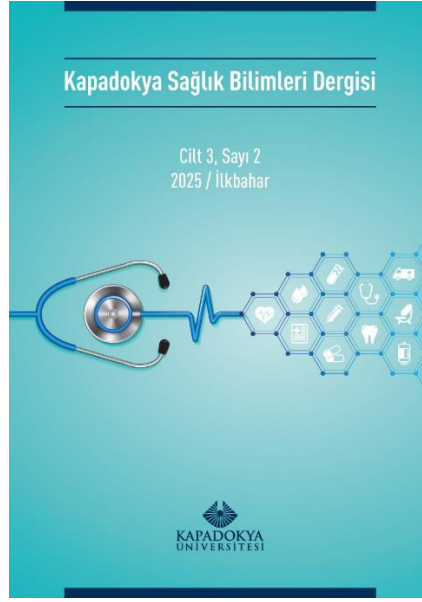




Cilt 3/ Sayı 2/ Nisan 2025

Derleme

Elektromiyostimülasyon Tarihçesi, Etki Mekanizmaları ve Kullanım Alanları

Selin ÖZDEN¹, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU²

¹Doç. Dr., Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük, Kırklareli, Türkiye. selinozden@klu.edu.tr. ORCID: 0000-0003-3860-8444

²Prof. Dr., Kırklareli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırklareli, Türkiye. serpil.akozcan@klu.edu.tr. ORCID: 0000-0001-6661-5540

*Sorumlu yazar: selinozden@klu.edu.tr

Özden, S., & Aközcan Pehlivanoglu, S. (2025). Elektromyostimülasyon tarihçesi, etki mekanizmaları ve kullanım alanları. *Kapadokya Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(2), 499-521. DOI: <https://doi.org/10.58241/ksbd.40>

Received/Gönderilme tarihi: 06.04.2025; Accepted/Kabul tarihi: 21.04.2025; Publication/Yayın tarihi: 30.04.2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



History of Electromyostimulation, Mechanisms of Action and Usage Areas

Abstract

Electromyostimulation (EMS) is a low frequency electrotherapy application used in physical therapy and by athletes for training purposes. EMS is an effective method aimed directly at stimulating skeletal muscles, designed to facilitate the process of neuromuscular training and rehabilitation of different pathologies. In EMS applications, electrical signals are sent to muscle and nerve tissues by applying different levels of current to the individual through electrodes. Various parameters are used in the use of EMS for different purposes. As a result of changing the parameters, muscles can be stimulated in different ways and treatments for various purposes are possible. In the rehabilitation environment, it is generally preferred to improve muscle function in weak muscles, after injury or in different diseases. It is widely used especially in healthy individuals to rebuild muscle mass and in patients who cannot perform traditional exercise training programmes. In support of training, EMS helps athletes to achieve their muscle strength goals in a time-efficient manner. Whole body electromyostimulation (WB-EMS) has also gained popularity in recent years due to its ability to activate all major muscles. The aim of this study is to define the EMS application, to provide an overview of its historical development, mechanisms of action and applications.

Keywords: Electrotherapy, Electrical stimulation, Electromyostimulation, Electrical Muscle Stimulation

Elektromiyostimülasyon Tarihçesi, Etki Mekanizmaları ve Kullanım Alanları

Öz

Elektromiyostimülasyon (EMS), fizik tedavide ve sporcular tarafından antrenman amaçlı kullanılan düşük frekanslı elektroterapi uygulamasıdır. EMS, doğrudan iskelet kaslarının uyarılmasını amaçlayan, nöromusküler eğitim ve farklı patolojilerin rehabilitasyon sürecini kolaylaştırmak için tasarlanan etkili bir yöntemdir. EMS uygulamalarında bireye elektrotlar yoluyla farklı seviyelerde akım uygulanarak kas ve sinir dokularına elektrik sinyalleri gönderilmektedir. EMS'nin farklı amaçlara yönelik kullanımlarında çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Parametrelerin değiştirilmesi sonucunda, kaslar farklı şekillerde uyarılarak çeşitli amaçlara yönelik tedaviler mümkün olabilmektedir. Rehabilitasyon ortamında genellikle zayıf kaslarda, yaralanma sonrasında veya farklı hastalıklarda kas fonksiyonunun iyileştirilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Özellikle sağlıklı bireylerde kas kütlesinin yeniden oluşturulması ve geleneksel egzersiz eğitim programlarını uygulayamayan hastalarda yaygın olarak uygulanmaktadır. EMS, antrenmanlara destek sağlamak amacıyla sporcuların kas gücü hedeflerine zaman açısından verimli bir şekilde ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Tüm vücut elektromiyostimülasyonu (WB-EMS) uygulaması da tüm büyük kasları aktive edici özelliği sayesinde son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı, EMS uygulamasını tanımlamak, tarihi gelişimi, etki mekanizmaları ve uygulamaları hakkında genel bir bakış açısı sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektroterapi, Elektriksel uyarım, Elektromiyostimülasyon, Elektriksel Kas Stimülasyonu

GİRİŞ

Elektrostimülasyon (ES), hastaya belirli seviyelerde akım verilerek kas ve sinir dokularına elektrik sinyallerinin gönderilmesi ile uygulanan fizik tedavide yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir. ES, kasların kuvvetinin ve dayanıklılığının artırılması, nörolojik bozuklukların teşhis ve tedavi edilmesi, sinir ve kas yaralanmalarının tedavisi, kondisyonun iyileştirilmesi, yapısal anormalliklerin düzeltilmesi, idrar kaçırma, aşırı aktif mesane sendromunun konservatif tedavisi gibi birçok amaç için kullanılmaktadır (Daroff ve Aminoff, 2014; Jerez-Roig vd., 2013; DeBord vd., 2023). ES cihazları; genellikle tipik olarak taşınabilen, pille çalışan ve hastalar

tarafından bağımsız olarak ya da bir sağlık hizmeti rehberliğinde kullanılabilen cihazlardır (Patel vd., 2025). Elektromiyostimülasyon (EMS), Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES), Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES) ve Elektroanaljezi (TENS) elektrostimülasyonda kullanılan invaziv olmayan tedavi tekniklerindendir. Bu teknikler, kas-iskelet sistemindeki uyarımı artırmak veya azaltmak için insan vücuduna elektrik uygulanması esasına dayanarak çalışmaktadır ve farklı tedavi amaçlarına hizmet etmektedir. TENS üniteleri ağrı modülasyonunu hedefleyen analjezi için kullanılırken, EMS cihazları genellikle hem atletik hem de rehabilitasyon bağlamında kas aktivasyonu ve kuvvet gelişimi amacıyla tercih edilmektedir (Patel vd., 2025).

Elektrostimülasyon günümüzde modern tıptaki en gelişmiş tedavi araçlarından biridir. Bununla birlikte, hücrelerin uyarılabilirliği, uygulanan alanın anatomisi, elektrot yerleşimi ve şekli ile stimülasyonun uygulama süresi her tedavi türü ve hasta arasında farklılık gösterdiğinden, her bir uygulama elektrostimülasyonun özel bir uyarılmasını gerektirir (Bolz ve Bolz, 2022; Reilly ve Diamant, 2011). Elektrostimülasyonun temel sorunu ise, elektriksel uyarının hastaya nasıl verileceği, rahatsızlık veya ağrının nasıl önleneceği veya en aza indirileceği konusudur (Bolz ve Bolz, 2022).

El tipi TENS ve NMES üniteleri tipik olarak 2 ile 300 Hz. arasında değişen frekanslarda akım vermektedir. Diğer yandan, klinik uygulamalarda kullanılan daha büyük, orta frekanslı, bağımsız üniteler ise 1 ile 4 kHz arasında değişen taşıyıcı frekansları üretebilmektedir (Wolfe vd., 2024; Knight vd., 2012; Pelegrini vd., 2019; Fuentes vd., 2010). TENS stimülasyonunun akım şiddeti, tedavinin analjezik etkisi için önemli bir faktördür. Akım şiddetinin doz olarak kullanıldığı ve nispeten daha yüksek akımlarda daha fazla hipoaljezik etki ürettiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Moran vd., 2011; Pantaleão vd., 2011). FES tekniğinde ise, felçli veya zayıflamış kas fonksiyonunun iyileştirilmesi için bir kasın motor sinirine veya doğrudan kasın kendisine hafif elektrik stimülasyonları uygulanır (Park, 2023). Bu teknikte elektriksel uyarım, haftada bir veya üç gün arayla 1'er saat olacak şekilde hastaya döngüsel bir şekilde verilir. FES, NMES ile kıyaslandığında daha düşük bir genlik kullanır (Kashyap vd., 2023). TENS, sinirleri transkutanöz olarak uyararak akut ve kronik ağrı durumlarının tedavisi amacıyla tercih edilmektedir. TENS tekniğinde ağrılı bölgenin yakınına yerleştirilen kutanöz elektrotlar aracılığıyla alternatif akım iletilmesi sağlanır (Vance vd., 2014).

Elektromiyostimülasyon, nöromusküler elektrik stimülasyonu veya elektriksel kas stimülasyonu olarak da adlandırılan, yüzey elektrotlarına bağlı taşınabilir cihazlarla yüzeysel iskelet kaslarına art arda aralıklı olarak elektrik uygulanmasıyla kasın uyarılmasını ve kasılmasını amaçlayan bir tekniktir (Balke vd., 2022; Mukherjee vd., 2023).

