



Avrupa Birliđi tarafından  
finanse edilmektedir

ERASMUS+  
4  
Stim

## Elektrik Stimülasyonu için Kullanılan Akımlar

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.





# Galvanik Akım

ÇEVİRİ YAZARI: YASEMİN KARAASLAN • BÖLÜM YAZARI: EVA ILIE

## Giriş

Akım; genellikle serbest elektronlar tarafından bir malzeme içinde veya bir devre boyunca taşıyan elektrik yükünün hareketini veya akışını ifade eder. Birim zaman başına bir devredeki belirli bir noktadan geçen yük miktarını temsil eden amper (A) birimiyle ölçülür. Yükün hareketi, serbest elektronlar, pozitif iyonlar ve negatif iyonlar dahil olmak üzere çeşitli parçacıkları içerebilir. Bu yük akışı tamamen doğrusal olmayıp, bu yüklü parçacıklar bir dereceye kadar randomize hareket sergiler. Akım şiddetinin genellikle 80 ile 100 miliamperi (mA) aşmaması önerilir. Bu seviyelerin aşılması, tedavi gören bireye olumsuz etki veya potansiyel zarar verme riski oluşturabilir. Tedavi sırasında hastanın rahatlık ve güvenliğini sağlamak için güvenli ve uygun yoğunluk seviyelerine uymak önemlidir. Bir sinir hücresi membranını depolarize etmek için, yeterli sayıda elektronun iletken dokularda hareket etmeye zorlanması gerekir. Bu hareket, benzer yüklerin birbirini itmesi, zıt yüklerin ise çekmesi ilkesinden kaynaklanır. Sonuç olarak, elektron konsantrasyonu yüksek olan bir bölgeden, daha düşük konsantrasyonlu bir alana doğru bir akış olacaktır. İki bölge arasındaki elektron konsantrasyonundaki eşitsizlik ne kadar büyük olursa, elektron akışının meydana gelme potansiyeli de o kadar büyük olur. Bu süreç, sinir hücresi zarının depolarizasyonu ve sinir sistemi içindeki elektrik sinyallerinin iletilmesi için gereklidir. Düz akımın (DA) (Galvanik akım) tedavi edici uygulamasına “Galvanizasyon (Gal-

vanizm)” adı verilmektedir. DA üretimi kimyasal, mekanik ve termoelektrik yöntemlerle sağlanabilir.<sup>1</sup>

## Galvanik Akım

“Galvanizm” düşük voltaj ve düşük akım şiddetinde DA uygulamasını ifade eder. Elektriğin tedavide kullanılan en eski formlarından biridir (Şekil 9.1). Galvanik akımın dalga biçimi, elektron akışının temsiline göre sürekli veya kesikli olabilir. Elektronlar negatif kutba doğru aktığında devrenin kutuplarında elektrokimyasal etkiler meydana gelir. Bu elektrokimyasal etkiler, uygulama yerindeki dokularda spesifik fizyolojik değişikliklere yol açar.



Şekil 9.1 Galvanik akım ekipman.

Akımın dokularda fizyolojik değişiklikler sağlamak amacıyla kullanılmasına "Tıbbi Galvanizm" adı verilmektedir. Bu etki, örneğin iyonik ilacın dokulara verildiği "İyontoforez"de kullanılır. Lokal elektrokimyasal ve fizyolojik etkiler önemli olmakla birlikte, fizyoterapistler Galvanizasyonun genel etkilerini de dikkate almalıdır. Bu etkiler, kan ve lenf dağılımını etkileyen vazomotor sistemin uyarılmasını içerir. Galvanizmin kullanımına ve etkilerine, uygun bilgi, eğitim ve dikkatle yaklaşılmalıdır. Galvanik akımı içeren herhangi bir terapötik müdahaleyi denemeden önce bir fizyoterapistle danışmak önemlidir.<sup>2</sup>

### Ekipman

Elektroterapide kullanılan ve özellikle yalnızca DA sağlayan cihazlara Galvanostat veya Potansiyostat adı verilmiştir. Akım sistemlerinde yarı iletkenlerin keşfi ve kullanılması, sunulan akım dalga formlarını modüle etme yeteneği ile birlikte iyi filtrelenmiş ve sabit DA'nın üretilmesini mümkün kılmıştır. Mevcut trend, çeşitli tür ve formda akımları iletebilen karmaşık cihazlar tasarlamak ve kullanmaktır.<sup>3</sup>

DA uygulamaları için kullanılan ekipmanlar, uygulanan tedaviye bağlı olarak değişiklik gösterebilir. DA iletimi için kullanılan bazı yaygın ekipman türleri şunlardır:<sup>3</sup>

1. Galvanik stimülatör: Galvanik akımı iletmek için tasarlanmış özel bir cihazdır. Tipik olarak bir güç kaynağından, yoğunluğu ve süreyi ayarlayan kontrollerden ve vücuda uygulamaya yönelik elektrotlardan oluşur.
2. Elektrotlar: Pedler, süngerler veya özel aplikatörler gibi çeşitli boyut ve şekillerde bulunurlar ve genellikle metal veya karbon gibi iletken malzemelerden yapılırlar.
3. İletken jel veya elektrot solüsyonu: Elektrotları yerleştirmeden önce genellikle cilde iletken bir jel veya elektrot solüsyonu uygulanır. Bu, deri direncinin azaltmasına yardımcı olur ve elektrotlar ile cilt arasında iyi bir temas sağlar.
4. Kablolarda ve konnektörler: Bunlar elektrotları Galvanik stimülatöre bağlamak için kullanılır. Cihazdan gelen elektrik akımını elektrotlara iletirler.

5. Güvenlik özellikleri: Galvanik stimülatörler, akımın güvenli ve kontrollü bir şekilde uygulanmasını sağlamak için akım sınırlama devreleri, ayarlanabilir yoğunluk kontrolleri ve yerleşik zamanlayıcılar gibi güvenlik özelliklerini içerebilir.

Kullanılan özel ekipmanın amaçlanan uygulamaya ve fizyoterapistin tercihlerine bağlı olarak değişebileceğini unutmamak önemlidir. Doğru kullanım ve güvenlik kuralları için her zaman bir fizyoterapistle danışılmalıdır.<sup>3</sup>

### Etki Mekanizması ve Fizyolojik Etkileri

Galvanik akım, uygulama bölgesinde elektrokimyasal ve fizyolojik etkiler üretir (Tablo 9.1).<sup>4</sup>

**Tablo 1.1** Galvanik akımın elektrokimyasal ve fizyolojik etkileri

	Elektrokimyasal Etkiler	Fizyolojik Etkiler
Pozitif kutup (anot)	Asitleri çeker.	Kanamayı durdurur.
	Oksijeni çeker.	Akut inflamasyonu hafifletir.
		Dokuyu dehidrate eder/sertleştirir.
		Arterioelleri daraltır.
		Sinir iritabilitesini azaltır.
Negatif kutup (katot)	Bazları (alkaloidler) çeker.	Kanamayı artırır.
	Hidrojeni çeker.	Dokuyu irrite eder
		Kronik inflamasyonu rahatlatır.
		Arterioelleri genişletir.
		Sinir iritabilitesini artırır.

Galvanik akımın pozitif kutbunun fizyolojik etkileri soğuk uygulamaların etkilerine benzer, negatif kutbun ise sıcak uygulamaların etkilerine benzer. Galvanik akımın kutupsal etkisini elde etmek için, eşit olmayan boyutta iki elektrot gerekir; daha küçük olan elektrot aktif ped görevi görür ve tipik olarak daha büyük dağıtıcı elektrotun boyutunun yarısından daha büyük değildir. Miliamper (mA)



kuralı amperaj yoğunluğunu aktif elektrotun 1 mA/ inç<sup>2</sup>'si ile sınırlar.<sup>4</sup>

Daha küçük aktif ped, daha büyük dağıtıcı ped ile karşılaştırıldığında daha güçlü polar etkiler sergiler çünkü daha küçük elektrot boyutu, akım yoğunluğunu artırır. Negatif kabloyu belirlemenin bir yöntemi, kabloları tuzlu suya batırmak ve kablolarda kabarcıklar oluşana kadar amperajı kademele olarak artırmaktır. Negatif kutup, pozitif yüklü hidrojen iyonlarını çekerek, pozitif kutba kıyasla daha fazla ve daha küçük kabarcıkların birikmesine neden olur.<sup>4</sup>

Galvanik akım, yüklü iyonları ve iyonik ilaçları dokulara yönlendirmek için kullanılabilir. Pozitif yüklü ilaçlar pozitif kutuptan, negatif yüklü ilaçlar ise negatif kutuptan iletilir. Galvanik akım öncelikle dermisin alt tabaka katmanına nüfuz ederek yaklaşık 1 mm derinliğe ulaşır. Oradan ilaç kalçal dolaşım yoluyla daha geniş bir doku alanına dağılır. Akımın nüfuz etme derinliği ve iyonik dağılım nispeten sığ olmasına rağmen, bazıları oluşturulan alan etkisinin daha derinlerdeki iyonik molekülleri etkileyebileceğine inanmaktadır.<sup>5</sup>

Galvanik akımın geçişiyle oluşturulan fizyolojik ve kimyasal doku değişikliklerinin sonuçları şunları içerir:<sup>5</sup>

- Biyo elektroliz: İyonların elektrik alanındaki hareketi.
- İyontoforez: İyonların dokulardan taşınması.
- Elektroliz: Elektrik akımı nedeniyle bileşiklerin iyonlara ayrışması.
- Elektro osmoz: Elektrik alanı nedeniyle sıvının dokular içinde hareketi.
- Membran potansiyelindeki değişiklikler: Hücre zarları arasındaki elektrik potansiyelindeki değişiklik.
- Nöromüsküler uyarılabilirliğin modülasyonu: Sinirlerin ve kasların uyarılabilirliği üzerindeki etki.
- Termal etkiler: Akım akışının ürettiği ısı (Yüksek akım şiddeti gereklidir.)
- Elektromanyetik indüksiyon: Değişen manyetik alan nedeniyle dokularda elektrik akımlarının indüksiyonu.
- Doku bileşimindeki değişiklikler: Dokuların kimyasal bileşimindeki değişiklik.

Özel çalışmalar, Galvanik akımın dokulardan geçişinin öncelikle elektroliz yoluyla gerçekleştiğini göstermiştir. Elektroliz, anyonların ve katyonların elektrik alanındaki hareketini ifade eder.

Galvanik akım vücutta, özellikle sinirler gibi kolayca uyarılabilen dokularda fizyolojik etkiler yaratır. Tedavide Galvanik akım doğru bir şekilde uygulanırsa duyuşal sinir lifleri, motor lifler, merkezi sinir sistemi ve dolaşım sistemi üzerinde spesifik etkileri vardır.<sup>3</sup>

1. Duyuşal sinir lifleri: Galvanik akım, akımın yoğunluğuyla artan karıncalanma hissine neden olur. Uzun süreli maruz kalma, analjezik etkiye yol açarak dokunma ve acıya karşı hassasiyeti azaltabilir.
2. Motor lifler: Kesikli Galvanik akım, motor liflerinin uyarılma eşliğini azaltarak uyarılabilirliklerini artırır. Akım yoğunluğundaki ani değişiklikler, ani kas kasılmalarına neden olabilir; bu durum denerve kasları diğerlerinden önce hazırlamak için faydalıdır.
3. Merkezi sinir sistemi: Galvanik akım, alçalan uygulamalarda refleks aktiviteyi azaltır, yükselen uygulamalarda ise uyarılabilirliği artırır.
4. Dolaşım sistemi: Galvanik akım, kan dolaşımını etkileyebilir.

Genel olarak Galvanik akımın sinir lifleri, merkezi sinir sistemi ve kan dolaşımını üzerinde belirli etkileri vardır. Bu etkiler elektroterapide çeşitli terapötik uygulamalarda kullanılmaktadır.<sup>3</sup>

Cordingley 1937'de genel ve merkezi galvanizasyon olarak bilinen iki tekniği tanımlamıştır. "Genel Galvanizasyonda"da bir elektrot sakruma uygulanırken, diğer elektrot omurga ve ekstremite boyunca yavaşça hareket ettirilir. Bu teknik vücuttaki lenfatik dolaşımını artırır. "Merkezi Galvanizasyonda"da benzer bir yaklaşım izlenir, ancak sabit elektrot, üst abdominal bölgede yer alan karmaşık bir sinir ağı olan solar plexus üzerine yerleştirilir. Merkezi Galvanizasyonun amacı aynı zamanda lenfatik dolaşımını da arttırmaktır. Bağışıklık sisteminde ve atık ürünlerin ve toksinlerin vücuttan atılmasında önemli bir rol oynayan lenfatik akışı uyarmak için hem Genel hem de Merkezi Galvanizasyon teknikleri kullanılır. Bu teknikler, genel



sağlığı ve iyilik halini desteklemek için Galvanik akımın alternatif tıptaki daha geniş uygulamasının bir parçası olarak kabul edilir.<sup>6</sup>

## Galvanik Akım Kullanımının Amacı

Tıbbi Galvanizm veya Galvanik akım yöntemleri spesifik terapötik etkiler elde etmek için kullanılır. Akımın kullanılması, hasta sonuçlarını iyileştirmek için hedeflenen ve kontrollü terapötik etkiler sağlar. Galvanik akımın uygulama yöntemleri şu şekildedir:<sup>7</sup>

1. Kas rehabilitasyonu: Galvanik Stimülasyon, sinir yaralanmalarından etkilenen kasların rehabilitasyonuna yardımcı olmak için kullanılabilir. Kontrollü bir akım vererek motor sinirleri uyararak ve kas kasılmalarını teşvik etmeye yardımcı olarak kasların yeniden eğitimini ve kuvvetlenmesini kolaylaştırır.
2. Doku iyileşmesi ve ödem azalması: Galvanik akım, lokal kan dolaşımını ve oksijenlenmeyi iyileştirerek doku iyileşmesini destekleyebilir. Ayrıca sıvıların dokularda hareketini kolaylaştırarak ve lenfatik drenajı teşvik ederek ödemin azaltılmasına da yardımcı olur.
3. İyontoforez: İlaçların veya tedavi edici maddelerin deri yoluyla alttaki dokulara iletilmesi için kullanılan bir teknik olan iyontoforezde kullanılır. Galvanik akım, yüklü parçacıkların taşınmasını artırarak, lokalize terapötik etkiler için ilaçların hedefli ve kontrollü olarak verilmesine olanak tanır.
4. Ağrı yönetimi: Sinir aktivitesini modüle ederek ve ağrı sinyallerini azaltarak ağrıyı yönetmek için Galvanik stimülasyon kullanılabilir. Endorfin salınımını teşvik ederek ve sinir iletimini etkileyerek, akut ve kronik ağrı da dahil olmak üzere çeşitli ağrı türlerinin hafifletilmesine yardımcı olabilir.<sup>7</sup>

## Kas Rehabilitasyonu

Galvanik akımın motor sinir lifleri üzerindeki uyarıcı etkisi, pratikte denerve kasların uyarılması amacıyla kullanılır. Negatif (-) kutupta, aktif elektrot olarak kullanıldığında, motor liflerinin uyarı-

labilirlik eşiği azalır, dolayısıyla uyarılabilirlikleri artar. Bu nedenle motor liflerini uyararak ve kasılmaya neden olmak mümkün olacaktır. Çalışmalar, akım yoğunluğundaki ani azalma veya artışın, ani bir kas kasılmasını tetikleyen yeterince önemli bir uyarıyı temsil ettiğini kanıtlamıştır. Denerve kaslardaki fizyolojik değişiklikler nedeniyle, yalnızca kesikli Galvanik akım bir kasılma cevabı çıkarabilir. Atım süresi 100 msn'nin (300-600 msn) üzerinde olmalı ve atım aralığı atım süresinin iki katı (200-1000 msn) olmalıdır.<sup>5</sup>

## Alternatif Endikasyonlar ve Uygulamalar

Alternatif tıp uzmanları tarihte çeşitli endikasyonlar için Galvanizm ve İyontoforezi kullanmışlardır. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır:<sup>6</sup>

**Hepatik drenaj:** Galvanik akım, karaciğer fonksiyonunu desteklemek ve detoksifikasyonu desteklemek için kullanılır.

**Hemoroid:** Galvanik akım, rektal bölgedeki kan damarlarının şişmesiyle karakterize bir durum olan hemoroidin tedavisinde kullanılabilir.

**Siğil ve tinea enfeksiyonları:** Siğillerin giderilmesi ve tinea gibi mantar enfeksiyonlarının tedavisinde magnezyum sülfat ile pozitif iyontoforez kullanılmıştır.

**Nasır çıkarma:** Ayaklardaki derinin kalınlaşmış bölgeleri olan nasırların çıkarılması için sodyum klorür iyontoforezi kullanılmıştır.

**Ağrısız ülserler:** Kronik iyileşmeyen yaralar olan yavaş ülserlerin tedavisinde çinko iyonizasyonu uygulanmıştır.

**Servisit:** Serviks inflamasyonu olan servisit vakalarında bakır iyonizasyonu kullanılmıştır.

**Rinit, saman nezlesi ve orta kulak iltihabı:** Rinit (burun iltihabı), saman nezlesi (alerjik rinit) ve orta kulak iltihabının (orta kulak iltihabı) tedavisinde pozitif galvanizm kullanılmıştır.<sup>3</sup>

Galvanizm ve iyontoforezin bu uygulamaları, alternatif tıp alanında tanımlanmış olup, çeşitli durumlar için bir dizi potansiyel tedavi seçeneği sunmaktadır.<sup>6</sup>

Daha önce bahsedilen uygulamalara ek olarak, alternatif tıpta çeşitli durumlar için yardımcı Gal-



vanik tedavi önerilmiştir. Bu koşullardan bazıları şunlardır:<sup>6</sup>

**Dismenore:** Galvanik tedavi menstruasyon ağrısı için yardımcı tedavi olarak kullanılabilir.

**Apseler:** Lokalize irin birikimleri olan apselerin tedavisinde galvanizm uygulanabilir.

**Amenore:** Adet dönemlerinin olmadığı amenore durumlarında menstrual akışının yeniden sağlanmasını desteklemek için galvanik akım kullanılabilir.

**Adezyon rezorpsiyonu:** Dokular arasında oluşabilen lifli bantlar olan adezyonların rezorpsiyonuna yardımcı olmak için Galvanik tedavi önerilir.

**Bronşit:** Galvanizm, bronşların inflamasyonu olan bronşit için yardımcı tedavi olarak kullanılabilir.

**Kolit:** Kolon inflamasyonu olan kolit için galvanik tedavi önerilir.

**Amfizem:** Hava keselerinin hasar görmesi ile karakterize kronik bir akciğer rahatsızlığı olan amfizem vakalarında galvanizm uygulanabilir.

**Endometrit:** Galvanik akım, endometriyumun (uterusun iç zarı) iltihaplanması olan endometrit tedavisini desteklemek için kullanılabilir.

**Uterus ve bağırsak hemoraji:** Uterus ve bağırsak kanaması durumlarında Galvanik tedavi uygulanabilir.

**İnkontinans:** İdrar kaçırmada yardımcı tedavi olarak Galvanizm önerilmektedir.

**Kronik inflamasyon:** Kronik inflamasyon sürecinde iyileşme sürecini desteklemek için Galvanik tedavi kullanılabilir.

**Pelvik inflamasyon:** Pelvik inflamasyonun tedavisinde Galvanizm önerilmektedir.

**Hepatit ve menenjit:** Galvanik tedavi, hepatit (karaciğer inflamasyonu) ve menenjit (meninks inflamasyonu) için yardımcı bir tedavi olarak düşünülebilir.

**Menoraji ve metroraji:** Aşırı adet kanamasının (menoraji) ve düzensiz uterus kanamasının (metroraji) yönetilmesine yardımcı olmak için Galvanizm önerilir.

**Migren ve nevralsi:** Galvanik tedavi, migren baş ağrıları ve nevralsi (sinir ağrısı) için yardımcı tedavi olarak kullanılabilir.

**Orşit:** Testislerin inflamasyonu olan orşit vakalarında Galvanizm önerilir.

**Kronik peritonit:** Peritonun (karın zarı) inflamasyonu olan kronik peritonitin tedavisi için Galvanizm önerilir.

**Salpenjit:** Salpenjit ve fallop tüplerinin inflamasyonu durumlarında Galvanik tedavi kullanılabilir.

**İmpotens:** Galvanizm, impotens, yani ereksiyonu sağlayamama veya sürdürmemeye için yardımcı tedavi olarak önerilmektedir.

**Üretral darlık ve trahom:** Üretral darlıklar (üretanın daralması) ve trahom (bakteriyel göz enfeksiyonu) için Galvanik tedavi önerilir.

**Diş ağrısı:** Galvanizm, diş ağrısını hafifletmeye yardımcı olmak için kullanılabilir.

Bu uygulamalar, Galvanik tedavinin çok çeşitli koşullar için alternatif tıpta yardımcı tedavi olarak potansiyel kullanımını göstermektedir.<sup>5</sup>

## Uygulama Yöntemleri

Galvanik Akımın uygulama yöntemleri şunlardır:

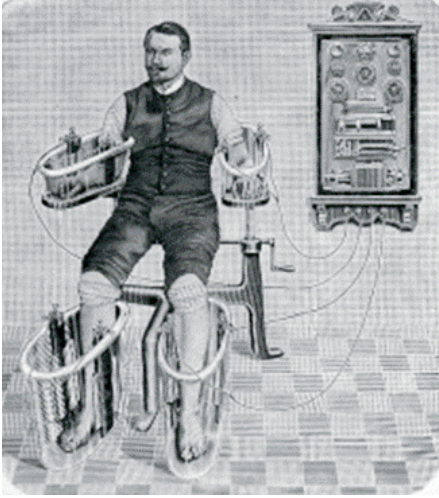
**Plak Elektrotlar:** Düz elektrotların istenen tedavi alanında cilt üzerine yerleştirilmesini içerir. Pozitif ve negatif elektrotlar amaçlanan terapötik etkiye göre uygun şekilde konumlandırılır.

**Elektrolitik veya Galvanik banyo:** Bu yöntemde, vücudun bir kısmının veya tüm vücudun daldırıldığı, elektrolit çözeltisiyle doldurulmuş bir banyo veya havuz kullanılır. Elektrotlar elektrolit çözeltisine batırılır ve iletken ortam aracılığıyla vücuda Galvanik akım uygulanır.

**Kısmi veya dört hücreli Galvanik banyo:** Bu teknikte belirli vücut parçaları çok hücreli bir banyo içindeki ayrı bölmelere daldırılır. Her bölme, Galvanik akımın farklı alanlara aynı anda hedeflenen şekilde uygulanmasına olanak tanıyan bir elektrot ve bir elektrolit çözeltisi içerir (**Şekil 9.2**).<sup>7</sup>

**İyontoforez:** Bu yöntem, Galvanik Akım kullanılarak iyonların veya ilaçların deri yoluyla verilmesini içerir. Elektrotlar cilde yerleştirilir ve tedavi alanına özel bir ilaç veya solüsyon uygulanır. Galvanik akım kutup etkisi iyon veya ilacın dokulara taşınmasını kolaylaştırır (**Şekil 9.3**).

Galvanik akımın bu çeşitli uygulama yöntemleri, lokal problemlerin tedavi edilmesini ve fizyolojik etkilerin desteklenmesi sağlar.<sup>3</sup>



Şekil 9.2 Kısmi veya Dört Hücreli Galvanik Banyo.



Şekil 9.3 İyontoforez.

## Güvenlik ve Kontraendikasyonlar

Galvanik Akım genel olarak güvenli kabul edilse de bazı önlemler ve kontraendikasyonlar dikkate alınmalıdır. Bunlar şunları içerir:

1. Miliamper kuralı: Miliamper kuralına uymak, aşırı akım yoğunluğunun neden olduğu yanıkları veya rahatsızlıkları önlemek için çok önemlidir. Bu kurala uyulması akım şiddetinin hasta için güvenli bir aralıkta olmasını sağlar.
2. Alerjik duyarlılık: Bazı kişilerde Galvanik akım ve iyontoforez tedavisi sırasında uygulanan iyonlara karşı alerjik reaksiyonlar veya hassasiyetler görülebilir. Tedaviye başlamadan önce hastanın tıbbi geçmişini dikkate almak ve bilinen alerjileri değerlendirmek önemlidir.
3. Deri bütünlüğünün bozulması: ES daha fazla tahrişe veya enfeksiyona neden olabileceğinden,

den, elektrot pedleri kırık veya hasar görmüş cildin üzerine yerleştirilmemelidir. Elektrotları uygulamadan önce cilt sağlıklı ve temiz olmalıdır.

4. Elektronik implantlar: Kalp pili veya nörostimülatör gibi elektronik implantlara sahip hastalara Galvanik stimülasyon önerilmemelidir. Elektrik akımları bu cihazların düzgün çalışmasını etkileyerek potansiyel riskler oluşturabilir.
5. Duyu kaybı: Nöropati veya sinir hasarı gibi ağrı duyusunun bozulduğu dokular dikkatle tedavi edilmelidir. Hasta, rahatsızlık veya yanma hissi konusunda doğru geri bildirim sağlayamayabilir, bu da yaralanma riskini artırır.

Galvanik akım tedavisi sırasında güvenliği korumak için her hastayı ayrı ayrı değerlendirmek, tıbbi geçmişini dikkate almak ve uygun uygulama tekniklerini sağlamak önemlidir. Bir hekime ve fizyoterapistle danışmak, Galvanik stimülasyonun belirli kişiler için uygunluğunu ve güvenliğini belirlemeye yardımcı olabilir.<sup>8</sup>

## Kaynaklar

1. Placzek JD, Boyce DA. (2016), Orthopaedic physical therapy secrets-E-book. 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier Health Sciences. ISBN:978-0323286879.
2. Blake E. (2012), Electrotherapy and hydrotherapy in chronic pelvic pain. Chaitow L, Jones R, (eds). In: Chronic pelvic pain and dysfunction: Practical physical medicine. China: Elsevier Churchill Livingstone. (p.377). ISBN:9780702050435.
3. SCRI Group. Curentul galvanic, galvanoionizarea: proprietati fizice, aparatura utilizata, actiunile biologice, efectele fiziologice, modalitati de aplicare, indicatii si contraindicatii. Accessed: <https://www.scrigroup.com/sanatale/Curentul-galvanic-galvanoioniz64871.php>. Accessed Date: 12.08.2023.
4. Slovenko R. Malpractice in psychiatry and related fields. The Journal of Psychiatry & Law. 1981;9(1):5-63. doi:10.1177/009318538100900103.
5. Blake E, McMakin C, Lewis DC, Buratovich N, Neary Jr DE. (2008), Electrotherapy modalities. Chaitow L, Ed. In: Naturopathic physical medicine: Theory and practice for manual therapists and naturopaths. 1<sup>st</sup> ed. UK: Churchill Livingstone. (pp. 539-562). ISBN:0443103909.
6. Blake E, Chaitow L. (2008), History of Naturopathic physical medicine. Chaitow L, Ed. In: Naturopathic physical medicine: Theory and practice for manual therapists and naturopaths. 1<sup>st</sup> ed. UK: Churchill Livingstone. (p. 54). ISBN:0443103909.
7. Sands WA, McNeal JR, Murray SR, Stone MH. Dynamic compression enhances pressure-to-pain threshold in elite athlete recovery: Exploratory study. J Strength Cond Res. 2015;29(5):1263-72. doi:10.1519/JSC.0000000000000412.
8. Busse JW, Bhandari M. Therapeutic ultrasound and fracture healing: A survey of beliefs and practices. Arch Phys Med Rehabil. 2004;85(10):1653-56. doi:10.1016/j.apmr.2003.12.040.





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

Bölüm

10

1

# Düşük Voltajlı ve Orta Frekanslı Akımlar



ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARLARI: MEHMET DURAY • ZİYA YILDIZ

## Düşük Voltajlı Akımın Tanımı ve Tarihçesi

Elektroterapi akımlarından düşük voltajlı akım tedavisi, kasları, sinirleri ve yumuşak dokuları uyarmak için terapötik olarak kullanılır. Elektrik termal etkisinin yanı sıra başka etkilerinin olup olmadığı araştırılırken düşük voltajlı akımlar keşfedilmiştir. İtalyan hekim Luigi Aloisio Galvani elektrik hayvanlar üzerindeki etkisini fark etmiş ve elektrik akımının kullanımını başlatmıştır. 1780'lerin sonlarında Aloisio Galvani, ölü bir kurbağanın sinirlerine neşter değdiğinde kas kasılması ve elektriksel potansiyel farkın oluştuğunu gözlemledi. Gözlemlerinin ardından elektrikli hayvanlar tarafından üretilebildiği ve sinirler aracılığıyla iletilen elektriksel aktivitenin kaslara doğru hareket ettiği sonucuna vardı.<sup>1</sup> Bu süreçte kas kontraksiyonu için doğru akımların kullanımı yaygınlaşmaya devam ederken, zayıf kasların güçlülere göre daha zayıf kasılması yeni akım arayışlarını zorunlu hale getirdi.<sup>2,3</sup> Yirminci yüzyılla birlikte denerve kasların elektrik akımlarıyla da uyarılabileceği bulunmuştur. Elektrik stimülasyonu (ES) günümüzde inerve veya denerve kaslarda, ağrı kontrolü, kas spazmı, spastisite, eklem hareket açıklığının korunmasında ve kırık tedavisinde kullanılmaktadır. Alçak voltajlı akımların temel fiziksel özelliği, vücutta sürekli yer değiştirmesi ve düşük veya orta frekansta olmasıdır. Bu akımlar dokuda ani iyon değişimlerine neden olur ve sinirlerde eksitasyona neden olur.<sup>4</sup>

## Alçak Voltajlı Akım Türleri ve Özellikleri

İki nokta arasında yüklü parçacıklarla ilgili bir elektriksel potansiyel fark olmadıkça elektronlar hareket etmezler. Elektron akışı oluşturmak için uygulanması gereken elektriksel potansiyel farka volt denir. Voltaj ise volt farkı olan iki nokta arasında meydana gelen elektron akımı esnasında açığa çıkan kuvvettir. Günlük yaşamımızda evde kullandığımız elektrik akımları 115 veya 220 Voltluk (V) bir kuvvet üretir. Tedavide kullanılan akımlar, alçak veya yüksek voltajlı akımlar olarak sınıflandırılır.<sup>5</sup> 150 V'un altındaki akımlar alçak voltajlı akımlar olarak kabul edilir. 5000 Hz ise frekans için kesme değeri olup, alçak voltajlı akımların, frekanslarına ve dalga şekillerine göre klinikte kullanımı farklılaşır. Alçak voltajlı akımlardan klinik rehabilitasyonda en sık kullanılanları Faradik akım, Russian akımları, Sinüzoidal akımlar ve Diadinamik akımlardır.<sup>6,7</sup>

## Faradik Akım

### Faradik Akım Parametreleri

Alçak voltajlı ve düşük frekanslı akımlar, temel olarak kesikli Galvanik akım ve Faradik akım olmak üzere ikiye ayrılır. Faradik akımlar ilk kullanımlarında 1 msn'lik keskin ve ani negatif bir artışın ardından 4 msn'lik yumuşak seyirli pozitif bir eğriden oluşan asimetrik, bifazik dalga formundaydı. İlk kullanılan Faradik akımlar akım yönünün sürekli tersine çevrilmesi sebebiyle alternatif akımdı.

