

SPOR HEKİMLİĞİNDE SENSORİMOTOR SİSTEM

Cengizhan ÖZGÜRBÜZ*

ÖZET

Spor hekimliği uygulamaları arasında spor yaralanmalarının önlenmesi ve yaralanma sonrası rehabilitasyon önemli bir yer almaktadır. Her iki durumda da sensorimotor sistemin değerlendirilmesi ve olası yetersizliklerin saptanması gereklidir. Bu yazıda sıkça kullanılan değerlendirme yöntemleri ve sonuçları ele alınmaktadır. Ancak konu ile ilgili terimlerin kullanımında bazı yanlış anlaşılmalara söz konusudur. Bu nedenle önce kullanılan terimlerin tanımını iyi yapmak gerekmektedir.

Anahtar sözcükler: Sensorimotor sistem, fonksiyonel stabilite, propriyosepsiyon

SUMMARY

THE SENSORIMOTOR SYSTEM IN SPORTS MEDICINE

Injury prevention and rehabilitation following injury are important aspects of sports medicine applications. Evaluation of the sensorimotor system and determination of possible deficits are crucial for a proper approach. In the present paper, frequently used methods and their outcomes are discussed. However, the related terms are often misused in the relevant literature. To avoid misunderstandings, accurate definition of these terms is mandatory.

Key words: Sensorimotor system, proprioception, functional stability

GİRİŞ

Spor yaralanmalarında prevansiyon son yıllarda ilginin arttığı ve buna koşut bilimsel araştırmaların yoğunlaştığı bir çalışma alanıdır (4,13,23,25). Akut, subakut ve kronik yaralanmaların önlenmesinde intrinsek ve ekstrinsek predispozan faktörler araştırılmaktadır (6,20,24). Bunların arasında “fonksiyonel eklem stabilitesi”nin önemli bir yeri vardır

*Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir

Fonksiyonel eklem stabilitesini sağlayan sistem son derece karmaşık ve interaktif bir yapıdadır (21). Literatürde bu sisteme ilişkin terminolojinin kullanımında bir kargaşa hakimdir. Sensorimotor sistem, propriyosepsiyon, kinestezi, somatosensoryel sistem, nöromüsküler sistem gibi terimler birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Konunun daha iyi anlaşılması için öncelikle söz konusu terimlerin tanımını yapmakta yarar vardır.

Terimler

Sensorimotor sistem terimi; Foundation of Sports Medicine Education and Research workshop çalışmaları sırasında, fonksiyonel eklem stabilitesini sağlamaya yönelik duysal, motor ve santral entegrasyonu ve işlemi tanımlamak için kullanılmıştır (19). Görsel ve işitsel girdilerin de katılmasıyla birlikte; kütanöz, müsküler, eklem yapıları ve ligamentlerdeki periferik mekanoreseptörler spor hekimliği açısından daha önemli hale gelir. Afferent yollardan gelen girdiler MSS'de motor kontrolün sağlandığı üç düzeye (spinal, subkortikal ve kortikal) ve serebellum gibi diğer ilgili alanlara iletilir. Doğrudan periferik duysal girdiye yanıt olarak refleksle, veya asendan motor emirlerle motor nöronlar aktive edilmektedir. MSS'nin motor kontrol seviyelerinden gelen efferent yollar omurganın ventralinde α ve γ motor nöronlara ulaşır. Ekstrafüzal ve intrafüzal kas liflerinin kontraksiyonu ise periferik mekanoreseptörlere yeni uyarılar sağlamaktadır.

Eklem hareketi algılama duyusu ile ilgili bilinen ilk çalışmayı Alfred Goldscheider 1889 yılında yapmıştır (9). "Kas duyusu" (Muskelsinn) olarak adlandırdığı özelliğe günümüz literatüründe kinestezi denmektedir. Propriyosepsiyon terimi Sherrington tarafından 1906 yılında oluşturulan yapay bir terim olup, Latince proprius (kendine özgü) ve recepere (almak) sözcüklerinin kombinasyonundan oluşmaktadır (37). Propriyosepsiyon sıklıkla kinestezi, eklem pozisyon duyusu, denge, refleks eklem stabilitesi gibi terimlerle eş anlamlı kullanılmaktadır. Postüral kontrol, eklem stabilitesi ve farklı bilinçli algılara katılan ve vücudun internal periferik alanlarından gelen afferent bilgilere propriyosepsiyon denir (33).

