

UDK 616.728-001:612.816

Zglobna deaferencijacija proprioceptijskog osjeta nakon ozljede prednjeg križnog ligamenta koljena

Joint deafferentiation of proprioceptive sense after anterior cruciate knee injury

Tea Schnurrer-Luke Vrbanić^{1*}, Jagoda Ravlić-Gulan²

¹Tea Schnurrer-Luke Vrbanić,
Klinika za ortopediju Lovran,
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

²Jagoda Ravlić-Gulan,
Zavod za fiziologiju i imunologiju,
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Prispjelo: 15. 2. 2007.

Prihvaćeno: 15. 5. 2008.

Adresa za dopisivanje:

*Dr. sc. Tea Schnurrer-Luke Vrbanić, dr. med.,
Klinika za ortopediju Lovran,
M. Tita 1, 514515 Lovran,
tel. +385 51 710 200,
faks +385 51 292 098,
e-mail: tlukevrb@inet.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

SAŽETAK. U ovom preglednom radu opisali smo važnost proprioceptije u neuromišićnoj kontroli i dinamičkoj stabilizaciji zglobova, značaj gubitka proprioceptijskog signala u nastanku funkcijske nestabilnosti koljenog zgloba nakon ozljede prednjeg križnog ligamenta, kao i terapijske mogućnosti kojima se može obnoviti proprioceptija operacijskim i konzervativnim putem.

Ključne riječi: ozljeda prednjeg križnog ligamenta, proprioceptija

SUMMARY. In this mini-review we discuss the current understanding of the contribution of proprioception to motor control and activation of the dynamic restraints for functional joint stability, as well as the importance of proprioceptive feedback system impairment in functional knee instability after anterior cruciate ligament injury. We also discuss the possibilities to restore the proprioception by operative and non-operative treatment.

Key words: anterior cruciate knee ligament injury, proprioception

Propriocepcija predstavlja svjesni i nesvjesni osjet položaja i pokreta u zglobu. Pojam propriocepcije prvi put je opisao Sherrington još 1906. godine¹. Po njegovoj definiciji "propriocepcijski sustav" predstavlja aferentne informacije iz "proprioceptora" koji su smješteni u tzv. "propriocepcijskim poljima", a odgovorni su za mišićni osjet, držanje tijela, te segmentalnu stabilnost zglobova¹.

Lephart i Fu², objašnjavajući Sherringtonov rad, navode da se pod pojmom propriocepcija kriju složeni aferentni fiziološki mehanizmi važni u stabilizaciji zgloba. Naime, ljudsko tijelo pod djelovanjem sile teže i čimbenika okoline održava ravnotežu pomoću kombiniranih vidnih, vestibularnih i somatosenzoričkih informacija².

Propriocepcijska informacija započinje u osjetnim receptorima koji se nalaze na periferiji, a dijeli se u dvije kategorije: **statička** (osjet položaja zgloba) i **dinamička** (osjet pokreta u zglobu)³.

Vrste osjetnih receptora koji su uključeni u propriocepcijski aferentni put su: *nespecifični osjetni receptori* (Ruffinijeva tjelešca, Pacinijeva tjelešca, slobodni živčani završetci), *mehanoreceptori u mišićima i tetivama* (mišićno vreteno, Golgijev tetivni organ), te *receptori za specifične osjete* (vid i ravnoteža) (slika 1)^{3,4}.

