

Patrick Vavken^{1,2,3}, Patrick Sadoghi⁴, Victor Valderrabano¹, Geert Pagenstert¹

¹ Orthopädische Universitätsklinik Basel, Universitätsspital Basel, 4031 Basel, Schweiz

² Department of Orthopedic Surgery, Children's Hospital Boston, Harvard Medical School, Boston, MA, USA

³ Center for Population and Development Studies, Harvard School of Public Health, Boston, MA, USA

⁴ Universitätsklinik für Orthopädie, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich

Nachbehandlungsschema und Return to Sports nach Kreuzbandplastik

Zusammenfassung

Der Kreuzbandersatz ist eine der am meisten beforschten Therapien in der Sportorthopädie und –traumatologie. Während viel Forschung zu den Themen chirurgische Technik und Fixation betrieben wird, wird einer der wichtigsten Faktoren der Operationserfolgssicherung oft vernachlässigt – die postoperative Rehabilitation und der geeignete Zeitpunkt der Rückkehr zum Sport. In dieser Arbeit beleuchten wir 4 Phasen der postoperativen Rehabilitation nach Kreuzbandersatz und Entscheidungsparameter zur Rückkehr zum Sport. Besonderer Augenmerk soll hierbei auch der Rerupturrate und der Rerupturprevention geschenkt werden.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 60 (2), 83–87, 2012

Abstract

ACL reconstruction is among the most extensively researched topics in orthopedic sports medicine and traumatology. However, while substantial amounts of research is done on surgical technique and graft fixation, one of the most crucial predictors of successful treatment is oftentimes neglected – postoperative rehabilitation and the appropriate timing of return to sport. The paper elucidates 4 phases of rehabilitation after ACL reconstruction and decision-making parameters for return to sport. Special attention should be paid to re-rupture and the prevention thereof.

Einleitung

Die Rekonstruktion des gerissenen, vorderen Kreuzbandes ist wahrscheinlich die sportorthopädische Operation schlechthin. Obwohl andere Sportverletzungen, zum Beispiel Bandverletzungen des OSG, höhere Inzidenzen haben, wird die VKB-Plastik aufgrund der Komplexität der Operation von vielen als die Königsklasse angesehen. Wichtige Parameter des definitiven Operationserfolges liegen aber ausserhalb des OPs und oft ausserhalb des Einflusses des Chirurgen: in der Rehabilitation und in der Rückkehr zum Sport auf einem Level ähnlich dem vor der Operation. Diese Arbeit zielt darauf ab eine Übersicht und Guideline für Nachbehandlung und return to sports nach VKB-Plastik zu geben.

Rehabilitation nach VKB

Die Rehabilitation nach VKB-Plastik hat mehrere Ziele. Zum einen soll die Wundheilung und Graftreifung unterstützt werden, um adäquates Remodeling und stabile Graft-Knochenheilung zu erreichen. Gleichzeitig soll die Beweglichkeit des Kniegelenks, sowohl tibio- als auch patellofemorale, wiederhergestellt bzw. erhalten werden. Zuletzt sollte in der Rehabilitation auch Schmerz und Schwellung reduziert werden.

Entsprechend dieser Ziele kann die VKB-Rehabilitation in 4 Phasen aufgeteilt werden. In der ersten Phase, typischerweise von kurzer Dauer, werden vor allem Schmerz und Schwellung adressiert, weshalb hier physikalische, physiotherapeutische und pharmakologische antiphlogistische Massnahmen im Vordergrund stehen. Die zweite Phase dient der Wiederherstellung der Gelenkbeweglichkeit und -belastbarkeit. Dies inkludiert auch Proprio-

zeption, aber keinen Kraftaufbau oder sonstiges Training. Phase 2 ist klassischerweise im ersten und zweiten Monat nach der OP, und selbst in den aggressivsten Rehabilitationsprogrammen wird hier Sport und Belastung vermieden. Wenn die Kniebeweglichkeit und aktive und passive Stabilität wieder intakt sind, kann Phase 3 begonnen werden. Hier wird auf Muskelstärkung und forciertes Training der Propriozeption gezielt, um ein verlässlich funktionierendes Kniegelenk im Alltag, und zunehmend auch im Sport, zu erhalten. In der vierten und letzten Phase wird dem Patienten erlaubt, sportartspezifisches Training zu starten.

