

Elektromyostimülasyon Antrenmanlarının Nöral Adaptasyon ve Sportif Performans Üzerine Etkileri

The Effects of Electromyostimulation Training on Neural Adaptation and Sports Performance

Derleme Makale

Mehmet KALE, Celil KAÇOĞLU, Barış GÜROL
Anadolu Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü

ÖZ

Başlangıçta rehabilitasyon ve tedavi amaçlı olarak uygulanan elektromyostimülasyon (EMS) daha sonra popüler bir antrenman yöntemi olarak antrenörlerin, sporcuların ve spor bilimcilerin ilgisini çekmiştir. EMS, kas dokusu ya da motor noktalar üzerine uygulanan elektriksel akımlar olarak tanımlanabilir. Elektriksel uyarılı ve istemli kasılmalar sırasında kaslar farklı şekilde aktive olmaktadır. Yapılan çalışmalar EMS antrenmanlarının kas hipertrofisi için gereken kas kuvvetini daha kısa zamanda arttırdığını ve istatistiksel olarak anlamlı bir hipertrofi olmaksızın artan kuvvetin nöral gelişimin en önemli kanıtı olduğunu göstermektedir. EMS antrenmanlarının maksimal istemli kuvvette artış sağlaması spinal ve supraspinal merkezlerden aktif kaslara olan nöral sürüşte, spinal uyarılabilirlikte,

ABSTRACT

Electromyostimulation (EMS), being applied for rehabilitation and treatment, attracted to the trainers, athletes and sport scientists as a popular training method. EMS can be defined as electrical currents are applied to the muscle tissue or motor points. The muscles are activated in different ways during voluntary and electrically evoked contractions. Past studies showed that EMS training increases muscular strength less time is required for muscle hypertrophy and also strength development without a statistically significant hypertrophy is the most important evidence of neural adaptations. Therefore, EMS training brings to mind the possibility of an increase in magnitude of neural output from spinal and supraspinal centers to active muscles, spinal plasticity, amount of activated motor units and synchronisation. In addi-

aktive olan motor ünite miktarında ve senkronizasyonunda artış olasılığını da akla getirmektedir. Bunun yanında ünilateral uygulanan EMS antrenmanlarının kontralateral homolog kasta da kuvvet artışları sağlanması EMS antrenmanlarının supraspinal merkezleri ve farklı kortikal bölgeleri etkilediğini göstermektedir. Bu kapsam dahilinde yapılan çalışmaların ışığında derlemenin amacı EMS antrenmanlarına dayalı nöral adaptasyonlar ve EMS antrenmanlarının sedanter ve sporcuların sportif performanslarında meydana getirdiği etkileri incelemektir.

Anahtar Kelimeler

Elektromyostimülasyon, Motor ünite, Nöral sürüş, Hipertrofi, Sportif

Key Words

Electromyostimulation, Motor unit, Neural drive, Hypertrophy, Sports performance

Giriş

Elektriksel akımların etkisiyle kasta kasılma meydana geldiğini ilk defa Luigi Galvani 1790 yılında ifade etmiştir. Sonrasında ise elektrik stimülasyonu gündemde kalmış, gittikçe artan bir şekilde ilgi odağı haline gelmiş ve çeşitli akım tipleri, farklı hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır (Kırdı, 1998). Sporda EMS'ye olan ilgi Rus bilim adamı Yakov Kots'un liderliğini yaptığı bir ekibin 1977 yılında üst düzeyde antrene sporcularda kısa süreli ve yüksek frekanslı elektriksel kas uyarımı antrenmanı ile önemli kuvvet kazanımları (+%40) elde edildiğini belirten çalışması sonrası artış göstermiştir (Ward ve Shkuratova, 2002).

Sinir ve kasların deri üzerinden elektrotlar aracılığıyla farklı frekans (Hz) ve şiddetteki (mA) elektrik akımları kullanılarak uyarılma yöntemi olan EMS istemli kasılmalar sırasındaki nöromusküler iletim hızında değişikliklere neden olur (Marqueste ve diğ., 2003). Genellikle dışsal direnç olmaksızın izometrik kas kasılmaları sırasında uygulanan EMS'nin maksimal istemli kasılma kuvvetinde ve kasın kesit alanında anlamlı artışlar sağladığını gösteren çalışmaların olmasına dayalı olarak cerrahi müdahale sonrası kuvvet kayıplarının geri kazanılması, sağlıklı bireylerde ise mevcut kas kuvvetini arttırmaya yönelik kuvvet antrenmanlarının bir parçası olarak

tion, unilateral EMS training increases in contralateral homologous muscle strength that shows EMS training influences in supraspinal centers and different cortical regions. The purpose of this review was to investigate of neural adaptation related to EMS training and effects of EMS training for sedentary people and athletes in their sport performances.

sporitif performansı geliştirme amacıyla kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Holcomb, 2006).

EMS uygulamalarının kas kuvvetinde gelişim sağlamakla birlikte bu gelişimin istemli egzersizlerden fazla olmadığını belirten bazı çalışmalar bulunmaktadır (Garhammer, 1983; Hainaut ve Duchateau, 1992; Holcomb, 2005; Sanchez ve diğ., 2005; Seyri ve Maffiuletti, 2011). Gondin ve diğ. (2006) EMS ile kuvvet artışına paralel olarak kas aktivasyonunda (elektromiyografi) ve kasın çapraz kesit alanında artışlar ortaya çıktığını, antrenman kesildiğinde klasik ağırlık antrenmanlarına benzer geri dönüşüm meydana geldiğini belirlemiştir.

Bunun yanısıra Marqueste ve diğ. (2003) ve Jubeau ve diğ. (2006) EMS antrenmanlarının (6 hafta) kas fonksiyonunda artış ve merkezi kas aktivasyonunda değişimler ortaya çıkararak maksimal istemli kasılmayı ve yorgunluğa direnci arttırdığı, takip eden 6 haftalık toparlanma sürecinde ise bu kazanımların devam ettiğini bulmuştur. Elit sporcularda antrenman ve müsabaka sonrası dakikalar ve günler süren yorgunluklar oluşabildiğinden EMS uygulamalarına bağlı olarak egzersiz sonrası performans yenilenmesi için artan kas kan akışıyla kas metabolitlerinin giderilmesinde hızlanma ve stimülasyonun analjezik

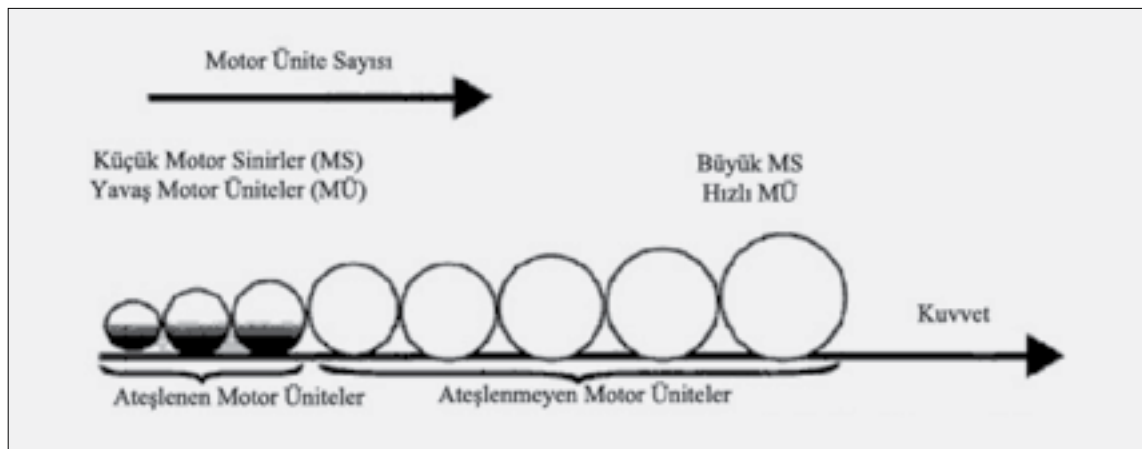
etkisiyle kas ağrısının azalması gibi etkiler de beklenmektedir (Babault ve diğ., 2011).

EMS'nin teorik olarak tek avantajı istemli olarak aktive edilmesi zor olan hızlı motor üniteleri aktive etmesidir. Şekil 1'de görülen istemli kasılmalar sırasındaki normal motor ünite sayısındaki boyut prensibi (Henneman ve diğ., 1965a; 1965b; Mendell, 2005) EMS sırasında farklılık göstermektedir (Zatsiorsky ve Kraemer, 2006; Delitto ve Snyder-Mackler, 1990). Bu boyut prensibine göre istemli kas kasılmaları sırasında motor ünite katılımındaki ilerleme küçük ünitelerden (daha az sayıda, daha küçük çaplı, yorgunluğa daha dirençli, yavaş kasılan fibriller) büyük ünitelere (daha çok sayıda, daha büyük çapta, çabuk yorulan, hızlı kasılan fibriller) doğrudur (Henneman ve diğ., 1965a, 1965b; Dudley ve Stevenson, 2008). EMS sırasında ise motor ünite sayısında bu tür bir sıralama ve seçicilik olmadığından motor ünitelerin sıralama ve seçicilik olmaksızın senkronize katılımı söz konusudur (Gregory ve Bickel, 2005, Bickel ve diğ., 2011).

