

# İleri Ortezler

## Advanced Orthoses

Ayşe NUR BARDAK

70. Yıl Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul, Türkiye

### Özet

Paraplejik hastalarda ayakta durma ve yürüme fonksiyonel, psikolojik ve fizyolojik avantaj sağlamaktadır. Bugüne kadar ayakta durma ve yürüme amaçlı üç farklı sistem geliştirilmiştir. Bunlar mekanik ortezler, fonksiyonel elektrik stimülasyon (FES) sistemleri ve hibrid ortezlerdir. Mekanik ortezlerde giyme ve çıkarma zor, enerji tüketimi fazladır. FES sistemlerinde giyme ve çıkarma kolay, görüntüleri kozmetiktir. Ancak bu sistemde kas ve sinirlere uygulanan sürekli elektrik akımı kaslarda yorgunluk nedeni olmakta ve enerji harcamasını arttırmaktadır. Hibrid sistemlerde ise mekanik ortezlerle FES kombine edilerek kas yorgunluğu, enerji tüketimi azaltılmaya çalışılır. *Türk Fiz Tıp Rehab Derg 2006;52(Özel Ek B):B1-B3*

**Anahtar Kelimeler:** FES sistemleri, hibrid ortezler, yardımcı teknoloji

### Summary

Standing and walking give paraplegic patients functional, physiological and psychological advantages. Until today three different systems for standing and walking have been developed; mechanical orthoses, functional electric stimulation (FES) systems and hybrid systems. Mechanic orthoses are used for training but it is not practical because of difficulty in donning and duffing, high energy cost. FES systems are advantageous because it's easy to put on and take off and has a good cosmetic appearance. However, the pure FES systems must supply electrical stimulation continuously to the paralyzed nerves and/or muscles, which causes muscle fatigue and high energy requirement. In hybrid systems, mechanical orthoses and FES systems are combined to prevent muscle fatigue, reduce energy consumption and enable better stability in the lower extremities. *Turk J Phys Med Rehab, 2006;52(Suppl B):B1-B3*

**Key Words:** FES systems, hybrid orthoses, assistive technology

Spinal kord yaralanmalı (SKY) hastaların rehabilitasyonunda en önemli hedef, hastanın mümkün olduğunca fonksiyonel bağımsızlığını kazanmasını sağlamaktır. Ayakta durabilme, adım atabilme ve kısa mesafe de olsa yürümenin yeniden kazanılması ile günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlık ve psikolojik destek kazanmanın yanı sıra, bu hastalarda sık görülen komplikasyonların da önüne geçilebilmektedir. Bu amaçla, özellikle son otuz yıldır daha fonksiyonel ortezler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Fonksiyonel elektrik stimülasyon (FES) sistemleri ve bu sistemlerin mekanik ortezlerle kombine edilmesi ile geliştirilen hibrid ortezler daha çok fonksiyonel bağımsızlık ve mobilite sağlamak için geliştirilmiş sistemlerdir.

### Fonksiyonel Elektrik Stimülasyon (FES) Sistemleri

İlk kez 1790 senesinde Galvani kurbağa kasının elektrik stimülasyonuna kas kontraksiyonu ile cevap verdiğini göstermiş-

tir (1). 1960'lı yıllara kadar tıpta elektrik stimülasyonu kullanılmamış, 1960 yılında ise hemiplejik hastalarda düşük ayağı düzeltmek için elektrik stimülasyonu uygulanmıştır (1). Torakal lezyonlu paraplejik hastalarda ambulasyon amaçlı FES kullanımı ise 1977-1980 yıllarında başlamıştır (2). FES, düşük frekanslı elektrik akımı kullanarak kas kontraksiyonu sağlamak esasına dayanır. Uygulama yüzeysel (transkütan) veya implante elektrotlar aracılığı ile yapılmaktadır. Stimülasyonun uygulandığı kasın açılma olması gerekmektedir, denerve kaslara uygulanamaz. Uygulama sırasında kısa sürede kas yorgunluğu oluşturması, harcanan enerji miktarının fazla olması ve yürüme hızının kısıtlı olması yaygın kullanımını kısıtlayan faktörlerdir.

### Parastep

Yüzeysel elektrotlu, FES sistemidir. Torakal seviyeli komplet paraplejik hastalarda ayakta durma ve kısa mesafede yürüme

amacı ile tasarlanmıştır (3). 1994 yılında FDA onayı almıştır ve bu onayı alan ilk FES sistemidir. Bu sistemde 6 kanallı, mikro bilgisayar kontrollü bir stimülatör, 6 çift yüzeysel elektrot, bağlantı kabloları, sistemi önceden test eden bir paratester, yürüteç ve yürütece monte edilmiş kontrol düğmeleri mevcuttur. Stimülatör bele takılan bir kemerde taşınır. Yürütece yerleştirilen düğmeler yardımı ile ayakta durma, oturma ve adım atma fonksiyonları hasta tarafından kontrol edilir.