Die genauen Inhalte und Längen dieser 4 Phasen sind umstritten und mannigfaltige Nachbehandlungsprogramme bestehen. In dieser Arbeit wollen wir daher auf relevante Parameter der Nachbehandlung eingehen, anstatt ein spezifisches Programm darzulegen.

Schmerz und Schwellung

Schmerz und Schwellung sind nach einer Operation nicht ungewöhnlich und kaum zu vermeiden. In der ersten postoperativen Phase wird dies akzeptiert, jedoch kann sowohl Schmerz als auch Schwellung eine muskuläre Reflexinhibition verursachen und die Wiederherstellung der Kniebeweglichkeit beeinträchtigen [1]. Kryotherapie hat sich sowohl als effektive Therapie für Schwellung als auch als Disinhibitor der Quadrizepsmuskulatur bewiesen [2]. Eine rezente Meta-Analyse konnte zeigen, dass Kryotherapie auch einen signifikanten Effekt auf Schmerz nach VKB-Plastik hat, jedoch nicht auf Kniebeweglichkeit [3].

Bewegungsumfang

Ungehinderte Kniebeweglichkeit ist ein wichtiger Parameter in der Rehabilitation nach VKB-Plastik aus zwei Gründen. Extrinsisch

ist der Bewegungsumfang des Kniegelenks entscheidend für die Funktion der unteren Extremität und der Fortbewegung. Intrinsisch ist die Beweglichkeit des Knies ein wichtiger Antrieb der Ernährung und Erhaltung der intra- und peri-artikulären Gewebe. Häggmark und Eriksson verglichen zwei Gruppen von Patienten mit 4 Wochen Immobilisation oder früher Kniebeweglichkeit 1 Jahr postoperativ und konnten Quadricepsatrophien in der Immobilisationsgruppe feststellen [4]. Noyes et al. studierten zwei Gruppen, die entweder am zweiten postoperativen Tag CPM starteten oder am siebten postoperativen Tag nach 6 Tagen in einer Streckchiene, und fanden wiederum einen reduzierten Oberschenkelumfang in der immobilisierten Gruppe [5].

Muskelantwort

Die Stimulation der Muskelantwort wird im Vergleich zum Propriozeptionstraining oft vernachlässigt, obwohl suffiziente Kraft in Quadriceps und Hamstrings, und die damit einhergehende Stabilisierung des Knies und VKB-Grafts, von grosser Bedeutung für die VKB-Rehabilitation ist. Isometrische Übungen haben einen signifikanten Effekt auf Oberschenkelumfang und Flexion gezeigt, aber dieser Effekt kann gesteigert werden. Studien haben gezeigt, dass die Kombination von isometrischen Übungen mit elektrischer Stimulation die Kraft im Oberschenkel steigert und das Gangbild verbessert [6]. Nach 4–6 Wochen kann durch isometrisches Training und elektrische Stimulation 70% der Kraft des kontralateralen Quadriceps erreicht werden, während isometrische Übungen allein nur 50% bis 57% erreichen [7, 8]. Obwohl keine Evidenz zur genauen Modalität der Anwendung besteht, gibt es einen Konsensus, dass elektrische Stimulation am besten im Stehen in den ersten Tagen nach der OP durchgeführt werden soll. Im Stehen werden Muskelantwortmuster entsprechend der Vollbelastung durch die elektrische Stimulation unterstützt, weshalb der Effekt verbessert zu sein scheint.

Propriozeption

Parallel zur Muskelentwicklung soll Propriozeption wiederhergestellt werden. Nach der VKB-Plastik ist die Propriozeption beider Kniegelenke beeinträchtigt. Der Sinn der Propriozeption ist nicht nur die Wiederherstellung der dynamischen Kniestabilität, sondern auch die Kompensation von Spitzen der reaktiven Gelenkskräfte.