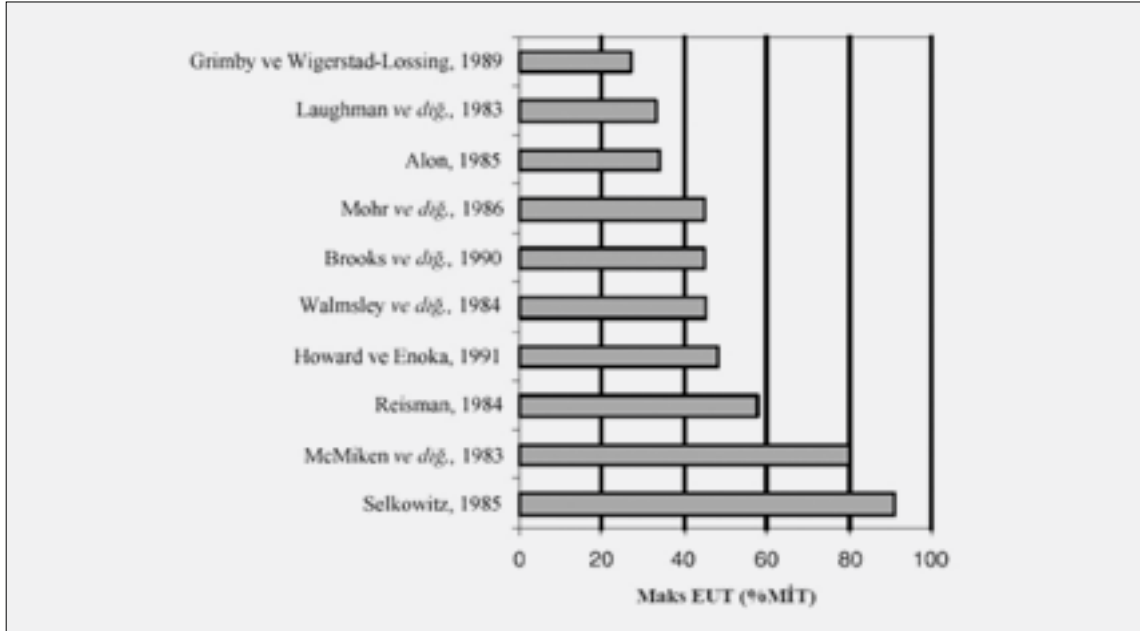
Büyük motor ünitelerin büyük çaplı aksonlarındaki ranvier boşumlarının küçük aksonlara göre daha geniş aralıklarla sıralanması nedeniyle hücre zarının voltaj değişimi artmaktadır ve EMS sırasında dışsal olarak uygulanan elektriksel akımlar küçük motor ünitelere göre daha düşük elektriksel akımlarla aktive olmaktadır (Solomonow ve diğ., 1986; Peckham ve Knutson, 2005). Bu düşük eşik değerleriyle kastaki motor ünitelerin aktive olduğu

seçici olmayan ve senkronize olan bir katılım meydana gelir (Vanderthommen ve Duchateau, 2007; Gregory ve Bickel, 2005, Bickel ve diğ., 2011). Hızlı kasılan motor liflerin çoğu süperfisyalde yer almasına rağmen kasın elektrik akımıyla aktive edilmesi sırasında kasın tümü aktive olmaktadır. Bu şekilde EMS ile hızlı motor ünitelerin aktivasyonunu kolaylaştırmak amaçlanır (Gregory ve Bickel, 2005; Zatsiorsky ve Kraemer, 2006; Fuentes ve diğ., 1998; Geoffrey ve Giovanni, 1986; Knaflitz ve diğ., 1990).

Motor ünite katılımının Henneman ve diğ. (1965a; 1965b) ile Mendell (2005)'in çalışmasında istemli kasılmalarda seçici senkronize olduğu belirtilmişken Collins (2007), Gregory ve Bickel (2005), Bickel ve diğ. (2011), Jubeau ve diğ. (2007)'in çalışmasında EMS'ye dayalı kasılmalarda seçici olmayan senkronize olduğu belirtilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere yapılan çalışmalar EMS'ye dayalı kasılmaların maksimal istemli kasılmanın %25-90'ı arasında kasılma şiddeti ortaya çıkarabildiğini ve EMS ile ortaya çıkan bu kasılma şiddetinin istemli kasılmaların şiddetine ulaşamadığını göstermektedir (Vanderthommen ve Duchateau, 2007). EMS'de kas aktivasyonu hedef kasa odaklıdır ve uygulanan akım elektrotların altındaki bölgelerde bulunan motor akson dallarını aktive ederken istemli kasılmalarda kas aktivasyonu sinerjist olup uyarılar kas içi sinir dallarıyla iletilir (Maffiuletti, 2010; Hortobágyi ve Maffiuletti, 2011). EMS antrenmanı genelde izometrik kasılmalar



Şekil 1. Henneman'ın Boyut Prensibi (Zatsiorsky ve Kraemer, 2006)



Şekil 2. Quadriceps femoris kasına transkutenöz uygulanan EMS'yle kasılma tork değerleri (Maks EUT)'nin maksimal istemli kasılma tork değerleri yüzdesine (%MİT) dayalı grafiği (Vanderthommen ve Duchateau, 2007).

üzerine uygulanması nedeniyle eklem hareketi içermediğinden agonist-antagonist kas uyumu oluşmamaktadır (Hainaut ve Duchateau, 1992; Holcomb, 2005; Maffiuletti ve diğ., 2002a). Bu bulgulardan hareketle istemli kasılmalar ve EMS yoluyla ortaya çıkan kasılmalar arasında farklılıklar olduğu belirtilebilir.

EMS'nin istemli antrenmanlarla birlikte ya da istemli antrenmanlarla kombine uygulandığında yüksek eşikli motor ünitelerin aktive edilmesinde etkili olabileceğini belirten çalışmalar vardır (Trimble ve Enoka, 1991; Maffiuletti ve diğ., 2002b; Deley ve diğ., 2011). Aynı şiddetteki istemli kontraksiyonlarla karşılaştırıldığında EMS sırasında aktive olan motor ünite sayısının daha düşük olduğu görülmektedir (Jubeau ve diğ., 2010). EMS'nin kas kontraksiyon kuvvetini sinirsel süreçlerde değişiklik olmadan kas uyarılması ve kasılmasının iyonik zar mekanizmalarındaki hücre içi faaliyetler yoluyla arttırdığı, submaksimal EMS ile istemli antrenmanlar karşılaştırıldığında EMS antrenmanlarıyla ortaya çıkan çevresel değişimlerin daha az olduğu, iki şekilde de antrene olan motor ünite sayısı ve tiplerinin farklı olmasından dolayı EMS'nin istemli

antrenmanları tamamlayıcı rolü olduğu belirtilmektedir (Duchateau ve Hainaut, 1988).

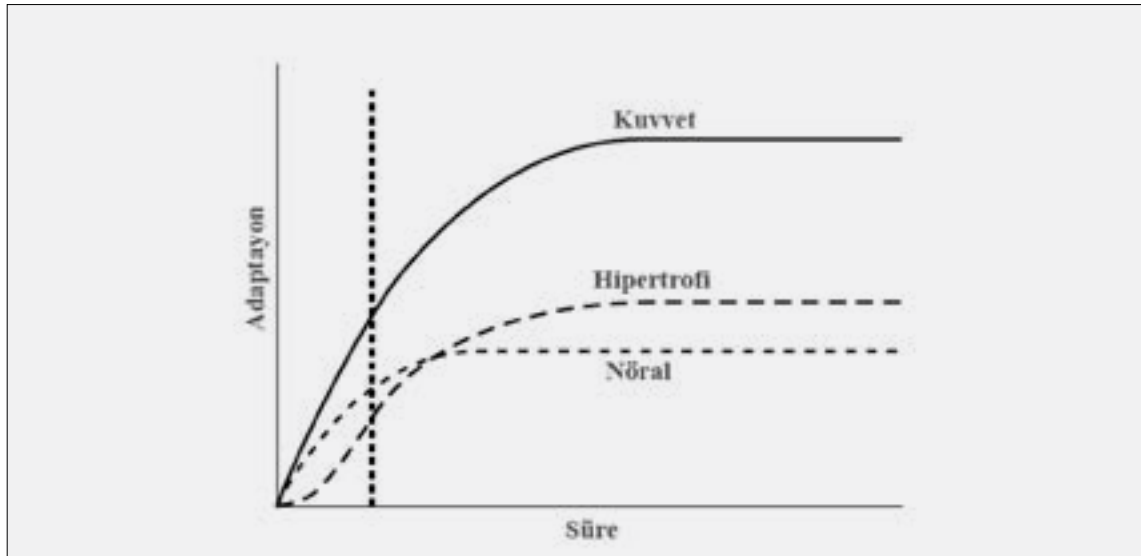
EMS sırasında normal motor ünite aktivasyon sırasının tersine dönerek hızlı motor ünitelerin öncelikli olarak aktive edildiği fenomenini savunan araştırmalar (Delitto ve Snyder-Mackler, 1990; Enoka, 2002; Feiereisen ve diğ., 1997; Sheffler ve Chae, 2007; Sinacore ve diğ., 1990; Trimble ve Enoka, 1991; Maffiuletti ve diğ., 2002a; Ward ve Shkuratova, 2002; Zatsiorsky ve Kraemer, 2006; Paillard, 2008) bulunduğu gibi seçici olmayan, senkron motor ünite katılımının olduğunu savunan araştırmalar (Gregory ve Bickel, 2005; Seyri ve Maffiuletti, 2011; Maffiuletti, 2010) ve motor ünite katılımının istemli kasılmalara benzer olduğunu belirten araştırmalar (Binder-Macleod ve diğ., 1995; Knafitz ve diğ., 1990) da bulunur. Bununla beraber elektriksel uyarılı ve istemli kasılmalar sırasındaki motor ünite katılımı arasında kesin ayrılıkların olmadığı konusunda tartışmalar ortaya koyan araştırmalar (Sanchez ve diğ., 2005; Dudley ve Stevenson, 2008) da vardır.

