

전방십자인대의 고유수용 감각

순천향대학교 의과대학 정형외과학교실

이 병 일 · 유 재 응

서 론

최근 관절의 고유수용감각(proprioception)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있어, 관절의 안정성에 대한 연구에 기여하는 바 크다.

특히 슬관절의 전방십자인대의 고유수용감각에 대한 연구는 슬관절의 전방십자인대 손상시 진행성의 슬관절 불안정성 및 무력감을 초래하게됨으로 이를 예방하고 방지하는데 고유수용감각이 중요한 역할을 하는 것으로 보고 있다.

고유수용감각은 Dorland's의 의학 사전에는 "고유수용감각기(proprioceptors)나 고유감각조직에 의해 내재되는 지각(perception)"이라고 정의 되어있다.

역사적으로 볼 때 1557년 Scaliger가 처음으로 "motion sense"라는 용어를 사용했고, 1826년 Bell¹⁾은 위치와 운동 지각의 근원으로 근육 감각(muscle sense)을 정의하였다. Duchenne²⁾는 이러한 지각의 종류로서 관절이 매우 중요하다고 했으며, 1880년 Bastian³⁾은 운동감각(kinaesthesia)이라는 용어를 사용하였는데 이는 지각은 근육이나 건, 사지와 피부에 기초하는 것으로 생각 했기 때문이다. 고유수용감각(proprioception)이라는 용어는 1906년 Sherrington⁴⁾에 의해 소개되었는데 이환된 감각기(affected receptor)는 기관 자체의 활동에 의해 자극된다고 하였다.

고유수용감각(proprioception)이란 무엇인가?

대부분의 지자들은 임상적으로 정적(static) 고유수용감각과 동적(dynamic) 고유수용감각을 구분하였는데, 정적 고유수용감각은 위치감각(position sense)으로 신체의 위치를 다른부분에 대하여 의식적으로 지각하는 것이고, 동적 고유수용감각은 운동감각(kinaesthesia)과 움직임에 대한 감각으로 정의하였다^{5,6,7)}.

그러나 고유수용감각에 영향을 미치는 인자는 많은데 눈

이 안정시의 전정기관 기전(vestibular mechanism)과 경부 고유수용감각(neck proprioception), 신체의 다른 부분에 대한 고유수용감각과 외래성의(exteroceptive) 정보 뿐만아니라 보는 정보(visual information) 등이 해당된다고 하였다⁸⁾.

최근의 고유수용감각에 대한 정보를 이해하기 쉽게 도표로 정리하면 Fig. 1과 같다.

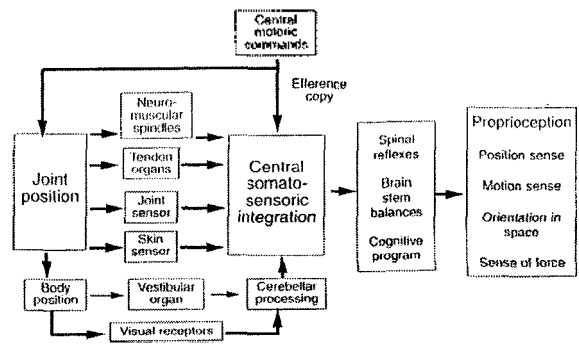


Fig. 1. Factors that influence proprioception.

고유수용성 감각은 동작 감각, 건과 근육의 감각, 발바닥의 압력 감각과 평형 감각같은 특수 감각에 대한 신체의 물리적 상태를 나타내는 것이다. 이러한 감각은 피부와 근육, 관절 조직에 존재하는 감각신경단위(sensory neuron)의 활동을 통해 전달되는데 여기에는 압력 실체감각(pressure stereognosis), 진동, 관절 위치감각과 운동 감각이 해당된다.

그러나 아직도 많은 인지에 대하여는 알지 못하고 있는데, 특히 중추신경계의 영향에 대하여는 많은 연구가 필요하다. 그럼에도 불구하고 고유수용감각에 대한 중요성은 변화가 없는데, 고유수용감각은 관절의 비생리적인 과도한 신전과 굴곡을 방지하는 데 중요한 역할을 하고 있다⁹⁾.

