



Patellofemoral sorunlarda propriyosepsiyonun rolü

The role of proprioception in patellofemoral problems

Defne Kaya,¹ Devrim Akseki,² Mahmut Nedim Doral,^{1,3}

¹Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, ¹Spor Hekimliği Anabilim Dalı, ³Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Ankara;
²Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Balıkesir

Latince Proprius kelimesinden gelip, "kendi başına olma" anlamına gelen propriyosepsiyon, vücudun pozisyon duygusunu iletme, işlenen veriyi yorumlama ve yaklaşık postür ve hareketi yapacak uyarıya bilinçli veya bilinçsiz bir yanıt verme yeteneğidir. Propriyosepsiyon, görme duygusu ortadan kalktığında eklemlerin hangi pozisyon- da olduğunu algılamayı ve ayakta dururken dengeyi korumayı sağlar. Propriyosepsiyon, santral sinir sistemi (SSS) tarafından ekstremitelere ya da eklem uzaydaki pozisyonunun, hareketinin ve ilgili bölgeye etkileyen güç- lerin algılanması ve eklemi en güvenli durumda tutacak makul yanıtların oluşturulması olarak tanımlanabilir. Spor travmatolojisinde en sık kullanılan propriyosep- siyon ölçüm yöntemleri, eklem pozisyon hissi (EPH) ve pasif hareketi algılama eşikidir (PHAE). Bu testlerinin birçoğunda pozisyon, hareketin algılanma hızı ya da kes- kinliği test edilir. Günümüzde propriyosepsiyonun, de- jeneratif eklem hastalıklarının ve kronik yaralanmaların etyolojisinin anlaşılmasında ve yaralanmalardan korun- mada, ağrıdan daha önemli bir rol oynadığı düşünül- mektedir. Patellofemoral eklem sorunlarında diz eklem propriyoseptif defisiti iki yolla oluşabilir: (i) anormal doku stresi ve (ii) motor kontrol ve ağrı ile enflamasyon süreci. Diz eklemde ödem varlığı, patellar konum bozukluğunun yönü ve derecesi, testin aktif ya da pasif olarak yapılması gibi birçok etken, eklem pozisyon his- sini değiştirebilir. Propriyosepsiyon ile kas gücü, laksite ve denge gibi diğer performans ölçütleri arasındaki ilişki daha sonraki yıllarda gündemi oldukça meşgul edeceğe benzemektedir.

Anahtar sözcükler: Santral sinir sistemi; eklem pozisyon hissi; diz eklemi; patellofemoral; propriyosepsiyon.

Proprioception, which is derived from Latin word Proprius, meaning one's own, refers to the ability to conduct position sense of the body, interpret the data processed and respond consciously or unconsciously to stimuli of appropriate execution of posture or movement. Proprioception allows the perception of the position of the joints and maintains balance while standing in the presence of complete visual impairment. It can be defined as the ability to perceive the position of the limb or joint in space with movement and related influential factors and respond reasonably maintaining safety at the utmost level. The most common proprioceptive measurement methods used in sports traumatology include joint position sense (JPS) and threshold to perception of passive movement (TPM). The majority of these tests are used to analyze the perception rate and acuity of the position and movement. Currently, it is considered that proprioception plays a more critical role rather than pain in understanding the etiology of degenerative joint diseases and chronic injuries and the protection against damages. For patellofemoral joint problems, proprioceptive deficit of the knee joint may develop in two ways: (i) abnormal tissue stress and (ii) inflammation process with motor control and pain. Several factors including the presence of edema in the knee joint, the direction and degree of the patellar position, active vs passive test procedure may lead to altered sense of joint position. It seems that the relationship of proprioception with other performance criteria including muscle strength, laxity and balance will attract further attention in the next years.

Key words: Central nerve system; joint position sense; knee joint; patellofemoral; proprioception.