Dalganın negatif yöndeki kısmının genliği, herhangi bir fizyolojik tepki üretecek kadar büyük değildir. Rehabilitasyonda bu dalga özelliklerinin tolere edilmesi zor olduğu için frekansı sabit tutularak ve atım süreleri değiştirilerek kullanılmaya başlanılmıştır. Monofazik testere dişine benzeyen yeni form, kademeli olarak yükselir ve aniden düşer. Bu dalga biçimi, inerve kası etkilemeden denerve kası uyartabilir. Çünkü akım şiddetindeki kademeli artış normal kasın akomodasyonuna izin verirken, denerve kasta kontraksiyon sağlar. Rehabilitasyonda çok sık tercih edilen Faradik akım, frekansı 50 ile 100 Hz arasında ve uyarı süresi 0,01 ile 1 msn arasında olan çok kısa süreli monofazik kesikli Galvanik akım formuna benzemektedir.<sup>6</sup>

Tedavide daha iyi sonuçlar sağlamak için, kullanılan Faradik akım normale yakın bir tetanik kontraksiyon ve kas gevşemesi sağlamak için farklılaştırılır. Kullanılan cihaz ve aparatlar, kas kasılması ve gevşemesini kontrol etmek ve atımları kademeli olarak arttırabilmek için yeterli kontrole sahip olmalıdır. Günümüzde Faradik akımın elektroterapi cihazları tarafından üretimi de farklılaşmıştır. Eski cihazlarda akımın yönü bobin yapısı çeşitlendirerek üretilmekteydi. Elektrotlar arasında iki yönlü olarak ilerleyen, asimetrik, bifazik akımlar bu bobinler sayesinde üretiliyordu. Yeni cihazlarda Faradik akımlar elektronik kartlar yardımıyla mekanik bir düzen gerektirmeden çeşitlendirilebilmektedir. Dalga biçimi farklılaştırılarak çeşitli sürelerde, frekanslarda ve dalga biçimlerinde akım çeşitleri sağlanabilmektedir. Bu çeşitlilik hasta için en uygun olanının seçilmesine imkan sağlar (Şekil 1).<sup>6,7</sup>

### Faradik Akımın Etki Mekanizması

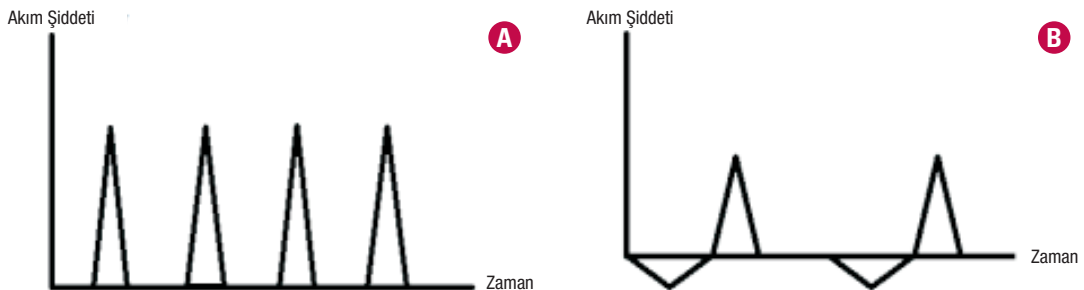
Uygun atım süresi, gücü ve şekline sahip elektrik atımları sinirde aksiyon potansiyeli oluşmasını

sağlar. Motor sinirde oluşan depolarizasyon sonucu aksiyon potansiyeli sinir zarı boyunca ilerlemekte ve kasa ulaşan potansiyel kas liflerine yayılarak kas kontraksiyonuna neden olmaktadır. Normal kas kontraksiyon fizyolojisinde duyu sinirlerinin depolarizasyonu, duyu korteks sahasında aktivasyon oluşturarak merkezi sinir sisteminden kaslara gelen uyarıları tetikler. Kasa gelen uyarılar ilk önce Tip I yavaş oksidatif küçük boyutlu kas liflerinde daha sonra hızlı glikolitik Tip II liflerinde kasılma açığa çıkarırlar. Faradik akımlar gibi doğrudan motor sinirler ve kas üzerine yapılan uygulamalardaysa bu sıra tersine döner.<sup>8</sup>

### Faradik Akımın Kullanım Alanları

ES, ağrı, zayıflık veya alçı gibi kısıtlamalar nedeniyle aktif olarak kasılmayan kaslarda kontraksiyon sağlamak için kullanılabilir. Bu amaçla kullanılan akımlardan biri olan faradik akım kas hacmi ve kuvvetinde belirgin artışlar sağlar. Faradik akım ayrıca glikojen içeriği, ATP sentez kapasitesi ve metabolizmayı da artırır.<sup>9</sup> Kasılmalarla açığa çıkan pompalama hareketi, kan akışının hızlanmasına ve metabolik atıkların kaslardan boşaltılmasına yardımcı olur. Faradik akımın uygulamasının özel tekniklerinden biri olan basınç altında faradizm tekniği venöz ve lenfatik drenaj arttırarak ödem kontrolü için kullanılır.<sup>6</sup>

Faradik akımın bir diğer kullanım alanı kas denervasyon sürecinde tetik ve tedavidir. Denerve bir kas yaklaşık iki hafta veya daha uzun süre tedavi edilmezse Faradik stimülasyona cevap üretmez. Bu durum Faradik akımın geçiş süresi 0,1-1 msn olduğu için denerve kasları uyaramamasından kaynaklanır. Ayrıca kas dokusu 10. günden sonra yıkıma başladığı için uyarılabilirliğini kaybeder. Kasılabilme özelliğini kaybetmeye başlayan



Şekil 10.1 A. Eski Faradik Form (Yazar tarafından oluşturuldu)., B. Yeni Faradik Form.



denerve kasın kontraktibilitesi, Faradik akım gibi alçak frekanslı akımlarla sağlanamaz<sup>9,10</sup>. Yine de, denerve bir kasın uzun süreli Faradik stimülasyonu uyarılabilirlik üzerine yararlı bir etki sağlar.<sup>11</sup> Elektrofizyolojik olarak kasta denervasyon bulgusu yoksa ve kas zayıflığının nedeni nöropraksiyaysa, süresi 0,1 msn ile 1 msn arasında değişen Faradik akımlar tercih edilebilir.<sup>12</sup> Novak çalışmasında kas dejenerasyonunu önlemek için elektrik stimülasyonunun etkisinin henüz belirlenemediğini belirtmiştir. Elektrik stimülasyonu kullanılıyorsa stimülasyon parametrelerinin normal kas ateşleme paterniyle eş olması gerekmektedir. Bu eşitliğin sağlanması için ise hastanın akımı hissettiği esnada kontraksiyon alınabilmesi gerekir.<sup>13</sup>

Faradik akım motor sinirde meydana gelene nöropraksiya sonrası rejenerasyonu hızlandırır. Lezyon seviyesinin altındaki uyarılar kolayca kasa geçer ve kasılmaya neden olur.<sup>6</sup> Motor sinirlerin proksimal kısımlarına düşük yoğunlukta uygulanan akımlar, sinir rejenerasyonunu ve Schwann hücrelerinin çoğalmasımı sağlayabilir. Sinir rejenerasyonunu hızlandırmak için Faradik akım, steroidlerle, cerrahi tekniklerle ve egzersizle beraber kullanılabilir.<sup>14</sup> 30 dakika ile 1 saat arasında düşük yoğunlukta (20 Hz veya daha az frekansta) yapılan stimülasyonun rejeneratif etkinliği arttırdığı bildirilmektedir.<sup>15</sup> Bununla birlikte sinirin tam kesisinde dejenerasyon süreci bitene kadar Faradik akıma cevap alındığı ancak dejenerasyon tamamlandıktan sonra sinirin sadece Düz akımlara cevap verdiği unutulmamalıdır.<sup>6,10</sup>

Faradik akım, tendon nakli, rekonstrüktif operasyonlar ve deformiteler gibi kasın istemli kontrolünün olmadığı durumlarda kasın yeniden eğitimi ve kasa yeni işinin öğrenilmesi amacıyla da kullanılır.<sup>6,16,17</sup> Örneğin pes planus ve halluks valgus gibi rahatsızlıklarda ayak intrinsik kaslarının uzun süre kas kullanılmaması nedeniyle kişi istemli olarak kas kontraksiyonu sağlayamaz. Kas hareket kalıplarının bozulduğu bu tip durumlarda Faradik uyarı ile doğru hareket öğretilir ve aktif kasılmalar sağlanabilir.<sup>6</sup> Klinikte kasın yeniden eğitimi ve denerve kas rehabilitasyonunda tedavi genellikle Galvanik akımla başlayıp, ardından Faradik akım tercih edilmektedir.<sup>16</sup>

Cerrahi sonrası dokularda var olan efüzyonlar adezyonlara neden olur. Adezyonları önlemek için yeterli düzeyde aktif egzersiz yapılamıyorsa Faradik akım tercih edilebilir. Elde edilen kas kasılması yapışıklıkları gerer ve gevşetir.<sup>6,17</sup> Fasiyal paralizi de Gracillis kasından yapılan kas transplantasyonunda kastan istemli kontraksiyon alınana kadar günlük 5-10 dakika Faradik akım yapılması önerilmektedir. Transplantasyon sonrasında tedaviye 6. haftada başlamak genel kabul gören bir yaklaşımdır.<sup>12</sup> Brakiyal pleksus yaralanması sonrası yapılan kas transferinde ise elektromiyografide reinervasyon görülene kadar düşük frekanslı ES'nin kullanılması gerektiği bildirilmiştir.<sup>18</sup>

Kontraktür ve eklem hareketinde kısıtlılığa yol açan yumuşak dokuyu germek ve hareket açıklığını artırmak için antagonist kasın Faradik akım ile uyarımı tercih edilmektedir. Örneğin skolyozda eğriliğin konkav kısmında kısalan ve hareket limitasyonuna neden olan kasları germek için konveks taraftaki gövde kasları uyarılabilir. Ad ve ark. 40-80 mA yoğunluk, 0,2 msn geçiş süresi, 25 Hz frekansa sahip motor stimülasyonun skolyozda etkili olduğu ve gövde dengesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir.<sup>19</sup> Skolyoz tedavisinde sadece konveks alana uygulama yapılmamaktadır. Karabay ve ark. serebral palsili çocukların abdominal ve sırt kaslarına 20-30 mA yoğunluk, 0,25 msn geçiş süresi ve 25 Hz frekansa sahip Faradik akımı 4 hafta boyunca haftanın 5 günü 30 dk'lık seanslar halinde uygulamışlardır. Tedavi Cobb's açısı ve kifotik açıda iyileşmeyle sonuçlanmıştır.<sup>20</sup>

Sağlıklı kasların kuvvetlendirilmesinde kullanıldığı gibi farklı rahatsızlıklar sonrasında da Faradik akım kas kuvvetlendirmek amacıyla tercih edilmektedir. Kronik kalp yetmezliği olan hastalarda, 5 hafta boyunca haftanın 5 günü günde 1 saat olmak üzere, 200 msn atım süresi, 10 Hz frekansında Faradik akımın kalp debisini koruyarak egzersiz kapasitesinde artışa neden olduğu bildirilmektedir. Bu etki, kaslarda oksidatif kapasitenin artması sonucu meydana gelmektedir.<sup>21</sup> Aynı protokolün kalça protezli hastalarda diz ekstansör kuvvetini artırarak fonksiyonel bağımsızlığı sağladığı da bildirilmiştir.<sup>22</sup> Kaslarda tork gücünü arttırmak için yüksek frekanslı (60 Hz) akımlar yerine düşük fre-

kanslı (20 Hz) akımların kullanımı daha fazla fayda sağlamaktadır.<sup>23</sup>

### Faradik Akım Tedavi Protokolü ve Pratik Bilgiler

Faradik akım, 0,1-1 msn süreli ve 50-100 Hz frekanslı atımlar sağlar. Bu parametreler inerve kasların tetanik kasılmasına neden olur. Fakat uyarı süresinin kısa kalması sebebiyle denerve kastan yanıt elde etmek zordur. Yeni cihazlar, daha fazla kanal çıkışı sağlamak ve daha tolere edilebilir akım biçimi üretmektedirler. Dakikada 20 kez tekrarlanan, 100 msn atım süresine sahip kesikli akımlarla, denerve kaslardan da yanıt elde edilebilmektedir. Bu parametre inerve kas liflerinin hızlı, denerve kasların ise yavaş bir şekilde kasılmasını sağlar. Oda sıcaklığı normalin altındaysa denerve kas kontraksiyonu kaybolabilir. Bu tip durumlarda uygulama esnasında kasların motor noktasını bulmanın kontraksiyon gücünü arttıracığı dikkate alınmalıdır.<sup>11</sup>

Faradik akımda uygun tedavi protokolü kas boyutu ve kasın enerji metabolizmasına göre şekillendirilmelidir. Küçük boyutlu kaslarda daha düşük atım sayısı ve akım şiddeti tercih edilirken, tedavi seans sayısı daha fazla olmalıdır. Kas yorgunluğunu tolere etmek için ise tedavi seansı genellikle 2 veya 3'e bölünmelidir. Kasılma hızında optimal kazanım sağlamak için 10-15 seans veya 2-3 hafta, kas kuvvet kazanımları için ise 20-25 seans veya 4-5 hafta tedavi uygulanmalıdır. Kas enduransını artırmak için 35 seans veya 7 haftalık uygulama yapılması önerilmektedir.<sup>11</sup>

Klinikte sinir yaralanmaları sonrasında kas dokusunda kontraksiyon sağlamak için sıklıkla Faradik akım tercih edildiğinden bahsedilmiştir. Uygulamalarda hasta, cihaz ve gerekli ekipmanlar önceden hazırlanmalı ve gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Uygulama sırasında kullanılan pedler, yıpranmayan bir kumaştan yapılmış olmalıdır. Kumaş kalınlığının fazla olması kimyasal birikme riskini ve dolayısıyla yanık riskini önler. Spesifik olarak bir kasın uyarılması isteniyorsa pamuk ile sarılmış bir kalem elektrot kullanılmalıdır. Plak elektrot kullanılacaksa elektrodun kenarları küt olmalıdır. Uygulama sahasının proksimal kısmına

artı yüklü (pasif) elektrot ve distal kısma ise negatif yüklü (aktif) elektrot yerleştirilir. Aktif elektrot, elektronların dokuya girdiği elektrot olup, pasif elektroda göre daha küçüktür. Aktif elektrot motor noktaya yerleştirilmelidir. Pedler tuzlu suyla ya da çeşme suyuyla ıslatılmalı ancak kuru veya su damlatacak kadar ıslak olmamalıdır.

### Russian Akımı

#### Russian Akımının Tarihi ve Parametreleri

Orta frekanslı akımlar, frekansı 1000 ile 10000 Hz arasında olan akımlardır. Bu akımlar, düşük frekanslı akımlara göre daha derine penetrasyon ve daha yüksek tolerans sağlamaktadır. Orta frekanslı bir akım olan ve kas kuvvetlendirme amacıyla kullanılan Russian akımları ilk olarak 1950'lerde "girişimsel akımlar" olarak isimlendirilmiştir.<sup>24</sup> 1977 yılında Yakov Kots'un, Russian akımının elit atletlerin kas kuvvetini %40'a ulaştırdığını iddia etmesiyle akım popüler hale gelmiştir. Çalışmasında ayrını ve referans vermemesine rağmen, akım literatürde Russian akımı veya Kots akımı olarak kolayca yer edinmiştir.<sup>25</sup>

Russian akımı frekansı 2500 Hz olan orta frekanslı alternatif akımdır. Akım, polifazik dalga formlarına sahip, ardı sıra gelen burstlerden oluşur. Saniyede 50 periyot içeren akımın her periyodu 10 msn patlama ve 10 msn dinlenme aralığından oluşur. Her 10 msn patlama ise 25 akım döngüsü içerir. En sık sinüs dalgası ve kare dalga uygulaması tercih edilir (Şekil 10.2). Bu patlamalar hastaya verilen toplam akım miktarını azaltarak hasta toleransını artırır.<sup>6,24</sup>

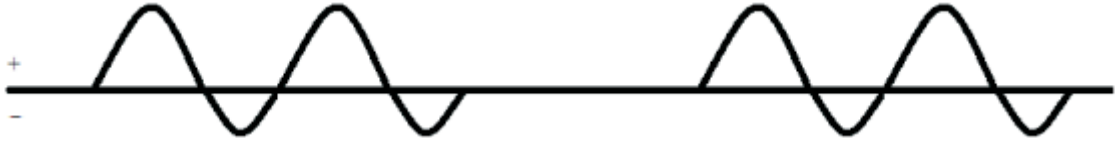
Russian akımının sık tercih edilen parametreleri;

- Atım süresi: 50- 400 msn
- Frekans: 1000 Hz ile 2500 Hz
- Atım döngüsü: 5-15 sn'dir.<sup>26</sup>

#### Russian Akımının Etki Mekanizması

Normal motor elektrik stimülasyonu, motor üniteleri aktive ederek etki gösterir. Bir motor nöron ve onun inerve ettiği kas liflerinden oluşan motor üniteler, istemli kas kasılmaları sırasında en küçük motor ünitelerden başlayarak, kuvvet gereksinimi arttıkça daha büyük motor ünitelere doğru dü-





**Şekil 10.2** Russian Akımı Dalgı Formu (Yazar tarafından oluşturuldu).

zenli bir şekilde aktive olurlar. Russian akımı dahil olmak üzere ES sırasında motor üniteler seçici olmayan bir şekilde kontraksiyon açığa çıkarırlar. En büyük motor üniteler ilk önce kasılır. İstemli kasılmalar sırasında olduğundan daha fazla sayıda kas lifinin aktivasyonu sağlanır. Bu durum daha büyük bir kuvvetin ortaya çıkmasına neden olur. Ancak motor ünitelerin aktive edilmesi seçici olmadığı ve kas liflerinin aktivasyonu asenkron olduğu için, istemli kasılmalar kadar keskin bir kontraksiyon kuvveti elde edilmez. Bu yüzden Russian akımlarında ES ile beraber istemli kas kontraksiyonu da istenir. Bu ikili kontraksiyon mekanizması daha fazla kas lifinin çalışmasını ve hipertrofiyi sağlar.<sup>25,27</sup> Koordinasyonu sağlayan hızlı kasılan ve çabuk yorulan motor üniteleri çalıştıran Russian akımının egzersizle kombinasyonu sayesinde kas gücündeki artışlara paralel olarak atletik beceriler ve koordinasyonun da sağladığını belirtmiştir.<sup>28</sup>

### Russian Akımının Kullanım Alanları

Cilt empedansı, uygulanan akımın frekansı ile ters orantılı olduğu için Russian akımları alçak frekanslı akımlara göre daha derine penetre olmaktadır. Russian akımının açığa çıkardığı kontraksiyon, normal kontraksiyona göre fizyolojik olarak mümkün olduğunca yakındır. Bu sayede hasta rahatsızlığı ve yorgunluğu az olup, akım tolerans seviyesi yüksektir.<sup>29</sup> Russian akımları genellikle kas kuvvetini arttırmak için tercih edilirler. Orta frekanslı stimülasyon uygulanan sporcularda kas kuvveti yaklaşık %30-40 oranında artmaktadır.<sup>30</sup> Russian akımında 50 Hz'lik patlamaların kullanıldığı bir çalışmada maksimum tork 1 kilo hertz (kHz)'lik bir frekansta ortaya çıkmıştır. Optimum etki için doğrudan kas uyarımı yapılan uygulamalarda 2,5 kHz, sinir gövdesi üzerine yapılan uygulamalarda ise 1 kHz'lik frekansın kullanımı önerilmektedir. Maksimum kas torku üretimi için, 2 msn'lik bir patla-

ma süresi ve 1-2,5 kHz'lik bir frekans kullanılabilir. Russian akımlarında rahatsızlık hissi fazla olmakla birlikte, rahatsızlık hissini minimize etmek için 4 msn patlama süresi ve 4 kHz'lik bir frekansla uygulama yapılabilir. Ancak bu durumda daha az kuvvet açığa çıkacağı unutulmamalıdır.<sup>24</sup>

İleri yaştaki nörolojik hastaların kalça kaslarına yapılan Russian akımı uygulaması hastaların motor hareketliliğine olumlu etkiler sağlar.<sup>29</sup> Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrası kuadriseps femoris kas grubunu güçlendirmek için Russian akımı kullanımı, iyileşmeyi kolaylaştırır ve kasılma şiddetini artırır.<sup>31</sup> Russian akımları ekstremitelerdeki kas kuvvetini artırmanın yanı sıra solunum problemlerinde expiratuvar kas kuvvetini arttırmak için kullanılmaktadır. İspirasyon ve ekspirasyon frekansına göre atım ve dinlenme süresi ayarlanarak yapılan 25 dk'lık, 2,5kHz frekanslı uygulamanın expiratuvar kas kuvvetini artırdığı bildirilmiştir.<sup>32</sup>

### Russian Akımının Tedavi Protokolü ve Pratik Bilgiler

Günlük eğitimler sonrasında Russian akımı uygulanan hastalar aşamalı olarak daha yüksek yoğunlukları tolere edebilmektedirler. Bu kazanım sayesinde akım şiddeti ilk seanslardan itibaren hasta tolerasyonu dikkate alınarak arttırılarak ilerlemelidir. Kuvvet üretimini arttırmak isteniyorsa stimülasyonun yorucu etkisi olmalıdır. Bunun için dozun en iyi şekilde ayarlanması gerekir. Russian akımı, Russian tekniği olarak bilinen bir tedavi şekliyle kullanılır. Bu tekniğe 10/50/10 tekniği de denilmektedir. 10 saniyelik bir geçiş periyodu ardından, 50 saniyelik bir dinlenme periyodu uygulanır ve 10 dakika boyunca bu teknik sürdürülür. Bu teknikle stimülasyon sonrasında istemli kas kontraksiyonlarının egzersizle desteklenmesi tavsiye edilir.<sup>25</sup>

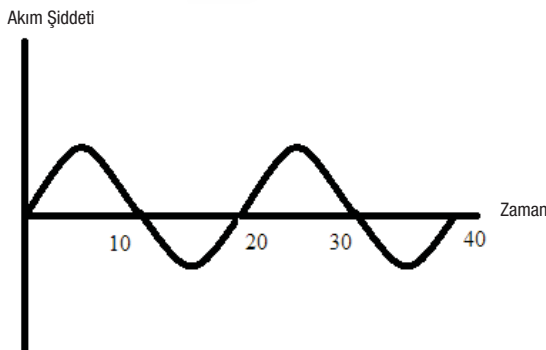
Stimülasyona bağlı olarak duyulan rahatsızlık algısı Russian akımının etkinliğini sınırlayabilir.

Rahatsızlık hissi varsa empedans etkilerini en aza indirmek için elektrot boyutunda ve konumlandırılmasında değişikliklerle birlikte yeniden motor nokta tespiti yapılabilir. Elektrot boyutları genel olarak 5x5cm ölçülerinde tercih edilir. Daha küçük elektrotlar akım yoğunluğunu artırırken, ağrıya sebep olabilir. Büyük elektrotlarsa antagonist kas aktivasyonuna ve açığa çıkması istenen kuvvetin azalmasına sebep olabilir. Klinik uygulamalarda ön şart olan cihaz-hasta hazırlama süreci ve güvenlik önlemlerinin Russian akımları içinde geçerli olduğu unutulmamalıdır.<sup>26</sup>

## Sinüzoidal Akım

### Sinüzoidal Akım Parametreleri

Sinüzoidal akımlar, 50 Hz'lik frekansa sahip simetrik sinüs dalgası akımlarıdır. Bu akımlar, her biri 10 ms'n'lik, saniyede 100 darbe içerir (**Şekil 10.3**). Ara transformatörlerle voltaj 60-80 V'a düşürülerek üretilen akımlar, genellikle ritmik kas kasılmaları sağlamak için kullanılır. Akımın diğer etkileri ise analjezik ve ödemi azaltıcı etkisidir. Belirgin duyuusal stimülasyon özelliğine sahip olan Sinüzoidal akımlar genellikle geniş bölgeler üzerine uygulanır. Lokal kas stimülasyonu sağlamak için ise nadir olarak kullanılırlar.<sup>6</sup> Hastaların konforu ön plana çıkarılarak, ciltte en az doku travmasına neden olan izometrik kasılmaları oluşturulmak istendiğinde sinüs dalga formu önerilmektedir.<sup>33</sup>



**Şekil 10.3** Sinüzoidal Akım (Yazar tarafından oluşturuldu).

### Sinüzoidal Akımın Etki Mekanizması

Sinüzoidal akım uygulamalarında oluşan aksiyon potansiyeli özel olarak duyu ve motor sinirleri uyarmaktadır.<sup>34</sup> Bu akımlar, diğer elektrik akımları-

nın ortaya çıkardığı kimyasal ve ısı etkisi amacıyla kullanılmazlar. Sinüzoidal akımlar, deri üzerinde bir iğneleme hissi açığa çıkarır. Bu his Faradik akımın açığa çıkardığı histen daha fazladır. Uygulamayla birlikte deri altı dokularda kan akımı artarak eritem açığa çıkabilir. Bununla birlikte akım şiddeti artırılarak motor sinirler uyarılabilir.<sup>10</sup> Yüksek frekanslı bifazik akımlarla sodyum kanallarının inaktivasyonundan ziyade potasyum kanallarının aktivasyonu, sinir iletim bloğuna neden olarak analjezik etki gösterir.<sup>34</sup>

### Sinüzoidal Akımın Kullanım Alanları

Bifazik Sinüzoidal akım, ağrı yönetimi, kas stimülasyonu, elektriksel sinir blokajı ve yara iyileşmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Sinir blokajı etkisi sayesinde, Sinüzoidal akımlar ağrı tedavisinde kullanılabilir. İn vivo deneyler, 10 kHz'den büyük sinüzoidal frekansların sıçanlarda lokalize bir bloğa neden olacağını göstermiştir. 5 kHz'in altındaki sinüzoidal frekanslar ise, kas sinir kavşağında nörokimyasalların salınımını azaltacağı için kas kuvvetinde azalmaya yol açabilir.<sup>10,35</sup> Sinir iletimini bloke etmek için daha yüksek frekanslar kullanılırsa stimülasyon yoğunluğu da artırılmalıdır.<sup>34</sup>

Sinüzoidal akımlarda stimulus sayısı arttırılırsa kasta tetanik kontraksiyon açığa çıkar. Sinüzoidal akımlar, denerve kasları uyarabilir fakat yüksek akım şiddetine ihtiyaç duyulduğu için hasta bu akımı tolere edemez. Bu yüzden denerve kaslarda Sinüzoidal akım yerine Faradik akım tercih edilir.<sup>10</sup> Sinüzoidal akımlar inerve kasta kas kuvvetini arttırmak için de tercih edilebilir. Kontraksiyon sağlanması için alçak frekansta yüksek akım şiddeti gerekir. Fakat bu şiddet ve frekanstaki sinüzoidal akım, deri direnciyle karşılaşacağı için hastada iğneleme hissi çok artırır ve akımı tolere etmek zorlaşabilir.<sup>36,37</sup>

Merkezi sistemin sahip olduğu sinüzoidal ritim sebebiyle, Sinüzoidal akımlar merkezi etkiye de sahiptir. Leung ve Yu, Sinüzoidal akımların in vitro olarak hafif depolarize hipokampal CA1 nöronlarında maksimum bir tepkiye neden olduğunu bulmuşlardır.<sup>38</sup>



Literatürde yara iyileşmesini hızlandırmak için de Sinüzoidal akımlar tercih edilmiştir. Özellikle bifazik akımın stimülasyon etkisi kronik yaraların daha hızlı iyileşmesine katkıda bulunur.<sup>39</sup> Diyabetik ayak yaralarını iyileştirmek için 30Hz, 250µsn darbe genişliği ve 20 mA akım parametrelerinde sinüs dalga formuna sahip stimülasyonla tedavi yapılabilir.<sup>40</sup>

Terapatik etkilerinin yanı sıra farklı frekanslardaki Sinüzoidal akımlar duyu değerlendirmesi için kullanılmaktadır. Farklı sinüzoidal uyaran frekansları (5-2000 Hz) kullanarak ağrı eşiği değerinin ölçümü sağlanabilir.<sup>41</sup>

### Sinüzoidal Akımın Tedavi Protokolü ve Pratik Bilgiler

Tedaviye başlamadan önce hastaya, tedavinin neden gerekli olduğu ve tedavi sırasında hissedeceği his açıklanmalıdır. Hissedilecek duyu, hafifçe deride çekilme ve karıncalanma hissi olarak tarif edilebilir. Üst ekstremitede tedavi edilecekse, hasta bir sandalyeye oturtularak önüne ahşap bir tedavi yatağı yerleştirilmelidir. Alt ekstremitede tedavi edilecekse hasta sırt üstü ya da yan pozisyonda yatırılmalıdır. Hastanın cildi kuruysa akım şiddeti arttırıldıkça, hasta deri üzerinde daha fazla rahatsızlık hissedecektir. Bu rahatsızlık hissini azaltmak için tedavi öncesi nemlendirici kremler veya salin solüsyonu uygulama bölgesine sürülmelidir. Bu şekilde cilt üzerindeki direnç 5000 ohm seviyesinden 1000 ohm'a kadar düşürülebilir. Deri üzerinde yara ya da deri katlantısı varsa elektrik yükünün bu noktada yoğunlaşmasını önlemek için bu kısmın üzeri steril vazelin ile kapatılmalıdır.<sup>7</sup>

### Diadinamik Akımlar

#### Diadinamik Akımların Tarihi ve Parametreleri

Diadinamik akımlar, 1950'lerin başında Fransa'da diş hekimi Pierre Bernard tarafından geliştirildi. Pierre Bernard, bu akımların yumuşak doku yaralanmaları ve sistemik bozukluklar üzerinde geniş bir analjezik etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Diadinamik akımlar, Galvanik akımın kombinasyonu ile elde edilir. Diadinamik akımlar, farklı fizyolojik ve terapatik etkilere sahip beş farklı akımı içerir.<sup>42</sup>

Alternatif tip sinüzoidal tek darbeleri monofaz fikse (MF) ve çift darbeleri difaz fikse (DF) akımın tek veya çift yönlü düzenlenmesiyle elde edilen düşük frekanslı akımlardır. Bu iki akım birleştirilerek, kurt periyot (KP), long periyot (LP) ve ritim senkop (RS) elde edilir. Diadinamik akımda tedavi esnasında oluşan risk, Galvanik akımla aynıdır. Ana etki negatif elektrot (katot) altında meydana gelir. Bu elektrot altında uzun süreli kullanımda tahriş edici, yakıcı bir etki oluşabilir. Diadinamik akım çeşitleri aşağıda listelenmiştir.<sup>43</sup>

#### Monofaz Fikse (MF)

MF, 50 Hz frekansa ve sinüzoidal bir dalga formu sahip tek yönlü bir akımdır. Akım, 10 msn aralıklarla dalgalanma gösterir. Güçlü dinamojenik etkiye sahip MF'nin analjezik etkisi düşük fakat uzun sürelidir. MF sırasında hastalar, oldukça güçlü bir titreşim ve derin bir sıkıştırma hissi algılar. MF, spazma bağlı ağrılı durumlarda ve sempatik ganglionların uyarılması istenildiğinde kullanılır.<sup>6,44</sup>

#### Difaz Fikse (DF)

DF, MF gibi 50 Hz frekanslı ancak çift yönlü bir akımdır. Analjezik etkiye sahip olan akım sempatik tonusu azaltır. DF esnasında hasta titreşim ve karıncalanma hissederken, hafif dokunma duyusunda kısa süreli kayıplar olabilir. DF, ağrı modülasyonu için 10-15 saniyelik aralıklarla uygulanır. Dokuların hızlı adaptasyonu nedeniyle optimal uygulamaya süresi 1-2 dakikadır ve diğer Diadinamik akım türlerinin uygulanmasından önce kullanılır.<sup>5,6,43</sup>

#### Kurt Periyot (KP)

Kısa periyotlarla modüle edilen KP, düzenli aralıklarla bir saniyelik tek ve çift darbeleri akımın ritmik değişimiyle oluşturulur. KP'nin vazodilatasyon, hiperemi ve analjezi etkisi vardır. Alt ekstremitelerin iskemik hastalığı, kas atonisi, eklem sertliği, fasyal oftalmik nevralsi, subakut travma sonrası ağrı, kas spazmı için kullanılır. Bir bölge için uygulama süresi yaklaşık 3-5 dakikadır. Toplam uygulama süresi 12 dakikayı geçmemelidir. Fakat alt ekstremitelerin iskemik hastalığının tedavisi için süre artırılabilir ancak 25 dakikayı geçmemelidir. Hedeflenen alan ve dokudaki derinliğine göre uygulamanın

süresi değişmektedir. KP, akut durumlarda günde 2 kez, diğer durumlarda günde 1 kez ve tedavinin devamlılığı sağlanma sürecinde haftada 1 kez uygulanabilir.<sup>5,6,43</sup>

### Long Peryod (LP)

LP elde edilirken, 6 saniye (sn)'lik MF uygulamasından sonra akım DF'ye değiştirilir. DF, kademe- li olarak artan genlikle elde edilen ve 6 sn süren ikinci bir yarım dalgayla (yine 6 s süren) sağlanır. 6 sn'nin sonunda tekrar MF'ye geçilir. LP, inhibitör ve analjezik etkiye sahiptir. Uygun yoğunlukta düz kas üzerinde de uyarıcı etkisi vardır. Nevralji, miyalji, lumbago, genel olarak lokomotor sistemin fonksiyonel bozuklukları, mide ve bağırsak hipotonisi gibi hastalıklarda tercih edilir.<sup>5,43</sup>

### Ritm Senkop (RS)

MF'nin bir modülasyonu olan RS 1 sn geçiş ve 1 sn dinlenme süresine sahiptir. 1 sn'lik geçiş süresi içerisinde eşit atım ve dinlenme sürelerine sahiptir. Tek yönlü bir akım olan RS'nin frekansı 0,5 Hz'dir. Kaslar üzerinde kontraktıl etkisi vardır, fakat tahriş edici olabilir. Kontraksiyon sırasında ağrı meydana geldiği ve tolerasyonu az olduğu için kas kuvvetlendirmesi amacıyla kullanılırken dikkatli olunmalıdır.<sup>5,6,43</sup>

### Diadinamik Akımın Etki Mekanizması

Akımın uygulanması sırasında ortaya çıkan etkiler, tedavi sonlandırıldıktan sonra birkaç saat kadar sürerler. Duyusal ve motor sinirler üzerinde, alçak voltajlı akımların sahip olduğu uyarıcı etkiyi sergilerler. Diadinamik akımların analjezik etkisini açıklayan teorilerden biri, Wall ve Melzack'in kapı kontrol teorisidir. Son zamanlarda, ağrı inhibisyonu için opiat sistem aktivasyonu ağrı modülasyonunda daha popüler hale gelmiştir. Diadinamik akım uygulaması ile endorfin adı verilen polipeptitlerin salınımı analjezik etkiyi açıklamak için kullanılmaktadır. Akımın geçiş ve dinlenme süreleri kısa tutularak ağrı inhibisyonu ve akım toleransı sağlanabilir. Bu sayede dinamojenik etkinin devamı sağlanır. Alternatif olarak, diadinamik akımların dinamojenik etkisi birçok farklı rahatsızlığın tedavisinde kullanılmıştır.<sup>45</sup>

### Diadinamik Akımın Kullanım Alanları

Diadinamik akımlar vücuttan geçişi ile kapiller damarları genişleterek bölgeye kan akışını artırır. Kan akışının artması lokal olarak kasları gevşetir, ödemi ve ağrıyı azaltır. Bu nedenle Diadinamik akımlar, kronik travmalarda, burkulmalarda, dejeneratif eklem hastalıklarında, dolaşım bozukluklarında ve ağrı yönetiminde kullanılır. Demidaş ve Zarzycki, kas-iskelet sistemi bozukluklarında, elektroterapinin dokunma ve ağrı duyusu üzerindeki etkisini araştırdığında Diadinamik akımların dokunma hissini arttırmada etkili olduğu, ağrıyı ise TENS'le benzer seviyede inhibe ettiğini bulmuşlardır. Dolayısıyla TENS'e alternatif bir akım olarak ağrı yönetiminde diadinamik akımların gündeme alınması gerektiğini vurgulamışlardır.<sup>46</sup>

Çok yaygın kullanım alanına sahip olan Diadinamik akımlar, temporomandibular eklem ağrısı tedavisi, dismenore, vertebral kolon ağrıları, osteoartit, eklem burkulmaları, subluksasyonlar, kas yaralanmaları, epikondilit, sudeck atrofisi, miyalji, tortikollis, kas atrofisi, Raynaud sendromu ve Burger hastalığı gibi dolaşım bozuklukları ve nevralsi tedavilerinde de kullanılmaktadır.<sup>45,46,47,48</sup> Özellikle tek bir ajan olarak kullanıldıklarında ağrıyı azaltmada Doğru akım, MENS ve TENS'ten daha fazla etki gösterdiği belirtilmektedir.<sup>47</sup>

### Diadinamik Akımın Tedavi Protokolü ve Pratik Bilgiler

Diadinamik akımlar, Galvanik akım bileşenine sahip düşük frekanslı akımlardır. Uygulamalar sırasında Galvanik akım etkisiyle ciltte oluşacak dejeneratif etkiyi hesaba katmak gerekir. Bu yüzden her bir uygulamanın güvenli uygulama süresi 6 dakika olarak belirlenmiştir. 6 dakikadan daha uzun bir uygulama yapılacaksa akım durdurularak elektrotların yerleri değiştirilmelidir. Eğer elektrot değişimi anot-katod etkisinden dolayı kontraendikeyse veya uygulama süresi 12 dakikadan uzunsa koruyucu solüsyonlar tercih edilmelidir. Diadinamik akım çeşitlerinin kombinasyonu pratikte sık olarak kullanılır. Analjezik etki için LP'den önce CP'nin kullanılması tavsiye edilir. Eğer bu durum dikkate alınmazsa LP'nin analjezik etkisi, KP'nin uyarıcı etkisi tarafından yok edilir. Akımlar, genellikle DF, KP ve LP sırasıyla kullanılır. Galvanik bileşeni %50'den





fazla olan akımlar, uygulama süresi ve akım yoğunluğuna bağlı olarak maksimum 4 veya 5 cm derinliğe ulaşırken, modüle edilmiş Galvanik bileşenleri %66 olan DF ve LP, daha derine ulaşırlar.<sup>44</sup>

Uygulama süresi; hastalığa, hastalığın evresine, tedavinin amacına, hastanın kişilik yapısı ve tutumuna, kas tonus düzeyi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Hastalığın şiddetine göre tercih edilen parametre 3-5 dk uygulanmalıdır. Geniş bir alana veya daha derin yapılara uygulama yapılacaksa uygulama süresi uzatılmalıdır. Akut durumlarda haftada 5 kez, kronik durumlarda haftada 1 kez uygulama yapılmalıdır.<sup>47</sup>

Uygun elektrot büyüklüğü ve akım şiddetinin doğru ayarlanması tedavi verimini artırır. Diadinamik akım kullanılmadan önce 1-3 mA akım şiddetinde dokuya Galvanik akım verilir. Ardından Diadinamik akım şiddeti tolerans seviyesine kadar yükseltilir. Tolerans seviyesi hastadan hastaya değişmekle birlikte genellikle 3- 12 mA arasındadır. DF ve LP akımlar için eşik üstü seviyeyi bir miktar aşmak gerekmektedir.