EMS ANTRENMANLARINA DAYALI NÖRAL ADAPTASYONLAR

Antrenman geçmişi olmayan deneklerde istemli ilk birkaç antrenman sonrası kuvvette ortaya çıkan hızlı gelişme bu periyot sırasında kas kütlelerinde herhangi bir gelişim ortaya çıkmadığından dolayı nöral adaptasyonla açıklanmaktadır (Zhou, 2003; Folland ve Williams, 2007). Bu nöral adaptasyon merkezi sinir sisteminden aktif kaslara olan efferent çıktıda artış sağlayan nöral sürüş miktarındaki bir gelişim olarak yorumlanmaktadır (Gabriel ve diğ., 2006). Bunun yanında konsantrik tek bir ağırlık kaldırma egzersizi sonucunda miyojenik yanıtlar (Tamaki ve diğ., 2000), 1 hafta süreli eksantrik egzersiz sonucunda kas aktivasyonu ve kas kuvveti artışı ortaya çıkabilmektedir (Hortobágyi ve DeVita, 2000). Kronik uygulanan istemli kuvvet antrenmanlarında kas kuvveti çeşitli nörolojik ve morfolojik adaptasyonlarla artar. Şekil 3'de görüldüğü gibi antrenmanların ilk dönemlerinde nöral adaptasyonlar daha baskın iken ilerleyen dönemlerde nöral adaptasyonlar plato oluşturmakta, kassal adaptasyonlar (hipertrofi, metabolik ve kontraktıl özellikler) baskınlık kazanmakta ve belirli bir dönem sonrasında kassal adaptasyonlar da plato oluşturmaktadır (Sale, 2003; Farthing, 2009).

Sadece birkaç EMS kuvvet antrenmanı sonucu istemli kuvvet antrenmanlarına benzer şekilde hipertrofi olmaksızın maksimal istemli kasılma kuvveti artışları görülür (Hortobágyi ve Maffiuletti, 2011). Birçok EMS araştırması (Gondin ve diğ., 2005; Malatesta ve diğ., 2003; Maffiuletti ve diğ., 2002a, 2002b, 2003) sonucunda anlamlı kas hipertrofisi olmaksızın ortaya çıkan maksimal istemli kasılma (MİK) kuvveti artışları EMS'de nöral adaptasyonların etkili olduğu fikrini desteklemektedir. Üç haftalık EMS antrenmanı sonrası buz hokeycilerde (Brocherie ve diğ., 2005) ve yüzücülerde (Pichon ve diğ., 1995) görülen kuvvet, sürat ve spora özgü performans artışlarının hipertrofi oluşması için gerekenden (8-12 hafta) (Gabriel ve diğ., 2006; Folland ve Williams, 2007) daha kısa sürede ortaya çıkması istemli egzersizlerde olduğu gibi EMS'de de nöral faktörlerin katkısını akla getirmektedir.

Farthing (2009) ünilateral istemli kuvvet antrenmanlarının fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) çalışmalarıyla antrenmansız olan bir kas grubunun karşı vücut yarısındaki eşini ifade eden kontralateral homolog kasta da kuvvet kazanımları sağlamasına dayalı olarak kuvvet antrenmanlarının kortikal mekanizmalar üzerine etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanında Dragert ve Zehr (2011)'in



Şekil 3. İstemli kuvvet antrenmanlarında nöral ve kassal adaptasyonların rolü (Sale, 1988'den revize edilmiştir.)

çalışmasında 5 hafta yapılan yüksek şiddetli istemli ünilateral dorsifleksiyon kuvvet antrenmanı sonucunda ünilateral antrenmanların agonist antagonist spinal adaptasyonlar sağladığı bulunmuştur. İstemli kuvvet antrenmanlarında olduğu gibi ünilateral EMS antrenmanlarında da antrenmansız uzuvda hipertrofisiz kuvvet gelişiminin ortaya çıkması elektriksel uyarılarda nöral adaptasyonların etkin mekanizma olduğunu ortaya koymaktadır (Bezerra ve diğ., 2009).

Kısa süreli (4 hafta) EMS antrenmanları sonucunda ortaya çıkan kuvvet artışlarını hipertrofidan çok nöral faktörlere bağlayan (Martin ve diğ., 1993; Singer, 1986) ve bu tür bir program sonucu sinir sisteminde meydana gelen fonksiyon değişikliklerinin supraspinal merkezlerden kaslara olan efferent motor çıktılarının nöral sürüş miktarındaki artıştan kaynaklandığını belirten araştırmalar (Maffiuletti ve diğ., 2002a; Gondin ve diğ., 2005, 2006a, 2006b) vardır. EMS afferent ve efferent uyarılara sebep olarak ekstremiteyle ilgili propriyoseptif girdi oluşmasını sağlamaktadır (Lindquist ve diğ., 2007). EMS ile uyarılan duyuşal reseptörlerden ortaya çıkan aksiyon potansiyelleri afferent yollar aracılığıyla somatosensör kortekse ulaşır. EMS sonucu ortaya çıkabilecek nöral adaptasyonların temelinde de bu somatosensör girdi faktörü önem kazanmaktadır. Ayrıca elektriksel uyarıların motor aksonları da aktive ettiği göz ardı edilmemelidir (Hultman ve diğ., 1983; Gabriel ve diğ., 2006). Bunun yanında 8 haftalık EMS programının ilk 4 haftalık periyodu sonunda hipertrofi meydana gelmezken 8. haftanın sonunda küçük bir artış (% 4) gözlemlenmesi (Gondin ve diğ., 2005) ve yine 8 haftalık EMS antrenmanı sonucunda Tip-I (%12) ve Tip-IIA liflerinde (%23) artışın elde edilmesi (Gondin ve diğ., 2011) uzun süreli EMS antrenmanlarının kas hipertrofisine neden olduğunu da göstermektedir.

Maffiuletti ve diğ. (2006)'nin yaptığı çalışmada EMS antrenmanı sonucunda Tip-I miyozin ağır zincir izoformları (MAZ-I) ve Tip-IIIX miyozin ağır zincir izoformları (MAZ-IIIX)'ndan Tip-IIA miyozin ağır zincir izoformlarına (MAZ-IIA) doğru bir değişimle Tip-IIA izoformlarında artış (Perez

ve diğ., 2002) ve hipertrofi (Tip-I kas fibrilleri: %27, Tip-IIA: %6) ortaya çıkması EMS'nin nöromusküler adaptasyonları tetikleyebileceği düşüncesini desteklemektedir.

Spinal Adaptasyonlar

EMG, kas bölgelerine deri üzerinden yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla aktif motor ünitelerin ortaya çıkarttığı elektriksel uyarıların sayısallaştırması ve bu yolla nöral aktivasyonun tahmin edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. EMG'nin bazı sınırlılıkları bulunsa da nöromusküler sistemin hem periferel hem de merkezi özelliklerini yansıtmada sıklıkla kullanılmaktadır (Farina ve diğ., 2004; 2010). Yedi haftalık EMS antrenmanı sonrası EMG aktivitesinde değişim olmadığını (Colson ve diğ., 2009) ve 8 haftalık EMS sonrası vastus lateralis (%69) ve vastus medialis kaslarının (%39) EMG aktivitesinde artış olduğunu ve rectus femoris kasında değişim olmadığını (Gondin ve diğ., 2005) belirten araştırma sonuçlarına göre EMS'nin kassal aktivasyona etkilerinin farklı olduğu söylenebilir.

Maffiuletti ve diğ. (2002a) kas aktivasyonunu belirleme amaçlı kullanılan noninvaziv bir yöntem olan twitch interpolasyon tekniğini kullandıkları çalışmalarında 4 haftalık EMS antrenmanı sonucunda kas aktivasyonunda artış olduğunu gözlemlenmişlerdir. Twitch interpolasyon tekniği maksimal istemli bir kasılma sırasında bir kasın sinir gövdesine ya da intramusküler sinir dallarına uygulanan supramaksimal bir elektrik stimülasyonu ile istemli olarak aktive edilemeyen motor ünitelerin de aktive edilmesi suretiyle maksimal bir kasılma elde etmeyi amaçlayan bir yöntemdir. İstemli kasılma ve twitch interpolasyon tekniği arasındaki aktive olan motor ünitelerin farkı kasın maksimale oranla istemli aktivasyon oranını vermektedir (Shield ve Zhou, 2004; Yu ve diğ., 2007; Huang ve diğ., 2010). Bu tekniğin uygulandığı Stevens ve diğ. (2004)'nin çalışmasında total diz artroplastisi sonrası uygulanan 6 haftalık EMS antrenmanı ile kuvvet ve aktivasyon kayıpları geri kazanılmıştır.

Beş haftalık EMS antrenmanı sonrasında kuvvette, EMG aktivitesinde, V-dalgası genli-

ğinde artış ve EMS antrenmanından sonraki 5 haftalık antrenmansız dönem sonunda bu kazanımların düşüş göstermemesi (Gondin ve diğ., 2006b) EMS antrenmanlarının uzun süreli nöral adaptasyonlar sağladığını göstermektedir.

İstemli egzersizler gibi EMS antrenmanlarıyla kas aktivasyonlarında artışın EMG ölçümüyle (Maffiuletti ve diğ., 2002a), twitch interpolasyon ölçümüyle (Maffiuletti ve diğ., 2002a; Stevens ve diğ., 2004), V-dalgası (istemli) genlik ölçümüyle (Gondin ve diğ., 2006a, 2006b) ortaya çıkması, 4 haftalık EMS antrenmanları sonucu kuvvet artışı, 8 haftalık EMS antrenmanları sonucu hipertrofi sağlanması (Gondin ve diğ., 2005) ve ünilateral EMS antrenmanları sonrası kontralateral homolog kasta istemli kuvvet kazanımları (Singer, 1986; Farthing, 2009) elde edilmesi EMS'nin nöral adaptasyonlar aracılığıyla kuvvet artışı sağladığı fikrini desteklemektedir.