Elektromiyostimülasyon yüksek frekanslı (20-50 Hz) ve yüksek şiddetli akımla uygulama yapılabilmesi nedeniyle geleneksel elektrostimülasyondan ayrılmaktadır ve akım şiddeti kişinin tolerans kapasitesine göre değiştirilebilmektedir (Kashyap vd., 2023). EMS geleneksel olarak statik koşullar altında veya istemli izometrik kasılmalarla üst üste bindirilerek belirli bölgelere uygulanırken, tüm vücut elektromiyostimülasyonu (WB-EMS) ise uygun bir giysi aracılığıyla akım veren ve tüm vücut için uygulamaya izin veren daha yeni bir tekniktir (Weissenfels vd., 2018; Wolfe vd., 2024). Çeşitli tıbbi geçmişe sahip hastalara uygulanabilmesinden dolayı elektromiyostimülasyon sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Amirova vd., 2022). Çeşitli rahatsızlıklar nedeniyle fiziksel aktivitenin zor veya imkânsız olduğu durumlarda bile EMS kullanımı mümkündür (Arija-Blázquez vd., 2014; Arenja vd., 2021; Amirova vd., 2022). Klinik uygulamalarda, EMS motor bozukluğu olan hastaların rehabilitasyonunda umut vaat etmektedir. Bu klasik derlemede, fizik tedavide ve sporcular tarafından antrenman amaçlı yaygın olarak kullanılan elektromiyostimülasyon uygulamasının tarihsel gelişimi, uygulamaları, parametreleri ve etki mekanizmaları konusunda anlatisal bir genel bakış sunulması amaçlanmaktadır.

EMS'nin Tarihsel Gelişimi

Elektrostimülasyonun temeli antik Roma ve Yunanistan'a kadar dayanmaktadır. Fizyoterapide ise 150 yıldan fazla süredir teşhis ve tedavide kullanılan bir yöntem olması dolayısıyla en eski yöntemlerden biri olarak görülmektedir (Demidas, 2021). Elektrikli yayın balığı, torpil balığı ve elektrikli yılan balığı gibi deniz canlılarının tedavi amaçlı kullanımı yüzyıllar öncesine dayanmaktadır (Kızıltan ve Dalkılıç, 2021). MÖ 420 yıllarında Hippocrates, elektrikli balıkların özelliklerini fark etmiş ve bunları hastalıkları tedavi etmek için uygulamıştır. Bu dönemlerde, insan vücudunun elektriksel olarak uyarılması balıklarla doldurulmuş küvetler kullanılarak gerçekleştirilmekteydi. Antik Yunan döneminde ise elektrikli yılan balıkları tedavi için kullanılmaktaydı (Demidas, 2021). Scribonius Largus'un torpil balığını kullanarak baş, diş ve omurga gibi ağırlı vücut bölgelerine temas ettirilerek tedavi edildiği kaydedilmiştir (Demidas, 2021; Kızıltan ve Dalkılıç, 2021).

18. yüzyılın başlarında elektriğin modern anlamda keşfedilmesiyle elektrik akımının kullanıldığı tedavi yöntemleri Avrupa'da popüler haline gelmeye başlamıştır. 1743 yılında Profesör Johann Gottlob Krüger, insan kaslarının ve diğer organların uyarılmasında elektrik terapisini uygulamaya başlamıştır. 1747'de Jean Jallabert (1712-1768), bir pil kullanarak bir hastanın felçli sağ üst ekstremitelerini elektriksel olarak uyarmayı başarmış ve kas fonksiyonunun geliştiğini gözlemlemiştir (Gondin vd., 2011). 1772 yılında Walch tarafından

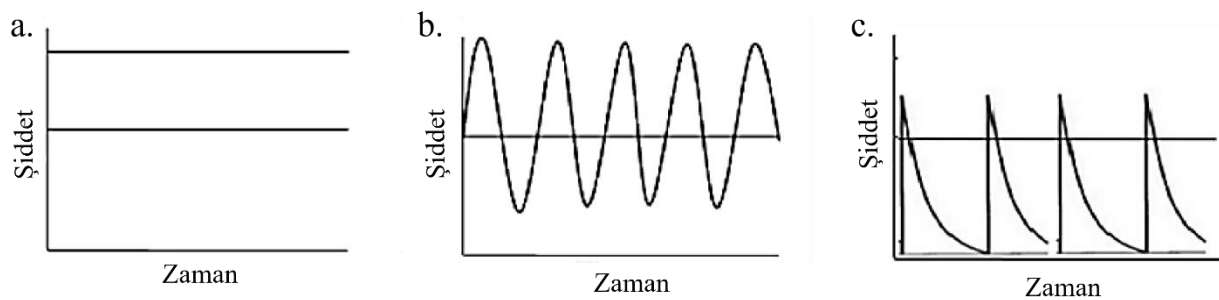
torpido balıklarının elektriklerle yüklü olduğu anlaşılmıştır. Kurbağalarda elektrik akımının geçmesiyle kasların ve sinirlerin kasılması sonucunda elektriksel nöromusküler stimülasyonun etkileri 1780 yılında Luigi Galvani tarafından ilk kez tanımlanmıştır (Bresadola, 1998; Bolz ve Bolz, 2022). Bu aşamada, kas aktivasyonunun altında yatan fizyolojik mekanizmalar başlangıçta yanlış anlaşılmış ve Alessandro Volta ile şiddetle tartışılmış olsa da, Galvani'nin temel bulgusu elektrik akımının kas kasılmasına neden olabileceği görüşüydü (Gondin vd., 2011). Michael Faraday (1791-1867) tarafından elektromanyetik indüksiyonun keşfi, modern elektrik jeneratörlerinin geliştirilmesine yol açmış ve bu alandaki gelişmeler Faraday'ın bu keşfi sonrasında hız kazanmaya başlamıştır. Emil du Bois-Reymond tarafından 1851 yılında doğru ve alternatif akım kullanarak kasların ve sinirlerin uyarılması ilk kez gerçekleştirilmiştir (Demidas, 2021). Du Bois-Reymond, galvanometre kullanarak tüm kas ve sinir dokularında bir yük akışı tespit etmiştir (Finkelstein, 2006).

19. yüzyılın ortalarında Guillaume–Benjamin Duchenne (1806-1875) klinik elektrofizyoloji ile ilgilenen önde gelen hekimlerden biriydi. Guillaume–Benjamin Duchenne, normal bireylerde ve çeşitli nöromusküler hastalıklardan muzdarip hastalarda kasları uyarmasına olanak tanıyan bir pil ve bir indüksiyon bobininden oluşan taşınabilir bir cihaz geliştirerek yaygın olarak kullanmıştır. Böylece, günümüzde yaygın olarak kullanılan EMS cihazlarının temeli atılmıştır. Guillaume–Benjamin Duchenne, “Lokelize Faradizasyon” adını verdiği elektrik stimülasyon tekniğini klinik bir teşhis ve prognostik araç olarak kullanmanın yanı sıra canlıların anatomisini keşfetmek için fizyolojik bir araç olarak da kullanmıştır (Parent, 2005). 1880'lerden itibaren ise, elektroterapi genellikle araştırma için birincil motivasyon olmaya devam etse de, hastanın uyarılmamış bölümlerinin uyarılmış kısımlarıyla karşılaştırılması ve uygulama prosedürlerinin oluşturulması ile birlikte elektrik akımının tanısal kullanımının temelleri atılmıştır (Tatu ve Péréon, 2025). 1912'de Perthes tarafından ilk elektrikli sinir stimülatörü keşfedilmiştir (Bolz ve Bolz, 2022). Leipzig'deki Alman nörolog Wilhelm Erb (1840-1921) tarafından sinirlerin ve kasların elektriklerle uyarılmasıyla bağlantılı olan Entartungsreaktion (dejeneratif reaksiyon) bulunmuş, insan vücudunun iletkenliğe karşı direnci ile ilgilenmiş ve bu direncin vücudun farklı bölgeleri için incelenmesini savunmuştur (Tatu ve Péréon, 2025). 1950'lerde, stimülasyon ve miyografi teknolojilerini birleştiren elektromiyografik cihazların ilk yaygın pazarlaması ortaya çıkmıştır (Tatu ve Péréon, 2025). 1971 yılında Rus araştırmacı Yakov Kots, kas gücünü artırmak için EMS'nin istemli kasılmalardan daha etkili olabileceğini iddia etmiştir (Ward ve Shkuratova, 2002; Gondin vd., 2011). Fakat 1970'li yılların başında EMS'nin yetersiz ve kontrolsüz kullanımı nedeniyle kas gücünü artırmak için uygun bir araç olmaktan ziyade teknolojik bir araç olarak görülmüştür. Günümüzde ise EMS'nin kas gücünü artırmak için

gönüllü direnç antrenmanı protokollerine uygun ve yasal bir tamamlayıcı (örneğin, doping prosedürüne kıyasla) olduğuna dair ikna edici kanıtlar bulunmaktadır (Gondin vd., 2011). EMS'nin gelişimine katkıda bulunan bu çalışmaların hepsi çeşitli kullanım alanlarında teorik bir altyapı oluşturulmasını sağlamış ve uygulama prosedürlerinin gelişimine destek olmuştur.

