



Avrupa Birliği tarafından
finanse edilmektedir

ERK4Stim

Sağlıklı Kaslar için Elektrik Stimülasyonu

Erasmus+ / Avrupa Dayanışma Programı kapsamında Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir. Burada yer alan içerik yazarların görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm

18

1

Nörolojik Problemlili Hastalarda Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ YAZARLARI: BETÜL SÖYLEMEZ • FATMA NUR ALÇIN • NİLÜFER ÇETİŞLİ-KORKMAZ
BÖLÜM YAZARLARI: FURKAN BİLEK • NİLÜFER ÇETİŞLİ-KORKMAZ

Giriş

Elektrik stimülasyonu (ES), elektrik akımları ile fizyoterapi ve rehabilitasyon uygulamalarını dikkate alan girişimsel olmayan tedavilerdir. ES, nörolojik hastalıkların semptom yönetimine yönelik klinik müdahalelerde yaygın olarak tercih edilmektedir.¹ Günümüzde ES, ağrının azaltılması, spastisitenin düzenlenmesi, periferik sinir lezyonu olan kasların uyarılması, kas veya kullanmama atrofisinin önlenmesi, immobilizasyon sırasında, eklem hareket açıklığının (EHA) korunması, kas tonusunun regüle edilmesi, kas fonksiyonunun yeniden eğitilmesi ve yatak yarası iyileşmesinin hızlandırılması gibi birçok nörolojik semptomun yönetimi için kullanılmaktadır.^{2,3} Bu bölümde ES yaklaşımları nörolojik hastalıkların neden olduğu semptomların rehabilitasyonu kapsamında anlatılmaktadır.

Ağrı

Temel ve klinik nörobilimdeki son gelişmeler, ağrının nörolojik hastalıkların çok yaygın bir semptomu olduğunu göstermiştir.⁴ Duyusal sistemlerdeki değişikliklerin ağrıda baskın süreç olduğu fikri, yerini ağrının duyusal sistem aktivasyon modellerinin diğer beyin sistemlerindeki aktiviteyle anormal şekilde entegre olduğu çok karmaşık bir merkezli sinir sistemi (MSS) durumu olarak kavramsallaştırılmasına bırakmıştır. Periferik sinir hasarına bağlı ağrı (nöropatik ağrı) gibi bariz nedenler, an-

terior singulat korteks, insular korteks, ventrolateral orbitofrontal alan, amigdala, striatum, talamus, hipotalamus, rostral ventromedial medulla, periakueduktal gri cevher, pons (locus coeruleus), red nükleus ve medulla oblongata gibi çok çeşitli diğer işlevlere sahip çeşitli beyin bölgelerini etkilemektedir.^{5,6} Son zamanlarda, klinisyenler ve araştırmacılar birçok vakada kronik ağrının nörolojik hastalığın doğrudan bir sonucu olduğu veya hatta altta yatan hastalığın ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır. Örneğin, hastaların %40-60'ının kronik ağrı şikayetinde bulunduğu, Parkinson Hastalığı (PH) gibi nörolojik hastaların yanı sıra Alzheimer hastalarının %57'si, inme geçirenlerin %8-14'ü, travmatik beyin hasarı olanların (TBH) %57,8'i, spinal kord yaralanması olanların (SKY) %64,9'u, Multipl Skleroz (MS) hastalarının %50-86'sı, sırt ağrısı çekenlerin %54-80'i ve Guillain-Barre hastalarının %89'u ağrı şikayetinde bulunmaktadır.⁶ Ağrı, MSS'de duyusal süreçte spesifik etkileri olan değişikliklere neden olabilir. İkinci etkileşim karmaşıktır, örneğin ağrı depresyona, depresyon da ağrıya neden olur.^{7,8} Bu nedenlerle nörolojik hastalıklarda ağrı yönetimi önemlidir. Fizyoterapi ve rehabilitasyon kliniklerinde ağrı yönetiminde sıklıkla invaziv olmayan ES yöntemleri tercih edilmektedir (Tablo 18.1). Bu bölümde ağrı yönetiminde kullanılan ES yöntemleri anlatılmaktadır.

Ağrı MS'te yaygın bir semptomdur ve son çalışmalar %73,9'a varan prevalans oranları bildirmek-

Tablo 18.1 Nörolojik hastalıklarda ağrı yönetimi için kullanılacak elektrik stimülasyonu protokolleri

	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokolü
Yüksek Frekanslı Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 110 Hz, atım süresi 200 µsn ve yoğunluk: kas kasılması olmadan tolere edilebilen maksimum akım.	Günde iki kez, 45 dakika, 6 hafta boyunca haftada 5 gün.
Düşük Frekanslı Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 4 Hz, atım süresi 200 µsn ve yoğunluk: 0'dan başlayarak her bir bireyin kas kasılma eşiğine kadar	Günde iki kez 45 dakika, 6 hafta boyunca haftada 5 gün.
Mikroakım Elektrik Stimülasyonu	Frekans 30 Hz, atım süresi 300 µsn ve yoğunluk: Kas kasılması olmadan tolere edilebilen maksimum akım.	4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 50 dakika.
Diadinamik Akımlar	Difaz Fikse (DF, tam dalga) 2 dakika, Monofaz Fikse (MF, yarım dalga) 3 dakika, Long Periyot (LP, uzun periyotlar) 3 dakika ve Kurt Periyot (KP, kısa periyotlar) 2 dakika.	Günde 10 dakika, 2 hafta boyunca 10 seans.
Enterferansiyel Akım	Frekans ilk 15 dakika için 100 Hz, sonraki 5 dakika için 80 Hz ve yoğunluk: kayda değer his.	4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 20 dakika.

tedir.⁹ Kendi kendine uygulanan Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonunun (TENS) kronik bel ağrısı (LBP) üzerindeki hipoaljezik etkileri MS popülasyonunda araştırılmıştır. Düşük frekanslı TENS [4 Hertz (Hz), 200 mikro saniye (µsn)] ve yüksek frekanslı TENS (110 Hz, 200 µsn) katılımcılara 6 hafta boyunca günde en az iki kez 45 dakika (dk) süreyle uygulanmıştır. Bu çalışmanın bulguları, yüksek frekanslı TENS'in uygulama sırasında ağrının giderilmesinde daha etkili olduğunu, düşük frekanslı TENS'in ise uzun vadede daha kalıcı bir hipoaljezik etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 18.1).¹⁰

**Şekil 18.1** Bel ağrısı için TENS uygulaması.

MS'li bireylerde düşük frekanslı TENS ve Enterferansiyel Akım (EFA) yöntemlerinin ağrı, fonksiyonel kapasite ve yaşam kalitesi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Düşük frekanslı TENS (frekans: 2 Hz, atım süresi: 200 µsn, yoğunluk: 0'dan başla-

arak her bireyin kas kasılma eşiğine kadar) TENS grubuna 4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika süreyle uygulanmıştır. EA, (ilk 15 dakika için 100 Hz ve sonraki 5 dakika için 80 Hz frekans, hissedilebilir yoğunluk) EA grubuna günde 20 dakika, haftada 5 gün, 4 hafta boyunca uygulanmıştır. Bu çalışmada EA ve TENS uygulamalarının ağrıyı azalttığı ve fonksiyonel kapasiteyi artırdığı tespit edilmiştir.¹¹

Periferik veya santral nöropatik ağrısı olan hastalarda TENS tedavisinin ağrı yoğunluğu ve fonksiyonel kapasite üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Periferik ve merkezi nöropatisi olan bireylerin ağrı tedavisinde TENS, simetrik, bifazik dikdörtgen dalgalar, saniyede (s) 80 atım, 350 µs atım süresi ve 60 miliamper (mA) kadar akım üretmek için kullanılmıştır. Seanslar 4 hafta sürmüştür (haftada 5 gün, seans başına 30 dakika). Seanslar boyunca akımın yoğunluğu hastalar "güçlü ama acı verici ve rahatsız edici olmayan" seviyeleri hissedene kadar artırılmıştır. TENS elektrotları ağrılı bölgelerin etrafına çapraz olarak yerleştirilmiştir. Bu kontrollü klinik çalışmanın en önemli sonuçları hem periferik hem de merkezi nöropatik ağrısı olan bireylerde TENS tedavisinin ardından ağrı yoğunluklarının önemli ölçüde azalması olmuştur.¹²

Diyabetik nöropati hastalarında Mikroakım Elektrik Stimülasyonunun (MES) ağrı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla planlanan çalışmada, 4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 50 dakika MES uygulanmıştır. MES'in uygulandığı ayakka-



bılar tarafından iletilen akım 300 mikroamperden (μA) daha düşük atımlı bir MES'dir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, ayağa uygulanan MES'in Diabetes Mellitus hastalarında ayak kan dolaşımını artırarak ağrıyı ve diyabetik ülserleri önlemeye yardımcı olabileceği gösterilmiştir.¹³

Spinal Kord Yaralanması (SKY) olan bireylerde TENS'in ağrı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 12 hafta boyunca haftada üç kez 20 dakika süreyle TENS tedavisi uygulanmıştır. TENS'in tedavi parametreleri; atım frekansı 2 Hz, atım süresi 200 μs 'den az ve amplitüd 50 mA olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda TENS'in SKY'li hastalarda ağrıyı etkili bir şekilde azalttığı gösterilmiştir.¹⁴

SKY'li hastalarda nöropatik ağrı tedavisinde düşük frekanslı TENS'in etkisini araştıran çalışmada, 10 gün boyunca günde 30 dakika düşük frekanslı TENS uygulanmıştır. İki elektrot nöropatik ağrılı bölgenin proksimaline, ikisi de distaline yerleştirilmiştir. Hastalara her gün 08:00-12:00 saatleri arasında düşük frekanslı TENS (atım frekansı 4 Hz, atım süresi 200 μs ve amplitüd 50 mA) uygulandı. Bu çalışmanın sonuçları, düşük frekanslı TENS'in SKY hastalarında nöropatik ağrı yoğunluğunu sabah, öğlen ve akşam azalttığını, ancak gece azaltmadığını ortaya koymuştur.¹⁵

Diadinamik (DD) Akımların kronik alt sırt ağrısı (LBP) çeken hastalarda semptomları hafifletme ve fiziksel fonksiyonelliği iyileştirme üzerindeki orta vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, 8 dakikalık DD Akım tedavisi (2 dakika boyunca Difaz Fikse, 3 dakika boyunca Kurt Periyot ve 3 dakika boyunca Long Periyot) uygulanmıştır. DD Akımların yoğunluğu, tedavi edilen her hastanın toleransına bağlı olarak değişmiştir. Fizyoterapi programları 2 hafta boyunca 10 seans olarak uygulanmıştır. Kronik LBP'de DD Akımların kullanımının ağrının azaltılmasına ve fiziksel fonksiyonların iyileştirilmesine katkıda bulunacağı gösterilmiştir. Bu nedenle, DD Akımlar kronik LBP'nin rehabilitasyonu için yardımcı tedavi olarak önerilmiştir.¹⁶

Spastisite

Spastisite, "kasların aralıklı veya sürekli istemsiz aktivasyonu şeklinde kendini gösteren bir MSS lezyonundan kaynaklanan düzensiz sensorimotor

kontrol" olarak tanımlanmıştır.¹⁷ Spastisite, inme, MS, Travmatik Beyin Hasarı (TBH) ve SKY gibi uzun süreli nörolojik rahatsızlıkları olan kişileri etkileyen yaygın bir semptomdur. Alt ekstremitte spastisitesinin epidemiyolojisi üzerine yapılan 24 çalışmanın sistematik bir incelemesi, inme hastalarında %28-38, MS hastalarında %41-66 ve TBH hastalarında %13 prevalans bildirmiştir.¹⁸

Spastisite, hafif bir nörolojik belirtiden eklemelerde hareketsizliğe neden olan büyük bir tonus artışına kadar değişir. Bu bozukluk düşme, ağrı, basınç ülserleri, enfeksiyonlar ve kontraktürler gibi çeşitli komplikasyonlarla ilişkilidir. Ancak bu komplikasyonların spastisiteden mi kaynaklandığı yoksa bağımsız olarak mı var olduğu belirsizdir.^{17,18} Spastisite yönetimi, tedavinin faydalarını spastisitenin faydalarına karşı tartan dengeli bir yaklaşım gerektirir. Bu nedenlerle, nörolojik hastalıklarda spastisite yönetimi önemlidir. Spastisiteyi tedavi etmeye yönelik mevcut müdahaleler sağlam bir kanıt temelinden yoksundur ve kılavuzlar genellikle uzman tavsiyesine dayanmaktadır (Tablo 18.2). Bu bölümde, nörolojik hastalıklarda spastisite için invaziv olmayan elektroterapi yaklaşımları açıklanmaktadır.

MS'te alt ekstremitte spastisitesinin tedavisinde baklofen ve kendi kendine uygulanan TENS'in göreceli etkinliği karşılaştırılmıştır. TENS, spastik kas üzerine dikkörtgen monofazik dalga formunda, akım frekansı 100 Hz'e, atım süresi 250 μs 'ye ayarlanarak verilmiştir. Uyarıcı gücü, kas seğirmesi veya ağrı olmaksızın uyarılan bölgede karıncalanma hissi oluşturmak için gereken yoğunluk seviyesinde motor eşğin altına ayarlanmıştır. TENS tedavisi 4 hafta boyunca 20-30 dakika süreyle uygulanmıştır. Ayrıca, akomodasyonun üstesinden gelmek için tüm katılımcılara, his seviyesi düştüğünde orijinal seviyesine dönmek için yoğunluğu artırmaları talimatı verilmiştir. Bu çalışma hem baklofen hem de TENS'in MS ile ilişkili spastisiteyi azaltmada etkili olabileceğini göstermiştir. Ortalama Modifiye Ashworth Ölçeği (MAS) skorunun TENS grubunda önemli ölçüde daha düşük olduğu bildirilmiştir.¹⁹

TENS'in spastisite üzerindeki etkileri, plantar fleksör kaslarında hafif ile orta derecede spastisitesi olan MS'li hastanede yatan hastalarda ince-

Tablo 18.2 Nörolojik hastalıklarda spastisite yönetimi için kullanılabilecek elektriksel stimülasyon protokolleri

	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokolü
Yüksek Frekanslı Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 100 Hz, atım süresi 200 µsn ve yoğunluk: duyuşal eşişin 2-3 katı (katılımcılar için ES'yi tespit etmek için minimum eşik).	6 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.
Düşük Frekanslı Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 1,7 Hz, atım süresi 200 µsn ve yoğunluk: Stimülasyon yoğunluğu, gözle görülür bir kas kasılması (motor eşik) meydana gelene kadar artırılır.	Üç ay boyunca haftada 5 gün, günde 60 dakika.
FES	Frekans 35 Hz, atım süresi 300 µsn ve yoğunluk: Stimülasyon yoğunluğu, gözle görülür bir kas kasılması (motor eşik) meydana gelene kadar artırılır.	4 hafta boyunca haftada 3 gün, günde 30 dakika.
Faradik Akımlar	Surge modunda 100 Hz atım (atım süresi = 0,1 msn, atım aralığı = 0,9 msn) (Surge süresi = 4 sn ve Surge'ler arası dinlenme = 6 sn).	6 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 20 dakika.
Rus Akımları	2500 Hz taşıyıcı frekansı, 50 Hz modüle edilmiş frekans ve 10 sn "açık" dönem ve ardından 50 sn "kapalı" dönem için 200 µsn faz süresi (3 sn'lik bir rampa ile).	6 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 10 dakika.

lenmiştir. Bilateral plantar fleksör spastisitesi olan hastalarda, hasta supin ve ekstansiyon pozisyonlarına yerleştirilmiştir. Elektrotlardan biri Gastrocnemius ve Soleus kaslarının ortasına, diğeri ise ayağın plantar yüzeyinin lateraline yerleştirilmiştir (Şekil 2). Stimülasyon frekansı 100 Hz ve atım süresi 0,3 milisaniye (msn) (yüksek frekanslı) TENS 4 hafta boyunca günde 20 dakika süreyle uygulanmıştır. TENS optimum düzeyde uygulanmıştır. Her iki ekstremitenin spastisitesinde 4 hafta sonra istatistiksel olarak anlamlı azalmalar gösterilmiştir.²⁰

Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES) ile kombine bisiklet eğitimi MS'e bağlı ciddi kuvvet kaybı veya paralizisi olan bireylerin bacak fonksiyonunu iyileştirme üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 14 katılımcı çalışmaya dâhil edilmiştir. Bu çalışma için FES stimülasyon parametreleri 200

**Şekil 18.2** Gastrocnemius ve Soleus kaslarına TENS uygulaması.

µsn'lik bir atım süresi ve 50 Hz'lik frekans olarak ayarlanmıştır. Katılımcıların Quadriceps Femoris, Hamstring ve Gluteal kaslarını uyararak için yüzey elektrotları kullanılmıştır (Şekil 18.3). Stimülasyon yoğunluğu katılımcının toleransına ve ergometrede dakikada 35 ila 50 devirlik hedef döngü hızına ulaşmak için gereken stimülasyon miktarına bağlı olarak değişmiştir. Çalışmanın sonunda, orta ile şiddetli MS'li bireylerde sadece 4 haftalık müdahalenin ardından spastisite ve fiziksel semptomlarda iyileşme göstermiştir.²¹

**Şekil 18.3** FES ile kombine bisiklet eğitimi uygulaması.

Hem TENS'in MS'te spastisite üzerindeki etkinliğini değerlendirmek hem de iki farklı uygulama süresini karşılaştırmak için MS'li 32 birey çalışmaya dâhil edilmiştir. Katılımcılar iki gruba randomize edilmiş ve günde 60 dakika ve 8 saat olmak üzere 2 haftalık TENS tedavilerini (100 Hz ve 0,125

msn atım süresini) karşılaştırmak için tek kör çapraz tasarım kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, günde 60 dakika veya 8 saat TENS uygulamasından sonra spastisitede istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. 8 saatlik uygulama süresi kas spazmı ve ağrıda ise önemli bir azalma ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle, bu çalışma TENS'in spastisiteyi azaltmada etkili görünmemesine rağmen, daha uzun süreli uygulamaların ağrı ve kas spazmı olan MS hastalarının tedavisinde faydalı olabileceğini belirtmiştir.²²

SKY'li hastalarda tek seans TENS ve FES'in alt ekstremitte spastisitesi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Spastik kaslara 30 dakika boyunca 100 Hz frekanslı ve 300 µsn atım süreli bifazik kare dalga TENS atımları uygulanmıştır. Stimülasyon yoğunlukları kas kasılmalarına neden olmamış ve duyu bozukluğu olan kişilerde 20 mA'in üzerine çıkarılmamıştır. FES ise 3 sn rampa yukarı süresi, 5 sn tutma süresi, 2 sn rampa aşağı süresi ve 10 saniye dinlenme süresinden oluşmakta olup 35 Hz atım hızı ve 300 µs atım süresi ile bifazik dikdörtgen atımlar sağlamaktadır. Tedavi 30 dakika sürmüştür. Stimülasyon yoğunluğu gözle görülür kas kasılması (motor eşik) oluşana kadar artırılmıştır. Yoğunluk daha sonra motor eşik %300'üne kadar artırılmıştır. FES ve TENS ile yapılan tek bir ES seansının 4 saat süren benzer spastisite karşıtı etkilere sahip olduğu bildirilmiştir.²³

Faradik akımların (FA) ve Russian akımlarının (RA) inme sonrası hastalarda ayak bileği plantar-fleksör spastisitesini azaltmada ve motor iyileşmeyi iyileştirmedeki etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmada, FA ve RA 6 hafta boyunca haftada 5 seans uygulanmıştır. Katılımcılar ES'yi sandalyede oturur pozisyonda ve ayakları yerde olacak şekilde uygulamışlardır. FA'da anot Peroneal Sinir üzerinde, katot ise Tibialis Anterior kasının motor noktası üzerinde yer almaktadır (Şekil 18.4). FA aşağıdaki parametrelere göre uygulanmıştır: 100 Hz atım (atım süresi = 0,1 msn, atım aralığı = 0,9 msn) surge modunda (surge süresi = 4 sn ve surge'ler arası dinlenme = 6 sn). RA'yı iletmek için 2.500 Hz taşıyıcı frekans, 50 Hz modüle edilmiş frekans ve 10 sn "açık" dönem ve ardından 50 sn "kapalı" dönem (3 sn hızlanma) için 200 µsn faz süresi parametreleri



Şekil 18.4 Tibialis Anterior kasına elektrik stimülasyonu uygulaması.

kullanılmıştır. Her iki akım da 10 dakika boyunca uygulanmıştır. Akımın yoğunluğu, katılımcının tolerans sınırı dahilinde kas kasılması üretecek şekilde ayarlanmıştır. İstemli kasılma fleksör sinerjiyi ve spastik ko-kontraksiyonu artırabileceğinden, katılımcılardan ES uygulaması sırasında kaslarını istemli olarak kasmaları istenmemiştir. Çalışmanın sonuçları, hem FA hem de RA'nın pasif ve aktif ayak bileği EHA'sını iyileştirmede ve Gastrocnemius ve Soleus kaslarının spastisitesini azaltmada tek başına egzersizlere göre küçük bir avantaja sahip olabileceğini göstermiştir.²⁴

Kronik inme hastalarında bir egzersiz programına TENS eklenmesinin spastisiteyi azaltıp azaltmadığını araştıran çalışmada, spastik kasa TENS uygulanmıştır. Aynı 30 dakikalık TENS, 6 hafta boyunca haftada 5 gün uygulanmıştır. TENS elektrotları etkilenen alt ekstremitenin lateral ve medial Quadriceps Femoris ve Gastrocnemius kaslarına yerleştirilmiştir. 100 Hz'lik bir frekans ve 200 µsn'lik bir atım süresi kullanılmıştır. Katılımcı ön uyarım eşik 0,01 mA'den ölçülmüş ve alt duyuşal eşik kullanılarak %90 amplitüdde uyarılmıştır. Sonuç olarak, terapötik egzersiz ve TENS kombinasyonunun kronik paralizili hastalarda spastisiteyi azaltabildiği ve denge, yürüme ve fonksiyonel aktiviteyi iyileştirebildiği gösterilmiştir.²⁵

Belirli bir akupunktur noktasına uygulanan yüksek frekanslı (100 Hz) TENS'in inme sonrası paretik bacakta spastisite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. ST 36 akupunktur noktasını uyarmak için elektrotlar yerleştirilmiş ve tedavi 3 ay boyunca günde 30 dakika uygulanmıştır. TENS'in yoğun-

luğu hastaya göre 0 ila 60 mA arasında değiştiği gözlenmiştir. Negatif elektrot diz eklemının alt lateral tarafında bulunan akupunktur noktası ST 36 üzerine yerleştirilmiştir. Pozitif elektrot alt bacağın dorsoline, diz ekleminden yaklaşık 10 cm uzağa yerleştirilmiştir. Elektrotlar Peroneal Sinir (L4-S2) de dahil olmak üzere geniş bir alanı kapsamıştır. Bu çalışmanın sonuçları, ST 36 akupunktur noktasının yüksek frekanslı (100 Hz) TENS ile uyarılmasının spastisitede ES için etkili bir klinik yöntem olabileceğini göstermiştir.²⁶

Düşük frekanslı TENS tedavisinin paretik kolda motor performans ve günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İnmeden 6-12 ay sonra başlamak üzere, paretik kola üç ay boyunca düşük frekanslı (1,7 Hz) TENS uygulanmıştır. Sonuç olarak, inmeden 6-12 ay sonra başlayan düşük frekanslı TENS'in üç yıllık takipte günlük yaşam aktiviteleri puanlarının korunmasına yol açabileceği bulunmuştur. Ancak, koldaki motor fonksiyon üzerinde spesifik bir etkisi olmayabileceği belirtilmiştir.²⁷

Kronik inmeli 42 hastada tek seans TENS uygulamasının spastisite üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gastrocnemius kasına 60 dakika boyunca 100 Hz, 200 μ s'n'de TENS stimülasyonu uygulanmıştır. Bu parametreler duyuşal eşğin (katılımcılar için ES'yi tespit etmek için minimum eşik) 2 ile 3 katıdır (Şekil 18.5). Tek bir TENS seansından sonra Gastrocnemius kas spastisitesinde anlamlı bir azalma tespit edilmiştir. Ancak bu etkinin bir gün içinde başlangıç değerlerine döndüğü gözlenmiştir.²⁸

Akut inme sonrası hastalarda akupunktur noktalarına uygulanan transkutanöz ES'nin plasebo



Şekil 18.5 Gastrocnemius kasına elektrik stimülasyonu uygulaması.

stimülasyon ve standart rehabilitasyona kıyasla spastisiteyi azaltıp azaltmadığı ve/veya kas gücünü artırıp artırmadığı araştırılmıştır. Transkutanöz ES grubu, etkilenen alt ekstremitte üzerindeki akupunktur noktalarına (St 36, Lv 3, GB 34 ve Bl 60) takılan elektrotlar aracılığıyla, deneğin tolerans seviyesi dahilinde, sabit modda 100 Hz'de 0,2 msn'lik atımlarla 60 dakika boyunca uygulanmıştır. İnmeden sonraki 10 gün içinde haftada 5 kez alt bacak akupunktur noktalarına uygulanan üç haftalık transkutanöz ES'nin ayak bileği plantar fleksör spastisitesini önemli ölçüde azalttığı ve antagonist ko-kontraksiyonda azalma ile dorsifleksör kuvvetini artırdığı bulunmuştur.²⁹

TENS'in paralizili hastalarda ayak bileği spastisitesini azaltıp azaltamayacağı ve kas kuvvetini artırıp artıramayacağı araştırılmıştır. Eğitim 6 hafta boyunca günde 15 dakika ve haftada 5 kez sürmüştür. TENS stimülatörü tarafından verilen stimülasyonun yoğunluğu, kas kasılması olmaksızın duyuşal eşğin iki katı olarak belirlenmiştir. TENS 200 μ s'n atım süresi ve 100 Hz frekans ile uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, spastik kasa uygulanan TENS'in spastisiteyi etkili bir şekilde azalttığını ve TENS uygulamasından sonra paralizili hastalarda kas kuvvetini ve denge yeteneğini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir.³⁰

İnme sonrası hastalarda ayak bileği plantar fleksör spastisitesini azaltmak ve yürüme hızını artırmak için Peroneal sinir üzerinden uygulanan TENS'in etkilerinin sürdürülebilirliğini araştıran çalışmaya otuz kişi dâhil edilmiştir. Elektrotlardan biri Peroneal sinir üzerinden fibula başına, diğeri ise Tibialis Anterior (motor noktanın üstü) kasının ortasına, Tibia'nın proksimalinin laterali-ne bağlanmıştır. 0,2 msn'lik kare atımlar, yaklaşık 50 msn'lik kısa bir atım süresiyle 100 Hz'lik bir frekansta iletilmiştir. Akım, katılımcıların duyuşal eşik seviyesinin 2 ile 3 katı bir yoğunlukta verilmiştir. Çalışmanın sonuçları TENS'in ayak bileği plantar fleksörlerinin spastisitesini azaltmada ve yürüme kabiliyetini geliştirmede etkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar spastisiteyi azaltmak için daha uzun bir uygulama önermişlerdir.³¹

Parezi ve Güç Kaybı

Paralizi veya parezi, istemli motor ünite alımında azalma, yani tork veya hareket üretmek için iskelet motor ünitelerinin istemli olarak alınmaması veya zorlanması olarak tanımlanır. Yüksek merkezlerin yaralanması, yüksek, orta ve düşük komut seviyeleri olarak gruplandırılabilir çeşitli seviyelerde merkezi istemli motor komutunu bozabilir.³² Paralizi, inme (%33,7), SKY (%27,3), MS (%18,6) ve Serebral Palsi'yi (%8,3) etkileyen önemli bir semptomdur.³³ Fizyoterapi ve rehabilitasyon programlarında, bu parezi ve güç kayıplarında farklı ES yöntemleri kullanılmaktadır (Tablo 18.3).

İnmeli hastalarda ayna terapisi ve Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu'nun (NMES) el fonksiyonları üzerindeki sinerjik etkileri araştırılmıştır. İnme hastalarında NMES 30-70 mA şiddetinde, 250 µsn atım süresi ile ve 35 Hz frekansında uygulanmıştır. Akım 5 sn sürmüş ve ardından 5 sn durdurulmuştur. Stimülasyonun yoğunluğu, katılımcıların yorgunluk hissetmeden kas kasılmasını hissedebilecekleri şekilde belirlenmiştir. Sonuç olarak, ayna terapisi ve NMES'in el fonksiyonu üzerinde sinerjik bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, NMES ve ayna terapisi ile kombine edilmiş bir el rehabilitasyon stratejisi, inme hastalarında el fonksiyonunu iyileştirmek için tek başına NMES veya ayna terapisinden daha faydalı olabilir.³⁴

İnme sonrası disfajiyi iyileştirmek için inspiratuar/ekspiratuar kas eğitimi ve NMES'in etkinliği araştırılmıştır. Suprahyoid kaslara iki elektrot yer-

leştirilmiştir ve VitalStim® talimatlarına göre 80 Hz transkutanöz ES uygulanmıştır. Hastalara kas kasılması hissettiklerinde yutkunmaları söylenmiştir. Günlük 40 dakikalık seanslar 3 hafta boyunca haftada 5 gün uygulanmıştır. Yutma güvenliği 3 haftalık NMES müdahalesinden sonra iyileşmiştir. Disfajik subakut inmeli hastalarda NMES ve inspiratuar ve ekspiratuar kas eğitiminin terapötik etkinliği, faringeal yutma güvenlik işaretlerinin iyileşmesiyle ilişkilendirilmiştir.³⁵

Akut inme sonrası verilen FES'in alt ekstremitte motor iyileşmesi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmada, akut inme sırasında verilen FES'in alt ekstremitte motor iyileşmesini ve yürüme yeteneğini artırmada tek başına standart rehabilitasyondan daha etkili olup olmadığı incelenmiştir. Yüzeysel elektrotları Quadriceps Femoris, Hamstring, Tibialis Anterior ve medial Gastrocnemius kaslarına hasta yan yatarken ve etkilenen alt ekstremitte bir askı ile desteklenirken uygulanmıştır (Şekil 18.6). FES, normal yürüyüşü taklit eden bir aktivasyon dizisi kullanılarak 30 Hz'de 0,3 msn'lik atımlar halinde, maksimum tolerans yoğunluğunda (20 ile 30 mA) verilmiştir. NMES 3 hafta boyunca, günde 30 dakika, haftada 5 gün uygulanmıştır. 3 haftalık tedaviden sonra, FES grubunda agonist elektromiyogramda artış ve elektromiyogram ko-kontraksiyon oranında azalma ile birlikte kompozit spastisite skoru yüzdesinde anlamlı bir azalma ve ayak bileği dorsifleksiyon torkunda anlamlı bir iyileşme bildirilmiştir.³⁶

Tablo 18.3 Nörolojik hastalıklarda parezi ve kuvvet kaybı yönetimi için kullanılabilir elektrik stimülasyonu protokolleri

	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokolü
Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu	Frekans 35 Hz, 250 µsn atım süresi ve akım 5 sn açık ve sonra 5 sn kapalı. Yoğunluk: stimülasyon, katılımcıların yorgunluk hissetmeden kas kasılmasını hissedebilecekleri şekilde belirlendi (30-70 mA).	3 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.
Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu	30 Hz'de 0,3 msn'lik atımlar ve maksimum tolerans yoğunluğu (20 ila 30 mA).	3 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.
Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 100 Hz, atım süresi 200 µsn ve duyuş eşliğinde 2-3 katı yoğunluk	4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.
Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon	Atım genişliği 100µsn, atım frekansı 60 atım/sn ve 5 sn atım ve 5 sn dinlenme ile kesikli form	6 hafta boyunca haftada 3 gün, günde 20 dakika.
Kesikli Galvanik Akım Stimülasyonu	Atım süresi 100 msn, atım aralığı 300 msn ve atım hızı 2,5 atım/sn olan monofazik dalga formu.	6 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.



Şekil 18.6 Alt ekstremitelerde kaslarına Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu uygulamaları.

