

İnmeli Hastalarda Nöromüsküler Elektriksel Stimülasyon ve Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon Uygulamaları

Neuromuscular Electrical Stimulation and Functional Electrical Stimulation in Patients with Cerebrovascular Accident

Ferda ÖZDEMİR, Derya DEMİRBAĞ KABAYEL

Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye

Özet

Nöromüsküler elektriksel stimülasyon (NMES), etkilenmiş ekstremitte fonksiyonlarını iyileştirmek için uygulanan tedavi yöntemlerinden biridir. NMES spastisitenin azaltılmasında, eklem hareket açıklığı (EHA) ve kas gücünün artırılmasında da pozitif etkilere sahiptir. NMES'in etkinliği ve optimal stimülasyon metotları gibi konularda kesin bilgiler yoktur. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon (FES) terimi genellikle NMES'in çeşitli uygulamalarını tanımlamak için kullanılır. NMES çoğunlukla EHA'yı arttırmak, kas aktivasyonunu kolaylaştırmak ve kası güçlendirmek gibi uygulamalarda düşünülür. FES ise fonksiyonel kontrolü kolaylaştırmak veya arttırmak için uygulanır. FES; spinal kord yaralanması, travmatik beyin hasarı, inme ve periferik innervasyonu korunmuş diğer santral sinir sistemi disfonksiyonlarında kullanılır.

Türk Fiz Tıp Rehab Derg 2007; 53 Özel Sayı 1: 30-4

Anahtar Kelimeler: Nöromüsküler elektriksel stimülasyon, fonksiyonel elektriksel stimülasyon, inme

Summary

Neuromuscular electrical stimulation (NMES) is one of the therapeutic strategies that are applied to improve impaired extremity function. NMES has been claimed to have a positive effect on spasticity, range of motion (ROM), and muscle strength. There are no clear knowledge about the efficacy and optimal stimulation strategy of NMES. The term functional electrical stimulation (FES) has been used casually to describe various applications of NMES. While NMES generally is considered to have therapeutic applications, such as increasing ROM, facilitation of muscle activation, and muscle strengthening, the key to application of FES is to enhance or facilitate functional control. It is used with clients with spinal cord injury, traumatic brain injury, cerebrovascular accident, and other central nervous system dysfunction, which have intact peripheral innervation. *Turk J Phys Med Rehab 2007; 53 Suppl 1: 30-4*

Key Words: Neuromuscular electrical stimulation, functional electrical stimulation, cerebrovascular accident

Giriş

Elektrik stimülasyonu; nöromüsküler sistemin düşük voltajlı elektrik akımı ile uyarılmasıdır. Nöromüsküler elektriksel stimülasyon (NMES); ağrıyı azaltmak, spastisiteyi önlemek ve kasları güçlendirmek amacı ile uygulanmaktadır. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon (FES) ise aktiviteyi düzeltmek için fonksiyonel amaçla uygulanan kısmen daha düşük frekanslı elektrik stimülasyonu modalitesidir (1).

Tarihçe

1744 yılında Kruger parmaklardaki kontraktürleri açmak için elektrik akımı uygulamış, 1790'da Galvani kurbağa deneyi ile kasın elektriksel uyarımla kasıldığını bulmuş, 1961'de Liberson taşınabilir elektrik stimülatörü ile hemiplejik hastalarda yürüme sırasında fonksiyonel olarak ayak dorsifleksiyonu sağlamış ve 1962'de buna 'fonksiyonel elektriksel stimülasyon' adı verilmiştir. 1970'lerden sonra elektrik ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte da-

ha kompleks FES sistemleri geliştirilmiştir. Stimülasyon kanallarının sayısının artması ile oluşan çok kanallı FES sistemleri hareketin daha etkin olmasını sağlamıştır. Petrofsky ve Glaser kapalı devre kontrollü, döngüsel kas stimülasyonunun kullanıldığı yürüme sistemi tanımlamışlardır. Marsolais ve ark. (2) perkütan sistemler üzerinde çalışmıştır. 1996'da Perkins implante edilebilen FES elektrotları geliştirmiştir (2-4).