Uygulamasında farklılıklar gösteren Diadinamik akımlar, akut eklem yaralanmalarından iki gün sonra tercih edilebilir. Doğrudan uygulama yapmanın kontraendike olduğu bölgelerde sinir köklerine paravertebral uygulama yapılabilir. İç organ rahatsızlıklarında iki elektrotla yapılan uygulamalarda elektrotlardan biri paravertebral segmente, diğeri asıl bölgeye yerleştirilerek uygulama yapılabilir. Örneğin; alt ekstremiteye yönelik iskemik problemlerin tedavisinde, anot L3 - S1 bölgesine paravertebral olarak katot ise baldırın ön üst kısmına yerleştirilir. Sempatik aktiviteyi arttırmak için DF 10-12 dk uygulanabilir. Bölgesel kas spazmlarının tedavisinde anot tetik noktaya, katot ise kasanın origosuna yerleştirilir. Kasların ağırlı spazmı için ise CP-LP kombinasyonu kullanılarak, her iki elektrot da kas gövdesine yerleştirilir.<sup>44,47</sup>

## Alçak Voltajlı Akımın Tehlikeleri ve Kontraendikasyonları

Doğru akım ve düşük frekanslı akımlar derinin dış katmanlarında yüksek bir elektrik direnci ile kar-

şılaşır. Derin dokulara yeterli yoğunlukta akımın ulaşması için deri üzerinden yüksek şiddette bir akımın geçmesi gerekir. Dolayısıyla bu tip akımlar derin dokuların tedavisinde ağı açığa çıkarır.<sup>49</sup> Alçak voltajlı akımlar için ise herhangi bir risk durumu belirtilmemiştir. Fakat yüksek ateş, hipertansiyon, anemi, ciddi böbrek ve kalp yetmezliği, kobalt tedavisi geçmişi ve zihinsel engel gibi bazı durumlarda uygulama yapmak için şüpheci yaklaşılmalıdır. Alçak voltajlı bir akım modeli olan TENS uygulamalarında dikkat edilen kontraendike durumlara diğer alçak voltajlı akımlar için de dikkat edilmelidir. Kontraendikasyonlar;

- Tedavi süresinin ve sıklığına bağlı deri altında bazı elektrolitik reaksiyonlar,
- Kalp pili veya implante elektronik cihazların varlığı,
- Hamileliğin ilk trimesteri boyunca,
- Hemorajik durumlar,
- Açık yaralar, karotis sinüs ve göz üzerine uygulamalar,
- Kontrolsüz epilepsi,
- Elektrofobi olarak sıralanabilir.<sup>6,50</sup>

## Kaynaklar

1. Beretta D, Neophytou N, Hodges JM, Kanatzidis MG, Narducci D, Martin- Gonzalez M, et al. Thermoelectrics: From history, a window to the future. Mater Sci Eng R Rep. 2019;138:210-55. doi:10.1016/j.mser.2018.09.001.
2. Macdonald AJR. A Brief review of the history of electrotherapy and its union with acupuncture. Acupunct Med. 1993;11(2):66-75. doi:10.1136/aim.11.2.66.
3. Tiktinsky R, Chen L, Narayan P. Electrotherapy: Yesterday, today and tomorrow. Haemophilia. 2010;16:126-31. doi:10.1111/j.1365-2516.2010.02310.x.
4. Erbahceci F. (2019), Temel fizyoterapi rehabilitasyon. 1. Baskı. Ankara: Hipokrat Kitabevi. ISBN:978-605-7874-31-3
5. Quillen WS, Underwood FB. (2002), Therapeutic modalities for physical therapists. 2. ed. McGraw-Hill/Appleton & Lange. p. 51-112. ISBN:0-07-137692-5
6. Jagmohan S. (2011), Manual of practical electrotherapy. 1. ed. Jaypee Brothers Publisher. p. 8-88 ISBN:9-35-025059-4
7. Vaz MA, Frasson VB. Low-frequency pulsed current versus kilohertz-frequency alternating current: A scoping literature review. Arch Phys Med Rehabil. 2018;99(4):792-805. doi:10.1016/j.apmr.2017.12.001.
8. Mitra PK. (2006), Handbook of practical electrotherapy. 1. ed. Kolkata: Jaypee. p. 15-57. ISBN:8180616207
9. Fischer E. The effect of faradic and galvanic stimulation upon the course of atrophy in denervated skeletal muscles. 1939;127(4):605-19. doi:10.1152/ajplegacy.1939.127.4.605.
10. Karaduman AA, Yılmaz ÖT, Akel BS. (2019), Fizyoterapi ve rehabilitasyon. 1. ed. Hipokrat Yayınevi. p. 135-159. ISBN:978-605-9160-23-0

11. Kramer JF, Mendryk SW. Electrical stimulation as a strength improvement technique: A review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1982;4(2):91-8. doi:10.2519/jospt.1982.4.2.91.
12. Schuhfried O. (2021), Pre- and post-op rehabilitation in facial palsy patients. In: Tzou C-HJ, Rodríguez-Lorenzo A, editors. *Facial palsy: Techniques for reanimation of the paralyzed face.* 1<sup>st</sup> ed. Cham: Springer International Publishing. p. 39-45. ISBN:978-3030507831.
13. Novak CB. Rehabilitation following motor nerve transfers. *Hand Clin.* 2008;24(4):417-23. doi:10.1016/j.hcl.2008.06.001.
14. Lopes B, Sousa P, Alvites R, Branquinho M, Sousa AC, Mendonça C, et al. Peripheral nerve injury treatments and advances: One health perspective. *Int J Mol Sci.* 2022;23(2):918-45. doi:10.3390/ijms23020918.
15. Alvites R, Rita Caseiro A, Santos Pedrosa S, Vieira Branquinho M, Ronchi G, Geuna S, et al. Peripheral nerve injury and axonotmesis: State of the art and recent advances. *Cogent Medicine.* 2018;5(1):1466404. doi:10.1080/2331205X.2018.1466404.
16. Phansopkar P, Athawale V, Birelliwari A, Naqvi W, Kamble S. Post-operative rehabilitation in a traumatic rare radial nerve palsy managed with tendon transfers: A case report. *Pan Afr Med J.* 2020;36(1):1-7. doi:10.11604/pamj.2020.36.141.23994.
17. Chen PY, Cheen JR, Jheng YC, Wu HK, Huang SE, Kao CL. Clinical applications and consideration of interventions of electrotherapy for orthopedic and neurological rehabilitation. *J Chin Med Assoc.* 2022;85(1):24-9. doi:10.1097/jcma.0000000000000634.
18. Doi K. Management of total paralysis of the brachial plexus by the double free-muscle transfer technique. *J Hand Surg Eur.* 2008;33(3):240-51. doi:10.1177/1753193408090140.
19. Ko EJ, Sung IY, Yun GJ, Kang J-A, 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.
20. Karabay İ, Dogan A, Arslan MD, Dost G, Ozgirgin N. Effects of functional electrical stimulation on trunk control in children with diplegic cerebral palsy. *Disabil Rehabil.* 2012;34(11):965-70. doi:10.3109/09638288.2011.628741.
21. Maillefer JF, Eicher JC, Walker P, Dulieu V, Rouhier-Marcier I, Branly F, et al. Effects of low-frequency electrical stimulation of quadriceps and calf muscles in patients with chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil.* 1998;18(4):277-82. doi:10.1097/00008483-199807000-00004.
22. Gremeaux V, Renault J, Pardon L, Deley G, Lepers R, Casillas JM. Low-frequency electric muscle stimulation combined with physical therapy after total hip arthroplasty for hip osteoarthritis in elderly patients: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(12):2265-73. doi:10.1016/j.apmr.2008.05.024.
23. Mettler JA, Magee DM, Doucet BM. Low-frequency electrical stimulation with variable intensity preserves torque. *Journal of electromyography and kinesiology. J Electromyogr Kinesiol.* 2018;42:49-56. doi:10.1016/j.jelekin.2018.06.007.
24. Ward AR. Electrical stimulation using kilohertz-frequency alternating current. *Phys Ther.* 2009;89(2):181-90. doi:10.2522/ptj.20080060.
25. Ward AR, Shkuratova N. Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther.* 2002;82(10):1019-30. doi:10.1093/ptj/82.10.1019.
26. da Silva VZM, Durigan JLQ, Arena R, de Noronha M, Gurney B, Cipriano G. Current evidence demonstrates similar effects of kilohertz-frequency and low-frequency current on quadriceps evoked torque and discomfort in healthy individuals: A systematic review with meta-analysis. *Physiother Theory Pract.* 2015;31(8):533-9. doi:10.3109/09593985.2015.1064191.
27. Bickel CS, Gregory CM, Dean JC. Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: A critical appraisal. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2399-407. doi:10.1007/s00421-011-2128-4.
28. Nelson RM, Carrier DP. (1991), *Clinical electrotherapy.* 2nd ed. USA: Appleton&Lange. ISBN:0-8385-1334-1334.
29. Amirova L, Avdeeva M, Shishkin N, Gudkova A, Guekht A, Tomilovskaya E. Effect of modulated electromyostimulation on the motor system of elderly neurological patients. Pilot study of Russian currents also known as kotz currents. *Front Physiol.* 2022;13:1-8. doi:10.3389/fphys.2022.921434.
30. Delitto A, Brown M, Strube M, Rose S, Lehman R. Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weightlifter: A single subject experiment. *Int J Sports Med.* 1989;10(3):187-91. doi:10.1055/s-2007-1024898.
31. Snyder-Mackler L, Delitto A, Stralka SW, Bailey SL. Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther.* 1994;74(10):901-7. doi:10.1093/ptj/74.10.901.
32. Acqua AMD, Döhnert MB, Dos Santos LJ. Neuromuscular electrical stimulation with Russian current for expiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Phys Ther Sci.* 2012;24(10):955-9. doi:10.1589/jpts.24.955.
33. Bennie SD, Petrofsky JS, Nisperos J, Tsurudome M, Laymon M. Toward the optimal waveform for electrical stimulation of human muscle. *Eur J Appl Physiol.* 2002;88(1):13-9. doi:10.1007/s00421-002-0711-4.
34. Changfeng T, Groat WCD, Roppolo JR. Simulation of nerve block by high-frequency sinusoidal electrical current based on the Hodgkin-Huxley model. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2005;13(3):415-22. doi:10.1109/TNSRE.2005.847356.
35. Williamson RP, Andrews BJ. Localized electrical nerve blocking. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2005;52(3):362-70. doi:10.1109/TBME.2004.842790.
36. Selkowitz DM. Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys Ther.* 1985;65(2):186-96. doi:10.1093/ptj/65.2.186.
37. Soo CL, Currier DP, Threlkeld AJ. Augmenting voluntary torque of healthy muscle by optimization of electrical stimulation. *Phys Ther.* 1988;68(3):333-7. doi:10.1093/ptj/68.3.333.
38. Leung LS, Yu H-W. Theta-frequency resonance in hippocampal CA1 neurons in vitro demonstrated by sinusoidal current injection. *J Neurophysiol.* 1998;79(3):1592-6. doi:10.1152/jn.1998.79.3.1592.
39. Cukjati D, Robnik-Šikonja M, Reberšek S, Kononenko I, Miklavčič D. Prognostic factors in the prediction of chronic wound healing by electrical stimulation. *Med Biol Eng Comput.* 2001;39(5):542-50. doi:10.1007/BF02345144.
40. Petrofsky JS, Lawson D, Berk L, Suh H. Enhanced healing of diabetic foot ulcers using local heat and electrical stimulation for 30 min three times per week. *J Diabetes.* 2010;2(1):41-6. doi:10.1111/j.1753-0407.2009.00058.x.



41. New PZ, Jackson CE, Rinaldi D, Burris H, Barohn RJ. Peripheral neuropathy secondary to docetaxel (Taxotere). *Neurology*. 1996;46(1):108-11. doi:10.1212/WNL.46.1.108.
42. Camargo BF, Santos MMd, Liebano RE. Hypoalgesic effect of Bernard's diadynamic currents on healthy individuals. *Rev Dor*. 2012;13:327-31. doi: 10.1590/S1806-00132012000400004.
43. Kipenskiy AV, Korol II, Prochenko NS. Formation of diadynamic currents with a universal low-frequency signal generator for electrotherapy. In 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek);2020:299-304. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250168.
44. de la Barra Ortiz HA, Cofré C, López C, Montecinos I. Efficacy of diadynamic currents in the treatment of musculoskeletal pain: A systematic review. *Physiother Quart*. 2021;31(3):1-25. doi:10.5114/pq.2023.117021.
45. Ratajczak B, Hawrylak A, Demidaś A, Kuciel-Lewandowska J, Boerner E. Effectiveness of diadynamic currents and transcutaneous electrical nerve stimulation in disc disease lumbar part of spine. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2011;24:155-9. doi:10.3233/BMR-2011-0289.
46. Demidaś A, Zarzycki M. Touch and pain sensations in diadynamic current (DD) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): A randomized study. *Biomed Res Int*. 2019;2019:1-7. doi:10.1155/2019/9073073.
47. Pelikán M. (2010). *Přístroj pro elektroléčbu*. 1 ed. Vysoké učení technické, Brně. p. 23-60
48. Kırdı N. (2016). *Elektroterapide temel prensipler ve klinik uygulamalar*. 2nd ed. Ankara: Hipokrat Kitabevi. ISBN:978-605-9160-03-2.
49. Goats GC. Interferential current therapy. *Br J Sports Med*. 1990;24(2):87-92. doi:10.1136/bjism.24.2.87.
50. Coutaux A. Non-pharmacological treatments for pain relief: TENS and acupuncture. *Jt Bone Spine*. 2017;84(6):657-61. doi:10.1016/j.jbspin.2017.02.005.









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

Bölüm

11

1



# Ultra-Reiz (Trabert) Akımları

ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARI: MEHMET DURAY

## Ultra-Reiz Akımının Tarihçesi

Günümüzde Ultra-Reiz akımları olarak bilinen Trabert akımları, 1957 yılında Dr. Trabert tarafından tanımlanmıştır. Elektrik akımının geçtiği bölgelerde masaj etkisi yaratmayı amaçlayan Ultra-Reiz akımları ile tedavide analjezi ve hiperemi etkisinin meydana gelmesi amaçlanmaktadır. Uygulanan bölgede dalgalı ve yoğun bir etki yaratmak üzere tasarlanan Ultra-Reiz akımları, yarattığı masaj etkisi nedeniyle ilk yıllarda “stimülasyon akımı masajı” olarak adlandırılmıştır.<sup>1,2</sup>

## Ultra-Reiz Akımının Özellikleri

Ultra-Reiz akımının frekansı 143 Hertz (Hz) ve atım periyodu 7 milisaniye (ms)'dir. Akım 2 ms geçiş süresi ve 5 ms dinlenme süresi olan monofazik kare dalga özelliğindedir (Şekil 11.1). Deriye uygu-

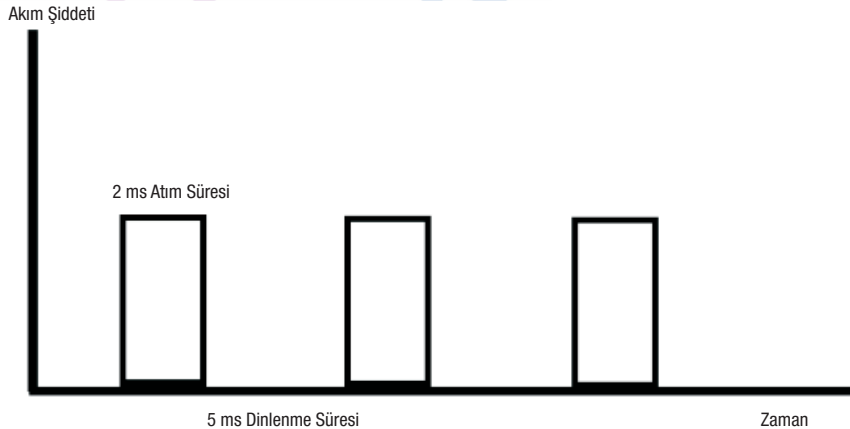
lanan Ultra-Reiz akımı, Galvanik akım etkisi ile duyuşsal uyarı etkisini birleştirir. Ultra-Reiz akımının Galvanik bileşeni %28,5 civarındadır.<sup>2-5</sup> Ultra-Reiz akımının gücü değişmekle birlikte sabit bir kutbu ve akım yönü vardır.<sup>3</sup>

Ultra-Reiz akımı, dejeneratif lezyonlar sonrası semptomların tedavisi için kullanılır.<sup>6</sup> Akım uygulandığında, hasta masaj etkisi ile kaslarda rahatlatma ve iyilik hali hisseder, ardından rahatsız edici olmayan bir patlama hissi oluşur.<sup>2</sup>

## Ultra-Reiz Akımının Etki Mekanizması

Ultra-Reiz akımının başlıca etkileri ve amaçları;

- Sempatik sistemin aktivasyonunu azaltmak ve parasempatik sistemin aktivasyonunu arttırmak,
- Ağrıyı azaltmak,



Şekil 11.1 Ultra-Reiz Akımı (Yazar tarafından çizilmiştir)

- Kas spazmlarını gevşetmek,
- Kan dolaşımını arttırmak,
- Yansıyan etki,
- Kas kasilması oluşturmaktır.<sup>2,5-7</sup>

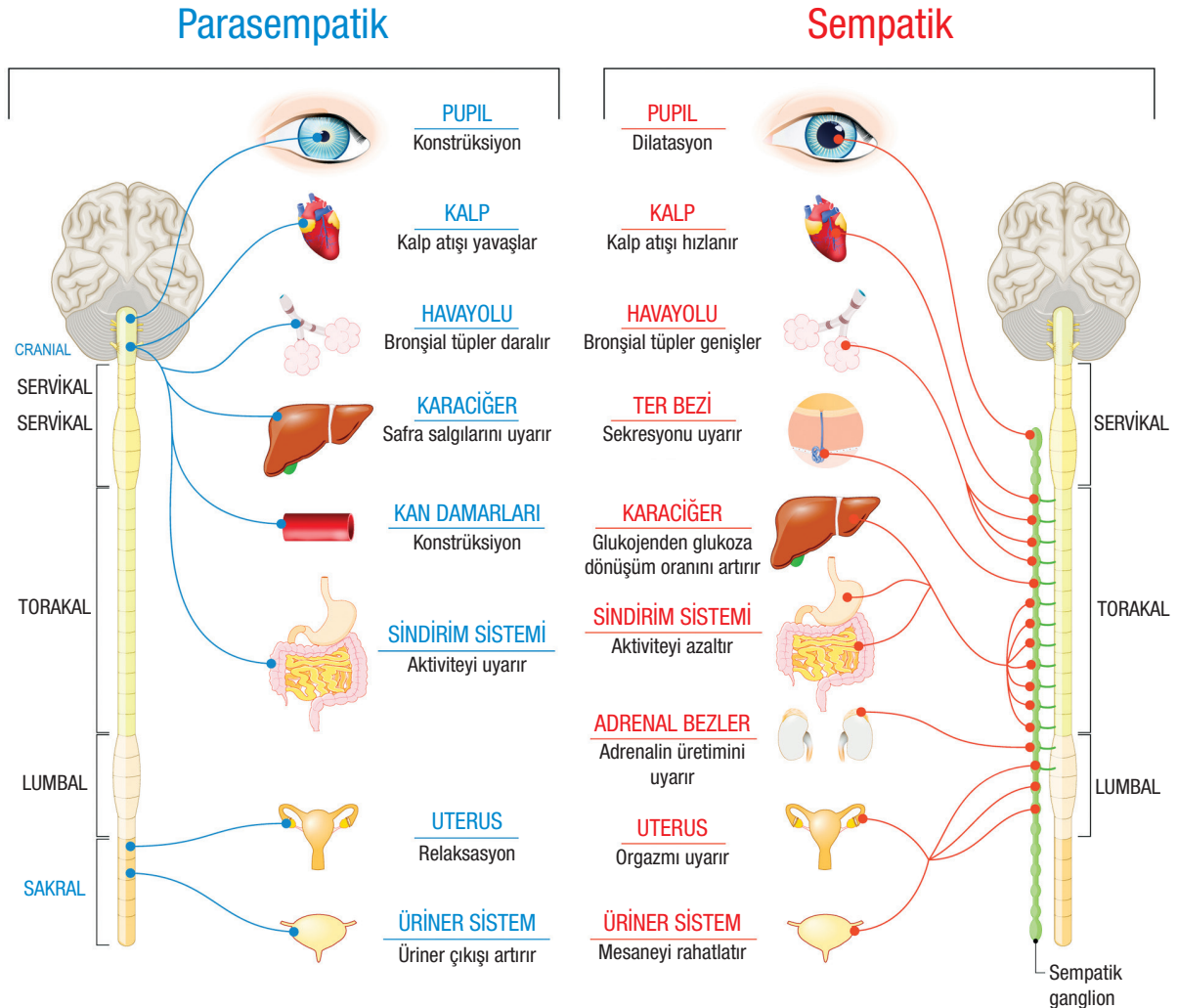
## Sempatik Sistem Aktivasyonunun Azaltılması ve Parasempatik Sistem Aktivasyonunun Artırılması

Ultra-Reiz akımı yalnızca motor ve duyu sinirlerini uyarmakla kalmaz, aynı zamanda otonom sinir sistemi üzerinde düzenleyici bir etki de oluşturur. Ultra-Reiz akımı ile tetanik kasılma sağlanarak kas gerginliği azaltılabilir ve sempatik aktivasyon yanıtı kırılabilir. Ancak otonom sinir sisteminin parasempatik kısmının Ultra-Reiz akımı ile uyarılması refleks olarak vazodilatasyona neden olur.

Ultra-Reiz akımı ile otonomik uyarının istendiği durumlarda elektrotlar otonom sinirlerin geçiş yoluna uygun olarak yerleştirilmelidir.<sup>8</sup> Parasempatik ve sempatik sistem fonksiyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.

## Analjezi Sağlanması

Ultra-Reiz akımını kullanmanın en yaygın amacı ağrıyı azaltmaktır. Ultra-Reiz akım uygulamaları sonrasında ağrının azaldığını belirten bazı yayınlar bulunmaktadır.<sup>8-10</sup> Ağrı, ister bir travma sonrası A-delta lifleri ile iletilen yüksek iletim hızına sahip bir ağrı, ister miyelinsiz C lifleri ile düşük iletim hızına sahip derin bir ağrı duyusu olsun, geçiş yolunun herhangi bir noktasından bloke edilebilir. Ağrı liflerinin taşıdığı iletinin diğer afferent sinirleri uyarak



Şekil 11.2 Parasempatik ve Sempatik Sistem Fonksiyonları.



engellenmesi yöntemine “maskeleme etkisi” adı verilmektedir. Bu etki özellikle elektrik stimülasyonu uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. Ultra-Reiz akımının frekansı (143 Hz), iletim hızı yavaş olan ağrı liflerinin frekansından daha yüksek olduğundan maskeleme etkisi daha belirgin hale gelir.<sup>2</sup>

Ultra-Reiz akımının ana etkilerinden biri duyu-sal uyarım oluşturmaktır. Hızlı eksteroseptif sinir lifi uyarımı medulla spinalis seviyesindeki ağrıyı bloke eder.<sup>3,6</sup> Ancak opioid peptid salınımını uyaran Ultra-Reiz akımı ağrının daha güçlü modülasyonuna olanak tanır.<sup>6</sup>

Özellikle spinal ağrıların rehabilitasyonunda Ultra-Reiz akımı kapı kontrol teorisine uygun olarak kalın miyelini afferent lifleri uyarak ağrı modülasyonu sağlayabilmektedir. Tedavinin vakum uygulamasıyla birleştirilmesi analjezik etkiyi artırır ve ağrıya bağlı lumbosakral hareket limitasyonunu azaltır.<sup>11</sup> Ultra-Reiz akımları, sporcu rehabilitasyonunda da kullanılabilir.<sup>1</sup> Elektrot yerleşimi ağrılı bölgenin özelliklerine göre fizyoterapist tarafından belirlenir.<sup>12</sup>

## Kas Spazmlarının Gevşetilmesi

Ultra-Reiz akımı masaj etkisine sahiptir. Hem kan akımındaki artış hem de kas üzerindeki mekanik uyarı, kas spazmını azaltır.<sup>2</sup> Ultra-Reiz akımı, sempatik sistem aktivitesini ve dolayısıyla kas gerginliğini azaltan tetanik kas kasılmaları üretir. Masaj etkisinin yanı sıra otonomik etki de vazodilatasyon sağlayarak kas spazmlarını rahatlatır.<sup>6</sup>

## Kan Dolaşımının Artırılması

Ultra-Reiz akımının geçiş ve dinlenme süresi (2-5 ms), tedavide kan akımını arttırmak için oldukça uygundur. Öncelikle şunu belirtmek gerekir ki, kas aktivitesinin uyarılması kaslarda pompalama etkisi ile kan akımını artırmaktadır. Kas fonksiyonunun artması sonucu oluşan metabolik aktivite, arteriyovenöz ve lenfatik dolaşımı artırır. Ancak bu mekanizma ile dolaşımın artmasının ön şartı, elektrik akımı uygulanan kasın parietik olmaması ve uyarılabilirlik açısından tamamen sağlıklı olmasıdır.<sup>2</sup>

Ultra-Reiz akımının dolaşımı artırıcı bir diğer etkisi de hiperemi oluşturmaktır. Ultra-Reiz akımı sonrası hiperemi sadece cilt yüzeyinde değil aynı

zamanda kasların derin katmanlarında da meydana gelir. Bu durum deri ve kaslar arasındaki agonistik reaksiyonu tanımlamaktadır.<sup>2</sup>

Uygulama parasempatik uyarıya neden olduğu gibi aynı zamanda refleks vazodilatasyon da yaratmaktadır.<sup>5,6</sup>

## Yansıyan Etki

Ultra-Reiz akımı ayrıca kutanöz refleksleri uyarır ve iç organlardaki dolaşımı artırır. Deri sinirleri veya iç organların damarları üzerinde etkili olan otonom liflerin uyarılmasıyla, bu sinirlerin inerve ettiği düz kaslar uyarılır. Ultra-Reiz akımından etkilenen bölgelerde histamin ve asetilkolin gibi vazoaaktif maddelerin salınması da kan dolaşımının artmasına destek olur. Deri ile organlar arasındaki bu refleks bağlantı sayesinde iç organlara kanın yönlendirilmesi sağlanır. Masaj gibi farklı fizyoterapi ve rehabilitasyon uygulamalarında da durum böyledir. Deriye yapılan müdahaleler vücudun farklı kısımlarında ve segmentlerinde tedavi edici refleks etkiler üretebilmektedir.<sup>2,3</sup>

## Kas Kontraksiyonlarının Meydana Gelmesi

Ultra-Reiz akımı ayrıca kas kasılmaları oluşturmak ve atrofiyi önlemek için kullanılır.<sup>5,13</sup> Bu kas kasılmalarını direkt gözlemlemek zordur. Akıma karşı geliştirilen akomodasyon (uyum), bir süre sonra palpasyonla veya gözlemlenmesi tespit edilen kasılma miktarını azaltır.<sup>13</sup>

## Ultra-Reiz Akımı Uygulaması

Ultra-Reiz akımı orta büyüklükteki elektrotlarla (8x10 veya 9x12) uygulanır.<sup>3,13,14</sup> Özellikle spinal uygulamalarda kullanılan elektrotlar paravertebral veya longitudinal olarak yerleştirilir.<sup>2,14</sup> Elektrotlar arası mesafe 3-4 cm olmalıdır. Akım şiddeti kontrollü bir şekilde artırılır. Hasta, rahatsızlık veremeyecek bir karıncalanma hissettikten sonra hastaya uygun optimum akım şiddeti belirlenerek bu akım şiddetinde uygulama yapılır. Hasta birkaç dakika içinde iletilen akımı hissetmeyecektir. Hastanın bildirim üzerine akım şiddeti hasta hissedene kadar tekrar artırılır.<sup>14</sup>

Kontraksiyon elde etmek amacıyla yapılan uygulamalarda fizyoterapistin gözlemi ön plana çıkmaktadır. 143 Hz'in tetanik kasılmalara neden olan bir frekans değeridir. Bu nedenle uygulama yapılan tüm kas lifleri aktive olur ve kasılır. Dolayısıyla akım şiddeti fizyoterapist tarafından çok iyi ve dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Tolere edilebilir motor eşiğin aşılması için akım kademeli olarak artırılır. Fizyoterapist akıma ince ayar yapma becerisine sahip olmalıdır. Üst ve alt ekstremitede eklemlere yapılan tedavilerde kemiğe uyarı vermek için doğrudan hedef bölgeye (ekleme) uygulama yapılmamalıdır.<sup>2</sup>

Fizyoterapistlerin spinal kasların optimal düzeyde çalışıp çalışmadığını belirlemeleri zordur. Bu nedenle kas kasılma ve gevşemelerinin farkında olmak için akım şiddeti azaltılıp tekrar artırılabilir.<sup>2</sup>

İster hissedilen karıncalanma hissi, ister elde edilen kasılma miktarı olsun, istenilen etki azaldıkça akım şiddeti artırılarak 5 ile 7 dakika içerisinde hastanın tolerans sınırına ulaşılır. Hastaya göre değişmekle birlikte 70-80 miliampere (mA) kadar çıkarılabilen akım şiddeti, kalın nemli sünger veya çok su emen elektrot pedleri ile uygulanmalıdır.<sup>3,13,14</sup>

Akım güçlü bir metabolik değişikliğe neden olduğundan seanslar arasında en az bir gün araya ihtiyaç duyulabilir. Günlük kullanımda termal reaksiyonlar, taktıl hassasiyet ve farklı ağrı türleri gelişebilir. Bu etkileri önlemek için Ultra-Reiz akımı benzer amaçlar sağlayan diğer akımlarla birlikte kullanılabilir.<sup>3</sup>

Ultra-Reiz akımının 6-8 seans kullanılması önerilse de tedavi amacına ulaşma durumuna göre seans sayısı kısaltılabilir. Ultra-Reiz akımı etkin bir şekilde uygulanabildiği takdirde ilk 2-3 seansta başarılı sonuçlar alınmaktadır.<sup>3,13</sup> Tek seans sonunda özellikle ağrının inhibisyonunda olumlu etkiler olduğu bildirilmektedir.<sup>4,13</sup>

## Ultra-Reiz Akımının Endikasyonları

- Radikülopati, servikal, torasik ve lumbal bölge osteokondrozu ve spondiloartroz<sup>2</sup>

- Diğer spinal dejenerasyonlar<sup>1,2</sup>
- Diğer osteokondroz ve artroz<sup>2,13</sup>
- Sudeck Atrofisi<sup>5</sup>
- Nevralji<sup>13</sup>
- Hiperaleji<sup>5</sup>
- Travma sonrası durumlar<sup>13</sup>
- Osteoartrit<sup>15</sup>
- Miyalji<sup>2</sup>
- Spinal ağrı<sup>11,16</sup>
- Hemiplejik omuz ağrısı<sup>12</sup>

## Kontraendikasyonlar

Ultra-Reiz akımının paretik kaslara uygulanması kontrendikedir. Kaslar 143 Hz uyarıya yanıt verebilir veya çok kısa sürede yanıt verebilir. Kası uyarıya zorlamak mevcut kas denervasyonunu artırabilir.<sup>2</sup>

Ultra-Reiz akımı metal implantların üzerine veya yakınına uygulanmamalıdır. Uygulanması durumunda elektroforetik etki ile elektrokimyasal yanıklar meydana gelebilir. Bu nedenle elektrot yerleşimi metal implanttan en az 15-20 cm uzağa yapılmalıdır.<sup>3</sup> Ultra-Reiz akımı;

- yüksek ateşi olan,
- malignitesi olan,
- tüberküloz tanısı konan,
- hamile (özellikle bel bölgesinde),
- kalp pili veya implant stimülatörleri kullanan,
- kooperasyon problemleri olan (verilen akım şiddeti hakkında geri bildirim veremeyen)<sup>13</sup> bireylerde kullanılmamalıdır.