Propriozeptionstraining wird unmittelbar nach der Operation begonnen. Simple Übungen, wie mit dem operierten Fuss einen Ball

an der Bettkante sitzend zu rollen, können sofort und unter Teilbelastung begonnen werden. Später werden diese Übungen erweitert und Schaumkissen, balance boards und Wippen können benutzt werden, um Lastverlagerung unter Vollbelastung zu trainieren.

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Verbesserung propriozeptiver Defizite ist continuous active motion (CAM). Eine rezente Studie zeigte, dass CAM, im Vergleich zu CPM, schon nach 7 postoperativen Tagen eine deutliche, statistisch signifikante Verbesserung in der Propriozeption hervorbringt [9]. Es soll hier noch einmal herausgestrichen werden, dass frühe aktive Bewegung keinen negativen Effekt auf Graftstabilität und Laxizität hat [10].

Der Patient

Ein Parameter, der auf keine Fall übersehen werden sollte, ist die Kommunikation mit und Aufklärung von Patienten. Der Patient sollte über die Wirkung und Wirksamkeit der einzelnen, beschriebenen Parameter aufgeklärt werden. Besonders soll die vulnerable Phase des Graftremodeling hervorgehoben werden, während welcher die Reruptur besonders häufig ist, vor allem da während dieser Phase auch die Symptomatik des Patienten typischerweise nachlässt.

Return to Sport(s)

Die Fähigkeit eines Patienten, zum Sport zurückkehren zu können, und einen Level entsprechend der präoperativen Leistungsfähigkeit erreichen zu können, ist der ultimative Erfolgsparameter für einen Sportorthopäden. Return to sport kann aber von zwei Perspektiven aus gesehen werden. Erstens die Rückkehr zum Primärsport, oft die Bühne des VKB-Traumas. Zweitens Rückkehr zu Sport im Allgemeinen, d.h. Wiederherstellung der allgemeinen Belastbarkeit des Kniegelenks. Bis hier haben wir die Rehabilitation nach VKB-Plastik geschildert, der zweite Teil dieser Arbeit soll sich nun dem return to sports widmen.

Return to Sports nach VKB – Wann?

Zurzeit gibt es keine Evidenz, um die Rückkehr zum Sport, die Erlaubnis der vollen sportlichen Belastung, zu führen. Drei Paradigmen werden zumeist gebraucht, bevor ein return to sport erlaubt wird: eine Zeitperiode, die zu verstreichen hat, Kraftmessungen oder funktionelle Tests (single leg hop, etc). Für keinen dieser

Autor	Jahr	Belastung	Laufen	Return to Sport
Howell & Taylor	1996	toe touch für 3 Wo	nach 8–10 Wo	4 Mo
Aglietti et al.	1997	TB ab 3d, VB ab 8 Wo	ab 4 Mo	7–8 Mo
Anderson et al.	2001	25% für 1 Wo, 50% für 1 Wo, VB ab 3. Wo	ab 12 Wo	6–7 Mo
Aunne et al.	2001	VB sofort	6 Wo	6 Mo
Beynon et al.	2002	toe touch für 3 Wo, dann VB nach Vorgabe der Beschwerden	halbe Geschwindigkeit nach 12 Wo, volle ab 4 Mo	6–8 Mo
Majima et al.	2002	TB nach 2 Wo, VB nach 4 Wo	6 Mo	12 Mo
Pinczewski et al.	2002	VB nach Vorgabe der Beschwerden	Jogging nach 6 Wo	6 Mo
Shabieb et al.	2002	VB nach Vorgabe der Beschwerden nach 1 Wo	2 Mo	5–6 Mo
Shelbourne & Davis	2002	VB nach Vorgabe der Beschwerden	5–6 Wo	2–6 Mo
Ejerhed et al.	2003	VB sofort	nach 3 Mo	6 Mo
Feller & Webster	2003	VB nach Vorgabe der Beschwerden	nach 10 Wo	9 Mo
Gobbi et al.	2003	VB nach Vorgabe der Beschwerden	nach Vorgabe der Beschwerden	6–8 Mo
Rose et al.	2004	VB am 1. postop Tag	nach 12 Wo	6 Mo

Tabelle 1: Beschleunigung des Return to Sports seit 1996

Richtwerte konnte eine substantielle Assoziation oder Korrelation mit postoperativem Outcome gezeigt werden.

