

## **ÇÖMELME SIRASINDA GÖRMENİN ALT EKSTREMİTE KASLARININ EMG AKTİVİTELERİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİ\***

S. Banu KELEŞ\*\*, Selim M. KADAĞAN\*\*, Ufuk ŞEKİR\*\*,  
Çağdaş UÇAR ŞENİŞİK\*\*, Bedrettin AKOVA\*\*, Hakan GÜR\*\*

### **ÖZET**

Bu çalışmanın amacı görsel bilgi akışı engellendiğinde tek ve çift bacak üzerinde çömelme sırasında alt ekstremitte kas aktivitelerindeki değişimi, ayrıca hangi kasların postürü sağlamada daha etkin olduğunu saptamaktır. Çalışmaya sağlıklı 10 erkek katılımcı alındı (ortalama yaş  $22.0 \pm 1.5$  yıl). Deneklere önce çift bacak sonra dominant olan tek bacak üzerinde destek almaksızın gözler açık ve gözler kapalı durumlarda  $45^\circ$  diz fleksiyon açısına kadar çömelme yaptırıldı. Deneklerin çömelme sırasında dominant bacaklarının sekiz kas grubunda (vastus lateralis-VL, vastus medialis-VM, rectus femoris-RF, biceps femoris-BF, semitendinosus-ST, tibialis anterior-TA, gastrocnemius medialis-GM ve gastrocnemius lateralis-GL) elektromyografik (EMG) kas aktiviteleri yüzeysel elektrotlar aracılığıyla alındı. EMG verileri en yüksek zirve tork değerini yansıtan maksimal istemli kontraksiyon sırasında elde edilen değerler ile normalize edildi (nEMG). Çift bacak çömelme sırasında, gözler açık ve kapalı durumlar karşılaştırıldığında, kasların nEMG aktiviteleri arasında anlamlı farklılık saptanmadı ( $p>0.05$ ). Tek bacak çömelme sırasında gözler açık durumdan kapalı duruma geçildiğinde TA ve GM kas aktivitelerinde istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0.05$ ) bir artış saptanırken, VM kasının nEMG aktivitesi ise belirgin ( $p<0.05$ ) düzeyde azaldı. Tek bacak üzerinde yapılan çömelmede gözler kapalı konumdayken üst bacak kaslarından VM'de anlamlı ( $p<0.05$ ) düşüş saptanırken, alt bacak kaslarında (TA, GM) anlamlı ( $p<0.05$ ) artış gözlemlendi. Bu bulgular ışığında, tek bacak çömelme sırasında TA ve GM kaslarının postüral kontrolde diğer kaslardan daha önemli olduğu söylenebilir.

**Anahtar sözcükler:** Alt ekstremitte, EMG, çömelme, gözler kapalı

\*Bu çalışma 15<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sports Science, 23-26 June 2010, Antalya'da sunuldu

\*\*Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Spor Hekimliği Anabilim Dalı, Bursa

## SUMMARY

### EFFECT OF VISION ON LOWER BODY MUSCLES' EMG ACTIVITIES DURING SQUATTING

*The aim of this study was to determine the changes in lower body muscles activities, and to estimate which muscles are more effective in maintaining posture during one- and two-legged squatting when vision is prevented. Ten healthy male subjects (mean age  $22.0 \pm 1.5$  yrs) participated in the study. Vastus lateralis-VL, vastus medialis-VM, semitendinosus-ST, rectus femoris-RF, biceps femoris-BF, tibialis anterior-TA, gastrocnemius medialis-GM and gastrocnemius lateralis-GL muscular activities were analyzed by surface electromyography (EMG) during one- and two-legged squatting at  $45^\circ$  knee flexion. EMG records during squatting were obtained in randomized eyes open and eyes closed conditions. EMG data were normalized (nEMG) as % of root mean square of maximal voluntary isometric contractions obtained for each muscle. No significant differences were found in nEMG activities of the muscles when comparing the eyes opened and eyes closed conditions during two legged squatting. Whereas the lower leg TA and GM muscles' nEMG activities were higher ( $p < 0.05$ ) in the eyes closed condition compared with the eyes opened condition, VM nEMG activities were lower ( $p < 0.05$ ) during one legged squatting. Therefore, it may be tentatively concluded that TA and GM muscles are more important in postural control during squatting.*