Supraspinal Adaptasyonlar

EMS hem motor hem de duyuşal nöronları aktive ettiği (Collins ve diğ., 2001; Hultman ve diğ., 1983) gibi supraspinal merkezleri de aktive etmektedir (Han ve diğ., 2003; Smith ve diğ., 2003; Collins ve diğ., 2001; Aagaard ve diğ., 2002; Smith ve Motl, 2005). Somatosensör girdiler motor kortikal uyarılabilirlikte değişimlere neden olmaktadır (Kaelin-Lang ve diğ., 2002; Koesler ve diğ., 2009; McDonnell ve Ridding, 2006; Ridding ve diğ., 2000; 2001). EMS'nin neden olduğu somatosensör uyarılar Kaelin-Lang ve diğ. (2002)'e göre vücudun farklı bölgelerinin motor kontrolünden sorumlu olan motor korteksin belirli bölgelerini temsil eden somatotopik etkiyle serebral korteks ve motor nöranlarla ilgili olan kortikomotonöral uyarılabilirliği arttırmaktadır. Aagaard ve diğ. (2002), Hortobágyi ve Maffiuletti (2011)'nin çalışmasında EMS ile uyarılan duyuşal reseptörlerde ortaya çıkan aksiyon potansiyellerinin çıkan yönlü afferent yollar aracılığıyla somatosensör kortekse ulaştığı ve EMS sonucu ortaya çıkabilecek nöral adaptasyonların temelinde bu somatosensör girdilerin bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca periferel sinirlere deri üzerinden uygulanan elektriksel stimülasyonun

(NMES) ortaya çıkardığı somatosensör uyarılar felçi bireylerde motor performansı arttırmakta ve kortikal uyarılabilirlikte değişimlere neden olmaktadır (Kimberley ve diğ., 2004). EMS'nin motor fonksiyon artışı sağlayan kortikal sensör alanları uyarmada önemli rolü bulunmaktadır.

Somatosensör girdilerdeki değişim sağlıklı ve beyin hasarı olan bireylerde kortikal organizasyonu etkilemektedir. Tekrarlı kortikal stimülasyon ve farmakolojik manipülasyonların neden olduğu afferent sensör girdiler somatosensör korteksin ve motor korteksin temsili haritasında değişimler meydana getirebilmektedir (Nudo ve diğ., 2001).

Median sinire uygulanan NMES sırasında kontralateral primer sensörimotor korteks (sensör ve primer motor) fMRI sinyalinde aktivite artışları (Spiegel ve diğ., 1999) yine median sinirin farklı frekanslarda (5/15/40/100Hz) stimülasyonu sırasında yüksek frekanslara doğru primer sensörimotor korteks BOLD-fMRI (kan oksijenasyon düzeyine bağımlı-fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) sinyalinde lineer artışlar (Kampe ve diğ., 2000), 3 haftalık somatosensör elektriksel stimülasyon sonrası el ve ön kol kortikal motor harita reprezentasyonunda artış (Meesen ve diğ., 2011) olduğunu gösteren araştırma sonuçları periferel uygulanan EMS'nin serebral kortekse direkt etkisi olabileceğini göstermektedir. Bunu destekler nitelikte olan diğer bir EMS çalışmasının fMRI verilerine göre anlamlı oranda kontralateral primer sensörimotor korteks aktivasyonu, bilateral ya da kontralateral suplementer motor alan aktivasyonu sağladığını ve primer sensör kortekste aktif piksel sayısının primer motor korteksten küçük bir oranda fazla olduğunu ve buna göre NMES'in serebral kortekse direkt etkisi olduğu sonucuna varmışlardır (Han ve diğ., 2003).

EMS serebral aktivite ve sensörimotor bağlantılarda aktivasyon sağlamaktadır (Blickenstorfer ve diğ., 2009). EMS'nin şiddetiyle spesifik beyin bölgelerinin aktivasyonu arasında doz-cevap ilişkisi bulunmakta ve uyarı şiddetinde artışla birlikte aktivasyon volümünde artışlar ortaya çıkmaktadır (Smith ve diğ., 2003). Buna göre EMS'nin neden olduğu somatosensör girdiler elektriksel uyarının

şiddetiyle orantılı olarak beynin farklı alanlarında aktivasyonlar ortaya çıkarmaktadır.

Düşük ayak elektromyostimülatörlerinin yürüyüş sırasında kullanımı (3-12 ay) sinir sistemi rahatsızlığı olan bireylerin motor uyarılmış potansiyellerini (MUP, Motor korteks üzerine uygulanan transkraniyal manyetik beyin stimülasyonu) ve MİK kuvvetini arttırmaktadır. Bu MUP ve MİK artışları düşük ayak stimülatörlerinin düzenli kullanımının motor kortikal alanların aktivasyonunu ve bununla ilgili inen yönlü nöral sürüşte artışlar sağladığını göstermektedir (Everaert ve diğ., 2010; Stein ve diğ., 2010).

Francis ve diğ. (2009)'nin çalışmasına göre aktif ve EMS uyarılı ayak bileği dorsifleksiyon (DF) hareketi sırasında aktive olan voksel (2 boyutlu olan pikselin 3 boyutlu karşılığı) sayısının pasif DF hareketi sırasında aktive olanlardan fazla olduğunu ve bunun yanında EMS uyarılı DF sırasındaki supraspinal aktivasyonun aktif DF hareketi sırasındakinden daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir ve bunun EMS sırasındaki sensör katılım artışından ve EMS nedenli bir tür ağrısız algılama olan nosiseptif girdi olasılığından kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.

Peroneal sinire dinlenik uygulanan EMS'nin (+%38) istemli ayak bileği DF hareketinin (+%35) ve EMS ile kombine istemli DF hareketinin (+%66) MUP üzerine etkileri vardır. Bu veriler EMS'nin motor uyarılabilirliğe olan etkilerinin EMS sırasındaki eşzamanlı motor kortikal sürüşe bağlı olduğunu ve bu faktörlerin kombinasyonunun nöral uyarılabilirliğe ve reorganizasyona neden olabileceğini ortaya koymaktadır. Buna göre kortikal uyarılabilirlik EMS sırasındaki istemli kortikal sürüşten etkilenmektedir (Khaslavskaja ve Sinkjaer, 2005).

Ridding ve diğ. (2000) elektriksel stimülasyonun el kasları kortikospinal uyarılabilirliğinde uyarılan bölgeye özel değişikliklere neden olabileceğini ortaya koymuşlardır. NMES sonrasında daha büyük MUP ortaya çıktığı ve uzun süreli (2 saat) elektriksel stimülasyonun kortikospinal uyarılabilirlikte bir artış sağladığı belirtilmiştir (Ridding ve diğ., 2001).

Bu sonuçlara dayanarak elektriksel uyarılar aracılığıyla artan sensör girdilerin serebral korteksin motor alanlarında, dolayısıyla motor fonksiyonlarda değişimler sağlayabileceği söylenebilir (Hamdy ve diğ., 1998). Yapılan çalışmaların büyük bir kısmı da EMS'nin sensör ve motor korteksi aktive ettiğini ortaya koyar niteliktedir (Tablo 1).

EMS ANTRENMANLARINA DAYALI SPORTİF PERFORMANS Spor Branşlarına Özel Uygulanmış EMS Antrenmanlarının Etkileri

EMS antrenmanı ile yapılan çalışmalarda sıçrama performansının geliştiği (Babault ve diğ., 2007; Deley ve diğ., 2011; Herrero ve diğ., 2006; Maffiuletti ve diğ., 2000, 2002b, 2009; Malatesta ve diğ., 2003; Marqueste ve diğ., 2010; Willoughby ve Simpson, 1998), kuvvet gelişiminin olduğu (Babault ve diğ., 2007; Brocherie ve diğ., 2005; Deley ve diğ., 2011; Maffiuletti ve diğ., 2000, 2002a, 2002b, 2009; Pichon ve diğ., 1995; Willoughby ve Simpson, 1996, 1998), branşa özel teknik becerilerin geliştiği (Billot ve diğ., 2010; Hettinga ve Andrews, 2007; Pichon ve diğ., 1995) desteklenmiştir.

Yapılan çalışmalar süre açısından değerlendirildiğinde EMS antrenmanı uygulamaları ≤ 3 hafta olarak kısa süreli, ≥ 12 hafta olarak uzun süreli uygulamalar olarak değerlendirilmektedir (Seyri ve Maffiuletti, 2011). Basketbolcularda 4 hafta, haftada 3 kez (Maffiuletti ve diğ., 2000), 6 hafta, haftada 3 kez (Willoughby ve Simpson, 1996), voleybolcularda 4 hafta, haftada 3 kez (Malatesta ve diğ., 2003; Maffiuletti ve diğ., 2002b), 4 hafta, haftada 4 kez (Herrero ve diğ., 2006), 4 hafta, haftada 10 kez (Marqueste ve diğ., 2010), yüzücülerde 3 hafta, haftada 3 kez (Pichon ve diğ., 1995), tenis oyuncularında 3 hafta, haftada 3 kez (Maffiuletti ve diğ., 2009), buz hokeyi oyuncularında 3 hafta, haftada 3 kez (Brocherie ve diğ., 2005), futbolcularda 5 hafta, haftada 3 kez (Billot ve diğ., 2010), elit rugby oyuncularında 12 hafta olacak şekilde ilk 6 hafta haftada 3 kez, son 6 hafta haftada 1 kez (Babault ve diğ., 2007), jimnastik sporcularında 6 hafta olacak şekilde ilk 3 hafta haftada 3 kez, son 3 hafta haftada