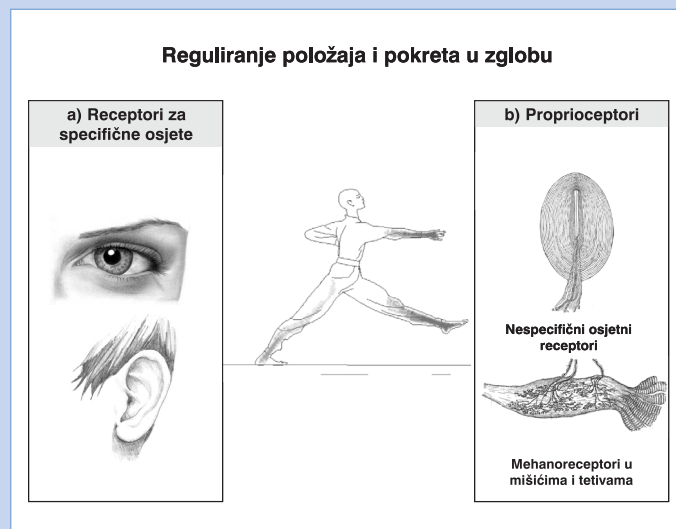
Periferni mehanoreceptori se međusobno razlikuju po lokalizaciji, vrsti podražaja koji ih stimulira, po pragu podražaja, te po brzini adaptacije na podražaj. Nalaze se u ligamentima, meniscima, zglobnoj čahuri, mišićima i koži (slika 2)⁴.

Glavna uloga perifernih mehanoreceptora je pretvaranje mehaničkog podražaja u živčani signal, a nakon što propriocepcijska informacija aferentnim putevima dospije u **središnji živčani sustav** (CNS), ona se obrađuje i integrira na višestrukim razinama CNS-a, počevši od kralježnične moždine koja osigurava razmjerno jednostavne spinalne reflekse, zatim moždanog debla, malog mozga i bazalnih ganglija sa složenijom ulogom u kontroli kontrakcije, te velikog mozga u kojem se kontroliraju najsloženije reakcije i koji svojim analitičkim i naredbenim signalima nadzire uzastopne spinalne aktivnosti⁵. Svaki od centara za kontrolu motorike i pridruženih područja

koristi propriocepcijsku informaciju na različit način (slika 3). Nakon obrade u središnjem živčanom sustavu, nastaje eferentni motorički odgovor u sklopu **neuromišićne kontrole**². Time se ostvaruje **voljna** i **nevoljna** razina kontrole mišićne kontrakcije. Dakle, propriocepcija i neuromišićna kontrola su dva osnovna dijela složenog senzoričko-motoričkog sustava (slika 4)⁵.

U zadnje vrijeme dosta se pažnje poklanja otkrivanju značaja propriocepcije u tretiranju raznih patoloških stanja zglobova i poboljšanju funkcijske

Ljudsko tijelo pod djelovanjem sile teže i čimbenika okoline održava ravnotežu pomoću kombiniranih vidnih, vestibularnih i somatosenzoričkih informacija. *Propriocepcija* predstavlja svjesni i nesvjesni osjet položaja i pokreta u zglobu. *Propriocepcijski sustav* predstavlja aferentne informacije iz "proprioceptora" koji su odgovorni za mišićni osjet, držanje tijela, te segmentalnu stabilnost zglobova.



Slika 1. Prikaz struktura koje sudjeluju u reguliranju položaja i pokreta u zglobu: a) receptori za specifične osjete (vidni i vestibularni) i b) proprioceptori (nespecifični osjetni receptori i mehanoreceptori u mišićima i tetivama)

Figure 1. The structures involved in the regulation of joint position sense and kinaesthesia: a) the specific ocular and vestibular receptors and b) the proprioceptors (non-specific sensory receptors and muscular and tendon mechanoreceptors)

stabilnosti zglobova, ali su dosadašnja saznanja još nejasna i kontroverzna^{6,7}.

Za stabilnost zgloba odgovorni su statički i dinamički stabilizatori (slika 5)⁸. **Statički (pasivni) stabilizatori** zgloba su ligamenti, zglobna čahura, menisci, koštana geometrija zglobnih tijela, dok se u **dinamičke (aktivne) stabilizatore** svrstavaju snaga i izdržljivost mišićne kontrakcije, koordinirana aktivacija agonista i antagonista, te dva kontrolna mehanizma koja su uključena u interpreta-

zgloba. Naime, pravilnom proprioceptijskom informacijom iz svih struktura zgloba osigurava se jačina mišićne kontrakcije, kao i pravilan vremenski slijed kontrakcija agonističko-antagonističkog para mišića koji koordinirano sudjeluju u dinamičkoj stabilizaciji zgloba^{8,9}.