Elektrostimülasyon Parametreleri ve Etki Mekanizmaları

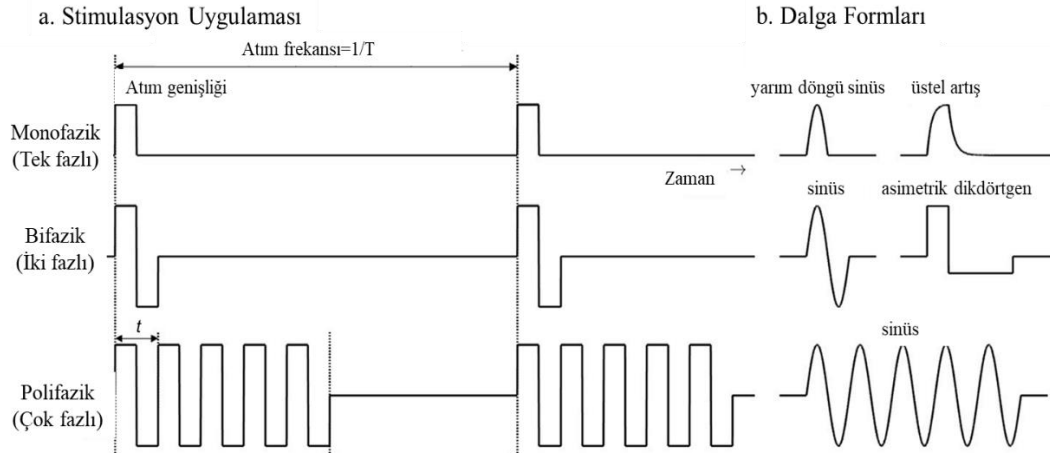
EMS uygulamasında, bireyde kas kasılması oluşturmak için uyarılması istenen kasların doğrudan yakınında cilt üzerine yerleştirilen yapışkan veya kauçuk elektrotlar kullanılarak genellikle cilt yüzeyi boyunca bir elektrik akımı verilir. Bu kas kasılması, dokulara giden ve motor uç plakalarına sinaptik iletim yoluyla sinyali hedef kasa taşıyan sağlam bir motor nöronun depolarizasyonuna neden olan elektrik akımı nedeniyle gerçekleşir. Kas kasılması, küçük bir kas seğirmesinden eklemlerde fizyolojik bir harekete neden olacak kadar güçlü bir kasılmaya kadar değişebilir. EMS tedavisinde cihazlarda çeşitli stimülasyon parametreleri kullanılmaktadır. Elektrik stimülasyon parametrelerinin değiştirilmesi sonucunda, üretilen bir kas kasılmasının farklı şekilde uygulanması ve böylece çeşitli amaçlara yönelik tedaviler mümkün olabilmektedir. Çoğu EMS ünitesinde elektrik akımı, frekans, genlik, şiddet ve atım (darbe) genişliği parametreleri bulunmaktadır. Frekans (saniye başına atım sayısı), akım şiddeti veya akım genliği, atım özellikleri (şekil ve süre), açma/kapama döngüsü (kaslarda yorgunluk oluşumunu en aza indirmek için), elektrot malzemesi, elektrot malzemesinin boyutu ve yerleşimi sinirlerin ve kasların fizyolojik özellikleri tarafından belirlenen EMS için ana uyaran parametreleridir. Uygulamalarda kullanılan başlıca stimülasyon parametreleri ve etki mekanizmaları Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Elektroterapide kullanılan akım formları a. Doğru akım, b. Alternatif akım ve c. Pulsasyonlu akım (Ud-Din ve Bayat, 2014).

İletken bir maddenin herhangi bir kesitinden birim zamanda geçen yük miktarına akım denilmektedir. Elektrik akımının doku üzerindeki etkisi akımın şiddeti, akımın yönü, geçiş süresi ve değişme hızına bağlı olarak değişmektedir (Tuna, 2001). EMS'de uygulanan akım düşük şiddetlidir ve genellikle miliamper (mA) seviyesindedir (Kaçoğlu ve Kale, 2015). Yaygın

olarak sınıflandırmalar frekansa göre yapılır. Bunlar; alçak frekanslı akımlar (<1000 Hz.), orta frekanslı akımlar (1000-10000 Hz.) ve yüksek frekanslı akımlar (>10000 Hz.)'dır (Tuna, 2001). Tipik bir EMS stimülatörü kullanılan dirence göre 9 ila 15 mA üretir (Azman ve Azman, 2017).



Şekil 2. EMS'de uygulanan a. Monofazik, bifazik ve polifazik dalga türleri ve b. Dalga formları (Takeda vd., 2017).

Tedavide doğru akım (galvanik akım), alternatif akım ve pulsasyonlu akım türleri kullanılır. Doğru akım, elektrik yüklü partiküllerin tek yönde kesiksiz hareket ettiği akımdır. Atım genişliği 0.1-1 ms, frekansı 30-100 Hz. arasında değişir. Yara iyileşmesi, iyontoforez ve denerve kasların uyarılması için doğru akımdan faydalanılır. Alternatif akım, elektrik yüklü partiküllerin değişken yönlerde kesiksiz hareket ettiği akımdır. Bu akım türünde, akımın yönü değişkenlik gösterir. Denerve kasların uyarılması için alternatif akımdan faydalanılır. Pulsasyonlu akım, tek ya da çift yönlü olabilen ve periyodik kesilmeler gösteren bir akım türüdür. Tedavide elektroterapi cihazlarında yaygın olarak alçak frekanslı pulsasyonlu akımlar kullanılır (Tuna, 2001). Elektroterapide kullanılan akım formları Şekil 1'de verilmiştir. Genel olarak, EMS uygulamasında stimülasyon atımının dalga şekli monofazik, bifazik ve polifazik dalgalar olabilmektedir (Şekil 2). Dalga formları dikdörtgen dalgalar ve sinüs dalgaları olarak alt bölümlere ayrılabilir. Bifazik dalgalar simetrik/asimetrik olarak sınıflandırılabilir (Takeda vd., 2017). Uygulamalarda atım genişliği genellikle 150-300 ms'dir. 10 ms'den daha düşük atımlarda dikdörtgen ve üstel formdaki akımların uyarı etkileri birbirine yakındır (Tuna, 2001).

EMS uygulamasında kaslarda oluşan yorgunluk veya ağrı dalga parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Ağrı şiddeti, dokuya iletilen toplam elektrik yükü miktarına bağlı olarak değişmektedir (Gracanin ve Trnkoczy, 1975). Petrofsky ve arkadaşları tarafından sinüs dalgası stimülasyonunun, dikdörtgen veya polifazik dalgalara kıyasla daha az ağrı ile birlikte daha fazla

kas gücü ürettiği belirtilmiştir (Petrofsky vd., 2009). Çeşitli çalışmalar, dikdörtgen dalga formunun geometrik parametrelerini değiştirmenin nöron uyarılabilirliğini etkileyebileceğini ve uygulama kalitesini değiştirebileceğini göstermiştir (Grill ve Motimer, 2002; Graczyk vd., 2022; Collu vd., 2023). Dikdörtgen ve üstel dalga biçimi, reobaz ve kronaksi açısından farklılıklar göstermektedir ve özellikle dikdörtgen dalga biçiminin eşige ulaşmak için daha düşük bir akım uygulanması gerekmektedir (Collu vd., 2023; Wessale vd., 1992). Monofazik akımlar her atımda tek faz içerdiğinden dolayı deri yanıkları ve doku hasarları oluşturabilmektedir. Bu nedenle bifazik akımlar transkutenöz elektrik stimülasyonu için daha uygundur (Kaçoğlu ve Kale, 2015). Atım şiddeti ile kas kuvveti gelişimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Maffiuletti, 2010). Kas güçlendirme amaçları için yüksek şiddetli EMS (≥ 45 mA) gerektiği belirtilmiştir (Glaviano ve Saliba, 2016). Bireyin konforunun artırılması ve kas ağrısının önüne geçebilmek için düşük şiddetli (≤ 20 mA) uygulamalarla aynı sonuçlar alınabilmektedir (Veliev vd., 2021; Glaviano ve Saliba, 2016).

Tablo 1. Stimülasyon Parametreleri ve Uygulaması (Parry vd., 2013).

Parametre	Tanım	Uygulaması
Elektrik Akımı	İletken bir maddenin herhangi bir kesitinden birim zamanda geçen yük miktarıdır.	Kas tepkisini etkiler. Daha yüksek akım şiddeti uyarılabilirliği artırır (daha fazla kas kuvvetine yol açar). Atım genişliği ile ters bir ilişki vardır. Kas kasılmasını ortaya çıkarmak için daha düşük atım genişliği ile mA mertebesinde daha yüksek akım uygulanması gerekmektedir.
Frekans	Saniyedeki atım sayısıdır.	Kas kasılmasının kalitesini etkiler. Daha düşük frekanslarda (~20 Hz.) bireysel kas seçimleri gözlenir. 30-50 Hz. civarında kasılmalar üst üste görülmeye başlar ve daha güçlü kas kasılmasına yol açar. Çok yüksek frekanslarda ise kas yorgunluğu meydana gelmeye başlar. Antrenman ve tedavi hedefine bağlı olarak frekans değiştirilebilir.
Atım (darbe) süresi	Stimülasyon atım süresidir.	μ s mertebesinde uygulanır. Daha uzun atım süresi ile daha fazla motor ünite çalıştırılır ve böylece daha fazla kas kuvveti üretilir.
Şiddet (amplitüd, genlik)		

	Akım şiddetinin ayarlanmış bir maksimum seviyeye kadar arttırılması ve düşürülmesidir. Akım akışının şiddeti olarak da ifade edilmektedir.	Hastanın EMS toleransını artırılması için yükseltilir ve azaltılır.
Açma-kapama zamanı	Stimülasyonun kapatılması ve uyarılmanın uygulandığı süredir.	Uyarılan kasın yorgunluğunu etkiler. Kas yorgunluğu oluşmaması için stimülasyon aralıklarla uygulanır.

