

Kas stimülasyonu

Electrostimulation

Banu KURAN

Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Kliniği

Günümüzde fizik tedavi ve rehabilitasyon programlarının içinde, sinir ve kas dokusunun elektriksel yoldan uyarılmasından tamamlayıcı bir yöntem olarak yararlanılmaktadır. Tarih boyunca elektrik akımı çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır. Yüzyıllar önce 150 volt akım üretebilen torpido balığı vücuda konarak başağrısı, artrit tedavisi yapılmıştır. Luigi Galvani 200 yıl önce akım verilen kurbağa bacağına kasıldığını görünce kasların da içinde elektrik akımına benzer bir iletici olduğunu düşünmüş ve 10 mA'lık bir akımın dahi kurbağa bacağına kasabileceğini bulmuştur. Lapicque, sinir ve kasın elektrik akımlarıyla uyarılması için gereken akım miktarı ile süresi arasındaki ilişkiyi hesaplamıştır.

Elektrostimülasyonun etkilerini daha iyi anlayabilmek için normal bir kasın nasıl kasıldığını hatırlamak doğru olur. Kasın en küçük birimi aktin ve miyozin denen ince ve kalın miyofilamanlardır. Miyofilamanlar birleşerek miyofibrilli, 5-10.000 miyofibrilin birleşmesi de kas lifi denen kas hücrelerini oluşturur. Sarkomer denen ve kasın kasılmasından sorumlu olan yapı, miyofibrilidedir. Motor ünite, kas kasılması ve kuvvetin ortaya çıkmasından sorumlu, beynin en küçük fonksiyonel birimidir. Tek bir alfa motor nöron ve aktive ettiği yaklaşık 600 kas lifine denir. Bir motor nöron uyarılınca 600 kas lifi de kasılır. Vücudumuzdaki 250 milyon kas

lifi 420.000 motor nöronun aktif olması sayesinde çalışır (1).

Kuvvetten sorumlu olan kaslarda ünite başına düşen lif sayısı fazla (2000), beceriden sorumlu olanlarda azdır.

Motor nörondan gelen sinir impulsları (aksiyon potansiyeli) miyonöral kavşakta sonlanarak kas lifini kasar. Aksiyon potansiyeli bir uyarı (elektriksel, kimyasal, mekanik, ışık, ısı v.b.) tarafından başlatılır. Aksiyon potansiyeli motor aksonun ucuna gelince veziküllerde bulunan asetilkolin (Ach) postsinaptik membrana boşalır. Ach'nin boşalmasıyla transmembranöz kanallar açılır. Normalde istirahat halindeki kas içindeki potansiyel -95mV'tur. Gelen uyarı yeterince şiddetliyse, membran dışındaki Na⁺ iyonları hücre içine girerek potansiyeli yükseltir. Eğer kasın kasılması için gereken -50mV'luk eşik potansiyel aşılsa aksiyon potansiyeli lif boyunca yayılır (2). Meydana gelen eksitasyonun kontraksiyona dönüşmesi Ca²⁺ sayesinde olur. Plazma membranı boyunca, sarkoplazmik retikulumla ilişkili olarak dizilmiş T tübülleri vardır. Aksiyon potansiyelinin bu tübüllere ulaşmasıyla sarkoplazmik retikulumdan salınan Ca²⁺ iyonu ince filamanlara bağlanarak kasın kasılmasını sağlar. Bu, enerji gerektiren bir işlemdir. Gerekli enerji ATP tarafından sağlanır. ATP üretimi ise kreatin fosfat havuzu, glukozun kullanıldığı anaerobik glikojen sistemi ve hücresel solunumun kullanıldığı aerobik sistem yoluyla olur. İnsan vücudundaki kaslar ATP'yi üretme biçimine ve gördükleri işlevlere göre tiplere ayrılırlar. Yavaş kasılan lifler (Tip I) oksidatif özelliktedir, yorgunluğa karşı dayanıklıdır. Postürü sağlayan, bacak, gövde ve kollarındaki büyük kaslardır. ATP'yi yavaş parçalar