Somatosensoryel sistem terimi ise propriyosepsiyona göre daha kapsamlıdır. Bilinçli propriyoseptif duylara (kinestezi, eklem pozisyon hissi, direnç veya ağırlık hissi) ek olarak; periferden gelen termoseptif, taktil (dokunma, basınç, vibrasyon gibi) ve ağrı duylarını da içermektedir. Bilinçli propriyosepsiyon bu durumda somatosensoryel sistemin bir submodalitesidir. Nöromüsküler kontrol farklı branşlarda motor kontrol anlamında kullanılmaktadır. Eklem stabilitesi açısından nöromüsküler

kontrolü, fonksiyonel eklem stabilitesini korumaya yönelik aktif yapıların (kasların) bilinç dışı aktivasyonu olarak tanımlamak doğru olur (33).

Propriyosepsiyon ve nöromüsküler kontrol, sensorimotor sistemin bileşenleridir. Fonksiyonel eklem stabilitesini sağlamada mekano-reseptörlerden gelen bilginin (propriyosepsiyon) önemi tartışılmazdır (34). Statik stabiliteyi sağlayan yapıların lezyonu bir açık yaratmaktadır. Ön çapraz bağı rekonstrüksiyonu gibi cerrahi girişimlerden sonra statik stabilite belli ölçülerde sağlanmış olmasına karşın, fonksiyonel stabilite olumsuz etkilenmektedir (8).

Sensorimotor sistem, fonksiyonel eklem stabilitesini geribildirim (feedback) ve ileribildirim (feedforward) mekanizmaları ile sağlamaktadır. Geribildirim mekanizması daha çok mekanoreseptörlerden gelen bilgiler ile ayarlanırken, ileribildirim üç duysal kaynaktan (somatosensoryel, görsel ve işitsel) gelen bilgileri işlemektedir. İleribildirim kontrolde kullanılan internal modellerin ayarlanmasında propriyoseptif bilgi çok önemlidir. Hareketlerin planlanması aşamasında görsel imajlar hareketin gerçekleşeceği çevre ile ilgili bir model yaratmaktadır. Ancak, görsel imajdan türetilen ileri bildirim komutlarının güncelleştirilmesi için propriyoseptif bilgi hareket sırasında gereklidir (36). Bununla birlikte, internal komutlarla gerçekleşen motor kontrolün planlanması ve ayarlanmasında propriyoseptif bilgi önemlidir (12).

En basit komutlarda dahi motor kontrol çok plastik bir süreçtir (18). Duysal girdi, efferent motor komutlar ve hareketlerin entegrasyonu ve analizi esas alınarak motor kontrol devamlı bir denetim ve yeniden ayarlanma süreci içinde bulunmaktadır. Bunlar sayesinde, hem tüm vücudun stabilitesi (postüral stabilite), hem de segmental stabilite (eklem stabilitesi) sağlanmaktadır. Özellikle eklem stabilitesi açısından bu kontrol nöromüsküler kontrolü temsil etmektedir.

Fonksiyonel eklem stabilitesi

Spor sırasında ani pertürbasyonlarda eklem bütünlüğü zorlanabilir. Statik stabiliteyi sağlayan yapıların (özellikle ligamentlerin) mekanik deformasyonları sonucu, fonksiyonel stabilitenin efektör komponentleri aktive olmaktadır. Payr 1900 yılında ligamentomüsküler protektif refleks kavramını ortaya atmıştır (27). Daha sonraları Grüber et al. (10), cerrahi sırasında ön çapraz bağı (ÖÇB) gererek hamstring kaslarında refleks bir aktivite göstermişlerdir (10). Beard et al. (3) ise benzer bir kassal yanıtı dizler 30° fleksiyonda iken tibiaya posterior kuvvet uygulayarak ortaya çıkarmışlardır (3).