Frekans, atımın birim zamanda tekrarlama sıklığıdır. Saniyede iletilen atım sayısı olarak tanımlanabilir. Genel olarak stimülasyon frekansının, stimülasyon sırasında kas liflerinin sayısı ve kas uzunluğu da dahil olmak üzere kas kasılmasının neden olduğu kuvveti etkileyen önemli bir faktör olduğu kabul edilmektedir. Stimülasyon frekansının güç kaybı açığını telafi edebilen ve güç kazanımına katkıda bulunan bir faktör olabileceği belirtilmiştir (Paillard, 2008). Stimülatörlerin frekansı ayarlamak için cihazların farklı kapasiteleri vardır ve bazı cihazlarda “oran” veya “frekans oranı” olarak adlandırılır. Uygulamalarda frekans, stimülasyonun amacına göre değişmektedir (Aldayel, 2010). EMS uygulamalarında alçak frekanslı akımlar (1-1000 Hz.) kullanılmaktadır. Sağlıklı bir kas için minimum uyarı etkisi 50 Hz. frekansta mümkündür. Uyarım frekansı 20 Hz. ve daha altında uygulandığında, kas tek tek kasılır ve uyarıya gevşemeler şeklinde cevap verir. 30-40 Hz. aralığında uyarı sıklığının artırılması durumunda tek tek kasılmalar yerine tetanik kontraksiyon oluşur. Uygulamalarda nadiren 300 Hz. gibi daha yüksek frekanslar kullanılır (Tuna, 2001).

Quadriceps femoris kas gücünün geri kazandırılmasına yönelik protokollerde 30 ila 75 Hz. arasında frekanslar kullanılmıştır (Wigerstad-Lossing vd., 1988; Mintken vd., 2007; Stevens vd., 2004; Petterson ve Snyder-Mackler, 2006; Fitzgerald vd., 2003; Lewek vd., 2001). Hasta rahatsızlığını en aza indirirken en etkili frekans bulmaya çalışmak için 40 ila 75 Hz. arasında değişen frekanslar uygulanmıştır (Lewek vd., 2001). 75 Hz. ve daha yüksek bir frekansta uygulandığında, hastalar tarafından stimülasyondan 24 saat sonra kas ağrısı bildirilmiş ve EMS'den 48 ila 72 saat sonra kreatin kinaz plazma seviyelerinde bir artış meydana gelmiştir (Nishida vd., 2016). Deri altı yağ hacminin rehabilitasyon süresi boyunca kullanılan frekansa göre farklı şekilde arttığını gösterilmiştir. Ameliyat edilen uzuv ile kontralateral uzuv karşılaştırıldığında 20 Hz'lik stimülasyon frekansının quadriceps femoris kas gücünün iyileşmesinde 80 Hz'lik frekansa göre daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmiştir (Rebai vd., 2002). Düşük EMS frekansının (20 Hz) ameliyat sonrası dönemde yağ birikimini sınırlamada yüksek frekansa (80 Hz) kıyasla daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Rebai vd., 2002). Yapılan bir

çalışmada 30 Hz.'lik sabit bir frekansın uygulanmasının, azalan bir frekans modelinden (30 Hz.'den 15 Hz.'e azalan) daha iyi kas kuvvetini koruduğu gözlenmiştir (Fuglevand ve Keen, 2003). Zayıflama amacıyla istemli bir egzersizle birlikte 100 Hz. frekans kullanılarak yapılan EMS uygulamasının, tek başına istemli egzersizden daha etkili olmadığı gözlenmiştir (Paternostro-Sluga vd., 1999). Bazı araştırmacılar, kısa atım süreleri (500µs-1000µs) ile düşük frekanslı stimülasyonun daha düşük bir kas yorgunluğu sergileyeceğini öne sürmüşlerdir (Doucet vd., 2012). Daha uzun atım sürelerinin ise tipik olarak deri altı dokulara daha derinlemesine nüfuz ederek ikincil doku katmanlarını etkileyebileceği belirtilmiştir (Doucet vd., 2012).

Kasların hafif paralizilerinde uygulanan EMS tedavilerinde (elektrojimnastik uygulamalarında) atım aralığı sürelerinin azaltılması gerekmektedir. Dolayısıyla frekansın artışı meydana gelir ve kas dinlenmeye fırsat bulamayarak tetanize olur. Bunun önüne geçebilmek için akım şiddeti, frekanstan bağımsız olarak periyodik olarak azaltılıp çoğaltılmaktadır. Uygulamada dikdörtgen atımlar kullanılır ve akım şiddeti birkaç saniyelik periyotlarla azaltılıp yükseltilmektedir (Tuna, 2001). Sıklıkla, hasta konforu için istenen frekans ve şiddete kadar kademeli bir stimülasyon kullanılmaktadır. Rampa süresi olarak da isimlendirilen bu parametre, stimülasyonun açılmasından istenen frekansın gerçek başlangıcına kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Bu süre, hastanın uyarılan harekete karşı direnç oluşturan artmış kas tonusu olabileceği durumlarda klinik uygulamalarda kullanılmaktadır. Rehabilitasyon uygulamalarında 1 ila 3 saniyelik rampa süreleri yaygındır. Bazı durumlarda, hipertonic veya spastik kas sistemi veya stimülasyona duyarlılığı artmış hastalar için daha uzun rampa süreleri kullanılmaktadır (Baker vd., 2000; Doucet vd., 2012). Rampa süreleri ayrıca ayakta durma ve yürüme gibi çoklu kas uygulamalarında modüle edilerek ve doğal hareket taklit edilebilmektedir (Bijak vd., 2005). Antrenman amacıyla ve kas içi kan dolaşımını iyileştirmek için 25 voltluk EMS uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır (Tanaka vd., 2024).

EMS, elektrotlar aracılığıyla kaslara iletilen elektriksel uyarılar yoluyla motor nöronları aktive etmektedir. Elektrot boyutu ve yerleşimi hastanın konforunu ve kas kuvveti üretimini etkileyen bir unsurdur (Lyons vd., 2004; Flodin vd., 2022). Uygulamalarda en sık bildirilen sorun, elektrot uygulama bölgesinde lokal dermatolojik reaksiyonlardır (Gibson vd., 2019; Patel vd., 2025). Kullanılan elektrotun boyutu akım şiddeti üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Akım şiddeti kastaki kasılmaları uyardığı için, şiddetin minimum değeri kasın eşik değerinden büyük olmalıdır (Rattay, 1988; Lyons vd., 2004). Elektrot boyutu üzerine yapılan çalışmalar, kullanım için optimum boyutun uyarılan kasa bağlı olduğunu göstermiştir (Lyons vd., 2004). Elektrot alanının 20 cm² ve 36 cm² olarak uygulanan bir çalışmada, üretilen hareketlerde istatistiksel

olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (McNeal ve Baker, 1988). Elektrot alanının 20 ila 60 cm² aralığında kıyaslandığı bir çalışmada ise, daha küçük elektrotların daha büyük elektrotlara kıyasla daha fazla ağrıya neden olduğu gözlenmiştir (Patterson ve Lockwood, 1991).

EMS'nin Kullanım Alanları

EMS, inme ile ilişkili motor bozukluk, uzun süreli immobilizasyona bağlı kas atrofisi ve nöromusküler yeniden eğitim gerektiren sporla ilgili yaralanmalar gibi durumlar için rehabilitasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. EMS cihazları, kas kasılmalarını ortaya çıkarmak, nöromusküler eğitim ve rehabilitasyonu kolaylaştırmak için tasarlanmıştır (Patel vd., 2025). EMS'nin hemipleji olan bireylerde motor fonksiyonu ve yürüyüşü önemli ölçüde iyileştirebileceği gösteren çalışmalar mevcuttur (Moon vd., 2017; Amirova vd., 2022). EMS, belirli kas gruplarını hedefleyerek ve kas kasılmalarını uyarak, motor fonksiyonunun iyileşmesini kolaylaştırır ve hareketliliği artırır, bu da onu inme sonrası rehabilitasyonda değerli bir araç haline getirir (Sbruzzi ve Plentz, 2015; Chopra vd., 2017; Levine ve Bockstahler, 2014). EMS, sağlıklı bireylerin de kas gelişimi için tercih ettiği bir pasif antrenman tekniği olarak da kullanılmaktadır. Son yıllarda EMS cihazlarının innerve kasları uyarma yeteneğinin artması, nöromusküler patolojisi olmayan sağlıklı bireyler için kullanılmasına olan ilgiyi artırmıştır (Porcari vd., 2002; Kots, 1977). EMS antrenmanının iskelet kasını artırmak için iyi bir yöntem olduğunu ve geleneksel kuvvet antrenmanını destekleyici bir yöntem olarak tercih edilebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Berger vd., 2020). EMS, geleneksel bir spor salonu antrenmanı ile gerçekleştirilmesi zor olan daha derin kas katmanlarına ulaşma kapasitesine sahiptir. Tüm büyük kas gruplarını aynı anda aktive etmesinden dolayı tüm vücut elektriksel kas stimülasyonu (EMS-WB) ile antrenman ve kas gelişiminin sağlanması son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır (Schink vd., 2018; Ghannadi vd., 2022). EMS parametreleri değiştirilerek farklı kas lifi türlerinin uyarılması sağlanabilmektedir (Ghannadi vd., 2022; Delitto vd., 1989; Pano-Rodriquez vd., 2019; Jee, 2018).