Yazışma Adresi:

Doç. Dr. Banu Kuran
Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi
Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Kliniği

ve oksidatif olarak fazla ATP üretirler. Kapillerden zengin olup renkleri koyu kırmızıdır. Tip II lifler ise hızlı kasılan liflerdir. Anaerobik yoldan ve hızlı ATP üretirler. Kapiller içeriği az olup rengi soluktur. Orta ve yüksek kas aktivitelerinde kullanılırlar.

Normal şartlarda yapılacak aktivite için kuvvet üretmek gerektiğinde önce aktivasyon eşliği düşük olan küçük motor üniteler yani yavaş kasılan lifler kasılır. Kuvvet gereksinimi arttıkça daha büyük üniteler yani hızlı kasılan lifler de katılır.

Yazmak, piyano çalmak gibi kuvvetin az, kontrolün fazla olduğu aktivitelerde bir kaç lifin kasılması yeterlidir.

INNERVE KASIN UYARILMASI

Innervasyon kaslarda, yeterli şiddetteki akım siniri ve sinir aracılığıyla kası uyarır. Motor nokta, kası uyararak akımı ileten sinirin kasa girdiği noktadır. Kasın tekrarlayan uyarılmaları sırasında refrakter dönemin de beklenmesi gerekir. Mutlak refrakter dönem 1msan, rölatif refrakter dönem ise 10 msan'dır. Uyarının süresi <1 msan ise kısa süreli, > 1msan ise uzun sürelidir. Kısa süreli uyarılar innervasyon kasları, uzun süreli akımlar ise denerve kasları uyarmada etkilidir. Frekans ise impulsların zaman biriminde (saniyede) tekrarlanma sıklığıdır. Uyarı süresi 10 msan, uyarı aralığı 90 msan ise akım frekansı 10 Hz'dir (3).

< 20 Hz'de tek tek kasılma ve gevşeme yanıtı alınır. 5-10 Hz'lik frekansta kas şiddetle kasılır. Frekans > 60 Hz ise tam gevşeme için zaman kalmaz, sürekli kontraksiyon yani tetanik kasılma olur.

ALÇAK FREKANSLI AKIMLAR: Elektrostimülasyonda kullanılan akımlar alçak frekanslı akımlardır. Frekans < 1000 Hz olup en uygunu < 100 Hz'dir.

A. Doğru Akım (Galvanik Akım): Elektriksel yüklü partiküllerin tek bir yönde kesiksiz (sürekli) hareket ettiği akımdır. Akım yönünde ve amplitüdünde değişiklik yoksa kimyasal olaylar meydana gelir. İyontoforez, yara iyileş-

mesi ve denerve kas uyarımında (kesikli) kullanılır.

B. Alternatif Akım: Sinir veya kası uyararak amacıyla, belli sıklıkla değişen, yüklü partiküllerin değişen yönlerde hareket ettiği elektrik akımlarıdır. Amaç en düşük ve ağrısız akım yoğunluğuyla maksimum kas lifini çalıştırmaktır.

Doğru akımla aralarında en önemli fark kas ve sinir gibi uyarılabilen dokulardaki membranda bir aksiyon potansiyeli oluşturabilmesidir. Türleri şunlardır:

- Monofazik akım: Devredeki gerilim kutupların işaretlerini değil sadece akımın şiddetini yani amplitüdünü değiştirir.
- Bifazik akım: Amplitüdün yanısıra gerilimin yönü de değişir. 50 Hz frekansta kutuplar saniyede 50 kez - ve + olur.
- Simetrik bifazik (Apoler): Yük taşınmaz, iyon salınımı vardır.
- Asimetrik Bifazik: + ve - impulslar arasındaki alan farkı ne kadar büyükse yük aktarımı o denli belirgindir.