Kronik paralizili bireylerde TENS ile görev odaklı eğitim programının üst ekstremitelerde motor fonksiyonunun iyileştirilmesi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. TENS kullanılarak Triceps Brachii kas merkezine ve el bileği ekstansörlerine ES (duyusal eşiğin 2-3 katı, 100 Hz, 200 µsn) uygulanmıştır. Uygulanan stimülasyon yoğunluğu genellikle görünür kas kontraksiyonu oluşumunu uyuracak yoğunluğa ayarlanmıştır. Dört haftalık bir süre boyunca, haftada 5 seans olmak üzere tek seansta 30 dakikalık 20 seans uygulanmıştır. Sonuç olarak, TENS ile kombine bir eğitim programının kronik üst ekstremitelerde perezisi olan inme hastalarında motor bozukluğu azaltılabileceği ve motor aktiviteyi iyileştirebileceği gösterilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada TENS'in somatosensoryel stimülasyondaki faydalarını vurgulamıştır.³⁷

İnmeden 6-12 ay sonra başlatılan düşük yoğunluklu düşük frekanslı TENS'in (1,7 Hz) paretik ekstremitenin fonksiyonel motor kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Düşük frekanslı TENS, 3 ay boyunca haftada 5 gün, 60 dakika süreyle uygulanmıştır. Sonuçlar motor fonksiyonun önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, düşük frekanslı TENS'in ağrı veya spastisiteyi azaltmadığı bildirilmiştir.³⁸

Dar veya geniş atımlı NMES ile 6 haftalık bir müdahalenin, relapsing-remitting MS hastalarında yürüme performansı, nöromusküler fonksiyon ve engellilik durumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. NMES her bir bacağın dorsifleksör ve plantar fleksör kaslarına uygulanmıştır (10 dakika, 4 sn açık ve 12 sn kapalı). NMES, seanslar arasında dengelenmiş bir sırayla her seferinde bir bacağı

uygulanmıştır. Uyarın frekansı, geniş atımlı stimülasyon için 1 msn atım genliği ile 100 Hz'ye ve dar atımlı stimülasyon için 0,26 msn atım genişliği ile 50 Hz'ye ayarlanmıştır. NMES ile ilişkili rahatsızlığı azaltmak için katılımcının, stimülasyon uygulanırken ilgili kaslarının kasılması teşvik edilmiştir.³⁹

MS'li bireylerin ekstremitelerde kaslarına uygulanan TENS ile motor fonksiyon ve engellilik durumlarında meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Katılımcılar rahatlamış bir şekilde sandalyede otururken, monofazik dikdörtgen atımlar (0,2 ms) 10 dakika boyunca her bir uzva ayrı ayrı verilmiştir. Atımlar ilk 5 dakika boyunca 50 Hz frekansta sürekli modda, ikinci 5 dakika boyunca ise ~100 Hz'de burst modunda (5 burst/sn) kullanılmıştır. Araştırmacılar, tedavi sırasında uyarın modunun değiştirilmesinin nöral kohezyonun depresif etkilerini en aza indirebileceğini belirtmişlerdir. Akım yoğunluğu, çok çeşitli duyusal sinir liflerini devreye sokmak için hafif kas kasılmalarını ortaya çıkaracak şekilde ayarlanır. MS'li kişilerin uzuvlarındaki duyusal sinirlere uygulanan 9 seanslık TENS tedavisinin, motor fonksiyonunu iyileştirerek ve hasta tarafından bildirilen yorgunluk seviyelerini ve yürüme kısıtlamalarını azaltarak hastalığın yükünü azalttığı gösterilmiştir.⁴⁰

MS hastalarında diz fleksörleri ve ayak bileği dorsifleksörlerindeki spastisiteye bağlı zayıflıklara uygulanan Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun (YVKGS) kuvvet üzerindeki etkileri araştırılmıştır. YVKGS stimülatörü otomatik olarak 100 µsn'lik bir atım süresi ve atım frekansı 60 Hz olarak ayarlanmıştır. Yorgunluğa neden olmamak için 5 sn atımlar ve 5 sn dinlenme ile kesikli form



seçilmiştir. Amplitüd, hastayı rahatsız etmeyen bir kasılma gözlenene kadar artırılmıştır. Toplam 20 dakika YVKGS uygulanmıştır ve 3 dk dinlenme süresi verilmiştir. YVKGS haftada 3 gün olmak üzere 6 hafta boyunca uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre YVKGS'nin lokalize kas güçlenmesinde etkili olduğu belirtilmiştir.⁴¹

PH ve orofaringeal disfajisi olan hastalarda, geleneksel logopedik disfaji tedavisine ek olarak NMES uygulamasının yaşam kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Suprahyoid kaslar NMES ile uyarılmıştır (frekans 80 Hz, atım süresi 700 µsn). Katılımcılar genellikle 7 veya 8 mA civarında bir "çekme" hissi bildirmiştir. Maksimum motor seviyesi, bir katılımcının boyun stimülasyonu sırasında rahatsızlık duymadan tolere edebileceği en yüksek akım seviyesi olarak belirlenmiştir. Elektroterapi cihazı her dakika 1 saniye süreyle otomatik olarak "açık"tan "kapalı"ya ve tekrar "açık"a geçecek şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, disfajisi olan bazı hastalarda bu tür stimülasyonun yutma sırasında hava yolunun korunması için gerekli olan hyolaringeal yükselmeyi engelleyebileceği gösterilmiştir.^{42,43}

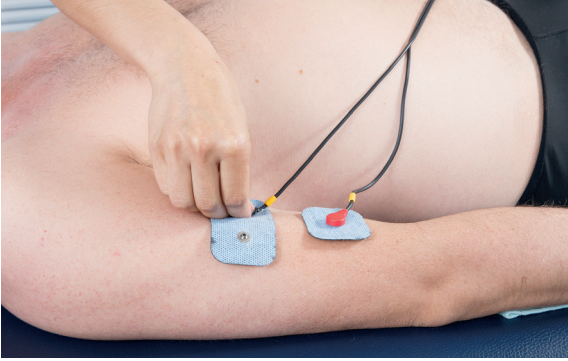
Lomber radikülopati ile ilişkili düşük ayakta Tibialis Anterior kas merkezine uygulanan RA stimülasyonunun etkileri araştırılmıştır. Hastanın yeteneklerinin en iyi şekilde istemli dorsifleksiyon ile tetani elde etmek için kasa 12 dakika boyunca 10/50 sn açık/kapalı ve %50 görev döngüsü ile 70 mA sabit akım ile 50 bps'lik bir burst frekansı uygulanmıştır. Fizyoterapist, ağrıyı hafifletmek için "açık" döngü sırasında ayak dorsifleksiyonuna yardımcı olmuştur. Bu çalışma sonuç olarak RA stimülasyonunun ayak düşmesine neden olan lomber radikülopatili hastalar için etkili bir cerrahi olmayan seçenek olabileceğini göstermektedir.⁴⁴

Bell's Palsy hastalarında geleneksel fizyoterapi ve rehabilitasyon programına ES eklendiğinde, klinik ve nörofizyolojik değişiklikler açısından etkinliği araştırılmıştır. Atım süresi 100 msn, atımlar arası aralığı 300 msn ve atım hızı 2,5 atım/s olan monofazik bir dalga formu 3 hafta boyunca haftada 5 kez kullanılmıştır. ES karbon-kauçuk elektrotlar aracılığıyla verilmiştir; her bir kas üzerine 3 cm² anod ve ipsilateral kolun proksimal kısmına 7 cm² katot

yerleştirilmiştir. ES 11 yüz kasının (Frontalis, Corrugator Supercilii, Orbicularis Oculi'nin palpebral kısmı, Levator Labii Superioris Alaeque Nasi, Levator Labii Superioris, Levator Anguli Oris, Risorius, Orbicularis Oris, Depressor Anguli Oris, Depressor Labii Inferioris ve Levator Menti) her birine uygulanmıştır. ES, 3 haftalık bir süre boyunca haftada 5 gün, 30 minimum kasılmadan oluşan üç set halinde gerçekleştirilmiştir. Bell's Palsy hastalarında 3 aylık takipte fonksiyonel yüz hareketlerinin ve elektrofizyolojik sonuç ölçümlerinin iyileştiği bildirilmiştir.⁴⁵

Kronik Bell's Palsy'de NMES ve Kısa Dalga Diatermi tedavisinin etkinliği araştırılmıştır. İki elektrot 3 kas üzerine yerleştirilmiştir: Orbicularis Oris, Zygomaticus ve Frontalis. Bir akım üretmenin yanı sıra, bir kapasitörün 2 plakası gibi hareket ederek kısa dalga diatermi tedavisi geliştirir. Bu nedenle, Kısa Dalga Diatermi tedavisi (8-12 W güç ve 2,2 MHz frekans) oluşturmak için her bir elektrik dalga formunun çizgisinin altındaki alanda bir radyo frekansı üretilir. Her seansta iki farklı dalga formu kullanılmıştır. Kısmen denerve motor üniteleri ve tamamen denerve olanları uyarmak için sırasıyla üçgen ve ardından dikdörtgen monofazik dalga formu kullanılmıştır. ES ünitesi sabit 80 Hz atım hızında ve 700 µsn sabit bifazik atım süresinde 1 kanallı bipolar ES uygulanmıştır. Yoğunluk, fizyoterapist gözle görülür kas kasılmayı doğrulayana ve birey yüz kaslarında bir kavrama hissi hissedene kadar 0,5 mA'den kademeli olarak artırılmıştır. Elektroterapi uygulamaları 30 d/seans, 5 seans/hafta olmak üzere 4 hafta boyunca yapılmıştır. NMES ve Kısa Dalga Diatermi'nin sinerjik kullanımının, spontan olarak iyileşmeyen kronik Bell's Palsy'de kontraktürleri ve sinkineziyi önleyerek istemli hareket simetrisinde önemli bir iyileşme sağladığı bildirilmiştir.⁴⁶

Brakiyal pleksus yaralanması olan hastalarda ev tabanlı bir kas ES sisteminin etkinliğini ve güvenliğini değerlendiren bir çalışmada, Biceps Brachii kası 15 dakika boyunca ES ile uyarılmıştır. Stimülasyon parametreleri arasında monofazik üçgen dalga formu, 80 msn'lik bir atım süresi, 1 sn'lik bir atım aralığı ve maksimum görünür Biceps Brachii kası kasılmasını sağlayan minimum akım yoğunluğu (0-100 mA) yer almıştır (Şekil 18.7). Bu çalışmada ES, periferik sinir hasarı olan hastalarda



Şekil 18.7 Biceps Brachii kasına elektrik stimülasyonu uygulaması.

bir tedavi olarak atrofının önlenmesi için önemli kanıtlar sağlamıştır.⁴⁷

Tremor

Tremor, bir vücut parçasının uzayda sabit bir düzlem etrafında hareket etmesine neden olan, karşılıklı olarak tetiklenmiş antagonistik kas gruplarının istemsiz, ritmik salınımıdır.⁴⁸ Tremor PH'de sıklıkla görülmekle birlikte, prevalansının %0,3 olduğu ve 60 yaş ve üzeri bireylerde %1'e yükseldiği tahmin edilmektedir.⁴⁹ İstirahat tremoru prevalansı (%58,2) aksiyon tremoru prevalansından (%39,0) daha yüksektir.⁵⁰ MS'te tremor insidansını ve prevalansını kesin olarak tahmin etmek zordur, ancak bir çalışmada hastaların sırasıyla %32 ve %6'sında orta ve şiddetli tremor saptanmıştır.⁵¹ Bu bölümde, özellikle PH'de görülen tremorun invaziv olmayan ES yaklaşımları açıklanmaktadır (Tablo 18.4).

Tremorda kullanılan ES yöntemleri üç ana kategoriye ayrılabilir: FES, duyuşal elektrik stimülas-

yonu (DES) ve TENS. Üç tip periferik ES yaklaşımı, tremoru bastırmak için farklı mekanizmalara sahiptir. FES yöntemi, tremoru bastırmak için özelliğini modüle etmek üzere kas kasılmasını indükler. Öte yandan, DES hedeflenen kasa elektrik akımı uygular, ancak uyarım genliği motor eşik altında kalır. TENS yöntemi, kutanöz afferent lifleri ortaya çıkarmak ve tremorla ilişkili kasları inhibe etmek için afferent siniri (örn. Radyal ve Medyan sinirler) uyarır. Stimülasyon frekansı ve yoğunluğu, kontrol stratejisindeki iki anahtar parametredir. İncelenen çalışmalarda kullanılan stimülasyon frekans aralığı 20 ile 250 Hz'dir. FES yöntemi, DES ve TENS'e kıyasla nispeten daha düşük bir frekans (20 ile 40 Hz arasında değişen) kullanmıştır.⁵²⁻⁵⁴ DES için kullanılan minimum ve maksimum stimülasyon frekansları 50 Hz ve 100 Hz'dir.^{55,56} TENS 100-250 Hz gibi daha yüksek bir frekans aralığına sahiptir.^{57,58} Stimülasyon yoğunluğu katılımcılarda genellikle 5-30 mA aralığında değişmiştir. DES için kullanılan minimum ve maksimum stimülasyon frekansları 50 Hz ve 100 Hz tespit edilmiştir.^{55,56} TENS 100-250 Hz gibi daha yüksek bir frekans aralığına sahiptir.^{57,58} Stimülasyon yoğunluğu katılımcılarda genellikle 5-30 mA aralığında değişmiştir.^{52,55-58}

ES'nin tremor üzerindeki etkileri PH hastalarında TENS ile araştırılmıştır. Elektrotlar elin dorsal yüzeyine işaret parmağının metakarpofalangeal eklemi yakınına (birinci interosseöz boşluğu kapsayacak şekilde) yerleştirilmiştir. Programlanabilir bir stimülatör, 250 Hz'lik bir atım frekansında 200 µsn'lik bir atım süresine sahip bifazik, dengeli bir atım dizisi üretmek için kullanılmıştır. Uyarın gü-

Tablo 18.4 Nörolojik hastalıklarda tremor yönetimi için kullanılacak elektrik stimülasyonu protokolleri

	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokollü
Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu	Frekans 30 Hz, 250 µsn atım süresi ve akım 5 sn açık ve ardından 5 sn kapalı. Yoğunluk: Stimülasyon, katılımcıların yorgunluk hissetmeden kas kasılmasını hissedebilecekleri şekilde belirlenmiştir (30-70 mA).	3 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.
Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	Frekans 250 Hz, 200 µsn atım süresi ve ES 2 sn duraklamalarla ayrılan 2 sn'lik ardışık olarak verilmelidir. Duyusal eşik 2-3 katı (katılımcılar için ES'yi tespit etmek için minimum eşik).	2 hafta boyunca haftanın 7 günü, günde 20 dakika.
Duyuşal Elektrik Stimülasyonu	Frekans 50 Hz, 250 µsn atım süresi ve akım 5 s açık ve ardından 5 s kapalı. 20 mA'den daha az motor cevap üreten rahat bir seviyede atım şiddeti.	4 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika.

cünün tremor inhibisyonu üzerindeki etkisini incelemek için uyarının atım süresi deney sırasında ayarlanmıştır. PH hastalarının üst ekstremitesinde tremor için TENS uygulamasının, Radyal sinir tarafından inerve edilen dorsal el derisi bölgesinin yüzey uyarımı ile uyarılan kutanöz refleksleri büyük ölçüde önleyebildiği bildirilmiştir.⁵⁹

Primer yazma tremoru (PYT) olan hastalarda TENS'in (üç farklı frekans kullanılarak) etkileri araştırılmıştır. 5 Hz, 25 Hz veya 50 Hz TENS stimülasyonu uygulanmıştır. TENS asimetrik dikdörtgen bifazik bir dalga olarak gözlenmiştir (250 µsn'lik atım süresi). Her bir TENS tedavisi 20'şer dakikalık 14 seans halinde uygulanmıştır (2 ardışık hafta boyunca haftada 7 gün). Çalışmanın sonunda, el yazısı ve tremorda klinik iyileşme gözlenmesine rağmen, PYT'li hastalarda 2 haftalık 5 ve 25 Hz TENS tedavisi arasında anlamlı bir değişiklik bildirilmemiştir.⁶⁰

Mesane ve Bağırsak Sorunları

Sfinkterin kontrolü altında olan beyin yapılarını ve omurilik yollarını etkileyen nörolojik hastalıklar alt idrar yolu semptomlarına (AİYS) neden olabilir. AİYS'ler arasında aşırı aktif mesane sendromu,

aciliyet, sık idrara çıkma, gece ve urge inkontinansı içerebilir. Üriner inkontinansın (UI) inme (%29), PH (%58), periferik nöropati (%50) ve MS'de (%35) görüldüğü bildirilmiştir.^{61,62} Ayrıca, SKY hastalarının %80 kadarı, MS'li kişilerin %70 kadarı ve PH'li kişilerin yaklaşık %10'u konstipasyondan şikayetçidir.⁶³ Bu bölümde, mesane ve bağırsak sorunları için kullanılan ES yöntemlerinden bahsedilmektedir (Tablo 18.5).

TENS'in inme sonrası üriner inkontinans (UI) üzerindeki terapötik etkisinin araştırıldığı çalışmada, 60 gün boyunca günde bir kez 30 dakika süreyle TENS uygulanmıştır. Akım parametreleri 70 µsn atım süresi ve 75 Hz frekansta monofazik kare dalga ve maksimum terapötik akım 16 mA (1 kilo ohm) olacak şekilde ayarlanmıştır. Sinir inervasyonuna göre elektrot pedleri şu şekilde yerleştirilmiştir: Pozitif elektrot (39 cm²) ikinci lomber spinöz proses üzerinde ve iki negatif elektrot (30 cm²) Spina İliaka Posterior Superior (SİPS) ile İskial bölge arasındaki birleşimin orta ve alt üçte birlik kısmının iç tarafında yer almıştır. TENS ile tedavi edilen katılımcılarda günlük işeme, gece, aciliyet ve UI'nin kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde iyileştiği bildirilmiştir.⁶⁴

Tablo 18.5 Nörolojik hastalıklarda mesane ve bağırsak problemlerinin yönetimi için kullanılabilecek elektrik stimülasyonu protokolleri

	Gösterge	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokolü
Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu	İdrar Kaçırma	Frekans 75 Hz, 70 µsn genlik ve 16 mA yoğunluk.	6 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika. Pozitif elektrot ikinci lomber spinöz proses üzerine yerleştirilmeli ve negatif elektrot SİPS ile İskial bölge arasındaki birleşimin orta ve alt üçte birlik kısmının medial tarafına yerleştirilmelidir.
Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu	Alt İdrar Yolu Belirtileri	Frekans 10 Hz, 200 µsn amplitüd ve stimülasyon amplitüdü motor kasılma eşiğinin hemen altındaki bir seviyeye ayarlanmalıdır.	12 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika. Vajinal uyarıcı prob ile Levator Ani kası hizasında vajinal duvara uygulanmalıdır.
Transkutan Tibial Sinir Stimülasyonu	Alt İdrar Yolu Belirtileri	Frekans 10 Hz, 200 µsn amplitüd ve stimülasyon amplitüdü motor kasılma eşiğinin hemen altındaki bir seviyeye ayarlanmalıdır.	12 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika. Bir elektrot sol medial malleolün altına uygulanmalı ve diğeri distal elektrotun 5 cm proksimaline yerleştirilmelidir.
Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu	Konstipasyon	Frekans 40 Hz, 330 µsn genlik ve yoğunluk:40-50 mA.	İlk 2 gün günde iki kez 15 dakika, daha sonra tedavi seansı günde iki kez 30 dakikaya çıkarılır. 6 hafta boyunca haftada 5 gün. Elektrotlar Dış Oblik ve Transversus Abdominis kaslarına yerleştirilmelidir.

MS'li kadınlarda intravajinal NMES ve Transkütan Tibial Sinir Stimülasyonunun (TTSS) AİYS ve sağlıkla ilgili yaşam kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. NMES, vajinal duvara Levator Ani kası seviyesinde 10 Hz frekansında 200 µsn atım süreli elektrik atımlarını 30 dakika boyunca katılımcının bir vajinal uyarıcı prob ile tolere edebileceği maksimum yoğunlukta vermek için kullanılmıştır. Stimülasyon genliği motor kasılma eşiğinin hemen altındaki bir seviyeye düşürülmüştür. Kendinden yapışkanlı elektrotlar ile yapılan TTSS'de, bir elektrot sol medial malleolün altına uygulanmış ve diğeri distal elektrotun 5 cm proksimaline yerleştirilmiştir. Akım 30 dakika boyunca 10 Hz'de 200 µsn'lik bir atım süresine ayarlanmış ve stimülasyon genliği motor kasılma eşiğinin hemen altındaki bir seviyeye düşürülmüştür. Uygulamalar 12 hafta boyunca sürmüştür. Bu çalışmada hem NMES hem de TTSS'nin MS'li kadınlarda AİYS'yi (acil üriner inkontinans dahil) iyileştirdiği ve pelvik taban kaslarında etkili gevşemeye neden olduğu bildirilmiştir.⁶⁵

MS'li hastalarda kronik fonksiyonel konstipasyon tedavisinde karın kaslarının FES ile uyarılması ve bağırsak hareketliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Katılımcıların Eksternal Oblik ve Transversus Abdominis kasları 40 Hz, 330 µsn atım süresi ve 40-50 mA'de FES ile uyarılmıştır. Tedavi ilk 2 gün boyunca günde iki kez 15 dakika olarak uygulanmış ve daha sonra tedavi seansı günde iki kez 30 dakikaya çıkarılmıştır. Tedavi süresi olan 6 hafta boyunca toplam 30 seans uygulanmıştır. Karın kaslarına uygulanan FES'in bağırsak hareketliliğini artırdığı gösterilmiş, bunun da kolonik geçiş süresinin yanı sıra tüm bağırsak geçiş süresini de azalttığı bildirilmiştir.⁶⁶

Basınç Ülserleri

Basınç ülserleri, sürekli mekanik yükün neden olduğu deri ve alttaki dokuda lokalize hasar alanı olarak tanımlanmaktadır.⁶⁷ Günümüzde basınç ülserleri, hasta için ciddi sonuçları olan, morbidite-mortalite artışı ve yaşam kalitesindeki bozulmadan doğrudan etkilenen önemli bir sağlık sorunudur. Özellikle basınç ülserlerinin neredeyse %95'inin önlenemez olduğu ve vakaların %60'ının hastanelerde başlatılıp geliştirildiği tahmin edildiğinde, her türlü çaba bu yöne yönlendirilmelidir. Sonuç olarak, ES uygulamalarının basınç ülserlerinin tedavisini desteklediği, özellikle de ülserlerin daha iyi ve hızlı bir şekilde temizlenmesini, damarlanmasını ve ardından iyileşmesini sağladığı belirtilmektedir (Tablo 18.6).⁶⁸

Nöroloji servisinde yatan bireylerde gelişen basınç ülserleri üzerinde YVKGS ve ultrason (US) uygulamalarının etkinliği araştırılmıştır. YVKGS, 10-/50-/100-µsn atım genliğinde 100 pps'lik çift tepeli monofazik atımlı akım veren bir cihazla, 2 sn rampa çıkış süresinde, sürekli modda ve 50 ile 150 V (kas kasılma seviyesinin altındaki bir nokta) arasında ayarlanan yoğunlukta ve sağlam cilt duyu seviyesine dayalı olarak uygulanmıştır. Seans süresi 4 ile 12 hafta boyunca haftada 3 kez 60 dakika olmuştur. Ultrason, 3 Mega Hertz (MHz) frekansında, %20 görev döngüsünde ve 0,3 Watt/cm² dozunda 1-2 dakika/cm² süreyle yara yatağı üzerinde ve 1 MHz frekansında sürekli modda, 1-1,5 Watt/cm² dozunda, 2-3 dakika/cm² süreyle yara çevresinde bir cihazla uygulanmıştır. Ultrason, 4-12 hafta boyunca haftada 3 kez uygulanmıştır. Bu çalışmada, araştırmacılar her iki grupta da yara boyutunda istatistiksel olarak anlamlı bir azalma gözlemlemişlerdir. Yara alanındaki azalmanın US grubunda

Tablo 18.6 Nörolojik hastalıklarda basınç ülseri yönetimi için kullanılacak elektrik stimülasyonu protokolleri

	Elektroterapi yönteminin özellikleri	Uygulama protokolü
Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon	YVKGS, 10-/50-/100-µsn atım genliğinde 100 pps ile çift tepeli monofazik atımlı akım, 2 sn rampa süresi, sürekli modda ve 50-150 V (kas kasılma seviyesinin altında bir nokta) arasında ayarlanan yoğunluk ile uygulanmalıdır.	12 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 60 dakika.



%63, HVPGS grubunda ise %43 oranında iyileştiği bildirilmiştir.⁶⁹

SKY'li hastalarda haftada 3-5 kez 60 dakikalık YVKG's'nin basınç ülserleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yoğunluğu 100 mA ve frekansı 100 pps (çift tepe, monofazik, 10 µs'n atım genliği) olan YVKG's'nin polaritesi başlangıçta negatif ve haf-talık olarak değiştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, süresi 8 ile 14 ay arasında değişen inatçı basınç ülserlerinin YVKG's ile tamamen iyileştiği bildirilmiştir.⁷⁰

Kaynaklar

1. Watson, Tim, ed. (2008), *Electrotherapy E-Book: Evidence-based practice*. Elsevier Health SKYences. ISBN: 9780443101793.
2. Chen PY, Cheen JR, Jheng YC, Wu HK, Huang SE, Kao CL. Clinical applications and consideration of electrotherapy interventions for orthopedic and neurological rehabilitation. *J Chin Med Assoc*. 2022;85(1):24-29. doi:10.1097/JCMA.0000000000000634.
3. Deguchi T, Iwakawa N, Sugimoto M, Harada. The promotional effect of electrotherapy on pressure ulcer healing. *Japanese Journal of Electrophysical Agents*. 2015;22(1):44-47. doi: 10.57337/jjeapt.14-4.
4. Nandi PR. Pain in neurological conditions. *Curr Opin Support Palliat Care*. 2012;6(2):194-200. doi:10.1097/SPC.0b013e328352edff.
5. Apkarian VA, Hashmi JA, Baliki MN. Pain and the brain: Specificity and plasticity of the brain in clinical chronic pain. *Pain*. 2011;152(3Suppl):S49-S64. doi:10.1016/j.pain.2010.11.010.
6. Borsook D. Neurological diseases and pain. *Brain*. 2012;135(Pt2):320-344. doi:10.1093/brain/awr271.
7. Maletic V, Raison CL. Neurobiology of depression, fibromyalgia and neuropathic pain. *Front BioSKY (Landmark Ed)*. 2009;14(14):5291-5338. doi:10.2741/3598.
8. Elman I, Zubieta JK, Borsook D. The missing p in psychiatric training: Why it is important to teach pain to psychiatrists. *Arch Gen Psychiatry*. 2011;68(1):12-20. doi:10.1001/archgenpsychiatry.2010.174.
9. Beiske AG, Pedersen ED, Czujko B, Myhr KM. Pain and sensory complaints in Multiple Sclerosis. *Eur J Neurol*. 2004;11(7):479-482. doi:10.1111/j.1468-1331.2004.00815.x.
10. Warke K, Al-Smadi J, Baxter D, Walsh DM, Lowe-Strong AS. Efficacy of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) for chronic low-back pain in a Multiple Sclerosis population: A randomized, placebo-controlled clinical trial. *Clin J Pain*. 2006;22(9):812-819. doi:10.1097/01.ajp.0000210935.73686.79.
11. Katirci Kirmaci Zİ, Adigüzel H, Göğremiş M, Kirmaci YŞ, İnanç Y, Tuncel Berktaş D. The effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and Interferential Currents (IFC) on pain, functional capacity, and quality of life in patients with Multiple Sclerosis: A randomized controlled, single-blinded study. *Mult Scler Relat Disord*. 2023;71:104541. doi:10.1016/j.msard.2023.104541.
12. Kılınç M, Livanelioğlu A, Yıldırım SA, Tan E. Effects of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in patients with peripheral and central neuropathic pain. *J Rehabil Med*. 2014;46(5):454-460. doi:10.2340/16501977-1271.
13. Park RJ, Son H, Kim K, Kim S, Oh T. The Effect of Microcurrent Electrical Stimulation on the foot blood circulation and pain of diabetic neuropathy. *J Phys Ther SKY*. 2011;23(3):515-8. doi:10.1589/jpts.23.515.
14. Bi X, Lv H, Chen BL, Li X, Wang XQ. Effects of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on pain in patients with spinal cord injury: A randomized controlled trial. *J Phys Ther SKY*. 2015;27(1):23-25. doi:10.1589/jpts.27.23.
15. Celik EC, Erhan B, Gunduz B, Lakse E. The effect of low-frequency TENS in the treatment of neuropathic pain in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2013;51(4):334-337. doi:10.1038/sc.2012.159.
16. Sayilir S, Yildizgoren MT. The medium-term effects of Diadynamic Currents in chronic low back pain; TENS versus diadynamic currents: A randomised, follow-up study. *Complement Ther Clin Pract*. 2017;29:16-19. doi:10.1016/j.ctcp.2017.07.002.
17. Kheder A, Nair KP. Spasticity: pathophysiology, evaluation and management. *Pract Neurol*. 2012;12(5):289-298. doi:10.1136/practneurol-2011-000155.
18. Martin A, Abogunrin S, Kurth H, Dinot J. Epidemiological, humanistic, and economic burden of illness of lower limb spasticity in adults: A systematic review. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2014;10:111-122. doi:10.2147/NDT.S53913.
19. Shaygannejad V, Janghorbani M, Vaezi A, Haghighi S, Gollabchi K, Heshmatipour M. Comparison of the effect of baclofen and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for the treatment of spasticity in Multiple Sclerosis. *Neurol Res*. 2013;35(6):636-641. doi:10.1179/1743132813Y.0000000200.
20. Armutlu K, Meriç A, Kirdi N, Yakut E, Karabudak R. The effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on spasticity in Multiple Sclerosis patients: A pilot study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2003;17(2):79-82. doi:10.1177/0888439003017002001.
21. Backus D, Burdett B, Hawkins L, Manella C, McCully KK, Sweatman M. Outcomes after Functional Electrical Stimulation cycle training in individuals with Multiple Sclerosis who are nonambulatory. *Int J MS Care*. 2017;19(3):113-121. doi:10.7224/1537-2073.2015-036.
22. Miller L, Mattison P, Paul L, Wood L. The effects of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on spasticity in Multiple Sclerosis. *Mult Scler*. 2007;13(4):527-533. doi:10.1177/1352458506071509.
23. Sivaramakrishnan A, Solomon JM, Manikandan N. Comparison of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and Functional Electrical Stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury - A pilot randomized cross-over trial. *J Spinal Cord Med*. 2018;41(4):397-406. doi:10.1080/10790268.2017.1390930.
24. Ganesh GS, Kumari R, Pattnaik M, et al. Effectiveness of Faradic and Russian Currents on plantar flexor muscle spasticity, ankle motor recovery, and functional gait in Stroke patients. *Physiother Res Int*. 2018;23(2):e1705. doi:10.1002/pri.1705.
25. Park J, Seo D, Choi W, Lee S. The effects of exercise with TENS on spasticity, balance, and gait in patients with chronic Stroke: A randomized controlled trial. *Med SKY Monit*. 2014;20:1890-1896. doi:10.12659/MSM.890926.
26. Sonde L, Kalimo H, Viitanen M. Stimulation with High-frequency TENS - Effects on lower limb spasticity after Stroke. *Eur J Physiother*. 2000;2(4):183-187. doi:10.1080/140381900750063454.
27. Sonde L, Kalimo H, Fernaeus SE, Viitanen M. Low TENS treatment on post-stroke paretic arm: A three-year follow-up. *Clin Rehabil*. 2000;14(1):14-19. doi:10.1191/026921500673534278

28. Cho HY, In TS, Cho KH, Song CH. A single trial of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) improves spasticity and balance in patients with chronic Stroke. *Tohoku J Exp Med.* 2013;229(3):187-193. doi:10.1620/tjem.229.187.
29. Yan T, Hui-Chan CW. Transcutaneous Electrical Stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute Stroke: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2009;41(5):312-316. doi:10.2340/16501977-0325.
30. Jung KS, In TS, Cho HY. Effects of sit-to-stand training combined with Transcutaneous Electrical Stimulation on spasticity, muscle strength and balance ability in patients with Stroke: A randomized controlled study. *Gait Posture.* 2017;54:183-187. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.03.007.
31. Laddha D, Ganesh GS, Pattnaik M, Mohanty P, Mishra C. Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on plantar flexor muscle spasticity and walking speed in Stroke patients. *Physiother Res Int.* 2016;21(4):247-256. doi:10.1002/pri.1638.
32. Prochazka A, Clarac F, Loeb GE, Rothwell JC, Wolpaw JR. What do reflex and voluntary mean? Modern views on an ancient debate. *Exp Brain Res.* 2000;130(4):417-432. doi:10.1007/s002219900250.
33. Armour BS, Courtney-Long EA, Fox MH, Fredine H, Cahill A. Prevalence and causes of paralysis-United States, 2013. *Am J Public Health.* 2016;106(10):1855-1857. doi:10.2105/AJPH.2016.303270.
34. Yun GJ, Chun MH, Park JY, Kim BR. The synergic effects of mirror therapy and neuromuscular electrical stimulation for hand function in Stroke patients. *Ann Rehabil Med.* 2011;35(3):316-321. doi:10.5535/arm.2011.35.3.316.
35. Guillén-Solà A, Messagi Sartor M, Bofill Soler N, Duarte E, Barrera MC, Marco E. Respiratory muscle strength training and neuromuscular electrical stimulation in subacute dysphagic Stroke patients: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2017;31(6):761-771. doi:10.1177/0269215516652446.
36. Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute Stroke: A randomized placebo-controlled trial. *Stroke.* 2005;36(1):80-85. doi:10.1161/01.STR.0000149623.24906.63.
37. Kim TH, In TS, Cho HY. Task-related training combined with Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation promotes upper limb functions in patients with chronic Stroke. *Tohoku J Exp Med.* 2013;231(2):93-100. doi:10.1620/tjem.231.93.
38. Sonde L, Gip C, Fernaeus SE, Nilsson CG, Viitanen M. Stimulation with low frequency (1.7 Hz) Transcutaneous Electric Nerve Stimulation (low-tens) increases motor function of the post-Stroke paretic arm. *Scand J Rehabil Med.* 1998;30(2):95-99. doi:10.1080/003655098444192.
39. Almklass AM, Davis L, Hamilton LD, Hebert JR, Alvarez E, Enoka RM. Pulse width does not influence the gains achieved with neuromuscular electrical stimulation in people with Multiple Sclerosis: Double-blind, randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2018;32(1):84-93. doi:10.1177/1545968317753681.
40. Alenazy M, Daneshgar Asl S, Petrigna L, et al. Treatment with electrical stimulation of sensory nerves improves motor function and disability status in persons with Multiple Sclerosis: A pilot study. *J Electromyogr Kinesiol.* 2021;61:102607. doi:10.1016/j.jelekin.2021.102607.
41. Korkmaz NC, Kirdi N, Temucin CM, Armutlu K, Yakut Y, Karabudak R. Improvement of muscle strength and fatigue with High Voltage Pulsed Galvanic Stimulation in Multiple Sclerosis patients-A non-randomized controlled trial. *J Pak Med Assoc.* 2011;61(8):736-743.
42. Ludlow CL, Humbert I, Saxon K, Poletto C, Sonies B, Crujido L. Effects of surface electrical stimulation both at rest and during swallowing in chronic pharyngeal dysphagia. *Dysphagia.* 2007;22(1):1-10. doi:10.1007/s00455-006-9029-4.
43. Heijnen BJ, Speyer R, Baijens LW, Bogaardt HC. Neuromuscular electrical stimulation versus traditional therapy in patients with Parkinson's disease and oropharyngeal dysphagia: Effects on quality of life. *Dysphagia.* 2012;27(3):336-345. doi:10.1007/s00455-011-9371-z.
44. Wang TJ, Sung K, Wilburn M, Allbright J. Russian Stimulation/functional electrical stimulation in the treatment of foot drop resulting from lumbar radiculopathy: A case series. *Innov Clin NeuroSKY.* 2019;16(5-6):46-49 PMID: 31440402.
45. Tuncay F, Borman P, Taşer B, Ünlü İ, Samim E. Role of electrical stimulation added to conventional therapy in patients with idiopathic facial (Bell) palsy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2015;94(3):222-228. doi:10.1097/PHM.0000000000000171.
46. Marotta N, Demeco A, Inzitari MT, Caruso MG, Ammendolia A. Neuromuscular electrical stimulation and Shortwave Diathermy in unrecovered Bell palsy: A randomized controlled study. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(8):e19152. doi:10.1097/MD.00000000000019152.
47. Limthongthang R, Muennoi P, Phoojaroenchanachai R, Vathana T, Wongtrakul S, Songcharoen P. Effectiveness and safety of home-based muscle electrical stimulator in brachial plexus injury patients. *J Med Assoc Thai.* 2014;97 Suppl 9:S56-S61. PMID: 25365891.
48. Charles PD, Esper GJ, Davis TL, Maciunas RJ, Robertson D. Classification of tremor and update on treatment. *Am Fam Physician.* 1999;59(6):1565-1572. PMID: 10193597.
49. Thenganatt MA, Jankovic J. The relationship between essential tremor and Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord.* 2016;22 Suppl 1:S162-S165. doi:10.1016/j.parkrelidis.2015.09.032.
50. Gupta DK, Marano M, Zwebber C, Boyd JT, Kuo SH. Prevalence and relationship of rest tremor and action tremor in Parkinson's disease. *Tremor Other Hyperkinet Mov (N Y).* 2020;10:58. doi:10.5334/tohm.552.
51. Haddow LJ, Mumford C, Whittle IR. Stereotactic treatment of tremor due to Multiple Sclerosis. *Neurosurg Quart.* 1997;7(1):23-34.
52. Zhang D, Ang WT. Reciprocal EMG controlled FES for pathological tremor suppression of forearm. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007;2007:4810-4813. doi:10.1109/IEMBS.2007.4353416
53. Zhang D, Poignet P, Widjaja F, Ang WT. Neural oSKYllator based control for pathological tremor suppression via functional electrical stimulation. *Control Eng Pract.* 2011;19(1):74-88.
54. Popović Maneski L, Jorgovanović N, Ilić V, et al. Electrical stimulation for the suppression of pathological tremor. *Med Biol Eng Comput.* 2011;49(10):1187-1193. doi:10.1007/s11517-011-0803-6.
55. Jitkritsadakul O, Thanawattano C, Anan C, Bhidayasiri R. Exploring the effect of electrical muscle stimulation as a novel treatment of intractable tremor in Parkinson's disease. *J Neurol SKY.* 2015;358(1-2):146-152. doi:10.1016/j.jns.2015.08.1527.
56. Dosen S, Muceli S, Dideriksen JL, et al. Online tremor suppression using electromyography and low-level electrical stimulation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2015;23(3):385-395. doi:10.1109/TNSRE.2014.2328296.
57. Hao MZ, Xu SQ, Hu ZX, et al. Inhibition of Parkinsonian tremor with cutaneous afferent evoked by Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1):75. doi:10.1186/s12984-017-0286-2.