Die am weitesten verbreitete und am häufigsten benutzte Schwelle vor dem return to sport ist die Zeit seit OP, mit dem klassischen Stufenplan 6 Wochen, 3 Monate, 6 Monate und 1 Jahr oder einer ähnlichen Gliederung. Typischerweise wird Sport nach 6 Monaten erlaubt, Vollkontakt und Pivoting nach 1 Jahr. Glasgow et al. untersuchten AP-Translation und Reruptur bei Patienten mit return to sport früher und später als 6 Monate, konnten aber keine Unterschiede zwischen diesen Gruppen finden [11]. Shelbourne und Nitz waren die Ersten, die über beschleunigte VKB-Rehabilitation über 4-6 Monate berichteten und die damit gute Erfolge bei 800 Patienten erzielen konnten [12]. Shelbourne et al. untersuchten weiter Patienten mit return to sport bereits 3 Monate nach der OP und konnten lediglich bei 2% eine erhöhte postoperative Knielaxizität feststellen [13]. Weitere Studien zeigen sogar Erfolg mit leichter Aktivität nach 2 und Sport nach 3–4 Monaten [14–16].

Ein anderer Parameter ist Hamstring- und Quadriceps-Stärke. Kraftmessungen sind jedoch intrinsisch limitiert. Auf der einen Seite ist keine Korrelation für Kraft mit klinischem Outcome beschrieben worden, darüber hinaus wäre mit einer hohen interindividuellen Varianz zu rechnen. Auf der anderen Seite konnte auch keine Korrelation zwischen funktionellen Tests und isokinetischer Kraft beschrieben werden [17]. Isokinetische Defizite können darüber hinaus auch bis zu 24 Monaten nach VKB-Plastik bestehen [18]. Closed-chain-Übungen wie single leg hop wiederum sind schlechte Tests der isolierten Quadriceps- oder Hamstringkraft, da Kompensationsmechanismen Kraftverminderung ausgleichen können [19]. Auch hier testen Patienten positiv auf Defizite bis zu 24 Monaten postoperativ, auch wenn sie bereits erfolgreich in den Sport zurückgekehrt sind [20].

Zuletzt gibt es eine Reihe von funktionellen Tests, um die Rückkehrfähigkeit zum Sport nach VKB zu beurteilen. Noyes et al. haben den Single-leg-hop- und Triple-hop-Test auf Distanz und einen 6-min-hop-Test, um die Funktion des Knies nach VKB-Plastik zu evaluieren. In einer fluoroskopischen Studie konnten Papanagari et al. zeigen, dass rekonstruierte Kniegelenke signifikant mehr AP-Translation zeigen, auch wenn im Arthrometertest kein signifikanter Unterschied besteht.

Diese Daten zeigen eindringlich, dass es keinen ausreichenden Konsensus zum return to sport gibt. Im Folgenden wollen wir einige Parameter aufzeigen, die return to sport beeinflussen.

Folgeverletzungen nach VKB-Plastik

Eine häufig von Patienten gestellte Frage ist die nach dem Risiko einer neuerlichen Ruptur des VKB, oder einer Ruptur des kontralateralen VKBs. Das Risiko einer ersten VKB-Ruptur ist ungefähr 0,04% oder 35 in 100000 [21, 22], mit beachtlichen Schwankungen je nach Risikoprofil (Geschlecht, Alter, Sportart etc). Das entspricht in etwa einem gerissenen VKB pro Stunde in der Schweiz [23].

Das Risiko einer Reruptur eines operierten VKB wird in der Literatur mit 12% im ersten postoperativen Jahr angegeben, danach fällt es auf 2% bis 8% [22]. Wichtige Risikofaktoren sind dabei Alter und Grafttyp. Junge Patienten mit Allografts haben die höchsten Rerupturraten (bis 22%), während ältere Patienten mit Autografts die niedrigsten Rerupturraten (0,6%) zeigten [24]. Ein weiterer Risikofaktor, der auch die Reduktion der Rerupturen nach dem ersten Jahr zum Teil erklären kann, ist Propriozeption. Die meisten Rerupturen passieren traumatisch, die Rate an Nonkontaktverletzungen ist bei der ersten VKB-Ruptur 80%, bei der Reruptur jedoch nur noch 5% [25].