**Key words:** Lower extremity, EMG activity, squatting, eyes closed

## GİRİŞ

Özellikle alt ekstremitelerde bulunan postüral kaslar yerçekiminin denge bozucu etkisine karşı direnerek postüral kontrolde önemli rol oynarlar (5). Postüral kontroldeki koordinasyonda santral ve periferik bilgiler karmaşık ilişki içindedir. Görmenin varlığı veya yokluğu bu ilişkiyi önemli ölçüde değiştirebilir (1). Sammarco ve Hockenbury (8) vibrasyon oluşturan bir platformda ayakta dik duruş sırasında kişilerin gözleri kapalı iken denge bozukluğuna ilk yanıt olarak tibialis anterior ve gastrocnemius kas EMG aktivitelerinde belirgin artış saptamışlardır. Bir başka çalışmada ise sünger yüzey üzerinde ayakta dik duruş sırasında kas EMG aktivitelerinin gözler kapalıyken belirgin olarak arttığı, alt ekstremitte hareketlerindeki artışın (diz ve kalça) omuz ve baş hareketlerine oranla daha fazla olduğu gösterilmiştir (2).

Gerek günlük hayatta, gerekse sportif aktivitelerde sık kullanılan çömelme, desteksiz statik bir pozisyon olarak tüm vücut ağırlığının

ayaklar tarafından desteklenmesinin gerektiği bir durma biçimidir. Rehabilitasyon egzersizleri ve denge çalışmalarında da oldukça önemli bir yere sahip fonksiyonel bir aktivitedir. Sriwarno ve ark. (12), gözler açıkken tam çömelleme sırasında en yüksek kas aktivasyonunun tibialis anterior kasına ait olduğunu, tam çömelleme pozisyonundan parmak ucunda çömelleme pozisyonuna geçildiğinde ise anterior kasların (rectus femoris ve tibialis anterior) aktivitelerinin azaldığını göstermişlerdir.

Araştırılan kaynaklarda sağlıklı bireylerde çömelleme sırasında görmenin etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmadı. Postür kontrolde görmenin bilinen etkisi (1) ışığında, tek ve çift bacak üzerinde çömelleme sırasında görmenin engellenmesi ile kas aktivitelerinde değişim olacağı hipotezinden hareketle planlanan bu çalışmada, görsel bilgi akışı engellendiğinde hangi kasların postürü sağlamada daha etkin olduğunu tespit etmek amaçlandı.

## GEREÇ ve YÖNTEM

**Denekler:** Çalışmaya sağlıklı 10 erkek katılımcı alındı. Katılımcıların hiçbirinin bel, kalça, diz ya da ayak bileği ile ilgili yaralanmaları, bu eklemler ile ilgili hiçbir yakınmaları yoktu. Ayrıca deneklerin hiçbirisinde önceden geçirilmiş diz ameliyatı öyküsü; vestibüler, otoimmün veya nörolojik komponenti olan metabolik ya da damar hastalığı saptanmadı. Deneklerin ortalama yaşları  $22.0 \pm 1.5$  yıl, boyları  $168.0 \pm 6.4$  cm, vücut ağırlıkları  $67.0 \pm 7.2$  kg idi. Tüm denekler testten 24 saat öncesinde ilaç ve alkol almamaları konusunda uyarıldı. Deneklere çalışma öncesinde ayrıntılı bilgi verilerek Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmış ve gönüllü katılımlarını içeren “aydınlatılmış onam formu” imzalatıldı.