58. Xu FL, Hao MZ, Xu SQ, Hu ZX, Xiao Q, Lan N. Development of a closed-loop system for tremor suppression in patients with Parkinson's disease. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2016;2016:1782-1785. doi:10.1109/EMBC.2016.7591063.
59. Hao MZ, Xu SQ, Hu ZX, et al. Inhibition of Parkinsonian tremor with cutaneous afferent evoked by Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1):75. doi:10.1186/s12984-017-0286-2.
60. Meunier S, Bleton JP, Mazevet D, et al. TENS is harmful in primary writing tremor. *Clin Neurophysiol.* 2011;122(1):171-175. doi:10.1016/j.clinph.2010.06.012.
61. Li WJ, Oh SJ. Management of lower urinary tract dysfunction in patients with neurological disorders. *Korean J Urol.* 2012;53(9):583-592. doi:10.4111/kju.2012.53.9.583.
62. Zecca C, Riccitelli GC, Disanto G, et al. Urinary incontinence in Multiple Sclerosis: Prevalence, severity and impact on patients' quality of life. *Eur J Neurol.* 2016;23(7):1228-1234. doi:10.1111/ene.13010.
63. Wiesel PH, Norton C, Brazzelli M. Management of fecal incontinence and constipation in adults with central neurological diseases. *Cochrane Database Syst Rev.* 2001;(4):CD002115. doi:10.1002/14651858.CD002115.
64. Guo ZF, Liu Y, Hu GH, Liu H, Xu YF. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in the treatment of patients with post-stroke urinary incontinence. *Clin Interv Aging.* 2014;9:851-856. doi:10.2147/CIA.S61084.
65. Lúcio A, D'ancona CA, Perissinotto MC, McLean L, Damasceno BP, de Moraes Lopes MH. Pelvic floor muscle training with and without electrical stimulation in the treatment of lower urinary tract symptoms in women with Multiple Sclerosis. *J Wound Ostomy Continence Nurs.* 2016;43(4):414-419. doi:10.1097/WON.0000000000000223.
66. Singleton C, Bakheit AM, Peace C. The efficacy of Functional Electrical Stimulation of the abdominal muscles in the treatment of chronic constipation in patients with Multiple Sclerosis: A pilot study. *Mult Scler Int.* 2016;2016:4860315. doi:10.1155/2016/4860315.
67. Anthony D, Alosoumi D, Safari R. Prevalence of pressure ulcers in long-term care: A global review. *J Wound Care.* 2019;28(11):702-709. doi:10.12968/jowc.2019.28.11.702.
68. Navarro Susana Postigo, Puerta Francisco Rivera. Innovación en cuidados de úlceras presión. Aplicación de electroterapia [Innovation in pressure ulcer care: application of electrotherapy]. *Rev Enferm.* 2013;36(2):60-64. PMID: 23527444.
69. Bora Karsli P, Gurcay E, Karaahmet OZ, Cakci A. High-Voltage Electrical Stimulation versus Ultrasound in the treatment of pressure ulcers. *Adv Skin Wound Care.* 2017;30(12):565-570. doi:10.1097/01.ASW.0000526606.72489.99.
70. Recio AC, Felter CE, Schneider AC, McDonald JW. High-Voltage Electrical Stimulation for the management of stage III and IV pressure ulcers among adults with Spinal Cord Injury: Demonstration of its utility for recalcitrant wounds below the level of injury. *J Spinal Cord Med.* 2012;35(1):58-63. doi:10.1179/2045772311Y.00000000044.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm
19

1

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) Olan Bireylerde Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARI: ZELİHA ÖZLEM YÜRÜK

Giriş

Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), hava akımı kısıtlılığı ile karakterize, ilerleyici, kısmen geri dönüşümlü bir grup hastalığın genel adıdır. Dispne, hırıltı, öksürük, göğüste sıkışma hissi ve sık görülen solunum yolu enfeksiyonları hastalığın başlıca belirtileridir.¹ KOAH, bireylerde kas kuvveti ve enduransının azalmasına, yorgunluğa, kilo kaybına ve anksiyeteye yol açan iskelet kası fonksiyonunun inhibisyonu da dahil olmak üzere pulmoner sistem dışı belirtileri olan sistemik bir hastalıktır.² KOAH'ta ekstremitelerde kaslarda zayıflık, atrofi, yapısal ve metabolik değişiklikler görülür ve periferik kaslardaki bu sorunlar egzersiz toleransını olumsuz etkiler.^{3,4}

KOAH'ta periferik kas fonksiyon kaybının altında yatan patofizyolojik mekanizmalar; protein sentezinde azalma, beslenme anormallikleri, kasların kullanılmaması, sistemik kortikosteroidler, hipoksi ve hiperkapni, kasın yeniden yapılanmasındaki değişiklikler, inflamasyon, oksidatif stres ve mitokondriyal anormalliklerdir.⁵⁻⁸ KOAH'lı bireylerde periferik kasların yapısındaki değişiklikler; tip I liflerden tip II liflere değişim, tip II liflerin kesit alanında azalma, kapiller ve mitokondriyal yoğunlukta azalma, oksidatif/glikolitik metabolizma oranında değişimdir. Tüm bu patofizyolojik mekanizmalar sonucunda kas kuvveti ve enduransında azalma meydana gelmektedir.⁹

Özellikle alt ekstremitelerde kaslardaki kuvvet ve endurans kaybı, yürüme kapasitesinin ve fiziksel

aktivitenin azalmasına neden olur. Bunlar egzersiz intoleransı, morbidite, mortalite, sağlık hizmetlerinin artan kullanımı, dispne ve düşük yaşam kalitesi ile ilişkilidir.^{10,11}

Fizyoterapi ve rehabilitasyonun temel amaçları şunlardır:¹²

- Semptomları azaltmak ve kontrol altına almak,
- Fiziksel kapasiteyi geliştirmek,
- Bağımsız fonksiyonun sağlanması,
- Hastaneye yatış sıklığını azaltmak,
- Hastalığın sistem üzerindeki etkilerini tersine çevirmek,
- Günlük hayatta fiziksel ve emosyonel katılımı artırmak,
- Yaşam kalitesini arttırmak,
- Sağlıkla ilgili bakım kaynaklarının kullanımını azaltmaktır.

Hasta Değerlendirmesi

Fizyoterapi programı planlama ve elektrik stimülasyonu için klinik karar vermeden önce ayrıntılı hasta değerlendirilmesi gereklidir. Fizyoterapistler hastalarla görüşme yapmalıdır. İlk olarak, tıbbi kayıtların incelenmesi hastanın tıbbi geçmişinin ve risklerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Elektrik stimülasyonunun amacını açıklamak gereklidir. Fizyoterapist anksiyete, dispne, konfüzyon, yorgunluk, anormal postür, günlük yaşam aktivitelerinde limitasyon ve endurans azalma belirtileri açısından gözlem yapmalıdır. Ayrıca elektrik stimülasyonunun kontrendikasyonları için hastanın önceki tıbbi durumunun öğrenilmesi gerekir.¹³

Fizyoterapi ve rehabilitasyon bakış açısı ile değerlendirilmenin amacı hastanın fonksiyonel yetenekleri ve limitasyonlarını ortaya koymaktır. Fizyoterapistin değerlendirmesinin içeriği bireyden bireye ve ortamdan ortama değişebilir. KOAH'lı bireylerde dispne, postür, eklem hareket açıklığı, antropometrik özellikler, kuvvet (manuel kas testi, el dinamometresi, izokinetik sistemler), endurans, duyarlar, yorgunluk ve yaşam kalitesi değerlendirilmelidir.¹³

KOAH'lı Hastalarda Elektrik Stimülasyonu

KOAH'lı bireylerin fizyoterapi ve rehabilitasyon programlarında egzersiz eğitimi, hasta eğitimi, pulmoner fizyoterapi ve elektrik stimülasyonu kullanılmaktadır. KOAH'ta en yaygın kullanılan elektrik stimülasyonu yaklaşımları arasında Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES), Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES), Manyetik Alan Stimülasyonu ve Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu (TENS) yer almaktadır.¹³

KOAH'lı Hastalarda Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES)

KOAH'lı Hastalarda NMES'in Amacı ve Etkileri

KOAH'ta egzersize dayalı pulmoner rehabilitasyon programı temel yaklaşımdır. Ancak bazı KOAH'lı bireyler, fonksiyonel egzersiz kapasitelerinin son derece sınırlı olması nedeniyle dirençli egzersiz eğitiminin ilk aşamalarında bile yorgunluk belirtileri nedeniyle gerekli egzersiz yoğunluğuna ulaşamamakta ve egzersize yeterli süre devam edememektedir. Ayrıca KOAH'lı ileri derecede dispnesi olan bireyler de programı tamamlayamazlar. NMES, dirençli egzersiz yapamayan KOAH'lı bireylerde periferik kas kuvvetinin artırılmasına alternatif olarak endikedir.¹⁴⁻¹⁶

NMES genellikle alt ekstremitenin uyluk ve baldır kaslarına uygulanır. Üst ekstremitte kasları veya diyafram da uyarılabilir.^{17,18} Ciddi solunum kısıtlılığı ve dispne nedeniyle aktif egzersiz yapamayan KOAH'lı bireylerde NMES ile spesifik kas gruplarının pasif eğitimi, aktif egzersizlere göre daha iyi tolere edilebilmektedir. KOAH'lı bireylerde NMES

sırasındaki metabolik yük dirençli egzersizlerine göre daha düşüktür. Bu nedenle kardiyopulmoner sistemlere binen yükü arttırmaz.¹⁹⁻²² Sabit metabolik yük ve zaman içindeki stabil semptom skorları nedeniyle, kas fonksiyonundaki iyileşmelerin en azından kısmen intramusküler değişikliklerden kaynaklandığını varsaymak mantıklı görünmektedir. Daha önce tip I ve IIa liflerinin düşük frekanslı (LF) NMES veya yüksek frekanslı (HF) NMES'i takiben arttığı gösterilmiştir.²³⁻²⁵

NMES stabil ve kritik KOAH hastalarında kullanılabilir. NMES periferik mikrosirkülasyonu düzenleyebilir, kas protein yıkımını azaltarak atrofiyi önleyebilir, yoğun bakıma bağlı zayıflığı önleyebilir ve taburculuk süresini kısaltabilir. Sonuç olarak NMES, özellikle aktivite kısıtlılığı ve tüm vücut egzersizlerine intoleransı olan KOAH'lı bireylerde alt ekstremitte fonksiyonunu iyileştirmede faydalı bir yöntemdir. Akut KOAH alevlenmesi nedeniyle yoğun bakım ünitesine kabul edilen yatağa bağlı hastalarda NMES uygulanabilir. NMES bu ortamlarda kas fonksiyonunu iyileştirebilir ve yataktan sandalyeye geçişi kolaylaştırabilir.²⁷ Latimer ve ark., NMES ve dirençli egzersizleri karşılaştırmış ve dirençli egzersizlerin mRNA artışı üzerinde daha geniş bir etkiye sahip olduğu ve dolayısıyla KOAH'lı hastaların Quadrieps Femoris kasındaki transkripsiyon yanıtlarını maksimuma çıkarmak için üstün bir müdahale olduğu sonucuna varmıştır.²⁸ Bununla birlikte, klinik ortamda dirençli egzersizler yapmak mümkün değilse, NMES kas kütlelerini ve kuvvetini artırabilir.

KOAH'lı hastalarda NMES'in etkileri şunlardır:²³⁻²⁸

- Atrofiyi önlemek,
- Periferik kas kuvvetini arttırmak,
- Periferik mikro dolaşımı düzenlemek,
- Dispne algısını azaltmak,
- Kardiyovasküler sistemlerdeki metabolik yükü arttırmadan kuvvetlendirmek.

NMES Protokolü

NMES parametreleri, KOAH'lı bireyler için tek tip bir protokol oluşturmak yerine, her hastanın özel ihtiyaçlarına ve tepkilerine göre belirlenebilir. Bu bölümde NMES protokolünün genel hatları pay-

laşılmaktadır. Stimülasyon Quadriceps Femoris, Gastrocnemius, Deltoideus, Biceps Brachii, Abdominal ve Diyafram kaslarına uygulanır.^{14,15,29}

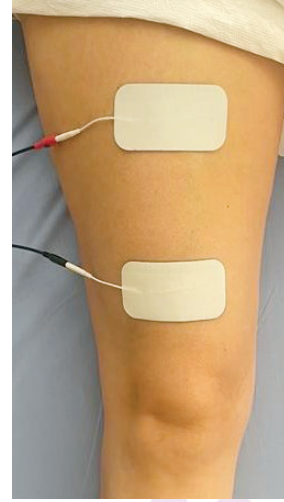
NMES'te 30 ve 80 Hertz (Hz) frekans aralığında, uyarı süresi 100 ile 400 mikrosaniye (μ sn) arasında olan bifazik, simetrik/asimetrik akımların tercih edilmesi önerilir. Bu parametreler hastalar tarafından iyi tolere edilir.^{16,29,30} Oksijen alımı, ventilasyon ve semptomlar yüksek frekanslı (75 Hz) ve düşük frekanslı (15 Hz) NMES arasında farklılık göstermez.³¹ Bu spesifik değerler, yavaş kasılan, yorulmaya dirençli kas liflerinin maksimum aktivasyonunu sağlar.³²

NMES uygulamasında kasların gevşemesi ve kasılma süresinin dayanıklılık egzersizlerine benzer olması kuralı göz önüne alındığında çok tekrarlı kas kasılması uygundur. Kasılmalardan sonra hastanın yorgunluk seviyesine göre ayarlanan aralıklar verilir. Çalışmalar kaslarda aşırı yorgunluğa yol açmadan hasta için en uygun kasılma ve gevşeme oranlarının belirlenmesini vurgulamaktadır.¹⁴

NMES ile elde edilen fonksiyonel egzersiz kapasitesindeki kazanımların büyük ölçüde hastanın artan yüksek akım yoğunluğunu tolere etme ve sürdürme yeteneğine bağlı olduğu ifade edilmiştir.³² Değişken miktarda gözle görülür ancak net bir kasılma olması ve hastanın maksimum toleransına kadar artırılması önerilir. Kas kuvvetlendirme amaçlı toplam tedavi süresi 4-8 haftadır. Tedavi sıklığının haftada 2-5 arasında değişebildiği, bir tedavi seansının süresinin ise 15-60 dakika (dk) arasında değişebildiği rapor edilmiştir.^{14,15,29,30}

Uyarılacak kaslara göre elektrot yerleşimine karar verilir (**Şekil 19.1**). Elektrotlar kas liflerine paralel olarak yerleştirilir. Stimülasyon tek taraflı veya iki taraflı yapılabilir. Terapistler 2 (1 kanal) veya 4 (2 kanal) elektrot kullanır. Diyafragmatik NMES için toplam 4 kanal ve 8 elektrot kullanılmaktadır. Ksifoid kemiğin her iki yanına, 7. ve 8. interkostal aralık hizasında, iki elektrot yardımıyla iki kanal yerleştirilir.¹⁷ Abdominal kasların stimülasyonu için umblikus bölgesinden yaklaşık 2 cm uzağa orta hat etrafında iki taraflı ve simetrik olarak 4 adet elektrot yerleştirilir.³³

Tablo 19.1 KOAH'lı hastalarda kas kuvvetlendirmesi için önerilen parametreleri göstermektedir.



Şekil 19.1 Tek taraflı Quadriceps Femoris NMES uygulaması.

dir. **Tablo 19.2** KOAH'lı hastalarda kas endüransını artırmak için önerilen parametreleri göstermektedir.

Tablo 19.1 KOAH'lı hastalarda kas kuvvetlendirmeye yönelik NMES parametreleri.^{22,31,34}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli veya surge'lü alternatif akım/simetrik bifazik veya asimetrik bifazik
Atım süresi	100-600 μ sn
Akım şiddeti	Maksimum tolere edilebilir/ Maksimum istemli izometrik kasılmanın \geq %50 (sağlıklı kaslar için) Maksimum istemli izometrik kasılmanın \geq %10 (atrofik kaslar)
Frekans	30-80 Hz
Akımın çıkış ve iniş süresi	Tolere edildiği şekilde 1-5 sn/1-5 sn
Geçiş süresi (uyarı süresi)/	5-10 sn
Dinlenme süresi	15-120 sn
Modülasyon	Yok
Kontraksiyon sayısı	10-20 tekrar (önerilir)
Tedavi süresi	15-60 dk
Uygulama sıklığı	Haftada 2-5 kez, 4-8 hafta
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	2 elektrot (1 kanal)-küçük kaslar; daha büyük kaslar için 4 elektrot (2 kanal); liflere paralel Quadriceps Femoris, Hamstringler, Gastrocnemius Gövde kasları, Deltoideus, Biceps Brachii İki taraflı/tek taraflı

Tablo 19.2 KOAH'lı hastalarda kas endüransını artırmaya yönelik NMES parametreleri.^{22,31,34}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli veya surge'lü alternatif akım/simetrik bifazik veya asimetrik bifazik
Atım süresi	100-600 µsn
Akım şiddeti	Rahat veya maksimum tolere edilebilir kasılma/ Maksimum istemli izometrik kasılmanın %25-50
Frekans	30-80 Hz
Akımın çıkış ve iniş süresi	Tolere edildiği şekilde, 1-5 sn/1-5 sn
Geçiş süresi (uyarı süresi)/	5-15 sn
Dinlenme süresi	5-15 sn
Modülasyon	Yok
Tedavi süresi	15-30 dakika
Uygulama sıklığı	Haftada 3-5 kez, 6-8 hafta
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	2 elektrot (1 kanal)-küçük kaslar; daha büyük kaslar için 4 elektrot (2 kanal); liflere paralel Quadriceps Femoris, Hamstringler, Gastrocnemius Gövde kasları, Deltoideus, Biceps Brachii İki taraflı/tek taraflı

KOAH'lı Bireylerde NMES'in Klinik Kanıt Düzeyi

KOAH'lı hastalarda periferik kas kuvvetini artırmaya yönelik NMES'in kullanıldığı çalışmalar 2000'li yılların başından itibaren giderek artan bir şekilde literatürde yer almaktadır.^{14-16,29,30} NMES ile yapılan çalışmalarda KOAH'lı hastalarda engellilik ve aktivite kısıtlılığı üzerinde tek başına veya kombine konvansiyonel pulmoner rehabilitasyon yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.³⁵

Roig ve Reid'in sistematik incelemesi, KOAH'lı hastaların alt ekstremitelerine uygulanan NMES ile kas fonksiyonunda ve egzersiz performansında kontrol, sahte tedavi veya diğer tedavi gruplarına kıyasla orta düzeyde iyileşme elde edildiğini belirtmiştir.³⁶ İlgili derlemede NMES'in egzersiz yapma kapasitesi olan hastaların rehabilitasyonunda kullanılabilir ek bir yaklaşım olduğu, uzun süreli immobilizasyonun gerekli olduğu kritik hastalarda ise birincil tedavi yaklaşımı olabileceği bildirilmiştir. Ancak NMES'in egzersiz eğitimine göre hiçbir avantajının olmadığı da belirtilmiştir.

KOAH'lı bireylerin alt ekstremita kas kesit alanı, yağsız vücut kütlesi, yağ kütlesi ve yağ yüzdesi düşüktür.³⁷ KOAH'lı hastalarda NMES'in vücut kompozisyonu üzerine etkisini araştıran bir çalışma, 6 hafta boyunca düşük ve yüksek frekanslı NMES uygulamasının vücut kompozisyonunda anlamlı

bir farklılık yaratmadığını göstermiştir.³⁸ Vivodtzev ve ark. 4 haftalık rehabilitasyonun etkilerini karşılaştırmış ve vücut kütle indeksi düşük, şiddetli etkilenimi olan KOAH hastalarında rehabilitasyon programına eklenen NMES'i karşılaştırmışlardır.¹⁶ NMES grubunda vücut kütle indeksinin daha fazla arttığını bulmuşlardır.

KOAH'lı bireylerde iskelet kası laktat dehidrojenaz (LDH) seviyeleri normaldir veya yükselme eğilimindedir. Egzersiz sırasında LDH bu hastalarda sağlıklı bireylere göre daha hızlı yükselir.³⁹ Çalışmalar KOAH'lı bireylerde tip II kas liflerinde artış olabileceğini ve dolayısıyla LDH düzeylerinde artış olabileceğini göstermiştir.⁴⁰ KOAH'ta ciddi hava yolu tıkanıklığı ve kronik hipoksisi olan hastaların Quadriceps Femoris kasında bu enzimin aktivitesinde artış gözlenmektedir.⁴¹ Çalışmalar, zorlu ekspiratuar hacim (FEV1) ile değerlendirilen hastalık şiddetinin LDH düzeyi ile ilişkili olduğunu göstermiştir.^{42,43} Hastalığın şiddeti yüksek olduğunda (FEV1<%25) LDH yüksek olabilir. Literatürde yapılan bir çalışmada NMES'in LDH üzerine etkisi araştırılmıştır. Quadriceps Femoris kasına haftada 3 kez 15 dakika süreyle 15 Hz'de NMES uygulandığı çalışmada LDH düzeyinde anlamlı farklılık saptanmamıştır.⁴⁴

KOAH'lı bireylerde üst ve alt ekstremita periferik kas kuvvet kaybı görülme sıklığı yaklaşık %30'dur. Hastalığın şiddeti arttıkça kas kuvvetsiz-



liği görülme sıklığı da artar.⁴⁵ Kas zayıflığı ve/veya azalmış kas dayanıklılığı ve kas atrofisi, özellikle Quadriceps Femoris kasında daha belirgindir.⁴⁶ KOAH'lı bireylerde Quadriceps Femoris kasının kesit alanı azalmıştır.⁴⁷ Zanotti ve ark. çalışmasında yatağa bağımlı hastalarda klasik aktif ekstremitte mobilizasyonuna ek olarak NMES kullanımıyla kas kuvvetinde anlamlı iyileşme ve yataktan sandalyeye transfer için gereken gün sayısında azalma elde edilmiştir.²⁹ Bourjeily-Habr ve ark. sahte tedavi grubuyla karşılaştırıldığında 6 haftalık NMES periyodundan sonra KOAH'lı bireylerde (FEV1, tahmin edilenin %38'i) izokinetik diz ekstansiyon torkunda (+%39) anlamlı bir iyileşme bildirmiştir.³⁰ Dal Corso ve ark.'nın çalışmasında KOAH'lı bireylerde Quadriceps Femoris kasına 6 hafta boyunca NMES uygulanmıştır. Kas kuvveti izokinetik dinamometre ile, kas kütlesi ve kesitleri ise çift enerjili x-ışını absorpsiyometrisi ile ölçülmüştür.¹⁵ Sonuç olarak NMES'in tip II kas liflerinde hipertrofiye neden olabileceği belirtilmiştir. Ancak bu sonuç, iskelet kas kuvvetinde ve egzersiz kapasitesinde artışa dönüşmemiştir.

Literatürde solunum kas eğitiminde NMES'in kullanımı sınırlıdır. Diyafragmatik NMES, Quadriceps Femoris kası NMES ve kontrol grubunu kapsayan bir çalışmada her iki grupta da maksimal inspiratuar basıncın kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Entübe olmayan KOAH hastalarında yapılan başka bir çalışmada ise diyaframa NMES uygulamasının solunum kas kuvvetinde anlamlı artış sağladığı belirtilmiştir.¹⁷ NMES'in abdominal ve göğüs kaslarına uygulandığı randomize kontrollü bir çalışmada, uyarılan kas gruplarında kas kütlesinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Müdahale grubunda kas kütlesinde değişiklik olmazken, kontrol grubunda kas kütlesinde azalma tespit edilmiştir.⁴⁸

Solunum kapasitesinin azalması; metabolizma ve gaz değişimindeki değişiklikler, iskelet kası fonksiyon bozukluğu, kalp yetmezliği ve efor sırasında semptomların artması gibi birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Egzersiz sırasında oluşan bu mekanikler fonksiyonel kapasitede ve maksimum oksijen tüketiminde azalmaya neden olur.⁴⁹ Bir Cochrane derlemesinde, NMES'in genel fiziksel

durum ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İncelemeye 19 çalışma dahil edilmiş ve kriterleri karşılayan 16 çalışmanın kapsadığı 267 KOAH hastası verilere katkıda bulunmuştur. NMES, Quadriceps Femoris kas kuvveti ve endurasını, 6 dakikalık yürüme testi mesafesini, submaksimal semptomla sınırlı egzersiz testi süresini artırmış ve egzersiz testi tamamlandığında bacak yorgunluğunun şiddetini azaltmıştır. Aynı zamanda NMES'in maksimum oksijen tüketim değerini de önemsiz derecede arttırdığı belirtilmiştir. NMES'in geleneksel egzersiz eğitimiyle birlikte uygulandığında Quadriceps Femoris kas kuvvetinde ek kazanç sağlamadığı, ancak 6 dakika yürüme testi sonuçlarını iyileştirdiği derleme sonuçları arasında yer almaktadır. Derlemeye dahil edilen çalışmalarda yanlılık riski, tahminlerin belirsizliği, çalışma sayısının azlığı ve çalışmalar arasındaki tutarsızlıklar nedeniyle NMES'in genel anlamda olumlu etkilerine ilişkin kanıt düzeyinin de düşük olduğu kaydedilmiştir. KOAH hastalarında fiziksel durum ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi düşük veya çok düşüktür.⁵⁰

Kronik solunum yolu hastalıklarında yaşam kalitesi yaş, cinsiyet, hastalığın şiddeti veya hava yolu tıkanıklığı düzeyinden etkilenmektedir.⁵¹⁻⁵³ NMES yaşam kalitesini artırır.^{20,44} Ancak yakın zamanda yapılan bir meta-analiz, NMES'in yaşam kalitesi üzerinde net bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Meta-analiz ayrıca NMES'in KOAH'lı hastalarda egzersiz kapasitesini artırabileceği ve egzersiz sırasında algılanan nefes darlığı hissini azaltabileceği, ancak stabil KOAH hastalarının rehabilitasyonunda etkili bir alternatif eğitim yöntemi olarak önerilmeyeceği sonucuna varmıştır.⁵⁴

Acheche ve ark. çalışmalarında bir grup KOAH hastasına NMES'i endurans eğitimi ve direnç egzersizleriyle birlikte uygulamışlardır. 24 hafta boyunca haftada üç seans her iki bacağın Quadriceps Femoris ve Gastrocnemius kaslarına NMES uygulanmıştır.⁵⁵ NMES uygulanan hastalarda statik ve dinamik dengenin ve egzersiz toleransının arttığı bildirilmiştir. Çalışmanın genel sonucu olarak NMES'in KOAH'lı bireylerde düşme riskini de azaltabileceği ve pulmoner rehabilitasyonun bir parçası olabileceği belirtilmiştir.

NMES uygulaması geleneksel egzersiz eğitimleriyle karşılaştırıldığında bir diğer önemli yönü de hastaların NMES tedavisi sırasında ve sonrasında yaşadıkları kaygının azalmasıdır. İlerlemiş KOAH olgularında anksiyetenin azaltılması, hastaların emosyonel bariyerlerinin ve emosyonel bariyer-fiziksel aktivite yetersizliği kısır döngüsünün kırılması açısından önemlidir.¹⁵

Ev Tabanlı NMES Uygulaması

Kontrollü solunum eğitimi ve istemli kas kasılması için uygulanan NMES'i içeren bir pulmoner rehabilitasyon ev programı, stabil KOAH'lı hastalarda kardiyorespiratuar performansı ve fonksiyonelliği iyileştirebilir.⁵⁶

Coquart ve ark. NMES'i de içeren ev temelli pulmoner rehabilitasyonun, ciddi egzersiz intoleransı olan ileri derecede KOAH hastaları için uygulanabilir ve etkili olduğunu bulmuşlardır.⁵⁷ Çalışmada hastalara taşınabilir bir stimülatör (50 Hz'de simetrik bifazik kare atımlı akım, 5 s açık ve 8 s kapalı, 300 µsn) ile yüzey elektrotları yardımıyla çift taraflı Quadriceps Femoris kaslarına NMES uygulanmıştır. Hastalar akım şiddetini maksimum tolere edilen düzeye kadar artırmışlardır. NMES her iki uyluğa günde iki kez 30 dakika süreyle eş zamanlı olarak uygulanmıştır. Bonnevie ve ark. pulmoner rehabilitasyona ek olarak evde yapılan NMES'in şiddetli ile çok şiddetli KOAH hastalarında daha fazla iyileşmeye yol açmadığını göstermiş; hatta bazı hastalar için de yük olabileceğini belirtmiştir.⁵⁸

NMES'in evde kullanım için önerilmesi durumunda hasta ve bakım verenlerin uygulama konusunda eğitilmesi gerekmektedir. Fizyoterapist, kullanım sırasında oluşabilecek riskler konusunda bilgi vermeli ve hastaları düzenli olarak takip etmelidir.

KOAH'lı Hastalarda Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES)

FES ile kombine bisiklet eğitimi 1980'lerin sonunda geliştirilmiştir. O zamandan beri nörolojik bozuklukları olan hastalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır.⁵⁹ FES döngüsünün prensibi, bilgisayar

tarafından senkronize edilen aktif veya pasif bir görev sırasında bir veya daha fazla kas grubunu elektiriksel olarak uyarmaktır.⁶⁰ Nörolojik bozuklukları olan hastalar için gönüllü egzersize alternatif veya tamamlayıcı olarak önerilmiştir. Tedavi programını optimize eder, kas kuvvetini ve kardiyovasküler kapasiteyi geliştirir.⁶¹

FES döngüsü, KOAH'lı hastalarda kısa vadede egzersiz yoğunluğunu etkili bir şekilde artırabilir. Daha ileri çalışmalar daha uzun vadeli FES ile bisiklet rehabilitasyon programlarını değerlendirmelidir.⁶² Tedavide elektrotlar her iki Quadriceps Femoris kasına yerleştirilir. Dikdörtgen darbeli bifazik akım kullanılır ve yoğunluk, hissedilir bir kas kasılması elde edecek şekilde modüle edilir. Diğer elektrik stimülasyonu parametreleri tüm hastalar için aynı olabilir (faz süresi: 300 µsn, frekans: 35 Hz). Bu ayarlar olağan elektrostimülasyon protokollerine dayanmaktadır. Bisiklet sürerken bir bilgisayar stimülatörü kontrol eder. Yazılım, diz ekstansiyonu sırasında uygun pedal açılarında kas kasılmalarının tetiklenmesini sağlar. İki dakikalık bir ısınmanın ardından, başlangıçta egzersiz testi sırasında belirlenen antrenman yüküne ulaşmak için yük artırılabilir. Hastalar 30 dakika boyunca dakikada 50-60 dönüş frekansında bisiklet sürerler.⁶³

KOAH'lı Hastalarda Manyetik Alan Tedavisi

KOAH'lı hastalarda manyetik alan stimülasyonunun etkinliğini araştırmak üzere çok az araştırma yapılmıştır. KOAH'lı hastalarda, özellikle kas atrofisini önlemek amacıyla, tedavi edici bir seçenek olarak manyetik alan stimülasyonuna yönelik giderek artan bir ilgi vardır. İlgili çalışmaların çoğu solunum sistemi yerine kas rehabilitasyonu alanında yayınlanmıştır. Manyetik alan stimülasyonu, motor fonksiyonlar ile ilişkili KOAH semptomlarının tedavisi için uygulanabilir, iyi tolere edilen, güvenli bir terapötik seçenektir. Standart bir tedavi protokolü yoktur. Manyetik alan stimülasyonundan hangi KOAH hasta gruplarının (ve hangi aşamada) en fazla fayda görebileceği araştırılmalı ve bu tedavinin uygulama alanları ve yöntemleri daha kesin olarak belirtilmelidir.⁶⁴



Bustamante ve ark. şiddetli etkilenimi olan KOAH'lı hastalarda Quadriceps Femoris yapılan kasına manyetik alan stimülasyonunun etkilerini araştırmıştır.⁶⁵ Çalışmada iki grup bulunmaktadır: Kontrol grubundaki KOAH hastalarına klinik takip yapılırken, tedavi grubunda her iki alt ekstremitede Quadriceps Femoris kası uyarılmıştır. Çalışmada manyetik alan uyarımı, hastanın toleransına göre ayarlanan uyarı yoğunluğu ve frekansı ile 15 dakikalık seanslar halinde uygulanmıştır. Şiddetli etkilenimi olan KOAH hastalarında, manyetik alan stimülasyonu yavaş kasılan liflerin boyutunu artırırken kasın oksidatif stresini artırmamıştır. Bu açıdan iyi tolere edilen bir tedavi yöntemidir.

