

반월상 연골 이식술 후 고유 수용 감각 기능의 평가와 검사의 효율성

인제대학교 서울백병원 스포츠메디컬센터¹, 인제대학교 서울백병원 정형외과²

이미영¹ · 양상진¹ · 하정구² · 김진구²

The Evaluation of Proprioceptive Function and Effectiveness of Joint Position Sense Test after Meniscal Allograft Transplantation

Mi Young Lee, MS¹, Sang Jin Yang, MS¹, Jeong Ku Ha, MD², Jin Goo Kim, MD²

¹Sports Medical Center, Seoul Paik Hospital, Inje University, ²Department of Orthopedic Surgery,
Seoul Paik Hospital, Inje University, Seoul, Korea

To evaluate the effects on the restoration of proprioception, we compared joint position sense (JPS) after meniscal allograft transplantation. Nine patients who underwent meniscal allograft transplantation between March 2008 and January 2010 were evaluated at preoperation and 6 months post-operation. International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective score and Lysholm score were evaluated. The peak torque of the isokinetic flexor and extensor strength test was performed using Biodex system III. Passive JPS was assessed to evaluate proprioceptive function. In the results, IKDC subjective score and Lysholm score were improved ($p=0.05$). The flexor and extensor power decreased, however there was no statistically significant difference. In the assessment of JPS, there was improvement from 6.56° and 4.11° to 4.89° and 1.89° , however, this was not statistically significant. Although, proprioception was improved in JPS at 6 months after meniscus transplantation, it did not show statistic significance. Therefore, future studies using combined methods will be needed to evaluate proprioceptive function after meniscal allograft transplantation.

Key Words: Menisci, Meniscal allograft transplantation, Proprioception, Knee joint position sense

서 론

무릎에는 각 부위의 동작 시 자세 유지, 속도 감지, 위치 파악할 수 있는 다양한 감각수용체들이 존재하고, 이러한 감각 수용체는 무릎관절의 과도한 움직임에서 안정성과 보호해주

는 역할을 한다고 알려졌다. 슬관절의 여러 조직 중 십자 인대와 함께 반월상 연골은 고유 수용 감각 기능의 중요한 역할을 한다¹⁾. 이미 여러 연구에 의해 무릎의 전방십자 인대나 인간의 반월상 연골 전 후각에서 기계적 수용체인 루피니소체, 파시니 소체와 골지건기관 세 가지가 존재한다고 알려졌다^{2,4)}. 이러한 고유수용 감각 수용체의 존재로 반월상 연골이 무릎관절의 고유수용 감각 정보를 감지하게 해주고, 이로 인해 무릎의 위치감각을 인지하는데 중요한 역할을 가능하게 해주며, 또한 무릎관절의 안정성과 기능유지에 위해 중요한 역할을 한다⁵⁾. 만약 반월상 연골이 손상되거나, 상당 부분을 제거하게 되면

접수: 2011-3-15 수정: 2011-4-12 승인: 2011-5-13

책임저자: 김 진 구

100-032, 서울시 중구 저동 85번지

인제대학교 서울백병원 정형외과

Tel: 02-2270-0084, Fax: 02-2270-0085

E-mail: boram107@hanmail.net

이러한 고유 수용 감각 기능은 손상된다⁶⁾. 고유 수용 감각을 평가하는 실제 방법은 많지 않지만 능동적, 수동적 무릎 관절 위치 감각 평가(joint position sense, JPS)와 수동적 운동 동작 인지 역치(threshold to detect passive motion, TTDPM) 등의 방법이 소개되고 있다^{3,7,8)}. 슬관절 분야에서 이러한 검사는 전방 십자 인대 손상 및 수술 후 감각 회복에 집중되어 있으며^{9,12)} 반월상 연골의 손상 및 이식술 후의 감각 회복에 대한 연구는 거의 보고 되어있지 않다. 이에 저자들은 반월상 연골 전 절제 또는 아전 절제 상태에서의 슬관절의 고유 수용 감각 기능과 반월상 연골 이식 후의 감각 기능을 비교해 봄으로써 반월상 연골 이식이 슬관절 고유 수용 감각 기능의 회복에 미치는 영향을 알아보고, 이를 JPS를 통해 평가 할 수 있는지를 알아보고자 한다. 본 연구의 가설은 반월상 연골 이식은 손상된 무릎 관절의 고유 수용 감각의 회복에 긍정적 영향을 미칠 것이라는 것이다.

