

전방십자인대 재건술 후 고유수용감각 기능 평가에서의 관절위치감각 검사의 효용성

인제대학교 서울백병원 스포츠메디컬센터¹, 정형외과학교실²

오수진¹ · 양상진¹ · 하정구² · 서정국² · 최정윤² · 김진구²

The Effectiveness of Joint Position Sense Test in Evaluating the Proprioceptive Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Soo Jin Oh, MS¹, Sang Jin Yang, MS¹, Jeong Ku Ha, MD²,
Jeong Gook Seo, MD², Jeong Yoon Choi, MD², Jin Goo Kim, MD²

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

We designed a study to evaluate the change of the proprioceptive function with joint position sense (JPS) during 1 year follow-up period after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction using hamstring autograft. Thirty-eight men who underwent ACL reconstruction were tested for International Knee Documentation Committee subjective knee score, Tegner activity score, Lysholm score, KT-2000 arthrometer, isokinetic strength test, functional performance test (carioca, co-contraction, shuttle run test, one-hop test) and JPS at preoperation, 6 months, and 12 months postoperation. The contralateral healthy knee was used as control. There were no significant differences of JPS between the involved knee and healthy knee at any time period. Repeated measures analysis of variance of the active JPS revealed that there was no significant difference during the follow up periods. The change patterns of passive JPS of extension and flexion were out of accordance with the improving clinical status following ACL reconstruction. Most of the clinical parameters did not show the significant correlation with active and passive JPS at any time period. In conclusion, JPS does not reflect the change of proprioceptive function following ACL reconstruction.

Key Words: Joint position sense, Proprioception, Anterior cruciate ligament, Reconstruction

서론

전방십자인대는 무릎의 정적이고 역동적인 안정성에 중요한 요소이며 고유수용감각에 중요한 역할을 한다. 루피니소체,

파시니안소체, 골지건기관, 자유 신경 말단과 같은 기계적 수용체들이 전방십자인대 내에 존재하고¹⁾ 손상 시에는 이러한 기계적 수용체들로부터 받아들이는 감각유입의 부족으로²⁾ 슬관절의 불안정성과 근력 약화뿐만 아니라 고유수용감각에 좋지 않은 영향을 미친다³⁾. 전방십자인대가 파열된 환자는 대퇴 사두근, 슬괵근 및 비복근 등 주요 근육들의 반응 시간을 지연시킨다^{4,5)}. 성공적인 전방십자인대 재건술은 기계적인 안정성과 함께 근력, 관절가동범위, 건의 온전함을 회복하는데 의의가 있으며 최근에는 슬관절의 기능적인 안정성을 제공하

접수: 2011-3-15 수정: 2011-6-27 승인: 2011-8-18

책임저자: 김진구

100-032, 서울시 중구 저동 2가 85번지

서울백병원 정형외과

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

E-mail: boram107@hanmail.net

는 주요인으로써 고유수용감각의 회복이 주목되고 있다⁶⁾. JPS 검사는 정적인 고유수용감각을 통해 공간 내 관절의 위치를 인지함을 측정하는 것으로 술 후 고유수용감각의 변화를 측정하기 위해 사용되어 왔으며⁷⁾ 이 방법은 측정이 쉽고 간편하다는 장점이 있다. 여러 연구들에서 전방십자인대 재건술을 시행 받은 환자들을 joint position sense (JPS) 측정결과 술 후 유의하게 고유수용감각이 향상되었고 JPS와 기능적인 결과 및 환자의 만족도에 있어서도 상관관계를 나타내었다고 보고하였다.

따라서 본 연구의 목적은 전방십자인대 술 전, 술 후 6, 12개월에 따른 고유수용감각의 기능의 변화를 JPS 검사를 통해 알아보고 이 결과를 실제 환자의 임상적, 기능적 검사 결과와 비교하여 JPS가 환자의 결과를 반영할 수 있는지 알아 보는데 있다. 본 연구의 가설은 전방십자인대 재건술 후 시간 경과에 따라 임상적, 기능적 향상과 함께 JPS의 결과도 점차적인 향상을 보일 것이라는 것이다.

