

전방십자인대 재건술 전 대퇴신전근력이 일년 후 슬관절 기능 점수에 미치는 영향

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 재활의학과 스포츠의학실

김 도 경 · 박 원 하

Effects of Preoperative Quadriceps Strength on the Knee Functional Scores One Year after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Do Kyung Kim, Won Hah Park

Division of Sports Medicine, Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

To identify how influence preoperative predictable factors for knee function after one year of anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). The purpose of this study is to investigate the relationship of preoperative quadriceps strength and post-operative knee function scores (Lysholm score and International Knee Documentation Committee [IKDC] score) after surgery. We extracted seventy-one subjects who underwent hamstring autograft reconstruction to evaluate randomly. Muscle strength deficits were measured with CSMI isokinetic dynamometer. One year after ACLR, we collected these scores from subjects completed. After identification of baseline independent variables between quadriceps muscle strength deficits and both Lysholm score and IKDC score, we examined that how relevant influence in these relationship with these factors by classifying quartile groups. We demonstrated that quadriceps muscles strength and knee function scores were identified as significant correlation. It was compared with quartile outcome in order to analyze that how different result comes out as a degree of deficit. As a result, the only Q1 group who indicated less quadriceps muscle strength deficit (within 23% deficits) effected to knee function scores after one year surgery. The less of quadriceps muscle strength deficit indicated before surgery, the better functional knee score level turns up. Therefore, the result verified that there are significantly positive influences between these relationships after one year of ACLR.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Muscle strength

Received: March 19, 2013 Revised: May 17, 2013 Accepted: May 25, 2013

Correspondence: Won Hah Park

Division of Sports Medicine, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea

Tel: +82-2-3410-3846, Fax: +82-2-3410-6689, E-mail: hrmax1@naver.com

Copyright ©2013 The Korean Society of Sports Medicine

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

전방십자인대 손상 후 슬관절의 안정성을 유지하기 위하여 재건술이 시행된다¹⁾. 하지만 재건술을 통해 슬관절 구조상의 문제를 해결한다고 해도 통증과 불안정성 그리고 관절가동범위의 제한, 근력 약화 등의 문제들이 나타나기 때문에 슬관절 기능을 수술 전 기능으로 완전히 되돌리는 것은 쉽지 않다^{2,4)}. 일반적으로 전방십자인대 손상 후 가장 주된 기능의 저하는 동적 불안정성과 대퇴근력(quadriceps muscle strength)의 약화이다. 실제로 전방십자인대 손상 후 대퇴근력의 결손을(deficits)을 측정한 연구들을 살펴보면 건측(uninjury side) 대비 환측(injury side)이 17% 이상의 근력의 차이를 보이고 있다^{5,6)}. 이러한 대퇴근력의 약화는 전방십자인대 재건술 후 시간이 지나도 자연적으로 회복되지 않기 때문에 근육의 위축 정도가 심할수록 심한 불안감과 슬관절 기능적 장애가 증가할 것으로 추정할 수 있다⁷⁾. 이처럼 대퇴근력이 약화되면 근력회복이 쉽지 않기 때문에 전방십자인대 손상이나 재건술 후에 슬관절 기능에 부정적 영향을 미치게 된다. 이런 이유에서 임상에서는 전방십자인대 재건술 후 좋은 슬관절 기능을 회복하기 위한 요인으로 대퇴 근력을 중요시하고 있고, 대퇴근력의 약화와 기능의 저하를 최소화하기 위해 적절한 수술시기 및 다양하고 효과적인 운동방법들에 대해 연구되고 있다^{8,9)}. 전방십자인대 손상 후에는 앞에서 언급한 바와 같이 슬관절의 기능적 저하가 나타나므로 수술 후 환자의 상태와 주관적 만족도를 확인하고 평가하는 것은 효과적인 치료를 하기 위한 중요한 평가 기준이다^{9,10)}. 이러한 슬관절 기능과 환자의 상태를 평가하기 위해서 임상에서 주로 자가 설문지를 통하여 증상, 기능적 문제점 그리고 스포츠 활동 정도와 환자의 만족도를 측정하고 있다¹¹⁾. 가장 흔하게 Lysholm 점수와 국제 슬관절 평가위원회(International Knee Documentation Committee, IKDC) 주관적 점수, Hospital for Special Surgery 점수, 그리고 Knee Outcome Survey 점수 등이 사용되고 있다¹²⁻¹⁴⁾.