*통신저자 : 이 병 일
순천향대학교 의과대학 정형외과학교실

그러므로 관절 고유수용감각은 관절 손상의 예방에 중요한 역할을 하고 있고²⁸⁾, 협조적이고 복합적 운동에서 중요하다.

1982년 Kennedy²⁹⁾는 관절의 안정성과 고유수용감각의 관계에 대해 처음으로 기술하였는데, 슬관절에서 관절 손상시 인대의 이완으로 고유수용감각의 되먹임 억제(feed-back)가전의 상실을 초래하여 결국은 슬관절의 불안정성을 초래한다고 하였다. Barrett³⁰⁾과 Krauspe 등³¹⁾은 관절 안정성에서 고유수용감각의 되먹임 기전의 중요성을 강조하였다.

이에, 슬관절의 전방십자인대의 고유수용감각에 대하여, 문헌고찰을 통하여 알아보하고자 한다.

본 론

신체가 주위 환경에 대하여 인지를 하는데는 감각이라는 현상을 통하여 이루어지는데, 감각은 보기, 듣기, 맛, 냄새같은 특수 감각과, 통증, 온도, 촉각같은 체성 감각으로 나눌수 있다.

각 감각의 특수 형태를 양식(modality)이라 부르는데, 각 감각 양식은 특별한 단말기관(end-organ)을 갖고있어 각 특징적인 통로를 통하여 자극에 대하여 반응한다³²⁾.

관절에 있어 감각 양식은 기계적 수용체(mechanoreceptors)라 불리는 특별한 신경 단말의 자극에의해 지원한다. 이러한 기계적 수용체의 기능은 물리적 변형의 기계적 힘(mechanical energy)을 신경 활동전위의 전기적 힘(electrical energy)으로 전환시키는 변환기(transducers)로 작용한다³³⁾.

1967년 Freeman과 Wyke³⁴⁾는 고양이와 사람의 슬관절에서 기계적 수용체를 네가지 형태 즉, Ruffini 신경 종말, Golgi 건기관, Pacinian 소체 및 자유 신경 종말(free-nerve ending)로 분류하였다.

Ruffini 신경 종말과 Golgi 건기관은 완만 순응(slowly adapting)하며 가속이나 감속 등의 속도 감지보다는 관절의 실제 위치나, 위치의 변화에 반응한다. Pacinian 소체는 급속 순응(rapidly adapting)하며 운동의 시작과 종말에서 관절의 갑작스런 움직임이나 가속, 감속에 반응한다^{35,36)}.

슬관절에서 기계적 수용체는 관절낭 및 내측측부인대, 반월상연골, 십자인대에 존재 한다는 것을 여러 저자들에게 의해 입증되었다^{37,38,39)}.

1944년 Gardner⁴⁰⁾는 처음으로 인체에서 십자 인대를 관통하는 신경 섬유를 발견하였으며, 1956년 Skoglund⁴¹⁾

도 전방십자인대에 신경 섬유가 존재함을 보고하였다.

Kennedy 등²⁹⁾은 인대의 심부 콜라겐 기질에는 기계적 수용체가 없으며 단지, Golgi 건기관과 비슷한 것이 인대의 기시부에 존재하며 인대의 실질내에는 존재하지 않는다고 하였다. Schultz 등은 처음으로 인체에서 전방십자인대의 표면에서 Golgi 건기관과 비슷한 기계적 수용체를 발견 보고하였다. 또한 Schutte 등⁴²⁾은 전방십자인대의 실질내에 모든 기계적 수용체 즉, 속도의 가속을 감지하는 완만 순응하는 Golgi 건기관과 Ruffini 신경 종말, 운동 상태를 감지하며 빨리 순응하는 Pacinian 소체 및 통증을 감지하는 자유 신경 종말이 존재함을 보고하였으며 이러한 신경 요소는 전방십자인대 전체 면적의 1%를 차지하며, 전방십자인대의 경골 부착부에 수용체가 존재한다고 하였다. 이러한 주장은 여러 저자에의해 모든 형태의 기계적 수용체가 전방십자인대의 실질내에 존재함을 보고하였다. Schultz 등³²⁾은 전방십자인대에는 자유 신경 종말이 적게 존재하므로 통증에 대한 인지는 없다고 하였다.