**Elektrotların yerleşimi;** İki çift elektrot sağ ve sol kuadriseps kaslarına, iki çift elektrot sağ ve sol peroneal sinire, iki çift elektrot da paraspinal kaslara veya gluteal kaslara yerleştirilir. Stimülatörden gelen uyarı periferik sinirlerde aksiyon potansiyeli oluşmasını tetikler ve kasta kontraksiyon oluşması sağlar. Kuadriseps kontraksiyonu ile ayakta durma sağlanır, peroneal sinir stimülasyonu ile oluşan fleksiyon refleksi ile kalça, diz ve ayak bileğinde fleksiyon ve adım atma sağlanır. Hasta programı yürütece monte edilmiş kontrol düğmeleri aracılığı ile kontrol eder. Parastepin diğer FES sistemlerinden farklı bilgisayar kontrollü olmasıdır.

**Hasta seçimi;** Genel sağlık durumu iyi olan, T4-T12 arasında lezyonu olan komplet paraplejik hastalar bu sistem için aday hastalardır. Hastaların üst ekstremitelerinin güçlü olması gerekir. İnkompert lezyonu olan hastalar eğer uygulama sırasında rahatsızlık duymazlarsa bu sistemi kullanabilirler. Alt motor nöron lezyonu olan hastalarda ise kullanılamaz. Omurga yaralanmasından 6 ile 12 ay sonra eğer kontrendikasyon yoksa uygulamaya başlayabilir (3).

**Kontrendikasyonlar;** Kardiyak hastalık, hamilelik, pulmoner hastalıklar, ileri derecede skolyozu, şiddetli osteoporozu olanlar, deri hastalıkları, alt ekstremitelerde kontraktür, kalça ve diz eklemlerinde ileri derecede dejenerasyonu, şiddetli spastisitesi ve morbid obezitesi olanlarda parastep kullanılamaz (3).

**Eğitim;** Hastaların parastep kullanmayı öğrenmeleri için genellikle en az 32 seanslık bir eğitim süresi önerilir. İlk seansta ayakta durma ve oturma eğitimi verilir. Hasta en az 3 dakika ayakta durma ve bağımsız oturabilme seviyesine geldiğinde adım atma eğitimine başlanır. Graupe ve grubunun, 400 torakal seviyeli, paraplejik hastalarda parastep ile yaptıkları çalışmada 32 haftalık eğitim sonunda tüm hastalarda en az 10 metrelik yürüme mesafesi elde edildiği görülmüştür (3). T4-T11 arasında lezyonu olan 16 komplet paraplejik hastada parastep ile yapılan çalışmada, 32 haftalık eğitim sonunda, tüm hastalarda ayakta durma süresi ve yürüme mesafesinde artış, kalça ve bacak çevresinden yapılan antropometrik ölçümlerde de artma tesbit edilmiştir (4). Yine aynı hasta grubunda yapılan çalışmalarda parastep kullanımı sonucunda, depresyon ölçeklerinde düzelme (5), alt ekstremitelerde kan akımında artma, kalp hızında azalma ve iş kapasitelerinde artma tespit edilmiştir (6,7). Kemik mineral yoğunluğu ölçümlerinde ise değişiklik görülmüştür (8).

**Implante FES sistemleri;** Elektrotlar, ya perkütan olarak ya da açık cerrahi metotla derin kaslara ve sinirlere yerleştirilir. Bu teknikte, daha çok kası uyarmak ve izole hareket elde etmek imkanı vardır (9). Selektif kas stimülasyonu sağlandığı için normale daha yakın bir yürüme paterni elde edilebilir. İliopsoas kası gibi derin kasları da uyarma imkanı vardır. Uygulama omurga yaralanmasından 2 sene sonra yapılabilir. Praxis ve Kobetic tarafından geliştirilen sistemler, 24 ve 32 elektrotlu implante sistemlerdir (10). Ancak bu sistemler, laboratuvar çalışmalarında kullanılmaktadır, ticari üretimi yoktur.