이에 본 연구는 수술 전의 대퇴근력이 다른 어떤 요인보다도 향후 슬관절 기능에 영향을 미칠 것이고 이는 전방십자인대

재건술 후 임상적 결과 판정과 환자의 주관적 상태를 평가하는데 유용하게 사용되는 Lysholm 점수와 IKDC 주관적 점수에 영향을 줄 것이라고 가정하였다. 따라서 본 연구의 목적은 수술 전 대퇴신전근력 결손율에 따른 일년 후 환자의 슬관절 기능과 주관적 만족도를 평가하는 Lysholm 점수와, IKDC 주관적 점수에 미치는 영향과 연관성에 대해 알아보고자 하는 것이다.

연구 방법

1. 대상

급성 전방십자인대손상으로 전방십자인대 완전파열(rupture)되어 재건술이 필요한 71명을 대상으로 하였다. 피험자는 남자 57명, 여자 14명을 대상으로 하였으며, 나이는 36.04 ± 11.76 세였다. 피험자의 특징은 Table 1과 같다.

2. 측정 항목 및 방법

1) 대퇴근력 측정

대퇴근력측정은 등속성 운동기구인 Isokinetic Rehabilitation and Testing System (CSMI Medical solution, Stoughton, MA, USA)을 사용하여 슬관절 근력을 측정하였다. 수술 전 대퇴근력의 측정은 수상 후 최소 6주 이상 3개월 이내에서 부종이 가라앉고 통증도 완화된 시점에서 정형외과 외래 진료 후 스포츠의학센터를 방문하여 수술 전 슬관절 근력을 측정하였으며, 수술 후의 근력측정은 전방십자인대 재건술을 시행 후 1년이 되는 시점에서 수술 전과 동일한 절차를 걸쳐 측정하였다. 측정된 건측과 환측의 근력을 기초로 환측(injury)/건측(uninjury)×100로 계산하여 결손율을 평가하였다. 등속성 검사에서의 각속도는 60°/s에서 4회 실시하였고, 모든 검사에 앞서

Table 2. Preoperative and one year after ACLR outcomes knee strength deficit and functional score

Functional strength scores	Preoperative	1 Year after ACLR
Knee extension strength deficit (%)	31.17±20.32	17.52±11.42
Lysholm score	74.72±15.39	90.41±7.87
IKDC score	59.95±16.96	78.08±11.99

Date represent the mean±standard deviation.

ACLR: anterior cruciate ligament reconstruction, IKDC: International Knee Documentation Committee.

Table 1. Characteristics of study subjects

Characteristic	Mean±standard deviation
Age (y)	36.04±11.76
Height (cm)	172.88±6.65
Weight (kg)	72.25±8.90
Body fat (%)	24.48±7.70

각각 3회의 연습을 실시하여 피험자들에게 검사에 대한 적응성을 향상 시켰으며, 충분한 휴식 시간을 가졌다. 등속성 장비를 측정된 대퇴신전근력의 결손율은 Table 2와 같다.

2) 슬관절 기능 평가 설문지

슬관절의 기능적 평가는 Lysholm 점수와 IKDC 주관적 점수를 사용하여 실시하였다. 평가 시기는 근력검사를 시행하기 위해 방문한 동일한 날에 시행하였으며 근력 검사 전 선행검사로 인터뷰 방법 통해 슬관절 기능평가 설문지를 작성하였다. Lysholm 점수는 슬관절의 불안정성을 중점으로 일상생활에서 절뚝거림, 보조기사용정도, 계단 오르기, 쪼그려 앉기, 걷기, 달리기와 점프 시의 불안정성, 통증, 종창, 대퇴부의 위축정도를 100점 만점으로 수치화하여 파악할 수 있도록 구성되어 있다¹²⁾. IKDC 주관적 점수는 슬관절의 증상과 기능 그리고 스포츠 참여 정도에 따른 슬관절의 상태를 알아볼 수 있는 질문지로, 18개의 질문으로 이루어져 있으며, 전방십자인대 손상환자에게 있어 증상과 장애 정도를 알아볼 수 있는 신뢰도가 높은 유용한 설문지이다¹⁵⁾. 수술 전과 수술 일년후의 Lysholm 점수와 IKDC 주관적 점수는 Table 2와 같다.

