

İZOMETRİK EGZERSİZİN VASTUS MEDIALİS VE RECTUS FEMORİS KASLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN EMG YARDIMIYLA İNCELENMESİ*

Ali Murat ZERGEROĞLU**, Emin ERGEN**

ÖZET

Bu çalışma izometrik kuvvet antrenmanlarının, değişik diz fleksiyon açılarında (30-60-90-120°) ve tibia pozisyonlarındaki (internal-eksternal rotasyon ve nötral pozisyonda), vastus medialis (VM), rektus femoris (RF) kaslarının integre EMG (İEMG) aktiviteleri ve izometrik kuvvet üzerine etkisini araştırmak amacıyla planlandı. On sağlıklı erkek bireye (yaş: 20.4±1.5) sekiz hafta süreyle 90° diz fleksiyon açısında ve tibia nötral pozisyonda iken kuvvet antrenmanı uygulandı. Fitness makinası kullanılarak yapılan izometrik kuvvet antrenmanları haftada üç gün, günde üç setten oluştu. Her set sırasıyla 6, 9 ve 12 saniyelik kontraksiyon ve 90-120 saniyelik dinlenme periyotlarından oluştu. İEMG aktiviteleri yüzeysel elektrod kullanılarak değerlendirildi. Antrenman sonrası İEMG aktiviteleri tüm pozisyon ve açılarda antrenman öncesi değerlerinden düşük bulunurken tüm diz fleksiyon açılarındaki izometrik kuvvet değerleri artmış bulundu ($p<0.05$). Doksan ve 120° fleksiyon açılarındaki İEMG aktiviteleri, 30 ve 60° İEMG aktivitelerinden daha yüksek bulundu ($p<0.05$). VM İEMG aktiviteleri 60, 90 ve 120° fleksiyon açılarında tüm pozisyonlarda RF aktivitelerinden yüksek bulundu ($p<0.05$). Doksan derece fleksiyon ve nötral tibial pozisyonunda yapılan izometrik kuvvet egzersizlerinin, izometrik quadriceps kuvvetini geliştirme ve sürdürmede kullanılabileceği sonucuna varıldı.

Anahtar sözcükler: İzometrik egzersiz, kuvvet antrenmanı, (integre EMG, vastus medialis rektus femoris.

* Bu çalışma 1998 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde ACSM kongresinde poster bildirisi olarak sunulmuştur.

** Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Bilim Dalı, Ankara

SUMMARY

THE EFFECTS OF ISOMETRIC EXERCISE ON VASTUS MEDIALIS AND RECTUS FEMORIS MUSCLES THROUGH EMG ANALYSIS

This study aimed to reveal the effects of isometric strength training on the isometric strength and integrated EMG (IEMG) activities of vastus medialis (VM) and rectus femoris (FM) muscles at various knee angles (30-60-90-120°) and tibial positions (internal-external rotations and neutral). Ten healthy male subjects (Age: 20.4±1.5) were trained at 90° knee angle and neutral position for eight weeks. Maximal isometric contractions were performed by each subject using a fitness machine. Isometric training regime consisted of three sets/day for three days/week. Each set consisted of 6, 9 and 12 second contractions with 90-120 second rest intervals. IEMG activities were measured in wall stance position using surface electrodes. Post-training IEMG activities were significantly lower than pre-training values at all angles and positions studied ($p<0.05$). Compared to 30 and 60°, this increase was higher in 90 and 120° knee flexion ($p<0.05$). IEMG activities in VM were higher than those of RF at 60, 90 and 120° knee flexion in each tibial position. It can be concluded that 90° knee flexion at a neutral tibial position may be used to perform isometric quadriceps exercise to improve or maintain isometric strength.

Key words: Isometric exercise, strength training, integrated EMG, vastus medialis, rectus femoris.

GİRİŞ

Sportif rehabilitasyonun en temel prensiplerinden biri de kas gücünün geliştirilmesidir. İzometrik egzersizler, güçlendirme programının başlangıç fazında, hareketin istenmediği veya özellikle immobilizasyon gereken durumlarda, alçı ya da atel içinde kalan kasların atrofi-sini önlemek amacıyla tercih edilir (15). Yüksek sportif performans için geniş eklem açıklığı içinde büyük güç çıktısına gereksinim duyulur. Ancak izometrik egzersizlerle kuvvet artışının çoğunlukla egzersizin yapıldığı açıda olduğu gösterilmiştir (17, 25).

