



Omurilik Yaralanmalı Hastalarda Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi

Robot-Assisted Gait Training for Patients with Spinal Cord Injury

Sibel ÖZBUDAK DEMİR

Ankara Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ankara, Türkiye

Özet

Tekrar yürüebilmek omurilik yaralanmalı hastalar için çok önemlidir ve rehabilitasyon programlarının ana hedeflerindedir. Son yıllarda omurilik yaralanmalı hastaların lokomotor kapasitesini arttırmak için pek çok farmakolojik tedavi ve rehabilitasyon yaklaşımları geliştirilmiştir. Robot yardımcı yürüme eğitimi, yürümenin motor fonksiyonlarının yeniden kazandırılması için hareketin fonksiyona ve işe özel olarak robotik sistemler ile yeniden öğretilmesidir. Omurilik yaralanmaları rehabilitasyonunda diğer yöntemler ile birlikte uygulanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robot yardımcı yürüme eğitimi, omurilik yaralanması

Abstract

Regaining one's ability to walk is of great importance in spinal cord injury (SCI) patients, and it is the major goal of all rehabilitation programs. In recent years, several pharmacological treatments and rehabilitative approaches have been initiated to enhance the locomotion capacity of SCI patients. Robot-assisted gait training is re-education of the gait movements in a functional and task-oriented way through robotic systems. It has been suggested that this method be combined with other rehabilitation approaches to yield better results in SCI rehabilitation.

Keywords: Robot-assisted gait training, spinal cord injury

Giriş

Omurilik yaralanmalı (OY) ciddi uzun süren nörolojik bozukluklar ve fonksiyonel kısıtlanmalarla bireyi fiziksel, psikolojik ve sosyoekonomik açıdan etkileyen önemli bir sakatlık nedenidir. Acil bakım ve iyileşme sürecindeki gelişmeler nedeniyle OY hastalarda yaşam beklentisi artmıştır (1). Komplet ve inkomplet lezyon dağılımının inkomplet lezyon lehine artması hastaları iyileşme için daha potansiyel hale getirmiştir (2,3).

Omurilik yaralanması hastalardan kaybedilen fonksiyonları tekrar kazanabilmeyi kendileri için önem sırasına göre sıralamaları istendiğinde "tekrar yürüebilmek" hem hastalar hem de aileleri için ilk sıralarda yer almıştır (4). OY hasta ve ailesi için çok önemli olan yürümenin yeniden eğitimi 1990'lardan sonra pek çok deneysel ve klinik çalışmanın konusu olmuştur (5-8). İyileş-

me mekanizmaları tam anlaşılacakla birlikte rehabilitasyon stratejilerinin çoğu, santral sinir sistemi plastisitesinin erken fasilasyonu ve görev spesifik terapiler ile doğal iyileşme sürecini güçlendirmeye yöneliktir (9).

Çağdaş toplumlarda yeni teknolojilerin benimsenmesi gelişmenin vazgeçilmez unsurlarından biridir. Gelişmiş ülkelerde teknoloji tabanlı araçların fiyatı düşerken, el emeği giderek pahalılaşmaktadır. Bunun sonucu olarak mümkün olan her durumda insan yerine bilgisayar tabanlı araçların giderek daha fazla kullanımını gündeme gelmektedir. Rehabilitasyon amacıyla geliştirilen robotlar herhangi bir görevi yerine getirmek için belirlenen hareketleri yaptırarak, çok fonksiyonlu, programlanabilen, şekil, büyüklük ve sistemleri bakımından farklılıkları olan cihazlardır. Robotik sistemler ritmik sensorial input girişi ile yoğun hızlı ve

Yazışma Adresi / Address for Correspondence: Dr. Sibel Özbudak Demir, Ankara Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 491 57 02 E-posta: sibidemi@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: Şubat/February 2015 Kabul Tarihi/Accepted: Mart/March 2015

©Copyright 2015 by Turkish Society of Physical Medicine and Rehabilitation - Available online at www.ftdergisi.com
©Telif Hakkı 2015 Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Demeği - Makale metnine www.ftdergisi.com web sayfasından ulaşılabilir.

Cite this article as:

Özbudak Demir S. Robot-Assisted Gait Training for Patients with Spinal Cord Injury. Turk J Phys Med 2015;61(Supp. 1):S37-S44.

görev-spesifik egzersizlerin yapılmasını sağlayarak OY hastaların yürüme rehabilitasyonunda kullanılmaktadır (10).