3. 통계 방법

수술 전 대퇴신전 근력차이(quadriceps strength deficit) 정도가 수술 일년 후 슬관절 기능 점수에 영향을 주는 지 알아보기 위해 회귀분석(regression analysis)을 통하여 두 변인 간 통계적 유의성을 측정하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 하였다. 이후 단순 대퇴신전근력의 결손율 정도를 사분위로 나누어 결손율 정도에 따른 연관성을 보기 위해 partial correlation analysis를 실시하였다. 두 변수 모두 정규성을 만족할 때는 모수적 방법

인 Pearson's partial correlation analysis를 사용하였으며, 하나라도 정규성을 만족하지 않는다면 비모수적 방법인 Spearman's partial correlation analysis으로 분석을 수행하였다. 또한 대퇴신전근력에 영향을 줄 수 있는 나이, 체중, 제지방량과 지방량의 변인들을 보정한 후 분석하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 하였다.

결 과

1. 수술 전 대퇴신전근력의 결손율과 수술 일년 후의 슬관절 기능 점수와의 관련성

수술 전 대퇴신전근력의 결손율과 슬관절 기능 점수에 영향을 미칠 것이라는 가설 하에 단순 회귀 분석을 실시한 결과는 Table 3와 같다. 결과적으로 60°/s의 각속도에서의 신전근력 결손율에 따라 Lysholm 점수에 영향을 주는 것으로 조사되었으며($p=0.047$), 또한 IKDC 주관적 점수에도 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 조사되었다($p=0.017$). Figs. 1, 2는 수술 전 대퇴신전근력에 따른 Lysholm 점수와 IKDC 점수와의

Table 3. Regression analysis with knee extension strength deficit and knee scores

Functional strength scores	Score	Pr> t	Adjusted p-value
Lysholm score	90.41±7.87	0.005	0.047
IKDC score	78.08±11.99	0.002	0.017

$p>0.05$.

IKDC: International Knee Documentation Committee.

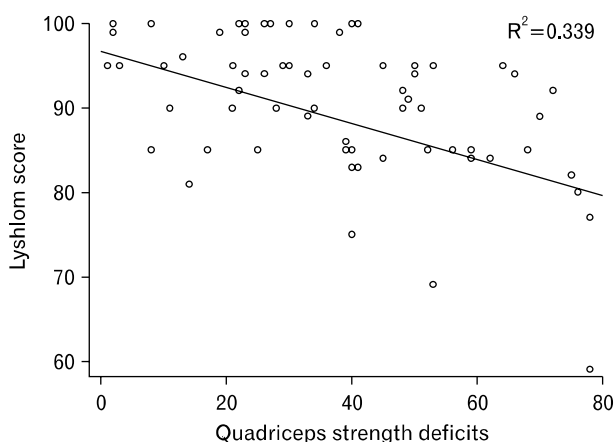


Fig. 1. Association between knee extension strength deficit and Lysholm score.

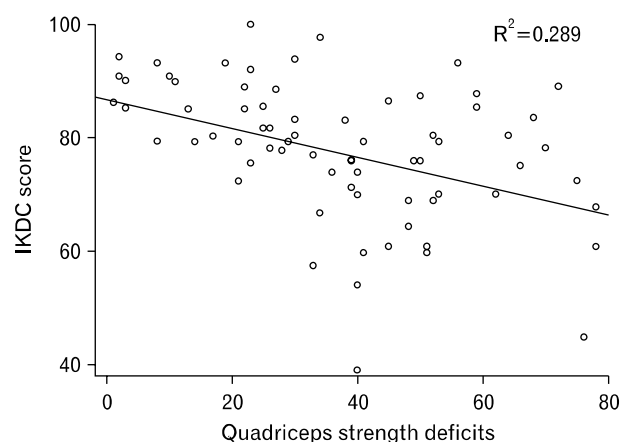


Fig. 2. Association between knee extension strength deficit and IKDC score. IKDC: International Knee Documentation Committee.