Das Risiko einer zweiten, kontralateralen VKB-Ruptur wird in der Literatur mit Werten im Bereich von 3% bis 23% angegeben [22, 26]. Diese Daten stammen aus grossen Multi-Center-Studien und basieren auf solider Evidenz, jedoch gibt es eine deutliche Breite in diesen Ergebnissen. Eine rezente, qualitativ hochwertige Studie mit 5 Jahren follow-up konnte das Risiko einer kontralateralen VKB-Ruptur auf 8% bis 16% eingrenzen [27]. Eine Langzeitstudie bietet Daten zu Rerupturen nach 10 Jahren in einer Gruppe



Abbildung 1: Das Rolimeter (Aircast, DJO) ist ein einfaches und kostengünstiges Instrument um die anteroposteriore Laxizität des Knies zu dokumentieren. Wie bevorzugt den stabilisierten Lachman Test um Reissen zu vermeiden und die intra-observer variability gering zu halten.

von 90 BTB und 90 HS VKB-Plastiken, allesamt Autografts, mit einer Re-rupturrate von fast 25% [28]!

Interessanterweise sind sogar die konservativen Schätzungen mit 3% deutlich über dem initialen Risiko von 0,04%! Dies kann direkt mit dem Verhalten und der Risikobereitschaft von VKB-Patienten in Verbindung gebracht werden. So ist bei Patienten mit konservativer Therapie, d.h. solchen mit modifizierter sportlicher Tätigkeit, die Rupturrate des kontralateralen Knies nur knapp 1%. Eine weite Palette von Risikofaktoren wurde in Hinblick auf mögliche Einflussnahmen untersucht, wie z.B. anatomische Parameter, return to sport, oder Geschlecht, aber keine signifikanten Assoziation konnten gezeigt werden.

How we do it

Wie man aus unserer Übersicht der Daten der letzten Jahre sieht, kann man von einer Evidenz-basierten Unklarheit sprechen, ohne klare Antworten für die Fragen «Wann? Wieviel? Welchen?» Sport und Rehab nach VKB [29]. Eine klare Sprache sprechen jedoch die Komplikationen und Langzeitergebnisse nach VKB-Ersatz [30]. Wie oben dargestellt sind die ReRupturraten nicht zu vernachlässigen. Die Re-Operationsraten sind noch höher, da hier auch Arthrolysen, Re-Operation für instabile Knie ohne evidente Reruptur und dergleichen hinzukommen. Es sollte auch beachtet werden, dass die gezeigten Daten zu Reruptur und anderen Komplikationen aus Studien an «high volume»-Zentren kommen und man daher davon ausgehen kann, dass Insuffizienzen in der Operationstechnik nur eine untergeordnete Rolle spielen [31, 32].

Unserer Ansicht nach gibt es interindividuelle Unterschiede in unseren Patientenpopulationen, die das postoperative Ergebnis beeinflussen. Klassische Level-V-Evidenz hierfür: Jeder Kniechirurg kennt das Problem, dass einige Patienten, trotz konsequent konsistenter Behandlungstechnik, nicht ansprechen. Wir sind der Meinung, dass hier wenig Raum für Verbesserungen im OP besteht, dass aber sehr wohl in der Rehabilitationsphase viel gewonnen werden kann. Deshalb baut unser Rehab-Schema auf dem alten Grundsatz *in dubio pro reo auf*.

Das Kerngerüst unserer Nachbehandlung ist eine aggressive Beweglichkeitserhaltung unter Schonung der Fixation. *Tabelle 2* gibt eine Übersicht über die Nachbehandlungsphasen im Allgemeinen, aber die Geschwindigkeit, mit der ein Patient von Phase zu Phase wechselt, wird individuell abgestimmt. Ein wichtiges Instrument hierfür ist für uns die regelmässige und systematische Kontrolle der ap Laxizität. Das Rolimeter hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Um Rezidive, im Sinne von Reruptur als auch VKB-Insuffizienz, zu vermeiden, entlehnen wir auch Prinzipien der VKB-Verletzungsprophylaxe für unsere Nachbehandlung. In einer recently publizierten Studie konnten wir zeigen, dass mit simplen Trainingsprogrammen aufbauend auf Propriozeptionstraining und Muskelgedächtnis VKB-Verletzungen signifikant reduziert werden können [33].