Omurilik Yaralanmasında Yürüme

Yürüme bir yerden bir yere gidebilmek amacıyla gövdenin ilerletilmesidir. Lokomasyon tüm canlıları içeren yüzme, uçuş, emekleme ve kayma eylemlerini kapsayabilir. Terminoloji içerisindeki benzer isimlendirmelerden biri ambülasyondur. Kelime anlamı olarak hastalık sonrası tekrar ayağa kalkma ya da yürüme olarak bilinir. Bu anlamda yürüme erekt postürde, bipedal lokomasyon şeklinde, vücut segmentlerinin katılımı ile tekrarlanan, stabil ritmik, stereotipik istemli ve/veya refleks hareketler zinciridir (11).

Omurilik yaralanmalı bireylerin ve ailelerinin önceliğinde ilk sıralarda yer alan iki ayak üzerinde dik (erekt) yürüme, memeliler içinde yalnızca insana özgü bir beceridir. Yaşamın çok basit bir parçası gibi görünmekle birlikte son derece karmaşık hareketler zinciri olan ayakta dik durma ve yürüme, sinir sisteminin çeşitli bölgelerinin birlikte ve normal şekilde çalışması ile gerçekleşen fonksiyonlardır.

Yürüme serebral korteks, talamus, hipotalamus, bazal ganglionlar, beyin sapı, serebellum, omurilik ile birlikte eş zamanlı çalışan kaslar ve eklemler ile gerçekleşir. Olağanüstü bir yürüme sistemine sahip olan insan istemli ve istemsiz işleyen koordine mekanizmalardan oluşur (12). İstemli kontrol mekanizmaları olan primer motor alan, vizüel korteks, somatosensorial korteks ve premotor alan hareketin kontrolünün en üst hiyerarşik mekanizmalarıdır. İstemsiz işleyen mekanizmalar ise serebellum, beyin sapı, omurilik ve kas proprioseptörleridir. Beyin sapı ve omurilikte bulunan santral ve spinal patern jeneratör denilen hareket ateşleyicileri önemli refleks mekanizmalarıdır (13). Santral patern jeneratörlere ev sahipliği yapan beyin sapı, solunumun kontrolü, kardiyovasküler sistemin kontrolü, gastrointestinal sistemin kontrolü, dengenin sağlanması, göz hareketlerinin kontrolü ve stereotipik hareketlerin kontrolü gibi birçok özel düzenleyici görevi de yerine getirir (14). Aynı zamanda ponsun retiküler sistemi, bütün vücudun antigravite kaslarını aktive edici etkisi ile dört ayakta duran hayvanlarda bile ayakta durmayı sağlayacak kadar etkilidir. Supraspinal yapılar, adımlamadaki bazal motor patern için gerekli değilken spinal patern jeneratörler yenidoğan fonksiyoneldir (hava yürüyüşü). Erişkin veya yenidoğan döneminde yürümenin ana kontrolü ve adımlamada meydana gelen bazal ritimler tümüyle omurilikte bulunan nöronal bağlantılar ve spinal patern jeneratörler ile sağlanır (15). Spinal bağlantılar beyinden inen tonik sinyaller ile aktive olurlar. Spinal patern jeneratörler her zaman duysal girdiye ihtiyaç duymaz ancak ekstremite proprioseptörlerinden gelen inputlar ile güçlü bir şekilde regüle olurlar (16).

Propriyosepsiyon, adım atmanın zamanlamasını ve genliğini düzenler. Deriden gelen duysal girdiler adım atarken beklenmeyen engellere uyumu sağlarlar. Beyin sapından inen yollar yürümeyi başlatırlar ve yürümenin hızını kontrol ederler. Serebellum, dengeyi ve inen sinyallerin zamanlamasını ve şiddetini düzenleyerek adımlamanın ince ayarını sağlar (15).

Deserebre, memelilerde omuriliğin beyinden gelen inputların yokluğunda lokomasyon için yeterli izole kas aktivasyon paterni oluşturabildiği gösterilmiştir. Deserebre spinalize kedi yenidoğan hemen, erişkin ise eğitimle yürüyebilir (16). Doğar doğmaz yürüyen canlıların aksine insan yavrusunun yürümek için zamana ihtiyacı vardır. Santral sinir sistemi miyelinizasyonunu, organizasyonunu ve sinaptik maturasyonunu tamamladığında ve eş zamanlı olarak periferik organlar uygun kapasiteye ve güce ulaştığında insan yürümeye başlar (17).