Table 4. Correlation analysis with knee extension strength deficit according to quartiles and knee scores

Functional strength scores	Q1 (n=17) <23%	Q2 (n=18) 23%–38%	Q3 (n=17) 38%–51%	Q4 (n=19) >51%
Lysholm score	94.5±4.2	91.1±5.8	87.5±7.1	83.5±8.9
Correlation coefficient	0.309	0.243	0.255	0.215
Adjusted p-value	0.042	0.094	0.382	0.111
IKDC score	86.1±6.2	81.7±10.5	70.7±12.3	72.0±12.1
Correlation coefficient	0.499	0.265	0.333	0.131
Adjusted p-value	0.033	0.164	0.785	0.511

Date represent the mean±standard deviation, $p>0.05$.

IKDC: International Knee Documentation Committee.

관계를 탐색적으로 보기 위해 그렸다.

2. 사분위로 분류한 대퇴신전근력의 결손율에 따른 일년 후의 슬관절 기능 점수와의 관련성

수술 전 대퇴신전근력 결손율 수준 정도에 따라 전방십자인대 재건술 일년 후 슬관절 기능 점수에 차이가 있을 것이라는 가정하였다. 신전근력의 결손율 정도를 통계적으로 4그룹(Q1–Q4)분류하였다. Q1그룹은 수술 전 대퇴신전근력의 차가 23% 미만으로 가장 차이가 적은 그룹($n=17$)이고, Q2는 23%–38%의 차이를 보이는 그룹($n=18$), Q3는 38%–51%의 차이를 보이는 그룹($n=17$) 그리고 Q4는 51% 이상의 가장 근력 차가 많은 그룹($n=19$)으로 구분하였다. 대퇴신전근력의 차이에 따른 슬관절 기능 점수를 두 연속적인 변수간의 연관성을 보기 위해 Partial correlation analysis를 실시하였다. 결과는 Table 4와 같다.

수술 전 대퇴신전근력의 차이가 23% 내인 Q1 그룹에서만 수술 후 슬관절 기능 점수인 Lysholm 점수가 94.5 ± 4.2 점으로 연관성이 있는 것으로 나타났다($r=0.309$, $p=0.042$). 또한 Q1 그룹에서는 IKDC 주관적 점수에도 86.1 ± 6.2 점으로 유의한 연관성이 있는 것으로 조사되었다($r=0.499$, $p=0.033$). 그 외의 Q2, Q3, Q4 그룹, 즉 수술 전 대퇴신전근력의 차이가 23% 이상 나는 그룹에서는 수술 일년 후의 슬관절 기능 점수들에 있어 영향을 주지 못하는 것으로 조사되었다.

고 찰

전방십자인대 재건술의 목적은 손상받은 슬관절의 기능을 되돌려 불편함을 줄이고 만족도를 높이는데 있다. 하지만 전방십자인대 손상 후 불안정성에 의해 활동력의 제한으로 인해 대퇴 사두근에 위축과 약화를 가져온다. 뿐만 아니라 재건술 후에도 일정기간 고정기간과 보조기의 사용으로 관절의 가동

범위를 제한하기 때문에 대퇴근의 약화가 나타날 수밖에 없다. 이처럼 대퇴근력의 약화와 근력회복이 쉽지 않기 때문에 전방십자인대 손상이나 재건술 후에도 슬관절 기능에 부정적 영향을 미치게 된다¹⁶⁾.

특히 전방십자인대 손상이나 재건술 후 스포츠에 참여하고 평가하기 위한 방법으로 건측에 대한 환측의 결손율의 범위가 중요한 판단요인이고 지표로 임상에서는 스포츠로 복귀는 가능한 정상 기준을 10%이내로 삼고 있다^{1,17)}. 실제로 전방십자인대 재건술 후 근력을 평가한 연구들을 살펴보면 대퇴신전근력의 결손율이 1년이 경과하여도 회복되지 않고 10%–27%의 차이를 보이고, 5년 이상의 시간이 경과하여도 대퇴신전근력의 결손율이 6%–10% 정도의 근력의 차이가 나는 것으로 보고 되었다^{4,18,19)}.