**Deney protokolü:** Her bir denegin ölçümüne saat 11:00’de başlandı. Deneklerin dominant alt ekstremitelerindeki sekiz kas grubuna (vastus lateralis-VL, vastus medialis-VM, rectus femoris-RF, biceps femoris-BF, semitendinosus-ST, tibialis anterior-TA, gastrocnemius medialis-GM ve gastrocnemius lateralis-GL) yüzeysel elektrotlar bağlandı. Sonra denekler dik pozisyondan (diz 0°) diz fleksiyon açısı 45° olana kadar önce çift bacak sonra tek bacak (dominant taraf) üzerinde çömeldiler. Çömelleme sırasında hiçbir yer veya kişiden destek almayan denekler çömelleme işlemini gözler açık ve kapalı olmak üzere iki kez tekrarladı. Çömelleme sırasındaki EMG kayıtları alındı. İki değer ortalaması alındı.

**EMG ölçümleri:** Elektromiyografik aktivite, sekiz kanallı taşınabilir yüzeysel EMG aleti (ME3000P, Mega Electronics, Kuopio, Finland)

kullanılarak bacak ekstansör (VM, VL, RF) ve fleksör kasları (BF, ST) ile ayak dorsifleksör (TA) ve plantarfleksör (GM, GL) kaslarında kaydedildi. EMG kayıtlarını elde etmek için bipolar gümüş/gümüşklorid kaplı yüzey elektrotları (1 cm gümüş-gümüşklorid diskli Kendall-Arbo elektrotlar; Tyco Healthcare, Neustadt/Donau, Germany) kullanıldı. Elektrotlar yerleştirilmeden önce, deri traşlandı, isopropil alkolle temizlendi ve deri empedansını en aza indirmek için zımpara kağıdı ile ovuldu. Tüm elektrotlar arasındaki mesafe 20 mm olacak şekilde kas liflerinin yönüne mümkün olduğunca paralel bir çizgi boyunca kasların gövdesi üzerindeki deriye bağlandı.

VL kasındaki elektrotlar spina iliaca anterior superiordan patellanın lateral kenarına olan mesafenin %66'sına yerleştirildi. VM kasının elektrotları spina iliaca anterior superiordan diz eklemi iç boşluğu mesafesinin %20 uzağına yerleştirildi. RF için elektrotlar spina iliaca anterior superiordan patellanın üst kısmına olan mesafenin %50'sine yerleştirildi. BF kasının elektrot yerleşimi iskiyal tuberositas ve lateral femur kondili arasındaki çizginin ortasına, biceps femorisin uzun başı üzerinde gerçekleşti. ST kasının elektrotları iskiyal tuberositas ve medial femur kondili arasındaki çizginin ortasına yerleştirildi. TA kasının elektrotları tibianın üst ve orta 1/3'lük kesiminin birleştiği yere ve subkütanöz sınırının 1 cm lateraline; MG kasının elektrotları calcaneustan popliteal bölgeye kadar olan mesafenin üst %25'lik medial kısmına; LG kasının elektrotları ise calcaneustan popliteal bölgeye kadar olan mesafenin üst %25'lik lateral kısmına yerleştirildi.

Sinyaller elektrotlara yakın yerleşik, düşük geçiş filtreli (8-500 Hz, -3dB points), 12-bit analog-dijital dönüşümlü analog ayırıcı amplifikatörler ile büyütüldü ve bir mikrobilgisayarda (Mega Electronics, ME3000P sistem) depolandı. Bu birim analog EMG sinyalini 1000 Hz frekansında örnekledi. Kayıt sırasında veriler optik bir kablo ile kişisel bir bilgisayara aktarıldı ve ham EMG amplitüd değerleri ( $\mu\text{V}$ ) ME3000P programı (MegaWin v2.2, Mega Electronics) ile otomatik olarak hesaplandı. Depolanmış ham EMG verisi bilgisayar programı tarafından saf ortalama karekök amplitüd değerleri ( $\mu\text{V}$ ) olarak ifade edildi.