## Kaynaklar

1. Wenk W. Einführung in die elektrotherapie. medizintechnik: Verfahren-systeme-informationsverarbeitung. 2007;603-14. doi:10.1007/978-3-540-34103-1\_34.
2. Nausester V. Ultra-Reizstrom: Nach Träbert. Zeitschrift des Schweizerischen. 1978;1-4. doi:10.5169/seals-930605.
3. Rodrigues Martín JM. (2004), Electroterapia en fisioterapia. 2nd ed. Madrid: Médica Panamericana. ISBN:978-84-7903-753-6.
4. Efisioterapia. Tratamiento de las AAF: Corrientes Trabert. Accessed: <https://www.efisioterapia.net/articulos/tratamiento-las-aaf-corrientes-trabert>. Date:17.06.2023.
5. Laskowska J, Hadlaw-Klimaszewska O, Jankowska A, Zdziechowski A, Woldańska-Okońska M. Overview of wellness methods for people practicing sports. Wiadomości Lekarskie. 2021;74(2):355-61. doi:10.36740/WLek202102133.
6. Dakowicz A, Milewska AJ, Gradkowska A, Matys A, Tarkowska K, Białowieżec M. Efficiency of selected physiotherapeutic





- treatments for low back pain. *Prog Health Sci.* 2016;6(2):70-6. doi:10.5604/01.3001.0009.5051
7. Jagielski J. Próba Zastosowania Lasera Jako Jednej Z. Metod leczenia fizjoterapeutycznego w bólowych zespołach kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. *Balneol Pol.* 1994;35:11-13. doi:10.21164/pomjlifesci.460.
  8. Kuciel-Lewandowska J, Olejniczak V, Paprocka-Borowicz M, Berner E, Ratajczak B, Hawrylak A. The efficiency evaluation of the Träbert and Kotz currents therapy in patients with lumbar pain. *Acta Bio-Opt Inform Med.* 2010;3(16):215-8.
  9. Kuciel-Lewandowska J, Jarosz N. The efficiency evaluation of the tens and Träbert currents therapy in patients with lower spine pain. *Acta Balneolog.* 2010;52(1):16-23.
  10. Szczepanowska-Wołowiec B, Dudek J. the estimation of the effectiveness of Träbert's current treatment for pain ailments in the lumbar spine section. *Med Stud.* 2008;9:41-50.
  11. Charłusz M, Gasztych J, Irzmański R, Kujawa J. Comparative analysis of analgesic efficacy of selected physiotherapy methods in low back pain patients. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2010;12(3):225-36. PMID:20675864.
  12. Amin LML. (2020), Rehabilitation plan and process in patients after stroke. Bachelor's Thesis. Masaryk University Faculty of Medicine. Accessed: [https://is.muni.cz/th/loj2d/Final\\_Thesis.pdf](https://is.muni.cz/th/loj2d/Final_Thesis.pdf). Date:17.06.2023.
  13. Kırdı N. (2016), Elektroterapiye temel prensipler ve klinik uygulamalar. 2nd ed. Ankara: Hipokrat Kitabevi. ISBN:978-605-9160-03-2.
  14. Chwieško-Minarowska S, Kurylczyn-Moskal A, Ołędzka A, Moskal-Jasińska D. The effectiveness of short-term massage versus Träbert current therapy in patients with low back pain. *Acta Balneologica.* 2019;61(4):247-51. doi:10.36740/ABal201904104.
  15. Decintan WN, Pristianto A, Santosa TB. (2022), Efek electro therapy Trabert current and pulse burst knee osteoarthritis pain grade II. Academic Physiotherapy Conference Proceeding. ISSN: 2809-7475. Accessed: <https://proceedings.ums.ac.id/index.php/apc/issue/view/3>. Date:17.06.2023.
  16. Jaber NA, Noori AS, Hussien EA, Jaber MA. A review of treatment methods using electrical stimulation. *J Pharm Sci.* 2022;6(6):1-16. doi:10.26389/AJSRP.B040922.

OK 4 Stim





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

Bölüm

12

1

# Mikroakım Elektriksel Nöromusküler Stimülasyon



ÇEVİRİ YAZARLARI: FATMA NUR ALÇIN • BETÜL SÖYLEMEZ • NİLÜFER ÇETİŞLİ-KORKMAZ  
BÖLÜM YAZARLARI: DOVYDAS GEDRIMAS • VAİDA ALEKNAVIÇIÜTĒ-ABLONSKĒ

## Mikroakım Elektriksel Nöromusküler Stimülasyon

Mikroakım Elektriksel Nöromusküler Stimülasyon (MENS) mikroamper aralığında akım veren bir fizik tedavi yöntemi olarak geliştirilmiştir. MENS'in tendon yaralanmaları, cilt ülserleri, yatak yaraları ve bağ yaralanmaları dahil olmak üzere ağrının giderilmesi ve doku onarımının kolaylaştırılması gibi çeşitli fizyolojik etkilere sahip olduğu bildirilmiştir.<sup>1-8</sup>

Yumuşak doku iyileşmesini artırmak ve kırık kaynamamalarını tedavi etmek için başarılı bir şekilde kullanılmıştır. MENS'in bu koşulların tedavisindeki etkinliği, bazı klinisyenlerin kas-iskelet sistemi yaralanmalarının tedavisinde de değerli olabileceğini öne sürmelerine yol açmıştır.<sup>9</sup>

MENS, eşik altı, düşük amperajlı akım sağlayan ve dolayısıyla canlı dokuda bulunan elektrik yoğunluğunu taklit eden fiziksel bir yöntemdir. Düşük akım şiddetindeki mikroakımlar hasarlı kas dokularına iletilirse, hücre içi Ca<sup>2+</sup> homeostazının korunması ve adenosin trifosfat (ATP) üretiminin artması gibi çeşitli mekanizmalarla değişen membran fonksiyonunu kontrol edebilir. Çalışmalar, kas hasarının düşük amperajlı <500 µA MENS terapisi ile tedavisinin kas semptomlarının şiddetini azaltabileceğini ortaya koymuştur.<sup>10</sup>

MENS ile hasta akımı hissedemez çünkü duyuşal sinir liflerini uyarmak için yeterli akım yoktur. Geleneksel olarak MENS tedavisi, yaralanmış

sporcularda iyileşme oranını artırmak, kas ağrısı ve fonksiyon bozukluğunu tedavi etmek ve yönetmek ve kırık onarım oranını artırmak için kullanılmıştır.<sup>11</sup>

Günümüzde, kolateral etkinin yokluğu, düşük maliyet ve kolay kullanımın yanı sıra, etkilerinin hücre düzeyinde gerçekleşmesi (protein sentezleme aktivitesi, ATP üretiminin artması), duyuşal eşik altı olması (yani ağrısız olması) sebebi ile MENS gibi düşük yoğunluklu akım kullanımına olan ilgi artmaktadır.<sup>12</sup>

## MENS'in Fizyolojik Etkileri Ağrı Kontrolü

MENS tedavisi, hala birçok klinisyen için bilinmeyen ve görece belirsiz bir modalite olarak kalmaktadır. Bu kısmen, MENS terapisinin bazı formlarını kullanan çalışmaların ağrının giderilmesinde kullanımına dair kanıt bulamamasıyla birlikte, etkinliğine dair karışık kanıtlardan kaynaklanıyor olabilir. Mikro-TENS cihazı olarak da adlandırılan MENS cihazının kullandığı ağrı kontrol mekanizması, duyuşal uyarım yoluyla sinirleri uyarak çalışan geleneksel Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu (TENS) ile farklılık gösterir. MENS'in ağrı kontrolü için teorisi, sinir dokularının sabit Doğru Akım (DA) akışını oluşturabileceği veya değiştirebileceği ve bu durumun ağrılı uyarımın iletilmesini saptırabileceğidir. MENS ayrıca sinir hücresi membranını, iletimi engelleyecek nörotransmitterlere karşı daha duyarlı hale getirebilir. MENS'in

kullanıldığı ağrı kontrol mekanizması hala araştırma aşamasındadır. MENS, akut diz ağrısı üzerinde 4 hafta boyunca ağrıyı azaltma ve fonksiyonu artırma eğilimi göstermiştir. Ayrıca bu müdahale sırasında doğal doku iyileşmesi de meydana gelir.<sup>13</sup>

10 ile 500  $\mu$ A aralığındaki akımın, dokularda ATP üretimini, amino asit taşınmasını, protein sentezini ve atık ürünlerin uzaklaştırılmasını artırdığı, ATP üretiminin ise 500-1000  $\mu$ A arasında dengelendiği ve 1000  $\mu$ A'nın üzerinde ise azaldığı gözlemlenmiştir.<sup>14</sup>

TENS cihazları, ATP üretimini azaltmada görülen akım seviyelerinden 60 kat daha yüksek akım düzeyleri sağlar, bu da TENS ünitelerinin gecikmiş başlangıçlı kas ağrısının (GBKA) tedavisinde neden etkili bulunmadığını açıklayabilir. Tipik Mikroakım uygulamalarında yalnızca 0,3 Hertz (Hz), 3 Hz, 10 Hz, 30 Hz ve 300 Hz gibi düşük frekanslar kullanılır.<sup>9</sup>

MENS kullanma yöntemlerinden biri, mikroakım sinyallerinin manipülasyon teknikleriyle yönetilmesine olanak tanıyan özel "dönüştürücü eldivenler"dir. Bu, birçok tıbbi ve spor uygulaması için önemli bir bileşendir ve rehabilitasyon ve antrenman amaçlarıyla geniş ölçüde kullanılır. Farklı hücrelerle karşılaştırılabilir elektrik alan ve akımlarının kullanımı, büyümenin uyarılması, doku restorasyonu ve ödemin azalmasıyla sonuçlanır. ATP üretimi üzerindeki sonuçlar proton hareketleri ile tanımlanırken, amino asitlerin hücre içinde taşınması membranlar boyunca elektrikli gradyanların değişmesi ile kolaylaştırılır. Hasarlı kasların uyarılması sürecinde, MENS, hücre içi  $Ca^{2+}$  homeostazının korunması ve ATP seviyelerinin artırılmış üretimi gibi çeşitli süreçlerle değiştirilmiş membran işlevini yönetir.<sup>12</sup>

Konjenital musküler tortikollisli bebeklerde MENS tedavisinin boyun hareket açıklığını iyileştirdiğine dair kanıtlar vardır, çünkü MENS tedavisinin terapötik etkisi muhtemelen sarkomer sayısındaki ve ATP üretimindeki artışla ilişkilidir, böylece kas hücrelerindeki sarkomer sayısındaki azalma nedeniyle bir kasi kısalmış pozisyonda tutmak bir dezavantaj olduğundan kontraktiletiyi iyileştirir. MENS kullanılırken akım şiddeti 25  $\mu$ A ve frekans 8 Hz olmalıdır. Tedavi süresi 4 hafta boyunca günde

60 dakika (dk) olarak önerilir. Bu akım yoğunluğu seviyesi her çocuğun duyu eşliğinin önemli ölçüde altındadır. Akım, her 2 saniyede (sn) bir polaritesi tersine çevrilen monofazik dikdörtgen atım formatı ile karakterize edilmelidir.<sup>16</sup>

## Doku İyileşmesi

MENS, şu anda yumuşak doku iyileşmesi ve kaynamamış kırık tedavisi de dahil olmak üzere bir dizi durumda iyileşmeyi desteklemek için başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. MENS'in miyalji başlangıcını geciktirdiği, sempatik sinir tonusunu iyileştirdiği, yara iyileşmesini desteklediği, beta-endorfin ve ağrı eşiği seviyelerini artırdığı, bakteriyel büyüymeyi baskıladığı, kas yorgunluğunu ve ağrısını azalttığı ve kan akım hızını artırdığı gösterilmiştir. Kronik sırt ağrısı olan miyofasiyal ağrı sendromlu hastalarının tedavisi sırasında MENS terapisinin neden olduğu ağrı hafiflemesi ve doku değişiklikleri gözlemlenmiştir.<sup>17</sup>

200-800  $\mu$ A arasındaki mikroakım stimülasyonu, dokuyu ihtiyaç duyulan oranda ATP ile şarjmenin bir yoludur. Bu sayede, araştırmaların çoğu iyileşme oranındaki %200 artışın birçok duruma uygulandığında açıklanabileceğini göstermektedir. Klinik anlamda, herhangi bir iyileşme süreci büyük miktarda ATP gerektirir ve dokudaki ATP'yi artırma yoluyla hızlandırılabilir. MENS bunu dokudaki ATP'yi %400'e kadar artırarak gerçekleştirir. Vücudun ATP depolamak için geniş bir kapasitesi vardır. Bunun bir nedeni, enterfaransiyel akım veya yüksek akım şiddetindeki TENS ve Galvanik akım gibi diğer akım biçimlerinden farklı olarak; MENS'in, azaltıcı bir etkiden ziyade kümülatif bir etkiye sahip olması bakımından benzersiz olmasıdır. Diğer elektrik stimülasyonu yaklaşımları ATP seviyelerini düşürür. Klinik olarak 1-600  $\mu$ A arasında kullanılan MENS tedavisi, doku iyileşmesini artırmak için tercih edilen bir modalitedir. Araştırmalar ve klinik çalışmalar, MENS ile ülser ve burkulma/gerilmelerin iyileşme süresinde %40-50 azalma olduğunu, kırıkların daha hızlı ve daha güçlü iyileştiğini ve kötü yara izlerinin (keloid yara izleri) bile daha sağlıklı ve daha güçlü bir yara izi haline gelmek üzere yeniden şekillendiğini göstermiştir. ATP ile ilgili diğer MENS etkileri arasında





inflamasyon, ödem ve şişliğin azalması ve sporda fiziksel dayanıklılığın artması yer almaktadır.<sup>18</sup>

MENS, kas kasılmalarına ve ciltte rahatsız edici hislere nadiren neden olduğu için avantajlıdır ve sadece birkaç elektriksel yan etkisi vardır; bu nedenle bu stimülasyon, cerrahi sonrası hareket kabiliyeti sınırlı olan hastalar için uygundur. Stimülasyonun temeli, hücrenin elektriksel ortamını normalleştirerek hücre aktivitesini uyaran iyon kanalı ve hücresel iletişimidir.<sup>18</sup> Ayrıca, doku iyileşmesi ve iyileşme sürecini kolaylaştırarak hücrelerin farklılaşmasını, proliferasyonunu ve migrasyonunu aktive eder.<sup>17</sup> Schmidt-Malan ve ark., MENS'in kondrositler, kemik hücreleri, fibroblastlar ve vasküler endotel hücreler gibi hücrelerin proliferasyonunu uyarmak için hücre zarlarında Na<sup>+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> yollarını açarak reseptör proteinlerini uyardığını bildirmiştir. Hücre sürecinin farklılaşması ve migrasyonu fonksiyonel iyileşmeyi artırır. Ayrıca MENS, tendon iyileşmesinin erken evresinde daha yüksek fibroblast ve yeni kapiller oluşumunu teşvik eder.<sup>20</sup>

MENS, ATP ve proteinlerin oluşumunu artırarak hücrelerin yenilenmesinde veya iyileşmenin kolaylaştırılmasında ve hücre zarının potansiyelini normal potansiyele geri döndüren hücre düzeyinde elektrik enerjisi temini yoluyla yaraların iyileştirilmesinde rol oynar. MENS'in kırık iyileşmesi, kanserler ve diyabetik sinir hasarını içeren çeşitli hastalıklar gibi çok çeşitli durumlar için faydalı olduğu gösterilmiştir. Özellikle, MENS'in GBKA'lı hastaların kanındaki kreatin kinazı azalttığı için kümülatif yorgunluk iyileşmesinde etkili olduğu bilinmektedir. MENS, biyoelektrik yoluyla hasarlı dokularda hücre tepkilerini başlatabilir ve böylece dokuların iyileşmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, hasarlı kısımdaki direnci azaltacak ve insan vücudunun homeostazının iyileşmesine yardımcı olan biyoelektrik akımın iletimini teşvik edecek endojen biyoelektrik akımı kolaylaştırabilir. Yani MENS, iyileşme sürecine yardımcı olan elektriksel ve kimyasal süreçleri artırarak hasarlı kas dokularını normal durumuna döndürür. MENS, kas yorgunluğunun ve kas tonusunun iyileşmesi için yalnızca istirahatten daha etkilidir. MENS tedavisi, hasarlı hücrelerin iyileşmesinde

kollajen oluşum hızını TENS'e göre daha fazla artırır, bu nedenle MENS'in kas yorgunluğu ve kas tonusu üzerinde daha olumlu bir etkisi vardır.<sup>21,22</sup> MENS kas atrofisini önlemek için de faydalıdır. Moon ve ark. MENS'in Gastrocnemius kas atrofisinin ilerlemesini önleyebileceğini ve kas hücrelerinin rejenerasyonunu kolaylaştırabileceğini göstermiştir. Fujiya ve ark. da MENS'in atrofik Soleus kasının yeniden büyümesini kolaylaştırdığını doğrulamıştır.<sup>8</sup> Bu etkiler protein sentezini artırabilir ve uydu hücrelerin proliferasyonunu uyurabilir. Bu nedenle, MENS, kronik immobilizasyonun neden olduğu kas atrofisini iyileştirmek için etkili bir terapötik müdahale olma potansiyeline sahiptir. Elektrik akımının yoğunluğu da kas hasarının etkili tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Önceki çalışmalara göre, kas hasarını tedavi etmek için 100-500 µA şiddetinde bir elektrik akımı uygulandığında, amino asit taşınması, trifosfat üretimi ve protein sentezini içeren iyileşme süreci sağlanabiliyordu. Daha sonra miyojenik öncü hücrelerin (uydu hücreleri) aktivasyonu ile birlikte iyileşme etkisi kontrol seviyesinin %30-40 üzerinde artmıştır. Aksine, yoğunluk 1000 µA'yı aştığında, bu biyostimülatör etkiler tersine dönmüştür.<sup>24</sup>

MENS'in iki farklı elektrik akım yoğunluğuyla (50 µA ve 500 µA) etkinliği karşılaştırıldığında, 50 µA akım yoğunluğunun semptomları hafifletmede ve tendon iyileşmesini teşvik etmede 500 µA'dan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, MENS farelerde atrofik Soleus kasının hipertrofisini sağlar.<sup>24</sup>

## Uygulama Türleri

### Prob Elektrotlar

Problar genellikle sağlık uzmanları tarafından ağrıyı hafifletmek ve fonksiyonu artırmak için kullanılır. Bunlar kendinden yapışkanlı elektrotlardan daha iyi çalışır, çünkü bunları doğrudan ağırlı bölgenin üzerine yerleştirmek mümkündür. Probları kullanırken, bunların uygun bir elektromedikal iletken solüsyonla doyurulması tavsiye edilir. İletken bir solüsyon mevcut değilse tuz solüsyonu kullanılabilir. Cilt direncini en aza indirmeye yardımcı olmak için sıkı basınç uygulanmalıdır.<sup>25</sup>

Üreticinin önerileri değişmekle birlikte, problemler tipik olarak yerleştirme başına yaklaşık 10 saniye süreyle uygulanır. Genellikle bir tedavi seti, her biri farklı bir yaklaşım açısında olmak üzere 10 saniyelik prob yerleştirmeleri için bunlardan 12-20 tanesinden oluşan bir gruptur.

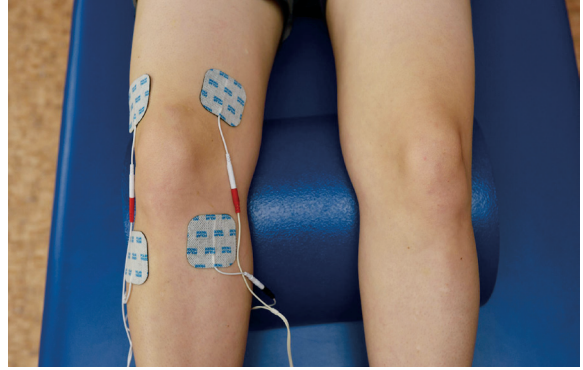
Problemlerin yerleştirilmesi bu öneriler kullanılarak uygulanmalıdır:

1. Önce sorunlu bölgenin çevresini de içine alacak geniş bir alanı tedavi edilir. Diz ağrısı için bu yöntemin bir örneği diz mediali, uyluktan ayak lateraline, ardından kalça lateralinden ayağın medialine kadar tedavi etmektir. Konum başına 10 saniye olmak üzere bu işlem 20 saniyede tamamlanır.
2. Toplam 1 dakika boyunca doğrudan ilgili alanın çevresine daha yakın tedavi uygulanır (örn. iki oblik açı, bir veya iki medial-lateral, bir veya iki anterior-posterior prob yerleştirme).
3. Asemptomatik olsa bile kontralateral tarafta, sorunlu bölgenin tam karşısında (örn. diz) en az 20 saniye boyunca tedavi uygulanır.
4. Tedavi edilen alanın distalindeki dört veya daha fazla bölgeye her iki tarafa aynı anda birer prob yerleştirilerek iki kontralateral tarafı birbirine bağlanır.

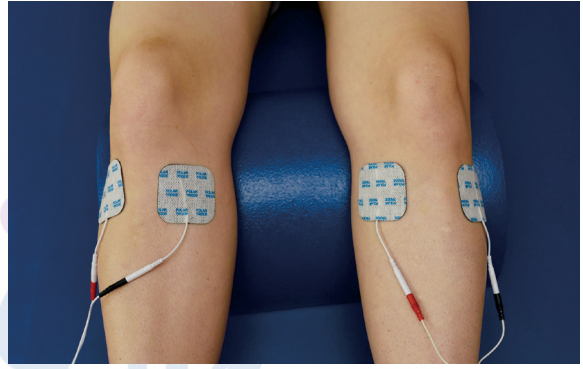
Aynı prensip diğer eklemlerde veya vücut kıvrımlarında da kullanılabilir.

### Plak ve Kendinden Yapışkanlı Elektrotlar

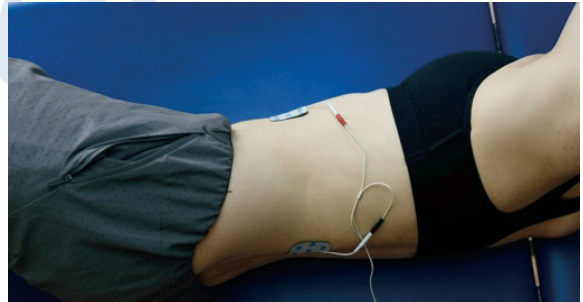
Kendinden yapışkanlı elektrotlar, daha uzun bir süre hariç, problemlerle aynı yönergelere göre yerleştirilir. Optimum sonuçlar için elektrotların problemlili alanın etrafında hareket ettirilmesi de gerekebilir. Problemler bir bölgede 10 saniye süreyle kullanılırken, elektrotlar her noktada en az 5-10 dakika süreyle bırakılmalıdır. Buna göre, elektrotlar evde bakım için en iyi şekilde kullanılır. Düşük dirençli elektrotların kullanılması tavsiye edilir. Standart TENS elektrotları yaklaşık 200 Ohm dirence sahipken, bazı gümüş elektrotlar sadece 20 Ohm dirence sahiptir. Sadece düşük dirençli elektrotlar MENS cihazlarıyla etkili bir şekilde çalışacaktır.<sup>25</sup> Elektrot yerleştirme örnekleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 12.1-12.3).



Şekil 12.1 Lokal diz ağrısı için MENS elektrot yerleşimi.



Şekil 12.2 Sağ diz ağrısının kontralateral tedavisi için MENS elektrot yerleşimleri.



Şekil 12.3 Sırt ağrısı için MENS elektrot yerleşimi. Elektrotlardan biri problemin olduğu seviyede paravertebral, diğeri ise kontralateral tarafa, anterolaterale (ön ve karşı taraf) yerleştirilir.

### Dönüştürücü Eldivenler

Genellikle mikro akım aletleri grafit/vinil eldivenlerle birlikte sunulur. Hafif eldivenler, dorsal yüzeye yapıştırılmış elektrikli mikro jakra sahiptir ve akımı iletmek ve hassas dokunma algısı sağlamak için tasarlanmıştır. Eldivenleri doğrudan cilt üzerinde kullanan terapist, ağrıyı azaltmak, kan akışını ve doku elastikiyetini artırmak için masaj, manipülasyon ve mobilizasyon teknikleri uygulayabilir (Şekil 12.4). Bu yöntem iki tedavi yöntemi-



**Şekil 12.4** Bel ağrısı için MENS dönüştürücü eldiven uygulaması.

ni birleştirir: Birbirini tamamlayan yumuşak doku mobilizasyonu ve MENS prosedürü.<sup>26</sup>

## Kablosuz MENS

Elektrik stimülasyonu geleneksel olarak doku pimi veya kablolarla akım üreten bir cihaza bağlanan giyilen elektrotlar üzerine uygulanarak gerçekleştirilir. Buna karşılık, Kablosuz Mikroakım Stimülasyonu (KMAS) teknolojisi, oksijen ve nitrojenin elektron verme yeteneğini kullanarak akımı kablosuz olarak bölgeye aktaran yenilikçi, basit, girişimsel olmayan ve ağrısız bir yöntemdir. Yüklü parçacıklar çok düşük yoğunlukta bir DA oluşturur. Sprey etkisi sayesinde yaraya hiçbir fiziksel temas olmadan, hâlihazırda kullanılan diğer elektrik stimülasyon tekniklerine kıyasla radikal bir avantaj sunmaktadır.

KMAS cihazları hastalara uzaktan düşük yoğunluklu elektrik akımı aktararak çalışır. Hasta bir elektrik devresinin parçası olmalı ve bu nedenle cihaza bir bilek kayışı teli aracılığıyla bağlanmalıdır (genellikle hastanın sağlam cildine, yaradan uzağa yerleştirilir, örneğin bacak ülserlerinde genellikle el bileği eklemine yerleştirilir).

Cihaz paneli akımın (15-40  $\mu$ A) ve tedavi süresinin ayarlanmasına olanak sağlar. Cihazın başından herhangi bir yaraya olan mesafe 12-15 cm olmalıdır. Kaplanan tedavi yüzeyi yaklaşık 400  $\text{cm}^2$ 'dir ve cihazın başını yaradan uzaklaştırarak bu alan artırılabilir. Yüklü partiküller çok düşük yoğunlukta bir DA oluşturur. Sprey etkisi sayesinde yaraya hiçbir fiziksel temas olmadan, şu anda kullanılan diğer elektrik stimülasyonu tekniklerine kıyasla radikal bir avantaj sunmaktadır. Önerilen tedavi süresi 45 dakikadır, bu nedenle hastanın rahatça yatması veya oturması önemlidir, çünkü tedavi boyunca KMAS cihazına göre yara pozisyonu sabit kalmalıdır.<sup>27</sup>

## Endikasyon ve Kontrendikasyonlar MENS için Endikasyonlar

Yukarıda belirtilen sorunlara ek olarak, MENS kullanımını için birkaç endikasyon daha vardır:

- Eklem ağrısı,
- Yumuşak doku ağrısı,
- Nevralji,
- Tendinit,
- Bursit,
- Fantom ağrı sendromu,
- Romatoid artrit,
- Migren,
- Tortikolis,
- Epikondilit,
- Donuk omuz,
- Bel ağrısı,
- İntervertebral disk sendromu.

## MENS için Kontrendikasyonlar

- Etiyolojisi bilinmeyen durumlar,
- Kalp pili gerektiren durumlar,
- Kanser lezyonları veya karotis sinüs ve transse-rebral alan üzerindeki bölgeler,
- Hamilelik,
- Nöbetler,
- Merkezi kaynaklı ağrı,
- Epilepsi,
- Deri ve vasküler bozukluk olan alanlar.



## Kaynaklar

1. Nessler JP, Mas DP. Direct-current electrical stimulation of tendon healing in vitro. *Clin Orthop Relat Res.* 1987;(217):303-12. PMID:3493869.
2. Owoeye I, Spielholtz NI, Fetto J, Nelson AJ. Low-intensity pulsed galvanic current and the healing of tenotomized rat achilles tendons: Preliminary report using load-to-breaking measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1987;68(7):415-8. PMID:3496866.
3. Gault WR, Gatens PF. Use of low intensity direct in management of ischemic skin ulcer. *Phys Ther.* 1976;56:265-9. doi:10.1093/ptj/56.3.265.
4. Wolcott LE, Wheeler P, Hardwicke HM, Rowley BA. Accelerated healing of skin ulcer by electrotherapy: Preliminary clinical results. *South Med J.* 1969;62(7):795-801. doi:10.1097/00007611-196907000-00008.
5. Byl NN, McKenzie AL, West JM, Whitney JD, Hunt TK, Hopf HW, et al. Pulsed microamperage stimulation: A controlled study of healing of surgically induced wounds in Yucatan pigs. *Phys Ther.* 1994;74:201-13. doi:10.1093/ptj/74.3.201.
6. Huckfeldt R, Flick AB, Mikkelsen D, Lowe C, Finley PJ. Wound closure after split-thickness with the use of continuous direct anodal microcurrent applied to silver nylon wound contact dressing. *J Burn Care Res.* 2007;28(5):703-7. doi:10.1097/BCR.0B013E318148C945.
7. Carley PJ, Wainpel SF. Electrotherapy for acceleration of wound healing: Low intensity direct current. *Arch Phys Med Rehabil.* 1985;66(7):443-6. PMID:3893385.
8. Fujiya H, Ogura Y, Ohno Y, Goto A, Nakamura A, Ohashi K, et al. Microcurrent electrical neuromuscular stimulation facilitates regeneration of injured skeletal muscle in mice. *J Sport Sci Med.* 2015;14(2):297. doi:10.7600/jpfsm.5.69.
9. Allen JD, Mattacola CG, Perrin DH. Effect of microcurrent stimulation on delayed-onset muscle soreness: A double-blind comparison. *J Athl Train.* 1999;34(4):334-7. PMID:1655852.
10. Kwon DR, Kim J, Kim Y, An S, Kwak J, Lee S, et al. Short-term microcurrent electrical neuromuscular stimulation to improve muscle function in the elderly: A randomized, double-blinded, sham-controlled clinical trial. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(26):e7407. doi:10.1097/MD.0000000000007407.
11. Curtis D, Fallows S, Morris M, McMakin C. The efficacy of frequency specific microcurrent therapy on delayed onset muscle soreness. *J Bodyw Mov Ther.* 2010;14(3):272-9. doi:10.1016/j.jbmt.2010.01.009.
12. Piras A, Zini L, Trofè A, Campa F, Raffi M. Effects of acute microcurrent electrical stimulation on muscle function and subsequent recovery strategy. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4597. doi:10.3390/ijerph18094597.
13. Lawson D, Lee KH, Kang HB, Yang N, Llewellyn T, Takamatsu S. Efficacy of microcurrent therapy for treatment of acute knee pain: A randomized double-blinded controlled clinical trial. *Clin Rehabil.* 2021;35(3):390-8. doi:10.1177/0269215520965320.
14. Cheng N, Van Hoof H, Bockx E, Hoogmartens MJ, Mulier JC, De Dijcker FJ, et al. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport of rat skin. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;(171):264-72. PMID:7140077.
15. Babault N, Cometti C, Maffiuletti NA, Deley G. Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2501-7. doi:10.1007/s00421-011-2117-7.
16. Ahn JK, Kwon DR, Park GY, Lee KH, Rim JH, Jung WB, et al. Therapeutic effect of microcurrent therapy in children with in-toeing gait caused by increased femoral anteversion: A pilot study. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(1):104-12. doi:10.5535/arm.2017.41.1.104.
17. 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 Sci.* 2011;23(3):515-8. doi:10.1589/jpts.23.515.
18. Yi D, Lim H, Yim J. Effect of microcurrent stimulation on pain, shoulder function, and grip strength in early post-operative phase after rotator cuff repair. *Medicina.* 2021;57(5):491. doi:10.3390/medicina57050491.
19. Schmidt-Malan SM, Brinkman CL, Karau MJ, Brown RA, Waletzki BE, Berglund LJ, et al. Effect of direct electrical current on bones infected with staphylococcus epidermidis. *JBM Plus.* 2019;3(5):e10119. doi:10.1002/jbm4.10119.
20. Ayub DM, Kusumawardani MK, Masduchi RH, Hernugrahanto KD, Sulistyowati NN. Microcurrent neuromuscular electrical stimulation helps to promote fibroblast and capillary formation in the early healing phase of achilles tendon rupture: An experimental study on animal model. *Mal J Med Health Sci.* 2021;17(suppl6):5-10. eISSN:2636-9346.
21. Bailey S. How microcurrent stimulation produces ATP-one mechanism. *Dynamic Chiropractic.* 1999;17(18):6.
22. Kang DH, Jeon JK, Lee JH. Effects of low-frequency electrical stimulation on cumulative fatigue and muscle tone of the erector spinae. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(1):105-8. doi:10.1589/jpts.27.105.
23. Moon YS, Kwon DR, Lee YJ. Therapeutic effect of microcurrent on calf muscle atrophy in immobilised rabbit. *Muscle Nerve.* 2018;58(2):270-6. doi:10.1002/mus.26110.
24. Park GY, Kwon DR, Moon YS. Low-intensity microcurrent therapy promotes regeneration of atrophied calf muscles in immobilized rabbits. *J Biomed Res.* 2019;33(1):30. doi:10.7555/JBR.32.20180056.
25. Chevalier A, Armstrong K, Gokal R. Microcurrent point stimulation applied to acupuncture points for the treatment of non-specific lower back pain. *J Altern Complement Integr Med.* 2016;2(2):16. doi:10.24966/ACIM-7562/100016.
26. McMakin CR. Microcurrent therapy: A novel treatment method for chronic low back myofascial pain. *J Bodyw Mov Ther.* 2004;8(2):143-53. doi:10.1016/j.jbmt.2003.12.006.
27. Wirsing PG, Habrom AD, Zehnder TM, Friedli S, Blatti M. Wireless micro current stimulation—An innovative electrical stimulation method for the treatment of patients with leg and diabetic foot ulcers. *Int Wound J.* 2015;12(6):693-8. doi:10.1111/iwj.12204.
28. Cameron MH. (2012), *Physical agents in rehabilitation: From research to practice.* 4th ed. Philadelphia, USA: WB Saunders Company. ISBN:978-1455728480.
29. Zuim PRJ, Garcia AR, Turcio KHL, Hamata MM. Evaluation of microcurrent electrical nerve stimulation (MENS) effectiveness on muscle pain in temporomandibular disorders patients. *J Appl Oral Sci.* 2006;14(1):61-6. doi:10.1590/s1678-7752006000100012.





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

Bölüm  
**13**

1

# Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu



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

## Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu

Transkutanöz elektriksel stimülasyon (TES), motor sinirleri ve kasları yapay olarak aktive eden bir tekniktir. Örneğin beyin veya spinal kord lezyonu olan kişilerde rehabilitasyon amacıyla veya kaybedilen motor fonksiyonların geri kazanılması için kullanılabilir. TES, motor sinirleri ve kasları seçici olarak aktive etmenin yanı sıra, duyuşal lifleri ve ağrı reseptörlerini aktive ederek rahatsızlık ve bazen de ağrı üretir.<sup>1</sup> Çeşitli akut ve kronik ağrı durumlarını tedavi etmek için çeşitli klinik ortamlarda kullanılmaktadır ve uzun vadeli etkinliğine ilişkin klinik çalışmalar değişken sonuçlar vermiş olsa da, hem hastalar hem de fizyoterapistler, ebeler, hemşireler ve doktorlar dahil olmak üzere farklı disiplinlerden sağlık profesyonelleri arasında popüler hale gelmiştir.<sup>2</sup>

TES tanımı ikiye ayrılabilir:

- Transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS),
- Transkutanöz elektriksel nöromüsküler stimülasyon (TENMS) veya transkutanöz elektriksel kas stimülasyonu (TEMS).