KOAH'lı Hastalarda Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu (TENS)

TENS, öncelikle duyuusal sinirleri uyararak semptomatik ağrı gidermeyi ve böylece kapı kontrol mekanizmasını ve/veya opioid sistemini uymayı amaçlayan bir elektrik stimülasyonu yöntemidir. TENS'i uygulamanın farklı yöntemleri bu farklı fizyolojik mekanizmalarla ilgilidir.^{66,67}

Belirtildiği gibi dispne KOAH'lı bireylerde egzersiz toleransını sınırlayan ana faktördür. Dispne azalırsa fiziksel aktivite artabilir. Akupunktur noktalarına uygulanan tek seans akupunktur tipi TENS'in (frekans 4 Hz, atım süresi 200 µsn, rahatsızlığa neden olmayan maksimum tolere edilebilir akım şiddeti ile 45 dakika) KOAH'lı hastalarda FEV1 düzeyini artırdığı ve nefes darlığını azalttığı gösterilmiştir.⁶⁸ Stabil KOAH hastalarında akupunktur tipi TENS, 6 Dakika Yürüme Testi sırasında FEV1'de ve 6 dakikalık yürüme mesafesinde artış ve desatürasyonda anlamlı azalma meydana getirmiştir. Bu değişikliklere psikososyal durumdaki iyileşmelerin ve beta-endorfin düzeylerinde artışın eşlik ettiği rapor edilmiştir. Akupunktur tipi TENS'in beta-endorfin düzeyini artırarak bronkodilatasyon sağladığı öne sürülmüştür. Bu çalışmalar göz önüne alındığında TENS'in ev merkezli pulmoner rehabilitasyon programlarında yardımcı tedavi yaklaşımı olarak kullanılabileceği ve eğitim etkisini en üst düzeye çıkarmak için açık hava etkinlikleri veya egzersiz öncesinde uygulanabileceği değerlendirilmektedir.⁶⁹

Sonuç

Bu bölümde KOAH hastalarında kullanılan elektrik stimülasyonunun amacı, uygulama yöntemleri ve literatürdeki çalışmalar tartışılmaktadır. NMES, FES, manyetik alan tedavisi ve TENS, metabolik yüke neden olmadan periferik kas kuvveti ve fonksiyonel kapasiteyi artırma gibi faydalı etkileriyle pulmoner rehabilitasyon kapsamındaki diğer tedavi yöntemlerine katkı sağlamaktadır. Elektrik stimülasyonu uygulamaları stabil KOAH hastalarında ve KOAH'ın akut alevlenme evresinde kullanılabilir. KOAH ve diğer kardiyopulmoner sistem hastalıklarında elektrik stimülasyonunun etkisinin belirlenmesine yönelik ileri çalışmalar yapılabilir.^{70,71}

Kaynaklar

1. American Thoracic Society and European Respiratory Society. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: A statement of the American Thoracic Society and European Respiratory Society. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159(4 Pt 2):1-40. doi:10.1164/ajrccm.159.supplement_1.99titlepage.
2. Wouters EFM. Introduction: systemic effects in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J.* 2003;22(suppl. 46):1s. doi:10.1183/09031936.03.00000103a.
3. Debigare R, Cote CH, Maltais F. Peripheral muscle wasting in chronic obstructive pulmonary disease. Clinical relevance and mechanisms. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164(9):1712-7. doi:10.1164/ajrccm.164.9.2104035.
4. Polkey MI. Muscle metabolism and exercise tolerance in COPD. *Chest.* 2002;121(5):131-5. doi:10.1378/chest.121.5_suppl.131s.
5. Agusti A, Faner R. Systemic inflammation and comorbidities in chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc.* 2012;9(2):43-6. doi:10.1513/pats.201108-050MS.
6. Donaldson AV, Maddocks M, Martolini D, Polkey MI, Man WD. Muscle function in COPD: A complex interplay. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2012;7:523-35. doi:10.2147/COPD.S28247.
7. Agusti A, Soriano JB. COPD as a systemic disease. *COPD.* 2008;5(2):133-138. doi:10.1080/15412550801941349.
8. Rabinovich RA, Vilaro J. Structural and functional changes of peripheral muscles in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Curr Opin Pulm Med.* 2010;16(2):123-33. doi:10.1097/MCP.0b013e328336438d.
9. Antonucci R, Berton E, Huertas A, Laveneziana P, Palange P. Exercise physiology in COPD. *Monaldi Arch Chest Dis.* 2003;59(2):134-9. PMID:14635502.
10. Swallow EB, Reyes D, Hopkinson NS, Man WD, Porcher R, Cetti EJ, et al. Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 2007;62(2):115-20. doi:10.1136/thx.2006.062026.
11. Nyberg A, Törnberg A, Wadell K. Correlation between limb muscle endurance, strength, and functional capacity in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *Physiother Can.* 2016;68(1):46-53. doi:10.3138/ptc.2014-93.

12. Zeng Y, Jiang F, Chen Y, Chen P, Cai S. Exercise assessments and trainings of pulmonary rehabilitation in COPD: A literature review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2018;13:2013-23. doi:10.2147/COPD.S167098.
13. Tasdemir F, Inal-Ince D, Ergun P, Kaymaz D, Demir N, Demirci E, et al. Neuromuscular electrical stimulation as an adjunct to endurance and resistance training during pulmonary rehabilitation in stable chronic obstructive pulmonary disease. *Expert Rev Respir Med.* 2015;9(4):493-502. doi:10.1586/17476348.2015.1068691.
14. Neder JA, Sword D, Ward SA, Mackay E, Cochrane LM, Clark CJ. Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Thorax.* 2002;57(4):333-7. doi:10.1136/thorax.57.4.333.
15. Dal Corso S, Napolis L, Malaguti C, Gimenes AC, Albuquerque A, Nogueira CR, et al. Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients. *Respir Med.* 2007;101(6):1236-43. doi:10.1016/j.rmed.2006.10.023.
16. Vivodtzev I, Pe'pin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Levy P, et al. Improvements in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest.* 2006;129(6):1540-8. doi:10.1378/chest.129.6.1540.
17. Leite MA, Osaku EF, Albert J, Costa CRL, Garcia AM, Cizapievski FN, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps and diaphragm in critically ill patients: A pilot study. *Crit Care Res Pract.* 2018;2018:4298583. doi:10.1155/2018/4298583.
18. Kaymaz D, Ergün P, Demirci E, Demir N. Comparison of the effects of neuromuscular electrical stimulation and endurance training in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Turk Toraks.* 2015;63(1):1-7. doi:10.5578/tt.8493.
19. Hill K, Holland AE. Strategies to enhance the benefits of exercise training in the respiratory patient. *Clin Chest Med.* 2014;35(2):323-36. doi:10.1016/j.ccm.2014.02.003.
20. Vivodtzev I, Lacasse Y, Maltais F. Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2008;28(2):79-91. doi:10.1097/01.HCR.00000314201.02053.a3.
21. Sillen MJH, Janssen PP, Akkermans MA, Wouters EFM, Spruit MA. The metabolic response during resistance training and neuromuscular electrical stimulation (NMES) in patients with COPD, A Pilot Study. *Respir Med.* 2008;102(5):786-9. doi:10.1016/j.rmed.2008.01.013.
22. Sillen MJ, Franssen FM, Delbressine JM, Vaes AW, Wouters EF, Spruit MA. Efficacy of lower-limb muscle training modalities in severely dyspnoeic individuals with COPD and quadriceps muscle weakness: Results from the DICES trial. *Thorax.* 2014;69(6):525-31. doi:10.1136/thoraxjnl-2013-204388.
23. Nuhr M, Crevenna R, Gohlsch B, Bittner C, Pleiner J, Wiesinger G, et al. Functional and biochemical properties of chronically stimulated human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(2):202-8. doi:10.1007/s00421-003-0792-8.
24. Theriault R, Boulay MR, Theriault G, Simoneau JA. Electrical stimulation-induced changes in performance and fiber type proportion of human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74(4):311-7. doi:10.1007/BF02226926.
25. Gondin J, Brocca L, Bellinzona E, D'Antona G, Maffiuletti NA, Miotti D, et al. Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: A functional and proteomic analysis. *J Appl Physiol.* 2011;110(2):433-50. doi:10.1152/jappphysiol.00914.2010.
26. Wageck B, Nunes GS, Silva FL, Damasceno MCP, de Noronha M. Application and effects of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients: Systematic review. *Med Intensiva.* 2014;38(7):444-54. doi:10.1016/j.medin.2013.12.003.
27. Maltais F, Decramer M, Casaburi R, Barreiro E, Burelle Y, Debigaré R, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: Update on limb muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;189(9):e15-62. doi:10.1164/rccm.201402-0373ST.
28. Latimer LE, Constantin D, Greening NJ, Calvert L, Menon MK, Steiner MC, et al. Impact of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation or resistance exercise on skeletal muscle mRNA expression in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2019;14:1355-64. doi:10.2147/COPD.S189896.
29. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fraccia C. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: Effect of electrical stimulation. *Chest.* 2003;124(1):292-6. doi:10.1378/chest.124.1.292.
30. Bourjeily-Habr G, Rochester CL, Palermo F, Snyder P, Mohsenin V. Randomized controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 2002;57(12):1045-9. doi:10.1136/thorax.57.12.1045.
31. Sillen MJ, Wouters EF, Franssen FM, Meijer K, Stakenborg KH, Spruit MA. Oxygen uptake, ventilation, and symptoms during low-frequency versus high-frequency NMES in COPD: A pilot study. *Lung.* 2011;189(1):21-6. doi:10.1007/s00408-010-9265-0.
32. Vivodtzev I, Debigare R, Gagnon P, Mainguy V, Saey D, Dubé A, et al. Functional and muscular effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with severe COPD: A randomized clinical trial. *Chest.* 2012;141(3):716-25. doi:10.1378/chest.11-0839.
33. Ito K, Nozoe T, Okuda M, Nonaka K, Yamahara J, Horie J, et al. Electrically stimulated ventilation feedback improves the ventilation pattern in patients with COPD. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(2):325-30. doi:10.1589/jpts.27.325.
34. Cameron MH. (1999), *Physical agents in rehabilitation: from research to practice.* 3rd ed. Philadelphia, USA: WB Saunders Company. ISBN:0-7216-6244-7.
35. Alves IGN, da Silva E Silva CM, Martinez BP, de Queiroz RS, Gomes-Neto M. Effects of neuromuscular electrical stimulation on exercise capacity, muscle strength and quality of life in COPD patients: A systematic review with meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2022;36(4):449-71. doi:10.1177/02692155211067983.
36. Roig M, Reid WD. Electrical stimulation and peripheral muscle function in COPD: A systematic review. *Respir Med.* 2009;103(4):485-95. doi:10.1016/j.rmed.2008.11.008.
37. Schols AM, Soeters PB, Dingemans AM, Mostert R, Frantzen PJ, Wouters EF. Prevalence and characteristics of nutritional depletion in patients with stable COPD eligible for pulmonary rehabilitation. *Am Rev Respir Dis.* 1993;147:1151-6. doi:10.1164/ajrccm/147.5.1151.
38. Napolis LM, Dal Corso S, Neder JA, Malaguti C, Gimenes ACO, Nery LU. Neuromuscular electrical stimulation improves exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease patients with better preserved fat-free mass. *Clinics* 2011;66:401-6. doi:10.1590/s1807-59322011000300006.
39. van Hall G. Lactate as a fuel for mitochondrial respiration. *Acta Physiol Scand.* 2000;168:643-56. doi:10.1046/j.1365-201x.2000.00716.x.
40. Gosker HR, Zeegers MP, Wouters EF, Schols AM. Muscle fiber type shifting in the vastus lateralis of patients with COPD is associated with disease severity: A systematic re-



- view and meta-analysis. *Thorax*. 2007; 62:944-9. doi:10.1136/thx.2007.078980.
41. Jakobsson P, Jordfelt L, Henriksson J. Metabolic enzyme activity in the quadriceps femoris muscle in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151:374-7. doi:10.1164/ajrccm.151.2.7842194.
 42. Maltais F, Simard AA, Simard C, Jobin J, Desgagnés P, LeBlanc P. Oxidative capacity of the skeletal muscles and lactic acid kinetics during exercise in normal subjects and in patients with COPD. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;153:288-93. doi:10.1164/ajrccm.153.1.8542131.
 43. Doucet M, Debigaré R, Joannisse DR, Côte C, LeBlanc P, Grégoire J, et al. Adaptation of the diaphragm and the vastus lateralis in mild-to-moderate COPD. *Eur Respir J*. 2004;24:971-9. doi:10.1183/09031936.04.00020204.
 44. Bustamante V, Santa Maria EL, Gorostiza A, Jimenez U, Galdiz JB. Muscle training with repetitive magnetic stimulation of the quadriceps in severe COPD patients. *Respir Med*. 2010;104:237-54. doi:10.1016/j.rmed.2009.10.001.
 45. Gayan-Ramirez G, Koulouris N, Roca J, Decramer M. Respiratory and skeletal muscles in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J*. 2006;38:201-23. doi:10.1183/1025448x.00038011.
 46. Seymour JM, Spruit MA, Hopkinson NS, Natanek SA, Man WD, Jackson A, et al. The prevalence of quadriceps weakness in COPD and the relationship with disease severity. *Eur Respir J*. 2010;36:81-8. doi:10.1183/09031936.00104909.
 47. O'Donnell DE, Revill SM, Webb KA. Dynamic hyperinflation and exercise intolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:770-7. doi:10.1164/ajrccm.164.5.2012122.
 48. Dall'Acqua AM, Sachetti A, Santos LJ, Lemos FA, Bianchi T, Naue WS, et al. Use of neuromuscular electrical stimulation to preserve the thickness of abdominal and chest muscles of critically ill patients: A randomized clinical trial. *J Rehab Med*. 2017;49(1):40-8. doi:10.2340/16501977-2168.
 49. Dourado VZ, Tanni SE, Vale SA, Faganello MM, Sanchez FF, Godoy I. Systemic manifestations in chronic obstructive pulmonary disease. *J Bras Pneumol*. 2006;32:161-71. doi:10.1590/s1806-37132006000200012.
 50. Hill K, Cavalheri V, Mathur S, Roig M, Janaudis Ferreira T, Robles P, et al. Neuromuscular electrostimulation for adults with chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Syst Rev*. 2018;5(5):CD010821. doi:10.1002/14651858.CD010821.
 51. Peruzza S, Sergi G, Vianello A, Pisent C, Tiozzo F, Manzan A, et al. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in elderly subjects: impact on functional status and quality of life. *Respir Med*. 2003;97:612-7. doi:10.1053/rmed.2003.1488.
 52. Carrasco Garrido P, de Miguel Díez J, Rejas Gutiérrez J, Centeno AM, Gobartt Vázquez E, Gil de Miguel A, et al. Negative impact of chronic obstructive pulmonary disease on the health related quality of life of patients. results of the EPIDEPOC Study. *Health Qual Life Outcomes*. 2006;4:31. doi:10.1186/1477-7525-4-31.
 53. Okubadejo AA, Jones PW, Wedzicha JA. Quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease and severe hypoxemia. *Thorax*. 1996;51:44-7. doi:10.1136/thx.51.1.44.
 54. Wu X, Hu X, Hu W, Xiang G, Li S. Effects of neuromuscular electrical stimulation on exercise capacity and quality of life in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Biosci Rep*. 2020;40(5):BSR20191912. doi:10.1042/BSR20191912.
 55. Acheche A, Mekki M, Paillard T, Tabka Z, Trabelsi Y. The effect of adding neuromuscular electrical stimulation with endurance and resistance training on exercise capacity and balance in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A randomized controlled trial. *Can Respir J*. 2020;2020:9826084. doi:10.1155/2020/9826084.
 56. Valenza MC, Torres-Sánchez I, López-López L, Cabrera-Martos I, Ortiz-Rubio A, Valenza-Demet G. Effects of home-based neuromuscular electrical stimulation in severe chronic obstructive pulmonary disease patients: A randomized controlled clinical trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018;54(3):323-32. doi:10.23736/S1973-9087.17.04745-1.
 57. Coquart JB, Grosbois JM, Olivier C, Bart F, Castres I, Wallaert B. Home-based neuromuscular electrical stimulation improves exercise tolerance and health-related quality of life in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:1189-97. doi:10.2147/COPD.S105049.
 58. Bonnevie T, Gravier FE, Debeaumont D, Viacroze C, Muir JF, Cuvelier A, et al. Home-based neuromuscular electrical stimulation as an add-on to pulmonary rehabilitation does not provide further benefits in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A multicenter randomized trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(8):1462-70. doi:10.1016/j.apmr.2018.01.024.
 59. Glaser RM. Physiologic functional neuromuscular stimulation. exercise conditioning of spinal cord injured patients. *Int J Sports Med*. 1994;15(3):142-8. doi:10.1055/s-2007-1021036.
 60. Fornusek C, Davis G, Sinclair P, Milthorpe B. Development of an isokinetic functional electrical stimulation cycle ergometer. *Neuromodulation*. 2004;1:56-64. doi:10.1111/j.1525-1403.2004.04007.x.
 61. Davis G, Hamzaid N, Fornusek C. Cardiorespiratory, metabolic, and biomechanical responses during functional electrical stimulation leg exercise: Health and fitness benefits. *Artif Organs*. 2008;32:625-9. doi:10.1111/j.1525-1594.2008.00622.x.
 62. Medrinal C, Prieur G, Combret Y, Quesada AR, Debeaumont D, Bonnevie T, et al. Functional electrical stimulation-a new therapeutic approach to enhance exercise intensity in chronic obstructive pulmonary disease patients: A randomized, controlled crossover trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(8):1454-61. doi:10.1016/j.apmr.2018.02.002.
 63. Medrinal C, Prieur G, Debeaumont D, Robledo Quesada A, Combret Y, Quieffin J, et al. Comparison of oxygen uptake during cycle ergometry with and without functional electrical stimulation in patients with COPD: Protocol for a randomized, single-blind, placebo-controlled, cross-over trial. *BMJ Open Respir Res*. 2016;3(1):e000130. doi:10.1136/bmjresp-2016-000130.
 64. Polastri M, Comellini V, Pacilli AMG, Nava S. Magnetic stimulation therapy in patients with COPD: A systematic review. *COPD*. 2018;15(2):165-70. doi:10.1080/15412555.2018.1439910.
 65. Bustamante V, Casanova J, López de Santamaria E, Mas S, Sellarés J, Gea J, et al. Redox balance following magnetic stimulation training in the quadriceps of patients with severe COPD. *Free Radic Res*. 2008;42(11-12):939-48. doi:10.1080/10715760802555569.
 66. Kahn J. (2000), Principles and practice of electrotherapy. 4th ed. Philadelphia, Pennsylvania: Churchill Livingstone. ISBN: 0443065535.
 67. Kırdı N. (2016), Elektroterapiye temel prensipler ve klinik uygulamalar. 2nd ed. Ankara: Hipokrat Kitabevi. ISBN: 978-605-9160-03-2.
 68. Lau KS, Jones AY. A Single Session of Acu-TENS Increases FEV1 and reduces dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A randomised, placebo-controlled trial. *Aust J Physiother*. 2008;54(3):179-84. doi:10.1016/s0004-9514(08)70024-2.
 69. Wei Y, Yuan N, Dong Y, Wang L, Ding J. Transcutaneous electrical nerve stimulation over acupoint for chronic obstructive

- tive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 2022;10:937835. doi:10.3389/fpubh.2022.937835.
70. Torres-Sánchez I, Cruz-Ramírez R, Cabrera-Martos I, Díaz-Pelegriña A, Valenza MC. Results of physiotherapy treatments in exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. *Physiother Can*. 2017;69(2):122-32. doi:10.3138/ptc.2015-78.
71. Demirgüç A, Özden A. Pulmoner rehabilitasyonda kanıta dayalı elektroterapi uygulamaları (p.35-41). (2021), In: Kırdı E, editor. *Fizyoterapi ve rehabilitasyonun farklı alanlarında elektroterapi uygulamalarındaki kanıta dayalı çalışmalar*. 1st ed. Ankara: Dijital Akademi. ISBN: 978-625-401-475-8.





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm

20

1

Skolyozu Olan Hastalar İçin Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARI: ZELİHA ÖZLEM YÜRÜK

Giriş

Sağlıklı bir omurgada C1'den L5'e kadar tüm vertebralar frontal düzlemde nötr bir pozisyonda hizalanır. Skolyoz, frontal düzlemde lateral eğrilik, sagittal düzlemde torasik lordoz ve transvers düzlemde vertebraların rotasyonu ile oluşan karmaşık, üç boyutlu bir omurga deformitesidir. Bu tablo, eğriliğin konveks tarafında göğüs kafesinin posterior yönde elevasyonuna ve konkav tarafında depresyona neden olur. Omurganın dizilim bozukluğu ilk kez Hipokrat tarafından tanımlanmıştır. Galen omurganın eğriliği için "skolyoz" terimini kullanmıştır.¹

Skolyoz etiyolojiye, lokalizasyona, eğrilik şekline, açıya, fonksiyonel ve yapısal değişikliklere ve yaşa göre sınıflandırılabilir.² Skolyoz genellikle torakal veya lumbal bölgede görülür. Paternine göre C veya S skolyozu olarak sınıflandırılır. Skolyoz fonksiyonel ve strüktürel olmak üzere ikiye ayrılır. Postural, kompensatuar, sinir kökü irritasyonu, inflamatuvar veya histerik problemler fonksiyonel skolyozu neden olabilir. Fonksiyonel skolyozda omurgadaki değişiklikler geri dönüşlüdür. Strüktürel skolyoz omurganın geri dönüşü olmayan laterale doğru eğriliği ve rotasyonudur. Strüktürel skolyoz idiyopatik, konjenital, nöromusküler, travmatik veya tümör kökenli skolyoz olarak sınıflandırılır. Skolyoz vakalarının çoğu (%80-90) idiyopattır. Yaşa göre infantil, juvenil ve adölesan olarak üçe ayrılır. Skolyozun en yaygın şekli, geç çocukluk veya ergenlik döneminde ortaya çıkan adölesan idiyopatik skolyozdur.³

Skolyozda erken teşhis ve tedavi çok önemlidir.⁴ Durum çoğunlukla ağrısız olduğundan, özellikle okullarda skolyoz taramasının uygulanmadığı ülkelerde erken teşhis zordur. Vücut şeklindeki değişiklik erken aşamalarda minimum düzeydedir ve değişikliklerin çoğu hastaların görmesi zor olan ve giysilerle gizlenebilen gövdenin arka kısmında meydana gelir.⁵ Skolyozun yol açtığı durumlar şunlardır:^{6,7}

- Değişen omurga mekaniği ve dejeneratif değişiklikler,
- Ağrı,
- Omurga hareketlerinin kaybı,
- Fonksiyon kaybı ve engellilik,
- Kardiyak ve solunum fonksiyonlarında bozukluk,
- Psikolojik problemler.

Skolyoz tedavisinde eski çağlardan beri çeşitli tedavi yöntemleri kullanılmıştır. Skolyoz tedavisi; konservatif tedavi ve cerrahi prosedürleri içerir. Tedavi programı hastanın değerlendirme sonucuna ve eğriliğin ilerlemesine göre bireyselleştirilmelidir.

Tedavinin ana hedefleri şunlardır:^{3,6}

- Deformiteyi düzeltmek,
- Eğri ilerlemesini yavaşlatmak veya durdurmak,
- Gövde simetrisini ve dengesini yeniden sağlamak,
- Ağrıyı en aza indirmek,
- Kardiyopulmoner komplikasyonları önlemek,
- Deformitenin uzun vadeli sonuçlarını önlemek.

Klinisyen tedavi yaklaşımına skolyozun ilerlemesini, lokalizasyonunu ve şeklini dikkate alarak karar verir. Karar verme sürecinde bireyin kozmetik görünümü ve sosyal faktörler de dikkate alınmalıdır.⁸ Eğriliği 20°'nin altında olan hastalar 6-12 ay aralıklarla tekrar değerlendirilir. Konservatif tedaviler 20° eğriliğin üzerinde önerilir. Eğrilik 40°'nin üzerinde ise cerrahi önerilir.⁹

Konservatif tedavi; skolyoza özgü egzersizleri, ortez, nöromüsküler elektrik stimülasyonu (NMES), manuel terapi ve günlük yaşam aktivitelerini içerir.³ Bu tedavilerin kanıt düzeyleri net değildir.^{6,10} Skolyoz üç boyutlu bir deformite olduğundan tedavisi de üç boyutlu olarak düşünülmelidir. Schroth, Lyon, Skolyozda Bilimsel Egzersiz Yaklaşımı, Dobosiewicz, Side Shift, Barselona Skolyoz Okulu ve Skolyozda Fonksiyonel Bireysel Terapi en çok bilinen tedavi yaklaşımlarıdır.¹¹ Spinal ortezler eğriliğin ilerleme hızını yavaşlatabilir ancak aynı zamanda cilt tahrişine ve fiziksel aktivitenin azalmasına neden olabilir. Aynı zamanda benlik algısı ve vücut imajını da olumsuz etkiler.¹² NMES skolyoz tedavisinde kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu bölümde NMES'in skolyoz tedavisindeki etkileri, geçmişten günümüze kullanılan NMES protokolleri ve kanıt düzeyinden bahsedilecektir.

Hasta Değerlendirmesi

Fizyoterapi ve rehabilitasyon programı ve NMES için klinik karar vermeden önce ayrıntılı bir hasta değerlendirmesi yapmak önemlidir. Skolyozlu hastalarda postür, hareket açıklığı, kas kuvveti, esneklik, ağrı ve solunum fonksiyonu değerlendirilmelidir. Standart fizyoterapi ve rehabilitasyon değerlendirmesiyle birlikte skolyoza özgü değerlendirmeler de yapılmalıdır. Radyolojik değerlendirme (Cobb açısı), Adam testi, Tanner ve Risser İşareti ve Skolyometre kullanılabilir.¹³

Skolyozu Olan Hastalar için Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonu

Skolyozlu Hastalarda Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonunun Amacı ve Etkileri

Skolyozlu hastalarda NMES'in kullanım amaçları şunlardır:¹⁴⁻¹⁸

- Eğriliğin ilerlemesini yavaşlatmak veya durdurmak,
- Paraspinal kasları kuvvetlendirmek,
- Kas grupları arasındaki dengeyi korumak,
- Gövde simetrisini ve dengesini yeniden sağlamak.

Eğrilik derecesi 20°-29° arası olan hastalarda ilerleme gözlenebilir. Başlangıçta eğriliği 30°-39° olan hastalar ve iskelet gelişimi henüz gelişmemiş bireyler (Risser işareti 0 veya 1) NMES için uygundur. NMES 40°'nin üzerindeki eğrilikler için kullanılmaz. Yapılan çalışmalarda NMES tek başına gece en az 8 saat süreyle uzun vadede kullanılmıştır.¹⁹

Curtin ve Lowery, skolyoz tedavisinde kas aktivasyonunu uygulanan dış kuvvetlerle birlikte araştırmak için biyomekanik modelleme ve bilgisayarlı optimizasyon kullanmışlardır.²⁰ Sonuçta; eğriliğin konveks tarafındaki yüzeysel kas aktivasyonunun eğriliği düzeltici etki oluşturduğu bulunmuştur. Bu sonuç daha önce NMES ile yapılan deneysel çalışmaların sonucunu desteklemektedir.

Grimby ve ark. omurga deformitesini düzeltmek için eğriliğin konveks tarafındaki arka aksiller hatta 30 Hertz (Hz) frekansında uzun süreli NMES uygulamışlardır.²¹ Hastalar, NMES öncesi ve NMES uygulamasından 3 ve 6 ay sonra uyarılan taraftaki Latissimus Dorsi kasından alınan biyopsiler ile takip edilmiştir. Stimülasyondan sonra tip I ve özellikle tip IIc (farklaşmamış) liflerinin yüzdesinde bir artış eğilimi görülmüştür. Ortalama kas lifi alanı ve lif türlerine ait alanlarda değişim görülmemiştir. Histopatolojik bulgular genellikle 3 aylık NMES öncesinde ve sonrasında nadirdir; göze çarpan tek bulgu, 6 aylık stimülasyondan sonra gruplarda atrofik liflerin sıklığının bir miktar artmasıydı. Tüm



hastalarda sitrat sentazın enzimatik aktivitesi 3 ay sonra artmış ve üç hastada NMES'ten 6 ay sonra daha da artış görülmüştür. Bu çalışma, elektrik stimülasyonunun, kasların yorulmaya karşı daha dirençli hale gelmesinde etkili olduğuna dair bazı kanıtlar sağlamıştır.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda NMES'in skolyoz üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir.¹⁶ Ancak bu çalışmalara maturasyonu tamamlanmamış ve halen tedavi gören az sayıda hasta dahil edilmiştir. Son yıllardaki çalışmalar ise NMES'in ilerleme hızını yavaşlatmada veya eğriyi azaltmada etkisiz olduğunu göstermektedir.¹⁰ NMES'in etkisinin hastalığın doğal seyri ile paralel olduğu sonucuna varılmıştır.²²

NMES bu konuda yapılan ilk ve eski çalışmalarda uzun süreli kullanılmıştır. Kowalski ve ark. hayvan modelinde uzun süreli NMES'in etkilerini araştırmışlardır.²³ Araştırmacılar NMES'i tavşanların Supraspinal kaslarına 3 ay boyunca günde 9 saat uygulamışlardır. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, "aşırı uyarılmış" tavşanların kaslarında, miyofilamentlerin yapısının bozulduğu, proliferasyon, dilatasyon, sarkoplazmik retikulum ve mitokondrinin şişmesi ve Z çizgisinin bozulması ile karakterize mikroskobik lezyonlar görülmüştür. Z çizgisiyle ilişkili dejeneratif süreçler ve gözlemlenen mikrolezyonlar uzun süreli NMES tedavisinin skolyozda başarısız olduğunu göstermiştir. Son yıllarda kısa süreli (1 saat) NMES'in diğer konservatif yöntemlerle birlikte etkisini gösteren çalışmalar yayınlanmıştır.^{18,24}

Skolyozu Olan Hastalar için Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu Protokolü

NMES parametreleri literatürde çeşitlilik göstermektedir. Ancak burada NMES protokolünün genel bir taslağı paylaşılacaktır. İlk değerlendirme sonrasında aileye ve hastaya tedavinin amacı ve süreci hakkında bilgi verilmelidir. Elektrot ve stimülatörün uygulamadan önce tanıtılması hastanın uyumunu artırabilir. Stimülatör evde kullanılmak üzere ebeveynlere verilebilir. Terapistlerin daha sonra hastaları 3-4 ay aralıklarla yeniden değerlendirmeleri gerekmektedir.¹⁹

Skolyoz için 150-400 mikrosaniye (μ sn) atım süresi, 25-100 Hz frekans ve 3:3, 6:6 veya 5:25 sn geçiş/dinlenme periyodu olan dikdörtgen, alternatif akım çift kanallı bir stimülatör ile uygulanabilir. Akım şiddeti kabul edilebilir seviyeye [50-70 mili-amper (mA)] kadar yavaş yavaş artırılır. Akım şiddetinin gözle görülür bir kontraksiyon elde edilecek şekilde hastanın maksimum toleransına kadar artırılması önerilir. Seansların süresi 1 saat (son literatürde) veya gece 8 saatin üzerindedir (geçmiş literatürde). Toplam tedavi süresi hastalar arasında farklılık gösterir. Tedavi süresi 3 ay ile 2 yıl arasında sürebilir.^{18,25,26}

NMES, eğrinin konveks tarafına iki elektrotla paravertebral olarak kullanılabilir. Eğri S şeklindeyse 4 elektrot kullanılır.²⁵ Elektrotlar, eğriliğin apeksine, simetrik olarak kompensatuar eğrinin konkavitesi ve omuz kuşağının stimülasyonundan kaçınılarak yerleştirilir. Elektrotlar arasındaki mesafe eğriye ve gövdenin uzunluğuna bağlıdır. Elektrotlar eğrilik sınırları içinde kalmalıdır.

NMES, frontal ve sagittal düzlemlerdeki birincil ve kompasatuar eğriliği azaltabilir. Elektrotların paraspinal kaslar yerine lateral gövde kasları üzerine yerleştirilmesi skolyozun azalmasını sağlayabilir. Buna lateral elektriksel yüzey stimülasyonu denir. Eğriliğin miktarı kaldıraç kollarının (kostalar, göğüs kafesi ve pelvis) uzunluğuna göre belirlenir. Elektrotlar skolyoz için lateral gövde kaslarına, kifoz için paravertebral kaslara, lordoz için Rectus Abdominus kasına yerleştirilebilir.¹⁶ Fizyoterapistler, evde kullanım için elektrot yerleştirme konusunda ebeveynlere önemli noktaları (kemik çıkıntıları vb.) açıklamalı ve göstermelidir.