C. Orta Frekanslı Akım: Akım süresi arttıkça, daha küçük ve daha uzak lifler de uyarılır. Ancak süre uzadıkça doku direnci artar. Yüksek frekanslar doku direncini azaltır. Bunun için iki adet sinuzoidal alternatif akım kaynağı kullanılır. İki akımın cebirsel toplamı akımların kesiştiği yerde olur. Frekansı 0-100 Hz, akım süresi 125 - 250 milisaniyedir.

D. Rus Akımı: 1960'lı yıllarda Dr. Kots tarafından kas gücünü arttırdığı bulunmuştur. 2500 Hz'lik sürekli sinuzoidal bir akımdır. Saniyede 50 burst yapacak şekilde değiştirilmiştir. Akım süresi 200 mikrosaniyedir (0.2 msan). Özellikle kasın yeniden eğitimi ve kuvvetlendirilmesi için kullanılır.

E. Yüksek Voltaj Stimülatörleri: Monofazik ikiz tepeli vurular üretirler. Voltaj yüksek (150 - 500 V), vuru süresi çok kısa (5-65 mikrosan.), akım yoğunluğu çok yüksektir (2000-2500 mA). Rahatsızlık vermemesi için iki vuru arası uzundur.

İstemli kas kasılması ile elektrostimülasyon (ESM) arasında bazı önemli farklar vardır. İstemli kasılma asenkronizedir. Yani önce ince (Tip 1) sonra kalın miyelinli liflerle innerve olan kaslar (Tip 2) kasılır. Kasılan lif sayısı arttıkça daha çok sinir uyarılır.

ESM'da ise önce kalın (Tip 2) sonra ince lifler uyarılır. Kalın lifleri yani hızlı kasılanları selektif uyarır. Bu nedenle kasılma gücü maksimum volonter kasılmadan daha düşük olabilir. Kas gücünü istemli kasılma kadar arttırmaz. Agresif elektrostimülasyon kası maksimum istemli kasılmanın %60'ı şiddetinde çalıştırırken dahi rahatsız edici olmasına karşın agresif egzersiz, istemli kasılmanın % 78-119'unda çalıştırmasına rağmen tolere edilebilir.

Kasın gücünün artırılmasıyla ilgili çalışmalar egzersizin kas stimülasyonundan daha yararlı olduğunu, stimülasyonun eklendiği egzersiz programlarıyla ise daha fazla kuvvet sağlandığını göstermiştir (4).

Elektrostimülasyon şu amaçlarla uygulanır:

1. Kas kasılmasının kolaylaştırılması: Kırık nedeniyle tesbit edilmiş ekstremitelerdeki kasların kondüsyonunun sağlanması, yeterince harekete katılmayan kasların güçlendirilmesi (uygulama sırasında aynı zamanda istemli kasılma da yapılmalıdır),

2. Kasın yeniden eğitilmesi: Beyin, kas aktivitesini değil hareketi değerlendirir. Akım, hastanın yapamadığı harekete yolaçacak şekilde uygulanmalıdır. Yeterli kasılma elde edilince uyarım kesilmelidir.

3. Nöropraksi halinde: Sinirde dejenerasyon yoktur ancak beyinden gelen impulslar lezyon alanını geçemez. Bu durumda lezyonun altındaki kısım uyarılır.

ESM'da en fazla izometrik daha sonra konstantrik kas gücü artar. Aynı zamanda çapraz etki de olur yani uyarılan tarafta kas gücü artarken uyarılmayan karşı tarafta da daha az olmakla beraber, artış görülür.

Kas kasılmasının kolaylaştırılması amacıyla, elektrik stimülasyonu inaktif sinapsları kullanır ve kastan gelen asandan duysal bilgiyi uyarır.