Sporda ilk EMG sinyal analizlerinin kullanımı 1930 yılında Cureton tarafından gerçekleştirilmiştir, daha sonra özellikle 1970'li yıllardan sonra sportif aktivitelerin değerlendirilmesinde EMG sinyal analizi ol-

dukça yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sportif hareketler sırasında kasta oluşan aksiyon potansiyellerinin kaydedilmesi kineziyolojik EMG olarak adlandırılmaktadır (4, 11). Kineziyolojik EMG'nin genel amacı; farklı hareket ve postürlerde kasın fonksiyonel ve koordinasyon analizini yapmaktır. Sportif rehabilitasyon çalışmalarında daha çok diz bölgesi kas grubunu ilgilendiren çalışmalar vardır ve özellikle uyluk ekstansörleri olan vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), ve rectus femoris (RF) kasları değerlendirilmiştir.

Valentino ve ark. (23) bisikletçilerde değişik pedal şiddetlerinde yapılan egzersizler sırasında en yüksek kassal aktiviteyi biceps femoris kas grubunda; daha sonra sırasıyla VL, VM ve RF kaslarında saptamışlardır. Rodriguez ve ark. (21) kürek ergometresinde değişik fazlarda yapılan egzersiz sırasında üst ve alt ekstremitte kaslarını değerlendirdikleri çalışmalarında, alt ekstremitede en yüksek kas aktivitesini VM'de, üst ekstremitede ise triceps kasında saptamışlardır. Bu çalışma izometrik kuvvet antrenmanlarının, değişik diz fleksiyon açılarında (30-60-90-120°) ve tibia pozisyonlarındaki (internal-eksternal rotasyon ve nötral pozisyonda), VM, RF kaslarının EMG aktiviteleri (integre EMG aracılığıyla) ve izometrik kuvvetleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla planlandı.

GEREÇ ve YÖNTEM

Araştırmaya 18-22 yaş grubunda (ort. 20.4±1.5) 10 sağlıklı sedanter erkek katılmıştır. Araştırmada yer alan kişilerin kuvvet antrenmanı yapmamış olmalarına ve herhangi bir diz patolojilerinin olmamasına dikkat edilmiştir.

Deneklerin izometrik kuvvet değerleri, elektro-mekanik dinamometre ile (Jackson Evaluation System, Lafayette Instrument Co, Model 32528 CTL) ölçülmüştür. EMG sinyal ölçümleri, Grass 6 Elektroensefalografla yapılmıştır. EEG cihazı 16 kanallı olup, frekans bant genişliği low pass filter 1 Hz, high pass filter 70 Hz'dir. Sinyallerin amplifikasyonu ve dönüşümü analog dijital konvertör aracılığı ile sağlanmıştır (PCL-812-PG, rezolüsyonu 12 bit, 16 kanallı ve 30 kHz). Kuvvet antrenmanları Multigym Fitness Pro AT 1000B aletinde yapılmıştır. Uyluk deri kıvrım kalınlığı ölçümleri Holtain kaliperle, uyluk çevresi ölçümü mezura ile yapılmıştır. Diz fleksiyon açıları Ciba-Geigy goniometreyle belirlenmiştir.

Araştırmaya başlamadan önce deneklerin EMG ölçümleri sırasında yapacakları izometrik egzersizin süresini belirlemek amacıyla ön

çalışma yapılmıştır. Ön çalışmaya 26-32 yaş grubundan altı erkek denek katılmıştır. Bunun için birey duvar bankı hareketi esnasında dizin 90° fleksiyon açısında bir dakika sureyle izometrik egzersiz yaparken sağ VM kaslarından EMG kaydı alınmıştır. Literatürden yararlanılarak yapılan değerlendirmelerde 20 s sonunda bireylerin EMG sinyal amplitüdlerinin belirgin olarak azaldığı (yorgunluğun başladığı) saptanmıştır. Araştırmada 20 s'lik izometrik egzersiz suresinin kullanılmasına karar verilmiştir. EMG kayıtları 20.48 s boyunca 1-70 Hz frekans bandı aralığında 20 ms'de bir noktadan kayıt alınmak suretiyle, toplam 1024 noktadan yapılmıştır.