Elektriksel Stimülasyonun Fizyolojik Etkileri

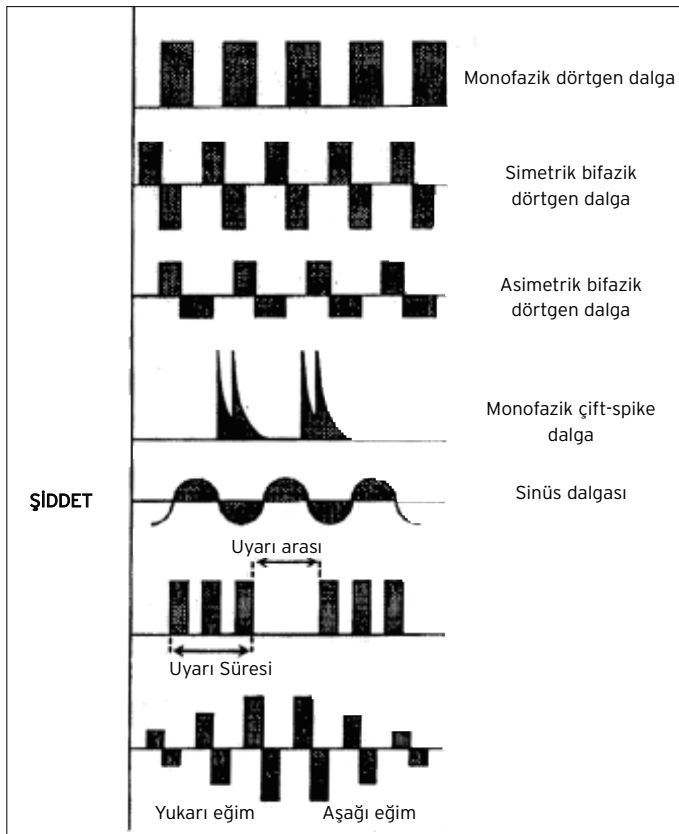
NMES, sağlıklı kasta ilgili kası innerve eden sinir liflerini, derine kasta ise kas liflerini elektrik akımı ile uyararak kontraksiyon oluşturma esasına dayanır. Düşük frekanslı (10 Hz) akım ile stimülasyon sonucu hızlı kas lifi (tip IIb), yavaş kasılan tip I liflerine dönüşür. Yeni oluşan bu tip I lifi, fonksiyonel olarak yorgunluğa karşı dirençte artış ve maksimum kasılma hızında azalma gösterir. Bu yapısal değişikliklerin yanı sıra enerji metabolizmasında da değişiklikler meydana gelir. Bu değişimlere ek olarak, kas lifindeki kapiller yoğunluğunda ve oksijen tüketiminde artış meydana gelir. Böylece kasın yorgunluğa direnci artar. Stimülasyona son verildikten hemen sonra yavaş kas lifi özelliklerini kazanan hızlı kas lifi eski haline dönmeye başlar (5-8).

NMES Cihazının Özellikleri

NMES ekipmanı, küçük taşınabilir veya büyük cihazlardan oluşur. Küçük taşınabilir cihazlar özellikle ev tipi uzun süreli tedavilerde, büyük cihazlar ise klinik kullanımlarda tercih edilir. Büyük cihazlarda farklı tipte modalitelerin ve çok sayıda kanalların olması, bu ekipman sisteminin avantajıdır.

NMES-FES Parametreleri (9)

- Dalga formu: Bifazik, monofazik
- Akım süresi: 1-300 msn



Şekil 1. Elektriksel stimülasyon dalga formları (8).

- Frekans: 30-50 Hz
- Amplitüd
- Modülasyon: Ritmik artan,
- Uyarı ve dinlenme süresi
- Yükselme düşme süresi

Dalga formu

1. Bifazik dalga formu:

a) Simetrik bifazik dalga formu: Polarite devamlı değiştiğinden hem anot hem de katot aktif elektrot olabilir.

b) Asimetrik bifazik dalga formu: Katot ve anot ayırt edilebilir ve böylece terapist daha etkin kontraksiyon sağlayabilmek amacı ile katot elektrodu ile ilgili kasta etkin kontraksiyon oluşturabilir.