Tablo 1. Elektriksel stimülasyonun nöral etkileri

Yıl	1.Yazar	Katılımcılar	Uygulama	Süre (Hafta/tekrar)	EMS Parametreleri	Sonuç
1988	Delitto	Menisküs operasyonu geçirenler	İzometrik Quadriceps	3 (5)	250 →sn, 50 Hz 60 uyarım	Kuvvet ↑ EMS > İstemli egzersiz
1995	Pichon	Yüzücüler	İzometrik Latissimus Dorsi	3 (3)	300 →sn, 80 Hz 27 uyarım	İzometrik Kuvvet ↑, Eksantrik Kuvvet ↑, Konsantrik Kuvvet ↑ Yüzme Sprint ↑
1996	Lieber	Menisküs operasyonu geçirenler	İzometrik Quadriceps	4 (5)	250 →sn, 50 Hz 60 uyarım	Kuvvet ↑ EMS=İstemli egzersiz
1999	Spiegel	Sağlıklı bireyler	Median sinir stimülasyonu (El bileği)	Akut	200 →sn, 0.5-2 Hz	fMRI Sinyali: Kontrolateral primer somatosensör korteks aktivasyonu (St) ↑ Kontrolateral primer motor korteks aktivasyonu (MI) ↑
2000	Kampe	Sağlıklı bireyler	Median sinir stimülasyonu (El bileği)	Akut	200 →sn 5/15/40/100 Hz	BOLD-fMRI Sinyali (Artan frekansla orantılı artan): Primer somatosensör korteks aktivasyon ↑, Doku perfüzyonu ↑
2000	Ridding	Sağlıklı bireyler	Ulnar sinir	Akut, 1.5 saat	10 Hz, 500 ms	MUP ↑, Kortikal uyarlabilirlik ↔
2001	Ridding	Sağlıklı bireyler	Ulnar ve radial sinir	Akut, 2 saat	10 Hz, 1 ms	MUP ↑, Kortikospinal projeksiyon uyarlabilirliği ↑
2002a	Maffioletti	Sağlıklı erkek	İzometrik Plantar Fleksör (PF)	4 (4)	400 →sn, 75 Hz 45 uyarım	İzometrik PF kuvveti ↑, EMG aktivitesi ↑, Kas aktivasyonu ↑, M-Dalgası Amplitüdü ↔, Post-aktivasyon Potansiyeli ↑
2002	Perez	Sedanter	İzometrik Vastus Lateralis,	6 (3)	300 →sn, 45-60 Hz, 90 uyarım	MAZ-I ↓, MAZ-IX ↓, MAZ-IIA ↑
2003	Han	Sağlıklı bireyler	El bileği ekstansör kasları (Sağ el)	Akut (1s akım 1s dinlenme)	200 →sn, 30 Hz	fMRI Sinyali: Primer motor korteks aktivasyonu ↑ Primer sensör korteks aktivasyonu ↑
2003	Smith	Sağlıklı bireyler	Dominant Quadriceps	Akut	Mevcut değil	BOLD-fMRI Sinyali (Artan akım şiddetiyle orantılı artan): Primer sensör ↑, Primer motor ↑, Singulat korteks ↑, Talamus ↑, Serebellum ↑ Aktivasyon Volümü: Serebellum ↑, Singulat korteks ↑, Primer sensör ↑, Primer motor ↑ El fonksiyonları ↑ Kortikal aktivasyon: Kortikal aktivasyon: Voksel sayısı ↔, Parmak izleme testi ↑, İpsiateral somatosensör korteks (fMRI görüntüleme) ↑ Objeleri kavrama ve bırakma ↑, İzometrik parmak ekstansiyon kuvveti ↑, Öznel motor aktivite derecelendirme ↑
2004	Stevens	TDA geçirmiş bireyler	Zayıf olan Quadriceps, Süperimpoze	6 (3)	50 Hz, 10 uyarım	Kuvvet ↑ EMG aktivasyonu ↑
2005	Brocherie	Buz hokeyciler	Quadriceps	3 (3)	250 →sn, 85 Hz 30 uyarım	Kuvvet ↑, Paten Sprint ↑

2005	Gondin	Sağlıklı erkekler	izometrik Quadriceps	8 (4)	400 →sn, 75 Hz 40 uyarım	Kuvvet ↑, Hipertrofi ↔, EMG ↑, V-Dalgası ↑ 8.hafta sonrası : Kuvvet ↑, Hipertrofi ↑, EMG aktivitesi ↔, V-Dalgası ↔
2005	Khaslavskaja	Sağlıklı bireyler	Common peroneal sinir	Akut, 30 dk	1000 →sn, 30Hz 600 uyarım	Dinlenik EMS sırasındaki MUP ↑, İstemli DF sırasındaki MUP ↑ EMS kombine DF sırasındaki MUP ↑, İstemli PF sırasındaki MUP ↓, EMS kombine PF sırasındaki MUP ↓
2006a	Gondin	Sağlıklı erkekler	izometrik Soleus Gastrocnemius	5 (3)	400 →sn, 75 Hz 40 uyarım	Kuvvet ↑, EMG aktivitesi ↑ V-Dalgası ↑
2006b	Gondin	Sağlıklı erkekler	izometrik Plantar Fleksörler	5 (3) + 5 hafta detraining	400 →sn, 75 Hz 40 uyarım	EMS sonrası : Kuvvet ↑, H-Refleksi ↔, M-Dalgası ↔ V-Dalgası ↑, EMG aktivitesi ↑ Detraining sonrası : Tüm parametreler ↔
2006	Maffioletti	Sağlıklı erkekler	Dominant olmayan izometrik Quadriceps	4 (4-5) + 4 hafta detraining	400 →sn, 75 Hz 40 uyarım	Nöral kontrolde spinal ve supraspinal plastik değişiklikler ↑ EMS Sonrası : Dominant olmayan Quadriceps kuvvet ↑, Dominant Quadriceps kuvvet ↑, Kas aktivasyonu ↑, MAZ-IIA ↑, MAZ-IX ↓, MAZ-I ↔, Tip-2A ve Tip-1 tek fibril çapraz kesit alan ↑, Tip-1 Kas gerilimi ↑, Tip-IIA Kas gerilimi ↔, EMG aktivitesi ↑, Post-aktivasyon Potansiyeli ↓ Detraining sonrası : Dominant olmayan Quadriceps Kuvvet ↑, Dominant Quadriceps Kuvvet ↓
2009	Blickenstorfer	Sağlıklı bireyler	El bileği ekstensör ve fleksör kasları	Akut	200 →sn, 20 Hz	BOLD-fMRI Şinyali: Kontralateral primer motor korteks ↑, Primer somatosensör korteks ↑, Premotor korteks ↑ Ipsilateral serebellum ↑, Bilateral sekonder ↑, Somatosensör korteks ↑, Yardımcı motor alan ↑, Anterior singulat korteks ↑ İzometrik kuvvet ↑, Dinamik kuvvet ↑, İzometrik ve dinamik kuvvette EMS > İstemli egzersiz, M-Dalgası ↔, EMG aktivitesi ↔
2009	Colson	Sağlıklı erkekler	izometrik Dirsek Fleksör	7 (3)	240 →sn, 80 Hz 30 uyarım	Yürütme hızı ↑, MUP ↑, MiK ↑, Maksimum M-Dalgası ↑ Motor korteks aktivasyonu ↑, Motor korteksten inen yönlü nöral sürüş ↑
2009	Everaert	Merkezi sinir sistemi rahatsızlığı olanlar	Common peroneal sinir, Tibialis anterior	3-12 ay	Mevcut değil	Aktif voksel sayısı : Aktif DF > Pasif DF EMS > Pasif DF :
2009	Francis	Sağlıklı bireyler	Common peroneal sinir	Akut, Aktif, pasif, EMS uyarılı dorsifleksiyon (DF)	140 →sn	Kontralateral primer motor korteks aktivasyonu ↑, Primer sensör ↑, Sekonder Somatosensör ↑, Yardımcı motor alan ↑, insula ↑, Singulat korteks ↑, Premotor alan ↑, Serebellum ↑ Motor planlama, uygulama ve vizyomotor koordinasyondan sorumlu beyin bölgeleri : Aktif DF > EMS DF
2011	Gondin	Sağlıklı erkekler	izometrik Quadriceps	8 (3)	400 →sn, 75 Hz 40 uyarım	Kuvvet ↑, Tip-IIA fibrilleri ↑, Tip-I fibrilleri ↑ MAZ-IX ↓, MAZ-IIA ↑, MAZ-I ↑, Oksidatif metabolizma ↑
2011	Meesen	Sağlıklı bireyler	Abductor pollicis brevis (Sağ el)	3 (7)	250 →sn, 100 Hz Günlük 60dk Eşik altı uyarılar	El ve ön kol kasları kortikal motor harita reprezentasyonu ↑ MUP ↔

BOLD-fMRI: Kan oksijenasyon düzeyine bağımlı-fonksiyonel rezonans görüntüleme, MUP: Motor uyarılmış potansiyel, MAZ-I: Tip-1 Miyozin ağır zincir,

MAZ-IIA: Tip-IIA Miyozin ağır zincir, MAZ-IX: Tip-IX Miyozin ağır zincir, DF: Dorsal fleksiyon, PF: Plantar fleksiyon, MiK: Maksimal istemli kasılma

Tablo 2. Spor branşlarına özel uygulanmış EMS antrenmanlarının etkileri

Yıl	1.Yazar	Branş	Uygulanan Kas	Süre (Hafta/tekrar)	Antrenman tipi	Sonuç
1995	Pichon	Yüzme	Latissimus Dorsi	3 (3)	300 ↔sn 80 Hz 27 uyarım	Kuvvet ↑ Yüzme performansı ↑
1996	Willoughby	Basketbol	Biceps brachii	6 (3)	0.1 ms 50 Hz	Kuvvet ↑
1998	Willoughby	Atletizm	Quadriceps	6 (3)	0.1 ms 50 Hz	Kuvvet ↑ Sıçrama ↑
2000	Maffiuletti	Basketbol	Quadriceps	4 (3)	400 ↔sn 0-100 mA 100 Hz 16 uyarım	Diz ekstensör kuvveti ↑ Skuat sıçrama ↑
2002b	Maffiuletti	Voleybol	Quadriceps Triceps Surae	4 (3)	400 ↔sn 120 Hz 60-120mA 45 uyarım	Kuvvet ↑ Sıçrama ↑
2003	Malatesta	Voleybol	Quadriceps Triceps Surae	4 (3)	400 ↔sn 0-100 mA 50-120 Hz 20-22 uyarım	Aktif sıçrama ↑ Skuat sıçrama ↑
2005	Brocherie	Buz Hokeyi	Quadriceps	3 (3)	250 ↔sn 85 Hz 30 uyarım	Kuvvet ↑ Sprint ↑
2006	Herrero	Voleybol	Quadriceps	4 (4)	400 ↔sn 0-120 mA 120 Hz 53 uyarım	Dikey sıçrama ↑ Maksimal hızlanma ↑
2007	Babault	Rugby	Quadriceps Triceps Surae Gluteus	6 (3) 6 (1)	400 ↔sn 100 Hz 0-100mA 36 uyarım	Kuvvet ↑ Sıçrama ↑
2009	Maffiuletti	Tenis	Quadriceps	3 (3)	400 ↔sn 0-120 mA 85 Hz 20 uyarım	Kuvvet ↑ Sprint ↑ Sıçrama ↑
2010	Billot	Futbol	Quadriceps	5 (3)	400 ↔sn 100 Hz 60-120Ma 36 uyarım	Kuvvet ↑ Şut performansı ↑
2010	Marqueste	Voleybol	Vastus lateralis Biceps femoris	4 (10)	400 ↔sn 0-100 mA 100 Hz 16 uyarım	Aktif sıçrama ↑ Skuat sıçrama ↑
2011	Deley	Cimnastik	Quadriceps	3 (3) 3 (1)	400 ↔sn 75 Hz 65-120 mA 30 uyarım	Diz ekstensör kuvveti ↑

1 kez (Deley ve diğ., 2011), atletlerde 6 hafta, haftada 3 kez (Willoughby ve Simpson, 1998) şeklinde EMS antrenmanı uygulanmıştır.