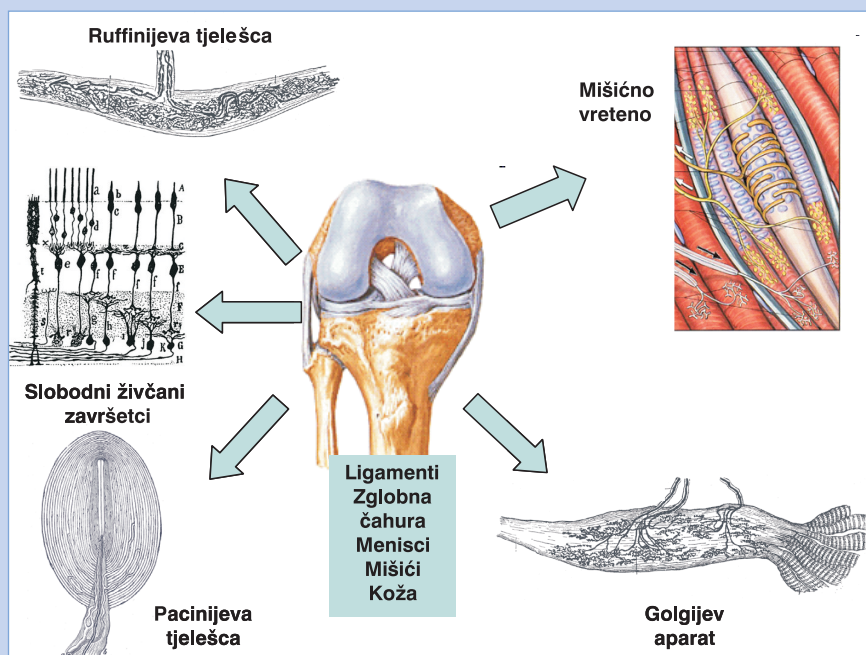
Poznato je da **ozljeda prednjeg križnog ligamenta (PKL)** najčešće nastaje u mladih sportaša u dobi od 15 do 25 godina, no zbog sve veće popularizacije rekreacijskih sportskih aktivnosti kao nove filozofije života u smislu poboljšanja kvalitete

življenja, ista ozljeda se događa i u ljudi kasnije životne dobi. Neke ozljede mogu ozbiljno narušiti funkciju zgloba, a time i razinu tjelesnih aktivnosti kojima se takve osobe bave¹⁰⁻¹².

Kod ozljede PKL dolazi prvenstveno do **mehaničke** nestabilnosti zgloba, međutim, kako je poznato da 2% volumena PKL zauzimaju mehanoreceptori, pretpostavlja se da ozljedom PKL dolazi i do ozbiljnog narušavanja **dinamičke** stabilnosti zgloba zbog potpune ili djelomične **deafferencijacije proprioceptijskog signala** iz prednjeg križnog ligamenta (slika 6)¹³⁻¹⁶. Konačno, zbog opetovanih subluksacija i posljedične nestabilnosti koljenog zgloba, oštećuju se menisci i zglobna hrskavica, te nastaje preuranjeni posttraumatski **osteoartritis** (slika 7)¹⁷⁻¹⁹.

Svaka funkcijska nestabilnost pokreće mehanizme kompenzacije i dolazi do dinamičkog reprogramiranja lokomotornog procesa

uz **poremećaj obrasca hoda** (adaptacija hoda) kako bi se prevenirala prednja translacija tibije²⁰⁻²². Mehanizmi kojima se to ostvaruje su izbjegavanje kontrakcije m. quadricepsa te ranija i dulja aktivacija stražnje skupine mišića natkoljenice²³. Oni u različitim osoba pružaju različiti stupanj dinamičke stabilnosti zgloba koji, naravno, ovisi i o dobi, prisustvu udruženih ozljeda zgloba, te razini tjelesnih aktivnosti kojima se takve osobe bave. Naime unatoč nedostatku ligamenta, u nekih bolesnika osigurane su pravovremene i



Slika 2. Prikaz različitog smještaja nespecifičnih osjetnih receptora i mehanoreceptora u zglobu koljena (ligamenti, zglobna čahura, menisci) i izvanzglobnim odjeljcima (mišići i koža).