이처럼 전방십자인대 재건술 후 대퇴근력의 회복은 스포츠 참여뿐만 아니라 일상생활 측면에서 볼 때도 매우 중요한 요인 중의 하나이다. 걷기나 앉기 등 일상생활의 동작을 수행하기 위해서는 슬관절이 차지하는 비율이 크며, 이런 동작수행을 위해서는 근력은 필수적인 요소이기 때문이다. 결론적으로 슬관절의 근력이 떨어지게 되면 일상생활 자체에서의 환자의 삶의 질도 떨어질 수밖에 없는 것이다. 전방십자인대 재건술 후 환자의 불편함, 만족도와 관계된 영향력 있는 변수로는 슬관절의 통증과 하지의 기능으로 나누어 볼 수 있다. 걷고, 구부리고 앉고, 뛰기, 계단 등을 오르내기 등의 평가는 슬관절의 기능을 측정할 수 있는 변수이며, 통증이나 부종, 경직, 파행 등의 증상은 환자의 만족도를 저하시키는 변수들이라 할 수 있다. 이러한 것을 볼 때 수술 후 환자의 주관적 만족도를 확인하고 파악하는 것도 중요한 평가기준이며, 주관적 만족도 평가는 환자의 상태와 관련된 슬관절 기능적 항목을 중심으로 평가하게 된다.

Lysholm 점수는 여러 논문에서 이미 검증되었고 환자의 주관적 만족도를 반영하는 지표로, 슬관절의 불안정성을 증점

으로 일상생활에서 절뚝거림, 보조기사용정도, 계단 오르기, 쪼그려 앉기, 걷기, 달리기와 점프시의 불안정성, 통증, 종창, 대퇴부의 위축 등으로 구성되며, 100점 체계로 수치화하여 사용한다²⁰⁾. 그러나, 15점은 슬관절의 기능을 나타내고, 50점 동통과 불안정감을 나타내기 때문에 통증과 불안감이 감소하면 활동성이 낮은 사람이라도 점수가 높게 나타나는 단점이 있다¹²⁾. 이런 Lysholm 점수 외에도 다양한 슬관절 설문지가 있지만 표준화된 검사법이 없기에 이를 체계화하는 방법이 필요함에 따라 IKDC가 만들어졌고, 환자의 증상과 하지의 기능 및 활동도에 대한 체계적이고 객관적인 검사 양식을 만들었다¹⁵⁾. 특히 IKDC 주관적 점수 문항들은 슬관절의 기능 뿐만 아니라 일상생활 및 정신적인 면에 있어서도 평가되고, 환자의 성별이나 연령에 따라 점수 체계가 변화하지 않고 다양한 슬관절의 문제들을 파악할 수 있는 장점이 있기 때문에 임상에 적용하기 쉽고 점수가 체계화되어 있어 현재 많이 사용되고 있다.

본 연구의 가설은 전방십자인대 손상 환자에 있어 재건술 전 대퇴근력이 재건술 일년 후에도 슬관절 기능 점수에 유의한 영향을 줄 것이라는 것이었고, 회귀분석 결과 Lysholm 점수와 IKDC 점수에서 수술 전 대퇴신전근력이 유의한 인과관계가 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 Eitzen 등²¹⁾의 수술 전 대퇴신전근력이 수술 2년 후의 Cincinnati 슬관절 스코어의 15.6% variance를 예측 할 수 있다고 한 연구결과와 같다고 할 수 있다. 하지만 이런 단순한 연관성이 아닌 대퇴신전근력의 결손율 정도에 따라 차이가 날 것이라는 가정하에 과연 어느 정도 수준에 이르러야 슬관절 기능 점수에 영향을 미치는 지 알고자 하였다. 대퇴신전 근력에 따른 기능평가를 실시한 de Jong 등⁶⁾의 연구를 보면 수술 전 대퇴근력의 결손율이 20% 이상이면 수술 후 6개월과 9개월 시점에서 hop test에서 기능적으로 유의한 차이를 보인다고 보고하고 있다.