Phase 1	
Ziele	Bekämpfung von Schmerz und Schwellung als Vorbereitung auf die Bewegungstherapie.
Dauer	wenige Tage bis 1 Woche nach OP
Inhalte	Cryocuff, Ruhe, Hochlagern, Kompression
Belastung	Teilbelastung bis halbes Körpergewicht (nach Massgabe der Beschwerden) mit Schiene.
Abschluss	weitgehend abgeschwollenes, schmerzfrei bewegbares Knie. AP und rotatorische Laxizität dokumentieren.

Phase 2	
Ziele	Beweglichkeit und Koordination.
Dauer	bis 3.– 6. Woche nach OP
Inhalte	Passive Bewegung mit Therapeut und CPM, Patellamobilisierung, TENS (Quadriceps, nach Möglichkeit im Stehen). Gefolgt von APM (Camoped), Propriozeptions- und Koordinationstraining (Balance Board).
Belastung	Übergang zur VB ohne Schiene, lockeres Joggen auf ebenem Boden, Velo (niedrige Wattzahlen, hohe RPM).
Abschluss	15 min Joggen ohne Schmerz/Schwellung/Giving Way. AP und rotatorische Laxizität dokumentieren. Single-hop-Test und isokentische Kraft dokumentieren.

Phase 3	
Ziele	Kraftaufbau, Wiederaufnahme des ursprünglichen Belastungsprofils in Alltag und Freizeit
Dauer	bis 6. Mo nach OP
Inhalte	gezielter Kraftaufbau. Weiter unterstützende Therapie mit CryoCuff, Balance Boards, propriozeptivem Training und neuromuskulärem Training für beide Kniegelenke (Risiko für kontralaterale Ruptur 3% bis 23%)
Belastung	VB. Der Patient darf das neue Knie austesten. Sportbelastung: bis 85% des ursprünglichen Levels.
Abschluss	Single-hop-Test und isokentische Kraft 90% der gesunden Gegenseite. AP und rotatorische Laxizität dokumentieren.

Phase 4	
Ziele	Wiederaufnahme des ursprünglichen Belastungsprofils in kompetitivem Sport
Dauer	bis 12. Mo nach OP
Inhalte	Sportartspezifisches Training plus Ausgleichssport. Neuromuskuläres Training. Hamstringtraining und -kräftigung
Belastung	100% des ursprünglichen Levels im Sport.
Abschluss	AP und rotatorische Laxizität dokumentieren 1 Jahr nach OP (Reruptur typischerweise in den ersten 12 Monaten nach OP).

Tabelle 2: Phasen der Rehabilitation

Korrespondenzadresse:

Dr Geert Pagenstert, Orthopädische Universitätsklinik, Universitätsspital Basel, Spitalstraße 21, CH-4031 Basel, Schweiz
geert.pagenstert@unibas.ch