Tedavi süresi çok uzun olduğundan NMES uygulaması ile ciltte tahriş ve kontakt egzamaya yol açabilir. Bu yan etkilerin ortaya çıkması halinde fizyoterapistin tedaviye ara vermesi gerekir.²⁷

Skolyozda Elektrik Stimülasyonunun Klinik Kanıt Düzeyi

NMES'in skolyoz tedavisindeki etkisini araştıran çalışmaların çoğu 1970'li yıllarda yapılmıştır. Son dönemde yapılan araştırmaların sayısı oldukça azdır. Bir Cochrane derlemesinde idiopatik skolyozlu bireyler için cerrahi olmayan tedavilerin etkisine

Tablo 20.1 Skolyozu olan hastalar için NMES parametreleri.^{16,18,19,25}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli alternatif akım / dikdörtgen bifazik simetrik
Atım süresi	150-400 µsn
Akım şiddeti	Maksimum tolere edilebilir düzeyde/50-70 mA
Frekans	25-100 Hz
Akımın çıkış ve iniş süresi	Tolere edilen değerlerde 1-5 /1-5 sn
Geçiş süresi (uyarı süresi)	3-6 sn
Dinlenme süresi	3-25 sn
Modülasyon	Yok
Tedavi süresi	1 saat (son literatürde) Geceleri en az 8 saat uyku sırasında (geçmiş literatürde)
Uygulama sıklığı	Haftada 7 kez, 3 ay-2 yıl
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	Eğrinin konveks tarafına C skolyoz için tek kanal; S skolyoz için 2 kanal Skolyoz için lateral gövde kasları, kifoz için paravertebral kaslar ve lordoz için Rectus Abdominus kasına

yönelik kanıt olmadığı belirtilmiştir. Sonuç olarak; bu tedavilerin yararları veya zararları konusunda herhangi bir sonuca varılmamıştır.⁶ Skolyoz için diğer konservatif tedavilere benzer şekilde NMES için de yeterli kanıt yoktur. Axelgaard ve ark.'nın ilk çalışmaları, NMES'in eğrinin ilerlemesi üzerinde etkileri olduğunu göstermiştir.¹⁶ 1980'lerden sonra yapılan çalışmalar NMES'in etkilerinin hastalığın doğal seyri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.^{10,22,28}

Skolyoz Araştırma Birliği'nin yürüttüğü bir çalışmada idiyopatik adölozan skolyozu olan ve yaş ortalaması 13 olan 159 kız iskelet maturasyonu tamamlanana kadar takip edilmiş ve eğriliğin 60° üzerine çıktığı belirlenmiştir. Tüm hastaların başlangıç eğrisi 25° ile 35° arasındadır ve eğriliğin apikal seviyesi T8 ve L1 arasındadır. 159 hastanın 120'si tedavi verilmeden izlenmiş, 32'sine ise lateral elektriksel yüzey stimülasyonu uygulanmıştır. Eğrilik 80 hastada en az 6° azalmıştır. Çalışmanın sonucunda gözlem ile takip edilen veya NMES ile tedavi edilen hastalar arasında belirgin bir fark bulunmamıştır.¹⁰

Skolyoz, ağır etkilenimi olan serebral palsili (SP) çocuklar için karmaşık bir sorundur. SP'de çok fazla tedavi seçeneği yoktur ve skolyoz genellikle dirençlidir. Ko ve ark. tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada ağır etkilenimi olan SP'li ço-

cuklarda lateral elektriksel yüzey stimülasyonunun skolyoz ve gövde dengesi üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir.¹⁸ Çalışmaya statik veya ilerleyici skolyozu olan 11 çocuk dahil edilmiştir. NMES evde 3 ay boyunca günde 2 seans, 1 saat uygulanmıştır. Stimülasyon parametreleri 200 µsn atım süresi, 25 Hz frekans, 6 sn geçiş ve 6 sn dinlenme süresi olacak şekilde 40-80 mA şiddetinde ayarlanmıştır. İki elektrot konveks tarafa apikal vertebranın üstüne ve altına, diğer 2 elektrot ise merkez orta hatta yerleştirilmiştir. Radyolojik değerlendirme, Kaba Motor Fonksiyon Ölçümü oturma skoru ve Gövde Kontrol Ölçüm Skalası 4 kez (lateral elektriksel yüzey stimülasyonundan 3 ay önce, hemen önce, 1 ay sonra ve 3 ay sonra) değerlendirilmiştir. 11 çocuğun ortalama Cobb açısı (medyan) 25°'dir ve NMES uygulamasından 1 ve 3 ay sonra önemli iyileşmeler göstermiştir. NMES gövde dengesini geliştirmiştir. Araştırmacılar ileri derecede skolyozu olan ve cerrahiye uygun olmayan çocuklarda lateral elektriksel yüzey stimülasyonunun tedavide bir seçenek olabileceği sonucuna varmıştır.

2010 yılında yapılan Cochrane derlemesinde, NMES'in etkinliğini değerlendirmenin mümkün olmadığı belirtilmiştir. Çünkü skolyoz konusunda randomize kontrollü çalışma yapmak mümkün değildir.⁹ Geçmiş çalışmalarda NMES hastalar için tek



tedavi yöntemi olarak kullanılmaktaydı. Şu anda bazı çalışmaların sonuçları, NMES'in egzersiz veya korse ile kombine edilmesi durumunda daha etkili olabileceğini göstermektedir.^{23,29}

Bazı araştırmacılar NMES'i farklı konservatif yaklaşımlarla karşılaştırmıştır. Adolesan idiyopatik skolyozlu hastalarda eğriliğin ilerlemesini önlemede korse tedavisinin NMES'ten daha etkili olduğunu destekleyen orta düzeyde kanıt bulunan az sayıda düşük kaliteli çalışma vardır. Ayrıca korse tedavisinin adolesan idiyopatik skolyoz hastalarının yaşam kalitesini NMES ile karşılaştırıldığında olumsuz etkilediğine dair çelişkili kanıtlar bulunmaktadır.³⁰

Bazı çalışmalar NMES'in korseye alternatif bir yaklaşım olabileceğini olduğunu iddia etmiştir. Bu görüşü savunan çalışmalar NMES'in korseye göre psikolojik ve fiziksel özgürlük sağladığını belirtmiştir.³¹ Fisher ve ark. idiyopatik skolyoz tedavisinde NMES'in 3 yıllık sonuçlarını Milwaukee korsesi ile karşılaştırmışlardır.³² Her gruptaki 50 hasta retrospektif olarak karşılaştırılmış ve yaş, cinsiyet, Risser işareti ve eğri morfolojisi açısından eşleştirilmiştir. Değerlendirmeler 6 aylık aralıklarla radyografiler ve muayenelerle yapılmıştır. Eğrinin ilerlemesi veya başarısızlığı oranlarında anlamlı bir fark bulunmamıştır. NMES, idiyopatik skolyozun tedavisinde Milwaukee korsesiyle karşılaştırılabilir. Bazı çalışmalar geleneksel rijit ortotik müdahalenin NMES'ten daha etkili görüldüğüne dikkat çekmiştir.^{12,33}

Sonuç

Bu bölümde skolyozlu hastalarda NMES'in amacı, uygulama yöntemleri ve literatür çalışmaları tartışılmıştır. NMES, 20^o-39^o arasındaki ilerleyici idiyopatik eğrilerde kullanılabilir. Her ne kadar çok eski yıllarda yapılan çalışmalarda NMES'in faydalı etkileri bildirilmiş olsa da, skolyozda NMES için klinik kanıtlar yetersizdir. İlk çalışmalarda NMES çok uzun süreli olarak uygulanmıştır ve pratik değildir. Mevcut bilgiler ışığında kısa süreliğine diğer konservatif tedavi yöntemleriyle birlikte kullanılması mümkün olabilir. NMES'in etkilerinin belirlenmesi için skolyoz konusunda çalışmalar planlanmalıdır.

Kaynaklar

1. Moen KY, Nachemson AL. Treatment of scoliosis: An historical perspective. *Spine*. 1999;24(24):2570-5. doi:10.1097/00007632-199912150-00003.
2. Lowe TG, Edgar M, Margulies JY, Miller NH. Etiology of idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82(8):1157-68. doi:10.2106/00004623-200008000-00014.
3. Negrini S, Aulisa A, Aulisa L, Circo A, De Mauroy J, Durmal J, et al. 2011 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis*. 2012;7(1):3. doi:10.1186/1748-7161-7-3.
4. Lonstein JE. Scoliosis: Surgical versus non-surgical treatment. *Clinical Orthop Relat Res*. 2006;443(1):248-59. doi:10.1097/01.blo.0000198725.54891.73.
5. Asher M, Burton D. Adolescent idiopathic scoliosis: Natural history and long-term treatment effects. *Scoliosis* 2006;1(1):2. doi:10.1186/1748-7161-1-2.
6. Bettany-Saltikov J, Weiss HR, Chockalingam N, Taranu R, Srinivas S, Hogg J, et al. Surgical versus non-surgical interventions in people with adolescent idiopathic scoliosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;24(4):CD010663. doi:10.1002/14651858.CD010663.pub2.
7. Freidel K, Petermann F, Reichel D, Steiner A, Warschburger P, Weiss Hans R. Quality of life in women with idiopathic scoliosis. *Spine*. 2002;27(4):E87-91. doi:10.1097/00007632-200202150-00013.
8. Fayssoux RS, Cho RH, Herman MJ. A history of bracing for idiopathic scoliosis in North America. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(3):654-64. doi:10.1007/s11999-009-0888-5.
9. Romano M, Minozzi S, Zaina F, Saltikov JB, Chockalingam N, Kotwicki T, et al. Exercises for adolescent idiopathic scoliosis: A cochrane systematic review. *Spine*. 2013;38(14):E883-E93. doi:10.1097/BRS.0b013e31829459f8.
10. Fusco C, Zaina F, Atanasio S, Romano M, Negrini A, Negrini S. Physical exercises in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: An updated systematic review. *Physiother Theory Pract*. 2011;27(1):80-114. doi:10.3109/09593985.2010.533342.
11. Berdishevsky H, Lebel VA, Bettany-Saltikov J, Rigo M, Lebel A, Hennes A, et al. Physiotherapy scoliosis-specific exercises - A comprehensive review of seven major schools. *Scoliosis Spinal Disord*. 2016;11:20. doi:10.1186/s13013-016-0076-9.
12. Rowe DE, Bernstein SM, Riddick MF, et al. A meta-analysis of the efficacy of non-operative treatments for idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79:664-74. doi:10.2106/00004623-199705000-00005.
13. Solberg G. (2008). *Postural disorders and musculoskeletal dysfunction. Diagnosis, prevention and musculoskeletal dysfunction*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier. ISBN: 978-0443103827.
14. McCollough NC. Nonoperative treatment of idiopathic scoliosis using surface electrical stimulation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11(8):802-4. doi:10.1097/00007632-198610000-00010.
15. Axelgaard J, Brown JC. Lateral electric stimulation for treatment of progressive idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1983;8(3):242-60. doi:10.1097/00007632-198304000-00004.
16. Axelgaard J, Nordwall A, Brown JC. Correction of spinal curvatures by transcutaneous electrical muscle stimulation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1983;8(5):463-81. doi:10.1097/00007632-198307000-00004.
17. O'Donnell CS, Bunnell WP, Betz RR, Bowen JR, Tipping CR. Electrical stimulation in the treatment of idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;229:107-13. PMID:3258214.

18. Ko EJ, Sung IY, Yun GY, Kang JA, Kim J, Kim GE. Effects of lateral electrical surface stimulation on scoliosis in children with severe cerebral palsy: A pilot study. *Disabil Rehabil.* 2018;40(2):192-8. doi:10.1080/09638288.2016.1250120.
19. Nelson RM, Currier DP. (1991), *Clinical electrotherapy*. 2nd ed. USA: Appleton&Lange. ISBN:0-8385-1334-1334.
20. Curtin M, Lowery MM. Musculoskeletal modelling of muscle activation and applied external forces for the correction of scoliosis. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11:52. doi:10.1186/1743-0003-11-52.
21. Grimby G, Nordwall A, Hultén B, Henriksson KG. Changes in histochemical profile of muscle after long-term electrical stimulation in patients with idiopathic scoliosis. *Scand J Rehabil Med.* 1985;17(4):191-6. PMID:3936168.
22. Peterson LE, Nachemson AL. Prediction of progression of the curve in girls who have adolescent idiopathic scoliosis of moderate severity. Logistic regression analysis based on data from the brace study of the scoliosis research society. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(6):823-7. doi:10.2106/00004623-199506000-00002.
23. Kowalski IM, Szarek J, Babińska I, Wojtkiewicz J, Andrzejewska A, Lipińska J, et al. Ultrastructural features of supraspinal muscles in rabbits after long-term transcutaneous lateral electrical surface stimulation (LESS). *Folia Histochem Cytobiol.* 2005;43(4):243-7. PMID:16382893.
24. Kim DH, Yoo WG. Effects of manual therapy with functional electrical stimulation on scoliosis curve in children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci.* 2018;30(8):1124-5. doi:10.1589/jpts.30.1124.
25. Kahn J. (2000), *Principles and practice of electrotherapy*. 4th ed. Philadelphia, Pennsylvania: Churchill Livingstone. ISBN: 0443065535.
26. Bradford DS, Tanguy A, Vanselow J. Surface electrical stimulation in the treatment of idiopathic scoliosis: Preliminary results in 30 patients. *Spine (Phila Pa 1976).* 1983;8(7):757-64. doi:10.1097/00007632-198310000-00012.
27. Anciaux M, Lenaert A, Van Beneden ML, Blonde W, Vercauteren M. Transcutaneous electrical stimulation (TCES) for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: Preliminary results. *Acta Orthop Belg.* 1991;57(4):399-405. PMID:1772016.
28. Lensinck MLB, Frijlink AC, Berger MY, Bierman-Zeinstra SMA, Verkerk K, Verhagen AP. Effect of bracing and other conservative interventions in the treatment of idiopathic scoliosis in adolescents: A systematic review of clinical trials. *Phys Ther.* 2005;85(12):1329-39. PMID:16305271.
29. Kim HS. Evidence-Based of Nonoperative Treatment in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Asian Spine J.* 2014;8:695-702. doi:10.4184/asj.2014.8.5.695.
30. Maruyama T, Grivas TB, Kaspiris A. Effectiveness and outcomes of brace treatment: A systematic review. *Physiother Theory Prac.* 2011;27(1):26-42. doi:10.3109/09593985.2010.503989.
31. Kahanovitz N, Snow B, Pinter I. The comparative results of psychologic testing in scoliosis patients treated with electrical stimulation or bracing. *Spine (Phila Pa 1976).* 1984;9(5):442-4. doi:10.1097/00007632-198407000-00002.
32. Fisher DA, Rapp GF, Emkes M. Idiopathic scoliosis: transcutaneous muscle stimulation versus the Milwaukee brace. *Spine (Phila Pa 1976).* 1987;12(10):987-91. doi:10.1097/00007632-198712000-00008.
33. Bowen JR, Keeler KA, Pelegie S. Adolescent idiopathic scoliosis managed by a nighttime bending brace. *Orthopedics.* 2001;24(10):967-70. doi:10.3928/0147-7447-20011001-16.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm

21

1

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalar İçin Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARI: ZELİHA ÖZLEM YÜRÜK

Giriş

İskelet kası hareket, metabolik homeostaz ve termojenez için çok önemli bir dokudur. Toplam vücut ağırlığının yaklaşık %40'ını ve toplam proteinin %50'sini oluşturur. Kas atrofisi, hareketsizlik, yaşlanma, yetersiz beslenme, ilaçlar veya çok çeşitli yaralanma veya hastalıklar nedeniyle histolojik düzeyde kas kütlelerinin ve enine kesit alanının azalmasıyla karakterize edilir. Kas atrofisi, mekanizmaları tam olarak anlaşılmasına ve nedene bağlı olarak değişmesine rağmen, protein sentezi ve protein yıkımı arasındaki dengesizlikten kaynaklanır. Kuvvet üretiminde azalma, kolay yorulma, egzersiz kapasitesinde ve yaşam kalitesinde azalma olarak kendini gösterir.¹

Kullanmama atrofisi, kas atrofisinin yaygın bir nedenidir ve lokal (yaralanma veya alçı kullanımı nedeniyle) veya genel (yatak istirahati) olabilir. Kullanmamaktan kaynaklanan kas atrofisi oranı bireyler arasında önemli farklılıklar olmasına rağmen, günlük toplam kas kütlelerinin yaklaşık %0,5-0,6'sıdır. Çoğu araştırmada uzun süreli kullanılmadan kaynaklanan (>10 gün) durumlarda, kasta protein yıkımındaki değişikliklerden ziyade kas protein sentezi oranlarındaki düşüşler nedeniyle atrofisinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. İmmobilizasyon süresi, yaş ve bireyin genel sağlık durumu da kas kaybında önemli faktörlerdir.²

Yatak istirahati, cerrahi sonrası, romatoid artrit akut alevlenme dönemi, tüberküloz, akut miyokard enfarktüsü ve akut bel ağrısı gibi çeşitli klinik durumlarda komplikasyonların önlenmesi, meta-

bolik kaynakların korunması ve hasta konforunun sağlanması için önerilir. Yatak istirahati; kullanmama atrofisi, eklem kontraktürleri, tromboembolik hastalık, insülin direnci, mikrovasküler fonksiyon bozukluğu, sistemik inflamasyon, ateletazi ve basınç ülserleri gibi çeşitli komplikasyonlara neden olabilir.³

Lokal immobilizasyon genellikle tek bir kas veya kas grubunda kası izole eden alçı veya atel nedeniyle ortaya çıkar. Yatak istirahati, sistemik faktörlere bağlı olarak kas kütlelerinde lokal immobilizasyona göre daha fazla azalmaya neden olur. Bu nedenle tedavide yalnızca kas kaybını önlemeye odaklanılmaması, aynı zamanda metabolik değişimin de göz önüne alınması gerekmektedir.⁴

İskelet kası dokusu için iki temel anabolik uyarı kas kasılması ve besin alımıdır.⁴ Kas atrofisi tedaviyle geciktirilebilir, önlenir ve bazen tersine çevrilebilir. Kullanmama atrofisi olan hastalar için fizyoterapi ve rehabilitasyon programlarında fiziksel aktivite, egzersiz ve elektrik stimülasyonu (ES) kullanılmaktadır. Fiziksel aktivite, kullanılmama döneminde bile iskelet kas kütlelerini ve kuvvetini koruyabilir. Ancak immobilizasyon veya genel kas zayıflığı nedeniyle fiziksel aktivitenin yapılması her zaman mümkün olmamaktadır. ES, fiziksel aktivite yerine optimal güvenli bir yaklaşımdır.^{4,5}

Hasta Değerlendirmesi

Fizyoterapi ve rehabilitasyon programına ve ES uygulamasına karar vermeden önce değerlendirme yapılması önemlidir. Fizyoterapistin değerlendir-

mesinin içeriği kişiden kişiye ve ortamdaki ortama değişebilir. İlk olarak, tıbbi kayıtların incelenmesi hastanın tıbbi geçmişinin ve önlemlerinin belirlenmesine yardımcı olabilir. Fizyoterapistler, kullanmama atrofisi olan hastalarda kas kuvvetini, hareket açıklığını, antropometrik özellikleri, enduransı, postürü, yorgunluğu ve ağrıyı değerlendirir. İyileşme için fonksiyonel testler (denge, yürüyüş vb.) de yapılır. Ayrıca ES kontraendikasyonları için hastanın önceki tıbbi durumunun öğrenilmesi gerekir.⁶

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalar İçin Elektrik Stimülasyonu

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalarda ES'nin Amacı ve Etkileri

ES'nin kullanmama atrofisinde doku ve fonksiyonel düzey üzerinde etkileri vardır.⁴ Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES), Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES) ve Manyetik Alan Stimülasyonu kullanmama atrofisi olan hastalarda kullanılabilir.

ES'nin Doku Düzeyindeki Etkileri

Kas kasılması, kas protein sentezini artırabilecek en potansiyel uyaranlardan biridir.⁷ Her ne kadar fiziksel aktivite kas kütlelerini korumak için etkili yöntem olsa da, zorunlu yatak istirahati veya lokal immobilizasyon dönemlerinde belirli bir düzeyde fiziksel aktiviteyi sürdürmek çoğu zaman imkansızdır.⁸ Bu tür klinik durumlarda kas aktivitesi elde etmek ve kas anabolizmasını uyarmak için NMES uygulanabilir.⁴ NMES'in tek seanslık yüksek frekanslı ve yüksek yoğunluklu uygulamasının kas protein sentezini %27 oranında artırdığı gösterilmiştir.⁹ NMES'in kas protein sentezi oranları üzerindeki bu olumlu etkisi, sağlıklı genç bireylerde 5 günlük bacak immobilizasyonu sırasında kas kütlelerinin korunmasını sağlamıştır.⁴ Ancak kas kuvvetinde gelişme elde edilememiştir. Bu sonuç, NMES'in çeşitli klinik durumlarda kas kaybını önlemedeki etkinliğini gösteren diğer çalışmalarla uyumludur.¹⁰⁻¹³ Daha da önemlisi, bu bulgular aynı zamanda yoğun bakım ünitesinde yatan hastalarda NMES kullanımını da desteklemektedir.¹⁴

NMES yaşlılarda kas protein sentezi oranlarını artırabilir.^{4,9} NMES'in kas proteini yıkımını da baskılayabildiği gösterilmiştir.^{15,16} Bu veriler NMES'in etkinliğini vurgulamaktadır.

NMES kullanmama atrofisini azaltmak için etkili bir yöntem olmasına rağmen, uygulama şekline yönelik dair çok az bilgi mevcuttur.⁴ İskelet kasları üzerindeki etkisini belirlemek için, yüksek frekanslı (>50 Hertz-Hz) NMES'in uzun vadeli etkisi, lif tipine özgü bir şekilde araştırılmıştır.¹⁷ Birden fazla NMES eğitimi seansının ardından sağlıklı bireylerde hem tip I hem de II kas lifi boyutunda artışlar gözlemlenmiştir.^{18,19}

Yüksek frekanslı NMES'in en büyük etkisini tip II lifler üzerinde meydana getirdiği açık olmasına rağmen, bunun ağırlıklı olarak tip IIa veya tip IIb liflerinde lokalize olup olmadığı konusunda bir tutarsızlık vardır.^{20,21} Kasların kullanılmadığı ve kritik hastalık olan durumlarda, NMES'in tip I kas lifi boyutuna kıyasla tip II kas lifi boyutu üzerinde nispeten daha büyük bir etkiye yol açtığı gösterilmiştir.¹⁴ NMES'in tip II lifler üzerindeki spesifik etkisi daha yüzeysel konumlarından kaynaklanıyor olabilir.²² Immobilizasyon, kritik hastalık veya yaşlanma gibi tip II kas lifi atrofisinin baskın olduğu durumlarda NMES oldukça etkili yöntem haline gelmektedir.^{14,23-25}

Birçok araştırmacı NMES'in belirli bir kas üzerindeki etkinliğini incelemiştir. Bir sonraki önemli adım, NMES'in klinik uygulamada etkisini en üst düzeye çıkarmak için birden fazla kas grubunu hedeflemek olacaktır. Quadriceps Femoris kası atrofiye en yatkın kaslardan biri olmasına rağmen Hamstring, Gastrocnemius ve sırt kasları gibi büyük kas grupları da NMES'ten fayda görür.²⁶

Elektromanyetik alan uyarımı duysal etki oluştumadan derin bir düzeyde uyarı üretir. Bu nedenle kasın tekrarlayan manyetik stimülasyonunun kullanımı giderek artmaktadır. Deneysel bir çalışma, manyetik alan uyarımının sıçanlarda 6 haftalık immobilizasyondan kaynaklanan atrofiyi önlediğini göstermiştir.²⁷

ES'nin Fonksiyonel Düzey Üzerine Etkileri

NMES'in doku düzeyinde kısa vadeli etkileri olmasına rağmen uzun vadede metabolik sağlığı ve fonksiyonel kapasiteyi de etkilemektedir. Konjestif



kalp yetmezliği olan 7 hastanın diz ekstansör kaslarına (ortalama ejeksiyon fraksiyonu %20) 8 hafta boyunca aralıklı olarak NMES uygulanmıştır. Diz ekstansör kaslarının torku %13 oranında ve maksimum izometrik kuvvet %20 oranında artmıştır.²⁸ Ciddi kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan hastalarda Quadriceps Femoris kas fonksiyonu üzerinde de benzer etkiler elde edilmiştir.²⁹ NMES periferik dolaşımı düzenleyebilir, kas protein yıkımını azaltarak atrofiyi önleyebilir ve yoğun bakım ünitesine bağlı kas zayıflığını önleyebilir.³⁰ Sonuç olarak NMES, lokal veya yatak istirahati immobilizasyonu nedeniyle kullanmama atrofi olan hastalar için yararlı bir tedavi yöntemidir.

Manyetik alan uyarımının kritik hastalar üzerinde de klinik etkileri vardır. Quadriceps Femoris'in manyetik stimülasyonunun alt ekstremiteler için uygun bir eğitim yöntemi olduğu ve kas fonksiyonu ve efor kapasitesi üzerinde olumlu etkileri olduğu bulunmuştur.³¹ FES ile combine bisiklet eğitimi, yatak istirahati hastaları için bir seçenektir. Ancak FES'in potansiyel etkileri gösterilememiştir.³²

Kullanmama Atrofisi için ES Protokolü

Yatak İstirahatine Bağlı Genel İmmobilizasyon için NMES

NMES uygulamasında tek tip bir protokol oluşturmak yerine her hastanın özel ihtiyaçlarına ve reaksiyonlarına göre belirlenmelidir.³³ Bu bölümde NMES protokolünün genel hatları paylaşılmaktadır. Tedavi yatak istirahati sırasında alt ekstremitelere yönelik olarak yapılır.

NMES'te Russian akımı, Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon (HVPGS) veya Faradik akım tercih edilebilir. Uygulamada 30-80 Hz frekans aralıklarında, 100-600 mikrosaniye (μ sn) uyarı süresine sahip bifazik, simetrik/asimetrik veya ikiz tepe dalga formlarının tercih edilmesi önerilir. NMES uygulamasında tekrarlı kas kontraksiyonları elde edilir. Hastanın yorgunluk seviyesine göre dinlenme süresi ayarlanır. Elde edilen veriler, kaslarda aşırı yorgunluğa yol açmadan her hasta için en uygun kasılma ve gevşeme oranlarının belirlenmesini vurgulamaktadır.²¹

Akım şiddetinin değişken miktarda gözle görülür ve net bir kontraksiyon alınacak şekilde artırıl-

ması önerilir.³³ Toplam tedavi süresi immobilizasyon süresine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ancak kasların kuvvetlenmesi için 4-8 haftaya ihtiyaç vardır. Tedavi sıklığının haftada 3 ile 5 seans arasında değişebileceği, bir tedavi seansının süresinin ise 15 ile 60 dakika (dk) arasında olması gerektiği rapor edilmiştir.⁶

Elektrot yerleşimine uyarılacak kaslara göre karar verilir. Elektrotlar kas liflerine paralel olarak yerleştirilir. Stimülasyon tek taraflı veya çift taraflı yapılabilir. Terapistler 2 (1 kanal) veya 4 (2 kanal) elektrot kullanır (**Şekil 21.1** ve **Şekil 21.2**).³³

Tablo 21.1 kullanmama atrofi olan hastalarda kas kuvvetlendirmesi ve kan dolaşımının artırılması için önerilen parametreleri göstermektedir. **Tablo 21.2**'de ise kullanmama atrofi olan hastalarda kas enduransını artırmak için önerilen parametreler verilmiştir.

Tablo 21.1 Kullanmama atrofi olan hastalarda kas kuvvetlendirmesi ve kan dolaşımının artırılmasına yönelik NMES parametreleri.^{6,33}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli veya surge'li alternatif akım/ simetrik bifazik veya asimetrik bifazik ikiz monopolar uyarım
Atım süresi	100-600 μ sn
Akım şiddeti	Maksimum tolere edilebilir/ Maksimum istemli izometrik kasılmanın \geq %50 (sağlıklı kaslar için) Maksimum istemli izometrik kasılmanın \geq %10 (atrofik kaslar)
Frekans	30-80 Hz
Akımın çıkış ve iniş süresi	Tolere edildiği şekilde 1-5 sn/1-5 sn
Geçiş süresi (uyarı süresi)/	5-10 sn
Dinlenme süresi	15-120 sn
Modülasyon	Yok
Kontraksiyon sayısı	10-20 tekrar (önerilir)
Tedavi süresi	15-60 dk
Uygulama sıklığı	Haftada 2-5 kez, 4-8 hafta
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	2 elektrot (1 kanal)-küçük kaslar; daha büyük kaslar için 4 elektrot (2 kanal); liflere paralel Quadriceps Femoris, Hamstringler, Gastrocnemius Gövde kasları, Deltoideus, Biceps Brachii Tek taraflı veya çift taraflı



Şekil 21.1 Quadriceps Femoris kası için NMES.



Şekil 21.2 Gastrocnemius kası için NMES.

Tablo 21.2 Kullanmama atrofisi olan hastalarda kas endüransını artırmaya yönelik NMES parametreleri.^{22,31,34}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli veya surge'li alternatif akım/simetrik bifazik veya asimetrik bifazik İkiz monopolar uyarım
Atım süresi	100-600 µsn
Akım şiddeti	Rahat veya maksimum tolere edilebilir kasılma/
Frekans	Maksimum istemli izometrik kasılmanın %25-50 30-80 Hz
Geçiş süresi (uyarı süresi)/	Tolere edildiği şekilde, 1-5 sn/1-5 sn
Dinlenme süresi	5-15 sn
Kapalı zaman	5-15 sn
Modülasyon	Yok
Tedavi süresi	15-30 dakika
Uygulama sıklığı	Haftada 3-5 kez, 6-8 hafta
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	2 elektrot (1 kanal)-küçük kaslar; daha büyük kaslar için 4 elektrot (2 kanal); liflere paralel Quadriceps Femoris, Hamstringler, Gastrocnemius Gövde kasları, Deltoideus, Biceps Brachii Tek taraflı veya çift taraflı

Ekstremitte İmmobilizasyonu için NMES (Lokal İmmobilizasyon)

NMES, tavşanların kısa süreli immobilize edilmiş ekstremitelerinde kemik ve kıkırdak doku kaybını önleyebilir.³⁴ NMES ayrıca insanlarda alçı kulla-

nımında oluşabilecek kas atrofisini de önler. Stimülasyon protokolü genel immobilizasyon uygulamaları ile aynıdır. Ancak elektrot yerleşimi için alçının uygun alanlarına pencere açmak gerekir. Aktif elektrot olarak kalem elektrot kullanılmalıdır. Alçı veya atelin yakınına daha büyük pasif elektrot yerleştirilmelidir. NMES immobilizasyon döneminde haftada 2-5 gün yapılabilir. NMES sırasında kemik çıkıntılar üzerinde baskı oluşabileceğinden dikkatli olunmalıdır.³⁵

Kullanmama Atrofisi için FES

FES ile kombine bisiklet eğitimi, egzersizle birlikte alternatif bir stimülasyon tekniği olarak kullanılır. Tedavide her iki Quadriceps Femoris kasına dört elektrot yerleştirilir. Dikdörtgen atımlı bifazik bir akım kullanılır ve akım şiddeti kas kontraksiyonu elde edecek şekilde ayarlanır. Diğer ES parametreleri tüm hastalar için aynı olabilir (faz süresi: 300 µsn, frekans: 35 Hz). Bu ayarlar rutin ES protokollerini temel alır. Bisiklet sürerken bir bilgisayar, stimülatörü kontrol eder. Yazılım, diz ekstansiyonu sırasında uygun pedal açılarında kas kasılmalarının tetiklenmesini sağlar. İki dakikalık ısınmanın ardından hastanın toleransına göre yük artırılabilir. Hastalar 20 dakika boyunca dakikada frekansı 50-60 devir olacak şekilde pedal çevirirler. Bu yöntem haftanın 7 günü yapılabilir.³² Tablo 3'te kullanmama atrofisi olan hastalar için uygun FES parametreleri gösterilmiştir.