Literatürde ÖÇB ve mediyal kollateral ligament (MCL) için ligamentomüsküler protektif refleks arkın varlığını farklı araştırmacılar onaylamıştır (26,31,38,41). İnsanlarda dizin ÖÇB ve MCL bağlarının direkt elektriksel uyarımına ilişkin kaslarda refleks kontraksiyon olduğu gösterilmiştir (5,14,43). Hayvanlarda benzer bir refleks ark omuz (16), dirsek (28), ayak bileği (40) ve omurga (42) için gösterilmiştir. İnsanlarda da omuzda ligamentomüsküler refleks arki gösteren bir çalışma bulunmaktadır (45).

Volonter kontraksiyon şeklinde edinilmiş sensorimotor bir refleks dizgesi ile etkili prevansiyon mümkün müdür? Pope ve çalışma grubu bunu araştırmışlar ve diz için tasarladıkları bir düzenekte ilgili uyluk kasları kontraksiyonlarının normal ligamentomüsküler protektif refleks yanıtından yaklaşık dört kat daha geç geliştiğini saptamışlardır (30). ÖÇB rüptürü olan hastalarda da maksimal ekstansiyon zorlaması ile eklem sublüksasyonuna neden olunan bir araştırmada, hamstringlerde normal dizlerde görülene benzer refleks kontraksiyonlar izlenmiştir (38).

Bu durumda hamstringlerin refleks kontraksiyonuna; kapsüller, perikapsüller ve diz eklemi kavşağı kaslarındaki mekanoreseptörlerden gelen uyarıların neden olduğu söylenebilir. Akut eklem yaralanmalarının prevansiyonu ve rehabilitasyonunda, eklem pertürbasyonlarını simüle eden düzeneklerle özgül çalışmaların oluşturulması mümkündür. Bunlarda efektör kas olan antagonist kasın kuvvet değerleri artırılmalıdır. Herhangi bir eklem hareket dizgesi içinde, birlikte çalışan agonist ve antagonist kasların koaktivasyonu eklem stabilitesine önemli katkı sağlamaktadır. Ancak, belli yeteneklerin geliştirilmesinde uygulanan sık tekrarlar sonucu antagonist kas kuvveti anlamlı düzeyde azalmaktadır (2). Sporcularda antagonist kasların güçlendirilmesi bu nedenle önemlidir (39).

Test yöntemleri

Sporcularda yaralanmaları önlemek için sensorimotor sistemin neresinde bir açığın bulunduğunu belirlemede farklı yaklaşımlar vardır. Ancak bunların büyük çoğunluğu afferent veya efferent yolakları ve/veya efektör kasların aktivasyonunu veya kombinasyonunu ölçmektedir. Verilerin daha üst düzeyde santral entegrasyonunu veya işlenmesini değerlendirme yöntemleri henüz kullanılmamaktadır.

Bilinçli propriyosepsiyonu ölçen testler arasında eklem hareket duyusu, kinestezi ve gerilim duyusu testleri bulunmaktadır. Bunlarda daha çok yavaş adaptasyon gösteren mekanoreseptörlerden gelen duyuların bilinçli olarak algılanması söz konusudur. Olası defisitini hangi anatomik yapıda olduğunu söylemek güçtür. Mekanoreseptörler, uyarıları üst merkezlere ileten spinal yollar (bilinçli propriyosepsiyonda

dorsal lateral traktüs, spinoserebellar traktüs), uyarının serebellumdan somatosensoryel kortekse geçişi gibi aşamalardan hangisinde açığın olduğu konusunda bilgi sahibi olunamamaktadır. Sadece mekano-reseptörlerden somatosensoryel kortekse kadar olan yol boyunca genel bir yorumda bulunulabilmektedir.