2. Monofazik dalga formu: Nadiren monofazik dalga formu kullanan stimülatörler vardır.

Terapötik amaçlı olarak en sık pulse dalga formları kullanılır (8). NMES'de monofazik ya da bifazik, simetrik ya da asimetrik dörtgen dalga kullanılır (Şekil 1) (8). NMES için ideal bir dalga formu henüz belirlenmemesine rağmen bazı çalışmalar, simetrik bifazik dalga formunun hem asimetrik bifazik hem de monofazik dalga formundan çok daha rahat olduğunu ileri sürmektedir (10).

Akım süresi

1-300 msn'lik faz süreli stimülatörler, innervasyonu tam olan kasları aktive etmek için kullanılır (10).

Frekans

Uyarı için, farklı kaslarda değişebilmesine rağmen 30-50 Hz'lik bir frekans genellikle etkilidir (8,10). Daha yüksek frekanslı akımlar kas yorgunluğuna neden olur.

Amplitüd

Stimulusun yoğunluğu veya amplitüdü, arzu edilen kasılma elde edilinceye kadar kademeli olarak arttırılır. Amplitüd ile kas kontraksiyonu arasında doğrusal ilişki vardır (8,10).

Modülasyon

NMES programının etkinliğini arttırmak için birkaç modülasyon gereklidir (10). Atım modülasyonunun amacı aynı zamanda akomodasyonu geciktirmektir. Bu modülasyonda; akımın süresi, amplitüdü veya frekansı otomatik olarak artar ve sonra azalır (6).

Uyarı ve dinlenme süresi

Stimülatörün uyarı ve dinlenme süreleri ayarlanabilir olmalıdır. Kas kontraksiyonu periyodunu dinlenme periyodu izlemelidir (7,10).

Yükselme-düşme süresi

Yükselme-düşme süresi, her atım zincirinin sıfırdan maksimum amplitüde veya yoğunluğa artış süresi ve buradan sıfır değerine düşüş süresidir (10). Kas kasılması, akım amplitüdünün arttığı veya azaldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle akım yükselme süresinin kısa olması tercih edilir (6).

Spastik Paralizlerde Elektriksel Stimülasyon

Kas ve sinirlerin elektrikle uyarılması, spastik paralizinin ege- men olduğu çeşitli merkezi sinir sistemi hastalıklarında (inme, se- rebral palsi, omurilik lezyonları) kullanılır (11).

Elektriksel stimülasyon ile spastisitenin azaltılması üç meka- nizma ile açıklanmaktadır:

1. Spastik kasların antagonistlerine elektriksel stimülasyon uygulanmasının ardından spastik kaslarda gelişen resiprokal in- hibisyon,

2. Spastik agonist kaslara elektriksel stimülasyon uygulanma- sı sonucu gelişen yorgunluk ya da Renshaw hücreleri aracılığıyla gelişen rekürren inhibisyon,

3. Tekrarlayan duyuşal stimülasyonun ardından spinal düzeydeki desensitizasyona bağlı ortaya çıkan duyuşal habitüasyon (12).

Spastisitedeki gerileme, uygulama sırasında başlar ve birkaç saat sürer (11).

Elektrot seçiminde, elektriksel stimülasyon programının uygulanma amacı ve hasta için kullanım kolaylığı esas alınmaktadır. Yüzeysel ve doku içine yerleştirilmiş implante elektrot tipleri bulunmaktadır. Yüzeysel elektrotlar, terapötik ve fonksiyonel uygulamalarda en sık kullanılan elektrot tipleridir. Uzunlamasına yerleşim ve geniş yüzey alanı sayesinde yüksek kontraksiyon kuvveti oluştururlar (8).

NMES, hemiplejili hastalarda yürüyüş paternini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Fibula başı düzeyine yerleştirilen yüzeysel elektrotlarla peroneal sinir uyarılarak yürüme paterni iyileştirilebilir (8,11).

Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon

NMES'in formlarından biridir. FES; sinirsel innervasyonu bozulmuş paralize kasların, günlük yaşam aktivitelerine yönelik fonksiyonel yararlı bir hareketi gerçekleştirmek için, belli bir düzende elektrik akımı ile uyarılmalarıdır. Üst motor nöron lezyonu olan hastalarda kullanılmaktadır.