Spor branşları ile ilgili yapılan çalışmaların frekans genişlikleri incelendiğinde yüzmede 80Hz (Pichon ve diğ., 1995); basketbolda 50Hz (Willoughby ve Simpson, 1996) ve 100Hz (Maffiuletti ve diğ., 2000); voleybolda 120Hz (Maffiuletti ve diğ., 2002b; Herrero ve diğ., 2006), 50-120Hz (Malatesta ve diğ., 2003), 100Hz (Marqueste ve diğ., 2010); atletizmde 50Hz (Willoughby ve Simpson, 1998) ; buz hokeyinde 85Hz (Brochiere ve diğ., 2005); rugby'de 100Hz (Babault ve diğ., 2007); teniste 85Hz (Maffiuletti ve diğ., 2009); futbolda 100Hz (Billot ve diğ., 2010) ve

cimnastikte 75Hz (Deley ve diğ., 2011) kullanıldığı görülmektedir.

Sedanterlerde EMS Antrenmanlarının Etkileri

Tablo 3'de görüldüğü üzere sedanterlerde EMS antrenmanlarının olumlu sonuçlarının olduğunu destekleyen çalışmaların yanısıra (Laughman ve diğ., 1983; Amiridis ve diğ., 2005; Banerjee ve diğ., 2005; Holcomb, 2006; Paillard ve diğ., 2008; Gulick ve diğ., 2011), EMS antrenmanlarının gelişim sağlamadığını destekleyen çalışmalarda (Venable ve diğ., 1991; Porcari ve diğ., 2002, 2005) bulunmaktadır.

Sağlıklı spor bilimleri öğrencilerinin quadriiceps kasına kas kuvveti ve kas dayanıklılığı için

Tablo 3. Sedanterlerde EMS antrenmanlarının etkileri

Yıl	1.Yazar	Branş	Uygulanan Kas	Süre (Hafta/tekrar)	Antrenman tipi	Sonuç
1983	Laughman	Sedanterler	Quadriceps	5 (5)	2,500 Hz 70 mA	Kas kuvveti ↑
1991	Venable	Üniversite öğrencileri	Quadriceps	5 (3)	200 ↔sec 50 sinyal/sn	Kas kuvveti ↔ Dikey sıçrama ↔ Güç ↔
2002	Porcari	Üniversite öğrencileri	Biceps femoris Quadriceps Biceps Triceps Abdominal	8 (3)	45-110 sinyal/sn 10-30 sn açık 45-30 sn kapalı	Vücut kompozisyonu ↔ Kas kuvveti ↔ Fiziksel görünüm ↔
2005	Banerjee	Sedanterler	Quadriceps Hamstring Gluteal Calf	6 (5)	4 Hz 300 mA	Fiziksel uygunluk ↑
2005	Amiridis	Yaşlılar	Tibialis anterior	4 (4)	300 ↔sec 70 Hz 20-60 mA	Postural salınım ↓
2005	Porcari	Sağlıklı yetişkinler	Abdominal	8 (5)	70 Hz 200 ↔sec	Abdominal kuvvet ↑ Bel çevresi ↓ Vücut ağırlığı ↔ Vücut kitle indeksi ↔
2006	Holcomb	Üniversite öğrencileri	Dirsek fleksörleri	4 (3)	2,500 Hz 90 sinyal/sn 15 sn açık 45 sn kapalı	Maksimal istemli kasılma ↑
2008	Paillard	Üniversite öğrencileri	Quadriceps	5 (3)	450 ↔sec 120 mA 25-85 Hz	Dikey sıçrama ↑
2011	Gulick	Üniversite öğrencileri	Quadriceps	6 (3)	200 ↔sec 50 Hz 50-140 mA	Dikey sıçrama ↑

5 haftalık sürede, haftada 3 kez EMS antrenmanı uygulanmış ve dikey sıçrama ölçümleri sonrası önemli oranda artış görülmüştür (Paillard ve diğ., 2008). Yine sağlıklı üniversite öğrencilerinde quadriceps kasına 6 hafta boyunca, haftada 3 kez uygulanan EMS antrenmanı sonrası dikey sıçrama performansında kontrol grubu ve sıçrama antrenmanı yapan gruba göre daha yüksek sıçrama değerleri bulunmuştur (Gulick ve diğ., 2011).

Banerjee ve diğ. (2005) göre sedanterlerde 6 hafta boyunca (29 seans quadriceps, hamstring, gluteal ve calf kaslarına) uygulanan elektriksel kas uyarımı antrenmanı ve egzersiz programının fiziksel uygunluğu geliştirdiği ve sedanter yetişkin popülasyon için bir antrenman formu olarak kabul edilebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Amiridis ve diğ. (2005) yaşlılara 4 hafta boyunca, haftada 4 kez izometrik dorsifleksiyonda EMS antrenmanı uygulamış, elektromiyografik aktivite ve hareket analizi ile ölçümler yapılmış ve postural salınım ve ayak bileği kaslarının kullanımının azaldığı görülmüştür.

Porcari ve diğ. (2002) sağlıklı üniversite öğrencilerine biceps femoris, quadriceps, biceps, triceps, abdominal kaslarına 8 haftalık sürede, haftada 3 kez elektriksel kas uyarımı antrenmanı uygulamış ve vücut kompozisyonu, kas kuvveti ve fiziksel görünüme önemli etkisi görülmemiştir. Porcari ve diğ. (2005) çalışmasında sağlıklı yetişkinlerin abdominal kaslarına 8 hafta, haftada 5 kez elektriksel kas uyarımı antrenmanı uygulanmış ve abdominal kuvvette artış, bel çevresi ölçümünde azalma, vücut ağırlığında, vücut kitle indeksinde ve skinfold ölçümlerinde anlamlı fark bulunmamıştır. Holcomb (2006) sağlıklı üniversite öğrencilerinin dirsek fleksör kaslarına elektriksel kas uyarımı antrenmanı uygulamış, maksimal istemli kasılmada %20.4 artış bulmuş ve bu sonucun dinamik kas antrenmanın etkisinden daha düşük olduğunu belirtmiştir. Venable ve diğ. (1991) sağlıklı erkek üniversite öğrencilerinde kısa süreli ağırlık antrenmanına ek olarak 5 hafta boyunca, haftada 3 kez elektriksel uyarım antrenmanı uygulamasının kas kuvvetini geliştirmediği, dikey sıçrama performansı ve gücü tek başına etkilemediğini belirtmişlerdir.

Sedanterlerde EMS antrenmanı uygulaması

ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar çıkmasının sebebi uygulanan test ve antrenman protokollerinin standardize edilememesinden kaynaklı olabilir. Ayrıca EMS antrenmanının elit sporcularda sedanterlere oranla performans açısından etkilerinin daha fazla olması, sporcuların normal antrenmanına ek olarak uygulanmasından dolayı olabilir.

SONUÇ

EMS antrenmanı ile kas kuvveti gelişimi sağlamakla birlikte gelişim istemli egzersizden fazla değildir. Kuvvet antrenmanının bir alternatifi olarak kullanılabilir. Yapılan uygulamalardaki farklı sonuçların nedeni test ve antrenman protokollerinin standardize edilememesi olabilir. EMS teknolojisinin gelişimi, taşınabilir ve az maliyetli cihazların artmasıyla birlikte bu antrenman şekline ilgi artmıştır. Sakatlık sonrası ya da zayıf kasları kuvvetlendirmek için fizik tedavide EMS uygulanmaktadır. Ayrıca spor yapmaya vakit ayıramayan sedanterler ve elit sporcular sıklıkla EMS uygulamaları yapmaktadırlar. Aşırı EMS koordinasyonu bozabileceğinden pliyometrik egzersiz gibi teknik çalışmalarla birlikte kullanılmalıdır. EMS uygulamaları özellikle elit sporcularda alternatif bir antrenman yöntemi olup sıçrama, kuvvet ve branşa özel performans gelişimi sağlamaktadır. Tüm bunlara ek olarak nöral faktörlerin kas kuvvetinde önemli rol oynadığı konusu önem taşımaktadır. İstemli kuvvet antrenmanları sinir sisteminin kortikal ve subkortikal bölgelerinde nöral adaptasyonlar sağlamaktadır. EMS uyarılı ve istemli kasılmalar sırasında kaslar farklı şekilde aktive olur. Anlamlı hipertrofi olmaksızın ortaya çıkan kuvvet artışları nöral gelişimin kanıtıdır. EMS antrenmanlarına yanıt olarak kasta ortaya çıkan adaptasyonlar sporcular ve antrenörler için performans gelişimi amaçlı konvansiyonel olmayan bu antrenman yöntemi olarak önem taşımaktadır.

Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Kale

Anadolu Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü

E-posta: mkale@anadolu.edu.tr

Telefon No: 0.222.3350580-6734

Faks No: 0.222.3213564

KAYNAKLAR

1. **Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P.** (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2309-2318.
2. **Amiridis IG, Arabatzis F, Violaris P, Stavropoulos E, Hatzitaki V.** (2005). Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology*, 94(4), 424-433.
3. **Babault N, Cometti G, Bernardin M, Pousson M, Chatard JC.** (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431-437.
4. **Babault N, Cometti C, Maffiuletti NA, Deley G.** (2011). Does electrical stimulation enhance post-exercise recovery? *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2501-2507.
5. **Banerjee P, Caulfield B, Crowe L, Clark A.** (2005). Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. *Journal of Applied Physiology*, 99(6), 2307-2311.
6. **Bezerra P, Zhou S, Crowley Z, Brooks L, Hooper A.** (2009). Effects of unilateral electromyostimulation superimposed on voluntary training on strength and cross sectional area. *Muscle & Nerve*, 40(3), 430-437.
7. **Bickel CS, Gregory CM, Dean JC.** (2011). Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: a critical appraisal. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2399-2407.
8. **Billot M, Martin A, Paizis C, Cometti C, Babault N.** (2010). Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1407-1413.
9. **Binder-Macleod SA, Halden EE, Jungles KA.** (1995). Effects of stimulation intensity on the physiological responses of human motor units. *Med. Sci. Sports Exerc*, 27(4), 556-565.
10. **Blickenstorfer A, Kleiser R, Keller T, Keisker B, Meyer M, Riener R., ve diğ.** (2009). Cortical and subcortical correlates of functional electrical stimulation of wrist extensor and flexor muscles revealed by fMRI. *Human Brain Mapping*, 30(3), 963-975.
11. **Brocherie F, Babault N, Cometti G, Maffiuletti N, Chatard JC.** (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 455-460.
12. **Collins DF, Burke D, Gandevia SC.** (2001). Large involuntary forces consistent with plateau-like behavior of human motoneurons. *The Journal of Neuroscience*, 21(11), 4059- 4065.
13. **Collins DF.** (2007). Central contributions to contractions evoked by tetanic neuromuscular electrical stimulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(3), 102-109.
14. **Colson SS, Martin A, Hoecke JV.** (2009). Effects of electromyostimulation versus voluntary isometric training on elbow flexor muscle strength. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5), 311-319.
15. **Deley G, Cometti C, Fatnassi A, Paizis C, Babault N.** (2011). Effects of combined electromyostimulation and gymnastics training in prepubertal girls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 520-526.
16. **Delitto A, Rose SJ, McKowen JM, Lehman RC, Thomas JA, Shively RA.** (1988). Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Physical Therapy*, 68(5), 660-663.
17. **Delitto A, Snyder-Mackler L.** (1990). Two Theories of Muscle Strength Augmentation Using Percutaneous Electrical Stimulation. *Physical Therapy*, 70(3), 158-164.
18. **Dragert K, Zehr EP.** (2011). Bilateral neuromuscular plasticity from unilateral training of the ankle dorsiflexors. *Experimental Brain Research*, 208(2), 217-227.
19. **Duchateau J, Hainaut K.** (1988). Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(1), 99-104.
20. **Dudley GA, Stevenson SW.** (2008). Use of Electrical Stimulation in Strength and Power Training, in *Strength and Power in Sport*, Second Edition (ed P. V. Komi), Blackwell Science Ltd, Oxford, UK. 426-437.
21. **Enoka RM.** (2002). Activation order of motor axons in electrically evoked contractions. *Muscle Nerve*, 25(6), 763-764.
22. **Everaert DG, Thompson AK, Chong SL, Stein RB.** (2010). Does functional electrical stimulation for foot drop strengthen corticospinal connections? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(2), 168-177.
23. **Farina D, Roberto M, Enoka RM.** (2004). The extraction of neural strategies from the surface EMG. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1486-1495.
24. **Farina D, Holobar A, Merletti R, Enoka RM.** (2010). Decoding the neural drive to muscles from the surface electromyogram. *Clinical Neurophysiology*, 121(10) 1616-1623.
25. **Farthing JP.** (2009). Cross-education of strength depends on limb dominance: implications for theory and application. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(4), 179-187.
26. **Feiereisen P, Duchateau J, Hainaut K.** (1997). Motor unit recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Experimental Brain Research*, 114(1), 117-123.
27. **Francis S, Lin X, Aboushousah S, White TP, Phillips M, Bowtell R., ve diğ.** (2009). fMRI analysis of active, passive and electrically stimulated ankle dorsiflexion. *Neuroimage*, 44(2), 469-479.
28. **Folland JP, Williams, AG.** (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-68.

29. **Fuentes I, Cobos AR, Segade LAD**. (1998). Muscle fibre types and their distribution in the biceps and triceps brachii of the rat and rabbit. *Journal of Anatomy*, 192(2), 203-210.
30. **Gabriel DA, Kamen G, Frost G**. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*, 36(2), 133-149.
31. **Garhammer J**. (1983). An introduction to the use of electrical muscle stimulation with athletes. *NSCA Journal*, 5(4), 44-45.
32. **Geoffrey RS, Giovanni DD**. (1986). Torque production in human upper and lower limb muscles with voluntary and electrically stimulated contractions. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 32(1), 38-49.
33. **Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A**. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(8), 1291-1299.
34. **Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A**. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology*, 97(2), 165-173.
35. **Gondin J, Duclay J, Martin A**. (2006a). Soleus- and gastrocnemii-evoked V-wave responses increase after neuromuscular electrical stimulation training. *Journal of Neurophysiology*, 95(6), 3328-3335.
36. **Gondin J, Duclay J, Martin A**. (2006b). Neural drive preservation after detraining following neuromuscular electrical stimulation training. *Neuroscience Letters*, 409(3), 210-214.
37. **Gondin J, Brocca L, Bellinzona E, D'Antona G, Maffiuletti NA, Miotti D, ve diğ.** (2011). Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: a functional and proteomic analysis. *Journal of Applied Physiology*, 110(2), 433-450.
38. **Gregory CM, Bickel CS**. (2005). Recruitment Patterns in Human Skeletal Muscle During Electrical Stimulation. *Physical Therapy*, 85(4), 358-364.
39. **Gulick DT, Castel JC, Palermo FX, Draper DO**. (2011). Effect of patterned electrical neuromuscular stimulation on vertical jump in collegiate athletes. *Sports Health*, 3(2), 152-157.
40. **Hainaut K, Duchateau J**. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Medicine*, 14(2), 100-113.
41. **Hamdy S, Rothwell JC, Aziz Q, Singh KD, Thompson DG**. (1998). Long-term reorganization of human motor cortex driven by short-term sensory stimulation. *Nature Neuroscience*, 1(1), 64-8.
42. **Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS**. (2003). Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(1), 17-20.
43. **Henneman E, Somjen G, Carpenter DO**. (1965a). Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 599-620.
44. **Henneman E, Somjen G, Carpenter DO**. (1965b). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 560-580.
45. **Herrero JA, Izquierdo M, Maffiuletti NA, Garcia-Lopez J**. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International Journal of Sports Medicine*, 27(7), 533-539.
46. **Hettinga DM, Andrews BJ**. (2007). The feasibility of functional electrical stimulation indoor rowing for high-energy training and sport. *International Neuromodulation Society*, 10(3), 291-297.
47. **Holcomb WR**. (2005). Is neuromuscular electrical stimulation an effective alternative to resistance training. *Strength and Conditioning Journal*, 27(3), 76-79.
48. **Holcomb WR**. (2006). Effect of training with neuromuscular electrical stimulation on elbow flexion strength. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(2), 276-281.
49. **Hortobágyi T, DeVita P**. (2000). Favorable neuromuscular and cardiovascular responses to 7 days of exercise with an eccentric overload in elderly women. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences Medical Sciences*, 55(8), B401-B410.
50. **Hortobágyi T, Maffiuletti NA**. (2011). Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2439-2449.
51. **Huang YM, Hsu MJ, Lin CH, Wei HS, Chang YJ**. (2010). The Non-linear Relationship between Muscle Voluntary Activation Level and Voluntary Force Measured by the Interpolated Twitch Technique. *Sensors*, 10, 796-807.
52. **Hultman E, Sjöholm H, Jäderholm-Ek I, Krynicky J**. (1983). Evaluation of methods for electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *Pflüegers Archiv: European Journal of Physiology*, 398(2), 139-141.
53. **Jubeau M, Zory R, Gondin J, Martin A, Maffiuletti NA**. (2006). Late neural adaptations to electrostimulation resistance training of the plantar flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 98(2), 202-211.
54. **Jubeau M, Gondin J, Martin A, Sartorio A, Maffiuletti NA**. (2007). Random motor unit activation by electrostimulation. *International Journal of Sports Medicine*, 28(11), 901-904.
55. **Jubeau M, Gondin J, Martin A, Van Hoecke J, Maffiuletti NA**. (2010). Differences in twitch potentiation between voluntary and stimulated quadriceps contractions of equal intensity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), 56-62.
56. **Kampe KK, Jones RA, Auer DP**. (2000). Frequency dependence of the functional MRI response after electrical median nerve stimulation. *Human Brain Mapping*, 9(2), 106-14.
57. **Kaelin-Lang A, Luft AR, Sawaki L, Burstein AH, Sohn YH, Cohen LG**. (2002). Modulation of human corticomotor excitability by somatosensory input. *Journal of Physiology*, 540(Pt2), 623-633.