Somatosensoryel uyandırılmış potansiyeller (SUP'ler) serebral kortekse kadar giden afferent yolların bütünlüğünü test etmektedir. Ağırlıklı olarak nörolojide kullanılan bu yöntemler, sensoryel kaynakların (somatosensoryel, görsel ve işitsel) uyarılması ile ortaya çıkan nörofizyolojik ve elektroensefalografik yanıtların ölçülmesi ile sensoryel anomalilerin lokalizasyonunu ve doğrulanmasını sağlamaktadır (22). Pitman et al. (29), ÖÇB ile sensoryel korteks arasında SUP ile direkt bir bağlantının var olduğunu göstermişler; en yüksek potansiyeli çapraz bağın "midsubstance" kısmı uyarıldığında elde etmişlerdir. ÖÇB rüptürü olan kişilerde kinestezik defisit ile ÖÇB'nin afferent yolağının SUP'u arasında anlamlı korrelasyon gösterilmiştir (44). Araştırmacılar bunu periferik girdi kaybı sonucu santral sinir sisteminde bir modifikasyon ve reorganizasyon sürecine bağlamaktadır.

Sinir ileti çalışması, periferik α motor nöron sisteminin fonksiyonel durumunu değerlendiren objektif bir yöntemdir. Bazı sinir lezyonlarında defisitlerin bu yöntemle üç hafta gecikmeli olarak açık hale gelebilmesi spor hekimliği açısından bir dezavantajdır (7). Ayak bileği burkulmasından sonra yüzeysel ve derin peroneal sinirlerde değişimlerin saptanması, fonksiyonel ayak bileği instabilitelerinde periferik sinirlerin olası etkisinden söz edilmesine neden olmuştur (15).

EMG, kasların aktivasyonuna eşlik eden elektriksel aktiviteyi saptayan bir yöntemdir. Sensorimotor sistem için spesifik olduğu için dinamik stabilite mekanizmalarının farklı yönlerini değerlendirmede kullanılmaktadır; ayak bileği ve diz eklemi pertürbasyonlarında refleks kas yanıtını belirlemede uygulanmaktadır (17).

Biyomekanik çalışmalar, hareket sırasında vücuda etki eden veya vücut tarafından üretilen kuvvetleri kinetik veya kinematik ölçüm teknikleri ile incelemektedir (46). Kinetik ve kinematik ölçümler mekanik instabil eklemlerde fonksiyonel adaptasyonların belirlenmesinde kullanılır. Örneğin ÖÇB rüptürü olan kişilerde video hareket analizleri zıplama ve yürüme sırasında dizde fleksiyon artışı göstermektedir, ki bu fleksiyon artışı quadriceps kaçınma yürüyüşü anlamına gelmektedir (1).

Postüral kontrol ölçümleri sensorimotor sistem değerlendirmesinde sıkça hatalı yorumlanmaktadır. Saptanan açıkların sorumlusu olarak kapsüller ve ligamentöz mekanoreseptörlerden gelen uyarılardaki azalma gösterilmiştir. Ancak, bunun kesin bilimsel bir dayanağı bulunmamaktadır. Postüral kontrolde somatosensoryel sistem bir bütün olarak önemlidir (32). Kuvvet platformları, düzeltici kas kontraksiyonları ile ilişkili basınç merkezi ile yatay ve dikey reaksiyon kuvveti değişkenlerini monitörize etmektedir. Postüral kontrol çalışmalarına kinematik ölçümler de eklenerek, ekstremité segmentlerinde görülen hareket tipleri incelenebilir. Bu ölçümlere EMG ölçümleri eklenerek, koaktivasyon düzeyleri ve postüral pertürbasyonlarda kas yanıtları karakteristikleri belirlenebilmektedir (11).