**ETHZ-Paracare nöroprotez;** İnkompert parapleji ve inmeli

hastalarda yürüme amaçlı geliştirilmiştir. Düşük ayağı olan ve bir bacağında kas kontrolü iyi olmayan hastalar için uygundur. Yüzeysel elektrotlu sistemdir. Peroneal sinirin uyarılması ile fleksiyon refleksi ortaya çıkar, kalça, diz ve ayak bileği fleksörlerinde simultane fleksiyon oluşur ve bacak yerden kaldırılır. Yürüme sırasında destek sağlamak ve daha düzgün hareket elde edebilmek için peroneal sinirin dışında, tibialis anterior, gastrocnemius, rektus femoris, biceps femoris, vastus medialis, lateralis ve semitendinosus kaslarını da uyarma imkanı vardır. Hasta tarafından kontrol edilebilen bir sistemdir. Üç farklı kontrol şekli vardır. Kontrol düğmeleri ya yürütece ya ayakkabı tabanına, topuk altına monte edilir ya da yürüme fazını tayin eden bir sensör aracılığı ile kontrol sağlanır (10,11). Bu nöroprotez 10'dan fazla hastada başarı ile kullanılmıştır. Emniyetli bir yürüme sağlar, yokuş çıkma ve inme mümkündür.

**Fepa, Mikro FES, Odstock-2;** Düşük ayak için geliştirilmiş, yüzeysel elektrotlu FES sistemleridir. Hem egzersiz amaçlı, hem de ortez olarak kullanılmaktadırlar. Odstock-2 ve Mikro Fes 500'den fazla hastada kullanılmış ve FDA onayı almıştır (10).

**Acti Gait;** Düşük ayak için geliştirilmiş implante FES sistemidir. İmplante multikanal bir stimülatörle peroneal sinir uyarılır ve ayakta dorsifleksiyon sağlanır. İmplante stimülatör bacağa, elektrot diz üstü ve diz altına yerleştirilir (12). Cerrahi işlem kısadır ve lokal anestezi altında uygulanır. Belde taşınan bir eksternal kontrol ünitesi ile stimülatör idare edilir. Kontrol düğmesi ayakkabı tabanına yerleştirilmiştir ve düğmeye basıldığında sistem harekete geçer. Otto Bock firması tarafından üretilen bu sistem 2006 yılında Avrupa ülkelerinde satışa sunulmuştur.

## Hibrid Ortezler

SKY'li hastaların ambulasyonu için geliştirilen bir sistem de hibrid ortezlerdir. Hibrid ortezlerde, mekanik ortez ile FES birlikte kullanılır. Mekanik ortez eklemlerde stabilite sağlarken, kasların elektrik stimülasyonu ile de itici bir güç sağlar. Hibrid ortezle yürümeye enerji tüketimi, tek başına FES veya mekanik ortezle yürümeye göre daha azdır ve yürüme hızı daha fazladır (9,13-15). En sık kullanılan şekli resiprokal yürüme ortezi (*reciprocating gait orthosis*, RGO) ile FES kombinasyonudur. RGO'da iki kalça eklemi birbirine bir kablo aracılığı ile bağlıdır ve yük aktarımı ile kalçaların resiprokal hareketine imkan verir (14). RGO+FES'de adım atma şu şekilde sağlanır; yürüteç yardımı ile vücut ağırlığı basma fazındaki bacağa aktarılır, gövde ekstansiyonu kullanılarak basma fazındaki bacakta kalça ekstansiyonu sağlanır ve kablo aracılığı ile yük transferi ve karşı kalçada fleksiyon sağlanır. Sistemde mevcut olan FES'le de bir tarafta hamstring diğer tarafta rektus femoris kasları stimüle edilerek resiprokal hareket güçlendirilir. Bu sistemi kullanacak hastaların genel sağlık durumları iyi olmalı, alt motor nöron hasarı olmamalıdır. Adım atma esnasında üst ekstremiteden güç alındığı için, yeterli gövde stabilitesi ve üst ekstremitenin gücü olmalıdır. Cihazı kullanmaya başlamadan önce genellikle 6-12 haftalık bir kas güçlendirme programı yapılması önerilmektedir (14). RGO+FES sistemi 70'in üstünde paraplejik hastada kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (13).

Hibrid ortezlerde mekanik diz kilitleme yürüme performansını artırır ve tek başına FES ortezinin kullanılmasına bağlı gelişen kas yorgunluğunu azaltır. Ancak salınım fazında yeterli kalça ve diz fleksiyonu yapılamadığı için, gövde ve üst ekstremitenin

teye düşen yük artmaktadır. Daha fonksiyonel kullanım için hibrid sistemdeki mekanik ortezlerde bazı güçlendirmeler yapılmış, elektronik kilit sistemleri, bilgisayar kontrollü fren sistemleri geliştirilmiştir.

**Elektronik diz kilit sistemi (Akita Knee Joint):** Bu kilit diz-ayak bileği-ayak ortezine (KAFO) lateral eklem olarak ilave edilmektedir. Yürümenin salınım fazında kilit elektronik olarak açılır ve dizin fleksiyon yapması sağlanır. Diz kuadriseps stimülasyonu ile ekstansiyona geldiğinde ise, kilit yerçekiminin etkisi ile otomatik olarak kapanır. Böylece uzun süreli stimülasyon gerekmediği için kas yorgunluğu gelişimi daha azdır (16).