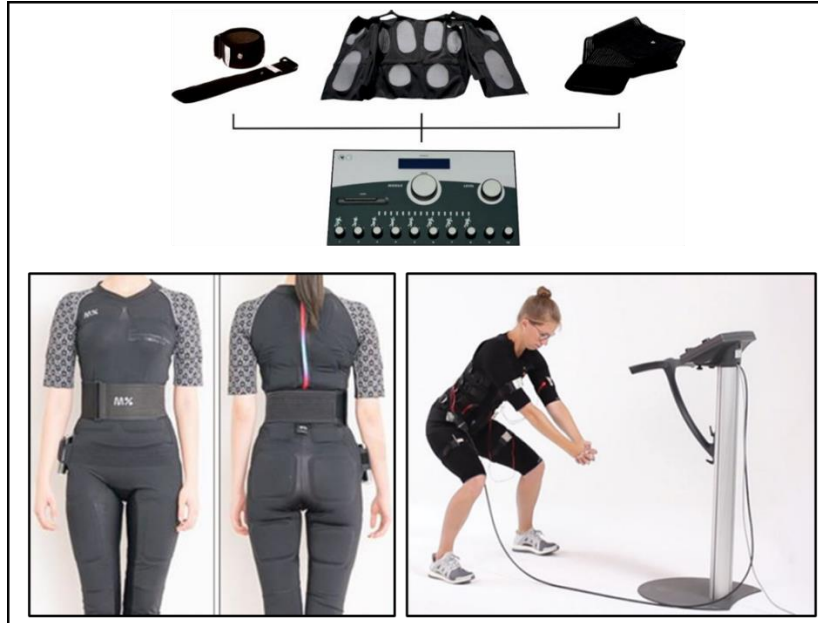
EMS, bir yaralanma veya ameliyattan sonra kasları rehabilite etmek için bir yöntem olarak uzun yıllardır fizik tedavi uygulamasının temel dayanaklarından biri olmuştur. 1960'ların başında, iskelet kası denerve olduğu durumda ortaya çıkan atrofiyi önlemek amacıyla sıklıkla kullanılmıştır. Daha gelişmiş stimülasyon cihazları üretildikçe, inme veya omurilik yaralanmasına bağlı olarak merkezi sinir sistemi bozukluğu yaşayan hastalar için popüler bir tedavi tekniği haline gelmiştir (Porcari vd., 2002). Son 30 yılda üreticiler, çeşitli elektrik dalga formlarını modüle etme kabiliyeti gelişmiş üniteler geliştirerek, innerve kasları uyarmak için rahatça kullanılacak cihazlar üretmişlerdir. Bu gelişmeler nedeniyle EMS, ortopedik cerrahi, özellikle de ön çapraz bağ rekonstrüktif cerrahisi geçiren hastaların alt ekstremitesinde

güç kazanımını teşvik etmek için daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Porcari vd., 2002). Ayak EMS cihazlarının bacaklardaki kan dolaşımını artırdığı ve böylece ağrı, ağırlık, yorgunluk ve kramp gibi semptomları hafiflettiği gösterilmiştir (Ellul vd., 2017; Williams vd., 2021).

EMS ile ilgili araştırmaların genişlemesiyle birlikte, son çalışmalar vücut fonksiyonlarının etkileşimi ve genişletilmesi için EMS kullanımına odaklanmıştır. EMS kullanarak, el aktiviteleri sırasında dikkat dağılımını iyileştirmek ve el göz koordinasyonunu geliştirmek mümkündür. Bu tekniğin kullanılmasıyla, el koordinasyonu becerilerinin daha kısa sürede geliştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Robot kollarının veya dış iskeletlerin geleneksel çalıştırılmasıyla karşılaştırıldığında, EMS cihazlarının kullanımı daha kolay olma eğilimindedir (Zhou ve Segawa, 2024). Parkinson hastalığının tedavisinde yardımcı olması için hastalara destekleyici EMS uygulamalarının yapıldığı çalışmalar mevcuttur (Heijnen vd., 2012; Park vd., 2018). ES uygulamaları, tendon onarımının desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır. ES, motor organların önemli bileşenleri ve yaralanma sonrası onarımın temel mekanizmaları olan kemik, kıkırdak ve tendon gibi dokuların gelişimini destekleyebilmektedir (Flodin vd., 2024; Yu vd., 2025). Doğrudan ES uygulamasının, hücre çoğalmasını, farklılaşmasını ve nihayetinde hücre dışı matriks (ECM) düzensizliği sentezini destekleyerek hücresel fonksiyonların düzenlenmesinde katkı sunabileceği belirtilmiştir (Zhou vd., 2023). Mikro-akım stimülasyonunun olgunlaşmamış erkek sıçanlarda hiyalin kıkırdak onarımını destekleyebilmektedir (da Cunha vd., 2013). Düşük frekanslı ES'nin kolajen sentezini artırabildiği ve sıçan aşıl tendonunun iyileşmesinde katkıda bulunduğu gözlenmiştir (Casagrande vd., 2021). Bunlara ek olarak, yenilikçi EMS teknikleri, obstrüktif uyku apne sendromu solunum bozukluklarının tedavisi için alternatif bir teknik haline gelmiştir. Obstrüktif uyku apne sendromu bulunan bireylerde EMS uygulamasının ardından üç kat etkinlik artışı doğrulanmıştır (Ludwing, 2008).

Fiziksel egzersiz yapma motivasyonunu artırmak ve daha geleneksel müdahalelerin sonuçlarını en üst düzeye çıkarmak için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, WB-EMS ile eğitim popülerlik kazanmıştır ve birçok ülkede spor merkezleri tarafından giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Evangelista vd., 2021). WB-EMS uygulamasının tüm büyük kasları aktive edici özelliği bulunmaktadır. WB-EMS'nin, vücut ağırlığı ile yapılan direnç antrenmanının etkilerini güçlendirdiği, güç ve kas kütlesinde daha fazla artışa yol açtığı gösterilmiştir (Kemmler vd., 2018). WB-EMS, sağlıklı, yaşlanmaya bağlı kas erimesi bulunan ve/veya fonksiyonel olarak engelli katılımcılarda kas gücü, kas morfolojisi ve yağ kütlesi üzerinde olumlu etkiler göstermiştir (Kemmler vd., 2014; Kemmler vd., 2018; von Stengel vd., 2015; Kemmler vd., 2017). Vücut ağırlığıyla yapılan WB-EMS egzersizi, fiziksel olarak aktif

olmayan yaşlı bireylerde fonksiyonel kapasiteyi ve kas kalınlığını artırmaktadır (Evangelista vd., 2021). 15 dakika boyunca yapılan aerobik egzersiz ve WB-EMS kombinasyonunun, yüksek yoğunluklu egzersizle metabolik yanıtı aynı ölçüde artırdığı belirtilmiştir (Watanabe vd., 2019). Sağlıklı genç bireylere tolere edilebilir maksimum yoğunlukta 20 dakika boyunca uygulanan WB-EMS sonucunda kan glukozunu önemli ölçüde düştüğü ve kan laktat seviyesini artırdığı gözlenmiştir (Hoshiai vd., 2021). Kardiyovasküler risk faktörleri üzerinde olumlu sistemik etkiler yarattığı belirtilmektedir. Büyük kas gruplarının aktivasyonu ile indüklenen anti-inflamatuar etkilerin, WB-EMS'in sağlık üzerindeki etkilerinin potansiyel etki mekanizmalarından biri olduğu gösterilmiştir (Park vd., 2021). Kalp yetmezliği olan hastalarda WB-EMS uygulamasının nörohümorale, inflammatuar ve iskelet kası semptomlarının yenilenmesi için bir potansiyel olduğu belirtilmiştir (Fritzsche vd., 2010). Diz kireçlenmesi bulunan hastalar için değerli bir uygulama olabileceği çalışmalarla desteklenmiştir (Kast vd., 2024).



Şekil 3. Giyilebilir elektrotlu WB-EMS ekipmanı (Kemmler vd., 2024; Park vd., 2021; Weissenfels vd., 2019).

Günümüzde, geleneksel kemer tipi EMS yerine birçok bölgeyi aktive eden WB-EMS için ön ve arka kollar, göğüs, sırt, karın, oblik karın, ön ve arka uyluk kaslarına etkili bir şekilde elektrik stimülasyonu sağlayan yeni ve kullanışlı giyilebilir cihazlar bulunmaktadır. Yeni nesil giyilebilir cihaz görselleri Şekil 3'te verilmiştir. WB-EMS'nin gelişimi ve uygulamaları oldukça yenidir. Bu nedenle, WB-EMS cihazlarının kalp ve periferik mikrosirkülasyon dahil olmak üzere hemodinamik üzerindeki etkisi tam olarak aydınlatılamamıştır. Tüm vücuda uygulanan elektrik stimülasyonunun dolaşım dinamikleri, aritmi, mikrosirkülasyon, kan şekeri, laktat seviyeleri ve oksidatif stres dahil olmak üzere sistemik metabolizma üzerindeki

etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Hoshiai vd., 2021).