Böylece hasta kas yanıtını kendisi tekrarlamak ister ve bir tür nöromusküler fasilitasyon (kolaylaştırma) gerçekleşir (5). Bu uygulamanın sıkça tercih edildiği hastalıklardan biri üriner inkontinansdır. Stres, yetiştirememe, mikst tip veya detrüör hiperaktivitesi şeklinde sınıflandırılan inkontinans tedavisinde ESM'dan amaç, intravajinal veya perineye yapılan stimülasyonla pelvik taban kaslarının güçlendirilmesidir. Yapılan çalışmalar ESM uygulanan hastalarda hem pelvik taban kaslarının hem de mesane kapasitesinin arttığını göstermiştir (6, 7).

Anal inkontinansda ve anal yetersizliğin grasilis kas transferi ile giderilmeğe çalışıldığı olgularda da başarılı sonuçlar bildirilmiştir (8, 9).

ESM kasa giden oksijen hacmini artırır. VO₂max, kişinin dakikada kilosu başına harcadığı maksimum oksijen miktarıdır. Bu miktar, O₂'nin kasa taşınmasına ve kasın kanla gelen O₂'i kullanma kapasitesine bağlıdır. Stimülasyon sonucu kas lifinin oksidatif seviyesi 6 kat artırılabilir ki en başarılı atletinki bundan % 40 daha azdır.

Rus akımı gibi yüksek yoğunluklu uyarılar kas kuvvetini, kitesini ve oksidatif kapasitesini korurlar (3).

ESM, kas kasılması yoluyla venöz ve lenfatik dolaşımı arttırmak ve ödemi azaltmak için de kullanılır. Bunun için ideal frekans 10- 30 Hz'dir. Akım 4 san. verilmeli, 4 saniye kesilmelidir. (10)

ESM eklem hareket açıklığını (EHA) arttırmak için uygulanabilir. Antagonist kas kontrakte edilirse agonist kas dokusu uzar. Agonist kasın 30 dak./gün sıklık uyarılması ile EHA sağlanır (11). Özellikle inmeli hastalarda kullanılabilir.

İstirahat halinde veya denervasyon durumunda kasta oluşan atrofiyi önlemede de başarılı sonuçlar bildirilmiştir. Tavşanın ekstanör digitorum longus (EDL) kası peroneal sinir aracılığıyla 3-4 V, 10 Hz ve 300 milisaniye süreli akımla 60 gün süreyle, haftada 7 gün, 2 saat uyarı, 4 saat istirahat edecek şekilde uyarılmış. Diğer EDL kontrol olarak alınmış. Kontrol ile

karşılaştırıldığında ESM'nun immobilizasyona bağlı atrofiyi engellediği, operasyon öncesine göre 4 hafta sonra izometrik gruba göre periferik ölçümde daha az hacim kaybı olduğu görülmüştür (12).

Kasın kan akımını atırmakla ilgili çalışmalar, kontrol ile karşılaştırıldığında kronik stimülasyonun arter-ven çiftinin duvar hacmini yaklaşık iki misli, lumen hacmini üç misli arttırdığını göstermiştir. Stimülasyon sonucu çapı > 100 mikron olan arterlerin sayısı 4 misli, çevresi > 500 mikron olan venlerin sayısı 10 misli artmış, duvar – lumen oranı etkilenmemiştir (13).

Uygulanan egzersiz tipi kas lifinin özelliğini değiştirir. Koşu, yüzme gibi dayanıklılık gerektiren egzersizlerle Tip II B lifleri yavaş yavaş Tip II A'ya dönüşür yani kasın oksijen kapasitesi artar ama kas kitlesi artmaz.

Kısa süreli ama büyük güçler gerektiren egzersizlerle (halter gibi) Tip IIB lif boyu ve gücü artar, kaslar hipertrofiye olur.

Egzersizle oluşturulabilen bu değişiklikleri elektrostimülasyonla da yapmak mümkündür. Hızlı kasılan liflere yavaş yavaş uygulanan program verilirse (8-24 saat/gün boyunca 10 Hz) hızlı kasılan kas önce metabolik sonra kasılma özelliklerini değiştirerek yavaş tipe dönüşür.