SONUÇ

Sensorimotor sistem atletik aktivitelerin her aşamasında hareketlerin algılanması, planlanması, uygulanması ve düzeltilmesinde görev almaktadır. Sporcuların hem performansında, hem de yaralanmadan korunmasında öncelikli bir konuma sahiptir. Çok karmaşık ve interaktif yapısı nedeniyle, olası defisitlerin saptanması kolay olmamakla birlikte; kısaca değinilen yöntemlerle, bunların afferent veya efferent ileti yollarında, ya da efektör kaslarda lokalize oldukları belirlenebilmektedir (35). Defisitlerin belirlenmesi ile birlikte, sensorimotor sistemin verimini arttırmaya yönelik özgül çalışma programı oluşturmak uzmanlık işidir. Program oluşturulurken sporcunun performans profili, branşın gerektirdiği performans profili, spora özgü hareket dizgeleri, sporcunun kassal kuvvet değerleri ve dengeleri gibi faktörlerin planlamaya dahil edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 Andriacchi TP. Dynamics of pathological motion: applied to the anterior cruciate deficient knee (Review). *J Biomech* **23(Suppl 1)**: 99-105, 1990.
- 2 Baratta RV, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chinard R, D'Ambrosia R: Muscular co-activation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* **16**: 113-22, 1988.
- 3 Beard DJ, Kyberd PJ, O'Connor JJ, Ferguson CM, Dodd CAF: Reflex hamstring contraction in anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Res* **12**: 219-28, 1994.
- 4 Cerulli G, Benoit DL, Caraffa A, Ponteggia F: Proprioceptive training and prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *J Orthop Sports Phys Ther* **31**: 655-61, 2001.
- 5 Dyhre-Poulsen P, Krogsgaard MR: Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl Physiol* **89**: 2191-5, 2000.

- 6 Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R: Intrinsic risk factors for groin injuries among male soccer players: a prospective cohort study. *Am J Sports Med* **38**: 2051-7, 2010.
- 7 Feinberg JH, Nadler SF, Krivickas LS: Peripheral nerve injuries in the athlete (Review). *Sports Med* **24**: 385-408, 1997.
- 8 Fischer-Rasmussen T, Jensen PE: Proprioceptive sensitivity and performance in anterior cruciate ligament-deficient knee joints. *Scand J Med Sci Sports* **10**: 85-9, 2000.
- 9 Goldscheider A: Untersuchungen über den Muskelsinn, Selbstanzeige. *Arch Anat Physiol Phys Abt* 1889, s 369-502, Suppl -Bd: s 141-218.
- 10 Gruber J, Wolter D, Lierse W: Der vordere Kreuzband reflex (LCA-reflex). *Unfallchirurg* **89**: 551-4, 1986.
- 11 Guskiewicz KM, Perrin DH: Research and clinical applications of assessing balance. *J Sport Rehab* **5**: 45-63, 1996.
- 12 Hasan Z, Stuart DG: Animal solutions to problem of movement control: the role of proprioceptors (Review). *Annu Rev Neurosci* **11**: 199-223, 1988.
- 13 Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W: Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc* **42**: 413-21, 2010.
- 14 Kim AW, Rosen AM, Brander VA, Buchanan TS: Selective muscle activity following electrical stimulation of the collateral ligaments of the human knee joint. *Arch Phys Med Rehab* **76**: 750-7, 1995.
- 15 Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Meulstee J, et al: Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma. *Med Sci Sports Exerc* **26**: 877-83, 1994.
- 16 Knatt T, Guanche C, Solomonow M, Lu Y, Baratta RV, Zhou BH: The glenohumeral-biceps reflex in the feline. *Clin Orthop* **314**: 247-52, 1995.
- 17 Konradsen L, Olesen S, Hansen HM: Ankle sensorimotor control and eversion strength after acute ankle inversion injuries. *Am J Sports Med* **26**: 72-7, 1998.
- 18 Leonard CT: *The Neuroscience of Human Movement*. St Louis, MO, Mosby-Year Book Inc., 1998.
- 19 Lephart SM, Riemann BL, Fu FH: Introduction to the sensorimotor system. In: *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. Lephart SM, Fu FH, Eds. Champaign, IL, Human Kinetics, 2000, pp 37-51.
- 20 Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C: A dynamic model of etiology in sports injury: the recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med* **17**: 215-9, 2007.
- 21 Munn J, Sullivan SJ, Schneiders AG: Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability: a systemic review with meta-analysis (Review). *J Sci Med Sport* **13**: 2-12, 2010.
- 22 Nuwer MR: Fundamentals of evoked potentials and common clinical applications today (Review). *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **106**: 142-8, 1998.
- 23 Ogard WK: Proprioception in sports medicine and athletic conditioning. *Strength Cond J* **33(3)**: 111-8, 2011.