연구 방법

1. 대상

2007년 1월부터 2009년 10월까지 본원에서 자가 슬립건을 이용한 전방십자인대 재건술을 시행받은 총 277명의 환자를 대상으로 하였다. 수상 후 3개월 이내의 급성기 손상과 후방십자인대 파열 또는 후외방인대 파열 등의 다른 주요 인대의 파열이 없는 경우, 술 후 최소 6개월 이상 전문적인 재활을 받고 1년 이상 추적 관찰이 가능하며 술 전, 술 후 6개월, 12개월째 연속적으로 동일한 기준의 임상적, 기능적 검사 및 JPS 검사를 완료한 환자를 대상으로 하였다. 타 인대의 동반손상이 있거나 이중다발 재건술, 동종건을 이용한 재건술, 여성의 경우는 제외하였고 총 38명의 환자를 대상으로 하였으며 평균 연령은 28.5세였다(Table 1).

Table 1. Demographic data of the subjects

| Subjects | Age (y) | Height (cm) | Weight (kg) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| n=38 | 28.5±8.3 | 174.5±5.4 | 78.5±9.9 |

Values are presented as mean±standard deviation.

2. 방법

1) 전방십자인대 재건술

모든 시술은 4가닥 자가 슬립건을 이용하였으며, 대퇴 터널은 관절경에서 대퇴 절흔을 기준으로 오른쪽 슬관절에서는 10시, 왼쪽에서는 2시 방향으로 설정하여 만들었다. 재건술 시 파열된 전방십자인대 잔여 조직의 보존에 유의하였으며 특히 경골부의 잔여조직은 최대한 보존하며 재건술을 시행하였다. 대퇴골 고정에는 생체흡수성 교차 핀(Rigidfix cross pin, Mitek, Norwood, MA, USA)으로 시행되었고, 경골 고정에는 생체흡수성 간섭나사와 함께 staple이나 피질골 나사못과 washer로 첨가 고정하였으며, 한 명의 수술자에 의해 모두 시술되었다.

2) 주관적 평가문항 검사

Lysholm과 Tegner activity score, International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective knee score를 사용하였다.

3) KT-2000 관절계측 검사

십자인대의 불안정성을 검사하기 위한 장비로 대상자는 누워 무릎을 30° 굴곡시키고 힘을 뺀 상태에서 무릎 뒤를 지지대로 받치고 경골의 근위부와 원위부를 고정시킨다. 동일 압력으로 경골을 전방으로 끌어당기면 이 때 늘어나는 길이가 인대의 안정성을 나타낸다. 3번 측정하여 평균값을 내고, 양측 하지의 오차값을 사용하였다.

4) 등속성 근력 검사(isokinetic strength test)

Biodex system 3 model (Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY, USA)을 사용하였다. 등속성 근력 측정은 60°/s에서 최대 우력을 4회 반복을 통해 평가하였다.

5) 기능수행 검사

(1) 공동수축 검사(co-contraction test)

대상자의 허리에 벨크로 벨트를 두르고 시행한다. 벨트는 길이 122 cm (48 inch), 반지름 2.54 cm (1 inch)인 고무 튜브에 연결되어 있고, 이 튜브는 바닥으로부터 154 cm (96 inch) 높이의 벽에 부착된 금속 고리에 연결시켜 놓았다. 바닥에는 금속 고리를 중심으로 하여 반지름이 244 cm (96 inch)가 되게 반원 모양의 선을 그려 놓는다. 대상자는 자신의 발가락 끝을 그 선위에 놓이게 한 뒤 허리에 튜브를 연결하고 벽을 마주보며

선다. 장력이 가해지며 늘어 있는 튜브를 허리에 찬 채로 180° 반원 모양을 그리며 벽에서 벽으로 5번 왕복하게 하고 시간을 측정하였다.

(2) 카리오카 검사(carioca test)

대상자에게 발을 엇갈리게(cross-over step)하여 옆으로 뛰게 하는 검사다. 처음에는 왼쪽에서 오른쪽으로 12 m (40 feet)를 뛰게 하고 그 다음에 오른쪽에서 왼쪽으로 다시 되돌아오게 하여 최단 시간을 측정하였다.

(3) 왕복달리기 검사(shuttle run test)

대상자에게 6.1 m (20 feet) 거리를 2번 왕복하여 달리게 한 후 소요되는 최단 시간을 측정하였다.