연구 방법

1. 대상

2008년 3월부터 2010년 1월까지 본원에서 반월상 연골 이식술을 시행 한 총 48명의 환자들 중 반월상 연골 수술 전 및 수술 후 6개월 째 무릎관절 위치 감각을 포함한 모든 임상적 평가가 가능하였던 9명의 환자들을 대상으로 하였다. 대상자의 9명 중(남자 6명, 여자 3명; 평균나이 37세) 2명은 내측 반월상 연골, 7명은 외측 반월상 연골 이식술을 시행하였다(Table 1). 반월상 연골 이식술은 아전 또는 완전 절제술 후 최소 6개월 동안 중등도 이상의 통증과 기능적 감소를 호소하였던 환자들에게 시행되었고, 관절의 불안정한 정렬, 중등도

이상의 퇴행적 관절염의 진행, 하지 정렬의 불일치, 그리고 50세 이상의 환자들은 대상에서 제외되었다.

2. 방법

1) 수술적 방법

내측 반월상 연골 이식술은 본 연구의 저자 Kim 등¹³⁾에 의해 고안된 modified double-bone plug 방법을 사용하였고, 외측 반월상 연골 이식술은 Wilcox와 Goble¹⁴⁾에 의해 고안된 keyhole 방법을 사용하여 시행되었다.

2) 수술 후 재활치료 방법

수술 후 초기 1주일간 완전 신전 고정을 실시한 후, 2주차부터 무릎 관절 가동 범위를 실시하였다. 3주차에서 6주차까지 관절 가동 범위는 90°에서 내측 반월상 연골은 완전 굴곡까지 외측 반월상 연골은 120°로 각각 허용하였다. 외측 반월상 연골 이식술을 시행한 환자들은 무릎 굴곡 시 내측에 비해 외측 연골이 더 많이 움직인다고 보고한 기존의 연구들¹⁵⁾ 토대로 이식된 연골에 과도한 인장이 가해지는 것을 예방하기 위해 보존적인 재활 방법이 적용되었다. 초기 4주간 목발을 사용하여 부분 체중 지지만이 허용되었고, 이후 점진적으로 체중 지지를 허용하여 6주차에는 목발을 제거하고 완전 체중 지지를 실시하여 정상 보행을 허용하였다. 가벼운 조깅은 수술 후 3개월 이후 실시하도록 권고하였고, 스포츠로의 복귀는 환자에 따라 다소 차이가 있었지만, 모든 임상적 결과를 토대로 적어도 6개월 이후에 실시하도록 허용되었다.

3) 임상적 평가 및 등속성 검사

임상적 평가항목으로 International Knee Documentation Committee (IKDC) 주관적 슬관절 평가 점수 및 Lysholm 슬관절 점수 등의 주관적 슬관절 평가를 실시하였고, 등속성 근력 검사는 Biodex system 3[®] (Biodex medical systems Inc., Shirley, NY, USA) 등속성 장비를 이용하여 각각 60°/s에서 신전근과 굴곡근의 최대 우력(peak torque)을 측정하였다. Biodex system 3[®] 등속성 장비는 회전력과 위치 평가를 위해 검사의 타당성과 신뢰성이 증명된 기기이다¹⁶⁾.

4) 고유 수용감각 평가

고유 수용 감각 기능 평가로는 수동적 관절 위치 감각 평가를 이용하였으며 Biodex system 3[®] (Biodex medical systems Inc.) 등속성 장비 기기를 사용하였다. 검사 중 환자는 시각적,

Table 1. Demographic information

Case	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Sex (M/F)	MM/LM
1	25	173.6	75.3	M	LM
2	45	164	64	M	MM
3	46	172	78	M	LM
4	41	173	86	M	MM
5	39	162.9	69.6	M	LM
6	32	162	53	F	LM
7	27	164	64	F	LM
8	33	165	61	F	LM
9	37	170	76.3	M	LM

M: Male, F: Female, MM: Medial meniscus, LM: Lateral meniscus.



Fig. 1. The evaluation of passive joint position sense was performed at 45° in a sitting position. The subject has earplugs and blindfold covering his eyes.

청각적인 감각을 차단하기 위해 눈가리개와 귀마개를 착용하였다.