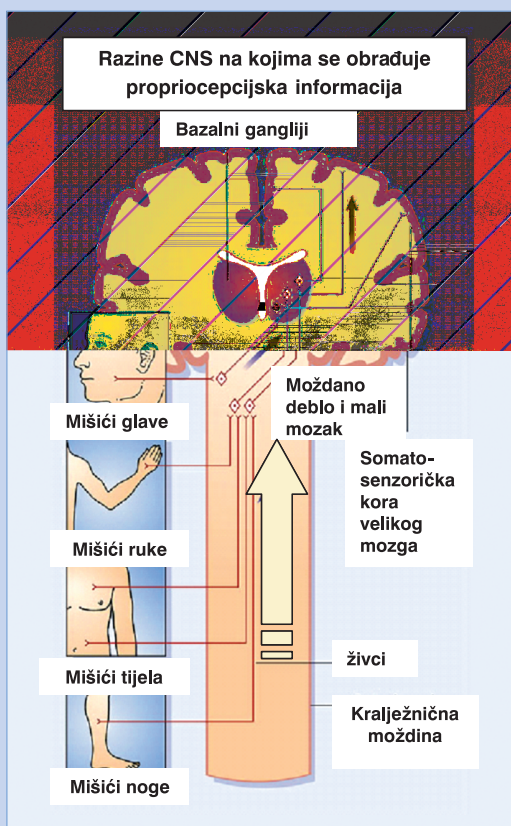
Figure 2. The intraarticular (ligaments, joint capsula, menisci) and extraarticular (muscles and skin) distribution of non-specific sensory receptors and muscular and tendon mechanoreceptors.

ciju aferentne informacije i pokretanja koordiniranog eferentnog odgovora. To su mehanizam predviđanja (anticipiranja) mišićnih pokreta (od engl. "feed-forward control") i refleksni mehanizam povratne sprege (od engl. "feed-back control")⁹. Aktivni i pasivni stabilizatori ne djeluju zasebno, već sinergistički, a proprioceptijska – osjetna informacija iz mehanoreceptora zgloba izuzetno je važna komponenta koja pridonosi neuromišićnoj kontroli i dinamičkoj stabilizaciji

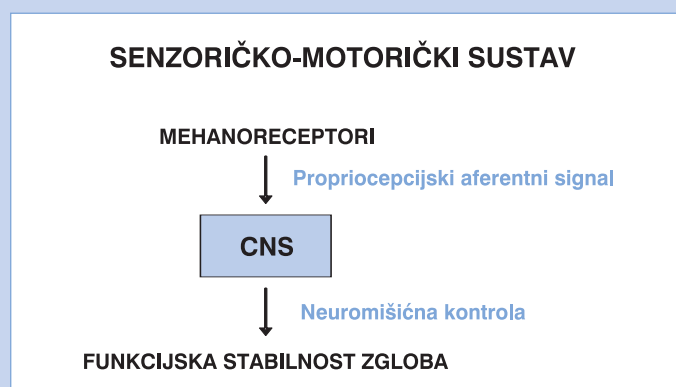
snažne kontrakcije mišića kao temelj dinamičke stabilizacije zgloba²².

Liječenje ozljede PKL može biti konzervativno – rehabilitacijskim programom, ili se operacijskim tehnikama učini pasivna stabilizacija zgloba (rekonstrukcija ligamenta), a potom slijedi rehabilitacijski program²⁴⁻²⁸. Rehabilitacijskim programom uključene su, pored klasičnih metoda jačanja svih mišićnih skupina oko zgloba, i vježbe

na nestabilnoj ravnotežnoj podlozi (vježbe propiocepcije) (slika 8), kako bi se pokušala stimulirati obnova aferentne propiocepcijske informacije preko sekundarnih zglobnih propiocepcijskih puteva (mehanički podražaj na ostale ligamente, meniske i zglobnu čahuru), dok se rehabilitacijom nakon operacijske stabilizacije pokušava, pored navedenog, uspostaviti čak i djelomični propiocepcijski osjet iz presatka²⁹⁻⁴¹.