(4) 외발 멀리뛰기 검사

평평한 바닥에서 한쪽 다리로 힘껏 앞으로 뛰도록 하여 그 거리를 측정하였다. 한번 뛰기(single hop test)를 실시하였으며, 양쪽 다리 각각 3번씩 실시하여 가장 멀리 뛴 거리를 채택하였다.

6) 관절위치감각(joint position sense) 검사

(1) 능동적 관절위치감각(active joint position sense, AJPS)

능동적으로 관절위치를 정확히 재현할 수 있는지 알아보는 방법으로 Biodex System 3을 이용하여 무릎 굴곡의 45°를 재현하도록 하였다. 환자의 시각과 청각을 차단한 후 무릎 각도는 신전 0°와 굴곡 90° 범위까지로 제한하고 90° 굴곡에서 인지된 각도인 신전 45° 범위를 재현하도록 하였다. 시작 자세는 항상 90° 굴곡으로 일치 시켰고, 3회의 목표각을 인지시켜주고 시각, 청각정보를 차단한 뒤 대상자가 준비사인을 주면 목표각을 재현하였다. 다시 처음 각도로 이동해서 총 3회 반복 측정하였으며 목표값과 가장 가까운 값과 목표각의 오차값을 채택하였다.

(2) 수동적 관절위치감각(passive joint position sense, PJPS)

각속도 2°/s에서 무릎이 수동적으로 굴곡 또는 신전될 시에 45°를 인지할 수 있는지 알아보기 위한 검사로 총 굴곡 3회, 신전 3회를 반복 측정하였고 목표값과 가장 가까운 값과 목표각의 오차값을 채택하였다(Fig. 1).

7) 통계 분석

Predictive Analytics SoftWare (PASW) Statistics 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 시기별 관절 위치 감각 검사 변화를 반복측정 분산분석으로 분석하였고, 시기별 건축과 환측의 차이를 보기 위해 대응 t-검정을 이용하였다. 관절위치감각과 다른 변인들간의 상관 정도를 보기 위해



Fig. 1. The evaluation of joint position sense was performed at 45° in a sitting position. The subject has ear-plugs and blindfold covering his eyes¹⁴⁾.

피어슨 상관 관계 분석을 실시하였다. 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 임상적, 기능적 검사 향상 정도

Table 2와 같이 IKDC, Lysholm, Tegner, KT-2000, 60°/s extension, 60°/s flexion, co-contraction, shuttle run, carioca, one hop이 시간의 경과가 지날수록 향상되었다(Table 2).

2. 기간별 JPS 향상 정도

환측의 AJPS는 술 전, 술 후 6개월, 12개월 각각 $3.00^\circ \pm 3.64^\circ$, $4.15^\circ \pm 3.63^\circ$, $4.78^\circ \pm 4.34^\circ$ 였으며 시간의 변화에 따른 유의한 차이가 보이지 않았다(반복측정 분산분석, $p=0.12$). 또한 PJPS 신전 시에는 $7.23^\circ \pm 5.84^\circ$, $4.23^\circ \pm 4.33^\circ$, $5.76^\circ \pm 5.28^\circ$ 였으며, 또한 PJPS 굴곡 시 $8.02^\circ \pm 5.51^\circ$, $3.78^\circ \pm 2.53^\circ$, $5.31^\circ \pm 3.72^\circ$ 로 6개월째 감소하였다가 12개월째 다시 증가하는 결과를 보여 임상적인 유의미성을 찾아볼 수 없었다(Table 3, Fig. 2).

3. 환측과 건축의 시기별 차이

시기에 따른 환측과 건축의 AJPS와 PJPS 신전, PJPS 굴곡 분석 결과 모두 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4).

Table 2. Clinical results of the subjects

| Variable | Preoperative | 6 mo | 12 mo |
|---|--------------|--------------|--------------|
| International Knee Documentation Committee | 65.33±12.43 | 87.55±10.8 | 92±7.18 |
| Lysholm | 69.44±14.86 | 91.81±7.65 | 94.78±5.86 |
| Tegner | 5.73±1.44 | 5.34±1.27 | 5.76±1.14 |
| KT-2000 (mm) | 2.61±1.44 | 1.52±1.35 | 1.33±1.25 |
| Isokinetic streng test 60°/s extension (Nm) | 133.29±43.87 | 157.11±50 | 172.46±44.17 |
| Isokinetic streng test 60°/s flexion (Nm) | 75.38±25.33 | 91.56±21.58 | 113.63±23.66 |
| Co-contraction (s) | 18.64±6.21 | 16.20±2.79 | 14.95±1.99 |
| Shuttle run (s) | 9.58±1.63 | 8.24±0.90 | 7.83±0.94 |
| Carioca (s) | 11.56±2.61 | 9.90±2.07 | 9.24±1.91 |
| One hop (cm) | 112.15±37.81 | 134.47±32.21 | 142.1±26.48 |

Values are presented as mean±standard deviation.