Tablo 21.2 Kullanmama atrofisi olan hastalar için FES parametreleri.^{32,33}

Akım türü/dalga biçimi	Kesikli veya surge'lı alternatif akım/ simetrik bifazik veya asimetrik bifazik
Atım süresi	100-600 µsn
Akım şiddeti	Konforlu veya maksimum tolere edilebilir kontraksiyon Maksimum istemli izometrik kasılmanın 25-50%
Frekans	30-50 Hz
Akımın çıkış ve iniş süresi	1 sn
Geçiş süresi (uyarı süresi)/	Aktiviteye özel ayarlanır.
Dinlenme süresi	Aktiviteye özel ayarlanır.
Modülasyon	Yok
Tedavi süresi	20-30 dk
Uygulama sıklığı	Haftada 3-7 kez , 6-8 hafta
Polarite	Yok
Elektrot yerleşimi	4 elektot (2 kanal) on Quadriceps Femoris kası üzerine, bilateral

Kullanmama Atrofisi için Manyetik Alan Stimülasyonu

Kullanmama atrofisi için manyetik alan stimülasyonu ile ilgili birkaç çalışma vardır. Bu nedenle protokolün genellenmesi mümkün değildir. Stimülasyonda elektrotlar, Vastus Lateralis'in üst üçte birlik kısmı ile alt üçte ikisi arasındaki bölgeye yerleştirilir. Bu yerleşim kontraksiyon açığa çıkarmak için en uygun konumdur. Stimülasyonun yoğunluğu ve sıklığı hastanın toleransına ve ekipmanın performansına göre ayarlanır. Stimülasyon, seğirme şeklinde ortaya çıkan kasılma ile 2 sn'lik döngüsel bir düzeni takip eder ve 4 sn arayla her uylukta 15 dakikalık bir süre boyunca tekrarlanır. Stimülasyon 1,5-2 militesla (mT) kapasitede ve 15-40 Hz frekansta gerçekleştirilebilmektedir.^{27,31}

ES'nin Klinik Kanıt Düzeyi

Kullanmama atrofisini önlemek veya tersine çevirmek için ES çeşitli klinik çalışmalarda değerlendirilmiştir. Sonuçlar, hastalığın ilerlemesindeki değişkenlik, ES uygulama teknikleri ve değerlendirme yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle değişkendir.⁴

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalarda NMES

Diz Cerrahisi Sonrası NMES

Ön çapraz bağ (ÖÇB) rekonstrüksiyonunu takiben, dize yük vermenin kısıtlanması ve immobilizasyon,

uyluk ve baldır kaslarında atrofi ve güçsüzlükle sonuçlanır. Hasegawa ve ark. NMES'in ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrası erken rehabilitasyon aşamasında hastalarda kas atrofisinin önlenmesi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir.³⁶ Akut ÖÇB yırtığı olan 20 hasta rastgele iki gruba ayrılmıştır. Kontrol grubuna rutin fizyoterapi ve rehabilitasyon programı uygulanmıştır. Çalışma grubuna ise bu programa ek olarak cerrahi sonrası 2. günden 4. haftaya kadar 20 Hz'lik ekspansiyel akım kullanılarak NMES uygulanmıştır. Sonuçlar, erken rehabilitasyon aşamasında uygulanan NMES'in, ekstremitedeki kas kalınlığının ve kuvvetinin korunmasında ve artırılmasında etkili olduğunu göstermiştir.³⁶

Total diz artroplastisi (TDA) sonrasında Quadriceps Femoris kas kuvveti ve fonksiyonunun iyileşmesi optimal düzeyde değildir ve bu da hastaları artan yaşla birlikte fonksiyonel kayba yatkın hale getirir. Stevens-Lapsley ve ark. standart fizyoterapi ve rehabilitasyon programına ek olarak TDA'dan 48 saat sonra başlatılan NMES'in etkinliğini değerlendirmişlerdir.³⁷ NMES, 15 kontraksiyon elde edilecek şekilde maksimum tolere edilebilir yoğunlukta günde iki kez uygulanmıştır. Erken dönemde NMES uygulaması Quadriceps Femoris kas kuvvetindeki kaybı etkili bir şekilde azaltmış ve TDA'yı takiben fonksiyonel performansı arttırmıştır. Etkiler Cerrahiden sonraki ilk ay etkiler klinik açıdan anlamlıdır ve cerrahiden sonraki 1 yıl boyunca devam etmiştir.³⁷

Kronik Hastalıklarda NMES

Kronik hastalığı olan bireylerde sıklıkla kas zayıflığı görülür ve bu da bağımsızlık ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Egzersiz yapamayan veya yapmak istemeyen hastalarda, NMES hastalar tarafından kabul edilebilir bir yöntemdir. NMES kas fonksiyonunda, egzersiz kapasitesinde ve yaşam kalitesinde iyileşmeler sağlar.⁶

NMES'in kronik kalp yetmezliği olan hastalarda enduransı, kas kuvvetini ve uyluk kaslarının enine kesit alanını iyileştirdiği gösterilmiştir. Bu nedenle NMES "pasif" egzersiz için etkili bir seçenektir.³⁸ Yoğun bakım ünitesine kabul edilen kişilerde, NMES, egzersizle birleştiğinde fonksiyonel bir iyi-

lik noktasına ulaşmayı hızlandırabilir. İster tek başına ister konvansiyonel egzersiz eğitimi ile birlikte uygulansın NMES'in yan etki riskini artırmadığı görülmektedir.³⁹ Bir Cochrane derlemesi, NMES'in kronik ilerlemiş hastalıklar için umut verici bir yöntem olduğunu göstermiştir. Ancak aynı zamanda yazarlar daha güçlü kanıtlara ihtiyaç olduğunu da belirtmişlerdir.⁶

Venöz Tromboembolizmin Önlenmesinde NMES

Bacakların derin damarlarında trombozların oluşması ciddi ve potansiyel olarak ölümcül bir sağlık sorunudur. Çünkü bacaklardaki tromboz akciğerlere doğru hareket ederek ölüme neden olabilir. Derin ven trombozları hareketliliğin azalması, kanın pıhtılaşma eğiliminin artması ve diğer faktörlerin bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. NMES'in derin ven trombozlarını önlemede mekanik bir yöntem olarak etkili olduğu düşünülmektedir. Bir Cochrane derlemesi, derin ven trombozunun önlenmesinde diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında NMES'in etkinliğine ilişkin mevcut kanıtları belirlemeyi amaçlamıştır. Kanıtlar, NMES ile alternatif profilaksi yöntemleri arasında derin ven trombozu riski açısından net bir fark olmadığını göstermiştir. Ancak NMES'in, profilaksi yapılmamasına kıyasla daha düşük tromboz riski ve düşük dozla karşılaştırıldığında daha yüksek tromboz riski ile ilişkili olabileceği öne sürülmüştür.⁴⁰

NMES for Prevention of Venous Thromboembolism

The formation of unwanted blood clots in the deep veins of the legs is a serious and potentially fatal health problem because blood clots in the legs can travel to the lungs and cause death. Unwanted blood clots in the legs can occur as the result of reduced mobility, increased tendency for blood clotting, and other factors. NMES is thought to be effective as a mechanical method of preventing blood clots in the legs. A Cochrane review aimed to identify available evidence on the effectiveness of NMES compared with other methods in preventing the formation of unwanted blood clots. Evidence shows no clear difference in the risk of deep vein thrombosis (DVT) between NMES and alternative methods of prophylaxis but suggests that

NMES may be associated with a lower risk of DVT compared with no prophylaxis and a higher risk of DVT compared with low-dose heparin.⁴⁰

Geriatrik Bireylerde NMES

Reidy ve ark. 5 gün boyunca tam yatak istirahatine alınan yaşlı bireylerde NMES ve protein takviyesinin etkisini araştırmışlardır.⁴¹ Çalışmada Quadriceps Femoris kasına çift taraflı olarak günde 3 kez 40 dakika süreyle NMES uygulanmıştır. Araştırmacılar NMES'in kas kütle kaybını önleyebildiğini ancak fonksiyon kaybını önleyemediğini bulmuşlardır. Yatarak bakım alan yaşlı bireylerde NMES ve protein takviyesi kas kütlelerinin korunmasında etkili olsa da fonksiyonun devamı için fiziksel aktivite gerekmektedir.

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalarda FES

FES ile kombine bisiklet eğitimi 1980'lerin sonunda geliştirilmiştir. O zamandan beri nörolojik bozuklukları olan hastalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır.⁴² FES döngüsünün prensibi, bilgisayar tarafından senkronize edilen aktif veya pasif bir görev sırasında bir veya birkaç kas grubunu elektriksel olarak uyarmaktır.⁴³ Nörolojik bozuklukları olan hastalar için egzersize alternatif veya tamamlayıcı olarak önerilir ve kas kuvvetini ve kardiyovasküler kapasiteyi geliştirir.⁴⁴

Randomize kontrollü bir çalışmada, yoğun bakım ünitesindeki mekanik ventilasyona bağlı yetişkinler için FES ile kombine bisiklet eğitiminin etkileri araştırılmıştır. Yüz elli hastaya FES destekli eğitim veya standart tedaviler uygulanmıştır. Araştırmacılar, yoğun bakım ünitesinde uzun süre kalmaları beklenen mekanik ventilasyon altındaki hastalarda, FES ile kombine bisiklet eğitiminin, kritik hastalıktan 6 ay sonra fiziksel yetersizliği iyileştirmediğini bildirmişlerdir. Yoğun bakım ünitesinden taburcu olurken hastanede kalış süresi veya fonksiyonel performans açısından herhangi bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir.⁴⁵ Fossat ve ark. 314 kritik hastalığı olan yetişkin hastayı kapsayan tek merkezli, kör, randomize kontrollü bir çalışmada, standartlaştırılmış erken rehabilitasyona eklenen FES ile kombine bisiklet eğitiminin kas kuvveti üzerindeki etkisini araştırmışlardır.³²



Hastalar yatakta erken dönemde standart erken rehabilitasyona ek olarak FES ile kombine bisiklet eğitimi almışlardır ve yalnızca standart rehabilitasyon alan kontrol grubu ile karşılaştırma yapılmıştır. 6. ayda gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Araştırmacılar erken dönem FES ile kombine bisiklet eğitiminin yoğun bakım ünitesinden taburcu olurken kas kuvvetini artırmadığı sonucuna varmıştır.³²

Kullanmama Atrofisi Olan Hastalarda Manyetik Alan Tedavisi

Manyetik alan stimülasyonu; farklı patolojiler için uygulanabilir, iyi tolere edilen, güvenli bir tedavi seçeneğidir.²⁷ Bununla birlikte, çok az sayıda çalışma, kullanmama atrofisi olan hastalarda manyetik alan stimülasyonunun etkinliğini araştırmıştır. Bustamante ve ark. yoğun bakımda tedavi gören kritik hastalarda Quadriceps Femoris kasına uygulanan manyetik alan stimülasyonunun etkilerini araştırmışlardır.³¹ Çalışmada, manyetik alan stimülasyonu 15 dakikalık seanslar halinde, uyarının yoğunluğu ve sıklığı hastanın toleransına göre ayarlanarak uygulanmıştır. Araştırmacılar manyetik alan stimülasyonunun, kasta oksitatif stresi artırmadan yavaş kasılan liflerin büyüklüğünü artırdığını ve tedavinin iyi tolere edilen bir yöntem olduğunu bulmuşlardır.

Sonuç

Bu bölümde kullanmama atrofisi olan hastalarda ES'nin amacı, uygulama yöntemleri ve literatür çalışmaları tartışılmıştır. Kullanmama atrofisi olan hastalarda NMES, FES ve manyetik alan stimülasyonu kullanılabilir. Yatak istirahati nedeniyle genel kullanmama atrofisi olan bireylerde NMES'in metabolik yüke yol açmadan periferik kas kuvveti ve fonksiyonel kapasiteyi iyileştirmede faydalı etkileri vardır. Ancak NMES'in lokal immobilizasyonunda kullanımı sınırlıdır ve bu konudan yalnızca eski yıllarda yapılan çalışmalarda bahsedilmiştir. Kullanmama atrofisinde FES ve manyetik alan uyarımının etkileri açık değildir. Çünkü araştırma sayısı sınırlıdır. ES'nin etkilerini belirlemek için kullanmama atrofisi konusunda çalışmalar planlanmalıdır.

Kaynaklar

1. Yin L, Li N, Jia W, Wang N, Liang M, Yang X, et al. Skeletal muscle atrophy: From mechanisms to treatments. *Pharmacol Res.* 2021;172:105807. doi:10.1016/j.phrs.2021.105807.
2. Wall BT, Dirks ML, van Loon LJ. Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: Implications for age-related sarcopenia. *Ageing Res Rev.* 2013;12(4):898-906. doi:10.1016/j.arr.2013.07.003.
3. Brower RG. Consequences of bed rest. *Crit Care Med.* 2009;37(10 Suppl):S422-8. doi:10.1097/CCM.0b013e-3181b6e30a.
4. Dirks ML, Wall BT, Snijders T, Ottenbros CL, Verdijk LB, van Loon LJ. Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle disuse atrophy during leg immobilization in humans. *Acta Physiol (Oxf).* 2014;210(3):628-41. doi:10.1111/apha.12200.
5. He N, Ye H. Exercise and muscle atrophy. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1228:255-67. doi:10.1007/978-981-15-1792-1_17.
6. Jones S, Man WDC, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A, Maddocks M. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;10(10):CD009419. doi:10.1002/14651858.CD009419.pub3.
7. Koopman R, van Loon LJ. Aging, exercise, and muscle protein metabolism. *J Appl Physiol* (1985). 2009;106:2040-8. doi:10.1152/jappphysiol.91551.2008.
8. Ferrando AA, Tipton KD, Bamman MM, Wolfe RR. Resistance exercise maintains skeletal muscle protein synthesis during bed rest. *J Appl Physiol* (1985). 1997;82:807-10. doi:10.1152/jappphysiol.1997.82.3.807.
9. Wall BT, Dirks ML, Verdijk LB, Snijders T, Hansen D, Vranckx P, et al. Neuromuscular electrical stimulation increases muscle protein synthesis in elderly type 2 diabetic men. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2012; 303:E614-E623. doi:10.1152/ajpendo.00138.2012.
10. Gerovasilis V, Stefanidis K, Vitzilaios K, Karatzanos E, Politis P, Koroneos A, et al. Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: A randomized study. *Crit Care.* 2009;13: R161. doi:10.1186/cc8123.
11. Gibson JN, Morrison WL, Scrimgeour CM, Smith K, Stoward PJ, Rennie MJ. Effects of therapeutic percutaneous electrical stimulation of atrophic human quadriceps on muscle composition, protein synthesis and contractile properties. *Eur J Clin Invest.* 1989;19:206-12. doi:10.1111/j.1365-2362.1989.tb00219.x.
12. Gruther W, Kainberger F, Fialka-Moser V, Paternostro-Sluga T, Quittan M, Spiss C, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on muscle layer thickness of knee extensor muscles in intensive care unit patients: A pilot study. *J Rehabil Med.* 2010;42:593-7. doi:10.2340/16501977-0564.
13. Vivodtzev I, Pépin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, et al. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest.* 2006;129(6):1540-8. doi:10.1378/chest.129.6.1540.
14. Dirks ML, Hansen D, Van Assche A, Dendale P, Van Loon LJ. Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle wasting in critically ill comatose patients. *Clin Sci (Lond).* 2015;128:357-65. doi:10.1042/CS20140447.
15. Abadi A, Glover EI, Isfort RJ, Raha S, Safdar A, Yasuda N, et al. Limb immobilization induces a coordinate down-regulation of mitochondrial and other metabolic pathways in men and women. *PLoS One.* 2009;4(8):e6518. doi:10.1371/journal.pone.0006518.
16. De Boer MD, Selby A, Atherton P, Smith K, Seynnes OR, Maganaris CN, et al. The temporal responses of protein synthesis,

- gene expression and cell signalling in human quadriceps muscle and patellar tendon to disuse. *J Physiol.* 2007;585:241-51. doi:10.1113/jphysiol.2007.142828.
17. Sillen MJ, Franssen FM, Gosker HR, Wouters EF, Spruit MA. Metabolic and structural changes in lower-limb skeletal muscle following neuromuscular electrical stimulation: A systematic review. *PLoS One.* 2013;8:e69391. doi:10.1371/journal.pone.0069391.
 18. Maffioletti NA, Zory R, Miotti D, Pellegrino MA, Jubeau M, Bottinelli R. Neuromuscular adaptations to electrostimulation resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2006;85:167-75. doi:10.1097/01.phm.0000197570.03343.18.
 19. Dal Corso S, Nápolis L, Malaguti C, Gimenes AC, Albuquerque A, Nogueira CR, et al. Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients. *Respir Med.* 2007;101:1236-43. doi:10.1016/j.rmed.2006.10.023.
 20. Pérez M, Lucia A, Rivero JL, Serrano AL, Calbet JA, Delgado MA, et al. Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M. vastus lateralis characteristics of healthy young men. *Pflugers Arch.* 2002;443:866-74. doi:10.1007/s00424-001-0769-6.
 21. Vivodtzev I, Debigaré R, Gagnon P, Mainguy V, Saey D, Dubé A, et al. Functional and muscular effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with severe COPD: A randomized clinical trial. *Chest.* 2012;141:716-25. doi:10.1378/chest.11-0839.
 22. Sjöström M, Downham DY, Lexell J. Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: why is there a difference within a fascicle? *Muscle Nerve.* 1986;9:30-6. doi:10.1002/mus.880090105.
 23. Wall BT, Morton JP, van Loon LJ. Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: Nutritional considerations and exercise mimetics. *Eur J Sport Sci.* 2015;15:53-62. doi:10.1080/17461391.2014.936326.
 24. Hvid LG, Ortenblad N, Aagaard P, Kjaer M, Suetta C. Effects of ageing on single muscle fibre contractile function following short-term immobilisation. *J Physiol.* 2011;589:4745-57. doi:10.1113/jphysiol.2011.215434.
 25. Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* 1988;84:275-94. doi:10.1016/0022-510X(88)90132-3.
 26. LeBlanc AD, Schneider VS, Evans HJ, Pientok C, Rowe R, Spector E. Regional changes in muscle mass following 17 weeks of bed rest. *J Appl Physiol.* 1992;73:2172-8. doi:10.1152/jappl.1992.73.5.2172.
 27. Cicek F, Tastekin B, Baldan I, Tokus M, Pelit A, Ocal I, et al. Effect of 40 Hz magnetic field application in posttraumatic muscular atrophy development on muscle mass and contractions in rats. *Bioelectromagnetics.* 2022;43(8):453-61. doi:10.1002/bem.22429.
 28. Quittan M, Sochor A, Wiesinger GF, Kollmitzer J, Sturm B, Pacher R, et al. Strength improvement of knee extensor muscles in patients with chronic heart failure by neuromuscular electrical stimulation. *Artif Organs.* 1999;23:432-5. doi:10.1046/j.1525-1594.1999.06372.x.
 29. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fraccia C. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: Effect of electrical stimulation. *Chest.* 2003;124(1):292-6. doi:10.1378/chest.124.1.292.
 30. Wageck B, Nunes GS, Silva FL, Damasceno MCP, de Noronha M. Application and effects of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients: Systematic review. *Med Intensiva.* 2014;38(7):444-54. doi:10.1016/j.medin.2013.12.003.
 31. Bustamante V, Santa Maria EL, Gorostiza A, Jimenez U, Galdiz JB. Muscle training with repetitive magnetic stimulation of the quadriceps in severe COPD patients. *Respir Med.* 2010;104:237-54. doi:10.1016/j.rmed.2009.10.001.
 32. Fossat G, Baudin F, Courtes L, Bobet S, Dupont A, Bretagnol A, et al. Effect of in-bed leg cycling and electrical stimulation of the quadriceps on global muscle strength in critically ill adults: A randomized clinical trial. *JAMA.* 2018;320(4):368-78. doi:10.1001/jama.2018.9592.
 33. Cameron MH. (1999), *Physical agents in rehabilitation: from research to practice.* 3rd ed. Philadelphia, USA: WB Saunders Company. ISBN:0-7216-6244-7.
 34. Burr DB, Frederickson RG, Pavlinch C, Sickles M, Burkart S. Intracast muscle stimulation prevents bone and cartilage deterioration in cast-immobilized rabbits. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;(189):264-78. PMID:6478700.
 35. Nelson RM, Currier DP. (1991), *Clinical electrotherapy.* 2nd ed. USA: Appleton&Lange. ISBN:0-8385-1334-1334.
 36. Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R, Tamaki A, Nakamura T, Moritani T. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(4):622-30. doi:10.1016/j.jelekin.2011.01.005.
 37. Stevens-Lapsley JE, Balter JE, Wolfe P, Eckhoff DG, Kohrt WM. Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty: A randomized controlled trial. *Phys Ther.* 2012;92:210-26. doi:10.2522/ptj.20110124.
 38. Parissis J, Farmakis D, Karavidas A, Arapi S, Filippatos G, Lekakis J. Functional electrical stimulation of lower limb muscles as an alternative mode of exercise training in chronic heart failure: Practical considerations and proposed algorithm. *Eur J Heart Fail.* 2015;17(12):1228-30. doi:10.1002/ehfj.409.
 39. Hill K, Cavalheri V, Mathur S, Roig M, Janaudis-Ferreira T, Robles P, et al. Neuromuscular electrostimulation for adults with chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Syst Rev.* 2018;5(5):CD010821. doi:10.1002/14651858.CD010821.
 40. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Antoniou GA, Scurr JRH, Torrella F. Neuromuscular electrical stimulation for the prevention of venous thromboembolism *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;21;11(11):CD011764. doi:10.1002/14651858.CD011764.pub2.
 41. Reidy PT, McKenzie AI, Bruncker P, Nelson DS, Barrows KM, Supiano M, et al. Neuromuscular electrical stimulation combined with protein ingestion preserves thigh muscle mass but not muscle function in healthy older adults during 5 days of bed rest. *Rejuvenation Res.* 2017;20(6):449-61. doi:10.1089/rej.2017.1942.
 42. Glaser RM. Physiologic functional neuromuscular stimulation. exercise conditioning of spinal cord injured patients. *Int J Sports Med.* 1994;15(3):142-8. doi:10.1055/s-2007-1021036.
 43. Fornusek C, Davis G, Sinclair P, Milthorpe B. Development of an isokinetic functional electrical stimulation cycle ergometer. *Neuromodulation.* 2004;1:56-64. doi:10.1111/j.1525-1403.2004.04007.x.
 44. Davis G, Hamzaid N, Fornusek C. Cardiorespiratory, metabolic, and biomechanical responses during functional electrical stimulation leg exercise: Health and fitness benefits. *Artif Organs.* 2008;32:625-9. doi:10.1111/j.1525-1594.2008.00622.x.
 45. Waldauf P, Hrušková N, Blahutova B, Gojda J, Urban T, Krájčová A, et al. Functional electrical stimulation-assisted cycle ergometry-based progressive mobility program for mechanically ventilated patients: a randomized controlled trial with 6 months follow-up. *Thorax.* 2021;76(7):664-71. doi: 10.1136/thoraxjnl-2020-215755.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm

22

1

Sağlıklı Kasları Kuvvetlendirme



ÇEVİRİ YAZARLARI: BETÜL SÖYLEMEZ • FATMA NUR ALÇIN • NİLÜFER ÇETİŞLİ-KORKMAZ
BÖLÜM YAZARLARI: DOVYDAS GEDRIMAS • VAIDA ALEKNAVIČIÜTĒ-ABLONSKĚ

Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES), kaslarda aktif kontraksiyon açığa çıkarmak amacıyla sinir dokusunun uyarılmasıdır. Elektrik Stimülasyonu (ES) genellikle kasın motor noktalarına yakın bir veya daha fazla aktif elektrot kullanılarak ve önceden programlanmış stimülasyon üniteleri ile iletilir.

Uyarılan kasın durumuna bağlı olarak, NMES, uzun süre hareketsizlik veya immobilizasyon dönemlerinde kas kütesinin ve fonksiyonunun korunması ve kas fonksiyonunun iyileştirilmesi için kullanılabilir. Bu gruplar içinde yaşlı bireyler, yetişkin bireyler, rekreasyonel ve rekabet sporcuları bulunabilmektedir ve aynı zamanda preoperatif kuvvetlendirme yöntemi olarak, yani “pre-rehabilitasyonda” kullanılabilir.²

Yetişkinlerde Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Yetişkinlerde sağlıklı kasların kuvvetlendirilmesi için uygulanan sağlıklı kas stimülasyonu, sporcularda veya rehabilitasyonda, kas atrofisinin önlenmesi veya daha hızlı kas kütesi ve kuvvet kazanımı için egzersiz programlarını desteklemek amacıyla uygulanır. NMES büyük ölçüde maksimal izometrik istemli kuvveti artıran önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.³

Sağlıklı bireylerde, kas eğitimi sırasında olduğu gibi tekrarlanan ES kullanıldığında kas fizyolojisinin adaptasyonu gözlemlenir. Eğitilen genel kas grubunun Tip I kas liflerinin birleştiği kesit alanında bir artış meydana gelir. Bu, miyozin ağır zincirlerinin IIa izoformunun miktarındaki bir artışla ilişkilidir ve istemli kas kasılması ile stimülasyonun birleştirilmesiyle artar. Bu değişiklikler, kullanılan uyarı türüne bağlıdır ve eğitilen kasın maksimum kuvvetinin artmasıyla ve kasın daha yüksek elektriksel kas aktivitesiyle doğru orantılı olabilir.⁴

Sporcularda Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Elektromiyostimülasyonun (kasın ES'si) kuvvet kazanımları üzerinde etkisi olduğuna dair pek çok kanıt vardır. Örneğin rugby oyuncularında, Quadriceps Femoris, Gluteus Maximus ve Triceps Surae kaslarının 12 haftalık bir süre boyunca izole olarak uyarılması, bu kasların gücünde ve kuvvetinde belirgin bir artış sağlamıştır.⁵ Diğer bir çalışmada, ES ve pliometrik antrenman kombinasyonu, dikey sıçrama ve sprint performansının yanı sıra Quadriceps Femoris'in maksimal kuvvetini de artırmıştır.⁶ Bu kazanımlar, muhtemelen stimülasyonun yoğunluğundan kaynaklandığından, ağrıya yol açmayan akımların kullanılması son derece önemlidir. Sağlıklı bireylerde ve sporcularda ES, özellikle eş zamanlı istemli kasılma ile birlikte klasik kuvvetlendirme programlarının tamamlayıcısı

gibi görünmektedir. Başlıca avantajları, klasik antrenmanın bir tamamlayıcısı olarak kas iş yükünde artış ve istemli kasılma sırasındaki modelden farklı bir kasılma desenini indüklemektir.⁷

Russian akımı, sporcularda kas kuvvetlendirme için kullanılabilir. Kullanılan frekans 2,5 Hertz (Hz)'dir. Her ES atımı kısa bir süre, genellikle 10-50 milisaniye (msn) sürer. Burstler, saniyede yaklaşık 50 atım frekansı ile verilir. Russian Akımı genellikle 1/5 veya 1/10 görev döngüsü ile uygulanır; bu da stimülasyonun her döngüde 5 saniye (sn) açık ve 25 sn kapalı veya 10 sn açık ve 50 sn kapalı olduğu anlamına gelir. ES'nin atım süresi veya yoğunluğu, gözle görülür kas kasılmalarına sağlayacak bir seviyeye ayarlanmalıdır, ancak sporcu için rahat ve tolere edilebilir olmalıdır.⁸

Ekstremitte İmmobilizasyonu Döneminde Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Diz eklemi genellikle cerrahiden veya ön çapraz bağ rüptürü gibi ciddi travmatik lezyonlardan sonra immobil hale gelir. Bu durumda, Quadriceps Femoris kasında hızla amyotrofi ve kuvvet kaybı ortaya çıkar. Çok sayıda klinisyen, bu kas değişikliklerini sınırlamak ve normal fonksiyonel seviyelere dönüşlerini hızlandırmak için doğrudan kas stimülasyonu kullanmaktadır. Bu tekniğin travma sonrası veya cerrahi sonrası kas atrofisiyle mücadelede yardımcı olduğuna inanılmaktadır. ES, immobilizasyon dönemi sırasında ve/veya sonrasında tek başına veya istemli kas kasılması ile birlikte kullanılır.⁹ Stimülasyonun temel sonucu, immobilizasyon döneminde ES tedavisi alan hastalarda kas kuvvetinde daha az azalma olmasıdır.

Bu dönemde Faradik akım kullanılabilir. Tipik olarak, ekstremitte immobilizasyonu sırasında düşük frekanslı ES kullanılır. Genellikle 1-50 Hz aralığındaki frekanslar kullanılır. Atım süresi genellikle 0,1-1 msn arasında ayarlanır. ES'nin yoğunluğu kas kasılmalarını indükleyecek bir seviyeye ayarlanmalıdır. Bireyde rahatsızlık veya ağrıya neden olmadan kontraksiyon ortaya çıkaracak kadar kuvvetli olmalıdır. Yaygın görev döngüleri arasında 1/1 veya 1/2 (1 sn boyunca stimülasyon açık, ardından 2 sn kapalı) bulunur. Her ES seansının süresi spesifik tedavi planına ve bireysel ihtiyaçlara göre de-

ğişebilir. Seanslar tipik olarak 15 ile 60 dakika (dk) arasında değişkenlik gösterir.¹⁰

İmmobilizasyon sonrası döneme ilişkin bulgular, Quadriceps Femoris için stimülasyonun olumlu etkisini ve cerrahiden sonra normal yürüme paternine daha hızlı bir dönüş sağladığını göstermektedir. Buna ek olarak, ES'nin istemli kontraksiyonlar ile (farklı zamanlarda veya eş zamanlı olarak) birlikte kullanılmasının, tek başına kullanımından daha etkili olduğu görünmektedir.¹¹ Bu nedenle, alt ekstremitelerin travmatik ve ortopedik sorunları için ES, tedavinin ilk aşamasında faydalı görünmektedir. Bu tedavi, travma, cerrahi ve takip eden lokal immobilizasyonu ile ilişkili amyotrofi ve kuvvet kaybını sınırlamaya yardımcı olur.⁴

Kaşeksiye ve Uzamış Yatak İstirahatine Yol Açan Hastalıklar Sırasında Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Araştırmalar, şiddetli kaşeksi ile ilişkili tıbbi durumlarda [özellikle kalp yetmezliği ve Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH)] doğrudan kas ES'nin faydalarını göstermektedir. Kaşeksi, özellikle yaygın amyotrofi ve kas kuvvetinde büyük oranda azalma ile karakterizedir. Vivodtzev ve ark., KOAH tanılı ve yetersiz beslenen hastalarda kas ES'nin (Quadriceps Femoris kası) rutin rehabilitasyonla (koşu bandında yavaş yürüme eğitimi ve aktif ekstremitte mobilizasyonu) ilişkilendirilmesinin önemini vurgulamıştır.¹¹ Bu randomize kontrollü çalışmada, böyle bir programa katılan hastaların Quadriceps Femoris kaslarının kuvvetinde, yürüme mesafesinde ve vücut kütle indeksinde anlamlı iyileşme görülmüştür. Ayrıca, günlük yaşam aktiviteleri sırasında nefes darlığında önemli bir azalma gözlenmiştir.¹²

Kuvvet kazanımına ek olarak, ES'in dispne, yürüme becerileri ve egzersiz toleransı üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Zanotti ve ark. da mekanik ventilasyona ihtiyaç duyan kronik solunum yetmezliği olan hastalarda aktif egzersizlerle ilişkili kas ES'nin yatakta kalma süresi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir.¹² Uyarılan kaslarda ölçülen kuvvet kazanımına ek olarak, özellikle kalp nakli bekleyen hastalarda aerobik kapasitenin yanı sıra yaşam kalitesi de iyileşmiştir.¹³



Patolojilerin yanı sıra ES, mikro yerçekimi uçuşları sırasında astronotlar tarafından amyotrofi ve kas gücü kaybıyla mücadele etmek için de yaygın olarak kullanılan araçlardan biridir.⁴ Atletik eğitim veya patoloji tedavilerinde, ES'yi istemli kas kasılmalarıyla ilişkilendiren programların (üst üste bindirilmiş veya kombine ES) tek başına ES'den daha fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Egzersiz travmatolojisi veya ortopedideki uygulamalarının yanı sıra, doğrudan kas ES, yoğun bakım hastaları da dâhil olmak üzere uzun yatak istirahatine yol açan çok sayıda hastalıkta gözlenen kas kütlesi ve işlevindeki azalmayla mücadele etmek için etkili bir araç olabilir.¹⁴

Sağlıklı kaslar için temel stimülasyon protokollü bir ısınma evresi [5 dk, 5 Hz, 250 mikrosaniye (μ sn)], bir stimülasyon süresi [30 dk, 100 Hz, 400 μ sn, 5 sn açık (0,75 sn rampa yukarı, 3,5 sn kasılma, 0,75 sn rampa aşağı) ve 10 sn kapalı] ve bir soğuma aşamasından (5 dk, 5 Hz, 250 μ sn) oluşur. Fizyoterapistler, stimülasyonun yoğunluğunu, kasın tam kasılmasının görülebildiği ve bir ekstremitenin hafif hareketinin bulunduğu bir seviyeye ayarlamalıdır.¹⁰

Çocuklarda Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Nörolojik Rahatsızlığı Olan Çocuklarda Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Çocuklar, boyuta göre normalize edilmiş kuvvet, dayanıklılık ve yorucu egzersizden sonra toparlanma gibi birçok kas performansı özelliği bakımından yetişkinlerden farklıdır.¹⁵ Çocuklar için ES, genellikle merkezi sinir sistemi bozuklukları nedeniyle kas kontrolünün bozulduğu Serebral Palsi (SP) gibi nörolojik durumlar söz konusu olduğunda uygulanır. SP'li çocukların büyük çoğunluğu yürüme gücünü çekmektedir. SP'li çocuklar için, yürüme veya diğer işlevsel becerileri geliştirmek sıklıkla tedavinin başlıca hedefidir. Ayrıca, üst ekstremitelerde kontrolü genellikle bu merkezi sinir sistemi bozukluklarından etkilenir. Fiziksel egzersizlerin yanı sıra ES de bu noktada yardımcı olur.¹⁶

Yapılan çalışmalar, Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES) tedavisinin üst ekstremitelerde fonksiyo-

nunun iyileşmesine, özellikle de el becerisi, hareket aralığı ve günlük yaşam aktivitelerinde iyileşmelere yol açabileceğini göstermiştir. SP'li çocuklarda ekstremitelerde farkındalığının artması ve duyu fonksiyonlarının iyileşmesinin faydaları da bildirilmiştir.¹⁷ Elektrot yerleşimi genellikle çocuklarda kas stimülasyonu için, yetişkinlerde FES elektrot yerleşimi için önerilenle aynıdır. Bir elektrot kasın orijinine, diğer elektrot ise kasın motor noktasına yerleştirilir. Kas kasılması başladığında stimülasyonun yoğunluğu bir motor eşiğine ulaşmalıdır. Tüm çocukların ES'yi ve etkisini tolere edemediği, bazen elektrik kaynaklı karıncalanma hissinin çok rahatsız edici olduğu belirtilmelidir. ES uygulanması kesinlikle gerekli olduğunda, daha düşük yoğunluk olası bir seçenek olabilir, ancak kas kasılmasına neden olmak için yeterli olmayabilir. Bir başka seçenek de ES'den önce cilde anestezi kremi kullanmak olabilir. SP'li çocuklar için Quadriceps Femoris ve Triceps Surae kas stimülasyonu çalışmasında, Stackhouse ve ark. stimülasyon alanına anestezi kremi (EMLA; %2,5 prilokain, %2,5 lidokain) kullanmış ve stimülasyondan önce 2 saat boyunca kendinden yapışkanlı oklüzif bir pansumanla örtmüşlerdir.¹⁸ Bu anestezi kremi, ES sırasında rahatsızlığı azaltmak ve refleks yanıt olasılığını azaltmak için kullanılmıştır.

FES, yürüyüş sırasında doğrudan "ortotik" bir etki elde etmek için kullanılabilir; örneğin ayak bileği dorsifleksörlerini tetikleyerek salınım fazı sırasında dorsi fleksiyon sağlayabilir veya Quadriceps Femoris kasını tetikleyerek duruş fazı sırasında dizi ekstansiyona alabilir. FES'in olası uzun vadeli "terapötik" etkileri arasında kas atrofisinde azalma ve nöral yolların etkinliğini artırarak motor kontrolün iyileştirilmesi yer almaktadır.¹⁹

Ayak bileği dorsifleksiyonu, bir elektrot Peroneal siniri uyarmak için fibular başın üzerine ve diğer elektrot Tibialis Anterior kasının motor noktasına yerleştirilerek elde edilebilir. Atım genişliği maksimum 300 μ sn ve frekans 33 Hz olarak ayarlanmalıdır. Bu tip stimülasyon yürüme aktiviteleri sırasında her gün kullanılabilir. Gerektiğinde aynı parametreler ayakta duruş fazı sırasında Quadriceps Femoris stimülasyonu için de kullanılabilir.²⁰

Üst ekstremitte stimülasyonu genellikle bilek, el ve parmak kontrolü için yapılır. NMES, tolere edilebilir ve rahat bir yoğunlukta (10-25 mA) ve 300 µsn'lik bir atım genişliğinde, 30 Hz frekansında ve 12 sn geçiş (1 sn bir rampa çıkışı ve 1 sn rampa iniş) ve 5 sn dinlenme süresi ile uygulanmalıdır. NMES uygulanırken el bileği ve parmaklarda maksimum kasılma elde etmek için çocuk oturur pozisyonda, dirsek, önkol ve el sırasıyla 90° fleksiyon, pronasyon ve nötral pozisyonda olmalıdır.²¹

Garzon ve ark. FES için kullanılan elektrot boyutuna göre yoğunluk değerleri önermiştir.¹⁷ Elektrot ne kadar büyükse akım yoğunluğu da o kadar yüksek olur. 1 cm x 3 cm elektrotlar kullanıldığında, akım yoğunluğu 2,7mA olabilir. 2,5 cm (dairesel) elektrot için yoğunluk 3,5 mA'e çıkar. 5 cm x 5 cm elektrot için 7,9 mA yoğunluk, 9 cm x 5 cm elektrot için 10,6 mA yoğunluk ortaya çıkar.