Kronik ve atravmatik patellar konum bozukluğu, peripatellar pleksus disfonksiyonuna neden olarak bazı hastalarda propriyosepsiyon kaybına yol

açabilmektedir.^[1] Patellofemoral sorunlarda prop- riyoseptif seviyelerinin sağlıklı bireylere göre belir- gin olarak azaldığını gösteren çalışmalar olmakla

birlikte,^[2,3] bunun aksini savunan çalışmalar da bulunmaktadır.^[4]

PROPRİYOSEPTİF DUYU

Latince "proprius" kelimesinden gelip, "kendi başına-yalnız başına olma" anlamına gelen propriyosepsiyon, vücudun pozisyon duyusunu iletme, bilgiyi yorumlama ve yaklaşık postür ve hareketi yapacak uyarıya bilinçli veya bilinçsiz bir yanıt verme yeteneğidir. Propriyosepsiyon, görme duyusu ortadan kalktığında eklemlerin hangi pozisyonda olduğunu algılamaya ve ayakta dururken dengeyi korumayı sağlar. Düzgün bir şekilde yazmaya, zıplamaya, koşmaya ve birşeyi fırlatıp atmaya fırsat verir. Hareketin yönünü hızlı bir şekilde değiştirmeyi sağlayan çevikliği, stabiliteyi sağlayan dengeyi ve aktiviteyi doğru ve ahenkli yapmayı sağlayan mekanizmayı işleten propriyosepsiyondur.^[5]

Propriyosepsiyon, santral sinir sistemi (SSS) tarafından ekstremitelere ya da eklemün uzaydaki pozisyonunun, hareketinin ve ilgili bölgeye etkiyen güçlerin algılanması ve eklemi en güvenli durumda tutacak yanıtların oluşturulması olarak tanımlanabilir. Doku bazında mekanoreseptörlerle hissedilen derin duyularla başlar, vestibüler ve görsel duyuların da katkısıyla SSS'ye ulaşır.^[6] Deri, kaslar, tendonlar ve eklemi oluşturan diğer dokuların içindeki mekanoreseptörlerin aktive olması ile oluşan bu derin duyular; basınç, dokunma, vibrasyon, ısı, pozisyon ve hareket hissidir.^[6,7]

PROPRİYOSEPSİYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Propriyoseptif ölçümler, propriyoseptif fonksiyonun kalitesini değerlendirmek amacıyla yapılır. Ölçümler genellikle yukarıda sözü geçen derin duylardan bazılarının, SSS tarafından algılanma kalitesinin değişik yöntemlerle test edilmesi esasına dayanır. Ancak propriyosepsiyon ölçümlerinde tüm araştırmacılar tarafından kabul gören, pratik, tekrarlanabilirliği yüksek, algının veya yanıtın tam olarak ölçülebilmesini sağlayan bir test yöntemi henüz geliştirilememiştir. Spor travmatolojisinde en sık kullanılan propriyosepsiyon ölçüm yöntemleri eklem pozisyon hissi (EPH) ve pasif hareketi algılama eşiği (PHAE)'dir.^[8]

Eklem pozisyon hissi, kinestezi ve gerilim hissi, bilinçli propriyoseptif duyunun alt başlıkları olarak kabul edilmekte ve değişik test teknikleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Propriyoseptif duyu genellikle hem ekstremitelere üzerine ağırlık verir pozisyonda hem de ekstremitelere üzerine ağırlık verilmeden değerlendirilmektedir. Ekstremitelere üzerine ağırlık verilir pozisyonda yapılan test sırasında fonksiyonel pozisyon kullanılmakta böylece kompresyona bağlı

oluşacak propriyoseptif bilgi daha fazla olmaktadır.^[9] Patellofemoral ağrı sendromu (PFAS)'nda propriyoseptif duyunun sağlıklı bireylere göre belirgin olarak azaldığı bilinmektedir.^[2,3]