고유수용 감각 검사방법

슬관절의 고유수용 감각을 검사하는 방법에는 두가지가 있는데, 하나는 슬관절의 각도가 느리게 움직일 때 이를 감지하는 역치(threshold)가 있고, 하나는 주어진 각도만큼 능동적으로 재생하는 능력을 보는 재생(reproduction) 검사기이다.

역치 검사는 슬관절의 움직임 감지하는 능력을 보는 검사로 1984년 Skinner 등⁴³⁾이 고안한 기구를 이용하여 환자를 60도 정도로 완전히 이완된 상태로 의자에 앉힌 후 다리는 자유롭게 한후 슬관부의 상방 4-6cm를 형검으로 잘 감은후 움직이지 않도록하고 슬관부에는 Jobst 공기 부목을 착용시키 20mmHg 만큼 공기를 넣은후 발 끝에 줄을 매어 초당 0.5도의 속도로 각도 변화를 주면서 슬관절의 각도가 변화도록할 때 관절의 변화를 감지하는 시점까지의 줄 길이 만큼을 측정하여 이것을 각도로 환산하는 방법이 하나있고(Fig. 2), 1994년 저자들¹⁾이 고안한 지속적 능동 운동(CPM: continuous passive motion)기구를 이용하여(Fig. 3) 초당 0.5도의 속도로 슬관절의 각도를 변화시키면서 환자가 각도 변화를 처음 감지하는 순간을 초시계를 이용하여 시간을 측정하여 이를 각도로 환산하였다. 측정시 환자는 침대위에 양외위로 완전히 이완된 편안 상태로 눕게한후 검사 부위가 보이지 않도록 장막을 설치하여 5회 반복 검사하여 정상쪽과 이완된쪽을 각각 측정하여 평균값의 차이를 구하는 방법이 있다.

재생검사는 Barrett 등⁸⁾에 의해서 처음 고안된 Thomas 부목과 Pearson 슬관절 굴곡 장치를 이용하여 0도에서 45도 사이에서 슬관절을 검사자가 임의의 각도로 굴곡 시킨후 5초간 유지하면서 환자가 기억하게하고 슬관절을 완전 신전시켜 15초 경과후 슬관절의 지지를 제거한후 환자가 기억한 각도 만큼 능동적으로 슬관절을 굴곡시키게 하여 그 각도를 측정하여 (Fig. 4), 굴곡시킨 각도와 재생한 각도의 차이를 5회 반복하여 측정하여 정상쪽과 이환된쪽의 차이를 구한다.

고 찰

슬관절의 고유수용감각에 대한 임상 연구는 대부분이 전방십자인대의 결손시와 재건술후의 고유수용감각의 차이에 대한 연구로서^{9, 10, 13, 23, 22, 23, 30)}, 한가지 명확한 결론은 전방십자인대의 결손시에는 건강한 슬관절쪽에비해 고유수용감각이 현저히 감소한다는 사실이다.^{3, 6, 9, 10, 12, 13, 16)}

1982년 Skinner 등³⁰⁾은 연령에 따른 고유수용감각 연구에서 연령의 증가에 따라 관절의 위치 감각이 감소한다고

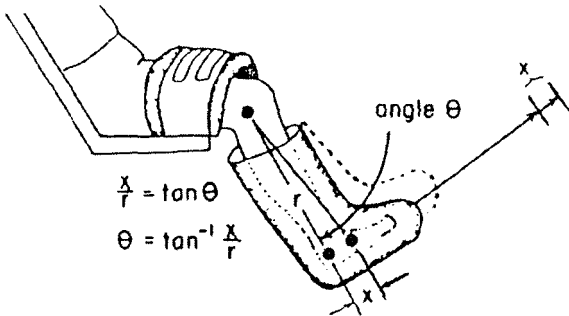


Fig. 2. Schematic representation of the proprioception apparatus.

보고하였으며, 1989년 Barrack 등³⁾은 전방십자인대 결손시의 고유수용감각에 대한 연구에서 정상쪽에 비해 전방십자인대가 결손된쪽이 역치에서 큰 차이를 보인다고 보고하였다. 1992년 Corrigan 등¹⁰⁾은 전방십자인대 결손시 위치감각 능력이 감소하고 역치가 증가한다고 보고하였다.