TENS ile TES, TENMS (veya TEMS) arasındaki fark ve benzerlik, TENMS'in (veya TEMS'in) ağrı yaratmadan etkili kas kasılması ile karakterize edilmesidir; bu, önemli kas kasılması yaratmadan büyük çaplı duyuşal sinir liflerinin uyarılmasını

sağlayan TENS ile karşılaştırıldığında, mikro dolaşımın, kas fonksiyonunun iyileştirilmesinde ve ardından ağrı ve diğer semptomların hafifletilmesinde genellikle üstün yararlı etkiler sağlayabilir.<sup>3</sup>

TES'te motor sinirleri uyararak için deri üzerine yüzey elektrotları yerleştirilir. Klinik olarak TES, inme geçiren veya spinal yaralanması olan kişilerin rehabilitasyonunda veya nöroprotezler kullanılarak günlük yaşam görevlerinin desteklenmesinde uygulanmaktadır. Bu uygulamalarda iki ana husus önemlidir: 1) Amaçlanan motor fonksiyonu oluşturmak için belirli kasların seçici aktivasyonu ve 2) Hastanın TES'i kabulünü artırmak için konforlu bir stimülasyon. Klinisyenler genellikle stimülasyon parametrelerini, elektrot yerleşimini ve elektrot boyutunu optimize ederek elektrik akımının neden olduğu rahatsızlığı en aza indirmeye çalışırlar.<sup>1</sup>

## Başlıca TENS Parametreleri

TENS uygulamasında, ağrının giderilmesi için cilde uygulanan çeşitli frekanslar, yoğunluklar ve atım süreleri vardır. Farklı TENS modaliteleri, ağrıyı hafifletmek için cihaz üzerinde farklı frekans ve yoğunluk ayarları kombinasyonları kullanır. Bu periferik stimülasyon, beynin ağrı algısını engelleyen elektriksel aktiviteye neden olur.<sup>4</sup>

TENS cihazları, kullanıcıların akımların elektrik özelliklerini ayarlayabileceği şekilde tasarlanmıştır: atım frekansı [genellikle 200 Hertz'den (Hz) az], akım şiddeti [genellikle 70 miliamperden (mA) az],

atım süresi [genellikle 50 mikrosaniye ( $\mu$ s) ila 250  $\mu$ s] ve atım modeli (bazen “mod” olarak adlandırılır ve sürekli, patlamalı ve modüle edilmiş olanları içerir). Modüle edilmiş atım kalıpları, tekrarlanan kullanımdan kaynaklanan TENS’e alışkanlığı azaltmaya yardımcı olabilir ve modüle edilmiş frekans, modüle edilmiş genlik ve modüle edilmiş süreyi içerir.<sup>4</sup>

TENS, özellikle ağrı uyarılarını azaltmak için daha küçük afferent duyuşal lifler boyunca yayılır. “Düşük frekanslı TENS” sürekli olarak 10 Hz veya daha düşük atımlı bir akımın veya yüksek frekanslı atımlı akımın düşük frekanslı dizilerin (patlamalar) (yani patlama modu TENS) verilmesi olarak tanımlanır. Çok düşük frekanslar kullanıldığında, TENS özellikle duyuşal sinir liflerini hedef alır ve motor lifleri aktive etmez; bu nedenle, fark edilebilir bir kas kontraksiyonu üretilmez.<sup>5</sup>

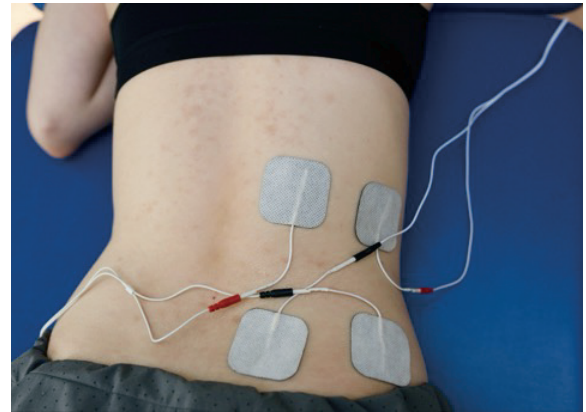
“Akupunktur benzeri TENS” düşük frekanslı TENS olarak bilinir. Düşük frekanslı (~2-4 Hz) ve yüksek yoğunluklu TENS olarak tanımlanır, tolere edilebilir ancak iğnelenme hisleri uyandırır. Akupunktur benzeri TENS daha çok yaygın zararlı inhibitör kontrol fenomeni ile ilgilidir: güçlü bir duyuşal girdi, periaquaduktal gri ve rostral ventral medulla endojen opioidlerin salınmasına neden olur ve bu da nosisepsiyon yaygın bir şekilde azalan inhibisyonu ile sonuçlanır.<sup>6</sup> Özünde, Akupunktur benzeri TENS’in ağrı iletim yolunu kapatmaya yardımcı olduğu ve dolayısıyla ağrıda bir azalmaya neden olduğu düşünülmektedir.<sup>7</sup>

“Yüksek frekanslı TENS”, yüksek frekanslı (~50-100 Hz) ve düşük yoğunluklu akım veren, rahat, ağrısız bir karıncalanma hissi uyandıran darbeleri bir akım olarak tanımlanır.<sup>8</sup> Yüksek frekanslı TENS genellikle büyük çaplı A-beta afferentlerinin yüksek frekanslı ve düşük yoğunluklu stimülasyonunun dorsal boynuz seviyesinde nosiseptif bilgi iletiminin segmental inhibisyonu ile sonuçlandığı Kapı Kontrol Teorisi ile ilişkilidir.<sup>6</sup>

Yüksek frekanslı TENS her zaman düşük yoğunlukta uygulanmaz ve düşük frekanslı TENS her zaman yüksek yoğunlukta uygulanmaz. Motor eşğin %10 altında uygulanan düşük frekanslı TENS insanlarda analjezi oluşturmada ve hayvan nosisepsiyon modellerinde primer ve sekonder eklem inflamasyonunu azaltmaktadır.<sup>9-11</sup> TENS’e yanıt için kritik faktör, frekanstan bağımsız olarak stimülasyon sırasında akımların yoğunluğunun algısal deneyimidir. Kanıtlar, optimal hipotaljezinin güçlü, ağrısız bir TENS hissi yaratan atım genlikleri (mA) kullanılarak elde edildiğini ve bu nedenle, bu yoğunluk seviyesini korumak için tedavi sırasında atım genliğinin standardize edilmesi gerektiğini göstermektedir.<sup>12</sup> Özetlemek gerekirse, tedavi parametreleri iki ana gruba ayrılabilir (Tablo 13.1).

### Elektrot Yerleşimi ve Boyutu

TENS’e verilen yanıt, elektrotların yerleştirilmesine göre de değişir. En iyi uygulama kılavuzları, TENS hissini ağrılı bölgeyi tamamen içine almasını önerir. Bu, elektrotların doğrudan ağrılı bölgenin üzerine yerleştirilmesi veya “çerçeveleme” ile sağlanır (Şekil 13.1). Bu yerleşim her zaman mümkün olmayabilir, çünkü örneğin cilt duyuşu değişmiştir veya cilt lezyonu vardır. Bu durumlar-



**Şekil 13.1** Ağrılı bölgenin etrafına TENS elektrot yerleşimi (“Çerçeveleme” tekniği).

**Tablo 13.1** Ağrı kontrolünde transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu için önerilen parametreler

Parametre ayarı	Frekans (Hz)	Atım süresi ( $\mu$ sn)	Yoğunluk (mA)	Tedavi süresi
Yüksek frekanslı TENS	>100 Hz	50 – 80 $\mu$ sn	Karıncalanma hissine kadar	Gerektiği sürece kullanılabilir.
Düşük frekanslı TENS	2-10 Hz	150 – 300 $\mu$ sn	Gözle görülür kasılmaya kadar	20-30 dakika (dk)

da, elektrotlar ağrı bölgesinin proksimalindeki ana sinirlerin üzerine, spinal segmentlerin vertebra-larına yakın yerlere, kontralateral dermatomların üzerine, akupunktur noktalarının üzerine veya miyofasiyal tetik noktalarının üzerine yerleştirilir. Stimülasyon bölgesinin tedavi sonucu üzerindeki etkisine ilişkin araştırma bulguları belirsizdir. Tedavinin süresi ve düzenliliği ile sonuç ölçümlerinin zamanlaması da dikkate alınmalıdır. Özellikle, kanıtlar TENS'in etkilerinin stimülasyon sırasında veya stimülasyonundan hemen sonra maksimal olduğunu göstermektedir.<sup>11,13</sup>

TENS uygulaması ağrılı bölgelere veya akupunktur noktalarına uygulanabilir. Klinik olarak, akupunktur noktalarına TENS uygulanması ağrıyı azaltır ve normal deneklerde ve hasta popülasyonlarında ısı ve basınca karşı ağrı ve ağrı eşikleri ölçülürken akupunktur noktası olmayan bölgelere uygulamaya göre daha etkili olabilir. Cerrahi sonrası histerektomi olan bireylerde, akupunktur noktalarına uygulanan TENS, akupunktur noktası olmayan bölgelere uygulanan TENS ile karşılaştırıldığında opioid alımını, mide bulantısını ve baş dönmesini azaltmıştır.<sup>14</sup>

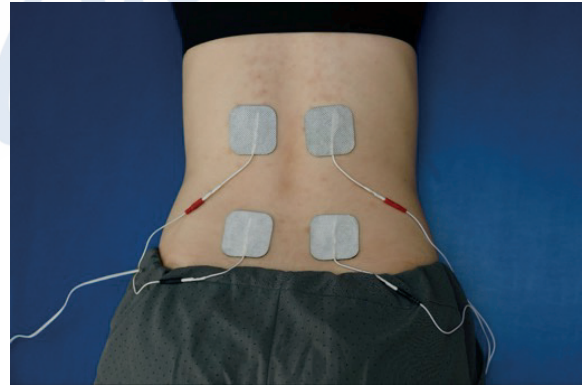
Quadriceps Femoris ve Hamstring kasları üzerinde iki farklı elektrot boyutunun (4,5 x 4,5 cm ve 6 x 6 cm) konforunu araştıran bir çalışmada, stimülasyon hissinde fark bulunmuştur. Aynı kas kuvveti çıktısını üretmek için bireyler daha büyük elektrotları tercih etmiştir. Genellikle daha büyük elektrotlar daha büyük kaslarda veya daha büyük ağrı alanlarında kullanılırken, daha küçük elektrotlar daha küçük ağrı alanlarında veya kaslarda kullanılabilir.<sup>15</sup> Küçük elektrotlar, örneğin TENS sistemlerinin etkinliğini artırmak için çoklu elektrotlar da kullanılır. Bu tür çoklu elektrotlar, elektrot konumunu hareket ettirmek için ayrı ayrı etkinleştirilebilen elektrot elemanlarından oluşur. Çok küçük olan elemanlar kalın yağ tabakası olan kişilerde etkili olmayabilir çünkü yağ tabakası içinde yayılan büyük akım, akımın daha derinde bulunan motor sinirlere ulaşmasını engeller.<sup>16</sup>

Küçük elektrotların bir diğer etkisi de rahatsız edici, hatta acı verici olabilen ve TENS'in etkinliğini sınırlayabilen yüksek akım yoğunluklarının üretilmesidir. Bununla birlikte, TENS sırasında

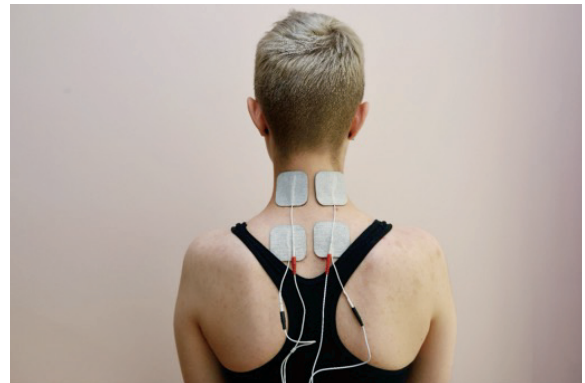
algılanan konforu sadece akım yoğunluğu değil, aynı zamanda elektrot boyutu ve stimülasyon parametreleri de (sabit akım yoğunluğunda) etkiler. Üst ekstremitelerde, özellikle el fonksiyonları için, elektrot boyutu, birbirine yakın olarak yerleşmiş çoklu kasların seçici aktivasyonunu etkiler. Daha küçük elektrotlar kullanılarak farklı kasların daha seçici aktivasyonu sağlanabilir.<sup>17</sup>

Ayrıca, çeşitli ağrı parametreleri, maksimum tolere edilebilir duyuşal veya motor eşik değerlendirilirken, daha büyük elektrotların daha küçük elektrotlara kıyasla önemli ölçüde daha rahat olduğu ve en yüksek kuvveti ürettiği sonucuna varılmıştır. Örneğin, Tibial sinir uyarılırken, daha büyük elektrotlar (3,6 x 3,6 cm) rahat bir hisle akım verebilirken, daha küçük elektrotlar (0,6 x 0,6 cm) çok daha fazla ağrı üretmiş ve aynı uyarım etkisini vermiştir.<sup>18</sup>

Bel ağrısı (Şekil 13.2), boyun ağrısı (Şekil 13.3), diz ağrısı (Şekil 13.4) için elektrot yerleştirme örnekleri aşağıda gösterilmiştir.

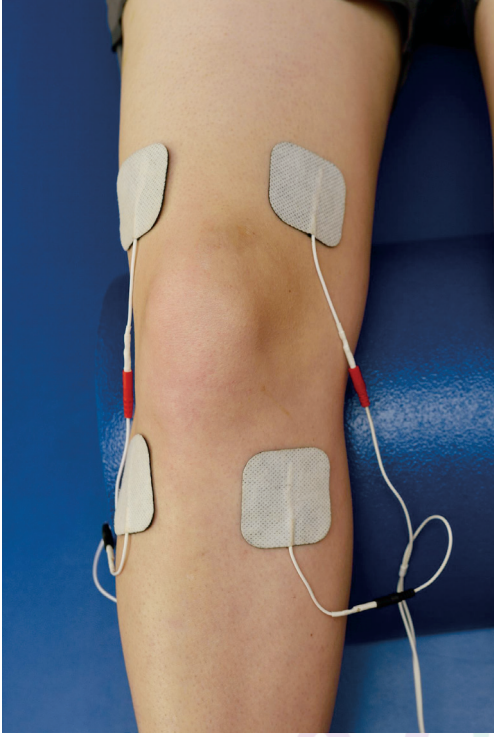


Şekil 13.2 Bel ağrısı için TENS elektrot yerleşimi.



Şekil 13.3 Boyun ağrısı için TENS elektrot yerleşimi.





Şekil 13.4 Diz ağrısı için TENS elektrot yerleşimi.

## TENS'in Analjezik Mekanizmaları

TENS, ağrıyı azaltmak için karmaşık bir nöronal ağı aktive eder. TENS'te klinik olarak kullanılan frekanslar ve yoğunluklar geniş çaplı afferent lifleri aktive eder. Bu afferent girdi, hiperaljeziyi azaltmak için inen inhibitör sistemleri aktive etmek üzere merkezi sinir sistemine gönderilir. Spesifik olarak, periaquaduktal gri, rostral ventromedial medulla ve spinal korddaki nöronal aktivitenin blokajı, TENS'in analjezik etkilerini inhibe eder ve TENS analjezisinin bu yollar aracılığıyla sürdürüldüğünü gösterir. Buna paralel olarak, fibromiyalji olan bireylerde yapılan çalışmalar, TENS'in santral inhibisyonun bir ölçüsü olan santral ağrı modülasyonunu geri getirebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, TENS hem **periferik** hem de **santral** mekanizmalar yoluyla hiperaljeziyi azaltır.<sup>19</sup>

## TENS'in Santral Mekanizmaları

Hem düşük frekanslı hem de yüksek frekanslı TENS dorsal boynuz nöron aktivitesini azaltır. Periferik inflamasyon veya nöropatik ağrısı olan hayvanlar-

da, dorsal boynuz nöronlarının hem zararlı hem de zararsız uyaranlara karşı artan aktivitesi (yani, santral sensitizasyon) hem düşük hem de yüksek frekanslı TENS ile azaltılır. Buna paralel olarak, hem düşük hem de yüksek frekanslı TENS ile hem birincil hem de ikincil hiperaljezide bir azalma vardır. Ayrıca, fibromiyalji ve osteoartriti olan kişilerde, sadece stimülasyon bölgesinde değil, aynı zamanda uygulama alanı dışındaki bölgelerde de basınç ağrısı eşiklerinde bir azalma vardır, bu da santral uyarılabilirlikte bir azalmaya işaret eder.<sup>20</sup>

Yüksek frekanslı TENS ayrıca inflamasyonu olan hayvanlarda santral sinir sensitizasyonunu ve spinal kord dorsal boynuzunda uyarıcı nörotansmitterler glutamat ve P maddesinin salınımını azaltır. Glutamattaki azalma  $\delta$ -opioid reseptörlerinin blokajı ile önlenir. Dolayısıyla, TENS ile inhibitör yolların aktivasyonunun bir sonucu, spinal kordda uyarımı ve bunun sonucunda nöron duyarlılığını azaltmaktadır.<sup>14</sup>

## TENS'in Periferik Mekanizmaları

Hem düşük hem de yüksek frekanslı TENS'in stimülasyon bölgesinde etkileri vardır. Yüksek frekanslı TENS, doku hasarından sonra hayvanlarda dorsal kök gangliyon nöronlarında artan P maddesini azaltır. Periferik opioid reseptörlerinin bloke edilmesi, düşük frekanslı TENS tarafından üretilen analjeziyi önler, ancak yüksek frekanslı TENS'i önlemez. Dolayısıyla TENS, merkezi sinir sistemine afferent girdiyi azaltmak için periferik nosiseptörlerin uyarılabilirliğini de değiştirebilir.<sup>21</sup>

## Ağrı Kontrolü için TENS'in Altında Yatan Mekanizmalar

### Kapı Kontrol Teorisi

Derinin elektriksel uyarılmasıyla ağrının giderilmesinin teorik temeli, Melzack ve Wall tarafından Ağrının Kapı Kontrol Teorisi'nin yayınlanmasıyla atılmıştır (Melzack, Wall, 1965).<sup>22</sup> Düşük eşikli kutanöz afferentlerdeki (örn. A-beta aksonları) nöral aktivitenin spinal kord ve beyin sapındaki nosiseptif (ağrıyla ilgili) bilginin ileriye doğru iletimini engelleyeceğini öne sürmüşlerdir. Normalde, düşük eşikli kutanöz afferentlerdeki aktivite, "deriyi sıvaz-





lamak” gibi düşük yoğunluklu mekanik uyarılar tarafından üretilir. Ağrıyı azaltmak için düşük eşikli kutanöz afferentleri uyarmak üzere elektrik akımlarının kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Konvansiyonel TENS kullanımının fizyolojik amacı, düşük eşikli kutanöz afferentlerin (A-beta aksonları) seçici aktivasyonunun göstergesi olduğu için güçlü ancak ağrısız bir TENS hissi oluşturmaktır. Kanıtlar, bunun spinal kord veya beyin sapındaki ilk sinapsta nosiseptif bilginin ileriye doğru iletimini engellediğini göstermektedir (yani segmental modülasyon).<sup>12</sup>

Daha büyük çaplı aksonlar, daha küçük çaplı aksonlara göre daha düşük bir elektrik eşliğinde aktive olurlar, Kapı Kontrol Teorisi, karışık bir sinirin duyuşal parestezi üretecek kadar yüksek bir yoğunlukta elektriksel uyarılmasının aynı zamanda ağrının hafiflemesini de sağlayacağını öngörür.<sup>23</sup> Ağrının Kapı Kontrol Teorisi, sinir uyarılarının afferent liflerden omurilik iletim (T) hücrelerine iletiminin, spinal dorsal boynuzdaki bir geçit mekanizması tarafından modüle edildiğini öne sürer. Bu geçit mekanizması, büyük çaplı ve küçük çaplı liflerdeki göreceli aktivite miktarından etkilenir, böylece büyük lifler iletimi engelleme (kapıyı kapatma) eğilimindeyken, küçük lifler iletimi kolaylaştırma (kapıyı açma) eğilimindedir.<sup>24</sup>

TENS'in analjezik etkisine hem spinal hem de supra spinal olmak üzere periferik ve santral sinir sistemi mekanizmaları aracılık eder. Büyük çaplı (A-beta) afferent liflerin uyarılmasının “kapıyı kapattığı” ve ağrı algısını azalttığı düşünülmektedir. Akupunktur benzeri TENS'in A-delta ve C liflerini uyardığı ve bu nedenle çoğunlukla inen ağrı baskılama sistemi yoluyla ağrı kontrolü sağladığı düşünülmektedir.<sup>7</sup>

## Opiooid Salınım Teorisi

Elektrik stimülasyonu ayrıca endorfin ve enkefalin üretimini ve salınımını uyarak ağrıyı kontrol edebilir. Endojen opiooidler olarak da bilinen bu maddeler, morfine benzer şekilde hareket eder ve nörotransmitter ve nöromodülatör olarak hareket ettikleri beyin ve diğer bölgelerdeki opiooid reseptörlerine bağlanarak ağrı algısını modüle eder. Opiooidler ayrıca opiooid olmayan (serotonin) sistemleri içeren inen inhibitör yolları da aktive eder.<sup>25</sup>

“Düşük frekanslı TENS” olarak bilinen motor kasılma üretecek kadar yüksek bir yoğunlukta 2 ile 10 Hz'de düşük frekanslı atımlar, endojen opiooid üretimini ve salınımını uyarmak ve opiooid reseptör bağlanma potansiyelini artırmak için kısa, tekrarlayan kas kasılmaları veya seğirmeleri üretmek için motor sinirlerin tekrarlayan uyarımını kullanır. “Akupunktur benzeri TENS” olarak bilinen nosiseptif A-delta sinirlerinin uyarılması yoluyla ağrılı bir zararlı uyarın üretmek için yoğunluğu daha da artırmak da muhtemelen bu mekanizma ile çalışır. Kas ağrısı riskini en aza indirmek için düşük frekanslı TENS için genellikle 2 ile 10 Hz'lik bir atım frekansı aralığı kullanılır ve 10 Hz'den daha düşük frekanslar endorfin ve enkefalin seviyelerini arttırmak için en etkili olanlardır.<sup>25</sup>

Daha önceki çalışmalar, yalnızca düşük frekanslı TENS'in endojen opiooid üretimini uyardığını öne sürmüştür. Bununla birlikte, daha yeni çalışmalar hem yüksek hem de düşük frekanslı TENS'in opiooid reseptörlerini aktive ettiğini, ancak muhtemelen farklı opiooid reseptörlerini aktive ettiğini göstermektedir. Örneğin, bir mu-opiooid reseptör bloke edici olan düşük doz nalokson, düşük frekanslı TENS (4 Hz) tarafından üretilen analjeziyi bloke etmesine ve konvansiyonel yüksek frekanslı TENS (100 Hz) tarafından üretilen analjeziyi bloke etmemesine rağmen, yüksek doz nalokson yüksek frekanslı TENS'in etkilerini bloke edecektir, bu da yüksek frekanslı TENS'in de bazı opiooid üretimini uyardığını düşündürmektedir.<sup>12</sup> Ayrıca, bir delta opiooid reseptör blokleri olan naltrindol, düşük frekanslı TENS tarafından üretilen analjeziyi değil, yalnızca yüksek frekanslı TENS tarafından üretilen analjeziyi bloke eder. Özellikle, yüksek frekanslı TENS, opiooid alan hastalarda düşük frekanslı TENS'ten daha etkili görünmektedir.<sup>25</sup>

Düşük frekanslı TENS, 20 dakika ile 30 dakikalık bir tedaviden sonra genellikle 4 ile 5 saat boyunca ağrıyı kontrol edecektir. Bu süre boyunca etkilidir çünkü salınan endojen opiooidlerin yarı ömrü yaklaşık 4,5 saattir. Düşük frekanslı TENS bir seferde 45 dakikadan daha uzun süre uygulanmamalıdır çünkü uyarın tarafından üretilen tekrarlayan kas kasılmasının uzaması gecikmiş başlangıçlı kas ağrısına neden olabilir.<sup>25</sup>

TENS, özellikle de düşük frekanslı TENS, etkisini opioid seviyelerini artırarak gösterdiğinden, hastalar stimülasyona karşı opioid toleransına benzer bir tolerans geliştirebilir. Tolerans, bir etki yaratmak için daha yüksek dozda müdahaleye ihtiyaç duyulmasına neden olur. Hastalar stimülasyonun beşinci gününden itibaren TENS'e karşı tolerans geliştirebilir. Uyumu önlemek için kullanılanlara benzer frekans modülasyonları, TENS kaynaklı analjeziye toleransı geciktirir.<sup>25</sup>

## Endikasyonlar, Kontrendikasyonlar ve Önlemler

### TENS için Endikasyonlar

- Akut ve kronik ağrı,
- Artrit,
- Cerrahi sonrası ağrı,
- Nevralji,
- Spor yaralanmaları
- Fantom ağrısı,
- Romatoid artrit ve osteoartrit,
- Dejeneratif kemik ve kas hastalıkları,
- Lumbago,
- Migren.<sup>25</sup>

### TENS için Kontrendikasyonlar

- Kalp pili ihtiyacı, implante edilebilir defibrilatör veya stabil olmayan aritmi,
- Elektrotların karotis sinüs üzerine yerleştirilmesi,
- Venöz ve arteriyel tromboz veya tromboflebitin mevcut olduğu alanlar,
- Hamilelik - Karın üstünde veya çevresinde veya belin alt kısmında (doğum sırasında ağrı kontrolü için elektrik stimülasyonunun kullanılabilirliği hariç),
- Kas kasılmalarının iyileşmeyi bozabileceği durumlarda (örn. kas veya tendon yırtığı, aşırı kullanım veya akut yaralanma), düşük frekanslı TENS'te olduğu gibi ağrı kontrolü için uyarılmış kas kasılmalarını kullanmayın.<sup>25</sup>

## TENS için Önlemler

- Kalp hastalığı,
- Kognitif bozukluk,
- Duyusal bozukluk,
- Malign tümörler,
- Cilt tahrişi veya açık yaraların olduğu alanlar,
- Kas kasılmaları nedeniyle, düşük frekanslı TENS gecikmiş başlangıçlı kas ağrısına neden olabilir,
- TENS ağrıyla etkili bir şekilde azaltabildiğinden, hastalara potansiyel olarak semptomları şiddetlendiren aktivitelerden kaçınmaları için talimat verilmesi gerekebilir.<sup>25</sup>

## Kaynaklar

1. Kuhn A, Keller T, Lawrence M, Morari M. The influence of electrode size on selectivity and comfort in transcutaneous electrical stimulation of the forearm. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2010;18(3):255-62. doi:10.1109/TNSRE.2009.2039807.
2. Gibson W, Wand BM, Meads C, Catley M, O'Connell NE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain-an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;4(4):CD011890. doi:10.1002/14651858.CD011890.pub3.
3. Francis RP, Johnson MI. The characteristics of acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation (acupuncture-like TENS): A literature review. *Acupunct Electrother Res.* 2011;36(3-4):231-58. doi:10.3727/036012911803634139.
4. Facci LM, Nowotny JP, Tormem F, Trevisani VFM. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and interferential currents (IFC) in patients with nonspecific chronic low back pain: Randomized clinical trial. *Sao Paulo Med J.* 2011;129(4):206-16. doi:10.1590/s1516-31802011000400003.
5. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med.* 2012;85(2):201-15. PMID:22737049.
6. Peng WW, Tang ZY, Zhang FR, Li H, Kong YZ, Iannetti GD, et al. Neurobiological mechanism of TENS-induced analgesia. *Neuroimage.* 2019;195:396-408. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.03.077.
7. Hurlow A, Bennett MI, Robb KA, Johnson MI, Simpson KH, Oxberry SG. Transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) for cancer pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;2012(3):CD006276. doi:10.1002/14651858.CD006276.pub3.
8. Leonard G, Goffaux P, Marchand S. Deciphering the role of endogenous opioids in high-frequency TENS using low and high doses of naloxone. *Pain.* 2010;151(1):215-9. doi:10.1016/j.pain.2010.07.012.
9. Chen CC, Tabasam G, Johnson MI. Does the pulse frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) influence hypoalgesia? A systematic review of studies using experimental pain and healthy human participants. *Physiother.* 2008;94(1):11-20. doi:10.1016/j.physio.2006.12.011.



10. King EW, Sluka KA. The effect of varying frequency and intensity of transcutaneous electrical nerve stimulation on secondary mechanical hyperalgesia in an animal model of inflammation. *J Pain*. 2001;2(2):128-33. doi:10.1054/jpai.2001.19963.
11. Sluka KA, Bjordal JM, Marchand S, Rakel BA. What makes transcutaneous electrical nerve stimulation work? Making sense of the mixed results in the clinical literature. *Phys Ther*. 2013;93(10):1397-402. doi:10.2522/ptj.20120281.
12. Arienti C. Is transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) effective in adults with fibromyalgia? A Cochrane Review summary with commentary. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2019;19(3):250-2. PMID:31475930.
13. Johnson MI. (2014), Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): Research to support clinical practice. Oxford University Press. ISBN:9780199673278.
14. Vance CG, Dailey DL, Rakel BA, Sluka KA. Using TENS for pain control: The state of the evidence. *Pain Manag*. 2014;4(3):197-209. doi:10.2217/pmt.14.13.
15. McNeal DR, Baker LL. Effects of joint angle, electrodes and waveform on electrical stimulation of the quadriceps and hamstrings. *Ann Biomed Eng*. 1988;16(3):299-310. doi:10.1007/BF02368005.
16. Kuhn A, Keller T, Micera S, Morari M. Array electrode design for transcutaneous electrical stimulation: A simulation study. *Med Eng Phys*. 2009;31(8):945-51. doi:10.1016/j.medengphy.2009.05.006.
17. Lyon GM, Leane GE, Clarke-Moloney M, O'Brien JV, Grace PA. An investigation of the effect of electrode size and electrode location on comfort during stimulation of the gastrocnemius muscle. *Med Eng Phys*. 2004;26(10):873-8. doi:10.1016/j.medengphy.2004.08.003.
18. Verhoeven K, van Dijk JG. Decreasing pain in electrical nerve stimulation. *Clin Neurophysiol*. 2006;117(5):972-8. doi:10.1016/j.clinph.2006.01.006.
19. Dailey DL, Rakel BA, Vance CG, Liebano RE, Amrit AS, Bush HM, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation reduces pain, fatigue and hyperalgesia while restoring central inhibition in primary fibromyalgia. *Pain*. 2013;154(11):2554-62. doi:10.1016/j.pain.2013.07.043.
20. Mello LF, Nóbrega LF, Lemos A. Transcutaneous electrical stimulation for pain relief during labor: A systematic review and meta-analysis. *Rev Bras Fisioter*. 2011;15(3):175-84. PMID:21829980.
21. Santos CM, Francischi JN, Lima-Paiva P, Sluka KA, Resende MA. Effect of transcutaneous electrical stimulation on nociception and edema induced by peripheral serotonin. *International Int J Neurosci*. 2013;123(7):507-15. doi:10.3109/00207454.2013.768244.
22. Melzack R, Wall PD. Pain Mechanisms: A New Theory: A gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. *Science*. 1965;150(3699):971-9. doi:10.1126/science.150.3699.971.
23. Henderson JM. Peripheral nerve stimulation for chronic pain. *Curr Pain Headache Rep*. 2008;12(1):28-31. doi:10.1007/s11916-008-0006-5.
24. Hadjistavropoulos T, Craig KD. (2004), Pain: Psychological perspectives. 1<sup>st</sup> ed. New York: Psychology Press. doi:10.4324/9781410609861.
25. Cameron MH. (2017), Physical agents in rehabilitation: An evidence-based approach to practice. 6<sup>th</sup> ed. Elsevier. ISN:978-0323761949.







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

Bölüm

14

1



## Orta Frekanslı Akım

ÇEVİRİ YAZARI: YASEMİN KARAASLAN • BÖLÜM YAZARI: EVA ILIE

### Giriş

Orta Frekanslı Alternatif Akımlar (OFAA'ler), fizyoterapi ve rehabilitasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır ve 1-10 kilohertz (kHz) arasında değişen frekanslarla karakterize edilmektedir. Bu akımlar terapötik ortamlarda geniş uygulama alanı bulmaktadır.<sup>1</sup>

Orta frekans aralığında en yaygın kullanılan iki frekans, "Enterferansiyel Akımlar (EFA)" olarak bilinen 4 kHz ve "Russian Akımları" olarak bilinen 2,5 kHz'dir. Bu frekanslar tercih edilir çünkü deri, akımın geçişine karşı kapasitif bir bariyer görevi görür ve frekans arttıkça deri empedansı düşer. Bu, mevcut ve daha etkili terapötik sonuçların daha iyi penetre olmasına olanak tanır.<sup>1</sup>

Kilohertz seviyelerinde deri empedansı önemli ölçüde azalır, bu da yüzeysel epidermiste daha az elektrik enerjisinin dağılmasına neden olur. Sonuç olarak, altta yatan dokuyu uyarmak için daha yüksek oranda elektrik enerjisi mevcuttur. Amaç genellikle vücudun daha derinlerinde bulunan motor sinirlerini uyarmak olduğunda bu durum özellikle önem kazanır. Azaltılmış empedans, elektrik akımının hedeflenen dokulara daha verimli bir şekilde iletilmesine olanak tanıyarak stimülasyonun etkinliğini artırır.<sup>2</sup>

OFAA genellikle sinüzoidal akım patlamaları üretecek şekilde modüle edilir ve bu patlamaların frekansı tipik olarak 1 ila 150 Hertz (Hz) arasında değişir. Alternatif akım uyarısının her döngüsü tarafından oluşturulan ardışık kHz frekans atımlarına sinir lifi tepkisinin, her OFAA patlamasına yanıt

olarak tek bir aksiyon potansiyeli üretecek şekilde toplanacağına inanılmaktadır. Modülasyon frekansında beklenen sinir ateşlemesi, fizyolojik ve terapötik etkilerin, alçak frekans atımlı akımlarla gözlemlenenlere benzer olacağını göstermektedir.