Table 3. The results of joint position sense test by follow-up period

| Variable | Preoperative | 6 mo | 12 mo | p-value* |
|----------------|--------------|-----------|-----------|----------|
| AJPS | 3.00±3.64 | 4.15±3.63 | 4.78±4.34 | 0.12 |
| Extension PJPS | 7.23±5.84 | 4.23±4.33 | 5.76±5.28 | |
| Flexion PJPS | 8.02±5.51 | 3.78±2.53 | 5.31±3.72 | |

Values are presented as mean±standard deviation.

AJPS: active joint position sense, PJPS: passive joint position sense.

*Repeated measure analysis of variance.

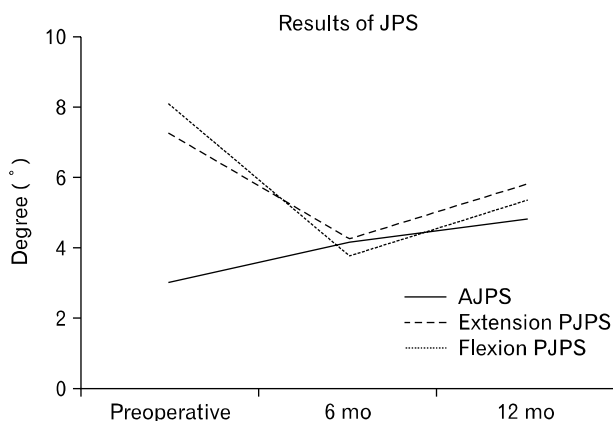


Fig. 2. Results of JPS in ACL reconstructed knee. JPS: joint position sense, AJPS: active joint position sense, PJPS: passive joint position sense.

4. 환측의 JPS와 타 지표들 간의 상관관계

환측의 AJPS, PJPS와 IKDC 주관적 평가 점수, Lysholm 점수, Tegner 활동 척도, KT-2000 관절계측 검사, 등속성 근력 검사, 기능수행 검사의 상관관계 분석결과, AJPS가 6개월째 실시한 KT-2000관절계측 검사와 $r=0.374$ ($p=0.021$)로 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 60°/s 최대 신전 우력과 $r=-0.378$ ($p=0.019$)의 상관관계가 나타났으나 나머지 모든 검사에서 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

고 찰

본 논문의 목적은 전방십자인대 술 전, 술 후 6개월, 12개월에 따른 고유수용감각의 기능의 변화를 JPS 검사를 통해 알아보고 이 결과를 실제 환자의 임상적, 기능적 검사 결과와 비교하여 JPS가 실제 환자의 결과를 반영할 수 있는지 알아보고자 하는데 있다. 저자들은 전방십자인대 손상은 임상적, 기능적 검사와 함께 JPS에도 나쁜 결과를 보일 것이며 전방십자인대 재건술 후 시간 경과에 따라 임상적, 기능적 향상과 함께 JPS의 결과도 점차적인 향상을 보일 것이라는 가설 하에 본 연구를 수행하였다.

전방십자인대 재건술은 손상된 고유수용감각의 기전을 기계적, 신경적으로 재정립시킨다⁷⁾. Ochi 등⁸⁾의 연구에 의하면 22명의 전방십자인대 재건술을 받은 사람들의 감각뉴런이 재생되었다고 보고하였으며 Reider 등²⁾도 술 후 초기에 고유수용감각의 향상을 보고하였고, 재건술을 통해 관절낭과 인대의 비정상적인 출력값을 감소시킬 수 있을 것이라고 보고하였다.