Fonksiyonel ortez olarak düşünülebilir. Klasik fonksiyonel ortezde motor bozukluğu olan eklemde hareket diğer eklemlerin hareketi ile pasif olarak sağlanır. FES ise restore edilmesi istenen hareketin oluşumunu bu ekleme ait kası veya kasları uyarak yapar.

İnmeli hastalarda günlük yaşam aktivitelerine yönelik hazırlanmış, ortezle birlikte uygulanabilen FES sistemleri de bulunmaktadır (13).

FES, sağlam bir alt (ikinci) motor nöron, nöromüsküler kavşak ve kontraktıl kastan oluşan motor ünite kontraksiyon oluşturmalarının yanı sıra, duyu yollarını da etkileyerek temel refleks mekanizmalardan yararlanır. Duyu-motor organizasyon mekanizmalarını entegre eder.

FES Ünitesi

- Stimülatör
- Kontrol ünitesi
- Elektrotlar
 - Yüzeysel
 - Perkütan
 - İmplant
- Bağlantı kabloları
- Feed-back mekanizma

Uygulama Prensipleri (1)

Efferent uyarı: İkinci motor sinirin direkt uyarılması söz konusudur. Birkaç milisaniye latanslı kas kontraksiyonu gerçekleşir.

Afferent uyarı: Efferent yanıtın farklı olarak afferent uyarıda spinal refleks mekanizmalar devreye girdiğinden agonist kas kasılır, antagonist kas gevşer. Bu refleks mekanizmalar hemiplejide spastisitenin giderilmesinde etkili olabilir.

FES uygulaması sırasında duyu sinirlerinin uyarılması ile spinal refleks mekanizmaların neden olduğu geç latanslı ve zayıf indirekt kas yanıtları oluşur. Grup Ia lifleri yoluyla bu refleks mekanizma sağlanır.

FES Uygulama Şekilleri (1)

1. Unilateral tek kanallı FES: FES ile ayak bileği dorsifleksiyon ve eversiyon fonksiyonu yeniden kazanılabilir. Elektrot peroneal sinire, fibula başı ile popliteal fossa arasına konur.

a) İpsilateral kontrol: Stimülasyon kontrolü topuğa yerleştirilen bir düğme ile sağlanır. Topuğun yerden kalkması ile devreye kapatılarak topuk yere değinceye kadar stimülatörü çalıştırır.

b) Kontralateral kontrol: Stimülasyon diğer ayağın basma fazında başlar ve hasta bacağın salınım fazı boyunca devam eder.

2. İki kanallı FES

3. Çok kanallı FES

Paralitik Kasın FES'e Yanıtı

Tolere edilebilir uyarı ve progresif rezistif egzersiz teknikleri kullanıldığında, atrofiye uğramış üst motor nöron tipi paralitik kasların FES'e yanıtında; hipertrofi, kontraksiyon gücünde artma, intraselüler içerikte artma, tip II kas liflerinin (hızlı/anaerobik) tip I kas liflerine (yavaş/aerobik) dönüşümü gözlemlenir.

İnmede FES-NMES Uygulama Amaçları

- Paralize kasın kondisyonunu arttırmak ve atrofiyi engellemek
- Santral sinir sistemi düzeyinde plastisiteyi etkilemek
- Ortez ile birlikte kontrolü sağlamak
- Spastisiteyi azaltmak
- Dik postür kazandırmak
- Ambulasyona yardımcı olmak
- Ağrıyı engellemek

Ayakta durmak ve yürümeyi sağlamak FES'in en önemli kullanım amaçlarındandır. Üst ekstremitede fonksiyonel kontrolü sağlamak için de FES uygulaması yapılabilir. El hareketlerinin karmaşıklığı ve inceliği, üst ekstremitede kaslarının selektif stimülasyon zorluğu, FES'nin üst ekstremitedeki başarısını sınırlamaktadır.

Üst Ekstremitede FES-NMES Uygulamaları

Hemiplejik omuz subluksasyonunun önlenmesi ve tedavisinde elektrik stimülasyonu yaygın olarak kullanılır. Stimülasyon için aktif elektrot deltoid kas, pasif elektrot ise supraspinatus kas üzerine yerleştirilir. 33 Hz frekansında, asimetrik bifazik akım, günde 1,5-6 saat süreyle 6 hafta uygulanır.