58. **Khaslavskaja S, Sinkjaer T.** (2005). Motor cortex excitability following repetitive electrical stimulation of the common peroneal nerve depends on the voluntary drive. *Experimental Brain Research*, 162(4), 497-502.
59. **Kırdı N, Tunca Ö, Meriç A.** (1998). *Fonksiyonel elektrik stimülasyonu*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu Yayınları.
60. **Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, Dorsey LL, Lojovich JM, Carey JR.** (2004). Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Experimental Brain Research*, 154(4), 450-460.
61. **Knaflietz M, Merletti R, De Luca CJ,** (1990). Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions, *Journal of Applied Physiology*, 68(4), 1657-1667.
62. **Koesler IB, Dafotakis M, Ameli M, Fink GR, Nowak DA.** (2009). Electrical somatosensory stimulation improves movement kinematics of the affected hand following stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 80(6), 614-619.
63. **Laughman RK, Youdas JW, Garrett TR, Chao EYS.** (1983). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Physical Therapy*, 63(4), 494-499.
64. **Lieber RL, Silva PD, Daniel DM.** (1996). Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery. *Journal of Orthopaedic Research*, 14(1), 131-138.
65. **Lindquist ARR, Prado CL, Barros RML, Mattioli R, Costa PHL, Salvini TF.** (2007). Gait training combining partial body-weight support a treadmill, and functional electrical stimulation: effects on poststroke gait. *Physical Therapy*, 87(9), 1144-1154.
66. **Maffiuletti NA, Cometti G, Amiridis IG, Martin A, Pousson M, Chatard JC.** (2000). The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 437-443.
67. **Maffiuletti NA, Pensini M, Martin A.** (2002a). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1383-1392.
68. **Maffiuletti NA, Dugnani S, Folz M, Di Pierno E, Mauro E.** (2002b). Effect Of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1638-1644.
69. **Maffiuletti NA, Pensini M, Scaglioni G, Ferri A, Ballay Y, Martin A.** (2003). Effect of electromyostimulation training on soleus and gastrocnemii H- and T-reflex properties. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 601-607.
70. **Maffiuletti NA, Zory R, Miotti D, Pellegrino MA, Jubeau M, Bottinelli R.** (2006). Neuromuscular adaptations to electrostimulation resistance training. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(2), 167-75.
71. **Maffiuletti NA, Bramanti J, Jubeau M, Bizzini M, Deley G, Cometti G.** (2009). Feasibility and efficacy of progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 677-682.
72. **Maffiuletti NA,** (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, 110(2), 223-234.
73. **Malatesta D, Cattaneo F, Dugnani S, Maffiuletti NA.** (2003). Effects of Electromyostimulation Training and Volleyball Practice on Jumping Ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 573-579
74. **Martin L, Cometti G, Pousson M, Morlon B.** (1993). Effect Of Electrical stimulation on the contractile characteristics of the triceps surae muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 67(5), 457-461.
75. **Marqueste T, Hug F, Decherchi P, Mes Y.** (2003). Changes in neuromuscular function after training by functional electrical stimulation. *Muscle & Nerve*, 28(2), 181-188.
76. **Marqueste T, Messan F, Hug F, Laurin J, Dousset E, Grelot L., ve diğ.** (2010). Effect of repetitive biphasic muscle electrostimulation training on vertical jump performances in female volleyball players. *International Journal of Sport and Health Science*, 8, 50-55.
77. **McDonnell, MN, Ridding MC.** (2006). Afferent stimulation facilitates performance on a novel motor task. *Experimental Brain Research*, 170(1), 109-115.
78. **Meesen RL, Cuypers K, Rothwell JC, Swinnen SP, Levin O.** (2011). The effect of long-term TENS on persistent neuroplastic changes in the human cerebral cortex. *Human Brain Mapping*, 32(6), 872-82.
79. **Mendell LM.** (2005). The size principle: a rule describing the recruitment of motoneurons. *J. Neurophysiol*, 93(6), 3024-3026.
80. **Nudo RJ, Plautz EJ, Frost SB.** (2001). Role of adaptive plasticity in recovery of function after damage to motor cortex. *Muscle & Nerve*, 24(8), 1000-1019.
81. **Paillard, T.** (2008). Combined Application of Neuromuscular Electrical Stimulation and Voluntary Muscular Contractions. *Sports Medicine*, 38(2), 161-177.
82. **Paillard T, Noe F, Bernard N, Dupui P, Hazard C.** (2008). Effects of two types of neuromuscular electrical stimulation training on vertical jump performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1273-1278.
83. **Peckham PH, Knutson JS,** (2005). Functional Electrical Stimulation for Neuromuscular Applications. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 7, 327-360.
84. **Perez M, Lucia A, Rivero JL, Serrano AL, Calbet JA, Delgado MA., ve diğ.** (2002). Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M.vastus lateralis characteristics of healthy young men. *Pflüegers Archiv: European Journal of Physiology*, 443(5-6), 866-874.
85. **Pichon F, Chatard JC, Martin A, Cometti G.** (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(12), 1671-1676.

86. **Porcari JP, McLean KP, Foster C, Kernozek T, Crenshaw B, Swenson C.** (2002). Effects of electrical muscle stimulation on body composition, muscle strength, and physical appearance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 165-172.
87. **Porcari JP, Miller J, Cornwell K, Foster C, Gibson M, McLean K., ve diğ.** (2005). The effects of neuromuscular electrical stimulation training of abdominal strength, endurance, and selected anthropometric measures. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4(1), 66-75.
88. **Ridding MC, Brouwer B, Miles TS, Pitcher JB, Thompson PD.** (2000). Changes in muscle responses to stimulation of the motor cortex induced by peripheral nerve stimulation in human subjects. *Experimental Brain Research*, 131(1), 135-143.
89. **Ridding MC, McKay DR, Thompson PD, Miles TS.** (2001). Changes in corticomotor representations induced by prolonged peripheral nerve stimulation in humans. *Clinical Neurophysiology*, 112(8), 1461-1469.
90. **Sale DG.** (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5), 135-45.
91. **Sale DG.** (2003). Neural Adaptation to Strength Training. (PV Komi, Ed.) *Strength and Power in Sport, 2nd Edition*, s. 281-314. Blackwell, London.
92. **Sanchez BR, Puche PP, Gonzalez-Badillo JJ.** (2005). Percutaneous electrical stimulation in strength training: an update. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 438-448.
93. **Seyri MK, Maffiuletti NA.** (2011). Effect of Electromyostimulation Training on Muscle Strength and Sports Performance. *Strength Conditioning Journal*, 33(1), 70-75.
94. **Sheffler LR, Chae J.** (2007). Neuromuscular Electrical Stimulation in Neurorehabilitation. *Muscle & Nerve*, 35(5), 562-590.
95. **Shield A, Zhou S.** (2004). Assessing voluntary muscle activation with the twitch interpolation technique. *Sports Medicine*, 34(4), 253-67.
96. **Sinacore DR, Delitto A, King DS, Roset SJ.** (1990). Type II Fiber Activation with Electrical Stimulation: A Preliminary-Report. *Physical Therapy*, 70(7), 416-422.
97. **Singer KP.** (1986). The influence of unilateral electrical muscle stimulation on motor unit activity patterns in atrophic human quadriceps. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 32(1), 31-37.
98. **Smith GV, Alon G, Roys SR, Gullapalli RP.** (2003). Functional MRI determination of a dose-response relationship to lower extremity neuromuscular electrical stimulation in healthy subjects. *Experimental Brain Research*, 150(1), 33-39.
99. **Smith JC, Motl RW.** (2005). Electromyographic indices of neuromuscular reflexes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 3(3), 322-337.
100. **Solomonow M, Baratta R, Shoji H, Ambrosia R.** (1986). The myoelectric signal of electrically stimulated muscle during recruitment: an inherent feedback parameter for a closed loop control scheme. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 33(8), 735-745.
101. **Spiegel J, Tintera J, Gawehn J, Stoeter P, Treede RD.** (1999). Functional MRI of human primary somatosensory and motor cortex during median nerve stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 110(1), 47-52.
102. **Stein RB, Everaert DG, Thompson AK, Chong SL, Whittaker M, Robertson J., ve diğ.** (2010). Long-term therapeutic and orthotic effects of a foot drop stimulator on walking performance in progressive and nonprogressive neurological disorders. *Neurorehabilitation Neural Repair*, 24(2), 152-167.
103. **Stevens JE, Mizner RL, Snyder-Mackler L.** (2004). Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: a case series. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(1), 21-29.
104. **Tamaki T, Uchiyama S, Uchiyama Y, Akatsuka A, Yoshimura S, Roy RR., ve diğ.** (2000). Limited myogenic response to a single bout of weight-lifting exercise in old rats. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 278(6), C1143-C1152.
105. **Trimble MH, Enoka RM.** (1991). Mechanisms underlying the training effects associated with neuromuscular electrical stimulation. *Physical Therapy*, 71(4), 273-280.
106. **Vanderthommen M, Duchateau J.** (2007). Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(4), 180-185.
107. **Venable M, Collins MA, O'Bryant HS, Denegar CR, Sedivec MJ, Alon G.** (1991). Effect of supplemental electrical stimulation on the development of strength, vertical jump performance and power. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5(3), 139-143.
108. **Yu JH, Zhou S, Huang LP, Cao LJ, Liu J, Hu Z.** (2007). Assessment of muscle activation with twitch interpolation technique in a unilateral electromyostimulation training program. *Annual Meeting of Chinese Medical Association, Sports Medicine, Beijing China*, 6-9 April.
109. **Ward AR, Shkuratova N.** (2002). Russian electrical stimulation: the early experiments. *Physical Therapy*, 82(10), 1019-1030.
110. **Willoughby DS, Simpson S.** (1996). The effects of electromyostimulation and dynamic muscular contractions on the strength of college basketball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(1), 40-44.
111. **Willoughby DS, Simpson S.** (1998). Supplemental EMS and dynamic weight training: Effects on knee extensor strength and vertical jump of female college track&field athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(3), 131-137.
112. **Zatsiorsky VM, Kraemer WJ.** (2006). *Science and Practice of Strength Training, Second Edition*. Human Kinetics. 132.
113. **Zhou S.** (2003). Cross education and neuromuscular adaptations during early stage of strength training. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 1(1), 54-60.