**Verilerin normalizasyonu:** EMG amplitüdü, en yüksek zirve tork değerini yansıtan maksimal istemli kontraksiyon (MİK) denemesine karşı normalize edildi (nEMG). MİK'ler izokinetik dinamometrede (Cybex Norm, USA) diz ekstansörleri (VM, VL ve RF) için 60°'de, diz fleksörleri (BF ve ST) için 30°'de, ayak dorsifleksörleri (TA) ve ayak plantar

fleksörleri (GM, GL) için nötral pozisyonda 5 saniyelik izometrik kontraksiyonlar sırasında elde edildi.

Sekiz kas grubu için ortalama kas aktivitesi, 5 saniyelik MİK denemesinin orta 2 saniyelik dönemi sırasında elde edilen amplitüd değerlerinin yüzdesi (%MİK) olarak ayrı ayrı ifade edildi. EMG amplitüd değerlerinin bu yolla normalizasyonu kaslar, ekstremiteler ve hızlar arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır (11).

**İstatistiksel analiz:** İstatistiksel değerlendirmede SPSS istatistik programı (v16.0) kullanıldı. Çift ve tek bacak çömelleme için gözler açık ve kapalı yapılan ölçümler arasındaki nEMG verilerinin karşılaştırılması eşleştirilmiş örnekler için kullanılan parametrik olmayan Wilcoxon testi ile yapıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi olarak  $p < 0.05$  değeri kriter olarak alındı. Sonuçlar aritmetik ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verildi.

## BULGULAR

Çift bacak çömelleme sırasında gözler açık ve kapalı durumlar karşılaştırıldığında kas nEMG aktiviteleri arasında anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo 1). Tek bacak çömelleme aktivitesi sırasında gözler açık durumdan gözler kapalı duruma geçildiğinde ise TA ve GM kas nEMG aktivitelerinde istatistiksel açıdan ( $p < 0.05$ ) anlamlı bir artış olurken, VM kasının nEMG aktivitesi belirgin olarak azaldı (Tablo 2).

**Tablo 1.** Çift bacak çömelleme sırasında gözler açık ve kapalı durumda alt ekstremitteye ait sekiz farklı kas grubunun normalize edilmiş EMG amplitüd değerleri (% Ort.  $\pm$  SS)

	Gözler açık	Gözler kapalı
RF	14.9 $\pm$ 14.2	12.5 $\pm$ 9.0
VM	32.1 $\pm$ 14.7	31.4 $\pm$ 17.8
VL	29.6 $\pm$ 14.0	28.2 $\pm$ 15.6
TA	26.2 $\pm$ 19.7	25.2 $\pm$ 20.2
BF	6.0 $\pm$ 7.5	6.2 $\pm$ 9.5
ST	10.0 $\pm$ 10.7	11.0 $\pm$ 12.3
GM	4.6 $\pm$ 2.1	4.5 $\pm$ 2.5
GL	4.6 $\pm$ 2.7	4.6 $\pm$ 2.8

RF: rectus femoris, VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis, TA: tibialis anterior, BF: biceps femoris, ST: semitendinosus, GM: gastrocnemius medialis, GL: gastrocnemius lateralis

**Tablo 2.** Tek bacak çömelme sırasında gözler açık ve kapalı durumda sekiz farklı kas grubunun normalize edilmiş EMG amplitüd değerleri (% , Ort.  $\pm$  SS)

	Gözler açık	Gözler kapalı
RF	14.9 $\pm$ 8.1	13.4 $\pm$ 6.0
VM	48.4 $\pm$ 18.3	43.2 $\pm$ 19.5*
VL	40.8 $\pm$ 14.0	36.7 $\pm$ 15.3
TA	26.1 $\pm$ 19.4	35.3 $\pm$ 16.0*
BF	9.0 $\pm$ 7.7	10.0 $\pm$ 7.7
ST	15.1 $\pm$ 11.5	15.2 $\pm$ 12.2
GM	13.8 $\pm$ 7.0	18.9 $\pm$ 12.3*
GL	17.7 $\pm$ 10.2	20.2 $\pm$ 16.3