Literaturverzeichnis

- 1 Snyder-Mackler L, De Luca PF, Williams PR, Eastlack ME, Bartolozzi AR, 3rd. Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 1994; 76: 555-560.
- 2 Konrath GA, Lock T, Goitz HT, Scheidler J. The use of cold therapy after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized study and literature review. *Am J Sports Med* 1996; 24: 629-633.
- 3 Raynor MC, Pietrobon R, Guller U, Higgins LD. Cryotherapy after ACL reconstruction: a meta-analysis. *J Knee Surg* 2005; 18: 123-129.
- 4 Haggmark T, Eriksson E. Cylinder or mobile cast brace after knee ligament surgery. A clinical analysis and morphologic and enzymatic studies of changes in the quadriceps muscle. *Am J Sports Med* 1979; 7: 48-56.
- 5 Noyes FR, Mangine RE, Barber S. Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1987; 15: 149-160.
- 6 Beynonn BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med* 2005; 33: 1751-1767.
- 7 Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, Stralka SW. Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Joint Surg Am* 1995; 77: 1166-1173.
- 8 Snyder-Mackler L, Ladin Z, Schepsis AA, Young JC. Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg Am* 1991; 73: 1025-1036.
- 9 Friemert B, Bach C, Schwarz W, Gerngross H, Schmidt R. Benefits of active motion for joint position sense. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 564-570.
- 10 Isberg J, Faxen E, Brandsson S, Eriksson BI, Karrholm J, Karlsson J. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 1108-1115.
- 11 Glasgow SG, Gabriel JP, Sapega AA, Glasgow MT, Torg JS. The effect of early versus late return to vigorous activities on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1993; 21: 243-248.
- 12 Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1990; 18: 292-299.
- 13 Shelbourne KD, Davis TJ. Evaluation of knee stability before and after participation in a functional sports agility program during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1999; 27: 156-161.
- 14 Sauter AJ, van Haeff MJ, van der Lubbe N, Eygendaal D. Anterior cruciate ligament reconstruction with alternative tibial tunnel: early results after accelerated weight-bearing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6: 220-223.
- 15 Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Neri MP, Loretto I, Petitto A. Arthroscopic intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction with gracilis and semitendinosus tendons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6: 68-75.
- 16 Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Vascellari A, Loretto I, Kon E, et al. Intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction utilizing autogenous semitendinosus and gracilis tendons: 5-year clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2003; 11: 2-8.
- 17 Greenberger HB, Paterno MV. Relationship of knee extensor strength and hopping test performance in the assessment of lower extremity function. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995; 22: 202-206.
- 18 Mattacola CG, Perrin DH, Gansneder BM, Gieck JH, Saliba EN, McCue FC, 3rd. Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* 2002; 37: 262-268.
- 19 Ernst GP, Saliba E, Diduch DR, Hurwitz SR, Ball DW. Lower extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 2000; 80: 251-260.

- 20 Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med* 2007; 17: 258–262.
- 21 Dunn WR, Spindler KP, Consortium M. Predictors of activity level 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR): a Multi-center Orthopaedic Outcomes Network (MOON) ACLR cohort study. *Am J Sports Med* 2010; 38: 2040–2050.
- 22 Wright RW, Dunn WR, Amendola A, Andrich JT, Bergfeld J, Kaeding CC, et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective MOON cohort study. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1131–1134.
- 23 Murray M, Vavken P, Fleming B. *ACL – Injury and Repair*. New York, Springer 2012.
- 24 Kaeding CC, Aros B, Pedroza A, Pifel E, Amendola A, Andrich JT, et al. Allograft versus autograft ACL reconstruction: Predictors of Failure from a MOON Prospective Longitudinal Cohort. *Sports Health* 2011; 3: 73–81.
- 25 Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2005; 21: 948–957.
- 26 Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med*; 38: 1968–1978.
- 27 Wright RW, Magnussen RA, Dunn WR, Spindler KP. Ipsilateral graft and contralateral ACL rupture at five years or more following ACL reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 1159–1165.
- 28 Pincezweski L. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled prospective trial. *AJSM* 2007; 35: 564–574.
- 29 Vavken P, Culen G, Dorotka R. [Clinical applicability of evidence-based orthopedics--a cross-sectional study of the quality of orthopedic evidence]. *Z Orthop Unfall* 2008; 146: 21–25.
- 30 Vavken P, Murray MM. Translational studies in anterior cruciate ligament repair. *Tissue Eng Part B Rev* 2010; 16: 5–11.
- 31 Hammond JW, Queale WS, Kim TK, McFarland EG. Surgeon experience and clinical and economic outcomes for shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85-A: 2318–2324.
- 32 Urbach DR, Baxter NN. Does it matter what a hospital is "high volume" for? Specificity of hospital volume-outcome associations for surgical procedures: analysis of administrative data. *Bmj* 2004; 328: 737–740.
- 33 Sadoghi P, von Keudell A, Vavken P. Effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention training programs. *J Bone Joint Surg Am* 2012; 94: 769–776.