SONUÇ

EMS uygulamasının yaşam kalitesini artırma ve ilaçlara olan bağımlılığı azaltma yeteneği, modern ağrı yönetimi ve rehabilitasyon stratejilerinin ayrılmaz bileşeni olarak önemli bir rol oynamaktadır. EMS, çeşitli kas-iskelet sistemi, nörolojik ve vasküler durumlarla ilişkili kas bozukluklarının tedavisi için uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan bir terapi yöntemidir. Kas kasılmasını kolaylaştırmak için düşük seviyeli bir elektrik akımının tekrarlayarak bireye uygulanmasını içermektedir. EMS programlarında tipik olarak, tekrarlayan kas kasılmasını oluşturmak için stimülasyon-dinlenme döngüleri oluşturulur. EMS uygulamalarında beklenen hedefler doğrultusunda kas ve sinirlerin nöromüsküler uyarımının doğru şekilde gerçekleştirilmesi için akım, frekans, atım süresi gibi çeşitli parametreler ve etki mekanizmaları hakkında kapsamlı bilgi sahibi olunması, cihazın uygulama parametrelerini seçmek için uygun işlevlere sahip olması optimum sonuçlar elde edebilmek için önemlidir. Elektrotun uygulandığı her kasın, uygulanan frekansa fizyolojik tepkisinin yanı sıra gücü ve dayanıklılığının da olduğunu göz önünde bulundurularak vücudun farklı kaslarına ve bölgelerine uygun seviyelerde akım uygulanması gerekmektedir. Terapistlerin ve spor salonlarında kişisel eğitmenlerin kas ve sinirlerin elektrikselsel uyarımında bilgi sahibi olması sağlıklı ve kontrollü uygulamalar için doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu alanda yapılacak çalışmalar, EMS'nin uzun vadeli etkilerinin anlaşılması ve rehabilitasyonda uygulanabilirliğine katkı sunacak, elde edilecek sonuçlar uygulama prosedürlerini optimize etme konusunda değerli bilgiler sunacaktır.

Teşekkür: Yok

Finansman: Yok

Çıkar çatışması: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Etik boyut: Yok

Yazar Katkıları: Literatür taraması: S.Ö., Yazım: S.Ö., S.A.P., Orijinal Taslağın Hazırlanması: S.Ö., S.A.P.

KAYNAKLAR

Aldayel, A. A. (2010). Comparison of acute physiological effects between alternating current and pulsed current electrical muscle stimulation. Edith Cowan University.

Amirova, L., Avdeeva, M., Shishkin, N., Gudkova, A., Guekht, A., & Tomilovskaya, E. (2022). Effect of Modulated Electromyostimulation on the Motor System of Elderly Neurological Patients. Pilot

- Study of Russian Currents Also Known as Kotz Currents. *Frontiers in Physiology*, 13, 921434. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.921434>
- Arenja, N., Mueller, C., Tomilovskaya, E., Koryak, Y., Poltavskaya, M., & Saner, H. (2021). Real-world experience of feasibility and efficacy of electrical muscle stimulation in elderly patients with acute heart failure: a randomized controlled study. *International journal of cardiology*, 344, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.09.062>
- Arija-Blázquez, A., Ceruelo-Abajo, S., Díaz-Merino, M. S., Godino-Durán, J. A., Martínez-Dhier, L., Martin, J. L., & Florensa-Vila, J. (2014). Effects of electromyostimulation on muscle and bone in men with acute traumatic spinal cord injury: A randomized clinical trial. *The journal of spinal cord medicine*, 37(3), 299-309. <https://doi.org/10.1179/2045772313Y.0000000142>
- Azman, M. F., & Azman, A. W. (2017). The effect of electrical stimulation in improving muscle tone (clinical). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 260 (1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/260/1/012020>
- Baker, C., Wederich, D., McNeal, C., Newsam, R., & Waters, R. (2000). Guidelines for adjustment of stimulation parameters. *Neuromuscular Electrical Stimulation: A Practical Guide. 4th edition*. Downey, CA: Los Amigos Research & Education Institute.
- Balke, M., Teschler, M., Schäfer, H., Pape, P., Mooren, F. C., & Schmitz, B. (2022). Therapeutic potential of electromyostimulation (EMS) in critically ill patients—a systematic review. *Frontiers in physiology*, 13, 865437. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.865437>
- Berger, J., Ludwig, O., Becker, S., Backfisch, M., Kemmler, W., & Fröhlich, M. (2020). Effects of an impulse frequency dependent 10-week whole-body electromyostimulation training program on specific sport performance parameters. *Journal of sports science & medicine*, 19(2), 271.
- Bijak, M., Rakos, M., Hofer, C., Mayr, W., Strohhofer, M., Raschka, D., & Kern, H. (2005). Stimulation parameter optimization for FES supported standing up and walking in SCI patients. *Artificial organs*, 29(3), 220-223. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2005.29039.x>
- Bolz, A., & Bolz, L. O. (2022). Technical aspects and future approaches in transcutaneous vagus nerve stimulation (tVNS). *Autonomic Neuroscience*, 239, 102956. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.102956>
- Bresadola, M. (1998). Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737–1798). *Brain research bulletin*, 46(5), 367-380. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(98\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(98)00023-9)
- Casagrande, S. M., Biondo-Simões, M. D. L. P., Ioshii, S., Robes, R. R., Biondo-Simões, R., & Boeno, B. R. D. O. (2021). Histological evaluation of the effect of low-frequency electric stimulation on healing Achilles tendons in rats. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 36(1), e360103.

<https://doi.org/10.1590/ACB360103>

- Chopra, S., Tripathy, A. K., Alphonso, A., Carvalho, M., & Sancia, C. (2017, January). Brain computer interface and electro stimulation of muscles to assist paralyzed patients in limited movement of hands. In 2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNTE.2017.7947950>
- Collu, R., Earley, E. J., Barbaro, M., & Ortiz-Catalan, M. (2023). Non-rectangular neurostimulation waveforms elicit varied sensation quality and perceptive fields on the hand. *Scientific Reports*, 13(1), 1588. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28594-0>
- Da Cunha, M. G., Franchin, M., Galvão, L., de Ruiz, A., de Carvalho, J. E., Ikegaki, M., de Alencar, S. M., Koo, H., Rosalen, P. L. (2013). Antimicrobial and antiproliferative activities of stingless bee *Melipona scutellaris* geopropolis. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 1-9. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-23>
- Daroff, R. B., & Aminoff, M. J. (2014). *Encyclopedia of the neurological sciences*. Academic press.
- DeBord, K., Ding, P., Harrington, M., Duggal, R., Genther, D. J., Ciolek, P. J., & Byrne, P. J. (2023). Clinical application of physical therapy in facial paralysis treatment: a review. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 87, 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.10.076>
- Delitto, A., Brown, M., Strube, M. J., Rose, S. J., & Lehman, R. C. (1989). Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifter: a single subject experiment. *International journal of sports medicine*, 10(03), 187-191. <https://doi.org/10.1016/10.1055/s-2007-1024898>
- Demidas, A. (2021). Electrical stimulation: then and now. Applications and limitations. *Physiotherapy Quarterly*, 29(4), 81-86. <https://doi.org/10.5114/pq.2021.11098>
- Doucet, B. M., Lam, A., & Griffin, L. (2012). Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *The Yale journal of biology and medicine*, 85(2), 201.
- Ellul, C., Formosa, C., Gatt, A., Hamadani, A. A., & Armstrong, D. G. (2017). The effectiveness of calf muscle electrostimulation on vascular perfusion and walking capacity in patients living with type 2 diabetes mellitus and peripheral artery disease. *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, 16(2), 122-128. <https://doi.org/10.1177/1534734617705253>
- Evangelista, A.L., Alonso, A.C., Ritti-Dias, R.M., Barros, B.M., Souza, C.R.D., Braz, T.V., Bocalini, D.S. and Greve, J.M.D.A., (2021). Effects of whole body electrostimulation associated with body weight training on functional capacity and body composition in inactive older people. *Frontiers in physiology*, 12, 638936. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.638936>
- Finkelstein, G. (2006). Emil du Bois-Reymond vs Ludimar Hermann. *Comptes rendus. Biologies*,