Bu varsayıma dayanarak, OFAA'ya verilen yanıtın öncelikle taşıyıcı frekansın kendisinden ziyade deri empedansındaki değişikliklerden etkileneceği tahmin edilmektedir. Başka bir deyişle, daha yüksek taşıyıcı frekansların, derin yerleşimli sinirlerin daha verimli uyarılmasını sağlaması beklenir.

Uyaran yoğunluğu (voltaj) ile 1-35 kHz arasında değişen OFAA frekansları kullanılarak farklı fizyolojik tepkiler arasındaki ilişki araştırılmıştır.<sup>3</sup> Duyu, motor ve ağrı eşikleri, 50 Hz'lik bir patlama frekansında iletilen 10 milisaniyelik (msn) patlamalar kullanılarak özel olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, tüm eşiklerin yaklaşık 10 kHz'de en düşük noktaya vardığını ve ardından bu frekansın ötesinde keskin bir şekilde arttığını göstermiştir. Ancak frekans 10 kHz'in üzerine çıktıkça azalan deri empedansının öngördüğü düşüş eğilimi tutarlı bir şekilde gözlemlenmemiştir. Ek olarak çalışma, iki eşik arasındaki ayrımı gösteren ağrı ve motor eşikleri arasındaki oranın 10 kHz civarında en yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Öte yandan, iki eşik arasındaki ayrımı gösteren motor ve duyu eşikleri arasındaki oranın 10 kHz civarında en düşük noktada olduğu düşünülmüştür. Bu bulgulara dayanarak, en konforlu uyarım için en uygun frekansın 10 kHz'e yakın olduğu sonucuna varılabilir.<sup>3</sup>

Minimum eşik voltajı için en uygun frekans, kullanılan elektrotların boyutuna bağlı olarak değişir. Bunun nedeni, eşiklerin, daha yüksek OFAA frekanslarında azalan deri empedansı ile sinir liflerinin azalan hassasiyeti arasındaki dengeden etkilenmesidir. Hem deri hem de sinir lifi zarları kapasitif bariyer görevi görerek bu olguya katkıda bulunur.

Bir sinir lifine bir uyarı uygulandığında, membranın şarj olması ve aksiyon potansiyeli oluşturacak eşığe ulaşması zaman alır. Uyarı süresi kısaysa sinir ateşleme eşığına ulaşmak için daha yüksek bir yoğunluk gerekir. Bu, hem dikdörtgen atımlı akım uyarımını hem de tek döngülü OFAA uyarımını içerir.

OFAA frekansı arttıkça sinüzoidal atımların süresi kısalmır. Bu, eşığe ulaşmak için daha yüksek bir uyarın yoğunluğunun gerekli olduğu anlamına gelir. Sinir lifi, daha yüksek OFAA frekanslarında daha az hassas hale gelir ve membranı depolarize etmek için daha yüksek bir uyarı yoğunluğu gerektirir.<sup>4</sup>

Eşğin minimumda olduğu frekans, azalan deri empedansı ile azalan sinir lifi hassasiyeti arasındaki dengeye bağlıdır. Alçak frekanslarda eşik öncelikle deri empedansındaki azalmaya bağlı olarak azalır. Ancak daha yüksek frekanslarda sinir lifi zarının duyarlılığının azalması nedeniyle eşik artar.

Transkutanöz stimülasyonun optimal frekansı spesifik sonuç ölçüsüne bağlıdır. Ağrısız, düşük kuvvetli kas kontraksiyonları için optimum frekans, elektrot boyutundan veya iletim modundan bağımsız olarak 9 kHz civarındadır. Öte yandan mutlak eşğin en düşük olduğu frekans, elektrot boyutuna göre değişir. 10 msn'lik patlama modunu kullanan maksimum tork üretimi için 1 kHz veya daha düşük bir frekansın optimal olduğu bulunmuştur.<sup>5</sup>

Enterferansiyel veya Russian akımlarının istenen farklı sonuçlara uyum sağlamak için bir dizi taşıyıcı frekans sunması gerektiğini göstermektedir.

## Enterferansiyel Akım

Fizyoterapistler genellikle terapötik amaçlar için transkutanöz elektriksel stimülasyonu kullanırlar.

Alternatif akım için farklı frekanslar ve uygulama modları arasında seçim yapma seçeneğine sahiptirler. Akım doğrudan veya sürekli olarak uygulanabilir veya bir dizi atım olarak iletilebilir. Tedavide kullanıldığında her akım türünün kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Kanıta dayalı elektroterapi, uygulanan enerjiyi fizyolojik olayları uyarmak için bir tetikleyici olarak kullanarak hastanın daha hızlı iyileşmesini teşvik eder, bu da terapötik faydalar ve ağrının hafifletilmesine yol açar.<sup>6</sup>

Enterferansiyel tedavi, dokulardaki alçak frekanslı akımların etkilerini taklit etmek için "orta frekanslı" alternatif akımları kullanır (Şekil 14.1). İki OFAA uygulanarak, alçak frekanslı bir enterferansiyel akım üretilir ve ağrı, rahatsızlık veya cilt tahrişi gibi hoş olmayan yan etkiler olmadan alçak frekanslı stimülasyonun faydalarını sağlar.<sup>7</sup>

Enterferansiyel akımın öncülüğünü 1950'lerde Avusturyalı fizikçi Nemeç yapmıştır.<sup>8</sup> EFA tedavisi, orta frekanslı akımı (tipik olarak 4 kHz civarında) kullanan bir tür transkutanöz elektriksel stimülasyondur.<sup>9</sup> EFA tedavisinde biraz farklı iki orta frekanslı akımın etkileşimi, 0-250 Hz arasında değişen şiddet modülasyonlu bir alçak frekanslı akımın üretilmesiyle sonuçlanır.<sup>10</sup>

EFA'nın alçak frekanslı akımlara göre iddia edilen avantajlarından biri, derinin empedansını azaltmasıdır.<sup>11</sup> EFA'nın bir diğer potansiyel faydası, amplitüd modüle frekans (AMF) parametresi oluşturma yeteneğidir, bu da tedavi alanının derinliklerine nüfuz edebilen alçak frekanslı bir akımın üretilmesine neden olur.<sup>8</sup> Literatürde EFA'nın analjezik etkilerini desteklemek için çeşitli teorik fizyolojik mekanizmalar önerilmiştir. Bunlar arasında



Şekil 14.1 Enterferansiyel Akım Uygulaması.



Kapı Kontrol Teorisi, dolaşımın artması, ağrının azalması, sinir iletiminin engellenmesi ve plasebo etkileri yer alır.<sup>12</sup>

İki tür EFA mevcuttur: EFA ve pre-modüle EFA. EFA, iki izole devre aracılığıyla uygulanan iki OFAA ile dört elektrotun kullanımını içerir. Akımların doku içine müdahale ederek istenen terapötik etkiyi yaratması amaçlanır. “Önceden modüle edilmiş” (pre-modüle) EFA’da, iki orta frekanslı akımın binışmesi makinenin kendi içinde meydana gelir. Amplitüdü modüle edilmiş bir akım olan sonuçta ortaya çıkan akım, daha sonra tek bir elektrot çifti kullanılarak dokuya iletilir.<sup>13</sup>

Başlangıcından bu yana, EFA klinik ortamlarda ağrıyı hafifletmek ve kas-iskelet sistemi yaralanmalarıyla ilişkili çeşitli semptomları gidermek için kullanılmıştır.<sup>14</sup>

## EFA İlkeleri

EFA tedavisinin prensibi deri empedansı ile frekans arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Frekans arttıkça deri empedansı azalır ve bu,  $Z = 1/2FC$  formülü kullanılarak ifade edilebilir. Burada Z: ohm cinsinden deri empedansını temsil eder. F, Hz cinsinden frekansı temsil eder ve C ise mikroyarad cinsinden derinin kapasitesini temsil eder.

OFAA’ların kullanılmasıyla derinin empedansı, düşük frekanslara kıyasla önemli ölçüde azalır. Örneğin 50 Hz’de deri empedansı yaklaşık 3200 Ohm iken 4000 Hz’de 40 Ohm’a düşer. Empedans-taki bu azalma, düşük frekanslı bir akım olan girişim akımının biyolojik dokuları etkili bir şekilde uyarmasını sağlar.

OFAA’ları uygulamanın avantajı, cilde daha kolay nüfuz edebilmeleri ve daha derin dokulara ulaşmak için daha az akım şiddeti gerektirmesidir. Bu sadece daha verimli ve etkili bir uyarımı kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kişinin yaşadığı rahatsızlığı da en aza indirir.

EFA, kısmen faz dışı olan iki orta frekanslı akımın birleştirilmesiyle üretilir. Bu, akımların dokulara müdahale edecek şekilde uygulanmasıyla veya uygulamadan önce bunların stimülatör içinde karıştırılmasıyla elde edilebilir. Akımlardan biri tipik olarak 4000 Hz gibi sabit bir frekansa ayarlanırken, diğer akım 4000-4250 Hz gibi bir aralıkta ayarla-

nabilir. EFA tedavisi, kutanöz sınırların istenmeyen uyarımını en aza indirirken akımın dokulara nüfuzunu optimize etmek için müdahale ilkesini kullanır.

## EFA’nın Kullanımı

EFA beş temel klinik uygulamada potansiyel faydalar göstermiştir:

1. Akut ve kronik ağrıyı hafifletmek ve yönetmek.
2. Kas aktivitesini uyararak ve kas rehabilitasyonunu teşvik etmek.
3. Kan dolaşımını artırmak ve doku oksijenasyonunu iyileştirmek.
4. Ödem azaltılması ve şişliğin çözülmesinin teşvik edilmesi.
5. Yumuşak dokuların iyileşme ve onarım sürecini kolaylaştırmak.<sup>15</sup>

## Ağrı Yönetimi

EFA tedavisinin analjezik etkisi, kısmen Wedensky’nin tip C nosiseptif lifleri inhibisyonuna atfedilebilir, ancak muhtemelen başka ilgili mekanizmalar da vardır. Başlangıçta Melzack ve Wall tarafından önerilen ve daha sonra değiştirilen Kapı Kontrol Teorisi, bu etkinin merkezi açıklaması olmayı sürdürmektedir.

Kapı Kontrol Teorisi, derideki geniş çaplı miyelinli aferent sınırlardan gelen aksiyon potansiyellerinin, omuriliğin arka boynuzundaki merkezi yükselen duyu yollarına erişmek için ağrı bilgisini taşıyan küçük çaplı miyelinsiz liflerle rekabet ettiğini ileri sürmektedir. Teori, büyük liflerdeki aktivitenin öncelikli olduğunu, ağrı bilgisine “kayıyı kapatarak” bilinçli farkındalığa ulaşmasını önlediğini öne sürmektedir. Bu mekanizma ağrının azalmasına yol açar.

“Azalan ağrı bastırma mekanizması”, nosiseptif bilgiye yanıt olarak endojen opiatların salınmasını içerir. Ağrı sinyalleri talamusa ulaştığında orta beyindeki raphe çekirdekleri de dahil olmak üzere çeşitli yapılarla etkileşime girer. Raphe çekirdeklerinden ağrı bilgisinin girildiği omurga segmentine inen liflerdeki artan aktivite, inhibitör nörotransmitterlerin salınmasına yol açar. Bu nörotransmitterler ağrı sinyallerinin daha fazla iletilmesini engeller.<sup>16</sup>

EFA, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan açığa çıkan akut ve kronik ağrının tedavisinde kullanılır:

- Yaralanma veya kazalardan kaynaklanabilecek travma sonrası ağrı.
- Omuz-el sendromu, refleks sempatik distrofi ve Raynaud hastalığı gibi durumlarda sempatik olarak devam eden ağrı.

EFA bu durumlarda ağrıyı hafifletmek ve iyileşmeyi desteklemek için faydalı olabilir.

Duyusal uyarı seviyesinde daha yüksek frekansların (tipik olarak 100 Hz civarında) uygulanması, ağrı kapısı mekanizmalarını etkinleştirerek ağrı semptomlarını etkili bir şekilde maskeleyebilir ve rahatlama sağlayabilir. Öte yandan, motor seviyesindeki yoğunluklarda 10 Hz'e kadar daha düşük frekansların kullanılması, opioid mekanizmalarını aktive edebilir ve endojen opioidlerin salınması yoluyla bir dereceye kadar ağrının hafifletilmesini sağlayabilir.

Sempatik olarak devam eden ağrı vakalarında, EFA sempatik ganglion ve sempatik sinirlerin aktivitesinin azaltılmasına yardımcı olarak bu durumlarla ilişkili ağrının hafifletilmesine yardımcı olabilir.<sup>15</sup>

### Kas Yönetimi

Wedensky inhibisyonu yaşayan nöronlar, azaltılmış hassasiyet gösterir ve uygulanan uyarının frekansından bağımsız bir ateşleme hızı sergiler. "Gildemeister Etkisi" olarak bilinen bu fenomen, motor siniri konforlu EFA ile hızlı bir şekilde uyarıldığında gözlemlenebilir. Normal istemli bir kontraksiyon sırasında gözlemlenen modele benzer şekilde, bireysel motor birimlerinin asenkron depolarizasyonuna yol açar. Buna karşılık, geleksel düşük frekanslı nöromüsküler stimülasyon esas olarak, kolayca yorulan kas liflerini inerve eden, daha düşük eşiklere sahip büyük akson motor nöronlarını iyileştirir. Bu iyileşme modeli eşzamanlıdır ve normal bir kontraksiyondan farklıdır.<sup>16</sup>

Kas kontraksiyonu, motor sinirlerin tipik olarak 10-50 Hz arasında değişen çeşitli frekanslar kullanılarak uyarılmasıyla sağlanabilir. 1-10 Hz gibi daha düşük frekanslar bir dizi kontraksiyona

neden olurken, 50 Hz gibi daha yüksek frekanslar sürekli bir tetanik kontraksiyon ile sonuçlanacaktır. Tedavi parametrelerinin seçimi, istenen spesifik etkiye ve terapötik hedefe bağlıdır. EFA tedavisi, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli potansiyel uygulamalara sahip bir nöromüsküler stimülasyon tekniği olarak kullanılabilir:

1. Kas spazmlarının gevşemesi: EFA kas spazmlarını azaltmaya yardımcı olur ve kas gevşemesini teşvik ederek spazmlarla ilişkili ağrı ve sertliğin giderilmesini sağlar.
2. Kullanmama atrofisinin önlenmesi ve geciktirilmesi: EFA, motor sinirleri uyararak ve kas kontraksiyonunu teşvik ederek, kullanmama veya hareketsiz kalma nedeniyle oluşabilecek kasın atrofisini önlemeye veya yavaşlatmaya yardımcı olabilir.
3. Kasların yeniden eğitimi: EFA, yaralanma veya cerrahi sonrasında kasların yeniden eğitilmesini kolaylaştırmak için kullanılabilir. Kas koordinasyonunu, kuvvetini ve kontrolünü geliştirmeye yardımcı olabilir.
4. Hareket açıklığının korunması: EFA kas aktivasyonunu ve hareketini teşvik ederek eklemdeki hareket aralığının korunmasına veya iyileştirilmesine, sertliğin ve eklem kontraktürlerinin önlenmesine veya azaltılmasına yardımcı olabilir.

Bu uygulamalar, nöromüsküler rehabilitasyonun çeşitli yönlerinde EFA tedavisinin potansiyel faydalarını vurgulamakta ve kasların iyileşmesini ve fonksiyonel restorasyonunu desteklemektedir.<sup>15</sup>

### Dolaşımı Teşvik Etmek ve Ödemi Azaltmak

100 Hz frekansındaki EFA tedavisinin akut ödemin azaltılmasında etkili olduğu ileri sürülmektedir. Bu frekans kas-iskelet sistemi pompasını uyarır ve sempatik aktiviteyi engelleyerek etkilenen bölgeden sıvının drenajına yardımcı olur. Ek olarak, EFA'nın hücre zarını doğrudan etkileyerek hücre içi sıvı sızıntısını azalttığı bulunmuştur.<sup>16</sup>

Kronik ödemin optimal tedavisi için iki aşamalı bir uygulama önerilir. Başlangıç aşaması, vazodilatasyonu teşvik etmek ve kan akışının iyileşmesini sağlamak için 100 Hz'de bir akımın uygulanmasını





içerir. İkinci aşamada frekans 10 Hz'e ayarlanarak kas-iskelet pompası devreye girerek venöz ve lenf kanallarına dönen sıvının uzaklaştırılması kolaylaştırılır. Bu iki aşamalı yaklaşım, kronik ödemin etkin yönetimi için hem altta yatan vasküler sorunların hem de sıvı drenajının ele alınmasına yardımcı olur.<sup>17</sup>

EFA tedavisi için yaygın olarak kullanılan atım frekansı yaklaşık 15 Hz veya 10-25 Hz tarama aralığıdır. Bu frekans aralığı, terapötik faydalar sağlamada ve ağrının giderilmesini teşvik etmede etkilidir. Atım frekansını veya bu aralıktaki frekansların taramasını kullanarak, EFA tedavisi spesifik fizyolojik tepkileri hedefleyebilir ve dokularda istenen terapötik etkileri uyurabilir.<sup>16</sup>

EFA tedavisi iki ana mekanizma yoluyla artan vazodilatasyona yol açar:

1. Parasempatik sinir liflerinin uyarılması: EFA, vazodilatasyonu ve artan kan akışını teşvik eden parasempatik sinir liflerini aktive etme yeteneğine sahiptir. Bu, kan dolaşımının iyileştirilmesinin istendiği dolaşım bozukluklarının tedavisinde faydalı olabilir.
2. Sempatik aktivitenin engellenmesi: EFA belirli servikal ve lumbo-sakral sempatik ganglionların aktivitesini baskılamaya yardımcı olabilir. Arterlerin konstrüktör tonusunu azaltarak, özellikle arteriyel konstrüksiyonun arttığı Raynaud hastalığı gibi durumlarda dolaşımın artmasına katkıda bulunur.<sup>15</sup>

Bu mekanizmaları hedef alan EFA tedavisi, kan akışını artırır ve etkilenen bölgelerdeki dolaşımı iyileştirerek çeşitli dolaşım bozuklukları ve durumları için potansiyel faydalar sağlar.<sup>17</sup>

### Doku iyileşmesi Üzerindeki Etkiler

EFA terapisinin, çeşitli enzimlerin ve moleküllerin hücre içi konsantrasyonunda değişikliklere neden olduğu ve bunun bir dizi terapötik etkiye yol açtığı gösterilmiştir. Bu etkiler şunları içerir:

1. Siklik adenozin monofosfat (cAMP) seviyelerinin modülasyonu: EFA tedavisinin, birçok hücresel süreçte yer alan önemli bir sinyal molekülü olan cAMP seviyelerini etkilediği rapor edilmiştir. CAMP seviyelerindeki bu değişiklik-

ler, gerçek mekanizmalar tam olarak anlaşılmasına rağmen, EFA'nın gözlemlenen terapötik etkilerine katkıda bulunabilir.

2. Asetilkolin esterazın değişmesi: EFA tedavisi, asetilkolinin parçalanmasında rol oynayan bir enzim olan asetilkolin esterazdaki değişikliklerle ilişkilendirilmiştir. Bu değişiklikler nöral sinyali etkileyebilir ve EFA'lerin sinir onarımı ve yenilenmesi üzerindeki etkilerine katkıda bulunabilir.
3. Alkalın fosfataz ve lizozomal enzimlerin modifikasyonu: EFA tedavisinin, alkalın fosfataz ve lizozomal enzimlerin seviyelerini etkilediği bulunmuştur. Bu enzimler hücresel metabolizma ve doku onarım süreçlerinde önemli roller oynarlar. Konsantrasyonlarının modülasyonu kemik iyileşmesini, doku yenilenmesini ve diğer onarım süreçlerini kolaylaştırabilir.<sup>16</sup>

Enzim ve molekül konsantrasyonlarında gözlemlenen bu değişiklikler, EFA'nın terapötik etkilerinin altında yatan mekanizmalar hakkında bilgi sağlar. Bununla birlikte, ilgili spesifik yolları ve etkileşimleri tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Tibia ve fibuladaki akut kırıkların tedavisinde olumlu sonuçlar bildirilmesine rağmen, EFA tedavisi doku iyileştirme amacıyla yaygın olarak kullanılmamaktadır. Haftada 5 gün, 20 dakika (dk) boyunca 20 Hz frekansında EFA uygulamasını içeren tedavi, umut verici sonuçlarla ilişkilendirilmiştir. Ancak kırık tedavisinde EFA uygulaması sınırlı kalmaktadır.<sup>18</sup>

20 dakika boyunca 20 Hz frekansı kullanan EFA ile mandibular kırıkların iyileşme sürecinin arttığı gösterilmiştir. Ek olarak, EFA'nın 100 Hz frekansında 20 dakika süreyle uygulanmasının Sudeck atrofisi ve psödoartrozun çözümünü hızlandırdığı bulunmuştur. Bu bulgular, EFA'lerin bu spesifik durumlarda iyileşmeyi ve iyileşmeyi teşvik etmede faydalı olabileceğini düşündürmektedir.<sup>16</sup>

### İnkontinans Yönetimi

Farklı nedenlerle EFA'nın hem stres hem de urge inkontinanslı hastalar için fayda sağladığı gösterilmiştir. Stres inkontinansı üretral sfinkter meka-

nizmasının yetersizliği nedeniyle ortaya çıkarken, urge inkontinansı detrusör kasının disinhibisyonundan kaynaklanır. Her iki tür inkontinansı veya her ikisinin kombinasyonunu yaşayan hastalar, haftada 3 gün, 15 dakika boyunca 0-10 Hz frekans aralığında EFA tedavisi ile tedavi edildikten sonra işeme frekansında azalma bildirmişlerdir. Bu sonuç, EFA'nın çeşitli inkontinans türlerine sahip hastalarda semptomların yönetilmesinde ve mesane kontrolünün iyileştirilmesinde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

30 dakika boyunca 5-10 Hz'deki EFA, pudental sinirdeki küçük afferent lifleri hedef alarak urge inkontinansı etkili bir şekilde tedavi eder. Bu, detrusör kasının refleks inhibisyonunu ve pelvik taban kaslarının kontraksiyonunu uyarır. Klinik değerlendirme eksiktir ve EFA tedavisi anorektal inkontinans için etkili değildir.<sup>16</sup>

### Uygulama Teknikleri

“Dört kutuplu teknikte” düz bir yüzeyi tedavi etmek için dört elektrot aynı düzlemde yerleştirilir. Her elektrot hedef alanın etrafına konumlandırılır ve kanallar birbirine dik olarak uzanır ve orta noktada kesişir. Akımların girişim etkisi, tedavi edilen alanın merkezinden 45°'lik açılarla ayrılır. Bu konfigürasyon, bu bölgedeki dokuların maksimum tedavi etkisini almasını sağlar.

“Bipolar teknikte” iki kanalın enterferansı doku yerine jeneratörün içinde gerçekleşir. Bu teknik, kuadripolar uygulama kadar dokulara derinlemesine nüfuz etmediği için daha fazla duyu hissinin elde edilmesini sağlar. Longitudinal bir bölgenin uyarılmasının gerekli olduğu bazı durumlarda bipolar teknik tercih edilebilir. Tedavinin amacı kas kontraksiyonu olduğunda bipolar elektrot yerleşimleri yaygın olarak kullanılır.<sup>15</sup>

### Tedavi Parametreleri

Tedavi parametreleri, EFA tedavisinin uygulanması sırasında kullanılan spesifik ayarlara ve değişkenlerden oluşur. Bu parametreler, bireyin durumuna ve istenen sonuca göre tedaviyi özelleştirmek için ayarlanabilir. Bazı yaygın tedavi parametreleri şunları içerir:

1. Frekans: EFA'nın frekansı, tipik olarak 1 Hz ile 10.000 Hz arasındadır. Frekans seçimi, ağrının giderilmesi veya kas stimülasyonu gibi amaçlanan etkiye bağlıdır.
2. Amplitüd (akım şiddeti): Genellikle miliamper (mA) cinsinden ölçülen akımın yoğunluğu veya şiddetidir. Şiddet, kişinin hassasiyeti ve toleransı dikkate alınarak, kişinin rahat edebileceği bir seviyeye ayarlanmalıdır.
3. Tedavi Süresi: Her tedavi seansının süresi, genellikle dakika cinsinden ölçülür. Seans süresi tedavi edilen duruma ve kişinin vereceği cevaba göre değişiklik gösterebilir.
4. Elektrot Yerleştirme: Elektrotların yerleştirilmesi hedef bölgeye, istenilen etkiye ve tedavi tekniğine (ör. dört kutuplu veya iki kutuplu) bağlı olarak değişebilir.
5. Tedavi Frekansı: Haftalık veya günlük tedavi seanslarının sıklığıdır. Frekans, bireyin duruma ve tedavi hedeflerine göre, günde birden fazla seanstan haftada birkaç seansa kadar belirlenebilir.

Tedavi parametrelerinin seçiminin sağlık profesyonellerini tarafından yönlendirilmesi ve bireyin ihtiyaçlarına göre şekillendirilmesi gerektiğine dikkat etmek önemlidir.

Bu arada frekans, fizyolojik tepkiyi ve hedef dokuları belirlediği için EFA tedavisinde çok önemli bir rol oynar. Farklı dokular için alternatif frekans aralıkları şunlardır:

1. Sempatik Sinir: 1-5 Hz
  - Sempatik sinirlerin uyarılması bu frekans aralığında optimaldir.
2. Parasempatik Sinir: 10-150 Hz
  - Parasempatik sinirler bu aralıktaki frekanslara iyi yanıt verir.
3. Motor Sinir: 10-50 Hz
  - Kas kontraksiyonunu tetiklemek ve motor sinirleri uyarmak için bu aralıktaki frekanslar etkilidir.
4. Duyusal Sinir: 90-100 Hz
  - Duyusal sinirler tipik olarak 90-100 Hz frekans aralığında uyarılır.



5. Nosiseptif Lifler: 90-150 Hz
  - Ağrı sinyallerini ileten nosiseptif lifler bu aralıktaki frekanslara iyi yanıt verir.
6. Düz Kas: 0-10 Hz
  - 0 ila 10 Hz arasındaki frekanslar düz kas dokularının uyarılması için uygundur.

Bu frekans aralıklarının genel kurallar olduğunu ve kişiye, hastanın durumuna ve tedavi hedeflerine bağlı olarak değişebileceğini unutmamak önemlidir. Kullanılan spesifik frekans, hastanın kapsamlı bir değerlendirmesine dayanarak bir sağlık uzmanı tarafından belirlenmelidir.<sup>15</sup>

## Kaynaklar

1. Hanke TA, Nelson RM, Hayes KW, Currier DP. (1999), Therapeutic uses of biofeedback. Nelson RM, Currier DP, eds. In: Clinical electrotherapy. 3rd Ed. USA: Appleton&Lange. ISBN:083851491X.
2. Reilly JP, Antoni H, Chilbert MA, Skuggevig W, Sweeney JD. (1992), Electrical stimulation and electropathology. 1<sup>st</sup> ed. Cambridge University Press. ISBN:0521417910.
3. Ward AR, Robertson VJ. Sensory, motor, and pain thresholds for stimulation with medium frequency alternating current. Arch Phys Med Rehabil. 1998;79(3):273-8. doi:10.1016/s0003-9993(98)90006-5.
4. Reilly JP. Electrical models for neural excitation studies. Johns Hopkins APL Technical Digest. 1988;9(1):44-59.
5. Ward AR, Robertson VJ. Variation in motor threshold with frequency using kHz frequency alternating current. Muscle Nerve. 2001;24(10):1303-11. doi:10.1002/mus.1148.
6. Tiktinsky R, Chen L, Narayan P. Electrotherapy: Yesterday, today and tomorrow. Haemophilia. 2010;16:126-31. doi:10.1111/j.1365-2516.2010.02310.x
7. Kroeling P, Gross A, Graham N, Burnie SJ, Szeto G, Goldsmith, et.al. Electrotherapy for neck pain. Cochrane Database Syst Rev. 2013;(8):CD004251. doi:10.1002/14651858.CD004251.pub5.
8. Baetti A, Rayner A, Chipchase L, Souvlis T. Penetration and spread of interferential current in cutaneous, subcutaneous and muscle tissue. Physiotherapy. 2011; 97(4):319-26. doi:10.1016/j.physio.2011.01.008.
9. Fuentes J, Armijo-Olivo S, Magee DJ, Gross D. Does amplitude-modulated frequency have a role in the hypoalgesic response of interferential current on pressure pain sensitivity in healthy subjects? A randomised crossover study. Physiotherapy. 2010;96(1):22-9 doi:10.1016/j.physio.2009.06.009.
10. Fuentes J, Armijo-Olivo S, Magee DJ, Gross DP. A preliminary investigation into the effects of active interferential current therapy and placebo on pressure pain sensitivity: A random crossover placebo-controlled study. Physiotherapy. 2011;97(4):291-301. doi:10.1016/j.physio.2011.01.001.
11. Robertson V, Ward A, Low J, Reed A. (2006), Electrotherapy explained: Principles and practice. 4<sup>th</sup> ed. London: Heidi Harrison. ISBN:0750688437.
12. Palmer S, Martin D. (2002), Interferential current for pain control. In Kitchen S. (Ed.). Electrotherapy: Evidence-based practice. 11th edition. Churchill Livingstone. pp.287-300. ISBN:0443072167.
13. Ozcan J, Ward AR, Robertson VJ. A comparison of true and premodulated interferential currents. Arch Phys Med Rehabil. 2004;85(3):409-15. doi:10.1016/s0003-9993(03)00478-7.
14. Wright A, Sluka KA. Nonpharmacological treatments for musculoskeletal pain. The Clin J Pain. 2001;17(1):33-46. doi:10.1097/00002508-200103000-00006.
15. Cairo University. Medium frequency currents. Accessed: <http://www.lib.pt.cu.edu.eg/Medium%20Frequency%20Current.pdf>
16. Goats GC. Interferential current therapy. Br J Sports Med. 1990;24(2):87-92. doi:10.1136/bjism.24.2.87.
17. Wadsworth H, Chanmugam AP. (1983), Electrophysical agents in physiotherapy: Therapeutic & diagnostic use. Science press. ISBN:0855831162.
18. Ganne JM, Speculand B, Mayne LH, Goss AN. Inferential therapy to promote union of mandibular fractures. Aust N Z J Surg. 1979;49(1):81-3. doi:10.1111/j.1445-2197.1979.tb06442.x.







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

Bölüm  
**15**

1

# Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon



ÇEVİRİ VE BÖLÜM YAZARI: MEHMET DURAY

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Tarihçesi

Elektrofiziksel ajanlar, fizyoterapi alanında uzun yıllardan beri ağrı, ödem ve kas kuvvetlendirme amacıyla kullanılmaktadır.<sup>1,2</sup> Deneysel çalışmalarda 1900'lü yılların ortalarına doğru elektroterapi nin ağrı ve ödem kontrolünde yüksek voltajlı akımların etkinliği araştırılmaya başlanmıştır. Amerikalı araştırmacı Haslip, 1945 yılında Dyna dalgası adını verdiği Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonu (YVKGS) geliştirdi. Yaklaşık 20 yıllık bir çalışmanın ardından Young, 1966 yılında YVKGS'nin ödem kontrolü üzerindeki etkinliğine ilişkin ilk çalışmayı yayınladı ve akım 1970'li yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlandı.<sup>3,4</sup>

## Yüksek ve Alçak Voltajlı Akım Arasındaki Farklar

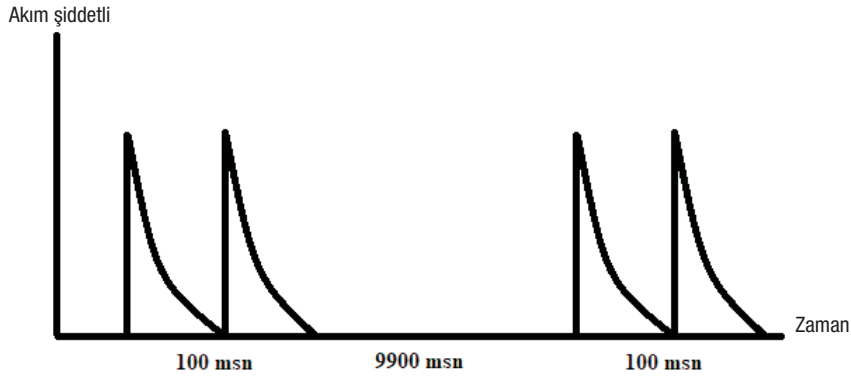
Düşük voltajlı stimülatörler 150 Volt'un altında güç üretirken, yüksek voltajlı stimülatörler 150-500 V aralığında güç üretir. Düşük voltajlı akımlarla karşılaştırıldığında YVKGS cilt tarafından daha az dirençle karşılaştığı için hastaya rahatsızlık vermeden derin dokulara kolaylıkla geçebilmektedir. Rahatsızlık hissinin en aza indirilmesi ve derin dokulara geçişin kolay olması ile faz süresinin kısa olması nedeniyle hastalarda orta derecede kas kontraksiyonları meydana gelir. Terapatik etkiler birbirini tetiklerken, fizyolojik düzeydeki iyileşme fonksiyonel sonuçlara yol açmaktadır.<sup>4-6</sup> Bu etki-

lerin daha az ağrı hissi ile elde edilebilmesi için, geçiş periyodunda voltajın düşük akım şiddeti ile uygulanması YVKGS'nin temel uygulama prensibini oluşturmaktadır. Düşük voltajlı uyarıcılarla stimülasyon sağlamak için uzun atım süreli akımlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle alçak gerilim akım uygulamalarında uyarılma süresi yaklaşık 300 mikrosaniye ( $\mu\text{sn}$ ) ve frekansı 35 Hertz (Hz) olan atımlar kullanılır.<sup>7</sup>

Düşük voltajlı elektrik stimülasyonu ile ciltte ve kontraktıl yapılarda periferik dolaşım artar. YVKGS, düşük voltajlı akımlarla karşılaştırıldığında ciltte ve kontraktıl yapılarda dolaşımı daha az artırır. Ancak otonom aktivasyon sağlayarak direkt etki, elektrotların altındaki asit ve baz reaksiyonunun etkisi ile ve somatik sempatik reflekslerin uyarılması sonrasında oluşan dolaylı etki ile dolaşım artırılabilir. Kan dolaşımının artmasını sağlayan ve dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli mekanizma ise kas kontraksiyonuna bağlı olarak kan damarları üzerindeki pompalayıcı etkidir. Böylece kas kontraksiyonuna ikincil olarak venöz dönüş artacaktır.<sup>7</sup>

## Yüksek Voltajlı Akımın Özellikleri

YVKGS akımı, 300-500 Voltta uygulanan 7-200  $\mu\text{sn}$  gibi çok kısa geçiş süresine sahip ikiz tepe atımlarına sahiptir.<sup>6</sup> Ortalama 100  $\mu\text{sn}$  uyarı süresine sahip olan akım, 9900  $\mu\text{sn}$  dinlenme süresine sahiptir (Atım/dinlenme süresi 1/99'dur). Kısa atım



**Şekil 15.1** Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon Dalga Formu (Yazar tarafından oluşturulmuştur).

ve uzun dinlenme süresine sahip olan akım sabit süreli olarak uygulanıp, sivri uçlu monofazik ikiz tepe atımı oluşturulur. Çok karakteristik olan dalga formunda akım şiddeti hızlı bir şekilde yükselir ve hızlı bir şekilde düşer. Birinci atımın ardından gelen ikinci atım, ilk sivri uçlu başak şeklindeki atımın oluşturduğu tahrişi önler. Frekansı 1-200 atım/sn olan YVKGS, frekansın yüksek olması nedeniyle daha düşük deri direnciyle karşılaşarak, deri yüzeyini çok hızlı bir şekilde geçer.<sup>6,8,9</sup> Bu durum YVKGS'yi kolay tolere edilebilir yüksek etkili bir ajan haline getirir.<sup>10</sup> Sürekli modüle olan akım sıklıkla 80-100 defa atımlıdır ve tercihe göre surge edilebilir. YVKGS pek çok durumda kullanılabilir. Hastalığa özel tedavi süresi, voltaj gereksinimi ve diğer tedavi parametreleri değişiklik göstermektedir.<sup>7</sup> YVKGS karakteristikleri **Tablo 15.1**'de gösterilmektedir.