검사자는 환자에게 45°의 정해진 각도를 눈을 감은 상태에 수동적으로 움직여 인지시키고 3초간 정지한 후 무릎은 완전 굴곡까지 수동적으로 이동하였다. 이후 환자의 슬관절은 완전 신전 위 또는 90° 굴곡 위에서 45°의 굴곡으로 무릎관절을 수동적으로 초당 각속도 2/s로 움직이도록 하였으며, 이 과정에서 환자는 검사 위치 즉 슬관절 45° 굴곡 위에 도달했다고 생각했을 때 정지버튼을 누르도록 하였으며(Fig. 1), 양쪽 모두 3번 시도하였다. 각 3번의 시도 중 최소값을 선택하여 결과를 도출하였고, 이를 사용하여 통계 분석을 하였다.

5) 통계

통계 분석을 위하여 SPSS ver. 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였으며 비모수 검정 방법인 Wilcoxon signed ranks 검사가 모든 항목의 수술 전과 수술 후 6개월의 차이를 보기 위해 사용되었다. 관절위치감각과 다른 변인들간의 상관 정도를 보기 위해 피어슨 상관 관계 분석을 실시하였다.

결 과

주관적 평가항목에서는 술 전과 비교해 술 후 6개월 평가 시 각각 IKDC 주관적 검사는 술 전 67.4에서 술 후 6개월 78.3으로, Lysohm 점수는 술 전 73.4에서 술 후 81.7로 향상되었

Table 2. Clinical result

	Pre-operative score	6 month postoperative score	p-value
IKDC subjective knee score	67.4±13.3	78.3±11.4	0.086
Lysohm knee score	73.4±14.9	81.7±29.4	0.138

Values are mean±SD: p<0.05.

IKDC: International Knee Documentation Committee.

Table 3. Isokinetic strength test result-peak torque

60°/s	Preoperative results	6 month postoperative results	p-value
Extensor			
Operated knee (Nm)	112.7±52.6	92.2±38.9	0.269
Intact knee (Nm)	167±35.4	173.9±42.1	0.139
Flexor			
Operated knee (Nm)	67.8±32.2	63.7±19.7	0.953
Intact knee (Nm)	85.5±29.0	90.4±30.8	0.086

Values are mean±SD: p<0.05.

Nm: newton meter.

Table 4. Proprioception evaluation result

	Preoperative results	6 month	p-value
Passive JPS			
Operated knee (°)	6.56±3.74	4.89±5.44	0.074
Intact knee (°)	4.11±4.13	1.89±1.26	0.137

Values are mean±SD: p<0.05.

JPS: joint position sense.

다(Table 2). 등속성 최대 우력 검사는 신전근과 굴곡근 검사 결과 수술 전보다 수술 후에 여전히 근력은 수술 전 수준으로 회복되지 않았다(Table 3). 고유수용 평가를 위한 수동적 무릎 관절 위치감각 검사 결과 수술 전에서 각각 환측에서 평균 6.56°±3.74°와 건측에서 평균 4.11°±4.13°로 차이가 있었다. 수술 후 6개월에서 환측 평균 4.89°±5.44°와 건측 평균 1.89°±1.26°로 모두 술 전에 비해 향상되었으나, 이러한 향상이 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 4). 또한, 환측의 JPS와 다른 모든 검사들과의 상관관계는 보이지 않았다(Table 5).

Table 5. Correlation between Joint position sense in operative knee and index

Variable	Duration	JPS passive ext	JPS passive flex
IKDC	Pre	-0.099	-0.216
		0.800	0.577
		0.269	-0.119
Lysholm	Pre	0.483	0.761
		-0.203	0.040
		0.600	0.918
60°/s extension NM	Pre	-0.625	0.032
		0.072	0.935
		0.139	0.216
60°/s flexion NM	Pre	0.721	0.577
		-0.592	-0.599
		0.093	0.089
60°/s flexion NM	Pre	-0.008	0.149
		0.984	0.703
		-406	-0.285
		0.279	0.457

Values are mean±SD; p<0.05.

JPS: joint position sense, IKDC: International Knee Documentation Committee, NM: newton meter.