\*p&lt;0.05

Benzer işlevli kaslar birlikte değerlendirildiğinde, çift bacak çömelme sırasında gözler açık ve kapalı durumlar arasında kas gruplarının nEMG potansiyellerinde anlamlı farklılık bulunmadı (Tablo 3). Tek bacak çömelme sırasında ise, gözler açık durumdan kapalı duruma geçildiğinde ayak bileği dorsifleksör ve plantarfleksör kaslarının nEMG potansiyellerinde belirgin artış (p<0.05), olurken; diz ekstansörleri nEMG potansiyellerinde belirgin düşüş saptandı (p<0.05). Diz fleksörlerinin nEMG potansiyellerinde ise anlamlı bir değişiklik olmadı (Tablo 4).

**Tablo 3.** Çift bacak çömelme sırasında gözler açık ve kapalı durumda benzer işleve sahip kas gruplarına ait normalize edilmiş EMG amplitüd değerleri (% , Ort.  $\pm$  SS)

	Gözler açık	Gözler kapalı
Diz ekstansörleri	76.6 $\pm$ 38.0	72.1 $\pm$ 39.8
Diz fleksörleri	16.0 $\pm$ 16.2	17.2 $\pm$ 20.1
AB dorsifleksörleri	26.2 $\pm$ 19.7	25.2 $\pm$ 20.2
AB plantarfleksörleri	9.2 $\pm$ 4.8	9.1 $\pm$ 5.2

AB: ayak bileği

**Tablo 4.** Tek bacak çömelme sırasında gözler açık ve kapalı durumda alt ekstremitte benzer işleve sahip kas gruplarına ait normalize edilmiş EMG amplitüd değerleri (% , Ort.  $\pm$  SS)

	Gözler açık	Gözler kapalı
Diz ekstansörleri	104.1 $\pm$ 34.5	93.3 $\pm$ 36.8*
Diz fleksörleri	24.1 $\pm$ 16.7	25.2 $\pm$ 17.0
AB dorsifleksörleri	26.1 $\pm$ 19.4	35.3 $\pm$ 16.0*
AB plantarfleksörleri	31.5 $\pm$ 16.1	39.1 $\pm$ 25.9*

\*p&lt;0.05

## TARTIŞMA

Çalışmada tek bacak çömelleme sırasında gözler açık durumdan gözler kapalı duruma geçildiğinde nEMG aktivitesinin alt bacak kaslarında (TA ve GM) arttığı, üst bacak ekstansör kaslarında ise belirgin olarak azaldığı ( $p<0.05$ ) gözlemlendi. Bu bulguların ışığında çömelleme sırasında görmenin engellenmesi ile kas aktivitelerinde değişim olacağı hipotezi tek bacak için doğrulanmış oldu.

Vibrasyon oluşturan bir platformda ayakta dik pozisyonda gözler açık ve kapalıyken hareket değişimleri ve kaslardaki nEMG aktivitelerini inceleyen Sammarco ve Hockenbury (8) tarafından TA ve GC kas aktivitesindeki büyüklük ve değişikliklerin gözler kapalıyken daha fazla olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmada ise çift bacak çömelleme sırasında gözler açık ve kapalı durumda kasların aktivitesinde anlamlı farklılıklar saptanmadı. İki çalışmanın sonuçları arasındaki farkların kullanılan değişik vücut pozisyonu (dikey-çömelleme) ve zeminden (vibrasyon oluşturan zemin-düz ve sert zemin) kaynaklanması olasıdır.