또한 Beard 등¹⁰⁾은 인대 손상후 관절의 보호를 위하여 반사적인 근육의 수축을 보이는 것을 이용하여 십자인대 손상시 반사적인 hamstring 근의 수축을 보는 연구에서 전방십자인대 결손시에 반사적인 hamstring 수축 latency가 크게 증가한다고 보고하였으며, 전방십자인대 손상시 전통적인 강화 운동보다 physiotherapy가 고유수용감각력을 증가시키고 반사적 hamstring 수축 latency의 기능을 증진시킬 수 있다고 보고하였다.

Friden 등¹⁶⁾은 슬관절의 신전 및 굴곡상태에 따른 고유수용감각의 변화에서 전방십자인대의 결손군에서 슬관절의 완전 신전위치 즉, 체중 부하시에는 관절 운동을 감지하는 기능의 저하를 보였으며, 굴곡 위치에서는 전방십자인대의 결손군과 정상군간에 차이가 없었으며 재생 검사에서는 두군간에 차이가 없었다고 보고하였다.

1997년 Borsa 등¹²⁾은 전방십자인대 결손 환자에서 관절의 위치와 관절 운동의 방향이 고유수용감각에 미치는 영향에 대한 연구에서 관절의 신전 15도 위치에서와 운동 방향이 신전 방향일 때 고유수용감각이 예민해진다고 보고하여, 전방십자인대 손상후의 재활 치료시에 체중부하와 근육군의 closed-chain 운동이 도움을 준다고 주장하였다.

1991년 Barrett⁸⁾은 전방십자인대 재건술후의 고유수용감각에 대한 연구에서 재건술후에 고유수용 감각이 현저히 증가하였다고 보고하였는데, 이는 외부 지지나 피부의 압력 수용체 (cutaneous pressure receptors)의 자극에 의해 관절의 안정성 감각을 증진시킨 것으로 보았다.

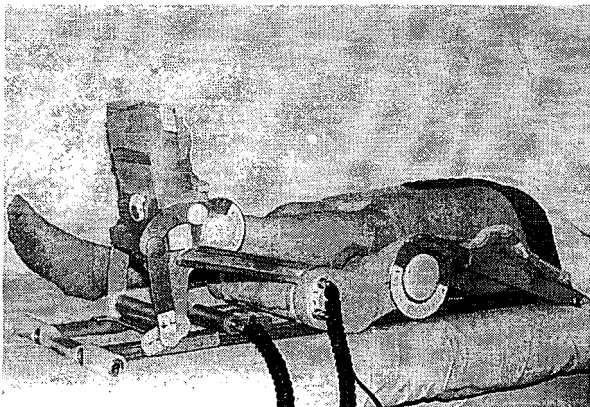


Fig. 3. Threshold checked by CPM machine.

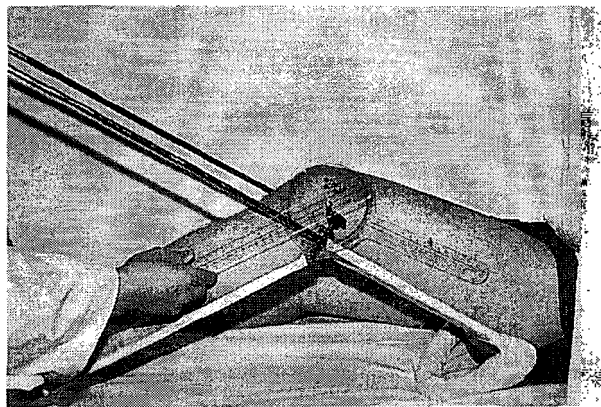


Fig. 4. Thomas splint with a Pearson knee flexion piece.

한편, 1988년 Harter 등¹⁹⁾은 전방십자인대 재건술후 슬관절 안정성 연구에서 정상측과 수술한측의 관절 위치 감각은 별 차이가 없다고 보고하였으며, Lepart 등²⁷⁾은 전방십자인대 재건술후 정상측에 비해 운동감각이 현저히 약화된다고 하였다. Roos 등²⁸⁾과 Jerosch와 Prymka²⁹⁾는 전방십자인대 재건술이 관절의 위치 감각에 어떠한 영향도 미치지 않는다고 보고하였다. 또한 전방십자인대 재건술시 이용되는 이식건의 종류에 따라 고유수용감각에 큰 영향을 미친다고하였는데 동종이식(allograft)시는 고유수용 감각의 변화에 큰 영향을 못 미친다고 보고하였다³⁰⁾.