고 찰

반월상 연골 절제 후 연골 이식을 한 후 무릎의 고유 감각이 회복 될 것이라는 가설로 본 연구에서는 고유수용 감각 기능을 JPS를 통해 평가하였고, 연구 결과 이식술 후 무릎 관절의 고유감각에서 향상을 보였지만, 본 연구 결과 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

본 연구에서 반월상 연골 이식 후 주관적 평가 검수와 등속성 검사를 통한 근력은 수술 후 평가에서 수술 전과 비교해 향상되는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 통증이나 기능적 회복이 반월상 연골 이식술 후 유의한 향상을 보였고, 긍정적인 효과가 있다고 보고한 선행연구와 같은 결과를 보였다^{6,17,18}.

반월상 연골은 관절 연골에 영양분을 공급함과 동시에 이차적으로는 슬관절의 안정화와 고유수용감각의 기능을 한다¹⁹. 또한, 무릎관절에서 고유수용적 정보를 감지하도록 인지하는 기계적 수용체가 존재하고, 이러한 수용체들은 무릎의 관절 위치 감각에서 중요한 역할을 한다⁵. Verdonk⁶에 의하면, 만약 반월상 연골 손상으로 인해 부분 또는 아전 절제술을 시행하게 되면, 고유수용감각 기능 또한 감소된다고 보고하였다. 기존 선행연구에서는, 반월상 연골 이식술 후 고유수용감각 평가는 현재까지 Thijs 등³의 연구에서만 보고되어 왔고, 그들의 연구에 따르면 반월상 연골 이식술을 통한 무릎 관절의 기계적

수용체의 증가로 인해 이전에 아전절제술을 시행한 무릎의 고유수용감각에 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서도 비록 통계적으로 유의한 결과를 보이지는 않았으나 검사 결과 반월상 연골 이식술 후 고유수용감각 기능은 술 전에 비해 술 후 향상을 보여 아전절제술 후 반월상 연골 이식술은 무릎의 고유수용감각 기능에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

고유수용감각은 근감각과 관절위치 감각을 통합하는 용어이다. 관절 재위치 감각은 관절 공간 내에서의 위치를 인지하는 것이고, 근감각(kinaesthesia)은 수동적인 무릎관절의 움직임에서 움직임의 역치를 감지하는 평가방법으로 관절의 움직임의 인지로 정의 되고, 동적인 움직임으로 나타난다. 본 연구에서 사용한 무릎관절 위치감각 평가는 느린 속도의 수동적 또는 능동적인 움직임을 재생산하는 능력을 평가하는 방법으로 관절 내에서의 제한된 위치의 인지를 반영한다²⁰.

무릎의 고유수용감각 자극을 평가하기 위한 방법으로 흔히 세가지 검사가 사용되어 왔다; 1) 수동적 역치 감각 검사(TTDPM)^{9,10,12,20}, 2) 수동적 각도 변화에서 능동적 재위치 평가(active reproduction of a passive change in angle)^{9,11,20,21}, 3) 수동적 각도 변화에서 시각적 판단(visual estimation of a passive change in angle)^{9,20,22}. 하지만, 각 연구에서는 평가에 있어 각각 다른 시작위치와 속도를 사용한 다양한 방법들이 시행되었다²³.

무릎의 신전 각도에 따라 무릎관절의 고유수용감각 기능이 나 능력에 차이를 보이고, 이미 여러 연구에서 다양한 무릎 시작 각도를 사용한 검사들이 제시되어 왔다. Borsa 등¹²의 선행연구에서는 전방십자인대 손상이 있는 선수들 29명을 대상으로 각각 무릎의 시작 각도 15°와 45°에서 신전 시에 고유수용감각을 평가하였는데, 무릎 굴곡 15°에서 신전 시에 손상 받은 하지에서 통계적으로 더 의미 있는 민감함을 보였고 보고하였다. 또한, Friden 등⁹은 인지 역치 검사에서 무릎 위치가 신전에 가까운 수동적 움직임에서 신전으로 향할 때가 굴곡으로 향할 때보다 더 민감하다고 보고하였고, 이처럼 무릎 관절이 완전신전에 더 가까울수록 민감도가 향상되는 것은 이론적으로 관절을 보호하기 위한 목적을 반영한다고 주장하였다. 특히, 유일하게 반월상 연골 이식술 후의 고유수용감각 기능을 평가한 Thijs 등³은 30°와 70°의 무릎위치를 선정하였고, 술 후 통계적으로 유의한 연구결과를 보고하였다. 본 연구는 45°의 각도설정을 하여 고유수용 감각을 평가하였으나 선행연구를 고찰한 결과 본 연구에서 설정한 45° 보다 고유수용감각 기능을 평가하는데 있어 민감성을 좀 더 반영할 수 있는 신전에 가까운 각을 재설정하여 실험한다면 좀 더 의미 있는 결과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다. 따라서, 향후

이에 관한 지속적인 연구가 선행되어야 할 것이다.