본 연구 결과 주관적 평가문항 검사와 KT-2000관절계측 검사, 등속성 근력 검사, 기능수행 검사들이 술 전에 비해 술 후 모두 향상되었다. JPS 검사 중 AJPS는 술 후 고유수용감각이 향상되는 양상을 보이지 않았고 PJPS는 술 후 6개월까지는 고유수용감각의 향상을 보이다가 12개월째 다시 회복되지

Table 4. The difference of joint position sense between involved and uninvolved knee

| | Preoperative | 6 mo | 12 mo |
|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| AJPS involved knee | 3.00±3.64 | 4.15±3.63 | 4.78±4.34 |
| Uninvolved knee | 3.39±3.36 | 4.89±4.28 | 4.60±5.47 |
| p-value | 0.568 | 0.352 | 0.835 |
| Extension PJPS in involved knee | 7.23±5.84 | 4.23±4.33 | 5.76±5.28 |
| Extension PJPS in uninvolved knee | 7.18±5.79 | 3.81±4.10 | 4.36±4.81 |
| p-value | 0.957 | 0.608 | 0.068 |
| Flexion PJPS in involved knee | 8.02±5.51 | 3.78±2.53 | 5.31±3.72 |
| Flexion PJPS in uninvolved knee | 7.42±5.49 | 4.42±3.49 | 5.78±4.16 |
| p-value | 0.515 | 0.394 | 0.507 |

Values are presented as mean±standard deviation.

AJPS: active joint position sense, PJPS: passive joint position sense.

않는 것을 알 수 있었다. 이는 고유수용감각의 회복을 측정한 결과 술 후 건측과 유사한 정도로 회복이 되었지만 6개월째 이후론 향상이 없음을 보고한 Angoules 등¹⁾의 연구와 같은 결과를 나타냈다. 건측과 환측간의 JPS 검사상에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. Mir 등⁶⁾도 12명의 전방 십자인대 재건술을 받은 사람의 양쪽 하지의 JPS를 비교했을 때 유의한 차이가 없었다고 보고하였으며, 본 연구에서도 재건술을 받은 쪽과 받지 않은 쪽 간의 유의한 차이가 없어 술 후 양쪽 하지 모두 고유수용감각에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 술 후 다른 지표들과 JPS 간의 상관관계를 본 이유는 다른 검사들의 결과가 좋아질수록 고유수용감각도 향상이 되는지 알아보기 위함이며, 본 연구에서는 IKDC 주관적 평가 점수, Lysholm 슬관절 점수, Tegner 활동 척도, KT-2000 관절계측 검사, 등속성 근력 검사, 기능수행 검사 등은 향상되었으나 JPS 검사와는 KT-2000 관절계측 검사와 신전 최대우력에서만 각각 $r=0.374$, $r=-0.378$ 으로 아주 정도의 상관관계를 보였을 뿐 나머지 경우에 있어서 전반적으로 상관관계가 없는 것으로 나타났으므로 JPS는 기능과도 별다른 상관성이 없다고 생각된다. 따라서 KT-2000 관절계측 검사와 신전 최대 우력에서만 보였던 상관관계는 임상적으로는 큰 의미를 부여할 수 없으므로 추후 더 연구를 해야 할 것으로 생각된다.

고유수용감각은 특정한 감각 양식으로써 관절의 움직임과 관절의 위치감각에 반응하고 기능적인 관절 안정성에 기여한다²⁾. 고유수용감각의 감각수용기는 기계적 수용체라 불리며 피부나 근육, 건, 인대, 관절 강내에 존재하며, 관절내의 기계적인 부하를 구심성 신경자극으로 변환시키는 역할을 한다⁹⁾. 최근 이러한 고유수용감각을 측정하기 위해 가장 자주 쓰이는 기능적인 검사는 threshold to detection of passive motion (TDPM)과 JPS, standing balance 등이 있다. TDPM은 관절각이 천천히 변화할 때 움직임의 변화에 반응하는 검사며, JPS는

본 연구에서 사용한 방법으로써 목표각을 정해놓고 스스로 관절각을 재현하거나 움직이는 동안 목표각에 반응하는 검사다¹⁰⁾. 술 후 재정립된 이러한 고유수용감각을 측정하는 것은 어렵고 간접적으로만 가능하며, JPS와 TDPM 검사 방법이 그 측정 방법으로 많이 사용되고 있다. 최근에는 JPS보다 TDPM이 신뢰할만한 검사로 보고되고 있다¹¹⁾. Friden 등¹²⁾은 전방십자인대 손상군을 TDPM과 JPS를 이용하여 검사한 결과 JPS는 유의한 차이가 없었고 TDPM은 무릎이 굴곡되는 쪽의 방향이 향상된 것을 알 수 있었다. Roberts 등¹³⁾ 역시 전방십자인대 손상군의 환자에서 TDPM은 유의하게 증가하였으나 JPS에서는 유의한 차이를 알 수 없었다고 보고하였다.