본 저자들은 슬관절의 전방십자인대 재건술시 이식건에 따른 고유수용감각의 변화에서 골-슬개건-골과 반건양건 이식의 비교시에 전방십자인대의 경골 부착부를 보존하면서 이식건을 통과시킬 수 있는 반건양건을 이용한 군에서 고유수용감각 즉, 역치(threshold)와 재생(reproduction) 능력이 높음을 보고하였다. 이는 Schulte 등³¹⁾이 주장한 바와 같이 전방십자인대의 기계적 수용체가 경골 부착부에 주로 존재한다는 보고와 일치하는 것으로 전방십자인대 재건술시 가능하면 전방십자인대의 경골 부착부를 보존하면 제활 및 슬관절의 안정성에 도움을 줄 것으로 사료된다.

결론

이상 여러 연구에서 보듯이 인체의 각 관절에는 고유수용감각 능력이 있어 관절의 안정성을 유지하면서 그 기능을 유지하는데 있어 중요한 역할을 하고있다는 것이 밝혀졌으며, 특히 슬관절의 전방십자인대 손상은 전방십자인대 자체의 고유수용감각력의 소실로 인한 관절의 불안정성을 초래하여 여러 문제점을 유발시킨다는 점을 고려하여 전방십자인대의 손상으로 인한 재건술시에 인대의 생역학적인 면만을 고려하여 시행치 말고 슬관절의 고유수용감각의 보존 및 유지에 관심을 가져야 할 것으로 사료되며, 외상이나 재건술이 전방십자인대가 정상이던 결손되었던간에 고유수용감각에 영향을 미친다는 것이다.