본 연구에서 살펴본 바에 의하면 전방십자인대 손상 후 대퇴신전근력의 결손율이 적게는 1%에서 많게는 77%까지의 결손율을 보이고 있어 개인차가 크게 나타난다. 이에 사전연구에서처럼 단순히 결손율 20%를 기준으로 나누어서 비교하기에는 결손율의 범위가 너무 크기에 본 연구에서는 결손율 수준에 따라 4집단으로 나누어서 각 집단 간의 연관성을 측정하였다. 결과적으로 Q1 그룹 즉 대퇴신전 근력의 차가 23%내에 있는 그룹만이 Lysholm 점수 IKDC 주관적 점수에 유의한 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 대퇴신전근력의 결손율이 23%내에 들어가야 슬관절의 기능에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 것으로 막연히 대퇴 근력이 좋으면 향후

슬관절 기능에 영향을 줄 것이라는 보다 정확한 기준이 제시되었다고 할 수 있을 것이다.

이러한 사전연구들과 본 연구의 결과를 종합해보면 전방십자인대손상과 재건술 후의 대퇴근의 위축은 명확하게 나타나며, 재건술 후 수개월에서 수년이 지나도 이러한 대퇴근력의 회복은 쉽지 않고 결과적으로 슬관절 기능에도 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 수술 전부터 대퇴신전근력이 떨어지지 않도록 손상 후 초기부터 근력이 약화되지 않도록 힘써야 한다. 하지만 현실적으로 임상에서는 대부분 수술 후 재활 운동위주로 진행되고 있기에 전방십자인대 손상 환자는 수술 전까지의 몇 개월의 시간 동안 재활 운동이 이루어지지 않기 때문에 상당히 많은 근력의 약화가 발생할 수밖에 없는 실정이다. 그러므로 반드시 수술 전의 재활운동의 중요성을 인식하고 체계적이고 안전한 운동프로그램으로 구성하여 수술 전부터 적극적으로 환자에게 권유되고 시행되어야 할 것으로 생각된다.

References

1. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med* 2011;39:538-43.
2. Myklebust G, Bahr R. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br J Sports Med* 2005;39:127-31.
3. Smith FW, Rosenlund EA, Aune AK, MacLean JA, Hillis SW. Subjective functional assessments and the return to competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 2004;38:279-84.
4. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Keays AC, Newcombe PA, Bullock MI. A 6-year follow-up of the effect of graft site on strength, stability, range of motion, function, and joint degeneration after anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus semitendinosus and Gracilis tendon graft. *Am J Sports Med* 2007;35:729-39.
5. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res* 2003;21:231-7.
6. de Jong SN, van Caspel DR, van Haeff MJ, Saris DB. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy* 2007;23:21-8.e1-3.

7. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clin Sports Med* 2008;27:405-24.
8. Fithian DC, Paxton LW, Goltz DH. Fate of the anterior cruciate ligament-injured knee. *Orthop Clin North Am* 2002; 33:621-36.
9. Swirtun LR, Renstrom P. Factors affecting outcome after anterior cruciate ligament injury: a prospective study with a six-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:318-24.
10. Strasser S, Aharony L, Greenberger D. The patient satisfaction process: moving toward a comprehensive model. *Med Care Rev* 1993;50:219-48.
11. Kocher MS, Steadman JR, Briggs K, Zurakowski D, Sterett WI, Hawkins RJ. Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84:1560-72.
12. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 1985;(198): 43-9.
13. Irrgang JJ, Anderson AF, Staubli HU. The new IKDC. In: *Proceedings of the Ninth Conference of the European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy*; 2000 Sep 16-20; London, UK.
14. Irrgang JJ, Snyder-Mackler L, Wainner RS, Fu FH, Harner CD. Development of a patient-reported measure of function of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:1132-45.
15. Higgins LD, Taylor MK, Park D, et al. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective knee form. *Joint Bone Spine* 2007;74: 594-9.
16. Dye SF, Wojtys EM, Arbor A, Fu FH, Fithian DC, Gillquist J. Factors contributing to function of the knee joint after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:1380-93.
17. Risberg MA, Holm I, Myklebust G, Engebretsen L. Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *Phys Ther* 2007;87:737-50.
18. Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, Sandelin J, Kujala UM. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16:1009-16.
19. Moisala AS, Jarvela T, Kannus P, Jarvinen M. Muscle strength evaluations after ACL reconstruction. *Int J Sports Med* 2007;28:868-72.
20. Sernert N, Kartus J, Kohler K, et al. Analysis of subjective, objective and functional examination tests after anterior cruciate ligament reconstruction. A follow-up of 527 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7:160-5.
21. Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 2009;43:371-6.