EMG sinyalleri birey duvar bankı hareketi sırasında her iki bacak VM ve RF kaslarının izometrik kasılması esnasında kaydedilmiştir. Antrenman ncesi ve sonrası iki kez EMG sinyal kaydı yapılmıştır. Her denekte, duvar bankı hareketi esnasında dizin dört ayrı fleksiyon açısında (30, 60, 90, 120°) ve sağ tibianın  pozisyonunda (nötral, 20° ie rotasyon ve 30° dışa rotasyon) olmak üzere toplam 12 pozisyonunda EMG sinyal analizi yapılmıştır. Denekler antrenman programına alınmadan önce yapılan EMG sinyallerinin amplitüdleri değerlendirilerek kuvvet antrenmanlarının yapılacağı fleksiyon açısı ve tibia pozisyonu saptanmıştır. EMG sinyal amplitüdleri integre MG (İEMG) yapılarak değerlendirilmiş ve dizin en uygun fleksiyon açısının 90°, tibia pozisyonunun nötral olduğu saptanmıştır.

Araştırmaya katılan bireylerin izometrik kuvvet ölçümleri, dizin dört ayrı fleksiyon açısında (30, 60, 90, 120°) saptanmıştır. Antrenman programı başlamadan önce, antrenmanın nc ve altıncı haftaları sonunda ve antrenman programı bitiminden sonra toplam dört kez kuvvet ölçümü yapılmıştır. Antrenman programına başlamadan önce bireylerin multigym cihazında 90° fleksiyona kadar kaldırdıkları maksimal ağırlık saptanmış ve bu ağırlığın % 90-100' ile bireyler antrenmana alınmıştır. Antrenman programının nc ve altıncı haftalarında bireylerin yeniden kaldırdıkları maksimal ağırlık saptanmış ve hesaplanan yeni yüklerle antrenman programına devam edilmiştir. Sekiz hafta suren antrenman haftada  kez üçer setten oluşmuştur. Her set aralığında bireylere 4 dk dinlenme verilmiştir. Her set arka arkaya yaptırılan 6, 9 ve 12 saniyelik izometrik egzersizler ve 90-120 saniye suren dinlenmelerden oluşmuştur.

İEMG verileri Basmajian ve De Luca tarafından geliştirilen formül ile hesaplanmıştır (4). Bu formüle göre rakamlara dökülen EMG verilerinin mutlak değerini alımp daha sonra da integrali hesaplanmaktadır. İstatistiksel analizde t testi kullanılmıştır.

BULGULAR

Araştırmaya alınan 10 kişinin yaş ortalamaları 20.4 ± 1.5 , antrenman programı öncesi vücut ağırlıkları 71.0 ± 10.9 kg, antrenman programı sonrası vücut ağırlıkları 71.2 ± 11.8 kg, boyu uzunlukları 176.9 ± 6.0 cm olarak tespit edilmiştir. Araştırmaya katılan deneklerin antrenman programından önce uyluk çevreleri 50.6 ± 4.9 cm, sonra 51.4 ± 5.1 cm ve uyluk deri kıvrım kalınlığı antrenman programından önce 12.6 ± 6.3 mm, sonra 11.2 ± 5.8 mm bulunmuştur.

Antrenman programından önce ve sonra saptanan İEMG değerleri Tablo 1 ve 2'de özetlenmiştir. VM ve RF kaslarında, her iki bacakta dizin 90° ve 120° fleksiyon açılarında, tibianın tüm pozisyonlarında diğer iki fleksiyon açısından daha yüksek İEMG aktivitesi bulunmuştur ($p < 0.05$). Antrenman programı sonrasında saptanan İEMG değerleri başlangıca göre daha düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Antrenman programından önce ve sonra diz fleksiyon açısının 60° , 90° ve 120° derecelerinde tüm tibia pozisyonlarında VM kas aktivitesi RF kas aktivitesine göre daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