Kas gücünün geliştirilmesi ve spastisitenin azaltılmasında da etkin olarak kullanılır.

FES-NMES tedavileri inmeli hastalarda; glenohumeral subluksasyon ve omuz ağrısı tedavisinde, motor fonksiyonların geliştirilmesinde ve eklem hareket açıklığının iyileştirilmesinde uygulanır.

İnmeli hastalarda omuz ağrısına yönelik FES uygulaması; ağrı ve subluksasyonda azalma ve fonksiyonel durumda da artışa katkıda bulunur (14).

Akut ve kronik evreli 20 inmeli hastada yapılan bir çalışmada, supraspinatus ve deltoid kaslara NMES uygulanarak, eklem hareket açıklığı (EHA), grafilerde subluksasyon mesafeleri, Brunnstrom evresi, Ashworth değeri, fonksiyonel bağımsızlık ölçütü (FBÖ) ve ağrı değerlendirilmiştir. Tedavi sonrasında; EHA değerlerinde belirgin artış, Brunnstrom, FBÖ ve ağrı ölçümlerinde anlamlı fark bulunmuş, ancak grafilerde ölçülen subluksasyon değerlerinde anlamlı fark elde edilmemiştir (15).

Omuz ağrısı ve subluksasyonu olan kronik stroklu 61 hastadan, 32'sine supraspinatus, deltoid ve üst trapezius kaslarına perkütan NMES uygulanmış ve tedavi sonrasında, NMES uygulanan grupta ağrı skorlarında azalma görülürken, subluksasyon düzeyi, Fugl-Meyer skoru, EHA değerlerinde iki grup arasında fark bulunmamıştır (16).

Kısa süreli ve uzun süreli hemiplejik hastalarda üst ekstremitelerde motor gelişimi ve omuz EHA üzerine FES'nin etkisini değerlendirmiş olan bir çalışma sonucunda; kısa süreli hemiplejik vakalarda FES tedavisi motor fonksiyonu geliştirmede etkin görülmüştür (17).

Bir araştırmada, 20 inmeli hastaya, haftada 5 gün olmak üzere toplam 30 seans tedavi verilmiştir. Tedavi seçenekleri olarak bir gruba hemipleji-spastisite kartı, diğer gruba atrofi-güçlendirme kartı uygulanmıştır. Tedavi sonrası; FBÖ, Fugl-Meyer üst ekstremitede ölçüm değerleri atrofi-güçlendirme kartı uygulanan gruba daha iyi bulunmuş, üst ekstremitede Brunnstrom değerleri, el bileği ve parmak ekstansiyon kas gücü, ödem ve atrofi ölçümü, modifiye Ashworth değerlerinde ise fark bulunmamıştır (18).

İnme sonrası omuz ağrısının önlenmesi veya tedavisinde NMES'in etkinliğini araştıran bir meta-analiz sonucunda, akut dönemdeki inmede glenohumeral subluksasyon tedavisi için etkin olduğu, kronik olgularda ise glenohumeral subluksasyonu azaltmadığı sonucuna varılmıştır (19).

Alt Ekstremitede FES-NMES Uygulamaları

Alt ekstremitede FES-NMES uygulamalarında amaç; inmeli hastanın yürüme paternini düzeltmektir.

FES uygulaması ile yürümenin salınım fazında ayak dorsifleksörlerinin kasılması sağlanırken, plantar fleksörlerdeki spastisite resiprokal olarak azaltılmış olur. Ayak dorsifleksörlerine ilaveten bu fazda diz fleksörleri de uyarılabilir. Yürümenin basma fazında ise gluteal kaslara veya kuadriseps kasına FES uygulaması yapılarak dik durmaya yardımcı olunur.

