere Extensorenkraft in der Gruppe des offenen Systems festzustellen.

Die hier in dieser Studie applizierten Belastungsreize waren an Patienten in der zehnten postoperativen Woche durchgeführt worden. Möglicherweise wäre diese Belastung auch in einem früheren postoperativen Stadium denkbar. Heijne und Werner [4] untersuchten den Einsatz beider kinetischer



Abb. 4 Beinstrecker als Beispiel für das offene System zur Kräftigung der Extensoren.

Ketten in Abhängigkeit vom Zeitraum innerhalb der Rehabilitation. Dabei wurden die Trainingsreize ab der zwölften postoperativen Woche durchgeführt. Ein Effekt auf die Plastik und die Muskelkraft konnte nicht gefunden werden.

Auch offene kinetische Ketten können somit von Bedeutung in der medizinischen Trainingstherapie sein. Trotz einer höheren neuromuskulären Aktivierung der Extensoren der unteren Extremität im offenen System konnte hier keine signifikant größere Kraftentwick-

Parameter	Offenes System (N=17)		Geschlossenes System (N=17)	
	prä	post	prä	post
vordere Schublade (mm)	7,3±1,9	7,0±2,0 ⁺	7,6±1,1	7,4±1,7 ⁺
Oberschenkelumfänge (10 cm proximal der Patella)	46,1±4,3	46,8±3,4 ⁺	46,2±4,8	46,9±4,1 ⁺
Maximale Drehmomente Extensoren (Nm)	75,0±32,7	96,0±32,6 [*]	88,6±49,5	112,3±46,9 [*]
Maximale Drehmomente Flexoren (Nm)	66,9±21,83	89,5±21,5 [*]	80,4±33,2	95,5±26,4 [*]

Tab. 3 Vergleich der untersuchten Parameter im Prä- und Post-Test sowie zwischen beiden Trainingsgruppen (MW ± SD). * = $p > 0,05$ (Gruppenvergleich mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung); + = $p >$ (Prä-Post-Vergleich); - = $p < 0,05$ (Prä-Post-Vergleich).

lung festgestellt werden. Dies kann an weiteren Belastungsnormativen des Trainingsprozesses liegen. Signifikante Effekte auf den Abbau bestehender Oberschenkelumfangsdifferenzen lagen nicht vor, wobei ein Hypertrophieeffekt dennoch nicht auszuschließen ist. Einzelne Fasern können durch das hier applizierte Training hypertrophieren und sich in einem – allerdings nicht messbaren – Bereich bewegen. Um dies zu belegen, könnten computertomografische Untersuchungen hilfreich sein.

Andererseits wäre die in der Literatur für messbare Hypertrophieeffekte angegebene Belastungsdauer von acht Wochen durch die Kostenträger nicht erreichbar [5]. Die in der Trainingswissenschaft und somit maßgeblich auch für die Trainingstherapie charakteristische Belastungsmethodik setzt sich neben

den Inhalten auch aus den Trainings-Intensitäten, Umfängen, der Pausengestaltung und den Bewegungsgeschwindigkeiten zusammen. Kibele [7] vermutet bei maximal explosiv dynamischen Streckmustern eine Lateralisierung der Patella. In der Praxis konnte dies bisher weder an gesunden noch an verletzten Probanden beobachtet werden.

Der entscheidende Unterschied zwischen offenen kinetischen Systemen und Übungen im geschlossenen kinetischen System ist nicht die kinematische Anordnung, aber die daraus resultierenden auf die Knie übertragenen Belastungen. Für Übungen des offenen Systems ist die Last an der Tibia angesetzt. Bei Übungen im geschlossenen System wird die Bodenreaktionskraft an allen Gelenken des Beines übertragen [1]. So konnte auch eine Studie

von Mikkelsen et al. [8] zeigen, dass Sportler nach zusätzlichem Einsatz offener Systeme in der Trainingstherapie eher zum Sport zurückkehren konnten als Sportler, die ausschließlich im geschlossenen System trainierten.

Zukünftig wären weitere klinische Prüfungen notwendig, um die Effektivität des Trainings bei kleinstem Risiko für die VKP zu erhöhen. Dadurch könnten die vom Gesundheitssystem finanzierten und begrenzten Rehabilitationszeiträume effektiver für den Patienten und verletzten Sportler genutzt werden.

Für die Autoren:

*Dipl. Sportwiss. Nico Nitzsche
Technische Universität Chemnitz
Institut für Sportwissenschaft, Sport-
medizin/-biologie
Thüringer Weg 11
09126 Chemnitz*

Literatur:

- [1] Braden, C. F., H. Oksendahl, B. D. Beynon: Open or closed kinetic chain. Exercises after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? *Exerc Sport Sci Rev.* 33 (2005), 134-140
- [2] Fleming, B., B. D. Beynon, P. Renström: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during stair climbing: an in vivo study. *The Journal of Arthroscopic and Related Surgery* (1999), 15-185
- [3] Fleming, B., G. Ohlen, P. Renström: The effect of compressive load and knee joint torque on peak anterior cruciate ligament strains. *The American Journal of Sports Medicine* (2003), 31-701
- [4] Heijne, A., Æ. S. Werner: 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
- [5] Hollmann, W., T. Hettinger: *Sportmedizin: Arbeits- und Trainingsgrundlagen.* 4. Auflage, Stuttgart, Schattauer, 2000
- [6] Irish, S. E., A. J. Millward, J. Wride, B. M. Haas, G. L. K. Shum: The effects of closed kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J of Strength and Conditioning Research* 24 (2010), 1256-1262
- [7] Kibele, A.: Mechanische Belastungen des Kniegelenkes bei maximal explosiven Krafteinsätzen der Oberschenkelmuskulatur. In: Olivier, N., Dausgs, R.: *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung.* Clausthal-Zellerfeld 44, 1991
- [8] Mikkelsen, C., S. Werner, E. Eriksson: 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
- [9] Morrissey, M. C., M. C. Perry, J. B. King: 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
- [10] Perry, M. C., M. C. Morrissey, J. B. King, D. Morrissey, P. Earnshaw: 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
- [11] Petersen, W., D. Rosenbaum: Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen, *DZSM* 56 (2005), 150-156
- [12] Renström, P., J. Kelm: Vorderes Kreuzband – Operation und Rehabilitation. *Zeitschrift für Sportmedizin* 58 (2007), 392-394
- [13] Roemer, K.: Lösung inverser Problemstellungen in der Biomechanik – am Beispiel von Beinstreckbewegungen. *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* 155, Hofmann 2006
- [14] Rupp, S., T. Hopf, M. Gleitz, T. Hess: *Biomechanische Grundlagen in der Nachbehandlung der Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes.* Unfallchirurgie 20 (1994), 303-310
- [15] Scheibe, J.: *Sport als Therapie-Konzept für die stationäre und ambulante Heilbehandlung.* Berlin, Ullstein Mosby 1994
- [16] Tagesson, S., B. Öberg, L. Good, J. Kvist: 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. *J of Sports Med* 10 (2008), 1-10
- [17] Wilke, C.: Vergleich der Aktivität ausgewählter Muskeln im geschlossenen und offenen System bei unterschiedlichen Intensitäten. Bachelorarbeit. Technische Universität Chemnitz, 2010