Eklem pozisyon hissi, hastanın test edilen dereceyi aktif ve pasif olarak tekrarlayabilmesi şeklinde test edilir. Eklem pozisyon hissi testi, belli bir pozisyonun tekrarlanma kesinliğini ölçer ve hem açık hem de kapalı kinetik zincir pozisyonlarında aktif veya pasif olarak yapılır. Tekrarlayan eklem açıları, hem doğrudan (gonyometre, potansiyometre, video) hem de doğrudan olmayan yöntemler (görsel analog ölçütü) ile ölçülmektedir. Kinestezi, pasif hareketin tespiti için eşik değeri hesaplanması veya daha özel olarak hareketin yönüne ait eşik değerin bulunması ile değerlendirilmektedir. Böylece sadece hareket değil aynı zamanda oluşan hareketin yönü de saptanmış olur. Gerilim hissi, bireylerin, bir grup kasın değişen şartlar altında oluşturdukları tork büyüklüklerini tekrarlayabilme yeteneklerinin karşılaştırılmasıyla ölçülmektedir. Bilinçli propriyosepsiyonu değerlendirmek amacıyla, çeşitli izokinetik dinamometreler ve elektromanyetik iz takip eden aygıtlar geliştirilmiştir. Gelecekteki araştırmaların hedefi, afferent yol aksiyon potansiyellerinin eş zamanlı ölçümü (örn. mikronörografi) ile bilinçli propriyoseptif keskinliği doğrulayabilmek ve dinamik eklem stabilitesi üzerindeki sensörimotor kontrol eksikliği ile bilinçli propriyosepsiyondaki azalmayı karşılaştırmaktır.^[10]

Propriyosepsiyon testlerinin çoğunda pozisyon, hareketin algılanma hızı ya da keskinliği test edilir. Bir eklemi pozisyonu, hareketi veya üzerine etkiyen güçlerin algılanmasında vibrasyon duyusu da diğer derin duyular kadar önemlidir. Temel çalışmalar, düşük frekanslı vibrasyonun Meissner cisimcikleri, yüksek frekanstaki vibrasyonun ise Pacini cisimcikleri ile algılanarak propriyoseptif sürece katıldığını göstermiştir.^[7] Gilman,^[11] pozisyon duyusu ve vibrasyon duyusunun temel nöral yollarının aynı olduğunu, ancak bu duyuları algılayan mekanoreseptörlerin farklı olduğunu, bazı hastalıklarda bir duyuyu algılayan reseptörler tutulurken diğer duyunun reseptörlerinin sağlam kalabileceğini belirtmiştir. Klinik çalışmalarda vibrasyonun hem kinesteziyi hem pozisyon duyusunu etkilediği ve propriyoseptif sürece doğrudan katıldığı gösterilmiştir.^[12-14]

PATELLOFEMORAL AĞRI SENDROMUNDA PROPRİYOSEPTİF DUYU

Günümüzde propriyosepsiyonun, dejeneratif eklem hastalıklarının ve kronik yaralanmaların etyolojisinde ve yaralanmalardan korunmada, ağrıdan

daha önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir.^[15-17] Bilinçli propriyosepsiyon, çabuk ve yavaş adapte olan mekanoreseptörlerin oluşturduğu karmaşık sistemin yanıtı olarak kabul edilmeli ve değerlendirilmelidir. Bu yanıtlar, eklem hareket hissi (kinestezi) ve eklem pozisyon hissine aracılık etmektedir.^[18]

Kronik patellofemoral ağrı sendromunda, patellanın konum bozukluğuna bağlı olarak peripatellar pleksusun düzgün çalışmadığı ve bunun da propriyoseptif testler kullanılarak değerlendirilebileceği, Sanchis-Alfonso ve ark.^[1] tarafından 1999 yılında yapılan bir çalışmada ortaya atılmıştır. Araştırmacılar, histolojik incelemelerine dayanarak, peripatellar yumuşak dokuda ve kısmen lateral retinakulumda sinir hasarı ve neuromata varlığından bahsetmişlerdir. Aynı zamanda, değişen propriyoseptif duyunun patellar ağrı ile sonuçlanan patellar instabiliteye neden olabileceğini iddia etmişlerdir. Çalışmalarının sonunda, bu bulgulara sahip hastaların rehabilitasyon programında, propriyoseptif duyu girdisi sağlayan patellar bantlama yöntemi ile birlikte propriyoseptif eğitimin de gerektiğini vurgulamışlardır.^[1]