Ayak dorsifleksörlerine NMES uygulanmasının, hemiplejik düşük ayağa, alt ekstremitedeki spastisiteye, nörofizyolojik gelişim düzeyine ve fonksiyonel bağımsızlığın gelişmesine katkısı olup olmadığını araştıran çalışmada, 40 inmeli olgudan 20'sine NMES uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, NMES verilen grupta, ayak dorsifleksiyonu derecesinde artma ve spastisitede azalma anlamlı düzeyde bulunmuştur. Bu çalışma ile hemiplejik ayak rehabilitasyonunda NMES kullanılmasının motor ve fonksiyonel iyileşmeye katkısı bulunduğu vurgulanmıştır (20).

Yürüme değerlendirme metodu olarak "Yugoslav Stefan Enstitüsü Zaman-Uzaklık Değişkenleri Değerlendirmesi"nin kullanıldığı bir çalışmada, 40 hemiparetik olgu iki gruba bölünerek, peroneal sinire FES, peroneus longus veya brevis veya tibialis kasının motor noktalarına NMES uygulanmıştır. Sağlam taraf ortalama adım zamanı ile ortalama adım zamanı farkı iki grup arasında farksız bulunurken, yürüme hızı, ritmi, ortalama adım uzunluğu ve tutulan taraf ortalama adım zamanı gruplar arasında FES grubu lehine istatistiksel anlamlı farklı bulunmuştur (21).

Kottink ve ark. (22) tarafından kronik inmeli hastalarda yürüme düzeltmek için peroneal sinire FES uygulanan, transkütan veya implante stimülüs yapılan, farklı bir tedavi yöntemi veya bazal değerle karşılaştırma yapılmış olan toplam 8 çalışma incelenmiştir. Araştırma sonucunda inmeli hastalarda peroneal sinire FES uygulamasının pozitif ortotik etki sağladığı ve yürüme mesafesini arttırdığı gösterilmiştir.

NMES-FES ve Plastisite

El periferik sinirine uygulanan NMES'in üst ekstremitede fonksiyonel ve kortikal aktivite değişimlerine etkisinin araştırıldığı kontrollü, çift kör bir çalışmada, hastalar fonksiyonel testler, parmak ekstansörlerinin kas gücü ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile değerlendirilmiştir. Tedavi sonunda, NMES

grubunda, fonksiyonel testlerde ve kas gücünde anlamlı düzelme, fonksiyonel MRG'de ipsilateral primer sensoriyal kortekste kortikal intansitede artma saptanırken, kontrol grubunda, sadece kas gücünde artma bulunmuştur (23).

FES Kullanımındaki Kısıtlılıklar

- Çok bakım gerektirmesi
- Kullanımının zor olması ve uygulama için yetiştirilmiş personele ihtiyaç duyulması
- Hasta açısından da uzun bir eğitim gerektirmesi
- Cihaz için teknik destek gerekli olması
- Pahalı bir yöntem olması

FES Hangi Hastalara Uygulanabilir?

- Alt motor nöron lezyonu olmamalı
 - İleri düzeyde kas atrofileri olmamalı
 - Aşırı spastisite, heterotopik ossifikasyon ve eklem kontraktürü, belirgin ekstremitde kısalığı olmamalı
 - Oturma dengesi veya ambulasyon mümkün olmalı
 - Derin duyu sağlam olmalı
 - Deri bütünlüğünü bozacak lezyon olmamalı
 - Oryantasyon ve kooperasyon bozukluğu olmamalı
 - Periferik dolaşım bozukluğu olmamalı
 - Obezite, diyabet, polinöropati, alkolizm, kalp pili
 - Hospitalizasyon mümkün olmalı
- Çalışmalardan alınan olumlu sonuçlara rağmen FES halen rutin uygulamalar arasında yer almamaktadır.