Antrenman programından önce tibianın pozisyonları karşılaştırıldığında dizin 90° fleksiyon açısında dışa rotasyon pozisyonunda sol VM kasında içe rotasyona göre daha yüksek kas aktivitesi saptanmıştır ($p < 0.05$). Antrenman programından sonra dizin 90° fleksiyon açısında dışa rotasyon pozisyonunda nötral pozisyona göre daha yüksek kas aktivitesi saptanmıştır. Diğer tibia pozisyonları arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Antrenman programından önce ve sonra, dizin 30° fleksiyon açısında sağ RF kas aktivitesi sol RF kas aktivitesinden yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Antrenman programından önce ve sonra, dizin 60° , 90° , 120° fleksiyon açılarında sağ VM kas aktivitesi sol VM kas aktivitesine göre yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

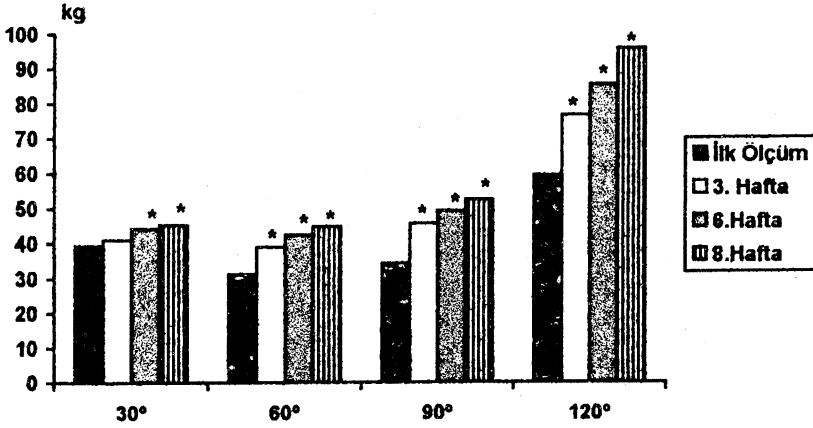
Uyluk deri kıvrım kalınlığında antrenman sonrasında azalma saptanmıştır ($p < 0.05$). İzometrik kas kuvvetinde özellikle 90° ve 120° derecelerde olmak üzere dizin dört fleksiyon açısında da artma saptanmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 1).

Tablo 1. Antrenmandan önce dizin dört değişik fleksiyon açısı ve tibianın üç değişik pozisyonundaki sağ vastus medialis (RVM), sol vastus medialis (LVM), sağ rectus femoris (RRF) ve sol rectus femoris (LRF), İEMG (μ Vxs) aktiviteleri.

	Nötral (X \pm SD)	Dışa rotasyon (X \pm SD)	İçe rotasyon (X \pm SD)
RVM 30°	212 \pm 20	228 \pm 40	261 \pm 100
" 60°	383 \pm 110	336 \pm 120	481 \pm 370
" 90°	686 \pm 180	700 \pm 170	702 \pm 230
" 120°	704 \pm 240	753 \pm 220	742 \pm 180
LVM 30°	234 \pm 110	202 \pm 50	222 \pm 60
" 60°	309 \pm 110	289 \pm 40	329 \pm 140
" 90°	432 \pm 80	485 \pm 100	427 \pm 100
" 120°	477 \pm 240	516 \pm 210	401 \pm 150
RRF 30°	240 \pm 10	238 \pm 10	255 \pm 40
" 60°	280 \pm 70	267 \pm 70	380 \pm 230
" 90°	443 \pm 170	470 \pm 190	496 \pm 230
" 120°	571 \pm 340	575 \pm 350	589 \pm 400
LRF 30°	278 \pm 10	277 \pm 20	295 \pm 50
" 60°	289 \pm 20	293 \pm 50	278 \pm 20
" 90°	444 \pm 90	472 \pm 120	455 \pm 110
" 120°	612 \pm 420	575 \pm 230	600 \pm 300

Tablo 2. Antrenmandan sonra dizin dört değişik fleksiyon açısı ve tibianın üç değişik pozisyonundaki sağ vastus medialis (RVM), sol vastus medialis (LVM), sağ rectus femoris (RRF) ve sol rectus femoris (LRF), İEMG (μ Vxs) aktiviteleri.