Selfe ve ark.,^[19] diz eklem pozisyon hissini ölçümünde tekrar sayısını, eklem açılarını ve test tipinin etkinliğini araştırdıkları çalışmalarında, 32 patellofemoral ağrılı hastanın diz eklem pozisyon hissini 20 derecede ve 60 derecede aktif ve pasif olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, aktif eklem pozisyon hissini değerlendirilmesinde beş, pasif değerlendirilmesinde altı tekrar yapılması gerekliliği vurgulanmıştır. Yirmi derece ve 60 derecede ölçülen eklem pozisyon hissi sonuçları arasında fark bulunmamışken, aktif ve pasif testler arasında fark bulunmuştur. Yazarlar çalışmanın sonucunda, hangi testin hangi açıda yapıldığının değil, aktif ya da pasif yapıp yapılmadığının önemli olduğunu belirtmişlerdir.^[19]

Baker ve ark.,^[6] 20 patellofemoral ağrılı hastanın diz eklem pozisyon hissini, ekstremite üzerine ağırlık verilen ve verilmeyen pozisyonlarda değerlendirmişlerdir. Ekstremitte üzerine ağırlık vermeden yapılan eklem pozisyon hissi testinde, etkilenen ve asemptomatik ekstremite sonuçları karşılaştırıldığında, test edilen diz fleksiyon derecesini başarmada, 60 derecelik açıda 20 derecelik açıya göre, daha fazla hata yapıldığı belirlenmiştir. Test edilen diz fleksiyon derecesini başarmada, ekstremite üzerine ağırlık verilerek yapılan test sırasında da hastaların hata yaptığı ama bunun ekstremite üzerine ağırlık vermeden yapılan değerlendirme kadar büyük olmadığı gösterilmiştir. Yazarlar, test sonuçlarının sağlıklı bireylerle karşılaştırılması sonucunda, PFAS'li hastalarda propriyoseptif defisit olduğunu vurgulamışlardır.^[6]

Hazneci ve ark.nın^[20] 24 patellofemoral ağrılı hasta ve 24 sağlıklı birey ile yaptıkları çalışmalarında, 50° ekstansiyon ve 40° fleksiyonda değerlendirdikleri pasif eklem pozisyon hissinde hasta ve sağlıklı bireylerin sonuçları arasında fark olduğunu göstermişlerdir. Çalışmada ayrıca altı haftalık izokinetik egzersiz eğitimi ile pasif eklem pozisyon hissinde gelişme kaydedildiği belirtilmiştir. Yazarlar, eklem stabilitesinin gelişmesinin propriyoseptif gelişimi de etkilediğini vurgulamışlardır. Ayrıca, eklem pozisyon hissini algılanmasında, aktif hareket sırasındaki kas kasılması gibi dinamik etkenlerin de işin içine girdiği, bu nedenle de belirlenen derecenin tekrarlanmasında daha az hata oluşabileceği belirtilmiştir.

Kramer ve ark.,^[4] 15, 30, 45 ve 60 derecelerdeki diz fleksiyonunda, hem ekstremitte üzerine ağırlık verilmeden hem de vücut ağırlığının %95'i verilmiş pozisyonda, aktif eklem pozisyon hissini değerlendirmişlerdir. Yirmi dört patellofemoral ağrılı hastadan elde edilen bulgular, 24 sağlıklı bireyin bulguları ile karşılaştırıldığında, test sonuçları arasında fark bulunmamıştır.