Ortopedik Rahatsızlığı Olan Çocuklarda Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

Çocuklarda oldukça yaygın görülen bir diğer kas-iskelet sistemi rahatsızlığı da, genellikle ayak destek kaslarının zayıflığı nedeniyle ortaya çıkan pes planus deformitesidir. Abd-Elmonem ve ark. plantar intrinsik ayak kaslarında NMES kullanımını önermişlerdir. Yazarlar çalışmalarında bir elektrodu kasın motor noktasına (Abductor Hallucis kası; intrinsik ayak kaslarının en büyük kesit alanı), diğer elektrodu ise birinci metatarsal kemiğin başının arkasına yerleştirmiştir.²² Önerilen akım parametreleri şunlardır: Frekans 85 Hz, 5 sn kasılma süresi ve 12 sn dinlenme süresi, rampa çıkışı ve iniş süreleri ise sırasıyla 0,3 sn ve 0,7 sn'dir. Akım yoğunluğu, her iki ayak üzerinde dururken ağrı veya rahatsızlık olmadan bireysel toleransa göre ayarlanmalıdır.²²

Yaşlılarda Sağlıklı Kasların Kuvvetlendirilmesi

İskelet kası atrofi ilerleyen yaşla birlikte ortaya çıkar. Longitudinal çalışmalara göre 75 yaş ve üzeri kişilerde kas kütlesi kadınlarda yılda %0,64-0,70, erkeklerde ise %0,80-0,98 oranında kaybedilmektedir. Bununla birlikte, fiziksel hareketsizlik dönemlerinde iskelet kası atrofi önemli ölçüde hız-

lanır. Örneğin, immobilizasyon ve yatak istirahati çalışmalarından elde edilen veriler, 10 gün içinde kas kütlesinde 1 kg'lık önemli bir kayıp olduğunu göstermektedir.²³

İlerleyen yaşla birlikte ortaya çıkan fiziksel kısıtlamalara katkıda bulunan çeşitli faktörler olsa da, en önemli faktörlerden biri şüphesiz iskelet kası performansındaki azalmadır. Kas performansındaki azalmayla bağlantılı yaşlanmanın ayırt edici değişikliklerinden biri, genellikle sarkopeni olarak adlandırılan iskelet kası kütlesinin kaybıdır.²³ Kas atrofi alt ekstremitelerde başlar ve günlük yaşam aktivitelerini etkileyen düşme ve yürüme bozukluğu için temel bir risk faktörüdür.²⁴

NMES, kas dokusunun plastisitesini aktive ederek sarkopeni sürecinin başlamasını veya şiddetlenmesini engellemek için iyi bir araçtır.²⁶ NMES'in, spesifik motor ünite alımını teşvik etmesi nedeniyle, sınırlı yeteneği olan veya istemli egzersiz için uyumlu olmayan kişiler için istemli eğitime göre avantajlar sunabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir.²⁴ NMES'in, özellikle mobilizasyonun azaldığı dönemlerde kas kuvvetini artırdığına dair kanıtlar da vardır.²⁶ Birçok çalışma, NMES'in yaşlı bireylerde iskelet kasının rejeneratif kapasitesini geliştirdiğini göstermiştir. Buna göre, NMES ile uyarılan yaşlı deneklerin iskelet kası kuvveti ve hareketliliği, düzenli uyarım süresi boyunca önemli ölçüde iyileşmiştir.²⁶

Yaşlılarda kas atrofisini önlemek için haftada 3-4 kez NMES uygulanabilir. Genellikle alt ekstremitelerin kas stimülasyonu, hareket ve denge becerileri sağlamak için gereklidir. Bununla birlikte, kas zayıflığı ve hissedilen semptomlara göre üst ekstremitte veya gövde kasları da uyarılabilir. Uyarılan ana kas grupları genellikle Quadriceps Femoris kası, özellikle Vastus Lateralis ve Vastus Medialis ve baldır kaslarıdır, çünkü bunların aktivitesi sadece yürüme için değil aynı zamanda denge kontrolü için de gereklidir.²⁷

Yaşlılar için ES'nin etkisini inceleyen çalışmalarda, temel parametreler şunlardır: 75 Hz dikkörtgen dalga, 400 µsn atım süresi, 1,5 sn'lik bir rampa çıkışı süresi, 4 sn'lik sabit tetanik stimülasyon süresi ve 0,75 sn'lik bir rampa iniş süresi (toplam kasılma süresi, 6,25 sn) ile verilir. Yorgunluğun başlamasını



geciktirmek için daha uzun bir dinlenme fazı gereklidir. Bu nedenle, görev döngüleri arasında 20 sn'lik dinlenme aralığı belirlenebilir. Stimülasyondan maksimum sonucu elde etmek için yoğunluğun kademeli ve bireysel olarak maksimum tolere edilebilir bir şiddete yükseltilmesi önerilir. Stimülasyon sırasında alışkanlık meydana geldiğinden, kişi stimülasyon seansı boyunca tolere edilebilir en yüksek yoğunluğu sağlamak için akım şiddetini ayarlama konusunda motive edilmelidir.²⁶

Diğer bazı çalışmalarda atrofiyi önlemek amacıyla yaşlı bireylerde 60-85 Hz frekans kullanılmıştır. Bu yaş grubunda atım genişliği genellikle 350-600 µsn civarındadır. Stimülasyon hissi çok rahatsız edici ise bu parametre de ayarlanabilir ve her birey için ayrı ayrı atım süresi kısaltılabilir. Optimum etkiyi elde etmek için stimülasyon süresi 20 dk'den kısa olmamalıdır. Stimülasyon döngüsü için 1/2 oranı kullanılabilir (örneğin 3 sn geçiş ve 6 sn dinlenme).²⁸⁻³⁰

Kaynaklar

1. Billot M, Martin A, Paizis C, Cometti C, Babault N. Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010;24(5):1407-13. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d43790.
2. Maffiuletti NA. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110:223-34. doi:10.1007/s00421-010-1502-y.
3. Gondin J, Cozzone PJ, Bendahan D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:2473-87. doi:10.1007/s00421-011-2101-2.
4. Dehail P, Duclos C, Barat M. Electrical stimulation and muscle strengthening. *Ann Readapt Med Phys.* 2008;51(6):441-51. doi:10.1016/j.anrmp.2008.05.001.
5. Babault N, Cometti G, Bernardin M, Pousson M, Chatard JC. Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *J Strength Cond Res.* 2007;21(2):431-7. doi:10.1519/R-19365.1.
6. Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS. Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(1):17-20. doi:10.1097/00002060-200301000-00003.
7. Vanderthommen M, Duchateau J. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007;35(4):180-5. doi:10.1097/jes.0b013e318156e785.
8. Heggannavar AB, Dharmayat S, Nerurkar SS, Kamble S. Effect of Russian current on quadriceps muscle strength in subjects with primary osteoarthritis of knee: A randomized control trial. *Int J Physiother Res.* 2014;2(3):555-60. ISSN:2321-1822.
9. Bax L, Staes F, Verhagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med.* 2005;35(3):191-212. doi:10.2165/00007256-200535030-00002.
10. Dirks ML, Wall BT, Snijders T, Ottenbros CL, Verdijk LB, Van Loon LJ. Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle disuse atrophy during leg immobilization in humans. *Acta Physiol (Oxf).* 2014;210(3):628-41. doi:10.1111/apha.12200.
11. Snyder-Mackler LY, Ladin Z, Schepesis AA, Young JC. Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(7):1025-36. doi:10.2106/00004623-199173070-00010.
12. Vivodtzev I, Pépin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, et al. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest.* 2006;129(6):1540-8. doi:10.1378/chest.129.6.1540.
13. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: Effect of electrical stimulation. *Chest.* 2003;124(1):292-6. doi:10.1378/chest.124.1.292.
14. Quittan M, Wiesinger GF, Sturm B, Puig S, Mayr W, Sochor A, et al. Improvement of thigh muscles by neuromuscular electrical stimulation in patients with refractory heart failure: A single-blind, randomized, controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001;80(3):206-14. doi:10.1097/00002060-200103000-00011.
15. Dotan R, Mitchell C, Cohen R, Klentrou P, Gabriel D, Falk B. Child-adult differences in muscle activation—A review. *Pediatr Exerc Sci.* 2012;24(1):2-21. doi:10.1123/pes.24.1.2.
16. Elmalah HM, Elnagmy EH, Ali MS. Does functional electrical stimulation improve power and reduce mild equines in children with diplegia? *Neuro Quantol.* 2022;20(15):70-8. doi:10.14704/NQ.2022.20.15.NQ88005.
17. Garzon LC, Switzer L, Musselman KE, Fehlings D. The use of functional electrical stimulation to improve upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy: A feasibility study. *J Rehabil Assist Technol Eng.* 2018;5:2055668318768402. doi:10.1177/2055668318768402.
18. Stackhouse SK, Binder-Macleod SA, Lee SC. Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy. *Muscle Nerve.* 2005;31(5):594-601. doi:10.1002/mus.20302.
19. van der Linden ML, Hazlewood ME, Hillman SJ, Robb JE. Functional electrical stimulation to the dorsiflexors and quadriceps in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther.* 2008;20(1):23-9. doi:10.1097/PEP.0b013e31815f39c9.
20. Pool D, Valentine J, Blackmore AM, Colegate J, Bear N, Stanage K, et al. Daily functional electrical stimulation during everyday walking activities improves performance and satisfaction in children with unilateral spastic cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Arch Physiother.* 2015;5:5. doi:10.1186/s40945-015-0005-x.
21. Yıldızgören MT, Yüzer GF, Ekiz T, Özgirgin N. Effects of neuromuscular electrical stimulation on the wrist and finger flexor spasticity and hand functions in cerebral palsy. *Pediatr Neurol.* 2014;51(3):360-4. doi:10.1016/j.pediatrneurol.2014.05.009.
22. Abd-Elmonem AM, El-Negamy EH, Mahran MA, Ramadan AT. Clinical and radiological outcomes of corrective exercises and neuromuscular electrical stimulation in children with flexible flatfeet: A randomized controlled trial. *Gait Posture.* 2021;88:297-303. doi:10.1016/j.gaitpost.2021.06.008.

23. Tieland M, Trouwborst I, Clark BC. Skeletal muscle performance and ageing. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2018;9(1):3-19. doi:10.1002/jcsm.12238.
24. Kawaguchi T, Shiba N, Takano Y, Maeda T, Sata M. Hybrid training of voluntary and electrical muscle contractions decreased fasting blood glucose and serum interleukin-6 levels in elderly people: A pilot study. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(2):276-83. doi:10.1139/h10-108.
25. Mancinelli R, Toniolo L, Di Filippo ES, Doria C, Marrone M, Maroni CR, et al. Neuromuscular electrical stimulation induces skeletal muscle fiber remodeling and specific gene expression profile in healthy elderly. *Front Physiol*. 2019;10:1459. doi:10.3389/fphys.2019.01459.
26. Di Filippo ES, Mancinelli R, Marrone M, Doria C, Verratti V, Toniolo L, et al. Neuromuscular electrical stimulation improves skeletal muscle regeneration through satellite cell fusion with myofibers in healthy elderly subjects. *J Appl Physiol*. 2017;123(3):501-12. doi:10.1152/jappphysiol.00855.2016
27. Krenn M, Haller M, Bijak M, Unger E, Hofer C, Kern H, et al. Safe neuromuscular electrical stimulator designed for the elderly. *Artif Organs*. 2011;35(3):253-6. doi:10.1111/j.1525-1594.2011.01217.x.
28. Evangelista AL, Alonso AC, Ritti-Dias RM, Barros BM, Souza CR, Braz TV, et al. Effects of whole-body electrostimulation associated with body weight training on functional capacity and body composition in inactive older people. *Front Physiol*. 2021;12:638936. doi:10.3389/fphys.2021.638936.
29. Wall BT, Dirks ML, Verdijk LB, Snijders T, Hansen D, Vranckx P, et al. Neuromuscular electrical stimulation increases muscle protein synthesis in elderly type 2 diabetic men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2012;303(5):E614-23. doi:10.1152/ajpendo.00138.2012.
30. Barberi L, Scicchitano BM, Musaro A. Molecular and cellular mechanisms of muscle aging and sarcopenia and effects of electrical stimulation in seniors. *Eur J Transl Myol*. 2015;25(4):231-6. doi:10.4081/ejtm.2015.5227.





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm
23

1

Ortopedik Problemleri Olan Hastalar İçin Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ YAZARI: YASEMİN KARAASLAN

BÖLÜM YAZARLARI: DOVYDAS GEDRIMAS • VAIDA ALEKNAVIČIÜTĒ-ABLONSKĚ

Epikondilit

Lateral epikondilit toplumun %1-3'ünü etkileyen bir durumdur. Birinci basamak tedavide; Ekstrakorporeal Şok Dalga Tedavisi (ESWT), Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu (TENS), kortikosteroid ilaçlar, trombosit açısından zengin plazma ve olog kan enjeksiyonları pasif tedavi yöntemlerini oluşturmaktadır. Konvansiyonel birinci basamak tedaviler başarısız olduğunda cerrahi düşünülebilir.¹

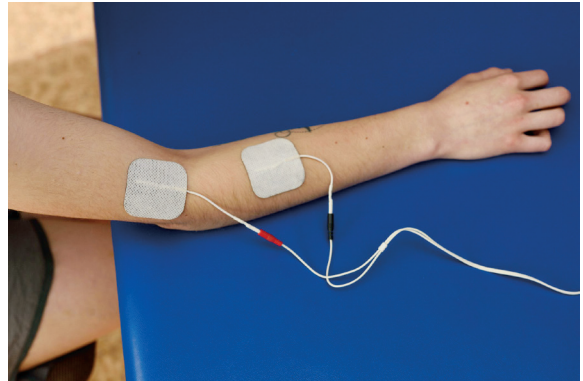
Lateral epikondilitten kaynaklanan ağrı, genellikle supinasyon sırasında el bileklerinin tekrarlayan veya aşırı ekstansiyonu sonrasında başlar. Lateral epikondilit, humeroradial eklemden sürekli hafif travmatik semptomlar ve bu semptomların kademeli olarak artmasıyla karakterizedir. Tedaviye geç başlanması kas kuvvetinde azalmaya yol açar. Ağrı, hastaların yaşadığı sorunlardan biridir ve potansiyel olarak fiziksel, fizyolojik veya psikolojik disabiliteye eşlik edebilir.²

Güçlendirme için Faradik akım şu parametrelerle birlikte kullanılabilir: Kas kontraksiyonunu tetiklemek için yaygın olarak 30-50 Hz aralığında bir frekans kullanılır. Akım geçiş süresi genellikle 0,1-1 milisaniye (msn) arasında ayarlanır. Stimülasyonun yoğunluğu, rahatsızlığa veya ağrıya neden olmadan, hedeflenen kasları etkili bir şekilde kontrakte edecek bir seviyeye ayarlanmalıdır. Görünür kas kontraksiyonu oluşturacak kadar güçlü olmalıdır. Yaygın görev döngüleri arasında 1:2 [stimülasyon 1 saniye (sn) geçiş, 2 sn dinlenme] veya

1:5 bulunur. Tedavi süresi 15 ile 30 dakika arasında değişmektedir.²

Weng ve ark. alçak frekanslı TENS, yüksek frekanslı TENS ve sham TENS'in etkinliğini karşılaştırmışlardır.³ 2 haftalık takipte, alçak frekanslı TENS'e karşı sham TENS arasında ve yüksek frekanslı TENS ve sham TENS'e karşı ağrı skorlarında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Araştırmacılar, epikondilit vakalarında ağrı kontrolüne yönelik ES'nin ağrıyı azaltmak için iyi bir seçim olduğunu öne sürmüşlerdir. Yüksek frekanslı ve alçak frekanslı TENS arasında ağrı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Elektrot yerleştirme örneği Şekil 23.1'de gösterilmektedir.

Ayrıca Mikroakım tedavisinin ağrı yoğunluğunu azalttığına ve dirseğin fonksiyonunu ve gücünü iyileştirdiğine dair kanıtlar da vardır. Bir çalışmada Mikroakımın etkisini değerlendirilmiştir. Çalışmada iki grup hasta bulunmaktadır ve 21 gün boyunca



Şekil 23.1 Lateral epikondilit için TENS elektrotlarının yerleşimi.

ca 99 dakika boyunca günde bir kez, 3 hafta boyunca 50 ve 500 mikroamperlik (μA) monofazik akım kullanılmıştır. İlk gruba günde bir kez 6 saat ve 3 hafta boyunca 40 μA monofazik akım uygulanmıştır, bu da toplam tedavi süresini 189 saate çıkarmıştır. İkinci gruba ise 3 hafta boyunca 40-500 μA akım uygulanmış, ancak ilk hafta 5 gün boyunca günde 3 kez 30 dakika süreyle; ikinci hafta 5 gün boyunca günde iki kez 30 dakika; ve üçüncü haftada, 5 gün boyunca günde bir kez 30 dakika (toplamda 15 saat) olacak şekilde bir program oluşturulmuştur. Araştırmacılar tedaviden 3, 6 ve 15 hafta sonra değerlendirmeler yapmışlardır. En iyi sonuçlar, monofazik akımın ve 50 μA sabit yoğunluğun kullanıldığı ilk grup için yapılan ilk denemede elde edilmiştir. Bu sonuçlar tedavinin bitiminden 15 hafta sonra da devam etmiştir.⁴ Dolayısıyla epikondilite bağlı ağrı için birkaç elektroterapi yöntemi kullanılabilir.

Eklem Ağrısı (Artrit)

Elektroterapi, Romatoid Artrit (RA) hastalarının fizyoterapi ve rehabilitasyon programlarında ağrıyı hafifletmek ve fonksiyonu iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. TENS, elektroanaljezinin yaygın olarak kullanılan bir formu olup, kullanımına ilişkin pek çok klinik rapor ve çalışma mevcuttur. TENS'in Kapı Kontrol Teorisi'ne göre analjezi ürettiği düşünülmektedir. TENS üniteleri tarafından sağlanan elektriksel uyarılar, hastanın toleransına uyacak ve en iyi etkinliği sağlayacak şekilde değiştirilebilir. Örneğin akım şiddeti düşük, orta veya yüksek yoğunlukta (konfor için) ayarlanabilir. Atım genişliği veya süresi ise 10 msn'den 1000 msn'ye kadar belirlenebilir. Frekans ise yüksek yoğunluk için 0,5-10 Hz ve düşük yoğunluk için saniyede 80-100 atım ayarlanabilir. Elektrotların konumlandırılması da analjezi sağlanmasında önemli olabilir. Elektrotların yerleştirilmesi, kullanılan TENS modundan optimum uyarının alınmasına bağlıdır. Kapı Kontrol Teorisi yaklaşımına göre TENS'ten gelen uyarının merkezi sinir sistemine (MSS) iletilmesi gerekmektedir. Bu transfer, elektrotların optimum bölgelere yerleştirilmesiyle güçlendirilir. Örneğin doğrudan ağrılı bölgenin üzerine, kutanöz sinirlerin, akupunktur noktala-

rının veya diğer tetik noktaların üzerine yerleştirilebilirler. Bir diğer elektrot yerleştirme yeri ise ağrı bölgesiyle en yakından ilişkili olan dermatom bölgesinin üzerindedir. Bu varlıklardan iki veya daha fazlası aynı anda uyarılırsa (elektrotların özel yerleşimi nedeniyle), o zaman uygulamanın daha yüksek özgünlüğü elde edilecektir.⁵

TENS, RA'lı kişilerde kas-iskelet sistemi ağrıların (RA'dan kaynaklanan eklem ağrıları gibi) hafifletilmesinde etkili olabilir. TENS ihtiyaç halinde kişiler tarafından, kendi evlerinde rahatlıkla uygulanabilmektedir. TENS'in fizyoterapistler ve RA dahil çeşitli rahatsızlıkları olan kişiler tarafından ağrı kontrolü için yaygın ve devam eden kullanımına rağmen, bu tedavi yönteminin klinikte uygulanması büyük ölçüde deneysel kanıtlara dayanmaktadır. TENS, Amerikan Fizyoterapi Derneği kılavuzlarında kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının tedavisinde potansiyel bir tedavi olarak önerilmektedir. Artrit Derneği ayrıca RA'lı kişilerde ağrı ve ödem için TENS kullanımını önermektedir.⁶

TENS'in 3 aydan uzun süren kronik ağrılarda etkili olduğu kanıtlanmıştır. TENS cihazı ayarlarının çeşitli modları farklı stimülasyon parametrelerine sahiptir ve analjezik etkileri için belirli biyolojik mekanizmalara sahip oldukları düşünülmektedir. Sistemik derlemelerde, 6 hafta boyunca güçlü burst tipi TENS kullanıldığında ağrının azalmasının plasebo TENS'e kıyasla önemli ölçüde arttığı öne sürülmüştür. Ayrıca akupunktur benzeri TENS'in 2 haftalık tedavi süresi sonunda ağrının azalması nedeniyle daha hızlı etki gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, tedavi süresi 2 haftadan kısa olduğunda TENS, plaseboya kıyasla ağrının giderilmesinde anlamlı bir fark göstermemiştir. Bu durum, ağrıda herhangi bir modda uygulanan TENS'in etkilerinin kümülatif olduğunu ve önemli bir klinik azalmanın yaşanması için en az 2-6 haftalık kullanım gerektirdiğini düşündürülebilir.⁷

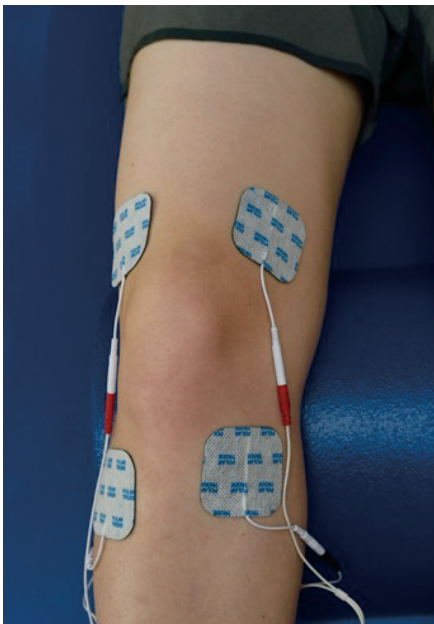
Kanıtlar, TENS'in ağrı giderici etkilerinin, geleneksel akupunkturla aynı şekilde etki gösterebilen akupunktur benzeri TENS'te olduğu gibi, daha yüksek yoğunluklu atımlarla daha etkili olduğunu göstermektedir. Ancak klasik akupunktur benzeri TENS daha yüksek yoğunlukta bir akım gerektirir, bu da kas seçirmesine neden olur ve hasta için ra-

hatsızlık verici veya ağrılı olabilir, bu durumda geleneksel TENS daha uygun olabilir.⁸

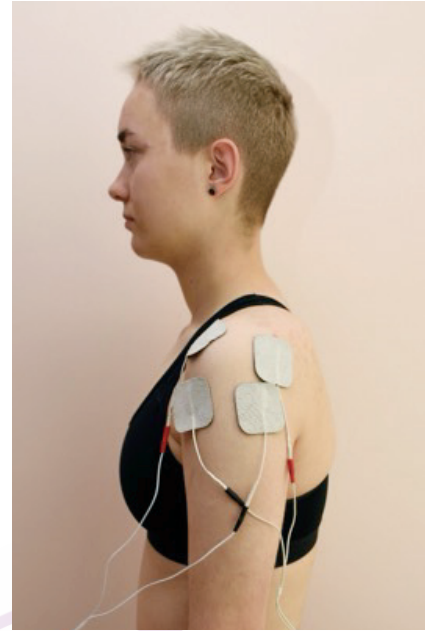
Cheing ve ark.'nın çalışmasında 40 dakika uygulamanın Görsel Analog Skala puanlarında %60,31 oranında azalma sağladığı bulunmuş ve TENS uygulaması için ideal süre olarak kabul edilmiştir.⁹ Bu uygulama, plaseboya (20 ve 60 dakikalık TENS) kıyasla, stimülasyondan 2 saat sonra ve tedavi periyodundan 2 hafta sonra daha uzun süreli ağrının azalmasını sağlamıştır. Yeterince uzun stimülasyon süreleri kullanılmadığında vücudun endojen opioidlerinin salınmaması ve dolayısıyla analjezik etkinin oluşmaması mümkündür.⁹

RA'lı hastalarda TENS kullanımı için çok sayıda potansiyel olarak faydalı endikasyon mevcuttur: Nörojenik ağrı, kas-iskelet sistemi ağrısı (RA'dan kaynaklanan eklem ağrısı gibi), visseral ağrı, inme sonrası tedavi ve diğer tıbbi ve cerrahi endikasyonlar. TENS ihtiyaç halinde hastaların kendileri tarafından kendi evlerinde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Fizyoterapistler ve RA dahil çeşitli rahatsızlıkları olan hastalar tarafından ağrının kontrolü için TENS'in yaygın ve devam eden kullanımına rağmen, bu tedavi yönteminin klinikte uygulanması büyük ölçüde deneysel klinik kanıtlara dayanmaktadır.¹⁰

Diz ağrısı ve omuz ağrısı için elektrot yerleşimi **Şekil 23.2** ve **Şekil 23.3**'te gösterilmektedir.



Şekil 23.2 Diz ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.



Şekil 23.3 Omuz ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.

RA vakalarında sadece TENS değil aynı zamanda Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) da kullanılabilir. NMES'in, RA'lı olanlar da dahil olmak üzere farklı popülasyonlarda Quadriceps Femoris kas kütlelerini iyileştirmede güvenli ve etkili olduğu gösterilmiştir. NMES'in etkinliği yoğunluğa bağlı gibi görünmektedir (yani daha yüksek yoğunluklar daha büyük kas iyileşmelerine neden olur). NMES eğitiminin yoğunluğu, NMES'in tetiklediği kas kontraksiyonunun ürettiği torkun büyüklüğü olarak tanımlanır. NMES eğitim yoğunluğu genellikle hastanın maksimum istemli izometrik kontraksiyonuna kıyasla üretilen torkun yüzdesi olarak ifade edilir. NMES'in bir dezavantajı, uygulama sırasında üretilen elektriksel uyarıların rahatsız edici olabilmesidir. Bu nedenle, klinisyenler genellikle hastanın toleransına bağlı olarak akım yoğunluğunu artırır; bu da her zaman kas kütlelerini veya kuvvetini artırmak için gereken eğitim yoğunluğunu yansıtmayabilir. Şu anda, kas kütlelerinde veya kuvvetinde etkili bir şekilde değişiklik oluşturmak için gerekli olan NMES akım yoğunluğuna ilişkin bilgi azdır ve NMES'in kas kalitesi (yani kas içinde biriken yağ miktarı) üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar eksiktir.¹¹

NMES'in etkinliğine ilişkin araştırmaların çoğu RA olmayan popülasyonlarda (örneğin sağlıklı ye-

tişkinler, ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu yapılmış kişiler ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan kişiler) yürütülmüştür. Çalışmalar, NMES eğitim yoğunluğu ile kas kuvveti ve fiziksel fonksiyondaki gelişmeler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir.¹²

RA olgularında kasları kuvvetlendirmek amacıyla alternatif simetrik kare dalgalara sahip NMES, 40-100 Hz frekansta, 300 µsn atım süresinde ve 20 dakika süreyle uygulanabilmektedir. Geçiş ve dinlenme oranı 7 sn açık, 23 sn kapalı olarak ayarlanabilir.¹³

Bel ağrısı

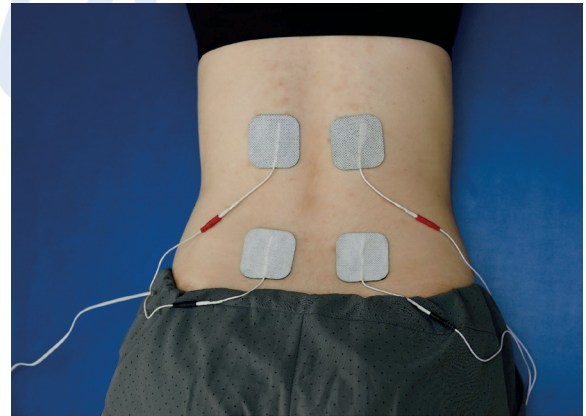
Kronik bel ağrısı (KBA), 12 aylık prevalansı kadınlarda %66, erkeklerde %58 olan ve yaşam boyu prevalansı %84 olan önemli bir yaygın halk sağlığı durumudur. Bu durum aynı zamanda dünya çapında disabilitenin önde gelen nedenidir. KBA'nin gelişmesi ve/veya devam etmesinden çeşitli faktörlerin sorumlu olduğu rapor edilmiştir. Ek olarak, bu tür rahatsızlıklara sahip hastalara sıklıkla yüksek tedavi maliyetleri, hastalık izni ve düşük yaşam kalitesi eşlik etmektedir.¹⁴

KBA, etiyolojisi bilinmeyen bir semptomdur. KBA'lı hastalara genellikle stabilizasyon egzersizleri reçete edilir. Stabilizasyon egzersizlerinin reçetelenmesi, KBA'nın motor kontrol bozuklukları ve paraspinal kasların atrofisi ile ilişkili olduğu mantığına dayanmaktadır. Bu bozukluklar muhtemelen spinal kasların, omurga stabilitesini korumak için yeterli aktivasyonu üretememesine neden olur. Ancak stabilizasyon egzersizlerinin kısa vadede sadece küçük bir tedavi etkisi vardır ve uzun vadede etkinliği gösterilememiştir. Ayrıca daha iyi sonuçlar elde etmek için NMES kullanılabilir. NMES elektrotları lomber paraspinal kaslara paravertebral olarak uygulanabilir. Yüzüstü yatan hastanın karnının altına yastık konulmalıdır. Paraspinal kaslara her iki tarafta birer elektrot olacak şekilde iki büyük (12 cm x 6 cm) kendinden yapışkanlı elektrot uygulanmalıdır. Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon için tedavi parametreleri, 75 Hz'lik bir atım frekansı, 250 µsn'lik bir atım süresi, 4 sn'lik bir artış ve iniş süresi ve maksimum akım şiddetinde 6 sn'lik bir uyarı periyodu ve ardından bir stimülas-

yon periyodu üretecek şekilde ayarlanmıştır. Hastalara, elektrik akımının arttığını hissettikleri anda aktif gövde ekstansiyonu yapmaları ve akım azaldığında yüzüstü dinlenme pozisyonuna dönmeleri talimatı verilmelidir. Bu yöntem aktif hareket ile NMES'i birleştirir.¹⁵

Paraspinal kas stimülasyonu için bir diğer stimülasyon yöntemi de şu şekilde olabilir: 50 Hz frekansı, 250 msn atım süresi ve 10 sn geçiş ve 30 sn dinlenme fazıyla Surge'li Faradik akım. Akım yoğunluğu kademeli olarak bireyin maksimum toleransına kadar artırılabilir. Her ağırlı bölge, toplam 4 hafta boyunca günde bir kez, her seansta toplam 30 dakika tedavi edilmelidir.¹⁴

TENS ayrıca radiküler ağrısı olmayan KBA hastalarında da kullanılır. Ağrılı bölgeye dört adet elektrot yerleştirilmelidir (Şekil 23.4). Radiküler ağrı ile ilişkili KBA yaşayanlar için, sırtın ağrılı bölgesini kapsayan 2 elektrot ve radikülopatide yer alan yayılan ağrı alanının etrafına 2 elektrot yerleştirilmelidir. Stimülasyona günde 1 saat devam edilebilir. Hastaların toplam 3 ay boyunca günde 1 saatlik tedavi seanslarını tamamlamaları önerilir.¹⁶



Şekil 23.4 Bel ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.

Kronik Boyun Ağrısı

Kronik boyun ağrısı, genel popülasyonun %10 ile %24'ünü etkileyen oldukça yaygın bir durumdur. Ayrıca yıllık olarak tüm çalışanların %11 ile %14'ünün günlük faaliyetlerini sınırlayabilir, bu da işe devamsızlığa ve ekonomik sonuçlara yol açabilir.¹⁷ Boyun ağrısı, üst nukhal çizginin altında ve arkadan omurgada skapula çizgisinin üstünde, ayrıca klavikula üst sınırının ve suprasternal çentiğın

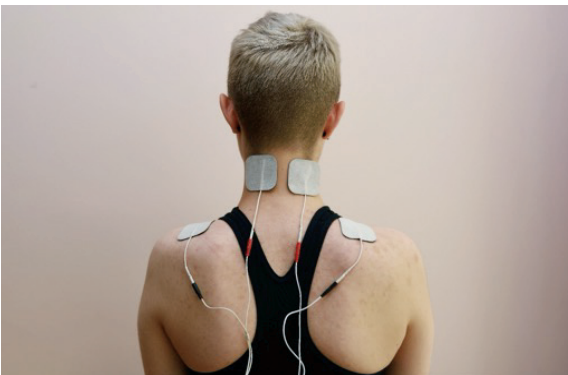
üzerinde yer alan herhangi bir spesifik ağrı olarak tanımlanır.¹⁸

Boyun ağrısını tedavi etmek için TENS elektrotları tedavi süresince 100 Hz frekansında, 250 µsn atım genişliğinde, her seferinde 20 dakika süreyle üst servikal omurga bölgesine her iki tarafta simetrik olarak yerleştirilmelidir (**Şekil 23.5**). Ağrı, Trapezius kasında ise kas lifleri boyunca elektrotlar yerleştirilmelidir (**Şekil 23.6**). En iyi sonucu alabilmek için en az 10 seansın tamamlanması gerekmektedir.¹⁹ Konvansiyonel TENS kullanılıyorsa parametreler; 20 dakika boyunca duyu eşliğinde ve frekansı 60-100 Hz olmalıdır. Burst TENS kullanılıyorsa önerilen parametreler; 30 dakika boyunca ve frekans 2-4 Hz'dir. Modüle TENS kullanılıyorsa parametreler 20 dakika süreyle motor eşik şiddetinde ve frekans 100 Hz ayarlanabilir.²⁰

Genellikle yüksek frekanslı veya alçak frekanslı TENS uygulandığında hastaların ağrısı azalır, bu nedenle klinisyenin her hasta için daha uygun



Şekil 23.5 Boyun ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.