- 329(5-6), 340-347. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2006.03.005>
- Fitzgerald, G. K., Piva, S. R., & Irrgang, J. J. (2003). A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(9), 492-501. <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.9.492>
- Flodin, J., Juthberg, R., & Ackermann, P. W. (2022). Effects of electrode size and placement on comfort and efficiency during low-intensity neuromuscular electrical stimulation of quadriceps, hamstrings and gluteal muscles. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00403-7>
- Flodin, J., Reitzner, S. M., Emanuelsson, E. B., Sundberg, C. J., & Ackermann, P. (2024). The effect of neuromuscular electrical stimulation on the human skeletal muscle transcriptome. *Acta physiologica*, 240(5), e14129. <https://doi.org/10.1111/apha.14129>
- Fritzsche, D., Freund, A., Schenk, S., Mellwig, K. P., Kleinöder, H., Gummert, J., & Horstkotte, D. (2010). Electromyostimulation (EMS) in Cardiac Patients. Will EMS Training Be Helpful in Secondary Prevention? Wird das EMS-Training bedeutsam für die Sekundärprävention?. *Herz*, 35, 34-40. <https://doi.org/10.1007/s00059-010-3268-8>
- Fuentes, J. P., Armijo Olivo, S., Magee, D. J., & Gross, D. P. (2010). Effectiveness of interferential current therapy in the management of musculoskeletal pain: a systematic review and meta-analysis. *Physical therapy*, 90(9), 1219-1238. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090335>
- Fuglevand, A. J., & Keen, D. A. (2003). Re-evaluation of muscle wisdom in the human adductor pollicis using physiological rates of stimulation. *The Journal of physiology*, 549(3), 865-875. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.038836>
- Glaviano, N. R., & Saliba, S. (2016). Can the use of neuromuscular electrical stimulation be improved to optimize quadriceps strengthening?. *Sports health*, 8(1), 79-85. <https://doi.org/10.1177/1941738115618174>
- Ghannadi, S., Halabchi, F., Maleklou, F., Tavakol, Z., Rajabian Tabesh, M., Bala, D., & Alizadeh, Z. (2022). The effect of 6 weeks electrical muscle stimulation training and aerobic exercise on body composition of overweight women: a randomized controlled study. *Sport Sciences for Health*, 18(4), 1387-1395. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-00910-7>
- Gibson, W., Wand, B. M., Meads, C., Catley, M. J., & O'Connell, N. E. (2019). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain-an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011890.pub3>
- Gracanian, F., & Trnkoczy, A. (1975). Optimal stimulus parameters for minimum pain in the chronic

- stimulation of innervated muscle. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 56(6), 243-249.
- Graczyk, E. L., Christie, B. P., He, Q., Tyler, D. J., & Bensmaia, S. J. (2022). Frequency shapes the quality of tactile percepts evoked through electrical stimulation of the nerves. *Journal of Neuroscience*, 42(10), 2052-2064. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1494-21.2021>
- Grill, W. M., & Mortimer, J. T. (2002). Stimulus waveforms for selective neural stimulation. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14(4), 375-385. <https://doi.org/10.1109/51.395310>
- Gondin, J., Cozzone, P. J., & Bendahan, D. (2011). Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes?. *European journal of applied physiology*, 111, 2473-2487. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2101-2>
- Heijnen, B. J., Speyer, R., Baijens, L. W. J., & Bogaardt, H. C. A. (2012). Neuromuscular electrical stimulation versus traditional therapy in patients with Parkinson's disease and oropharyngeal dysphagia: effects on quality of life. *Dysphagia*, 27, 336-345. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9371-z>
- Hoshiai M, Ochiai K, Tamura Y, Tsurumi T, Terashima M, Tamiya H, Maeno E, Mizuguchi S, Tomoe T, Kawabe A, Uema A., Ueno, A., Sugiyama, T Horie, Y., Sugimura, H., Koike, R., Yasu, T. (2021). Effects of whole-body neuromuscular electrical stimulation device on hemodynamics, arrhythmia, and sublingual microcirculation. *Heart and Vessels*, 36, 844-852. <https://doi.org/10.1007/s00380-020-01755-1>
- Jee, Y. S. (2018). The efficacy and safety of whole-body electromyostimulation in applying to human body: based from graded exercise test. *Journal of exercise rehabilitation*, 14(1), 49. <https://doi.org/10.12965/jer.1836022.011>
- Jerez-Roig, J., Souza, D. L. B., Espelt, A., Costa-Marín, M., & Belda-Molina, A. M. (2013). Pelvic floor electrostimulation in women with urinary incontinence and/or overactive bladder syndrome: a systematic review. *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, 37(7), 429-444. <https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2012.08.015>
- Kaçoğlu, C., & Kale, M. (2015). Elektromyostimülasyon ile İlgili Elektriksel Akım Parametreleri ve Metodolojisi. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 10(2), 34-47.
- Kashyap, N., Baranwal, V. K., Basumatary, B., Bansal, R., & Sahani, A. (2023). A systematic review on muscle stimulation techniques. *IETE Technical Review*, 40(1), 76-89. <https://doi.org/10.1080/02564602.2022.2030815>
- Kast, S., Kemmler, W., Roemer, F.W., Kohl, M., Culvenor, A.G., Mobasheri, A., Uder, M. and von Stengel, S. (2024). Effectiveness of whole-body electromyostimulation on knee pain and physical

- function in knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 14(1), 20804. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71552-7>
- Kemmler, W., Bebenek, M., Engelke, K., & von Stengel, S. (2014). Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III). *Age*, 36, 395-406. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9575-2>
- Kemmler, W., Fröhlich, M., & Eifler, C. (2024). Whole-body electromyostimulation: Effects, limitations, perspectives of an innovative training Method. Springer Nature.
- Kemmler, W., Grimm, A., Bebenek, M., Kohl, M., & von Stengel, S. (2018). Effects of combined whole-body electromyostimulation and protein supplementation on local and overall muscle/fat distribution in older men with sarcopenic obesity: the randomized controlled franconia sarcopenic obesity (FranSO) study. *Calcified tissue international*, 103, 266-277. <https://doi.org/10.1007/s00223-018-0424-2>
- Kemmler, W., Teschler, M., Weissenfels, A., Willert, S., Bebenek, M., & von Stengel, S. (2017). Whole-body EMS to fight sarcopenic obesity—a review with emphasis on body fat. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 68(7-8), 170-177.
- Kızıltan, E., & Dalkılıç, N. (2021). Elektrofizyolojinin Tarihsel Serüveni: Galvani Öncesi Dönem. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 11(3), 429-440. <https://doi.org/10.31020/mutftd.966437>
- Knight, K., Knight, K. L., & Draper, D. O. (2012). Therapeutic modalities: the art and science. Lippincott Williams & Wilkins.
- Kots, Y. M. (1977). Electrostimulation. In Canadian-Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscles. Montreal. Canada, 6-15.
- Lewek, M., Stevens, J., & Snyder-Mackler, L. (2001). The use of electrical stimulation to increase quadriceps femoris muscle force in an elderly patient following a total knee arthroplasty. *Physical therapy*, 81(9), 1565-1571. <https://doi.org/10.1093/ptj/81.9.1565>
- Levine, D., & Bockstahler, B. (2014). Electrical stimulation. Canine rehabilitation and physical therapy, 2, 342-58.
- Ludwig, A. (2008). Results of electromyostimulation therapy in obstructive sleep apnea. *Artificial Organs*, 32(8), 655-658. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2008.00618.x>
- Lyons, G. M., Leane, G. E., Clarke-Moloney, M., O'brien, J. V., & Grace, P. A. (2004). An investigation of the effect of electrode size and electrode location on comfort during stimulation of the

- gastrocnemius muscle. *Medical engineering & physics*, 26(10), 873-878.
<https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2004.08.003>
- Maffiuletti, N. A. (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European journal of applied physiology*, 110, 223-234.
<https://doi.org/10.1007/s00421-010-1502-y>
- McNeal, D. R., & Baker, L. L. (1988). Effects of joint angle, electrodes and waveform on electrical stimulation of the quadriceps and hamstrings. *Annals of biomedical engineering*, 16, 299-310.
<https://doi.org/10.1007/BF02368005>
- Mintken PE, Carpenter KJ, Eckhoff D, et al. (2007). Early neuromuscular electrical stimulation to optimize quadriceps muscle function following total knee arthroplasty: a case report. *J Orthop Sports Phys Ther*, 37 (7): 364–71. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2007.2541>
- Moon, S. H., Choi, J. H., & Park, S. E. (2017). The effects of functional electrical stimulation on muscle tone and stiffness of stroke patients. *Journal of physical therapy science*, 29(2), 238-241.
<https://doi.org/10.1589/jpts.29.238>
- Moran, F., Leonard, T., Hawthorne, S., Hughes, C. M., McCrum-Gardner, E., Johnson, M. I., Rakel, B. A., Sluka K. A., Walsh, D. M. (2011). Hypoalgesia in response to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) depends on stimulation intensity. *The Journal of Pain*, 12(8), 929-935.
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2011.02.352>
- Mukherjee, S., Fok, J. R., & van Mechelen, W. (2023). Electrical stimulation and muscle strength gains in healthy adults: a systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(4), 938-950. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004359>
- Nishida, M. M., Tsuboyama, T., Moritani, T., & Arai, H. (2016). Review of the evidence on the use of electrical muscle stimulation to treat sarcopenia. *European Geriatric Medicine*, 7(3), 267-271.
<https://doi.org/10.1016/j.eurger.2015.11.010>
- Paillard, T. (2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports medicine*, 38, 161-177. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00005>
- Pano-Rodriguez, A., Beltran-Garrido, J. V., Hernández-González, V., & Reverter-Masia, J. (2019). Effects of whole-body electromyostimulation on health and performance: A systematic review. *BMC complementary and alternative medicine*, 19, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2485-9>
- Pantaleão, M. A., Laurino, M. F., Gallego, N. L., Cabral, C. M., Rakel, B., Vance, C., Sluka, K.A., Walsh, D.M., Liebano, R.E., (2011). Adjusting pulse amplitude during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) application produces greater hypoalgesia. *The Journal of Pain*, 12(5), 581-

590. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2010.11.001>
- Parent, A. (2005). Duchenne de Boulogne (1806–1875). *Parkinsonism & Related Disorders*, 11(7), 411-412. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2005.04.004>
- Park, H. K., Na, S. M., Choi, S. L., Seon, J. K., & Do, W. H. (2021). Physiological effect of exercise training with whole body electric muscle stimulation suit on strength and balance in young women: a randomized controlled trial. *Chonnam medical journal*, 57(1), 76. <https://doi.org/10.4068/cmj.2021.57.1.76>
- Park, K. S. (2023). Electrical Stimulation of Nerves and Muscles. In *Humans and Electricity: Understanding Body Electricity and Applications* (pp. 351-376). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20784-6_15
- Park, J. S., Oh, D. H., Hwang, N. K., & Lee, J. H. (2018). Effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with Parkinson's disease and dysphagia: a randomized, single-blind, placebo-controlled trial. *NeuroRehabilitation*, 42(4), 457-463. <https://doi.org/10.3233/NRE-172306>
- Park, S., Min, S., Park, S.-H., Yoo, J. & Jee, Y.-S., (2021). Influence of isometric exercise combined with electromyostimulation on inflammatory cytokine levels, muscle strength, and knee joint function in elderly women with early knee osteoarthritis. *Front. Physiol.* **12**, 688260. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.688260>
- Parry, S. M., Berney, S., Granger, C. L., Koopman, R., El-Ansary, D., & Denehy, L. (2013). Electrical muscle stimulation in the intensive care setting: a systematic review. *Critical care medicine*, 41(10), 2406-2418. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182923642>
- Patel, P., Green, M., Tram, J., Wang, E., Murphy, M., Abd-Elsayed, A. A., & Chakravarthy, K. (2025). Latest Advancements in Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and Electronic Muscle Stimulation (EMS): Revisiting an Established Therapy with New Possibilities. *Journal of Pain Research*, 137-153. <https://doi.org/10.2147/JPR.S493162>
- Paternostro-Sluga, T., Fialka, C., Alacamlioglu, Y., Saradeth, T., & Fialka-Moser, V. (1999). Neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament surgery. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 368, 166-175.
- Patterson, R. P., & Lockwood, J. S. (1991). The current requirements and the pain response for various sizes of surface stimulation electrodes. In *Proceedings of the 13th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 1809-1810). Publ by IEEE.
- Pelegrini, A. C. A., Gasoto, E., Bussolaro, J. M., Segatti, G., de Albuquerque, C. E., & Bertolini, G. R. F. (2019). The analgesic action of Aussie current in women with non-specific chronic lumbar pain. *International Journal of Therapy And Rehabilitation*, 26(7), 1-10.

<https://doi.org/10.12968/ijtr.2018.0063>

- Petrofsky, J., Laymon, M., Prowse, M., Gunda, S., & Batt, J. (2009). The transfer of current through skin and muscle during electrical stimulation with sine, square, Russian and interferential waveforms. *Journal of medical engineering & technology*, 33(2), 170-181. <https://doi.org/10.1080/03091900802054580>
- Petterson, S., & Snyder-Mackler, L. (2006). The use of neuromuscular electrical stimulation to improve activation deficits in a patient with chronic quadriceps strength impairments following total knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(9), 678-685. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2006.2305>
- Porcari, J. P., McLean, K. P., Foster, C., Kernozek, T., Crenshaw, B., & Swenson, C. (2002). Effects of electrical muscle stimulation on body composition, muscle strength, and physical appearance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(2), 165-172.
- Rattay, F. (1988). Modeling the excitation of fibers under surface electrodes. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 35(3), 199-202. <https://doi.org/10.1109/10.1362>
- Rebai, H., Barra, V., Laborde, A., Bonny, J. M., Poumarat, G., & Coudert, J. (2002). Effects of two electrical stimulation frequencies in thigh muscle after knee surgery. *International journal of sports medicine*, 23(08), 604-609. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35525>
- Reilly, J. P., & Diamant, A. M. (2011). *Electrostimulation: theory, applications, and computational model*. Artech House.
- Sbruzzi, G., & Plentz, R. D. M. (2015). Effects of Electrical Stimulation in Spastic Muscles After Stroke. *Stroke*, 46, 2197-2205. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009633>
- Schink, K., Herrmann, H. J., Schwappacher, R., Meyer, J., Orlemann, T., Waldmann, E., Wullich, B., Kahlmeyer, A., Fietkau, R., Lubgan, D., Beckmann, M. W., Hack, C., Kemmler, W., Siebler, J., Neurath, F. M., & Zopf, Y. (2018). Effects of whole-body electromyostimulation combined with individualized nutritional support on body composition in patients with advanced cancer: a controlled pilot trial. *BMC cancer*, 18, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12885-018-4790-y>
- Stevens, J. E., Mizner, R. L., & Snyder-Mackler, L. (2004). Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: a case series. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(1), 21-29. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2004.34.1.21>
- Takeda, K., Tanino, G., & Miyasaka, H. (2017). Review of devices used in neuromuscular electrical stimulation for stroke rehabilitation. *Medical Devices: Evidence and Research*, 207-213. <https://doi.org/10.2147/MDER.S123464>

- Tanaka, R., Shigemori, Y., & Moriguchi, T. (2024). Non-Invasive Muscle Metabolism Assessment with Near-Infrared Spectroscopy and Electrical Muscle Stimulation. *BioMed*, 4(4), 419-429. <https://doi.org/10.3390/biomed4040033>
- Tatu, L., & Péréon, Y. (2025). The origins of neuromuscular electrodiagnosis. 1800–1950: a crucial period. *European Neurology*. <https://doi.org/10.1159/000544957>
- Tuna, N. (2001). Elektroterapi. İstanbul: Nobel Tıp Kitap Evi, 2, 129-135.
- Ud-Din, S., & Bayat, A. (2014). Electrical stimulation and cutaneous wound healing: a review of clinical evidence. *Healthcare*, 2(4), 445-467. <https://doi.org/10.3390/healthcare2040445>
- Vance, C. G., Dailey, D. L., Rakel, B. A., & Sluka, K. A. (2014). Using TENS for pain control: the state of the evidence. *Pain management*, 4(3), 197-209. <https://doi.org/10.2217/pmt.14.13>
- Veliev, G. O., Weissman, Y. D., Patchenskaya, I. V., & Poltavskaya, M. G. (2021). Comparison of different intensity modes of neuromuscular electrical stimulation in the rehabilitation of elderly patients with decompensated chronic heart failure. *Kardiologiia*, 61(3), 23-29. <https://doi.org/10.18087/cardio.2021.3.n1457>
- Von Stengel, S., Bebenek, M., Engelke, K., & Kemmler, W. (2015). Whole-body electromyostimulation to fight osteopenia in elderly females: the randomized controlled training and electrostimulation trial (TEST-III). *Journal of osteoporosis*, 2015(1), 643520. <https://doi.org/10.1155/2015/643520>
- Ward, A. R., & Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: the early experiments. *Physical therapy*, 82(10), 1019-1030. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.10.1019>
- Weissenfels, A., Teschler, M., Willert, S., Hettchen, M., Fröhlich, M., Kleinöder, H., Kohl, M., Stengel V.S., Kemmler, W. (2018). Effects of whole-body electromyostimulation on chronic nonspecific low back pain in adults: a randomized controlled study. *Journal of pain research*, 1949-1957. <https://doi.org/10.2147/JPR.S164904>
- Watanabe, K., Yoshida, T., Ishikawa, T., Kawade, S., & Moritani, T. (2019). Effect of the combination of whole-body neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise on metabolic responses in human. *Frontiers in Physiology*, 10, 291. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00291>
- Weissenfels, A., Wirtz, N., Dörmann, U., Kleinöder, H., Donath, L., Kohl, M., Fröhlich, M., von Stengel, S., Kemmler, W., (2019). Comparison of Whole-Body Electromyostimulation versus Recognized Back-Strengthening Exercise Training on Chronic Nonspecific Low Back Pain: A Randomized Controlled Study. *BioMed research international*, 2019(1), 5745409. <https://doi.org/10.1155/2019/5745409>
- Wessale, J. L., Geddes, L. A., Ayers, G. M., & Foster, K. S. (1992). Comparison of rectangular and

- exponential current pulses for evoking sensation. *Annals of biomedical engineering*, 20, 237-244. <https://doi.org/10.1007/BF02368523>
- Wigerstad-Lossing, I., Grimby, G., Jonsson, T., Morelli, B., Peterson, L. & Renström, P. (1988). Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(1), 93-98.
- Williams, K. J., Moore, H. M., Ellis, M., & Davies, A. H. (2021). Pilot trial of neuromuscular stimulation in human subjects with chronic venous disease. *Vascular Health and Risk Management*, 771-778. <https://doi.org/10.2147/VHRM.S320883>
- Wolfe, D., Rosenstein, B., & Fortin, M. (2024). The effect of EMS, IFC, and TENS on patient-reported outcome measures for chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pain Research*, 5, 1346694. <https://doi.org/10.3389/fpain.2024.1346694>
- Yu, X., Shen, Y., Cui, J., Ding, Y., Morsi, Y., Sun, B., Mo, X., Gu, H. (2025). The potential application of electrical stimulation in tendon repair: a review. *Med-X*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s44258-025-00051-9>
- Zhou, S., & Segawa, N. (2024). Electrical Muscle Stimulation-Based Approach for Enhancing Hand-eye Coordination Training. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-6. <https://doi.org/10.1145/3613905.3650939>
- Zhou, Z., Zheng, J., Meng, X., & Wang, F. (2023). Effects of electrical stimulation on articular cartilage regeneration with a focus on piezoelectric biomaterials for articular cartilage tissue repair and engineering. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 1836. <https://doi.org/10.3390/ijms24031836>