Kaynaklar

1. Özgirgin N, Karagöz A. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon. In: Dursun N, Dursun E, Oğuz H, editors. Tıbbi Rehabilitasyon. 2. basım. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2004. p. 433-46.
2. Liberson WT, Holmquist M, Scot D, Dolo M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Arch Phys Med Rehabil 1961;42:101-5.
3. Marsolais EB, Kobetic R. Development of a practical electrical stimulation system for restoring gait in paralyzed patient. Clin Orthop Rel Res 1988;233:64-74.
4. Petrofsky JS, Phillips CA, Heaton H. Closed loop control for restoration of movement in paralyzed muscle. Orthopedics 1984;7:1289-302.
5. Tuncer T. Elektroterapi. In: Beyazova M, Kutsal YG, editörler. Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon. Ankara: Güneş Kitabevi; 2000. p. 771-89.
6. Koyuncu H, Karacan İ. Temel elektroterapi. In: Oğuz H, Dursun E, Dursun N, editörler. Tıbbi Rehabilitasyon. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2004. p. 411-32.
7. Pekindil Y. Nöromusküler elektrik stimülasyonu ve izometrik egzersizin kuadriseps kasına etkilerinin TC-99m MIBI sintigrafisi ile değerlendirilmesi (Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi; Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Uzmanlık Tezi). Tez danışmanı: Birtane M. Edirne, 2000.
8. Mysiw WJ, Jackson RD. Electrical stimulation. In: Braddom RL, editor. Physical Medicine and Rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia: Saunders Co; 2000. p. 459-87.
9. Cooper EB Jr, Bunch WH, Campa JF. Effects of chronic human neuromuscular stimulation. Surg Forum 1973;24:477-9.
10. McCulloch KL, Nelson CM. Electrical stimulation and electromyographic biofeedback. In: Umphred DA, editor. Neurological Rehabilitation. 3rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book; 1995. p. 852-71.
11. Ersöz M. Spastik paralizilerde elektroterapi. In: Tuna N, editor. Elektroterapi. 2. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi; 2001. p. 209-12.
12. Wang RY, Tsai MW, Chan RC. Effects of surface spinal cord stimulation on spasticity and quantitative assessment of muscle tone in hemiplegic patients. Am J Phys Med Rehabil 1998;77:282-7.

13. Ring H, Rosenthal N. Controlled study of neuroprosthetic functional electrical stimulation in sub-acute post-stroke rehabilitation. *J Rehabil Med* 2005;37:32-6.
14. Vuagnat H, Chantraine A. Shoulder pain in hemiplegia revisited: Contribution of functional electrical stimulation and other therapies. *J Rehabil Med* 2003;35:49-56.
15. Tuna H, Avcı Ş, Tükenmez Ö, Kokino S. İnmeli olguların sublukse omuzlarında kas-sinir elektrik uyarımının etkinliği. *Trakya Üniv Tıp Fak Derg* 2005;22:70-5.
16. Chae J, Yu DT, Walker ME, Kirsteins A, Elovic EP, Flanagan SR, et al. Intramuscular electrical stimulation for hemiplegic shoulder pain: a 12-month follow-up of a multiple-center, randomized clinical trial. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:832-42.
17. Wang RY, Yang YR, Tsai MW, Wang WT, Chan RC. Effects of functional electric stimulation on upper limb motor function and shoulder range of motion in hemiplegic patients. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:283-90.
18. Başoğlu YÖ. Hemiplejik el rehabilitasyonunda nöromusküler elektrik stimülasyonun (NMES) uygulama tekniklerinin etkinliklerinin karşılaştırılması. (Tez). Edirne: Trakya Ü Tıp Fak; 2005.
19. Ada L, Foongchomcheay A. Efficacy of electrical stimulation in preventing or reducing subluxation of the shoulder after stroke: a meta-analysis. *Aust J Physiother* 2002;48:257-67.
20. Bilgili N. Hemiplejik ayak rehabilitasyonunda nöromusküler elektriksel stimülasyonun etkinliğinin değerlendirilmesi (Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi; Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Uzmanlık Tezi). Tez danışmanı: Özdemir F. Edirne, 2006.
21. Özdiñler A, Dilşen G. Hemiplejik hastalarda yürüme rehabilitasyonunda zaman-uzak değişkenleri üzerine FES ve NMES'in etkilerinin karşılaştırılması. *Türkiye Fiz Tıp Reh Derg* 1998;1:55-7.
22. Kottink AI, Oostendorp LJ, Buurke JH, Nene AV, Hermens HJ, IJzerman MJ. The orthotic effect of functional electrical stimulation on the improvement of walking in stroke patients with a dropped foot: a systematic review. *Artif Organs* 2004;28:577-86.
23. Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, Dorsey LL, Lojovich JM, Carey JR. Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Exp Brain Res* 2004;154:450-60.