Akseki ve ark.,^[21] klinik olarak tek taraflı PFAS tanısı konan 28 hasta ve 27 sağlıklı kişi üzerinde yaptıkları çalışmalarında, diz propriyosepsiyonunu dört farklı hedef açı için (15°, 30°, 45°, 60°) aktif eklem pozisyon duyası ölçüm yöntemi kullanılarak değerlendirmişlerdir. Patolojik dizlerde, karşı dizlere ve kontrol grubunun sağ ve sol dizlerine göre tüm hedef açılarda yanılmanın daha fazla olduğunu gösterilmiştir. Yazarlar, PFAS bulunan hastalarda diz eklemi propriyosepsiyonunun azaldığını, sorundan normal dizin propriyosepsiyonun da benzer şekilde etkilendiğini göstermişlerdir.^[21] Akseki ve ark.nın^[22] diğer bir çalışmasında da, patellofemoral ağrı sendromunda, vibrasyon duyasının propriyoseptif ölçüm yöntemi olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada 19 hasta ile 10 sağlıklı bireyin eklem pozisyon duyasının ve vibrasyonun hissedilme sürelerinin ölçümünde dijital gonyometre ve 128 Hz frekanslı standart diapozon kullanılmıştır. Hastaların, semptomatik dizlerinde ekstansiyon pozisyonunda vibrasyonu ortalama 7.2±1.3 sn'de, karşı dizlerinde ise 9.1±1.5 sn'de hissettikleri bulunmuştur. Eklem pozisyon duyası ölçümleri, vibrasyonun hissedilme süresi ölçümleri ile uyumlu olarak semptomatik dizin propriyosepsiyonunun kötüleştiği gösterilmiştir. Doksan derece fleksiyonda yapılan ölçümlerde vibrasyonun hissedilmesi açısından herhangi bir fark saptanmamıştır. Yazarlar, vibrasyon duyasının propriyosepsiyon ölçümlerinde kullanılabilirliğini vurgulamışlardır.^[22]

Patellofemoral eklem sorunlarında diz eklem proprioseptif defisiti iki yolla oluşabilir: (i) Anormal doku stresi ile motor kontrol ve (ii) ağrı ile enflamasyon süreci. Literatürde elde edilen sonuçların farklı olmasının nedeni, hastaların klinik bulgularının (ağrı şiddeti, ağrı süresi gibi) çok farklı olması ve çalışmalarda ölçüm için kullanılan cihazların ve ölçüm yöntemlerinin farklı olması ile açıklanabilir. Diz ekleminde ödem varlığı, patellar konum bozukluğunun yönü ve derecesi, testin aktif ya da pasif olarak yapılması gibi birçok etken, eklem pozisyon hissini değiştirebilir. Literatürdeki çalışmalarda, ekstremitte üzerine ağırlık verilerek yapılan eklem pozisyon hissi testinin ekstremitte üzerine ağırlık verilmeden yapılan teste göre daha az hata ortaya çıkardığı konusunda fikir birliği olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Propriosepsiyonun önemi spor yaralanmaları, ortopedi ve rehabilitasyon alanlarında giderek daha belirgin hale gelmiştir. Araştırmalar, propriosepsiyon duyusunun insan vücudunun diğer fonksiyonları için önemli olduğunu göstermektedir.^[23-25] Ancak, propriosepsiyon hakkındaki güncel bilgiler, propriosepsiyon duyusunun fizyolojisini anlamak ve önleyici/ tedavi edici stratejileri geliştirmek için yetersiz kalmaktadır. Profesyonel sporcunun performansını artıran proprioseptif rehabilitasyon tekniklerinin kullanımını gittikçe önemli bir konu haline gelmektedir.^[25-27] Propriosepsiyon ile kas gücü, laksite ve denge gibi diğer performans ölçütleri arasındaki ilişki daha sonraki yıllarda gündemi oldukça meşgul edeceğe benzermektedir.^[28]