Şekil 23.6 Trapezius kas ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.

parametreler kullanması gerekir. Bazen hastalar elektrik stimülasyonu gerçekleştirilirken seçilen frekansın doğru olmasına ve tavsiyelere uygun olmasına rağmen rahatsızlık hissedebilirler. Bu durumda, fizyoterapist atım genişliğini ayarlayabilir. Atım genişliği çok uzun olursa, daha fazla irritasyona neden olabilir. Bu özellikle ağrının akut evrelerinde dikkate alınmalıdır. Yani eğer 250 µsn atım süresi rahatsızlığa veya irritasyona neden oluyorsa atım genişliği 50-150 µsn'ye düşürülebilir. Bu ayarlama, atım genişliği örneğin 250 µsn iken yoğunluk öncekinden daha yüksek olsa bile hastanın daha yumuşak bir stimülasyon hissetmesine olanak sağlar.²⁰

Kaynaklar

1. Cheema AS, Doyon J, Lapner P. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in lateral epicondylitis: A systematic review and meta-analysis. *JSES Int.* 2022;7(2):351-6. doi:10.1016/j.jseint.2022.11.002.
2. Choi YD, Kim MJ, Lee JH. Effects of concentric contraction of the wrists and transcutaneous electrical nerve stimulation cycle on pain and muscle strength in lateral epicondylitis patients. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(12):2081-4. doi:10.1589/jpts.29.2081.
3. Weng CS, Shu SH, Chen CC, Tsai YS, Hu WC, Chang YH. The evaluation of two modulated frequency modes of acupuncture-like TENS on the treatment of tennis elbow pain. *Biomed Eng.* 2005;17(5):236-42. doi:10.4015/S1016237205000354.
4. Dolibog PT, Porębska B, Grzegorzczyn S, Chmielewska D, Ślęzak A, Dolibog P. Analgesic and functional efficiency of high-voltage electrical stimulation in patients with lateral epicondylitis—A report with a 180-day follow-up. *J Clin Med.* 2022;11(9):2571. doi:10.3390/jcm11092571.
5. Nnoaham KE, Kumbang J. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008;(3):CD003222. doi:10.1002/14651858.CD003222.pub2.
6. Brosseau L, Yonge KA, Welch V, Marchand S, Judd M, Wells GA, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for the treatment of rheumatoid arthritis in the hand. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003;2003(3):CD004377. doi:10.1002/14651858.CD004377.
7. Vance CG, Rakel BA, Blodgett NP, DeSantana JM, Amendola A, Zimmerman MB, et al. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain, pain sensitivity, and function in people with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Phys Ther.* 2012;92(7):898-910. doi:10.2522/ptj.20110183.
8. Wai Ying KN, While A. Pain relief in osteoarthritis and rheumatoid arthritis: TENS. *Br J Community Nurs.* 2007;12(8):364-71. doi:10.12968/bjcn.2007.12.8.24366.
9. Cheing G, Tsui A, Lo S, Hui-Chan C. Optimal stimulation duration of tens in the management of osteoarthritic knee pain. *J Rehabil Med.* 2003;35(2):62-8. doi:10.1080/16501970306116.
10. Brosseau L, Yonge K, Marchand S, Robinson V, Wells G, Tugwell P. Efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for rheumatoid arthritis: A sys-

- tematic review. *Phys Ther Rev.* 2002;7(4):199-208. doi:10.1179/108331902235001967.
11. Piva SR, Khoja SS, Toledo FG, Chester-Wasko M, Fitzgerald GK, Goodpaster BH, et al. Neuromuscular electrical stimulation compared to volitional exercise for improving muscle function in rheumatoid arthritis: A randomized pilot study. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2019;71(3):352-61. doi:10.1002/acr.23602.
 12. Almeida GJ, Khoja SS, Piva SR. Dose-response relationship between neuromuscular electrical stimulation and muscle function in people with rheumatoid arthritis. *Phys Ther.* 2019;99(9):1167-76. doi:10.1093/ptj/pzz079.
 13. Davison P, Wilkinson R, Miller J, Auais M. A systematic review of using electrical stimulation to improve clinical outcomes after hip fractures. *Physiother Theory Prac.* 2022;38(12):1857-75. doi:10.1080/09593985.2021.1894620
 14. Guo P, Wang JW, Tong A. Therapeutic effectiveness of neuromuscular electrical stimulation for treating patients with chronic low back pain. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(48):e13197. doi:10.1097/MD.00000000000013197.
 15. Alrwaily M, Schneider M, Sowa G, Timko M, Whitney SL, Delitto A. Stabilization exercises combined with neuromuscular electrical stimulation for patients with chronic low back pain: A randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther.* 2019;23(6):506-15. doi:10.1016/j.bjpt.2018.10.003.
 16. Buchmuller A, Navez M, Millette-Bernardin M, Pouplin S, Presles E, Lantéri-Minet M, et al. Value of TENS for relief of chronic low back pain with or without radicular pain. *Eur J Pain.* 2012;16(5):656-65. doi:10.1002/j.1532-2149.2011.00061.x.
 17. Hogg-Johnson S, van der Velde G, Carroll LJ, Holm LW, Cassidy JD, Guzman J, et al. The burden and determinants of neck pain in the general population: Results of the bone and joint decade 2000–2010 task force on neck pain and its associated disorders. *J Manipulative Physiol Ther.* 2009;32(2 Suppl):S46-60. doi:10.1016/j.jmpt.2008.11.010.
 18. Monticone M, Cedraschi C, Ambrosini E, Rocca B, Fiorentini R, Restelli M, et al. Cognitive-behavioural treatment for subacute and chronic neck pain. *J Clin Med Res.* 2010;2(3):127-36. doi:10.4021/jocmr2010.06.370e.
 19. Maayah M, Al-Jarrah M. Evaluation of transcutaneous electrical nerve stimulation as a treatment of neck pain due to musculoskeletal disorders. *J Clin Med Res.* 2010;2(3):127-36. doi:10.4021/jocmr2010.06.370e.
 20. Martimbianco AL, Porfirio GJ, Pacheco RL, Torloni MR, Riera R. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic neck pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;12(12):CD011927. doi:10.1002/14651858.CD011927.pub2.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Bölüm

24

1

Spor Yaralanmaları Olan Hastalar İçin Elektrik Stimülasyonu



ÇEVİRİ YAZARI: YASEMİN KARAASLAN

BÖLÜM YAZARLARI: DOVYDAS GEDRIMAS • VAIDA ALEKNAVIČIŪTĒ-ABLONSKĚ

Spor Yaralanmaları Olan Hastalarda Elektrik Stimülasyonu

Eklemler ve kas yaralanmalarının ardından, vücudun yaralanmış kısımları, hasarlı eklemlerin, kemiklerin ve kasların iyileşmesine izin vermek için genellikle bir süre immobil bırakılır. İmmobilizasyon genellikle gerekli olsa da, kasların fonksiyonunu olumsuz etkiler ve iyileşme genellikle yavaş olur. Bu durumlarda immobilizasyon döneminde ve sonrasında kaslara yapılan elektrik stimülasyonu (ES) faydalıdır ve iyileşmeyi hızlandırır.¹

Literatürde en kapsamlı şekilde araştırılan durum, diz yaralanmasından sonra, özellikle de ön çapraz bağın (ÖÇB) yırtılmasından sonra ortaya çıkan durumdur. Bu yaralanma genç ve aktif bireyleri etkiler ve genellikle spor yaralanmalarının bir sonucudur. Geleneksel olarak diz hareketsiz kalır ve cerrahi gerekebilir. Cerrahiden sonra uyluk kasları, özellikle de Quadriceps Femoris kasında kuvvet kaybı olabilir, bu da aktif bireyler için bir dezavantajdır.¹ Araştırmalar, sağlıklı ancak aktif olmayan kas dokusunun genellikle günde yaklaşık %0,5 oranında atrofiye uğradığını göstermiştir. Kas atrofisinin süreci özellikle önemlidir; ilk 1-2 hafta kas kütlelerinde hızlı kayıp meydana gelir. Bu süre boyunca hareketsiz kalan tek bir bacadan 150-400 gr kas dokusu kaybedilebilir. Buna bağlı olarak immobilizasyonun başlamasından sonraki ilk 1-2 hafta içinde hızla

kas kuvvet kaybı ve insülin (lokal) duyarlılığında azalma meydana gelir.²

Hem üst hem de alt ekstremitedeki diğer kasların aktivite kaybında da Quadriceps Femoris'e benzer etkiler görülür. Kaslar atrofik hale gelir, daha az kuvvet üretir ve hızlı yorulur. Hem immobilizasyon sırasında hem de sonrasında Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) kullanıldığında iyileşme süreci daha hızlı olacaktır. İmmobilizasyon süreci boyunca ve ardından iyileşme döneminde Quadriceps Femoris kasları elektriksel olarak uyarıldığında, kas kuvveti artışına dair pek çok kanıt vardır.²

Kırık, ligament veya tendon hasarı nedeniyle vücudun belirli bölümlerinin alçı veya atel içinde uzun süre hareketsiz kalması gerektiğinde, hasarlı bölgenin iyileşmesinin gerçekleşmesi için alçı veya ortezin altına veya alçı açıklığına elektrotlar yerleştirilerek kasların uyarılması, olumsuz değişikliklerin gelişmesini engelleyecek ve daha sonra daha yoğun bir rehabilitasyon programının izlenmesine yardımcı olacaktır.³

Sporcu rehabilitasyonu ile ilgilenen Dirks ve ark., tamamen alçı içinde olan ekstremitelerde, immobilizasyonunun ilk birkaç gününde NMES uygulamak için bir strateji geliştirmişlerdir.⁴ Araştırmacılar 100 Hertz (Hz) frekans ve 400 mikrosaniye (μ sn) atım genişliğinde akım kullanmışlardır. Sağlıklı ve genç erkeklerde, immobilizasyonun ilk 5 gününde gözlenen kas atrofisinin, günde iki kez yapılan 30 dakikalık NMES ile tamamen önlenileceğini göstermişlerdir.^{4,5}

Diz Yaralanmaları ve Elektrik Stimülasyonu

Diz yaralanmaları sporcuların, özellikle de ragbi veya futbolla uğraşanların %80'ini etkilemektedir. Zorunlu istirahat süresi kasların hızla kuvvet kaybetmesine yol açar. NMES içeren bir fizyoterapi ve rehabilitasyon programı alt ekstremitenin kuvvetini ve kullanımını büyük ölçüde artırabilir.⁶

Quadriceps Femoris kasının istemli kontraksiyon yeteneğinin azalması, kasta veya sinirde herhangi bir hasar olmamasına rağmen diz yaralanmasından sonra sık görülen bir sorundur. Bu duruma sıklıkla artrojenik kas inhibisyonu denir. Cerrahi veya yaralanma sonrası kas kuvvet kaybı kısmen kas atrofisi ile açıklanabilir, ancak aynı zamanda mevcut kas liflerini aktive etme yeteneğinin azalmasıyla da açıklanabilir. İkinci olarak eklem yaralanmasından sonra çevredeki kaslara yönelik nöral dürtüyü değiştirmeye yönelik koruyucu, refleksif bir yanıt olduğu, dolayısıyla istemli kas çalışmasını ve normal işlevi engellediği ileri sürülmektedir.⁶

Çoğu diz immobilizasyonu vakasında NMES, kas kuvveti, kas kütlesi ve uyluk kaslarının oksidatif kapasitesindeki azalmanın önlenmesinde etkilidir. Çoğu çalışma, NMES'in kas atrofisini önlemede, egzersiz yapmamaya, Quadriceps Femoris kas grubunun izometrik egzersizine, hem Hamstring hem de Quadriceps Femoris kas gruplarının izometrik ko-kontraksiyonuna ve kombine izometrik egzersize kıyasla daha etkili olduğunu göstermektedir.³ NMES, motor sinirlerdeki aksiyon potansiyellerini artırma ve inhibisyonu azaltması nedeniyle, yaralanma veya cerrahi sonrasında istemli kas kontraksiyonlarının engellendiği durumlarda denenmiştir. Diz yaralanması olan hastalarla çalışan terapistler için NMES, geleneksel egzersizlerin inhibisyon ile limitlendiği durumlarda yararlı bir araçtır.⁶

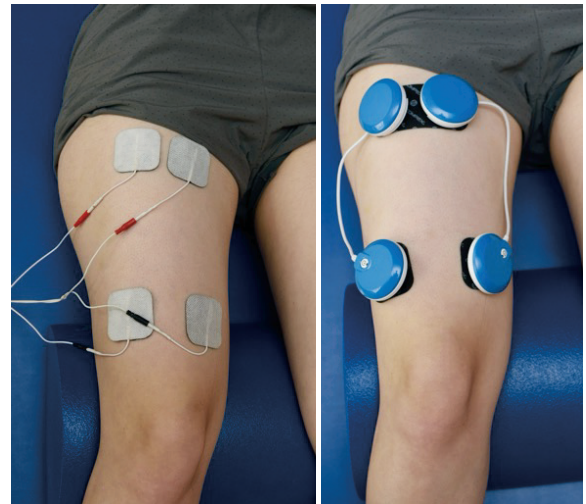
NMES'in diz yaralanmasından sonra kas protein sentezinde, kas kütlesinde ve kuvvetinde azalmayı önlemede etkili olduğu kanıtlanmıştır. NMES ayrıca 30 gün yatak istirahatine tabi tutulan kişilerde oksidatif enzimatik aktivite ve bacak kas kütlesi/kuvveti kaybını da azaltır. Dirks ve ark.

NMES'in 5 gün boyunca diz immobilizasyonu olan kişilerde kas protein sentezini artırdığını böylece kas kütlesi kaybını önlediğini bulmuşlardır.⁴ Ayrıca NMES, özellikle klinikte hastaların kas ve fonksiyonel direncinin yanı sıra kas oksidatif kapasitesini ve maksimum oksijen tüketimini (VO_{2max}) artırır. Ek olarak, endurans eğitimine benzer şekilde NMES, antioksidan kapasiteyi artırır, dolayısıyla kullanılmama dönemlerinin neden olduğu redoks dengesizliğinin azaltılmasında faydalı olduğu kanıtlanmıştır.⁷

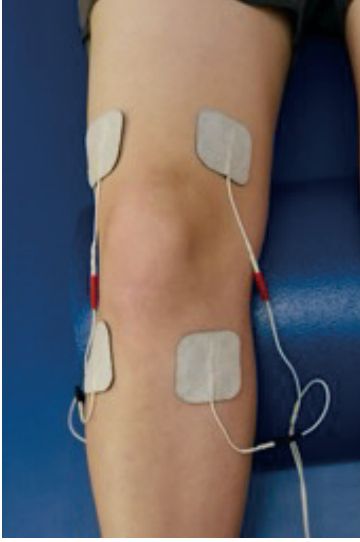
Quadriceps Femoris kas stimülasyonu için önerilen NMES parametreleri şu şekildedir: Frekans 50-70 Hz, atım genişliği 200-400 μ sn, görev döngüsü 1:3 olan Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon. Akım şiddeti gözle görülür kas kontraksiyonu olacak şekilde ayarlanır. NMES günde 30-50 dakika kullanılabilir.⁶

Alt ekstremitte atrofisinin önlenmesi için önerilen NMES parametreleri ise 100 Hz frekans ve 400 μ sn atım genişliğidir. Bu stimülasyon günde iki kez 30 dakika süreyle kullanılmalıdır.⁵

Quadriceps Femoris kası stimülasyonuna yönelik elektrot yerleştirme örneği Şekil 24.1'de gösterilmektedir. Transkutanöz Elektrik Sinir Stimülasyonu (TENS) diz ağrısında ağrının hafifletilmesi için de kullanılabilir.³ Diz ağrısı için TENS elektrot yerleşimi Şekil 24.2'de gösterilmektedir.



Şekil 24.1 Quadriceps Femoris kasını güçlendirmek için elektrot yerleşimi (sol taraf - kablolu yapışkan elektrotlar, sağ taraf - kablosuz yapışkan elektrotlar).



Şekil 24.2 Diz ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.

Ön Çapraz Bağ Yaralanmaları ve Elektrik Stimülasyonu

ÖÇB rekonstrüksiyonunu takiben Quadriceps Femoris kas güçsüzlüğü yaygındır. Quadriceps Femoris kas fonksiyonunu iyileştirmeye yönelik agresif fizyoterapi ve rehabilitasyon programlarına rağmen, bu kas zayıflığını tersine çevirecek evrensel olarak etkili bir tedavi yaklaşımı henüz tanımlanmamıştır. ÖÇB yaralanmasına eşlik eden Quadriceps Femoris kas zayıflığı, fonksiyonel performansın azalması, yeniden yaralanma potansiyeli ve travma sonrası osteoartrit gelişimi ile ilişkilidir.⁸

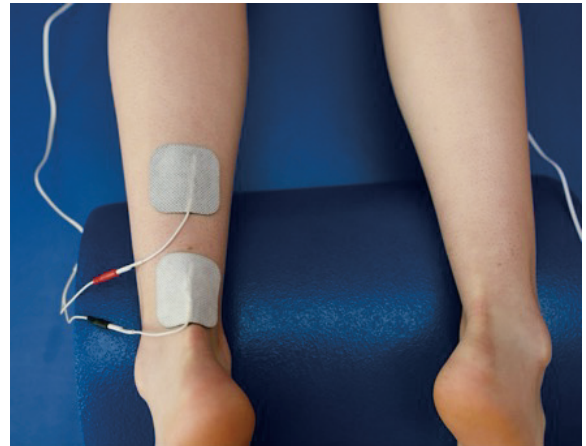
NMES, kasın istemsiz kasılmasına neden olan intramusküler sinir dallarında aksiyon potansiyelleri başlatarak Quadriceps Femoris kası aktivasyonunda başarısızlığı tedavi etme potansiyeline sahip bir klinik yöntemdir. NMES kasları ekzojen olarak uyardığından, büyük çaplı Tip II kas liflerinin seçici olarak toplandığı ve kas kuvveti üretimi için daha büyük bir potansiyel ile sonuçlandığı düşünülmektedir. Daha da önemlisi, ÖÇB rekonstrüksiyonu geçirmiş bireylerde, 2500 Hz'lik alternatif akımın, Quadriceps Femoris kas aktivasyonunu iyileştirmede tek başına uygulanan egzersizden daha etkili olduğu bulunmuştur.⁸

Aşıl Tendinopatisi ve Elektrik Stimülasyonu

Aşıl tendinopatisi, sporcularda görülen en yaygın aşırı kullanım yaralanmalarından biridir ve rekreasyonel koşucularda yaşam boyu yaklaşık %52 oranında rapor edilmiştir.³ Ağrı, aşıl tendonunun orta kısmında (inersiyonun 2-6 cm proksimalinde) veya inersiyosunda lokalizedir. Semptomlar genellikle koşma, atlama, yokuş yukarı yürüme veya merdiven çıkma ve inme gibi tendon yüklemeye aktiviteleri sırasında ortaya çıkar.⁹

Galvanik ES, segmental inhibisyon, azalan merkezi inhibisyon ve diğer bazı nöromodülatör mekanizmalar yoluyla nosisepsiyona etki edebilir. Dokulardaki iyon hareketini kolaylaştırmak, kan akışını teşvik etmek ve potansiyel olarak iyileşme sürecine yardımcı olmak için düz akım (DA) kullanılır.¹⁰

TENS, klinisyenler tarafından kullanılan yaygın bir yöntemdir ve çok farklı akım parametreleri ile uygulanmasından dolayı etkinliğinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. TENS'in yoğunluk seviyesi analjezik etki oluşturur. Daha yüksek yoğunluk insanlarda daha fazla hipoaljezi ile sonuçlanır.¹¹ Yüksek yoğunluklarda (ağrı eşığı seviyesi uyarımı yoluyla motor eşığın hemen altında) iletilen ES, merkezi duyarlılığı azaltabilir. TENS, merkezi inhibisyonu yeniden sağlayabilir ve lokal tedavi bölgesinde ve çevresindeki bölgelerde basınç ağrı eşiklerini artırabilir ve böylece sinir sisteminin kronik ağrıyla karşılaştığında yaptığı bazı adaptasyonların tersine çevrilmesinde yararlı olabilir (Şekil 24.3).¹²



Şekil 24.3 Aşıl tendonu ağrısı için TENS elektrotların yerleşimi.

Burst tipi TENS'in Aşil tendonu iyileşmesi üzerindeki etkileri çeşitli araştırmalarda araştırılmıştır. Spora bağlı Aşil tendonu yaralanması geçiren 20 hastada TENS'i araştıran iki çalışma vardır. Burst tipi TENS tedavisi, cerrahi sonrası dönemin 2. ve 3. haftalarında haftada 5 gün uygulanmış ve şu parametreler kullanılmıştır: 300 µsn akım geçiş süresi, 100 Hz internal frekans, 2 Hz burst frekansı ve hastanın toleransına göre değişen akım şiddeti.^{13,14}

Bursiens ve ark. erkeklerde Aşil tendonu onarımı sonrası burst tipi TENS'in kollajen oluşumu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.¹⁴ 20 hastadan 18'i çalışmayı tamamlamış, 9'una TENS ve 9'una sham tedavi uygulanmıştır. Burst tipi TENS tedavisi alan grupta fibroblastların etkili bir şekilde çoğaldığı, kollajen liflerinin üretimi, olgunlaşması ve organizasyonunun gerçekleştiği tespit edildi. Bu nedenle kanıtlar, TENS'in erkeklerde Aşil tendonu iyileşmesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceğini öne sürmektedir.¹⁴ Aşil tendonu rüptürü uzun yıllardan beri ciddi bir yaralanma olarak tanımlanmış olup, kas-tendon lezyonları arasında en sık görülenlerden biridir. Ancak yüzeysel konumu ve akım tarafından kolayca uyarılabilmesi nedeniyle bu bulguların sadece Aşil tendonundaki iyileşmeyle sınırlı olması ilginçtir.¹⁵

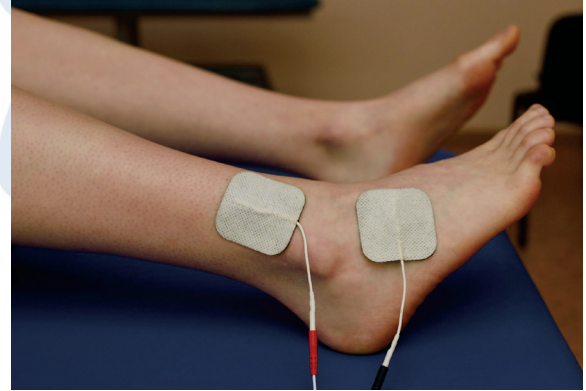
Ayak Bileği Yaralanmaları ve Elektrik Stimülasyonu

Ayak bileği yaralanmaları, profesyonel sporcular ve rekreasyonel sporlar arasında çok yaygındır ve Amerika Birleşik Devletleri'nin genel nüfusunda her yıl 1000 kişi başına 2,15 oranında görülür. En yaygın yaralanma mekanizması, plantar fleksiyonda (supinasyon) ayağın inversiyonu ve adduksiyonunun bir kombinasyonudur. Bu yaralanma mekanizması ayak bileğinin lateral bölgesinin ligamentlerine zarar verebilir; bu lezyonların çoğu, özellikle ligamentlerin parsiyel yırtılması konservatif olarak tedavi edilebilir.¹⁶

Lateral ayak bileği yaralanmaları için standart tedavi; koruma, dinlenme, soğuk uygulama, kompresyon ve elevasyonu içerir. Bununla birlikte, klinisyenler iyileşme sürecini hızlandırmak ve spora daha erken dönüşü izin vermek amacıyla iyileş-

menin akut ve subakut evreleri sırasında ES'yi dahil etmeye devam etmektedir. Yapısal hasarın bir sonucu olarak ağrı ve ödem sıklıkla fonksiyonel sınırlamalara neden olur. Ödem oluşumunun önlenmesi azaltılması ve rehabilitasyon sırasında ağrının sürekli olarak modüle edilmesi, en hızlı fonksiyonel ilerlemeye izin verebilir ve daha sonra lateral ayak bileği yaralanmasını takiben yaralanma nedeniyle kaybedilen süreyi azaltabilir.¹⁷

Tetanik olmayan (5 Hz) NMES'in 25 dakikalık uygulamasının, iskelet kasını çevreleyen damar duvarlarında hiperperfüzyon oluşturduğu ve böylece kreatin kinazdaki bir azalma ile ölçülen inflammatuar yanıtı azalttığı belirtilmiştir.¹⁸ 15 sn boyunca 50 Hz'de simetrik dalga formuna sahip bifazik bir akım verecek şekilde ayarlanmış, 3 sn'lik bir rampa süresi ve 250 µsn'lik atım süresi ile 30 sn'lik dinlenme süresi için ayarlanmış TENS kullanılabilir.¹⁹ Ayak bileği burkulması için TENS elektrot yerleşimi Şekil 24.4'te gösterilmektedir.



Şekil 24.4 Ayak bileği yaralanması için TENS elektrotlarının yerleşimi.

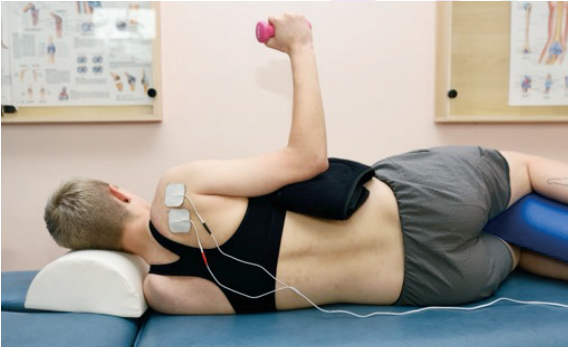
Omuz Yaralanmaları ve Elektrik Stimülasyonu

Omuz insan vücudunun en hareketli eklemidir. Üst ekstremitenin üç farklı düzlemde 180 dereceye kadar dönmesine olanak tanıyarak kolun çok çeşitli aktiviteleri gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu hareketliliğin, omuzun yaralanmaya açık olmasına neden olan bir maliyeti vardır.²⁰ Bu yaralanmalar açısından en yüksek risk, atış hareketinin gerekli olduğu sporlarda, baş üstü sporcular içindir. Ayrıca ragbi gibi temas sporlarında omuz yaralanmaları

rı riski daha yüksektir. Tek bir travmatik olay yaralanmaya neden olabilirken, daha yaygın olarak bu yapılardan bir veya daha fazlasının başarısızlığına yol açan durum, tekrarlayan aşırı kullanımdır.²¹

Genellikle omuz dislokasyonu veya sublüksasyonu, spora dönmeden önce dinlenme ve rehabilitasyon gerektiren başlıca yaralanmalardır. Atel çıkarıldıktan sonra akut ve subakut fazda dinamik eklem stabilitesinin restorasyonu başlatılır. Rotator manşet yapılarının, özellikle de posterior rotator manşetin NMES'i, akut süreç sırasında kas aktivasyonu için yardımcı olabilir (**Şekil 24.5**).²² Lee ve ark. tarafından yapılan sistematik bir derleme, sublüksasyondan sonra omuz iyileşmesini yönetmek için 10-36 Hz frekansının kullanılmasını önermektedir.²³

Omuzdaki ağrı yönetimi, ES'nin akut ağrı yönetimi parametrelerine yönelik TENS kullanılarak gerçekleştirilmelidir (**Şekil 24.6**).²³



Şekil 24.5 Aktif kas kasılmasıyla infraspinatus kasının güçlendirilmesi için elektrot yerleşimi.



Şekil 24.6 Omuz eklem ağrısı için TENS elektrotlarının yerleşimi.

El Bileği ve Dirsek Yaralanmaları ve Elektrik Stimülasyonu

Sporla ilgili tüm yaralanmaların yaklaşık %25'i el veya el bileğini ilgilendirmektedir. Yaygın yaralanmalar genellikle iki farklı kategoriye ayrılır: Travmatik (akut) veya overuse-aşırı kullanım (kronik). Hokey, futbol veya güreş gibi sporlar diğerlerine göre daha fazla travmatik yaralanmalara neden olma eğilimindedir. Bu bölgedeki başlıca travmatik yaralanmalar; kas straini, eklem dislokasyonu, ligament yırtıkları, inflamasyon ve parmaklarda kırık yaralanmalarıdır. Tekrarlayan hareketler gerektiren sporlarda kronik yaralanmalar daha sık görülür. Başlıca aşırı kullanım yaralanmaları tendinit, tendon çıkığı, sinir yaralanmaları ve stres kırıklarıdır.²⁴

ES, akut yaralanma tedavi protokollerinde ek bir önlem olarak kullanılabilir. ES, genellikle travmanın akut evrelerinde ağrı kontrolü için kullanılır. Açık yara veya kırık gibi immobilizasyonu gerektiren herhangi bir kontrendikasyon yoksa TENS ağırlı bölgede kullanılabilir. Bu stimülasyona ilişkin parametreler, akut ağrı yönetimine ilişkin parametrelerle aynıdır. Bu aşamada yüksek frekanslı TENS önerilir. 110 Hz'deki stimülasyon ağrının azaltılmasına yardımcı olabilir (atım süresi: 200 µsn). TENS günde tek seans olarak 20 dakika süreyle kullanılır. Eğer sporunun durumu kronikleşirse fizyoterapist düşük frekanslı TENS'i tercih edebilir. Uygulama parametreleri 4-10 Hz'de 20 dakikadır (atım süresi: 200 µsn). Elektrotlar ağrının olduğu bölgeye veya çevresine yerleştirilir.²⁵

Kaynaklar

1. Drechsler WI, Cramp MC, Scott OM. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98:613-23. doi: 10.1007/s00421-006-0311-9.
2. Wall BT, Snijders T, Senden JM, Ottenbros CL, Gijzen AP, Verdijk LB, et al. Disuse impairs the muscle protein synthetic response to protein ingestion in healthy men. *J Clin Endocrinol Metab.* 2013;98(12):4872-81. doi:10.1210/jc.2013-2098.
3. Vrbová G, Hudlická O, Centofanti KS. (2008), Application of muscle/nerve stimulation in health and disease (vol 4). Springer Science & Business Media. ISBN:9781402082337.
4. Dirks ML, Wall BT, Snijders T, Ottenbros CL, Verdijk LB, Van Loon LJ. Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle disuse atrophy during leg immobilization in humans. *Acta Physiol (Oxf).* 2014;210(3):628-41. doi:10.1111/apha.12200.

5. Wall BT, Morton JP, Van Loon LJ. Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: Nutritional considerations and exercise mimetics. *Eur J Sport Sci.* 2015;15(1):53-62. doi:10.1080/17461391.2014.936326.
6. Hauger AV, Reiman MP, Bjordal JM, Sheets C, Ledbetter L, Goode AP. Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(2):399-410. doi:10.1007/s00167-017-4669-5.
7. Valenzuela PL, Morales JS, Lucia A. Passive strategies for the prevention of muscle wasting during recovery from sports injuries. *J Sci Sport Exerc.* 2019;1:13-9. doi:10.1007/s42978-019-0008-5
8. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee.* 2015;22(3):270-7. doi:10.1016/j.knee.2014.11.013.
9. Scott A, Huisman E, Khan K. Conservative treatment of chronic Achilles tendinopathy. *CMAJ.* 2011;183(10):1159-65. doi:10.1503/cmaj.101680.
10. King EW, Audette K, Athman GA, Nguyen HO, Sluka KA, Fairbanks CA. Transcutaneous electrical nerve stimulation activates peripherally located alpha-2A adrenergic receptors. *Pain.* 2005;115(3):364-73. doi:10.1016/j.pain.2005.03.027.
11. Moran F, Leonard T, Hawthorne S, Hughes CM, McCrum-Gardner E, Johnson MI, et al. Hypoalgesia in response to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) depends on stimulation intensity. *J Pain.* 2011;12(8):929-35. doi:10.1016/j.jpain.2011.02.352.
12. Eckenrode BJ, Stackhouse SK. Improved pressure pain thresholds and function following noxious electrical stimulation on a runner with chronic Achilles tendinopathy: A case report. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(3):354-62. PMID:26075151.
13. Burssens P, Forsyth R, Steyaert A, Van Ovost E, Praet M, Verdonk R. Influence of burst TENS stimulation on the healing of Achilles tendon suture in man. *Acta Orthop Belg.* 2003;69(6):528-32. PMID:14748110.
14. Burssens P, Forsyth R, Steyaert A, Van Ovost E, Praet M, Verdonk R. Influence of burst TENS stimulation on collagen formation after Achilles tendon suture in man. A histological evaluation with Movat's pentachrome stain. *Acta Orthop Belg.* 2005;71(3):342-6. PMID:16035709.
15. Perez Machado AF, Santana EF, Tacani PM, Liebano RE. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on tissue repair: A literature review. *Can J Plast Surg.* 2012;20(4):237-40. doi:10.1177/229255031202000415.
16. Razzano C, Izzo R, Savastano R, Colantuoni C, Carbone S. Noninvasive interactive neurostimulation therapy for the treatment of low-grade lateral ankle sprain in the professional contact sport athlete improves the short-term recovery and return to sport: A randomized controlled trial. *J Foot Ankle Surg.* 2019;58(3):441-6. doi:10.1053/j.jfas.2018.09.009.
17. Feger MA, Goetschius J, Love H, Saliba SA, Hertel J. Electrical stimulation as a treatment intervention to improve function, edema or pain following acute lateral ankle sprains: A systematic review. *Phys Ther Sport.* 2015;16(4):361-9. doi:10.1016/j.ptsp.2015.01.001.
18. Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P. Effects of electrostimulation therapy on recovery from acute team-sport activity. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(3):293-9. doi:10.1123/ijsp.8.3.293.
19. Alahmari KA, Silvian P, Ahmad I, Reddy RS, Tedla JS, Kakara-parthi VN, et al. Effectiveness of low-frequency stimulation in proprioceptive neuromuscular facilitation techniques for post ankle sprain balance and proprioception in adults: A randomized controlled trial. *Biomed Res Int.* 2020;2020:9012930. doi:10.1155/2020/9012930.
20. Quillen DA, Wuchner M, Hatch RL. Acute shoulder injuries. *Am Fam Physician.* 2004;70(10):1947-54. PMID:15571061.
21. Jancosko JJ, Kazanjian JE. Shoulder injuries in the throwing athlete. *Phys Sportsmed.* 2012;40(1):84-90. doi:10.3810/psm.2012.02.1954.
22. Ma R, Brimmo OA, Li X, Colbert L. Current concepts in rehabilitation for traumatic anterior shoulder instability. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2017;10(4):499-506. doi:10.1007/s12178-017-9449-9.
23. Lee JH, Baker LL, Johnson RE, Tilson JK. Effectiveness of neuromuscular electrical stimulation for management of shoulder subluxation post-stroke: A systematic review with meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2017;31(11):1431-44. doi:10.1177/0269215517700696.
24. Avery DM, Rodner CM, Edgar CM. Sports-related wrist and hand injuries: A review. *J Orthop Surg Res.* 2016;11(1):99. doi:10.1186/s13018-016-0432-8.
25. Kovacs MS, Baker LB. Recovery interventions and strategies for improved tennis performance. *Br J Sports Med.* 2014;48 Suppl 1(Suppl 1):i18-21. doi:10.1136/bjsports-2013-093223.