많은 연구에서 고유수용 감각 기능을 평가하기 위해 다양한 방법을 통해 근감각 평가를 사용한 결과가 보고되어 왔다. Barrett²²⁾의 연구에 의하면 인대 재건술 후 관절 위치 시각 평가 검사(joint position visual estimation test)를 실시한 고유수용 감각 평가에서 의미 있는 향상을 나타냈다고 보고하였고, MacDonald 등¹⁰⁾은 kinaesthesia 검사를 사용한 연구에서 어떠한 향상도 발견할 수 없었다고 보고하였다. 하지만 이와 반대로, Friden 등⁹⁾의 선행연구에서는 kinaesthesia와 JPS 검사 둘 다 실시하여 평가하였는데, kinaesthesia 검사에서는 고유수용 감각의 손실을 밝혔으나, JPS 검사를 통해서 알 수 없었다고 보고하였다. Grob 등²⁰⁾은 이 두 가지 검사방법의 상관관계를 평가하였는데, kinaesthesia와 JPS 검사간의 의미 있는 상관관계는 없다고 보고하였고, 이러한 결과는 고유수용 감각을 반영하기 위해선 두 검사 방법 중 어떠한 것이 신경학적인 감지를 표현하기 위한 올바른 접근이라고 하기엔 적절치 않고, 또한 단 한가지의 방법만이 제시될 수 없다는 것을 나타낸다고 주장하였다. 또한, TTDPM에 대한 평가를 연구한 Lephart 등²⁴⁾은 전방십자인대 손상 후 고유수용 감각이 미치는 영향에 대해 보고하였는데, 이들은 역치 검사의 검사방법이 느린 속도에서 최대로 관절 수용체를 자극하게 되고, 이때 근육과 관절 수용체를 동시에 자극하게 되는 수동적 능동적 재위치 감각과는 달리 역치 검사는 근육에 자극을 주지 않은 상태에서 관절 수용체만을 최대로 자극시키기 때문에 능동적 움직임 감지를 위해 가장 민감성을 제공한다고 주장하였다. Friden 등⁹⁾도 Lephart 등²⁴⁾과 같은 연구결과를 보고하고 있었다. Reider 등¹¹⁾은 또한 TTDPM과 JPS를 사용한 고유수용 감각 평가를 연구한 결과 JPS는 손상 받은 무릎과 받지 않은 무릎에서 의미 있는 차이가 나타나지 않았으나, TTDPM 검사에서는 술 후 6개월 추시 기간의 평가에서 손상 받은 무릎에서 점증적인 향상을 보였다고 보고하였다. JPS와 TTDPM은 문헌에서의 보고에서와 같이 고유수용 감각의 평가를 하는데 가장 일반적인 검사 방법이고 이 검사가 사용되는 것은 다른 종류의 인지된 수용체를 자극하기 때문이라고 알려져 있다.

본 연구에서는 연구 설정을 하기 전 실시한 모의 연구를 시행하여 상기 세 가지 방법을 시험하였는데 능동적 JPS 검사에서 반월상 연골 손상이 있던 무릎에서 오히려 더 좋은 결과를 나타냄으로 고유수용 감각 기능을 반영하기에 부정확한 검사라 판단하여 검사 항목에서 제외하고, 수동적 JPS 검사만을 사용하여 평가하였다. TTDPM 방법은 좀더 효율적이고 예민한 검사 방법으로 알려져 있으나, 이를 평가하기 위한 특별한

장치를 사용하거나, 등속성 장비를 사용할 경우 특별한 프로그램을 사용해야 하는 한계가 있어 본 연구에 적용하기는 어려웠다. 본 연구와 반대로 Friden 등⁹⁾의 연구에서는 능동적 검사보다 수동적 JPS 검사에서 검사 상 어려움이 있었고 이 검사의 자체로만은 고유수용 감각 기능을 평가하는데 있어 적절하지 않은 방법일 것이라고 보고하였다. 이와 같이 수동적 능동적 JPS 검사 단독으로만 평가하는 것이 고유수용 감각을 잘 반영할 수 는 없을 것으로 생각되고 향후 추가적인 검사를 통한 연구들이 선행되어야 할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서 사용된 JPS 검사에 대한 객관성이나 효율성에 대한 연구가 미비하기 때문에 향후 좀 더 검사에 대한 신뢰성과 타당성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각 된다.