	Nötral (X \pm SD)	Dışa rotasyon (X \pm SD)	İçe rotasyon (X \pm SD)
RVM 30°	206 \pm 30	220 \pm 30	253 \pm 100
" 60°	371 \pm 110	354 \pm 110	335 \pm 110
" 90°	662 \pm 160	676 \pm 150	677 \pm 210
" 120°	682 \pm 260	732 \pm 230	721 \pm 190
LVM 30°	227 \pm 110	196 \pm 40	215 \pm 60
" 60°	300 \pm 110	280 \pm 40	321 \pm 140
" 90°	422 \pm 90	473 \pm 120	416 \pm 110
" 120°	468 \pm 250	506 \pm 220	487 \pm 240
RRF 30°	233 \pm 10	231 \pm 10	247 \pm 40
" 60°	272 \pm 70	259 \pm 70	364 \pm 210
" 90°	429 \pm 170	456 \pm 190	482 \pm 230
" 120°	547 \pm 340	561 \pm 350	574 \pm 400
LRF 30°	268 \pm 40	273 \pm 20	278 \pm 20
" 60°	287 \pm 20	292 \pm 50	278 \pm 20
" 90°	415 \pm 80	449 \pm 100	446 \pm 90
" 120°	444 \pm 220	577 \pm 220	521 \pm 210



Şekil 1. Antrenmandan önce, 3. hafta, 6. hafta ve antrenmandan sonra dizin 30, 60, 90 ve 120° fleksiyon açılarındaki kuvvet ölçüm değerleri (kg). * = $p < 0.05$, ilk ölçümde bulunan değerlere göre değişimi göstermektedir.

TARTIŞMA

Çalışmamızda EEG cihazı kullanılarak düşük frekans bant aralığında (1-70 Hz) EMG kaydı alınmıştır. Kas ve periferik sinir hastalıklarının tanısı ve hastalığın seyri amaçlı klinik EMG değerlendirilmesinde genellikle yüksek frekans bantları (1-10000 Hz gibi) tercih edilmektedir. Duchene ve Goubel (6) çalışmalarında plantar fleksiyon sırasında gastrocnemius ve soleus kaslarından yüzeysel elektrodlarla EMG kaydı almışlardır. Bu çalışmada yorgunlukla beraber, düşük ve yüksek frekans aralıklarındaki EMG değişimlerini değerlendirmişler ve yüksek frekans bantları ile düşük frekans bantları arasındaki EMG değerleri arasında yüksek korrelasyon saptamışlardır. Sportif aktiviteler sırasında kullanılan portatif EMG cihazlarının frekans bant aralıkları da oldukça düşüktür (me 3000 EMG cihazının frekans bant aralığı 20-52 Hz'dir) (4).

Ön çalışmada 20 s'den itibaren EMG sinyal amplitüdünün azalmağa başladığı gözlenmiş ve bu nokta yorgunluğun başladığı nokta olarak kabul edilmiştir. Moritani ve ark. (19) MVC'nin % 50 şiddetinde 90° dirsek fleksiyonunda yapılan izometrik egzersizde, EMG sinyal amplitüdünün yorgunlukla beraber düşmeğe başladığını göstermişlerdir. Duchene ve Goubel (6) gastrocnemius kasının izometrik kasılması sırasında yaptıkları yorgunluk çalışmasında, yorgunlukla beraber EMG aktivitesinin de azaldığını göstermişlerdir. Hakkinen ve Komi (13), Green (10) Petrofsky ve Lind (20) çalışmalarında benzer sonuçlar bulmuşlardır.

Çalışmamızda dizin değişik fleksiyon açılarında yapılan izometrik egzersiz sırasında en yüksek İEMG değerleri 90 ve 120 derecede saptanmıştır. Yüzyirmi derece fleksiyonda yapılan aktiviteler hem sporda hem de insan yaşamında fazla olmadığından izometrik antrenman programı için 90 derecenin uygun olduğuna karar verilmiştir.