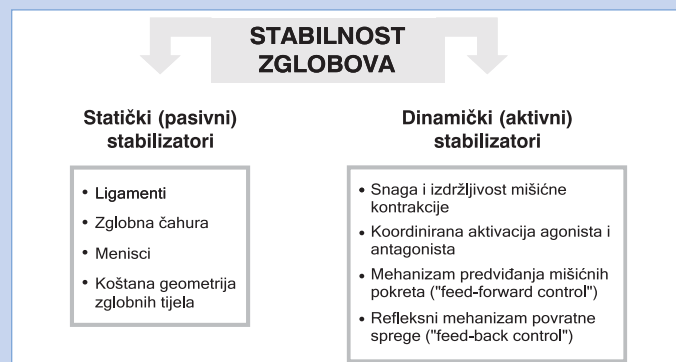


Slika 3. Shematski prikaz razina središnjeg živčanog sustava (kralježnična moždina, moždano deblo, mali mozak, bazalni gangliji i kora velikog mozga) koje sudjeluju u integraciji i obradi propiocepcijske informacije
Figure 3. The schematic presentation of different levels of central nervous system (spinal cord, brain stem, cerebellum, basal ganglia and cerebral cortex) which contribute to the integration and processing of proprioceptive information



Slika 4. Shematski prikaz osnovnih dvaju dijela složenog senzoričko-motoričkog sustava uključenog u funkcijsku stabilizaciju zgloba: propiocepcijski aferentni signal i neuromišićna kontrola
Figure 4. The schematic presentation of two components of the sensorimotor system involved in functional joint stability: proprioceptive afferent signal and neuromuscular control

Slika 5. Statički i dinamički stabilizatori uključeni u održavanje funkcijske stabilnosti zgloba
Figure 5. The static and dynamic restraint systems involved in maintaining the functional joint stability

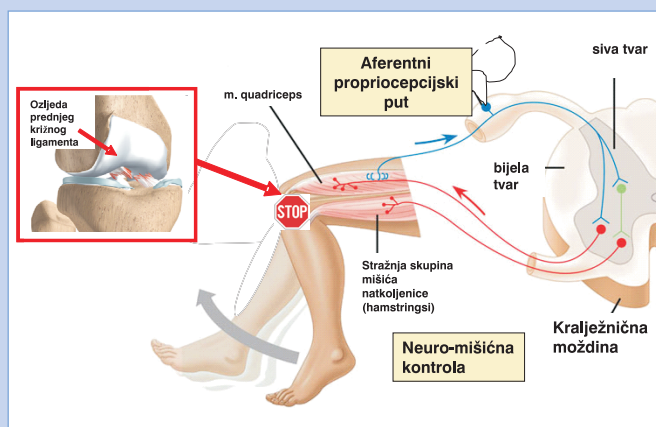


ZAKLJUČAK

Proprioceptijski aferentni signal ima izuzetno važnu ulogu u neuromišićnoj kontroli dinamičke stabilnosti zgloba, koja je ozbiljno narušena u ozljedi zglobnih struktura koje sadrže proprioceptore. Rehabilitacijski i operacijski pristupi terapiji takvih ozljeda trebali bi za cilj imati obnovu proprioceptijskog signala, što bi značajno pridonijelo poboljšanju funkcijske stabilnosti zgloba.