다만 여러 연구에서 과연 이환된 반대쪽의 관절이 고유수용감각 연구의 조절군으로 이용할 수 있는 정상인가하는 의문점과, 재건술후 물리치료가 고유수용감각에 영향을 주는가는 더 연구되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. 이병일, 유재음 : 슬관절의 전십자 인대 재건술후 고유수용 감각의 변화. 골슬개건골과 반건양 건 이식의 비교. *대한슬관절학회지*, 6-2:127-131, 1994.
2. Arnoczky SP : Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop*, 172:19-25, 1983.
3. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL : Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med*, 17:1-6, 1989.
4. Barack RL, Skinner HB : The sensory function of knee ligaments. *Knee Ligaments*, Raven Press, 95-114, 1990.
5. Barrett DS : Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Surg*, 73-B:833-837, 1991.
6. Barrett DS, Cobb AG, Bentley G : Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg*, 73-B:53-56, 1991.
7. Bastian H : The brain as an organ of mind. C. Kegan Paul & Co., London, 1880.
8. Beard DJ, Dodd CAF, Trundle HR, Simpson AH : Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. A prospective randomisd trial of two physiotherapy regimes. *J Bone Joint Surg*, 76-B:654-659, 1994.
9. Beard DJ, Kyberg PJ, Fergusson CM, Dodd CAF : Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication in the need of surgery? *J Bone Joint Surg*, 75-B:311-315, 1993.
10. Beard DJ, Kyberg PJ, Fergusson CM, Dodd CAF : Reflex hamstring contraction latency in anterior cruciate ligament deficiency. *J Ortho Res*, 12:219-228, 1994.
11. Bell C : On the nervous circle which connects the voluntary muscles with the brain. *Philos Trans*, 116:163-173, 1826.
12. Borsa PA, Lephart SM, Irrgang JJ, Safran MR and 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*, 25:336-340, 1997.
13. Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP : Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg*, 74-B:247-250, 1992.
14. Duchenne : In:Poore GV (ed) Paralysis of the muscular and articular sensibility. (Selections from the clinical work of Dr. Duchenne) New Sydenham Society, London, pp 378-398, 1883.
15. Freeman MAR, Wyke B : The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat*, 101:505-532, 1967.
16. Friden T, Roberts D, Zatterstrom R, Lindstrand A and 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. Arthroscopy*, 4:217-224, 1996.
17. **Gadner E** : The innervation of the knee joint. *Anat Rec*, 101:109-130, 1948.
 18. **Guyton AC, Hall JE** : Textbook of medical physiology. Saunders, Philadelphia, 1996.
 19. **Harter RA, Osternig LR, Singer KM, Janes SL, Larson RL and Jones DC** : Long-term evaluation of knee stability and function following surgical reconstruction for anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med*, 16-5:434-443, 1998.
 20. **Jerosech J, Prymka M** : Knee joint proprioception in normal and ACL-ruptured knees, taking special account of the effect of a knee bandage. *Arch Orthop Trauma Surg*, 115:162-166, 1996.
 21. **Jerosech J, Prymka M** : Proprioception and joint stability. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthroscopy*, 4:171-179, 1996.
 22. **Jerosech J, Prymka M** : Knee joint proprioception in normal volunteers, and patients with ACL tears or meniscus lesions taking special account to the effect of an elastic knee bandage. 2nd World Congress on Sports Trauma/ AOSSM 22nd Annual Meeting, Orlando, p 750, 1996.
 23. **Johansson H, Sjolander P, Sojka P** : A sensory role for cruciate ligaments. *Clin Orthop*, 268:161-175, 1991.
 24. **Kennedy JC, Alexander II, Hayes KC** : Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med*, 10:329-335, 1982.
 25. **Kennedy JC, Weinberg HW, Wilson AS** : The anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 56:223-235, 1974.
 26. **Krauspe R, Schmit M, Schaible HG** : Sensory innervation of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 74:390-397, 1992.
 27. **Lepart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA and Harner CD** : Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Rehab*, 1:188-196, 1992.
 28. **Mergener T, Havacka F, Schweigart G** : Interaction of vestibular and proprioceptive inputs. *J Vestib Res*, 3:41-57, 1993.
 29. **O'Connor RL, McConoughey JS** : The structure and innervation of cat knee menisci, and their relation to a "sensory hypothesis" of meniscal function. *J Anat*, 153:431-442, 1978.
 30. **Oeffinger D, Shapiro R, Nyland J, Caborn DNM and Pienkowski T** : Proprioception in ACL reconstructed knees varies among allografts, autografts and normals. 42nd Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society, Atlanta, p 54, 1996.
 31. **Roos HP, Gottlieb DJ, Renstrom PAF and Beynon BD** : A prospective study of joint position sense of the after ACL disruption, reconstruction, and rehabilitation. 42nd Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society, Atlanta, p 787, 1996.
 32. **Schultz RA, Miller CM, Kerr CS, Micheli L** : Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg*, 66:1072-1076, 1984.
 33. **Schutte MJ, Dabezies EJ, Zimny ML, Happel LT** : Neural anatomy of the cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 69:243-247, 1987.
 34. **Sherrington CS** : On the proprioceptive system, especially in its reflex aspect. *Brain* 29:1-28, 1906.
 35. **Skinner HB, Barrack RL, Cook SD** : Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop*, 184:208-211, 1984.
 36. **Skoglund S** : Anatomical and physiological studies of knee joint innervation of the cat. *Acta Physiol Scand*, 36:1-101, 1956.
 37. **Zimny ML, Schutte M, Dabezies E** : Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *Anat Rec*, 214:204-209, 1986.
 38. **Willis WP, Grossman RG** : Medical neurobiology, 3rd ed. St. Louis: CV Mosby, 1981.

Proprioception of the Anterior Cruciate Ligament

Byung Ill Lee, M.D., Jae Eung Yoo, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Soonchunhyang University, Seoul, Korea

In the present paper the current clinical knowledge about proprioception is given for the shoulder, knee, ankle, elbow and the radiocarpal joint. Proprioceptive capabilities are decreased after knee joint injury such as anterior cruciate ligament. Joint position sense is significantly improved by cruciate reconstruction. Thus, we review of the articles for the proprioception of the anterior cruciate ligament of the knee joint. The present information on proprioception will influence our clinical practice in the future. We should choose surgical procedures that not only reconstruct the anatomy, but also the neurophysiologic feed-back mechanism.

Key Words : Proprioception, Anterior cruciate ligament, Knee joint