Fransson ve ark. (2) görmenin sert ve sünger yüzey üzerinde iki ayak üzerinde dik pozisyonda yapılan lineer vücut hareketlerine (baş, omuz, kalça ve diz bölgelerine), TA ve GC kas EMG aktivitelerine ve hareketin torkuna etkilerini araştırmıştır. Sünger zeminde kas aktivitesi ve hareket torkunun arttığı, yanıtların gözler kapalıyken daha belirgin olduğu, alt ekstremitte hareketlerindeki artışın omuz ve baştakilere oranla daha fazla olduğu gösterilmiş; özellikle gözler kapalıyken TA kası EMG aktivitesi yüksek bulunmuştur. GC kası EMG aktivitesi ise sert yüzeyle karşılaştırıldığında sünger yüzeyde artmasına karşın görmeden etkilenmemiştir. Bu çalışmada ise çift bacak çömelleme sırasında TA ve GC kas aktiviteleri görmeden etkilenmezken, tek bacak çömellemede ise gözler kapalı duruma geçildiğinde EMG aktiviteleri anlamlı olarak arttı.

Çalışmada anatomik anlamda diz ekstansörleri olarak VM, VL ve RF; diz fleksörleri olarak BF, ST ve SM; ayak bileği plantar fleksörler olarak GM ve GL benzer işlevdeki kas grupları olarak belirlendi. Tek bacak çömelleme sırasında hem gözler açık, hem de kapalı iken VM kas aktivitesinde anlamlı artış gözlenirken RF ve VL'de istatistiksel açıdan anlamlı değişiklik olmadı. Benzer çalışmalarda çok yönlü hareketler sırasında dengenin bozulmasına kasların kasılma yanıtları ve bu yanıtların uyumu araştırılmıştır (4,6). Ön-arka hareket esnasında, insan ve kedilerde postüral kasların yanıtları genelde anatomik sinerjist kaslar ile sınırlı olup gruplama yapmak mümkünken; çok yönlü hareketler sırasında böyle bir anatomik gruplama yapmanın mümkün olmadığı veya yeterli olmadığı ifade edilmiştir (3,6). Bu farklılıkların nedenini net olarak

açıklamak mümkün olmamakla birlikte; değişik hareketlerde VM, VL ve RF kaslarının işlevlerinin farklı olabileceği söylenebilir. Bulgular, vücut hareketleri sırasında harekete katılan kasların uyumunun (sinerjilerinin) onların hareket için tanımlanan anatomik uyumlarından (sinerjik kasılmalarından) farklı olabileceği görüşünü destekler niteliktedir.

Çömelme, desteksiz statik bir pozisyon olarak vücut ağırlığının ayaklar tarafından desteklenmesinin gerektiği bir ayakta durma biçimidir. Bazı benzerliklerin yanı sıra ayakta durmaktan farklı olarak, çömelmede baş-zemin mesafesi azalır ve kalça, diz ve ayak bileği fleksiyonu gerekir. Çömelmede basınç merkezini destek alanda tutmak için kas gerginliği ile vücut dengesini sağlamak önemlidir. Parmak ucu pozisyonunda topuk kaldırılır ve yük metatarsofalingeal eklem başına kaydırılır ve ayaklar arasındaki açı artırılarak denge korunmaya çalışılır (10).

Sriwarno ve ark. (12), erkek katılımcılarda beş farklı kas grubunda (RF, TA, GC, SOL ve ekstansör digitorum brevis-EDB) tam çömelme, parmak ucu çömelme ve 15° eğimde parmak ucu çömelme sırasında EMG aktivitesini ölçtüler. Pozisyon tam çömelmeden parmak ucu çömelmeye kaydırıldığında anterior kasların (RF ve TA) gücü düşmüş, kalça ve metatarsofalingeal eklem açıları artmıştır. Ayrıca, kalça eklemi fleksiyonunda kalça açısı artışı ile RF kas aktivitesi diğer çalışmalarla uyumlu olarak düşük bulunmuştur (7,8,9). Bu çalışmada hem çift bacak hem de tek bacak çömelme sırasında RF kas aktivitesi, gözler açık ve gözler kapalı pozisyonlar kıyaslandığında anlamlı değişiklik göstermedi. Benzer hareketi yaptıran kaslar değerlendirildiğinde ise, diz ekstansörleri (VM, VL ve RF) aktivitesinin çift bacakla çömelme aktivitesine kıyasla tek bacakla çömelme sırasında hem gözler açık, hem gözler kapalı iken belirgin derecede arttığı gözlemlendi.