EMG kasta üretilen birleşik aksiyon potansiyellerinin yazdırılmasıdır. EMG'nin büyüklüğündeki değişimler üretilen gerimdeki değişimleri gösterir. EMG amplitüdündeki artışla kassal aktiviteye katılan motor ünite arasındaki ilişki doğrusaldır (4, 18). Dizde artan fleksiyon açılarında kasda daha fazla modor ünite devreye girmekte, daha fazla elektriksel kas aktivitesi elde edilmektedir. Gamet ve ark. (7), değişik şiddetlerdeki egzersizler sırasında VM ve soleus grubu kas aktivitelerini değerlendirmişler, artan egzersiz şiddetiyle kas elektriksel aktivitelerinde artış saptamışlardır. Seki ve ark. (22) ile Bazzy ve ark. (3) çalışmalarında benzer bulgular saptamışlardır.

Çalışmamızda antrenman sonrasında öncesine göre aynı sürede yapılan izometrik egzersizde daha düşük İEMG değerleri saptanmıştır. Bu bulgu deneklerin antrenman programı sonunda artan kas kuvveti ile aynı süre ve şiddete yapılan izometrik egzersizi daha az motor ünitenin devreye girmesi ile gerçekleştirebildikleri şeklinde yorumlandı. Hakkinen ve ark. (12) antrenmanlara artan kuvvetle İEMG aktivitesi arasında yüksek korrelasyon saptamışlardır. Basmajian (2), kuvvet ile EMG sinyal amplitüdü arasında lineer ilişki saptamıştır. Gerdle ve ark.'nın (9) bulguları da bu yöndedir. Tüm bu literatür bilgileri bulgularımızı desteklemektedir. Literatürde tibianın rotasyonuyla ilgili çok fazla çalışma yoktur. Hanten ve Schulties (14) kalça 90° fleksiyonda iken kalça aduksiyonu ve 30° internal tibial rotasyonda VM ve VL aktivitelerini değerlendirmişler ve VM aktivitesini daha yüksek bulmuşlardır.

Çalışmamızda sadece kuvvet antrenmanı yapılan açıda değil; ölçüm yapılan tüm fleksiyon açılarında kuvvet artışı meydana gelmiştir. Klasik olarak izometrik kuvvet antrenmanları açığa spesifiktir. Kuvvet artışı yalnızca antrenman yapılan açıda olmaktadır (11, 24). Kanehisa ve Miyashita (16) dirseğin dört değişik fleksiyon açısında (30, 60, 90, 120°) 14 hafta süren izometrik kuvvet antrenman programının sonuçlarını izlemişlerdir. İzometrik antrenman programı sonunda kuvvette tüm fleksiyon açılarında önemli derecede artış saptamışlardır. Weir ve ark. (27) tek açıda yapılan izometrik kuvvet antrenmanları (% 80 MVC şiddetinde) ile özellikle antrenman yapılan açıda kuvvet artışı olmakla birlikte diğer açılara da çapraz transfer etkisi ile kuvvet artışı olduğunu göstermişlerdir.

Bandy ve Hanten (1) dizin üç değişik fleksiyon açısında (30, 60, 90°) sekiz haftalık izometrik kuvvet antrenmanına aldığı bireylerde kuvvet artışını ve maksimal izometrik kontraksiyon sırasında dizin ekstansör kas aktivitesini EMG ile değerlendirmişlerdir. 15, 30, 45, 60, 75, 90 ve 105° fleksiyon açılarında diz ekstansörlerinde kuvvet ve İEMG ölçümü yapmışlar ve izometrik kuvvet antrenmanı ile sadece antrenman yapılan açıda değil, diğer tüm açılarda kuvvet artışları saptamışlardır. Ancak bu artış antrenman yapılan açıya yakın açılarda daha fazla olmuştur.