Kas gücünün artması için belli bir eşiğin üstünde çalıştırılması gerekir. Sedanterler için bu eşik maksimum istemli kasılmanın %30'u olabilirken, atlet için % 60'ı olmalıdır.

Ancak elektriksel uyarı ile ortaya çıkan yorgunluk istemli kasılmadan daha hızlıdır.

240 dakika süreyle 1Hz frekansta yapılan stimülasyon iskelet kasına giren Ca²⁺'u 2-3 misli artırır. Hücre içi enzimi olan laktat dehidrogenaz kasta dışarı sızar. Bunun anlamı, nötral proteazın Ca²⁺ tarafından aktive olması sonucu membran proteinlerinin yıkılmasıdır. Bu durum daha fazla Ca²⁺'un içeriye girmesine ve daha fazla protein yıkımına neden olur (14, 15). Membrandan olan sızmalar hasarlı kasta ağrı yapar.

Yorulmamak için iyi bir kasılma sağlayan daha düşük frekans ve yoğunluk kullanılır veya frekanslar alçak ve yüksek olarak değişken bir paternde verilir.

DENERVE KASIN UYARILMASI

Kasın siniri ile olan bağlantısının kesilmesi yani denervasyon durumunda 5 hafta içinde kas kütlelerinin % 66'sını, kuvvetinin % 91'ini, kesit alanının % 76'sını kaybeder. Denerve kası uyarmak için doğru akımın en sık kullanılan modifikasyonu olan kesikli akım kullanılır. Denerve kas motor sinir gibi aynı akomodasyon özelliğine sahip olmadığından oldukça yavaş artan bir akımla kasılma oluşturulabilir. Daha çok 100 msn süreli, frekansı dakikada 30 Hz olanlar kullanılır. Uyarılar arası süre, uyarının kendisinden kısa olmamalıdır.

İnnervasyon gerçekleşinceye kadar kasın hangi sıklık ve süreyle çalıştırılacağı tartışmalı olmakla beraber her tedavide en az 90 kası yeterli kabul edilir.

Kasın, periferik siniri aktive etmeden doğrudan uyarılması ile ilgili olumlu görüşler uygun elektriksel stimülasyonun denerve kası kasma-sı, denerve kasın kasılmasının venöz stazı ve ödemi azaltarak kas dejenerasyonunu ve fibrozisi geciktirmesi, uygun stimülasyonla denervasyondan sonraki iyileşme süresinin kısalmasıdır. Günde 1 saatlik stimülasyonla dahi 3 hafta içinde 25 mm'lik aksonal rejenerasyon olduğu gösterilmiş, aerobik ezim aktivitesi artarken anaerobik aktivite azalmış, kasın yorulmağa direnci artmıştır (16, 17).

Kısmen denerve kaslarda denerve son plaklardaki terminal Schwann hücreleri uzantılar yaparak komşu innerve son plaklarla köprüleşirler. Köprüleşen uzantılar sayesinde tomurcuklar denerve son plaklara doğru yönelir (18). Stimülasyon Schwann hücre uzantılarının innerve sinapslarla yaptığı köprüleşmeleri azaltabilir. Ancak Tam ve arkadaşlarının L4 veya L5 köklerinin avulzasyonu yoluyla kısmen denerve edilmiş sıçan bacakları üzerinde yaptıkları çalışmada 1 ay sonra yapılan histokimyasal

analizde artmış nöromusküler aktivite ile tomurcuklanmada azalma görülmemiştir (19).