**Kontrol edilebilen frenli ortez (CBO):** FES ile kombine edilmiş uzun bacak yürüme cihazıdır. Ortezin kalça ve diz eklemlerinde bilgisayarla kontrol edilen fren sistemi vardır (17). Adım atma esnasında, kontrol sistemi kalça ve diz pozisyonlarını algılayabilir ve stimülasyon seviyesi adıma göre ayarlanabilir. Bu ortezle yürüme sırasında düzgün ve tekrarlayan hareketleri yapma imkanı vardır. Yapılan çalışmalarda, bu ortezle adım atma esnasında kas yorgunluğunun önemli ölçüde azaldığı ve ekstremitenin daha iyi kontrol edildiğini gösterilmiştir (17).

## Kaynaklar

1. Liberson WT, Holmquest HJ, Dow M. Functional electrotherapy; stimulation of the peroneal nerves synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Arch Phys Med Rehabil 1961;42:101-5.
2. Kralj A, Bajd T, Turk R. Electrical stimulation providing functional use of paraplegic patient muscles. Med Prog Technol 1980;7:3-9.
3. Graupe D, Kohn KH. Functional neuromuscular stimulator for short-distance ambulation by certain thoracic-level spinal-cord-injured paraplegics. Surg Neurol 1998;50:202-7.
4. Klose KJ, Jacobs PL, Broton JG, Guest RS, Needham-Shropshire BM, Lebowl N, et al. Evaluation of a training program for persons with SCI paraplegia using the Parastep 1 ambulation system: part 1. Ambulation performance and anthropometric measures. Arch Phys Med Rehabil 1997;78:789-93.
5. Guest RS, Klose KJ, Needham-Shropshire BM, Jacobs PL. Evaluation of a training program for persons with SCI paraplegia using the Parastep 1 ambulation system: part 4. Effect on physical self-concept and depression. Arch Phys Med Rehabil 1997;78:804-7.
6. Jacobs PL, Nash MS, Klose KJ, Guest RS, Needham-Shropshire BM, Green BA. Evaluation of a training program for persons with SCI paraplegia using the Parastep 1 ambulation system: part 2. Effects on physiological responses to peak arm ergometry. Arch Phys Med Rehabil 1997;78:794-8.
7. Nash MS, Jacobs PL, Montalvo BM, Klose KJ, Guest RS, Needham-Shropshire BM. Evaluation of a training program for persons with SCI paraplegia using the Parastep 1 ambulation system: part 5. Lower extremity blood flow and hyperemic responses to occlusion are augmented by ambulation training. Arch Phys Med Rehabil 1997;78:808-14.
8. Needham-Shropshire BM, Broton JG, Klose KJ, Lebowl N, Guest RS, Jacobs PL. Evaluation of a training program for persons with SCI paraplegia using the Parastep 1 ambulation system: part 3. Lack of effect on bone mineral density. Arch Phys Med Rehabil 1997;78:799-803.
9. Chae J, Triolo RJ, Kilgore KL, Creasey GH, Dimarco AF. Neuromuscular electrical stimulation in spinal cord injury. In: Kirshblum S, Campagnola DI, Delisa JA, editors. Spinal Cord Medicine. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p. 360-88.
10. Popovic MR, Curt A, Keller T, Dietz V. Functional electrical stimulation for grasping and walking: indications and limitations. Spinal Cord 2001;39:403-12.
11. Popovic MR, Keller T, Pappas IP, Dietz V, Morari M. Surface-stimulation technology for grasping and walking neuroprosthesis. IEEE Eng Med Biol Mag 2001;20:82-93.
12. 2006 International Stroke Conference Belgium Otto-Bock tanıtım kitabı.
13. Ferguson KA, Polando G, Kobetic R, Triolo RJ, Marsolais EB. Walking with a hybrid orthosis system. Spinal Cord 1999;37:800-4.
14. Thoumie P, Le Claire G, Beillot J, Dassonville J, Chevalier T, Perrouin-Verbe B, et al. Restoration of functional gait in paraplegic patients with the RGO-II hybrid orthosis. A multicenter controlled study. II: Physiological evaluation. Paraplegia 1995;33:654-9.
15. Sykes L, Campbell IG, Powell ES, Ross ER, Edwards J. Energy expenditure of walking for adult patients with spinal cord lesions using the reciprocating gait orthosis and functional electrical stimulation. Spinal Cord 1996;34:659-65.
16. Kagaya H, Shimada Y, Sato K, Sato M, Iizuka K, Obinata G. An electrical knee lock system for functional electrical stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1996;77:870-3.
17. Goldfarb M, Korkowski K, Harrold B, Durfee W. Preliminary evaluation of a controlled-brake orthosis for FES-aided gait. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2003;11:241-8.