Doksan derece fleksiyon ve nötral tibial pozisyonda yapılan izometrik kuvvet egzersizlerinin, izometrik quadriceps kuvvetini geliştirme ve sürdürmede kullanılabileceği sonucuna varıldı. Çalışmadan elde edilen bulgularımızın sportif rehabilitasyon konusunda katkı yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bandy DW, Hanten WP: Changes in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscles following isometric training. *Phys Ther* **77**: 455-66, 1993.
2. Basmajian VJ: Chapter 5, 7 in: *Theuropatic Exercise*. 5th ed., London, Williams and Wilkins Co., 1990.
3. Bazy R, Korten JB, Haddad GG: Increase in electromyogram low-frequency power in nonfatigued contracting skeletal muscle. *J Appl Physiol* **61**: 1012-7, 1986.
4. Clarys JP, Cabri J. Electromyography and the study of sports movement: A review. *J Sport Sci* **11**: 379-448, 1993.
5. Daintry DA, Norman RW. *Standardizing Biomechanical Testing in Sport*. Champaign, Human Kinetics Pub, 1987, pp. 98-9.
6. Duchene J, Goubel F: EMG spectral shift as an indicator of fatigability in an heterogeneous muscle group. *Eur J Appl Physiol* **61**: 81-7, 1990.
7. Gamet D, Duchene J, Garapon-Bar C, Goubel F: Electromyogram power spectrum during dynamic contractions at different intensities of exercise. *Eur J Appl Physiol* **61**: 331-7, 1990.
8. Gamet D, Maton B: The fatigability of two agonistic muscles in human isometric voluntary submaximal contraction: an EMG study. I. Assessment of muscular fatigue by means of surface EMG. *Eur J Appl Physiol* **58**: 361-8, 1989.
9. Gerdle B, Henriksson-Larsen K, Lorentzon R, Wretling ML: Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type. *Acta Physiol Scand* **142**: 457-65, 1991.

10. Green HJ: Chapter 4 in: *Human Muscle Power*. NL Jones, N McCartney, AJ Mccomas, Eds, Illinois, Human Kinetics Pub. Inc, 1986.
11. Joynt RL, Findley TW, Boda W, Daum MC. Chapter 25 in: *Rehabilitation Medicine: Principle and Practice*. 2nd ed, JB Delisa, Ed, Philadelphia, Lippincott Company, 1993.
12. Hakkinen K, Komi PV, Alen M: Effect of explosive type strength training on isometric force and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* **125**: 587-600, 1985.
13. Hakkinen K, Komi PV: Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* **55**: 588-96, 1986.
14. Hanten WP, Schulthies SS: Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles. *Phys Ther* **70**: 561-5, 1990.
15. Kalyon TA: *Spor Hekimliği*, 3. Baskı, Ankara, GATA Basımevi, 1995.
16. Kanehisa H, Miyashita M: Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *Eur J Appl Physiol* **50**: 365-71, 1983.
17. Kisner C, Colby LA: *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques*. 6th ed, C Kisner, LA Colby, Eds, Philadelphia, FA Davis Com., 1987.
18. Marshal RN, Elliot BC: *Biomechanical Analysis. Textbook of Science and Medicine in Sports*. J Bloomfield, PA Fricker, KD Fitch, Eds, Blackwell Scientific Pub, 1992, pp. 60-1.
19. Moritani T, Nagata A, Muro M: Electromyographic manifestations of muscular fatigue. *Med Sci Sports Exer* **14**: 198-202, 1982.
20. Petrofsky JS, Lind AR: Frequency analysis of the surface electromyogram during sustained isometric contractions. *Eur J Appl Physiol* **43**: 173-82, 1980.
21. Rodriguez RJ, Rodriguez PR, Cook SD, Sandbom PM: Electromyographic analysis of rowing stroke biomechanics. *J Sports Med Phys Fitness* **30**: 103-8, 1990.
22. Seki K, Miyazaki Y, Watanabe M, Nagata A, Narusawa M. Surface electromyogram spectral characterization and motor unit activity during voluntary ramp contraction in men. *Eur J Appl Physiol* **63**: 165-72, 1991.
23. Valentino B, Gualdiero L, Esposito LC, Melito F: Electromyographic analysis of some muscles in cycling athletes. *J Sport Med* **26**: 146-8, 1986.
24. Weir JP, Housh TJ, Weir LL: Electromyographic evaluation of joint angle specificity and cross-training after isometric training. *J Appl Physiol* **77**: 197-201, 1994.
25. Weir JP, Housh TJ, Weir LL, Johnson GO: Effects of unilateral isometric strength training on joint angle specificity and cross-training. *Eur J Appl Physiol* **70**: 337-43, 1995.