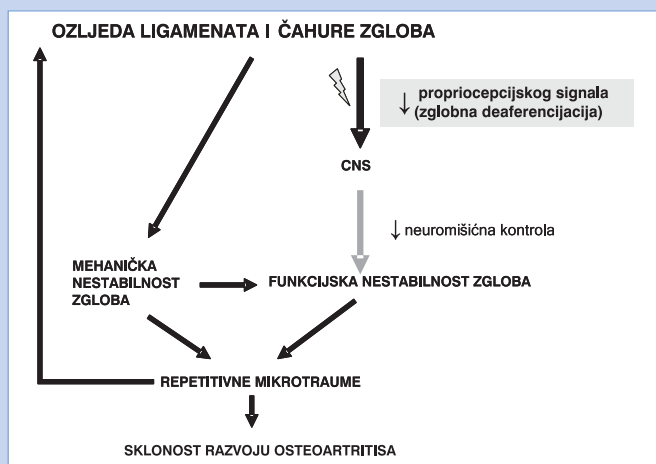
LITERATURA

1. Sherrington CS. The integrative action of the nervous system. New Haven: Yale University press, 1906;1-35.
2. Lephart SM, Riemann BL, Fu FH. Introduction to the sensorimotor system. In: Lephart SM, Fu FH. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Pittsburg: Human Kinetics, 2000:17-23.
3. Johansson H, Pedersen J, Bergenheim M, Djupsjöbacka M. Peripheral afferents of the knee: Their effects on central mechanisms regulating muscle stiffness, joint stability, proprioception and coordination. In: Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Lephart SM, Fu FH (eds). Pittsburg: Human Kinetics, 2000:5-16.



Slika 6. Prikaz tzv. "deafferencijacije" zgloba uslijed ozljede prednjeg križnog ligamenta

Figure 6. The joint "deafferentiation" caused by anterior cruciate ligament injury



Slika 7. Shematski prikaz kratkoročnih i dugoročnih posljedica slabljenja proprioceptijskog signala uslijed ozljede ligamenata i zglobne čahure

Figure 7. The clinical short-term and long-term consequences of proprioceptive afferent signal impairment as a result of ligament and joint capsula injuries