- 24 Paajanen H, Ristolainen L, Turunen H, Kujala UM: Prevalence and etiological factors of sport-related groin injuries in top-level soccer compared to non-contact sports. *Arch Orthop Trauma Surg* **131**: 261-6, 2011.
- 25 Padua DA, Marshall SW: Evidence supporting ACL-injury-prevention exercise programs: a review of the literature. *Athl Ther Today* **11(2)**: 11-23, 2006.
- 26 Palmer I: Pathophysiology of the medial ligament of the knee joint. *Acta Chir Scand* **115**: 312-8, 1958.
- 27 Payr E: Der heutige Stand der Gelenkchirurgie. *Arch Klin Chir* **148**: 404-51, 1900.
- 28 Phillips D, Petrie S, Solomonow M, Zhou BH, Guanche C, D'Ambrosia R: Ligamentomuscular protective reflex in the elbow. *J Hand Surg Am* **22**: 473-8, 1997.
- 29 Pitman MI, Nainzadeh N, Menche D, Gasalberti R, Song EK: The intraoperative evaluation of the neurosensory function of the anterior cruciate ligament in humans using somatosensory evoked potentials. *Arthroscopy* **8**: 442-7, 1992.
- 30 Pope MH, Johnson RJ, Brown DW, Tighe C: The role of the musculature in injuries to the medial collateral ligament. *J Bone Joint Surg Am* **61**: 398-402, 1979.
- 31 Raunest J, Sager M, Bürgener E: Proprioceptive mechanism in the cruciate ligaments: an electromyographic study on reflex activity in the thigh muscles. *J Trauma* **41**: 488-93, 1996.
- 32 Riemann BL, Guskiewicz KM: Contribution of peripheral somatosensory system to balance and postural equilibrium. In: *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. Lephart SM, Fu FH, Eds. Champaign, IL, Human Kinetics, 2000, pp 37-51.
- 33 Riemann BL, Lephart SM: The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train* **37**: 71-9, 2002.
- 34 Riemann BL, Lephart SM: The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train* **37**: 80-4, 2002.
- 35 Riemann BL, Myers JB, Lephart SM: Sensorimotor system measurement techniques. *J Athl Train* **37**: 85-98, 2002.
- 36 Sainbury RL, Ghilardi MF, Poizner H, Chez C: Control of limb dynamics in normal subjects and patients without proprioception. *J Neurophysiol* **73**: 820-35, 1995.
- 37 Sherrington CS: *The Integrative Action of the Nervous System*. New York, NY: C Scribner and Sons, 1906.
- 38 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* **15**: 207-13, 1987.
- 39 Solomonow M, Krogsgaard M: Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports* **11**: 64-80, 2001.
- 40 Solomonow M, Lewis J: Reflex from the ankle ligaments of the feline. *J Electromyogr Kinesiol* **12**: 193-8, 2002.

- 41 Stener B, Petersen I: Electromyographic investigation of reflex effects upon stretching the partially ruptured medial collateral ligament of the knee. *Acta Chir Scand* **124**: 396-411, 1962.
- 42 Stubbs M, Harris M, Solomonow M, Zhou B, Lu Y, Baratta RV: Ligamentomuscular protective reflex in the lumbar spine of the feline. *J Electromyogr Kinesiol* **8**: 197-204, 1998.
- 43 Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Komatsu T, Tokuya S: Direct evidence of the anterior cruciate ligament reflex. *Am J Sports Med* **29**: 83-7, 2001.
- 44 Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, Franceschi F, Fabbriani C, Tonali P: Central nervous system modification in patients with lesion of the anterior cruciate ligament of the knee. *Brain* **119**: 1751-62, 1996.
- 45 Voigt M, Jakobsen J, Sinkjaer T: Non-noxious stimulation of the glenohumeral joint capsule elicits strong inhibition of active shoulder muscles in conscious human subjects. *Neurosci Lett* **254**: 105-8, 1998.
- 46 Winter DA: *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 2nd ed. New York, NY, John Wiley and Sons Inc., 1990.

Yazışma için e-mail: cengizhan.ozgurbuz@gmail.com