**Tablo 15.1** Akım Parametresinin Özellikleri

<b>Akım özellikleri</b>	İkiz atımlı (tepe) monofazik atım Kısa uyarı-geniş dinlenme süresi Yüksek voltaj
<b>Uyarılan dokular</b>	Motor ve duyuşal sinirler Derin dokular
<b>Frekans</b>	Tercihen artırıp azaltılabilir.
<b>Polarite</b>	Pozitif veya negatif kutup uyarımı tercih edilebilir.
<b>Uygulama</b>	Monopolar/Bipolar
<b>Tedavi süresi</b>	30-60 dakika (dk)
<b>Tedavi sıklığı</b>	3-7 gün/hafta

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Etki Mekanizmaları

YVKGS, derin dokuların uyarılmasını sağlamak üzere tasarlanmış bir elektroterapi ajanıdır. Derin dokuların hasarı veya fonksiyonel yetersizliğine bağlı olarak meydana gelen ağrıların modülasyonu ve yaraların iyileşmesine katkıda bulunur.<sup>6</sup> YVKGS, özellikle kas liflerinin seçici uyarımına olanak veren motor stimülasyon sağlayan bir yöntemdir. YVKGS'nin duyuşal sinirlerden önce motor sinirleri uyaracak karakterde yüksek yoğunluklu kısa atımlar içermesi akımı daha tercih edilir hale getirmiştir.<sup>11</sup> YVKGS, atrofi mekanizmasını tersine çevirerek, enzim aktiviteyi artırarak, izole kas kontraksiyonu sağlayarak nöromusküler stimülasyon sağlar ve kas atrofisini önler.<sup>5</sup>

YVKGS'nin atım süresinin kısa olması seçici duyuşal ve motor stimülasyona yol açarken, çok az sayıda nosiseptör uyarımına yol açar. Bu özellik, YVKGS'yi uygulama açısından tolere edilebilir hale getirir.<sup>7</sup> Kısa uyarı süresi ve hızla yükselen yüksek akım şiddet ve voltajına sahip olduğu için etkili sinir stimülasyonuna yol açarak kasların kuvvetlendirilmesi, inerve kasların atrofisinin önlenmesi ve yara iyileşmesini hızlandırma da etkindir.<sup>9,11,12</sup> Akımın deriden kolay ve hızlı bir şekilde geçerek derin sinir ve kas dokulara ulaşması doku rejenerasyonunun devamlılığını sağlar. Özellikle bası yaralarının tedavisinde tercih edilen akım katot stimülasyonu ile mikorganizmaların proliferasyonunu engeller, anot stimülasyonu ile galvanotaksik etki



oluşturarak yaranın rejenerasyonu hızlandırır. Derin dokular üzerindeki etki mekanizması sayesinde sadece dermal değil subdermal doku da iyileşme sağlar.<sup>9,12</sup> YVKGS, etkin şiddette uygulandığında fibroblastlarda DNA ve protein sentezini uyarmaktadır. En büyük ölçekli DNA ve protein sentezi, negatif kutup uyarımıyla saniyede 100 atımlık bir hızda elde edilmektedir. Bununla birlikte, voltajın 250 Volt'un üzerine çıkması DNA ve protein sentezini inhibe etmektedir.<sup>1,13</sup>

YVKGS'de atım süresi kısaltılmaz. Bu yüzden, akım yoğunluğunun artırılması için frekansın artırılması gerekmektedir. Akım genliğinin artırılması, akımın daha derin dokulara geçişini kolaylaştırarak, daha derinde yerleşim gösteren sinir ve kasların stimülasyonunu kolaylaştırır. Bu durum kas kontraksiyonunun etkinliğini artırdığı için, elektrotlar tam olarak sinirin yüzeyelleştiği yere veya kasın motor noktasına yerleştirilmese bile uyarımla kas kontraksiyonu alınabilir. Uyarımın derin dokulara geçişi sadece duyu ve motor yapıları uyarmaz, otonom sinirleri ve vazomotor yapıların düz kaslarını da uyarır.<sup>7</sup>

YVKGS sonrası akım siniri rahat bir şekilde depolarize edebildiği için hasta tarafından rahatsızlık vermeyen bir karıncalanma hissi ve parastezi duyumu algılanır. YVKGS, sinir uyarımı sonrası ağrı yollarının bloklanması, tetik noktaların uyarılarak derin kaslardaki spazmın çözülmesi ve artan beslenme sonrası yara iyileşmesini içeren birleşik bir etkiyle nörojenik ağrının giderilmesinde de etkindir.<sup>6,14</sup> Bu etkiler sadece semptomları azaltmakla kalmaz aynı zamanda fonksiyonel yetenekleri ve harekete dair güveni de geliştirir.<sup>14</sup>

YVKGS, birkaç farklı mekanizmayla ağrı yönetimi sağlamaktadır. İlk mekanizma; merkezi sinir sisteminde opiat madde, enkefalin ve B-endorfin sentezinin uyarılmasına dayanır. Morfin benzeri bu maddelerin YVKGS ile birlikte hipofizden salgısının artması analjezik etki oluşturarak hareket kalitesini geliştirir.<sup>14</sup> Ağrının merkezi olarak blokasyonu 2 yolla gerçekleştirilir.<sup>7</sup> Birinci yol YVKGS ile kasın motor noktası veya akupunktur noktasında ağrıdan daha şiddetli bir uyarın oluşturulmasıdır. Bu yöntem uzun yıllardır kullanılmaktadır. Diğer yol ağrılı olmayan uyarınların ağrılı duyuşal lif

aktivasyonunun görüldüğü alanlara yayılmasıdır. YVKGS ile ağrı üstü bir uyarın ağrılı duyuşal lif aktivasyonunun görüldüğü alanlara yayılır. Elektrot büyüklüğü artırılarak, ağrısız duyuşal lif stimülasyonu daha etkin hale getirilebilir.<sup>7</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Özel Kullanım Alanları

### YVKGS'nin esas kullanım amaçları;

- Etkin kas kontraksiyonu oluşturmak,
- Kas kuvvetini fonksiyonel düzeye kadar artırmak,
- Dolaşımın artırılması ve regülasyonu,
- Ağrı ve ödemi azaltmak,
- Yara iyileşmesi hızlandırmak,
- Sekonder komplikasyonları önlemektir.<sup>15</sup>

### Musküler Distrofiler

Musküler distrofi hastalarında elektroterapinin kullanılıp kullanılmayacağı konusundaki tartışmalar halen devam etmektedir. YVKGS'nin düşük akım şiddetinde kolayca tolere edilen bir ajan olması, kas distrofisi olan hastalarda YVKGS kullanımının uygun olup olmayacağı sorusunu gündeme getirmiştir. Deltoid ve Quadriceps Femoris gibi proksimal kaslara uygulanan YVKGS'nin kas kuvvetini artırdığı gibi günlük yaşam aktivitelerine katılımı da artırdığı rapor edilmiştir. Aşırı yorulması gereken özel bir grup olan musküler distrofisi olan hastaların ihtiyacı göz önüne alındığında, YVKGS'nin ağrı ve yorgunluğa neden olmadan kas kuvvetini artırabileceği düşünülmektedir. Ancak yine de musküler distrofisi olan hastalarda elektroterapi kullanımının uzun süre tartışmalı bir konu olacağını unutulmamalıdır.<sup>15</sup>

### Sporcularda Kullanım

YVKGS, sporcularda en sık kullanılan elektroterapi ajanlarından biri olan Russian akımına benzer nöromusküler etkiler göstermektedir. Kas gücü ve dayanıklılığı üzerinde daha etkili olduğu için YVKGS'nin egzersizle birlikte kullanılması önerilmektedir.<sup>16</sup>

## İmmobil Hastaların Tedavisinde Kullanım

YVKGS, özellikle inme ve spinal kord yaralanması olan hastalarda bası yaralarının önlenmesinde kullanılır. Kan akışını, kollajen sentezini ve fibroblast aktivasyonunu artırarak hastalarda koruyucu rol oynar, böylece yara iyileşmesini kolaylaştırır. Ağrıya çok duyarlı olan bu hasta gruplarında ağrı tedavisinde de etkili bir ajandır.<sup>6,13</sup>

## Konstipasyon

YVKGS, son yıllarda konstipasyon tedavisinde de kullanılmaya başlanmıştır. YVKGS'nin ağrı ve kas spazmlarını azalttığı, ayrıca kas kuvvetlendirme de etkili olduğu bilinmektedir. YVKGS, nöroendokrin sinirlerin uyarılmasına yol açar ve bağırsak motilitesini artırıcı uyarıları indükler. Abdominal kaslara uygulanan YVKGS sonucu oluşan karın içi basınç artışı, ağrısız bağırsak hareketlerinin artışı, rektal kanamanın, ödemin, ve yanma semptomlarının azalması bağırsağın işlevselliğini artırır. Pelvik taban dissinerjisi azalırken, pelvik taban kas kuvvet ve fonksiyonları da artar.<sup>17</sup>

## Ortopedik Patolojiler Sonrası Kasın Yeniden Eğitimi

Bipolar teknikle uygulanan kas eğitimi surge'lü veya kesikli olarak uygulanabilir.<sup>4</sup>

## Nörolojik Patolojiler Sonrası Kasın Yeniden Eğitimi

YVKGS nörolojik hastalıklardan sonra kasların yeniden eğitilmesi için de kullanılabilir. Ortopedik problemlerde olduğu gibi akım surge'lü veya kesikli hale getirilerek de uygulanabilmektedir.<sup>4</sup> YVKGS, nörolojik bozukluklarda daha az rahatsızlıkla daha fazla güç ürettiği için tercih edilmektedir.<sup>18</sup> Diplejik serebral palsili hastalarda HVPGS'nin baş kontrolünü iyileştirdiği rapor edilmiştir.<sup>19</sup> Multipl Skleroz hastalarında HVPGS'nin alt ekstremitelerinin kuvvetini artırdığı, yorgunluğu azalttığı ve nörorehabilitasyon tekniklerinin etkilerini artırdığı sonucuna varılmıştır.<sup>20</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyon Uygulaması

Kas spazmı ve tetik nokta ağrısının giderilmesi için kabul edilen elektrot yerleşimi ve tedavi protokolü düşük frekans uygulamalarıyla aynıdır.<sup>4,6</sup> Yara iyileşmesi için ise tedavide standart silikon elektrotlar kullanılır. Yara bölgesi temizlenmiş olmalıdır. Yara debrid edilmeli ve yara üzeri steril gazlı bezle örtülmelidir.<sup>4,11</sup>

Uygulamalarda elektrot büyüklüğü genellikle 4x4 veya 5x5 olarak tercih edilir.<sup>4,11</sup> Kullanılan pasif elektrot aktif elektrodun 3 katı yüzey alanına sahip olmalı ve pasif elektrot daha proksimale yerleştirilmelidir. Yavaş yavaş artırılan akım şiddeti, hastanın rahatsızlık hissetmeyeceği tolere edilebilir bir sınıra kadar artırılmalıdır. Stimülasyon yoğunluğu, ağrıya yol açmayacak bir duyum veya amaca göre kuvvetli bir kontraksiyona yol açmalıdır. Tedavi süresi 30-60 dk'dır.<sup>6</sup>

YVKGS, monopolar veya bipolar teknikle uygulanabilir. Eğer monopolar teknik uygulanacaksa “-“ ve “+” kutba bağlanan elektrot tedavi bölgesine yerleştirilir. Polaritenin kullanımı tedavi amacına bağlıdır. Diğer elektrot tedavi bölgesinden daha uzak bir alana yerleştirilir. Eğer bipolar teknik uygulanacaksa zıt kutuplara bağlanan elektrotlar tedavi edilecek alan arada kalacak şekilde birbirine yakın olacak şekilde yerleştirilir.<sup>7</sup> Pasif elektrot aktif elektrottan daha büyük olmalı ve daha proksimale yerleştirilmelidir.<sup>6</sup> Dokular üzerindeki etkisi akımın yoğunluğuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Dokularda ağrı hissi oluşmaması için yüksek akım şiddetiyle uyarılmaması gerekir. Akım şiddeti yavaş yavaş artırılıp, azaltılır.<sup>6,7</sup>

YVKGS özellikle duyuşsal ve motor sinir liflerini uyarır. Atım süresi hızlı kas re-edükasyonu ve atrofi rehabilitasyonuna olanak tanır. Kas güçsüzlüğü ve atrofi durumlarında yüksek frekanslı uygulamaların erken yorgunluğa neden olabileceği akılda tutulmalıdır. Ayrıca kas kontraksiyonu sonucu oluşan pompalama aktivitesi, ödem sıvısının hareketliliğini sağlayarak şişliği azaltır.<sup>9,12</sup> YVKGS, genellikle tek başına bir tedavi yöntemi olarak kullanılmaz. YVKGS'nin oluşturduğu kas kontraksiyonu ağrının azalmasına önemli katkı sağlarken, bantlama gibi





diğer yöntemlerle birlikte kullanılabileceği de belirtilmektedir.<sup>11</sup>

YVKGS'nin yara iyileşmesi için haftanın en az 5 günü uygulanması tercih edilirken, kas spazmı tedavisinde ve kuvvetlendirmede haftada en az 3 gün uygulanabilmektedir.<sup>4,21</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Avantajları

- Sinir liflerinin seçici olarak uyarır, ağrısız stimülasyon sağlar.
- Akıma karşı deri direnci düşük olduğu için derin dokular ve sinirler rahatlıkla uyarılır.
- Yara iyileşmesinden kas kontraksiyonu sağlamaya kadar farklı amaçlarla kullanılabilir.
- YVKGS ağrıyı ve ödemi azaltarak, mikro sirkülasyon ve mekanik germeyi artırarak eklem mobilitesini artırır.<sup>7</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Dezavantajları

- YVKGS cihazlarının pek çoğu taşınabilir değildir. Dolayısıyla hasta kliniğe gelmek zorundadır.<sup>7</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Olası Yan Etkileri

Düşük voltajlı ve uzun atım süreli ajanlara göre tolere edilebilir düzeydeki kısa atım süresi, kimyasal ve ısı ilişkili yan etkileri azaltmaktadır. Bu yüzden YVKGS herhangi bir hissedilir yan etki profili olmadan uzun süreli kullanım için uygun bir ajandır.<sup>7</sup>

## Yüksek Voltajlı Kesikli Galvanik Stimülasyonun Kontraendikasyonları

YVKGS;

- Osteomiyeliti olan,
- Kanseri olan,
- Kalp pili kullanan,
- Gebe,

- Yarada irritasyona, doku toksisitesine veya alerjik reaksiyona neden olabilecek topikal maddeler kullananlarda kontraendikedir.<sup>21</sup>

## Uygulamada Dikkat Edilecek Durumlar

- Elektrotların kalp, frenik sinir, karotis sinüs veya laringeal kasların üstüne ve çevresine yerleştirilememesine dikkat edilmelidir.<sup>21</sup>
- Duyu bozukluğu olan alanlar, deri bütünlüğü kaybolan doku ve hemorajik dokulara uygulama yapılırken dikkatli olunmalıdır. Çok riskli ise bu bölgelere uygulama yapılmamalıdır.
- Epilepsisi olan hastalara gözlem altında uygulama yapılmalıdır.<sup>5</sup>

## Kaynaklar

1. Ahmad ET. High-voltage pulsed galvanic stimulation: Effect of treatment duration on healing of chronic pressure ulcers. Ann Burns Fire Disasters. 2008;21(3):124-8. PMID:21991123.
2. Singh J. (2011), Manual of practical electrotherapy. 1<sup>st</sup> ed. Jaypee Brothers Publishers. ISBN:9350250594.
3. Nelson RM, Currier DP. (1991), Clinical electrotherapy. 2nd ed. USA: Appleton&Lange. ISBN: 0-8385-1334-1334.
4. Kırdı N. (2016), Elektrotterapiye temel prensipler ve klinik uygulamalar. 2nd ed. Ankara: Hipokrat Kitabevi. ISBN:978-605-9160-03-2.
5. Ewida M. High-volt pulsed stimulation. Accessed:<https://kfs.edu.eg/pt/pdf/18420218463748.pdf>.
6. Mitra PK. (2006), Handbook of practical electrotherapy. 1<sup>st</sup> ed. Jaypee. ISBN:8180616207.
7. Wells LM. (1986), A comparative study of positive versus negative polarity in the treatment of acute ankle sprains utilizing high-voltage electrogalvanic stimulation. University of the Pacific, Thesis. Accessed: [https://scholarlycommons.pacific.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3121&context=uop\\_etds](https://scholarlycommons.pacific.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3121&context=uop_etds).
8. Belanger AY. (2002), Evidence-based guide to therapeutic physical agents. 1<sup>st</sup> ed. Lippincott Williams & Wilkins. ISBN:0781721083.
9. Mohr T, Carlson B, Sulentic C, Landry R. Comparison of isometric exercise and high volt galvanic stimulation on quadriceps femoris muscle strength. Phys Ther. 1985;65(5):606-12 doi:10.1093/ptj/65.5.606.
10. Junquiera CL. (1992), Basic histology. 7<sup>th</sup> ed. Appleton Lange. ISBN:0838505767.
11. Kaya D, Yüksel İ, Callaghan MJ, Güney H, Atay ÖA, Çitaker S, et al. High voltage pulsed galvanic stimulation adjunct to rehabilitation program for patellofemoral pain syndrome: A prospective randomized controlled trial. Turk J Physiother Rehabil. 2013;24(1):1-8. doi:10.21653/trfd.156477.
12. Brukner P, Khan K. (1995), Clinical Sports medicine. 2<sup>nd</sup> ed. Sydney: McGraw-Hill Book Company. ISBN:9780074711088.
13. Mawson AR, Siddiqui FH, Connolly BJ, Sharp CJ, Stewart GW, Summer WR, et al. Effect of high voltage pulsed galvanic stimulation on sacral transcutaneous oxygen tension levels in the spinal cord injured. Spinal Cord. 1993;31(5):311-9. doi:10.1038/sc.1993.55.

14. Potturi G, Agarwal A, Vajrjala KR. Effect of high voltage pulsed galvanic stimulation (HVPGS) on neurogenic pains-A simple randomized clinical controlled trail. IJSER. 2018;9(12):255-9.
15. Kılınç M, Yıldırım S. The effects of electrical stimulation and exercise therapy in patients with limb girdle muscular dystrophy a controlled clinical trial. Neurosciences. 2015;20(3):259-66. doi:10.17712/nsj.2015.3.201501097.
16. Akinoglu B, Kocahan T. Russian current versus high voltage current with isokinetic training on the quadriceps muscle strength and endurance. JER. 2020;16(3):272-8. doi:10.12965/jer.2040260.130.
17. Pooja M, Jeba C. Effect of high voltage pulsed galvanic stimulation for constipation in acute stroke -A randomized clinical trial. Turk J Physiother Rehabil, 2021;32(3): 2553-8 ([https://www.researchgate.net/publication/352478689\\_EFFECT\\_OF\\_HIGH\\_VOLTAGE\\_PULSED\\_GALVANIC\\_STIMULATION\\_FOR\\_CONSTIPATION\\_IN\\_ACUTE\\_STROKE\\_-A\\_RANDOMIZED\\_CLINICAL\\_TRIAL?\\_iepl%5BgeneralViewId%5D=penYnh5AykLJ8M2TzCbVhfaWBnsyo5dXrV1m&\\_iepl%5Bcontexts%5D%5B0%5D=searchReact&\\_iepl%5BviewId%5D=aw1Xuc7tpz4Cih1w8qUZFB1XWG-G7KeysyxUf&\\_iepl%5BsearchType%5D=publication&\\_iepl%5Bdata%5D%5BcountLessEqual20%5D=1&\\_iepl%5Bdata%5D%5BinteractedWithPosition1%5D=1&\\_iepl%5Bdata%5D%5BwithEnrichment%5D=1&\\_iepl%5Bposition%5D=1&\\_iepl%5BrgKey%5D=PB%3A352478689&\\_iepl%5BtargetEntityId%5D=PB%3A352478689&\\_iepl%5BinteractionType%5D=publicationTitle](https://www.researchgate.net/publication/352478689_EFFECT_OF_HIGH_VOLTAGE_PULSED_GALVANIC_STIMULATION_FOR_CONSTIPATION_IN_ACUTE_STROKE_-A_RANDOMIZED_CLINICAL_TRIAL?_iepl%5BgeneralViewId%5D=penYnh5AykLJ8M2TzCbVhfaWBnsyo5dXrV1m&_iepl%5Bcontexts%5D%5B0%5D=searchReact&_iepl%5BviewId%5D=aw1Xuc7tpz4Cih1w8qUZFB1XWG-G7KeysyxUf&_iepl%5BsearchType%5D=publication&_iepl%5Bdata%5D%5BcountLessEqual20%5D=1&_iepl%5Bdata%5D%5BinteractedWithPosition1%5D=1&_iepl%5Bdata%5D%5BwithEnrichment%5D=1&_iepl%5Bposition%5D=1&_iepl%5BrgKey%5D=PB%3A352478689&_iepl%5BtargetEntityId%5D=PB%3A352478689&_iepl%5BinteractionType%5D=publicationTitle)).
18. Wong RA. High voltage versus low voltage electrical stimulation. Force of induced muscle contraction and perceived discomfort in healthy subjects. Phys Ther 1986;66(8):1209-14. doi:10.1093/ptj/66.8.1209.
19. Sherief AAA, Hamed SA. Effect of high voltage pulsed galvanic stimulation on head control in spastic diplegic cerebral palsy. J Am Sci 2013; 9(3):185-8. doi:10.5505/vtd.2016.60320.
20. Çetişli Korkmaz N, Kırdı N, Temuçin 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):736-43. PMID:22355992.
21. Lampe KE. Electrotherapy in tissue repair. Hand Ther. 1998;11(2):131-9. doi:10.1016/s0894-1130(98)80011-2.





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

Bölüm  
**16**

1

# Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu



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

## Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu

Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES) ortopedik ve nörolojik rehabilitasyonda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu stimülasyonun etkinliği ve uygulaması, osteoartritten inmeye kadar geniş bir alanda iyi bir şekilde belgelenmiştir.<sup>1</sup> FES kısaltması muhtemelen literatürde en yaygın kullanılanıdır; ancak, bu elektrik stimülasyonu (ES) yönteminin genellikle stimülasyonun eşzamanlı veya aralıklı olarak fonksiyonel bir görevle eşleştirilmesi sürecini ifade ettiği konusunda bir ayrım yapılmalıdır.<sup>2</sup> Aynı zamanda FES, zamanla motor kontrolü iyileştirmek amacıyla göreve özgü hareketi artırmak için atrofik kasların uyarılması olarak da tanımlanmıştır. Fonksiyonel görevler sırasında kas kasılması sağlanarak, kasın zaman içinde aktif olarak nasıl kasılacağını “öğrenebileceğine” ve güç kazanımının zamanla stimülatör kullanımını bıraktırmaya olanak verebileceğine inanılmaktadır.<sup>3</sup>

FES'in çok çeşitli terapötik uygulamaları bulunmaktadır. FES, hareket açıklığını korumak veya arttırmak, ödemi azaltmak, kırık veya doku iyileşmesini desteklemek, kas spazmını ve spastisitenin etkilerini azaltmak, dolaşımı iyileştirmek, kullanmama atrofisini önlemek veya tersine çevirmek ve hareketi kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda nöromusküler yeniden eğitim ve ortotik eğitim için de kullanılmıştır.

ES'nin FES olarak sınıflandırılabilmesi için anlamlı bir fonksiyonel aktivite sırasında kas kasılmasının gerçekleşmesi gerekir. Bu stimülasyon, belirli bir kasın bir görev sırasında kasılması istendiğinde kasılacak şekilde özel olarak zamanlanabilir.<sup>3</sup> FES sistemi, sağlam periferik sinirlerdeki aksiyon potansiyellerini tetikleyen bir dizi elektriksel uyarı üretir ki bu da kas kasılmalarını daha da etkinleştirir. Uyarın yoğunluğunun büyüklüğü, etkinleştirilen sinir liflerinin sayısını ve dolayısıyla kas kasılma kuvvetini belirler.<sup>4</sup>

ES tarafından motor ünitelerin etkinleştirilmesi, istemli kasılmaların tersi sıra ile büyükten küçüğe doğru ilerler çünkü en büyük çaplı aksionlar etkinleştirilmesi en kolay olanlardır. İstemli kasılmalar, daha güçlü, daha hızlı, yorulabilir (tip II) birimlerden önce, tercihen kuvvet üreten, yavaş kasılan, yorulmaya dirençli (tip I) lifleri çalıştırır.

Bu, çeşitli motor ünitelerinin asenkron aktivasyonunu mümkün kılar ki bu da bireysel motor ünitelerinin iyileşme süresini ve yumuşak ve kademeli hareketi mümkün kılar. Kas aktivitesini sürdürmek için aktif ve aktif olmayan motor üniteler arasında yumuşak geçiş sağlar. Elektriksel olarak ortaya çıkan kasılmalar düzgün, kademeli bir başlangıç göstermez, bu da taraflı ve senkronize motor ünitenin çalışmasını yansıtır.<sup>1</sup> FES sadece motor sinir liflerini değil aynı zamanda afferent duyuşal sinir liflerini de uyarır.<sup>5</sup> Kasılmalar, boyuta ve stimülasyon elektrodunun yakınlığına bağlı olarak motor birimleri harekete geçirir. Bu, kademeli

ve izole hareketi önleyerek etkinleştirilen birden fazla motor ünite birleşimlerini üretir. Bu ya hep ya hiç harekete geçirme fiziksel yorgunluk için de bir etkidir. Fiziksel yorgunluk, elektrikle üretilen bir kasılmada daha hızlı meydana gelir çünkü belirli bir kasılma için yorulabilen motor ünitelerin daha büyük bir kısmı gereklidir. İstemli kasılmaları ES ile birleştirmek, en iyi ve en güçlü kasılmayı üretir çünkü ES, belirli bir anda istemli kasılmayla etkinleştirilmeyen farklı motor birimleri harekete geçirir.<sup>1</sup>

Nöromüsküler FES'in temel amacı kayıp fonksiyonları tamamlamaktır. FES'te kaslar fonksiyon sağlamak amacıyla koordineli bir şekilde uyarılır. En iyi bilinen uygulamalardan biri düşük ayak olan hastalarda Peroneal sinir stimülatörüdür. Bu nedenle FES sistemleri, hareketleri değiştirerek veya destekleyerek hastalara yardımcı olmak için kullanılır. FES sıklıkla fonksiyonel iyileşmesi zaten durmuş olan hastalarda uygulanır. Bununla birlikte, FES çerçevesinde tekrarlanan kas aktivasyonunun, stimülasyon süresini aşan istemli motor kontrolün de iyileşmesine yol açabileceği gösterilmiştir.<sup>6</sup>

FES ayrıca günlük yaşam aktivitelerinin performansının yanı sıra egzersiz için kasların aktivasyonu yoluyla kullanıcılara terapötik fizyolojik faydalar da sağlayabilir. FES'te istemli hareketin onarımı, periferik sinirlerdeki veya spinal kordun içindeki aksonların uyarılması yoluyla alt motor nöronların elektriksel aktivasyonu ile ortaya çıkar.<sup>7</sup>

## Elektrik Stimülasyonu Parametreleri

### Frekans

"Frekans", stimülasyon sırasında saniyede üretilen atımı ifade eder ve Hertz biriminde belirtilir (Hz, örneğin 40 Hz = saniyede 40 atım). Kullanılan ES frekansları, görevin veya müdahalenin hedeflerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir, ancak çoğu klinik, en iyi sonuçlar için 20-50 Hz kalıplarını kullanır. Fiziksel yorgunluğu veya rahatsızlığı önlemek için, genellikle düşük kuvvet seviyelerinde düzgün kasılma sağlayan sabit düşük frekanslı sti-

mülasyon kullanılır. Yüksek frekansların genellikle daha konforlu olduğu bildirilir çünkü kasılma cevabı yumuşatılır ve karıncalanma etkisine sahiptir. Diğer taraftan düşük frekanslar bireyin atımların ayırt edilebildiği bir vuruş etkisi ortaya çıkarır.<sup>8</sup>

### Stimülasyon Frekansının Artırılması

Sıklıkla, hastanın konforu için istenen sıklığa ve yoğunluğa kadar bir stimülasyon kademesi kullanılır. "Rampa süresi", stimülasyonun açılmasından istenen frekansın gerçek başlangıcına kadar geçen süreyi ifade eder. Rampa süresi klinik uygulamalarda hastanın uyarılmış harekete karşı direnç oluşturan artan bir tonusa sahip olabileceği durumlarda kullanılır. Örneğin, dirseğinde fleksör hipertonisitesi olan bir kişi, hareketi başarılı bir şekilde tamamlamak için, gerilmiş fleksörlerin tersine hareket eden dirsek ekstansörlerini etkinleştirmek için daha fazla zaman tanımak üzere stimülasyon frekansının kademeli olarak artırılmasından faydalanacaktır.<sup>9</sup>

### Atım Genişliği/Süresi

ES cihazları genellikle kare, sivri uçlu veya sinüs dalgaları gibi geometrik şekillerle temsil edilen dalga biçimi modellerinde "atımlar" yapar. Bu şekiller, stimülasyon paradigmasının kapsamı için izoelektrik hattın üzerine çıkan elektrik akımını (tek fazlı; örneğin, doğru akım) veya izoelektrik hattın üstünde ve altında değişen akımı (iki fazlı veya alternatif akım) karakterize eder. Tek bir atımın zaman aralığı "atım genişliği" veya "atım süresi" olarak bilinir. İki fazlı (negatif bir fazla birleştirilmiş pozitif faz) atımlarda, atım süresi her iki fazı da dikkate alır. Tipik olarak, FES ile kombine bisiklet testlerinde kullanılanlara benzer dinamik Quadriceps Femoris kas ekstansiyonu için 300-600 mikrosaniye ( $\mu$ sn) arasında atım genişlikleri kullanılır. Bazı araştırmacılar, kısa atım süreli (500-1000  $\mu$ sn) düşük frekanslı stimülasyonun daha düşük bir fiziksel yorgunluk indeksi sergileyeceğini öne sürmüştür. Bununla birlikte, daha kısa atım genişliklerinin bile (10-50  $\mu$ sn) kas liflerinin harekete geçirilmesini etkilediği ve başka bir kas fasikülünde kasılmaya neden olmadan önce daha az sayıda lif üzerinde daha büyük bir





maksimum tork oluşturabildiği gösterilmiştir. Bu önemlidir çünkü kas fasikülleri içindeki daha büyük bir harekete geçirme oranı muhtemelen performans süresini artırabilir. Bu nedenle, fiziksel yorgunluk ortaya çıktıkça çevredeki alanda potansiyel olarak daha fazla lifi harekete geçirmek için atım genişliği artırılabilir.<sup>10</sup>

Soleus kasına 20 Hz frekansında 50, 200, 500 ve 1000 µsn atım genişliklerini karşılaştıran bir çalışma, daha geniş atım genişliklerinin daha güçlü plantar fleksiyon kasılmaları ürettiği ve ayrıca genel kasılma özelliklerini çoğalttığı sonucuna varmıştır. Ek olarak, daha uzun atım süreleri tipik olarak deri altı dokulara daha derinlemesine nüfuz edeceğinden, ikincil doku katmanlarını etkilemeye çalışırken bu genişlikler kullanılmalıdır.<sup>10</sup>

## Görev Döngüsü

“Görev döngüsü” bir nöromüsküler ES (NMES) programının fiili açık ve kapalı süresini tanımlar ve genellikle 1:2 [10 saniye açık, 20 saniye kapalı] gibi oran biçiminde veya %70 gibi yüzdelere ifade edilir ki bu da toplam açık ve kapalı sürelerle karşılaştırıldığında açık kalma süresinin yüzdesini gösterir. Yaygın klinik uygulamalarda standart olarak 1:3 görev döngüsü kullanılır, ancak bu oran hastanın ihtiyaçlarının yanı sıra tedavinin hedeflerini de karşılayacak şekilde değiştirilebilir.<sup>9</sup>

## Genlik/Yoğunluk

Fiziksel yorgunluğa katkıda bulunacak diğer bir parametre, uygulanan akımın gücü veya stimülasyonun iletildiği “yoğunluk” / “genlik”tir (genellikle miliamper, mA cinsinden rapor edilir). Yoğunluk ne kadar yüksek olursa, elektrotların altında yatan yapılarıdaki depolarizasyon etkisi o kadar güçlü olur. Daha yüksek yoğunluklar kuvvet artışını geliştirebilir; ES programlarıyla yapılan antrenmanların ardından sürekli olarak güç kazanımları elde edilir. Düşük yoğunluklar, yüksek yoğunluklara göre daha fazla merkezi sinir sistemi girdisine neden olabilir. Yoğunluk aynı zamanda hastanın konforunu da etkileyecektir; daha yüksek yoğunluklar genellikle daha az tolere edilir. Ancak frekans ve yoğunluk kaçınılmaz olarak üretilen kas kasılmalarının kalitesini belirleyecektir.<sup>10</sup>