JPS 검사는 간편하고 쉽고 빠르게 수행할 수 있다는 장점이 있어 많이 사용되고 있으나 그 신뢰도에 있어서는 논란이 되고 있다. 가장 큰 문제점은 학습 효과로써 일단 환자가 검사 방법에 익숙해지면 다음 검사 때 이 방법에 쉽게 적응해서 결과가 향상된다. 이는 실제 환자의 고유수용감각의 기능이 개선되는 것보다 학습효과에 의한 향상이 더 크기 때문에 검사의 신뢰도, 민감도 등이 떨어진다는 것이다. 반면 TDPM은 JPS 검사에 비해 신뢰성이 있는 것으로 보고되지만 검사 방법이 어렵고, 많은 시간이 소요되며, 특별한 장비가 있어야 한다는 단점이 있다. 저자들은 Biodex dynamometer를 이용하여 JPS와 함께 TDPM 검사를 시행하고자 노력하였으나 특별한 프로그램과 함께 수동 운동의 방향이 신전, 굴곡 방향으로 무작위로 움직일 수 있는 특별한 기계적 보완이 필요하다는 것을 알게 되었고, 향후 TDPM 측정을 위한 새로운 장치의 개발이 필요하다는 것을 인지하여 부득이 본 실험에서는 TDPM 결과를 얻지 못하였다. 본 연구의 제한점은 환자 선정에 있어서 젊고 활동적인 남성 환자만을 선정하였고, 모든 수술환자가 포함되지 못함에 따른 선택적 오류(selection bias)가 있을 수 있으며, TDPM의 측정을 동시에 비교하지 못하였고, 추시

기간이 짧다는 것이다. 향후 더욱 많은 피험자를 대상으로 포함하여 TDPM을 측정하기 위한 특별한 장비를 도입하여 JPS와 TDPM의 결과를 비교한다면 더 좋은 결과를 기대할 수 있을 것이다. 결론적으로 JPS 검사는 고유수용감각 평가에 있어 젊고 활동적인 남자환자의 전방십자인대 재건술 후 1년 추시 관찰 기간 동안 고유수용감각 기능의 변화를 반영하지 못하였으므로, 향후 좀 더 정교한 검사방법을 통해 환자의 고유수용감각 기능을 평가해야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, et al. Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. *Knee* 2011;18:76-82.
2. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2003;19:2-12.
3. Carter ND, Jenkinson TR, Wilson D, Jones DW, Torode AS. Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Br J Sports Med* 1997;31:209-12.
4. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med* 1987;15:207-13.
5. Wojtys EM, Huston LJ. Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *Am J Sports Med* 1994;22:89-104.
6. Mir SM, Hadian MR, Talebian S, Nasser N. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 2008;42:300-3.
7. Ozenci AM, Inanmaz E, Ozcanli H, et al. Proprioceptive comparison of allograft and autograft anterior cruciate ligament reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:1432-7.
8. Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, Adachi N, Sumen Y. The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:902-6.
9. Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Toh S. The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *Arthroscopy* 2004;20:414-8.
10. Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg Br* 1992;74:247-50.
11. Boerboom AL, Huizinga MR, Kaan WA, et al. Validation of a method to measure the proprioception of the knee. *Gait Posture* 2008;28:610-4.
12. Fridén T, Roberts D, Zätterström 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.
13. Roberts D, Fridén T, Stomberg A, Lindstrand A, Moritz U. Bilateral proprioceptive defects in patients with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between patients and healthy individuals. *J Orthop Res* 2000;18:565-71.
14. Lee MY, Yang SJ, Ha JK, Kim JG. The evaluation of proprioceptive function and effectiveness of joint position sense test after meniscal allograft transplantation. *Korean J Sports Med* 2011;29:58-63.