Yapılan metaanalizler, siniri korunmuş olan kas dokusunun elektrik akımlarıyla uyarılmasının egzersize üstünlüğünü gösterememiştir

KAYNAKLAR

1. Bandy WD, Dunleavy K: Adaptability of skeletal muscle: Response to increased and decreased use. In *Athletic Injuries and Rehabilitation* Eds: Zachazewski JE, Magee DJ, Saunders Comp, Philadelphia 1996, 55- 70
2. De Lateur BJ: Therapeutic Exercise. In *Physical Medicine and Rehabilitation* ed Braddom RL Saunders, Philadelphia, 1996, 401-420
3. Low J, Reed A, Dyson M: *Electrotherapy Explained* Butterworth Heinemann, Oxford, 3rd ed., 2000, 52-140.
4. Selkowitz, David M. High Frequency Electrical Stimulation in Muscle Strengthening. *American Journal of Sports Medicine* 17.1: 103-111,1989.
5. Currier, D.P. ve ark.: Effects of Electrical and Electromagnetic Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 17(4):177-84, 1993.
6. Amaro JL, Gameiro MO, Padovani CR: Effect of intraneural electrical stimulation on pelvic floor muscle strength. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct*, 2005.
7. Arruda RM, Castro RA Sartori MG et al: Clinical and urodynamic evaluation of women with detrusor instability before and after functional pelvic floor electrostimulation. *Clin Exp Obstet Gynecol*, 30(4) 220-2, 2003.
8. Kienle P, Weitz J, Koch M, Brenner A et al: Biofeedback versus electrostimulation in treatment of anal sphincter insufficiency. *Dig Dis Sci* 48 (8) 1607-13, 2003
9. Seccia M, Banti P, Zocco G, Viacava P: Restoration of fecal continence with chronic electrostimulation of gracilis muscle 17 years after a Pickrell's operation. *Int J Colorectal Dis*, 16(6): 391-4, 2001.
10. Thornton, James S. Pain Relief for Acute Soft-Tissue Injuries. *The Physician and Sports Medicine*, 25.10: 11-19, 1997.
11. Eriksson, E., and T. Haggmark. Comparison of Isometric Muscle Training and Electrical Stimulation Supplementing Isometric Muscle Training in the Recovery After Major Knee Ligament Surgery. *American Journal of Sports Medicine* 7.3: 169-171 1979.
12. Gould N, Donermeyer D, Gammon GG, Pope M et al Transcutaneous muscle stimulation to retard disuse atrophy after open meniscectomy. *Clin Orthop Relat Res*, 178: 190-7, 1983.
13. Adair TH, Hang J, Wells ML, Magee FD: Long-term electrical stimulation of rabbit skeletal muscle increases growth of paired arteries and veins. *Am J Physiol*, 269(2 Pt 2):H717-24, 1995.
14. Overgaard K, Fredsted A, Hyldal A, Ingemann-Hansen T, Gissel H, Clausen T.: Effects of running distance and training on Ca²⁺ content and damage in human muscle. *Med Sci Sports Exerc*. May;36(5):821-9, 2004.
15. Gissel H: Ca⁺ accumulation and cell damage in skeletal muscle during low frequency stimulation. *Eur J Appl Physiol*, 83(2-3):175-80, 2000.
16. Al-Majed, Neumann CM, Brushart TM, Gordon T.: Brief electrical stimulation promotes the speed and accuracy of motor axonal regeneration, *J Neurosci*, 20(7):2602-8,2000.
17. Reichmann H. and Nix W.A.: Changes of energy metabolism, myosin light chain composition, lactate dehydrogenase isozyme pattern and fibre type distribution of denervated fast-twitch muscle from rabbit after low frequency stimulation. *Pflugers Arch.*, 405(3):244-9,1985.
18. Dow DE, Cederna PS, Hassett CA, Kostrominova TY ve ark.: Number of contractions to maintain mass and force of a denervated rat muscle. *Muscle Nerve*, 30(1): 77-86, 2004.
19. Tam SL, Archibald V ve ark.: Increased neuromuscular activity reduces sprouting in partially denervated muscles. *J Neurosci*. Jan 15;21(2):654-67, 2001.
20. Bax L, Staes F, Verhagen A: Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med*. 35(3):191-212, 2005.