Slika 8. Vježbe proprioceptije na nestabilnoj ravnotežnoj podlozi

Figure 8. Proprioceptive training on unstable balance platform

4. Hogervorst T, Brand RA. Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:1365-78.
5. Biedert RM. Contribution to the three levels of nervous system motor control: spinal cord, lower brain, cerebral cortex. *In: Proprioception and neuromuscular control in joint stability.* Lephart SM, Fu FH (eds). Pittsburg: Human Kinetics, 2000:23-9.
6. Swanik CB, Lephart SM, Giannantonio FP, Fu FH. Reestablishing proprioception and neuromuscular control in the ACL-injured athlete. *Journal of Sport Rehabilitation* 1997;6:182-206.
7. Garrett WE, Kirkendall DT. Motor learning, motor control and knee injuries. *In: Proprioception and neuromuscular control in joint stability.* Lephart SM, Fu FH (eds). Pittsburg: Human Kinetics, 2000:53-7.
8. Schipplein OD, Andriacchi TP. Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking. *J Orthop Res* 1991;9:113-9.
9. Dunn TG, Gillig SE, Ponser SE, Weil N. The learning process in biofeedback: Is it feed-forward or feedback? *Biofeedback Self Regul* 1986;11:143-55.
10. Fridén T, Roberts D, Ageberg E, Waldén M, Zätterström R. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001;31:567-76.
11. Ageberg E. Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation – using the anterior cruciate ligament-injured knee as model. *J Electromyogr Kinesiol* 2002;12:205-12.
12. Katayama M, Higuchi H, Kimura M, Kobayashi A, Hatayama K, Terauchi M et al. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. *Int Orthop* 2004;28:278-81.
13. Johansson H, Sjolander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop* 1991;268:161-78.
14. Johansson H, Sjolander P, Sojka P. The receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. *Biomed Eng* 1991;18:341-68.
15. Kalund S, Sinkjær T, Arendt-Nielsen A, Simonsen D. Altered timing of hamstring muscle action in anterior cruciate ligament deficient patients. *Am J Sports med* 1990;18:245-8.
16. Corrigan JP, Cashmen WF, Brady MP. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg* 1992;74:247-50.
17. Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS. The symptomatic anterior cruciate –deficient knee. The long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:154-62.
18. Lerat JL, Moyen BL, Cladiere F, Besse JL, Abidi H. Knee instability after injury to the anterior cruciate ligament. Quantification of the Lachman test. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:42-7.
19. Jarvela T, Paakkala T, Kannus P, Jarvinen M. The incidence of patellofemoral osteoarthritis and associated findings 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-patellar tendon-bone autograft. *Am J Sports Med* 2001;29:18-24.
20. Berchuck M, Andriacchi TP, Bach BR, Reider B. Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:871-7.
21. Kadaba MP, Ramakrishnan HR, Gaine RC. Gait adaptation in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Trans Orthop Res Soc* 1993;18:361-7.
22. Noyes FR, Schipplein OD, Andriacchi TP, Saddemi SR, Weise M. The anterior cruciate ligament-deficient knee with varus alignment: an analysis of gait adaptations and dynamic joint loadings. *Am J Sports Med* 1992;20:707-16.
23. Beard DJ, Kyberd PJ, O'Connor JJ, Ferguson CM, Dodd CAF. Reflex hamstring contraction latency in ACL deficiency. *J Orthop Res* 1994;12:219-28.
24. Shelbourne KD, Rask BP. Controversies with anterior cruciate ligament surgery and rehabilitation. *Am J Knee Surg* 1998;11:136-43.
25. Novak PJ, Bach BR, Hager CA. Clinical and functional outcome of anterior cruciate ligament reconstruction in the recreational athlete over the age of 35. *Am J Knee Surg* 1996;9:111-6.
26. Podesta L, Magnusson J, Gillette T. Anterior cruciate ligament reconstruction. *In: Rehabilitation for the postsurgical orthopaedic patient.* Maxley L, Magnusson J (eds). Philadelphia: Mosby, 2001:206-26.
27. Ciccotti MG, Lombardo SJ, Nonweiler B, Pink M. Non-operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle-aged patients. Results after long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76:1315-21.
28. Risberg MA, Mork M, Krogstad M, Jenssen H, Holm I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001;31:620-31.
29. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JI, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 1997;25:130-7.
30. Dietrichson J, Souryal TO. Physical therapy after arthroscopic surgery, preoperative and postoperative rehabilitation after anterior cruciate ligament tears. *Orthop Phys Ther Clin North Am* 1994;3:385-92.
31. Irrgang J. Modern trends in anterior cruciate ligament rehabilitation: Nonoperative and postoperative management. *Clin Sports Med* 1993;12:797-813.
32. Fu FH, Woo SL-Y, Irrgang JJ. Current concepts for rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992;15:270-7.
33. Anderson AC. Knee laxity and function after conservative treatment of ACL injuries: a prospective study. *Int J Sports Med* 1993;14:150-3.
34. Engstrom B, Gornitzka J, Johansson C, Wredmark T. Knee function after anterior cruciate ligament ruptures treated conservatively. *Int Orthop* 1993;17:208-13.
35. Beard DJ, Dodd CA, Simpson HA. Sensorimotor changes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop* 2000;372:205-16.
36. Iwasa J, Ochi M, Adachi N, Tobita M, Katsube K, Uchio Y. Proprioceptive improvement in knees with anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop* 2000;381:168-76.
37. Keays SL, Bullock-Saxton J, Keays AC. Strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop* 2000;373:174-83.
38. Paulos LE, Walther CE, Walker JA. Rehabilitation of the surgically reconstructed and nonsurgical anterior cruciate ligament. *In: Surgery of the knee (Vol.1).* Insall JN, Scott WN (eds). New York: Churchill Livingstone, 2001:789-99.
39. Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA, Harner CD. Proprioception following ACL reconstruction. *J Sport Rehabil* 1992;1:188-96.
40. Anderson C, Odensten M, Good L, Gillquist J. Surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the ACL: A randomized study with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg* 1989;71A:965-74.
41. Hertel P, Behrend H, Cierpinski T, Musahl V, Widjaja G. ACL reconstruction using bone-patellar tendon-bone press-fit fixation: 10-year clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005;13:248-55.