본 연구의 제한점은 연구의 대상자수가 적었고, 연구 기간 중 반월상 연골 이식술을 시행한 총 48명 중 일부만이 추시 관찰되었기 때문에 선택적 편향이 있을 수 있다는 점과 고유수용 감각 기능 평가를 위해 TTDPM을 검사하지 않고 오직 JPS만을 사용하여 평가하였다는 점, 그리고 반월상 연골 이식술 후 6개월이라는 짧은 추시 기간이 사용되었다는 점 등을 들 수 있을 것이다. 추후 연구에서 이런 점을 보완한다면 좀 더 객관적이고 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 반월상 연골 이식술 후 수동적 무릎관절 위치감각 평가에서 고유수용 감각 기능은 수술 전에 비해 향상되었지만 이러한 향상은 통계적으로 유의미하지는 않았다. 따라서, 반월상 연골 손상 후 이식술은 슬관절의 고유수용 감각 회복에 긍정적인 영향을 미친다는 것으로 추정할 수는 있겠으나 좀 더 의미 있는 결과를 위해 더 많은 대상자수와 TTDPM과 같은 검사 방법을 통한 향후 지속적인 연구로 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tschern H. Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:801-6.
2. Schutte MJ, Dabezies EJ, Zimny ML, Happel LT. Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:243-7.
3. Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop Relat Res* 1984;(184):208-11.
4. Assimakopoulos AP, Katonis PG, Agapitos MV, Exarchou

- El. The innervation of the human meniscus. *Clin Orthop Relat Res* 1992;(275):232-6.
5. Thijs Y, Witvrouw E, Evens B, Coorevits P, Almqvist F, Verdonk R. A prospective study on knee proprioception after meniscal allograft transplantation. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:223-9.
6. Verdonk R. Meniscal transplantation. *Acta Orthop Belg* 2002;68:118-27.
7. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med* 1989;17:1-6.
8. Friden T, Roberts D, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U. Proprioception after an acute knee ligament injury: a longitudinal study on 16 consecutive patients. *J Orthop Res* 1997;15:637-44.
9. Fridén T, Roberts D, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U. Proprioception in the nearly extended knee. Measurements of position and movement in healthy individuals and in symptomatic anterior cruciate ligament injured patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4:217-24.
10. MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Sutherland K. Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. *Am J Sports Med* 1996;24:774-8.
11. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2003;19:2-12.
12. Borsa PA, Lephart SM, Irrgang JJ, Safran MR, Fu FH. The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *Am J Sports Med* 1997;25:336-40.
13. Kim JG, Lee YS, Lee SW, Kim YJ, Kong DH, Ko MS. Arthroscopically assisted medial meniscal allograft transplantation using a modified bone plug to facilitate passage: surgical technique. *J Knee Surg* 2009;22:259-63.
14. Wilcox TR, Goble EM. Indications for meniscal allograft reconstruction. *Am J Knee Surg* 1996;9:35-6.
15. Stäubli HU, Birrer S. The popliteus tendon and its fascicles at the popliteal hiatus: gross anatomy and functional arthroscopic evaluation with and without anterior cruciate ligament deficiency. *Arthroscopy* 1990;6:209-20.
16. Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:22-9.
17. van Arkel ER, de Boer HH. Human meniscal transplantation. Preliminary results at 2 to 5-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 1995;77:589-95.
18. Yoldas EA, Sekiya JK, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Arthroscopically assisted meniscal allograft transplantation with and without combined anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2003;11:173-82.
19. van Arkel ER. Meniscus transplantation as an option in case of painful arthrosis following meniscectomy. *Ned Tijdschr Geneesk* 2004;148:130-3.
20. Grob KR, Kuster MS, Higgins SA, Lloyd DG, Yata H. Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84:614-8.
21. Lee HM, Cheng CK, Liao JJ. Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Knee* 2009;16:387-91.
22. Barrett DS. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:833-7.
23. Roberts D, Fridén T, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U. Proprioception in people with anterior cruciate ligament-deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients. *J Orthop Sports Phys Ther* 1999;29:587-94.
24. Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Hamer CD. Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil* 1992;1:188-96.