KAYNAKLAR

1. Sanchis-Alfonso V, Rosello-Sastre E, Martinez-Sanjuan V. Pathogenesis of anterior knee pain syndrome and functional patellofemoral instability in the active young. *Am J Knee Surg* 1999;12:29-40.
2. Callaghan MJ, Selfe J, Bagley PJ, Oldham JA. The Effects of Patellar Taping on Knee Joint Proprioception. *J Athl Train* 2002;37:19-24.
3. Crossley K, Cowan SM, Bennell KL, McConnell J. Patellar taping: is clinical success supported by scientific evidence? *Man Ther* 2000;5:142-50.
4. Kramer J, Handfield T, Kiefer G, Forwell L, Birmingham T. Comparisons of weight-bearing and non-weight-bearing tests of knee proprioception performed by patients with patello-femoral pain syndrome and asymptomatic individuals. *Clin J Sport Med* 1997;7:113-8.
5. Houglum PA. The ABCs of the proprioception. In: Houglum PA, editor. *Therapeutic exercise for musculoskeletal injuries*. 2nd ed. Chapter 8. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005. p. 259-75.
6. Johansson H, Pedersen J, Bergenheim M, Djupsjobacka M. Peripheral afferents of the knee: their effects on central mechanisms regulating muscle stiffness, joint stability, and proprioception and coordination. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Illinois: Human Kinetics; 2000. p. 5-22.
7. Guyton AC, editor. *Textbook of medical physiology*. Gökhan N, Çavuşoğlu HH. Somatik duyular: 1. Mekanoreseptif duyular. In: Çeviri editörleri: Gökhan M, Çavuşoğlu H. İstanbul: Merk Yayıncılık; 1988. s. 828-40.
8. Beynnon BD, Renström PA, Konradsen L, Elmqvist LG, Gottlieb D, Dirks M. Validation of techniques to measure knee proprioception. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Illinois: Human Kinetics; 2000. p. 127-39.
9. Baker V, Bennell K, Stillman B, Cowan S, Crossley K. Abnormal knee joint position sense in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Res* 2002;20:208-14.
10. Riemann BL, Myers JB, Lephart SM. Sensorimotor system measurement techniques. *J Athl Train* 2002;37:85-98.
11. Gilman S. Joint position sense and vibration sense: anatomical organisation and assessment. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002;73:473-7.
12. Jöbges EM, Elek J, Rollnik JD, Dengler R, Wolf W. Vibratory proprioceptive stimulation affects Parkinsonian tremor. *Parkinsonism Relat Disord* 2002;8:171-6.
13. Collins DF, Refshauge KM, Gandevia SC. Sensory integration in the perception of movements at the human metacarpophalangeal joint. *J Physiol* 2000;529:505-15.
14. Sorensen KL, Hollands MA, Patla E. The effects of human ankle muscle vibration on posture and balance during adaptive locomotion. *Exp Brain Res* 2002;143:24-34.
15. Lephart SM. The role of proprioception in the treatment of sports injuries. *Sports Exercise and Injury* 1995;1:96-102.
16. Doral MN, Tetik O, Atay OA, Leblebicioğlu G, Aydoğ T, Akarcalı I, et al. Patellar instability: arthroscopic surgery, indications and techniques. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2004;38 Suppl 1:119-26.
17. Aydoğ ST, Hasçelik Z, Demirel HA, Tetik O, Aydoğ E, Doral MN. The effects of menstrual cycle on the knee joint position sense: preliminary study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005;13:649-53.
18. Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA, Harner CD. Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehab* 1992;1:188-96.
19. Selfe J, Callaghan M, McHenry A, Richards J, Oldham J. An investigation into the effect of number of trials during proprioceptive testing in patients with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Res* 2006;24:1218-24.
20. Hazneci B, Yildiz Y, Sekir U, Aydın T, Kalyon TA. Efficacy of isokinetic exercise on joint position sense and muscle strength in patellofemoral pain syndrome. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:521-7.
21. Akseki D, Akkaya G, Erduran M, Pinar H. Proprioception of the knee joint in patellofemoral pain syndrome. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2008;42:316-21.
22. Akseki D, Erduran M, Ozarslan S, Pinar H. Parallelism of vibration sense with proprioception sense in patients with patellofemoral pain syndrome: a pilot study. [Article in Turkish] *Eklem Hastalik Cerrahisi* 2010;21:23-30.
23. Gosselin-Kessiby N, Kalaska JF, Messier J. Evidence for a proprioception-based rapid on-line error correction

- mechanism for hand orientation during reaching movements in blind subjects. *J Neurosci* 2009;29:3485-96.
24. Horlings CG, Küng UM, Honegger F, Van Engelen BG, Van Alfen N, Bloem BR, Allum JH. Vestibular and proprioceptive influences on trunk movements during quiet standing. *Neuroscience* 2009;161:904-14.
25. Trans T, Aaboe J, Henriksen M, Christensen R, Bliddal H, Lund H. Effect of whole body vibration exercise on muscle strength and proprioception in females with knee osteoarthritis. *Knee* 2009;16:256-61.
26. Caplan N, Rogers R, Parr MK, Hayes PR. The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics. *J Strength Cond Res* 2009;23:1175-80.
27. Christensen BK, Nordstrom BJ. The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation and dynamic stretching techniques on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 2008;22:1826-31.
28. 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.