Ayak bileği dorsifleksiyonu tam çömelmede en yüksek TA aktivasyonuna neden olur. Parmak ucu çömelmede topuk yükseldikçe plantar fleksiyon kasları (GA ve SOL) TA aktivitesini azaltan karşı etki yaparlar. Çalışmada çift bacak çömelme aktivitesi sırasında TA kas aktivitesi gözler açık ve gözler kapalı pozisyonlar kıyaslandığında anlamlı değişiklik göstermedi. Ancak tek bacak çömelmede kas aktivitesi gözler kapalı duruma geçildiğinde anlamlı olarak arttı.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular ışığında, tek bacak üzerinde gözler kapalı konumda yapılan çömelmede alt bacak kaslarının (TA ve GM) postüral kontrolde diğer kaslardan daha aktif olduğu söylenebilir. Buna paralel olarak postüral kontrolün hedeflendiği rehabilitasyon çalışmalarında bu kasların özel olarak çalıştırılmasına önem verilmesi önerilebilir. Bu konu daha ileri çalışmalarla açıklığa kavuşturulmalıdır.



## KAYNAKLAR

1. De Nunzio AM, Nardone A, Schieppati M: Head stabilization on a continuously oscillating platform: the effect of a proprioceptive disturbance on the balancing strategy. *Exp Brain Res* **165**: 261-72, 2005.
2. Fransson PA, Gomez S, Patel M, Johansson L: Changes in multi-segmented body movements and EMG activity while standing on firm and foam support surfaces. *Eur J Appl Physiol* **101**: 81-9, 2007.
3. Henry SM, Fung J, Horak FB: EMG responses to multidirectional surface translations. *Soc Neurosci Abstr* **21**: 683, 1995.
4. Lacquaniti F, Soechting JF: EMG responses to load perturbations of the upper limb: effect of dynamic coupling between shoulder and elbow motion. *Exp Brain Res* **61**: 482-96, 1986.
5. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M: Paradoxical muscle movement in human standing. *J Physiol* **556**: 683-9, 2004.
6. Macpherson JM: Strategies that simplify the control of quadrupedal stance. II. Electromyographic activity. *J Neurophysiol* **60**: 218-31, 1988.
7. Nishiwaki GA, Urabe Y, Tanaka K: EMG analysis of lower extremity muscles in three different squat exercises. *J Jpn Phys Ther Assoc* **9**: 21-6, 2006.
8. Patel M, Gomez S, Lush D, Fransson PA: Adaptation and vision change the relationship between muscle activity of the lower limbs and body movement during human balance perturbations. *Clin Neurophysiol* **120**: 601-9, 2009.
9. Sammarco GJ, Hockenbury RT: Biomechanics of the foot and ankle. In: *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System, 3<sup>rd</sup> ed.* Nordin M, Frankel VH, Eds, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp 223-55.
10. Shimizu M, Andrew PD: Effect of heel height on the foot in unilateral standing. *J Phys Ther Sci* **11**: 95-100, 1999.
11. Soderberg GL, Knutson LM: A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Phys Ther* **80**: 485-98, 2000.
12. Sriwarno AB, Shimomura Y, Iwanaga K, Katsuura T: The relation between the changes of postural achievement, lower limb muscle activities, and balance stability in three different deep-squatting postures. *J Physiol Anthropol* **27**: 11-7, 2008.

**E-mail for correspondence:** ufuksek@gmail.com