## Elektriksel Stimülasyon Dağıtımının Çeşitleri

Diğer bir “transkutanöz stimülasyon” türü ise elektromiyografi (EMG) ile tetiklenen ES’dir. Bu tür stimülasyon, fonksiyon için belirli kas hareketlerini yeniden öğrenen hastalara yardımcı olur. Kas aktivitesi, EMG kayıt elektrotları aracılığıyla izlenir, böylece EMG sinyali belirli bir eşiğe (genellikle fizyoterapist tarafından ayarlanır) ulaştığında stimülasyon etkinleştirilir ve böylece hastanın bir hareketi tamamlamasına yardımcı olur. Bu müdahale, propriyoseptif geri bildirim ve istemli komponent nedeniyle döngüsel uyarımdan daha da güçlendirici olarak tanımlanmıştır.<sup>11</sup>

“Perkütan stimülasyon”, deri yoluyla seçilen kas içine yerleştirilen elektrotları kullanır ve stimülasyonun özgülüğü çok önemli olduğunda transkutanöz yüzey elektrotlarına göre daha üstün bir seçim olduğu düşünülmektedir. Elektrotların uçları deriden çıkar ve harici bir uyarıcıya bağlanır ve dolayısıyla rahatsızlığı en aza indirir. Bu saç inceliğindeki elektrotlar, transkutanöz uygulamalarda olduğu gibi, çevredeki dokuların istemeden etkinleştirilmesi sonucu olmaksızın, genellikle daha derindeki spesifik kas bölgelerini hedefleyebilir. Elektrotlar ortalama 3 ay kadar yerinde bırakılabilir ancak cilt tahrişi ve elektrotun kırılması veya yerinden çıkması meydana gelebilir. Perkütan FES implantları, inme sonrası glenohumeral subluksasyonla ilişkili omuz ağrısını önemli ölçüde azaltmada etkilidir.<sup>2</sup>

## Elektrot Yerleşimi ve Boyutu

FES akımının alttaki dokuya ulaşma başarısı, cilt-elektrot ara yüzünün iletkenliğinin yanı sıra “elektrot boyutu” ve “elektrot yerleşimi” ile de büyük ölçüde ilişkilidir. Daha büyük yüzey elektrotları daha fazla kas dokusunu harekete geçirecektir ancak akımı daha geniş bir yüzey alanına dağıtarak akım yoğunluğunu azaltacaktır. Daha küçük elektrotlar akım yoğunluklarını yoğunlaştıracak ve yakınlarındaki kaslara daha az uyarı geçişi ile akımın odaksal konsantrasyonunu sağlayacak, ancak yoğun akım rahatsızlık veya ağrı olasılığını artıracaktır.<sup>12</sup>

Elektrotların yerleştirilmesi de kas cevabını önemli ölçüde etkileyecektir ve dikkatle değerlendirilmelidir.

dirilmelidir. Elektrotların en uygun şekilde yerleştirilmesine ilişkin görüşler literatürde yaygındır ve tartışmaların çoğu, tercih edilen konumun “kasın gövdesi” mi yoksa “motor noktası” mı olduğu üzerine yoğunlaşmaktadır. Fizyoterapistler sıklıkla elektrotları doğrudan kas gövdesinin üzerine yerleştirir. Üreticiler ayrıca, genellikle cihaz satın alınmasıyla birlikte verilen önerilen elektrot yerleştirme çizelgeleri veya kılavuzlarını da sağlar; bunlar aynı zamanda NMES’i pratikte kullanan klinisyenler için de bir kaynaktır. Araştırmalar, dünya çapındaki fizyoterapistlerin, varsayımsal nedenlerini tam olarak analiz etmeden, stimülatör kılavuzlarında önerilen elektrot yerleştirme yöntemlerini kullandıklarını göstermektedir.<sup>13</sup>

Alt ekstremitedeki Tibialis Anterior ve Vastus Lateralis kaslarına uygulanan NMES’in etkisini araştıran bir çalışmada, kasın motor noktası (stimülasyon yoluyla doğru şekilde konumlandırılmış) kullanılarak elektrot yerleştirilmesi ile birkaç üreticinin önerileri kullanılarak yapılan yerleştirme karşılaştırılmıştır. Bu, kas performansı sonuçlarında önemli farklılıklara yol açmıştır; motor nokta yerleşimi daha yüksek tork üretmekle kalmamış, aynı zamanda kan akışını artırmıştır ve motor nokta konumları kullanıldığında oksijen kullanımı daha fazla olmuştur.<sup>2</sup>

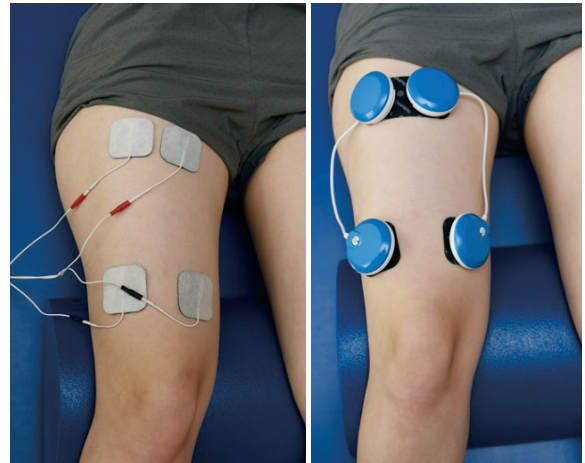
Motor nokta genellikle motor sinirin kasa girdiği kas kütesinin merkezinde bulunur. En iyi pozisyonu bulmak için fizyoterapist negatif elektrodu hafifçe hareket ettirebilir. Temel amaç, minimum miktarda ES’nin ağrıya neden olmadan en büyük kas kasılmasını kolayca uyuracağı noktayı bulmaktır.<sup>13</sup> Bazı cihazlarda, elektrot yerleşimi için en iyi konumu bulmak amacıyla kullanılacak bir motor nokta kalem elektrotu bulunur. Bu durumda fizyoterapist, stimülasyon için en rahat ve etkili yeri belirlemek amacıyla kas gövdesinin çeşitli yerlerinde bir kalem elektrot kullanır. Bu nedenle fizyoterapistlerin ES uygulayabilmesi için anatomi bilgisi önemlidir çünkü elektrotların doğrudan kas üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir.<sup>14</sup>

Genellikle pozitif bir kırmızı elektrot (anot), kasın üst kısmı veya origosuna yakın bir yere yerleşti-

rilir. Negatif siyah elektrot (katot) kasın motor noktasına yerleştirilmelidir çünkü daha güçlü ve daha kolay kasılma sağlar.<sup>13</sup> Ancak Shanmugam’a göre daha güçlü kas kasılması elde etmek için motor noktalarının üzerine katot kutbu yerleştirilebilir ve bir anot ise daha distal olarak yerleştirilebilir.<sup>13</sup>

FES’in etkinliği aynı zamanda elektrot boyutuna da bağlıdır. En iyi elektrot boyutu hedef kasa bağlıdır. Örneğin, küçük elektrotlar ön kol kaslarının seçici aktivasyonu için büyük elektrotlardan daha duyarlıdır. Bununla birlikte, küçük bir elektrotun doğru konumlandırılması, hedef kasın cilt yüzeyi üzerinde test yapmak için daha büyük bir elektrota kıyasla daha fazla zaman gerektirebilir. Uyarıcı elektrotun konumu, istenen kas kasılma tepkisini ortaya çıkarmak için kritik öneme sahiptir. Elektrotun duyu sinirine yakın konumlandırılması cilt reseptörlerinin aktivasyonuna yol açarak rahatsızlığa neden olabilir. Sonuç olarak hastalar bu tip tedaviyi reddedebilirler. Bu nedenle, ES’nin klinik uygulamalarında elektrot konumu önemli bir konudur.<sup>15</sup>

Quadriceps Femoris kas stimülasyonu (Şekil 16.1) ve Infraspinatus kası (Şekil 16.2) için elektrot yerleşimi aşağıda gösterilmiştir. Aynı ilke diğer kaslara da uygulanabilir.



**Şekil 16.1** Quadriceps Femoris kasını kuvvetlendirmek için elektrot yerleşimi (sol şekil- yapışkanlı kablolu elektrotlar, sağ şekil - yapışkanlı kablosuz elektrotlar).



**Şekil 16.2** Aktif kas kasılmasıyla Infraspınatus kasının kuvvetlendirilmesi için elektrot yerleşimi.

## Endikasyonlar ve Kontrendikasyonlar

### Endikasyonlar

- Kas kuvvetini artırmak ve kas atrofisini önlemek.
- Eklem hareket açıklığını iyileştirmek ve korumak.
- Kas spastisitesini ve spazmlarını azaltmak.
- Büyük kas gruplarının aktivitesi yoluyla kardiyovasküler fonksiyonu artırmak.<sup>16</sup>

### Kontrendikasyonlar

- Kalp pili ihtiyacı, implante edilebilir defibrilatör veya değişken aritmi,
- Elektrotların karotis sinüs üzerine yerleştirilmesi,
- Venöz veya arteriyel tromboz veya tromboflebitin mevcut olduğu alanlar,
- Hamilelik - karın üstü veya çevresi veya bel bölgesi,
- Kas aktivitesinin iyileşmeyi bozabileceği durumlar (örn. kas veya tendon yırtılması, aşırı kullanım veya akut yaralanma).<sup>17</sup>

### FES Uygulamasında Dikkat Edilecek Durumlar

- Kalp hastalığı,
- Zihinsel bozukluk,
- Duyu bozukluğu,
- Malign tümörler,

- Cilt tahrişi veya açık yaraların olduğu alanlar,
- Gecikmiş başlangıçlı kas ağrısına neden olabilir.<sup>17</sup>

### Kaynaklar

1. Martin R, Sadowsky C, Obst K, Meyer B, McDonald J. Functional electrical stimulation in spinal cord injury: From theory to practice. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2012;18(1):28-33. doi:10.1310/sci1801-28.
2. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med.* 2012;85(2):201-15. PMID:22737049.
3. Joffe JR. (2014). The effect of functional electrical stimulation on abdominal muscle strength and gross motor function in children with cerebral palsy. A randomized control trial (Master's thesis, University of Cape Town). Accessed: [https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/5940/thesis\\_hsf\\_2014\\_joffe\\_jr.pdf?sequence=1](https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/5940/thesis_hsf_2014_joffe_jr.pdf?sequence=1)
4. 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.
5. Quandt F, Hummel FC. The influence of functional electrical stimulation on hand motor recovery in stroke patients: A review. *Exp Trans Stroke Med.* 2014;6(1):1-7. doi:10.1186/2040-7378-6-9.
6. da Cunha MJ, Rech KD, Salazar AP, Pagnussat AS. Functional electrical stimulation of the peroneal nerve improves post-stroke gait speed when combined with physiotherapy. A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med.* 2021;64(1):101388. doi:10.1016/j.rehab.2020.03.012.
7. Mushahwar VK, Jacobs PL, Normann RA, Triolo RJ, Kleitman N. New functional electrical stimulation approaches to standing and walking. *J Neural Eng.* 2007;4(3):S181-97. doi:10.1088/1741-2560/4/3/S05.
8. De Kroon JR, IJzerman MJ, Chae J, Lankhorst GJ, Zilvold G. Relation between stimulation characteristics and clinical outcome in studies using electrical stimulation to improve motor control of the upper extremity in stroke. *J Rehabil Med.* 2005;37(2):65-74 doi:10.1080/16501970410024190.
9. Bijak M, Rakos M, Hofer C, Mayr W, Strohhofer M, Raschka D, et al. Stimulation parameter optimization for FES supported standing up and walking in SCI patients. *Artif Organs.* 2005;29(3):220-3. doi:10.1111/j.1525-1594.2005.29039.x
10. Mesin L, Merlo E, Merletti R, Orizio C. Investigation of motor unit recruitment during stimulated contractions of tibialis anterior muscle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(4):580-9. doi:10.1016/j.jelekin.2009.11.008.
11. Barth E, Herrman V, Levine P, Dunning K, Page SJ. Low-dose, EMG-triggered electrical stimulation for balance and gait in chronic stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2008;15(5):451-5. doi:10.1310/tsr1505-451.
12. Sluka KA, Walsh D. Transcutaneous electrical nerve stimulation: Basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain.* 2003;4(3):109-21. doi:10.1054/jpai.2003.434.
13. Shanmugam S. Inverse electrode placement may help to improve electrotherapeutic effects in the field of chronic pain management. *Korean J Pain.* 2016;29(3):202-4. doi:10.3344/kjp.2016.29.3.202.
14. Botter A, Oprandi G, Lanfranco F, Allasia S, Maffiuletti NA, Minetto MA. Atlas of the muscle motor points for the lower

- limb: Implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:2461-71. doi:10.1007/s00421-011-2093-y.
15. Bao X, Zhou Y, Wang Y, Zhang J, Lu X, Wang Z. Electrode placement on the forearm for selective stimulation of finger extension/flexion. *PloS One.* 2018;13(1):e0190936. doi:10.1371/journal.pone.0190936.
  16. Nussbaum EL, Houghton P, Anthony J, Rennie S, Shay BL, Hoens AM. Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: Critical review and recommendations for clinical practice. *Physiother Can.* 2017;69(5):1-76. doi:10.3138/ptc.2015-88.
  17. Cameron MH. (2012). *Physical agents in rehabilitation: From research to practice.* 4<sup>th</sup> ed. Elsevier Health Sciences. ISBN:1455728489.







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

Bölüm

17

1



# Manyetik Alan Stimülasyonu

ÇEVİRİ YAZARI: YASEMİN KARAASLAN

BÖLÜM YAZARLARI: LIGIA RUSU • EVA ILIE • OANA BIANCA BUDEANCA BABOLEA

## Giriş

Manyetik alan, elektrik akımı veya elektrik alanı tarafından üretilir. Bir elektrik akımı tarafından üretilen manyetik alan, üreten elektrik akımının aynı fiziksel parametrelerini sunar.<sup>1</sup> Manyetik alan tedavisi, vücudun farklı bölgelerine kesikli veya statik bir manyetik alan etkisi yoluyla inflamatuvar durumları tedavi etmeye ve ilişkili ağrıyı azaltmaya yönelik bir yöntemdir. Elektromanyetik alanlar alçak frekanslı akımlar (50 veya 100 Hz) tarafından üretilir.<sup>1</sup>

Manyetik alanlarla tedavi 16.yy'dan beri kullanılmaktadır:

- Paracelsus - kırıklarda kallusu uyarmak için mıknatıslar kullanmıştır.
- 1845 - Faraday manyetizmayı ve elektromanyetik indüksiyon yasasını keşfetmiştir.
- 1902 - Manyetik alanların biyolojik etkilerine ilişkin ilk çalışmalar yayınlanmıştır.

Manyetik alanlar, içinden elektrik akımının geçtiği bobinlerde üretilir. Manyetik alan sürekli veya kesikli olabilir (üreten akıma göre). Manyetik alanın yoğunluğu Tesla (T) ve militesla (mT) cinsinden ölçülür. Karasal manyetik alan kutuplarda yaklaşık 60 mT değerinden ekvatorunda 30 mT değerine kadar değişir.<sup>1</sup>

Son çalışmalar, özellikle kesikli manyetik alanların ürettiği biyolojik etkileri ortaya koymuştur. Sürekli manyetik alan insan vücudu üzerinde olumsuz etkiler yaratmaz. Dünya Sağlık Örgütü 2-3 T'lik sürekli manyetik alanın insan vücudu üzerin-

de uygulanmasına izin vermektedir. Mıknatıslı bir bileklik 20-130 mT'ye sahiptir.<sup>1</sup>

Çeşitli in vitro ve hayvan modeli çalışmaları, iyonlaştırıcı olmayan manyetik alanların çeşitli kanser türlerinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmalar, manyetik alanların hastalıklı dokular üzerinde seçici olarak etki etmesiyle magnetoterapinin nispeten güvenli bir tedavi şekli olduğunu da göstermiştir.<sup>1</sup> Klinik testler magnetoterapinin gerçekten de ağrıyı azaltma etkisine sahip olduğunu göstermiştir. Mıknatıslar dokuların derinliklerine nüfuz eder ve bağışıklık sistemi işlevini ve vücudun iyileştirme yeteneklerini geliştiren, enerji veren, alkalileştiren ve oksijenlendiren bir manyetik alan oluşturur. Pozitif ve negatif manyetik polaritelerin biyolojik sistemler üzerinde farklı etkileri vardır. Mıknatıslar, kanser hücrelerinin gelişimini durdurma yetenekleri nedeniyle antitümör tedavisinde kullanılabilir. Çalışmalar ayrıca tedavinin artrit, glokom, infertilite ve yaşlanmaya bağlı hastalıkların tedavisinde de kullanılabileceğini göstermiştir. Negatif manyetik alanların canlılar üzerinde faydalı etkileri olduğu, pozitif manyetik alanların ise zararlı etkileri olduğu görülmektedir.<sup>1</sup> Negatif elektromanyetik alanın etkisi altında oksijenin biyolojik değeri artar, bu da negatif yüklü DNA'nın etkisi altında oksijenin kandan hücreye çekilmesine neden olur. Negatif elektromanyetik alan pH dengesini hiçbir şekilde etkilemez, alkali dengesini korur, bu da vücutta daha fazla miktarda oksijen bulunmasını uyarır.<sup>1</sup>

Teorik olarak statik manyetik alanlar (SMA), iyon akışını, membran potansiyelini, membran konfigürasyonunu, iyon pompası aktivitesini veya nörotransmitter salınımını değiştirebilir. SMA ile ilişkili biyolojik olayların çoğu hücresel kalsiyumdaki değişikliklerden kaynaklanabilir. 1.000-4.000 Gauss (G) SMA'nın protein ve enzimlerin yapısını ve serbest radikallerin yer aldığı reaksiyonların kinetiğini değiştirdiği görülmektedir. SMA uygulaması sonrasında yapılan deneysel çalışmalarda nöronların aksiyon potansiyellerinde azalma ve sentetik lipozom keseciklerinde geçirgenlik değişiklikleri gözlemlenmiştir.<sup>1</sup>

## Manyetik Alan Uyarımının Mekanizması

Manyetik alanların vücut üzerindeki etki mekanizması tam olarak bilinmemektedir. Elektromanyetik radyasyona (kısa dalgalar) benzer olduğu kabul edilir:<sup>1</sup>

- Artan membran difüzyonu ve artan hücresel metabolizma ile hücre membranları seviyesinde enerji değişikliklerinin üretilmesi
- Vasküler neoformasyonun uyarılması
- Yaralarda onarıcı granülasyon dokusunun büyümesinin uyarılması
- Kıkırdak seviyesinde kolajen üretiminin uyarılması
- Oksijenin daha iyi kullanılmasıyla hücresel oksidatif enzim aktivitesinin (sitosimoksidaz, peroksidaz) uyarılması.

Manyetik alanlar dokuların derinliklerine nüfuz ederek bağışıklık sisteminin işlevini ve vücudun iyileştirme yeteneklerini geliştiren bir manyetik alan uyarımı yaratır. Magnetoterapi sürekli (sedatif etki göstererek), aralıklı, ritmik olarak veya herhangi bir ritim olmadan (genel uyarıcı etki yaparak) uygulanabilir.<sup>2</sup>

Manyetik alan uyarımının faydalı etkileri aşağıdakiler üzerinde gösterilmiştir:<sup>2</sup>

- Merkezi ve otonom sinir sistemi
  - Sürekli manyetik alan uyarımı - sedatif ve parasempatik etki
  - Kesikli manyetik alan uyarımı - uyarıcı ve

sempatik etki

- 10 Hz'in altındaki frekanslar - vagotonik
- 50 Hz frekanslar - sempatik
- Kan ve lenfatik dolaşım
  - Kesikli manyetik alan, neoformasyon damarlarının gelişimini ve lenfatik damarların kinetiğini uyarır.
- Hücresel metabolik süreçler
  - Sürekli manyetik alanlar anabolizmayı uyarır.
  - Kesikli manyetik alanlar katabolizmayı uyarır.
- Nöromusküler sistem-özellikle fazik özellikteki kaslar
  - Sürekli manyetik alan stimülasyonu, iyileşmenin artmasıyla birlikte motor nöronlardaki deşarjların ritmini artırır.
  - Kesikli manyetik alan stimülasyonu kas liflerinin kontraksiyon kuvvetini artırır.

## Açık Frekanslı Manyetik Alan Stimülasyonu ile Tedavinin Etkileri

A. Modüle edilmemiş sürekli akım:

- Sedatif etki
- Sempatik etki
- Trofik etki

B. Kesikli akım:

- Uyarıcı etki
- Sempatik etki
- Ergotropik etki

Uygulama biçimlerinin seçimi (sürekli veya kesikli), temel duruma, yapısal tipe, bireysel nöro-vejetatif reaktiviteye ve deneğin bioritmine bağlıdır. Manyetik alanların etkileri şunlardır:

- Kırıkta kallusun hızlanması
- Yara iyileşmesinin stimülasyonu
- Sedasyon ve analjezi
- Mikro dolaşımın uyarılması

## Açık Frekanslı Manyetik Alan Stimülasyonu ile Tedavi Uygulama Kuralları

- Tedavi koltuğu yalıtkan malzemedan yapılmalıdır (Şekil 17.1).

- Hastanın metal nesnelere vücudundan çıkarılması önerilir.
- Bobinleri hastanın olası metal implantlarının yakınına yerleştirmekten kaçınılmalıdır.
- Kalp pili bulunan hastalara tedavi uygulanması kesinlikle yasaktır.
- Hasta rahat kıyafetler giymiş olarak sırtüstü pozisyonda yatar veya oturur.
- Hastanın başı kuzeye doğru yönlendirilir.
- Servikal ve lomber bobin üzerindeki oklar ekstremiteye doğru yönlendirilmiştir.
- Yerleştirme bobinleri, uygulama yapılan bölgede Kuzey-Güney sembolleriyle işaretlenen kutuplara göre konumlandırılır.

## Uygulama Tekniği

- Manyetik alan stimülasyon cihazları, tedavi alanlarına veya tedavi yatağına bağlanan bobinlere (servikal ve lomber) yerleşen aplikatörlere sahiptir (**Şekil 17.1**).
- Aplikatörler veya bobinler hastanın kıyafetleri üzerinden uygulanabilir.
- Modern cihazlar metal implantların olduğu alanlara da uygulanabilmektedir (kesikli manyetik alanlar).
- Magnetoterapi cihazları ile diğer elektrikli cihazlar arasında en az 1 m'lik mesafe olmalıdır.

## Alçak Frekanslı Manyetik Alan Tedavisinin Endikasyonları

Manyetik alan stimülasyonu aşağıdaki gibi çeşitli hastalıklarda veya problemlerde kullanılabilir:<sup>3,4</sup>



**Şekil 17.1** Manyetik alan stimülasyon cihazları<sup>1</sup>.

- A. Romatizmal hastalıklar
  - Kronik dejeneratif romatizmal durumlar
  - Eklem dışı romatizmal durumlar (tendonit, miyalji, myogelosis),
  - İnflamatuar romatizmal durumlar (romatoid poliartrit evre I ve II, spondilit, ankilozan spondilit, psoriatik artrit)
- B. Travma sonrası problemler
  - Yaralar
  - Kontüzyonlar
  - Kas Hematomları
  - Burkulma
  - Muskülotendinöz yırtıklar
  - Kırık iyileşmesi
- C. Nöropsikiyatrik hastalıklar
  - Nevrozlar
  - Nörovejetatif Distoni
  - Hemipleji
  - Parapleji
  - Parkinson Hastalığı
- D. Kardiyovasküler hastalıklar
  - Fonksiyonel periferik vasküler hastalıklar
    - Raynaud Sendromu
    - Akrosiyanoz
  - Organik periferik damar hastalıkları
    - Tromboanjitis obliterans
    - Ekstremitenin ateroskleroz obliteransı
    - Diyabetik arteriyopati
    - Serebral ateroskleroz
    - Arteriyel hipertansiyon (hafif ve orta form)
  - Evre I ve II lenfödem
- E. Solunum sistemi hastalıkları
  - Bronşiyal astım
  - Kronik bronşit
- F. Sindirim sistemi bozuklukları
  - Kronik gastrit
  - Kronik gastroduodenal ülserler
  - Safranin motilite bozuklukları
- G. Endokrin hastalıklar
  - Tip II Diabetes Mellitus
  - Hipertiroidizm
- H. Jinekolojik durumlar
  - Dismenore
  - Spesifik olmayan kronik metro-adneksit
  - Spesifik olmayan kronik servisit

- Menopoz ve menopoz öncesi bozukluklar
- I. Nörolojik durumlar
  - Spastisite

## Alçak Frekanslı Manyetik Alan Stimülasyonunun Kontraendikasyonları

- Kalp pili kullanma
- Hipotansif sendromlar
- İleri serebral ateroskleroz
- Hemorajik durumlar, ciddi hematolojik hastalıklar
- Anemiler
- Malign tümörler
- Aktif pulmoner/ekstrapulmoner tüberküloz
- Bulaşıcı hastalıklar, ateşli durumlar
- Yetersizlik: renal, hepatik, kardiyak, pulmoner
- Psikozlar, epilepsi
- Gebelik

## Alçak Frekanslı Manyetik Alan Uyarımı Yoluyla Tedavi Uygulama Esasları

- Duruma ve takip edilen hedeflere bağlı olarak hem uygulama şekli hem de çalışma frekansı seçilir,
- Seans süresi hastalığa ve amaca göre değişiklik göstermektedir (20, 30 veya 45 dakika),
- Seans sayısı fazladır (12,18 veya 22 seans)
- Her gün uygulanır.<sup>5</sup>

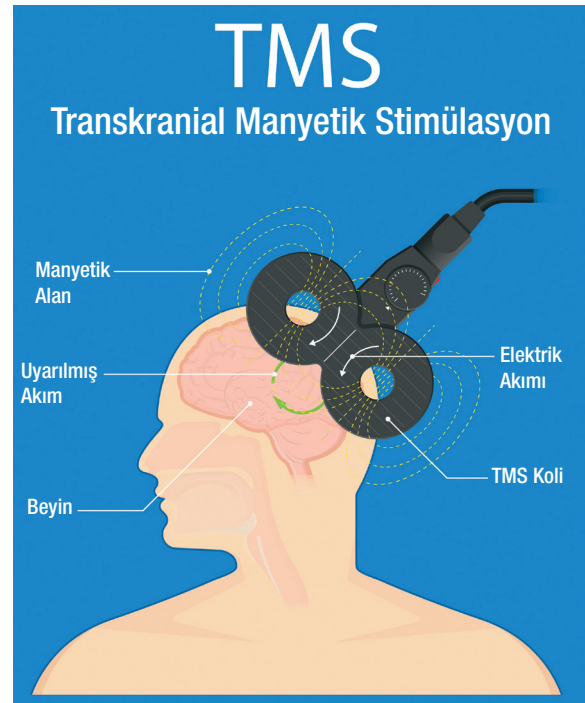
## Transkraniyal Manyetik Stimülasyon

Transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS), elektromanyetik indüksiyon yoluyla beynin belirli bir bölgesinde elektrik akımını indüklemek için sürekli değişen bir manyetik alanın kullanıldığı, invazif olmayan bir beyin stimülasyon şeklidir. Bir elektrik uyarı jeneratörü veya stimülatör, manyetik bir bobine bağlanır ve bu bobin de hastanın kafa bölgesine bağlanır (Şekil 2). Stimülatör, bobinin içinde manyetik alanı indükleyen değişen bir elektrik akımı üretir. Bu alan daha sonra beynin içinde ters

elektrik yükünün ikinci bir indüktansına neden olur.<sup>4</sup> Anthony Barker, 1985 yılında kafa derisine manyetik alan uygulayarak nöronların aktivitesini değiştirebilen bir cihaz icat etmiştir. Bu işleme TMS adı verilmektedir.<sup>6</sup>

TMS tedavisi sırasında kafa bölgesine manyetik bir uyarı uygulanır ve beyne ulaştığında nöronlarda bir elektrik akımı oluşmasına neden olur. "Transkraniyal" terimi, manyetik alanın kafatasından geçişini ifade eder ve "manyetik stimülasyon", kafatasının altındaki nöronları uyarmak için manyetik bir alanın kullanılmasını ifade eder.<sup>6</sup>

TMS icat edildiğinde araştırmacılar bunu, beyin bölümlerinin vücutun farklı bölümlerine bağlı olduğunu belirlemek için kullandılar. Örneğin, bilim insanları, kafa derisinin belirli bir kısmına TMS uygulamasının, deneye katılan bir katılımcının elinde motor harekete neden olduğunu bulunmuştur. Bu sayede beynin el kas hareketlerini kontrol etmekten sorumlu kısmı keşfedilmiştir.<sup>7</sup> 1990'larda, beyin görüntülemeyi kullanan ilk araştırmalar, depresyondaki kişilerin beyinlerini incelemiştir. Bu çalışmalar, depresyonda prefrontal korteksin sol tarafının az aktif olduğunu göster-



Şekil 17.2 Transkraniyal manyetik stimülasyon





miştir; bu da araştırmacıları, bu beyin bölgesindeki nöronların aktivitesini arttırmak için TMS'yi kullanıp kullanamayacaklarını merak etmeye yöneltmiştir.<sup>5</sup> Depresyon için sol prefrontal kortekse uygulanan TMS'nin ilk bulguları, depresyon belirtilerinin düzeldiğini göstermiştir. Bu keşif, nöropsikiyatrik hastalıklar için yeni tedavi olanaklarının ufkunu açmıştır.

## Kronik Ağrıda Transkraniyal ve Periferik Manyetik Alan Stimülasyonu İşlemleri

Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği'nin tanımına göre ağrı, "gerçek veya potansiyel doku hasarıyla ilişkili veya buna benzer hoş olmayan duyuşsal ve duygusal deneyimdir". Ağrı algısının aktivasyonu ve düzenlenmesi mekanizmaları son derece karmaşıktır ve periferik reseptörler, bağışıklık sistemi (inflamatuvar süreçlerinden sorumlu), endokrin sistemi ve sinir sistemi arasındaki çift yönlü iletişimi içerir.<sup>8</sup>

Kronik ağrı durumunda, hem periferik sinir sistemi (duyuşsal ve motor periferik sinirler) hem de merkezi (serebral devreler) düzeyde adaptasyon mekanizmaları ortaya çıkar ve bu mekanizmalar birçok kısır döngüyü sürdürür.<sup>9</sup> Ağrının algılanmasında rol oynayan beyin devreleri, affektif (duyuşsal) ve kognitif bileşenlerden sorumlu olanlarla yakından bağlantılıdır (örneğin, ağrılı bir olay durumunda, tüm dikkat ağrıya yönlendirilir). Bu nedenle kronik ağrının tedavisi zordur ve çoğu zaman duyuşsal değişiklikler, uyku bozukluğu, konsantrasyon gücü vb. ile karmaşık hale gelir.<sup>10</sup>

Manyetik stimülasyon tedavisi lumbago, servikal ağrı, baş ağrısı, migren, yüz ağrısı, nöropatik ağrı, kronik pelvik ağrı sendromu vb. olan hastalara yöneliktir. Manyetik stimülasyon seansları yoluyla bazı yaklaşımlar, her bir hastanın özelliklerine göre özelleştirilmiş bir şekilde TMS prosedürlerini TMS periferik sinir stimülasyonu prosedürleriyle birleştirmeyi içerir.<sup>8</sup>

Uygulanan terapötik strateji, kısır döngünün korunmasına katkıda bulunan hem nöromusküler dengesizliklerin hem de kronik ağrının ikincil komplikasyonlarının spesifik bir fonksiyonel de-

ğerlendirmesinin ardından sağlık profesyoneli tarafından belirlenir.

## Kronik Ağrılı Hastalarda Tedavi Yöntemi Olarak Manyetik Alan Stimülasyonunun Avantajları

- Periferik sinir sistemine doğrudan erişim sağlar. Motor sinirlerin aktive edilmesiyle farklı kas gruplarının kontraksiyonu elde edilir ve çeşitli frekanslar kullanılarak kaslar çalıştırılır.
- Merkezi sinir sistemine doğrudan erişim sağlar. Hem ağrı işlemede hem de duyuşsal ve kognitif işlevlerde yer alan beyin devrelerini modüle etme etkisine sahiptir.
- Periferik ve merkezi sinir sistemi modülasyonunun etkilerini birleştirerek önceden oluşturulmuş kısır döngülerden çıkma şansını önemli ölçüde artırır.
- Ağrı sendromundan sorumlu (en azından kısmen) nörofizyolojik mekanizmalar üzerinde doğrudan etki eder (doğrudan nedene etki eder).
- Bağlılık yaratmaz.
- Diğer girişimsel veya farmakolojik yöntemlerle ilişkilendirilebilir (bu anlamda herhangi bir kontrendikasyon yoktur).
- Ağrısızdır.
- Olumsuz etkiler ihmal edilebilir ve/veya nadirdir.

## Kaynaklar

1. Ciobanu DI. (2014), Electroterapia pentru kinetoterapeuți: Principii și practică. Editura Universității din Oradea. ISBN:6061012675.
2. Singh J. (2011), Manual of practical electrotherapy. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd. ISBN:9789350250594.
3. Scribd. Curs de Electroterapie. Accessed: <http://www.scribd.com/doc/190069286/184117022->
4. Howson DC. Peripheral neural excitability. Implications for transcutaneous electrical nerve stimulation. Phys Ther. 1978;58(12):1467-73. doi:10.1093/ptj/58.12.1467.
5. Waller-Wise R. Transcutaneous electrical nerve stimulation: An Overview. J Perinat Educ. 2022;31(1):49-57. doi:10.1891/J-PE-D-20-00035.
6. Den ARV, Luyck RHJ. (2005), Low and medium frequency electrotherapy. Rotterdam: Enraf-Nonius B.V. ISBN:NA
7. Sanservino E. (1980), Membrane phenomena and cellular processes under action of pulsating magnetic fields. Lecture at the 2nd International Congress Magneto Medicine. Rome.

8. Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, Benninger MDH, Brunelin J, Di Lazzaro V, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018). Clin Neurophysiol. 2020;131(2):474-528. doi:10.1016/j.clinph.2019.11.002.
9. Edu.ReginaMaria.Ro. Procedurile de stimulare magnetica transcraniana si periferica in durerea cronica. Accessed: <https://www.reginamaria.ro/articole-medicale/procedurile-de-stimulare-magnetica-transcraniana-si-periferica-durerea-cronica>.
10. Supermagneti.ro. Stimulare magnetica transcraniana (TMS): Solutia afectiunilor neuropsihice. Accessed: <https://supermagneti.ro/blog/stimulare-magnetica-transcraniana-tms-solutia-afectiunilor-neuropsihice/>.