Omurilik yaralanmalı insan neden yürüyemiyor? Kediden farklılık, dört ayaklılık yerine iki ayaklılıktan kaynaklanıyor olabilir. İnsanda başta denge olmak üzere inen yollardan talep çok daha yüksektir ve supraspinal bağımlılık çok daha belirgindir (5,14,16). Bu bağımlılık insanda omurilik lezyonunda dezavantaj yaratır (11).

Omuriliğin santral ve proprioseptif etkilerin yokluğunda üretilen davranışlar spinal patern jeneratör fonksiyonuna katkıda bulunabilir ve düzenlenebilir. Spinal nöral devreler nöral plastisite kapasitesine sahiptir. Sensorial girdilere yanıt verebilir, uygun davranış kalıpları geliştirebilir, aktiviteyle ve tekrarla kalıcı modifikasyonlar oluşturabilir. İnkomplet OY sonrasında omurilik tamamıyla hasarlanmamıştır. Bazı inen yollar ve segmental spinal devre intakt kalır (18). Lokomotor eğitim ile spinal nöronal ağların kortikal kontrolünün reorganize olmasının sağlanabildiği gösterilmiştir. Bu nöronal reorganizasyon spinal ağlarla supraspinal yeni oluşmuş bağlantılara ve eğitimle intakt inaktif rezidüel supraspinal bağlantıların aktifleşmesine bağlıdır (19). Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme çalışmalarında kortikal ve serebellar sensorimotor bölgelerde aktivasyonlar nöronal reorganizasyonun göstergesidir (20).

Lokomotor Egzersizler

Lokomotor egzersizler; kaybedilen motor fonksiyonun santral sinir sistemi plastisitesi yoluyla yeniden eğitimine odaklanır (3,21,22).

Omurilik yaralanmalı hastalarda yürüyüşü iyileştirmek için uyguladığımız lokomotor eğitimde amacımız nedir?

- Lokomotor hafızanın oluşumuna yardımcı olmak,
- Görev spesifik tanımlardaki bağlantı kopukluğunu ortadan kaldırmak.

Lokomotor hafızayı nasıl oluşturabiliriz? Santral sinir sistemi plastisitesinde motor yeniden öğrenmenin gerekli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Tekrarın, santral sinir sisteminin öğrenmesinde ve öğrenilenlerin korunmasında majör rolü olduğu bilinmektedir. Ancak egzersiz yoğunluğunun fazlalığı veya tek başına sık tekrarlı egzersizler ideal motor öğrenme için yeterli değildir. Santral sinir sistemi plastisitesi için sık tekrarlı görev spesifik terapilere ihtiyaç vardır (22,23).

Omurilik yaralanmalı hastalarda yürümenin lokomotor rehabilitasyonunda; konvansiyonel yürüme egzersizleri, vücut ağırlık destekli treadmill egzersizi, manuel destekli ya da desteksiz fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES) ile birlikte treadmill egzersizi, vücut ağırlık destekli ya da desteksiz, manuel destek ve/veya FES ile birlikte yürüme eğitimi ve robotik sistemler ile yürüme eğitimi uygulanabilir (24,25).

Konvansiyonel egzersizler hareketin rehabilitasyonunda geçtiğimiz yüzyıl ortalarından itibaren uygulanmakta olan eklem hareket açıklığı, germe, kuvvetlendirme ve denge egzersizleridir (6). Uzun yıllardır uygulanan konvansiyonel yöntemlerden sonra farklı arayışlar başlamıştır. Spinal nöronal mekanizmaları çalıştırmak için gerekli duyuşal girdi treadmill tarafından oluşturulan ritmik hareketler olabilir mi düşüncesiyle vücut ağırlık destekli treadmill egzersizi uygulamaları yaygınlaşmıştır. Vücut ağırlık destekli sistemlerin esası, treadmill üzerinde hastayı yukarı doğru asarak terapistin adımlama, ağırlık aktarma ve kinematik olarak düzgün adım atma eğitimlerini yaptırmasına olanak vermesidir. Vücut ağırlık destekli treadmill egzersizi fonksiyonel hareketi taklit eder, kabul edilebilir ve pozitif sonuçları vardır ancak bazı kısıtlılıkları mevcuttur. Yürüme paterni fizyolojik değildir ve yürüme paterninin tekrarlanabilirliği sınırlıdır. Çok yoğun bir egzersiz değildir. Fiziksel zorlanma; ergonomik olarak kötü pozisyona neden olabilir ve yoğun terapist sayısı ve işgücü gerektirir (21,24).

Vücut ağırlık destekli treadmill uygulamalarındaki kısıtlılıkları gidermek için uygulamalara fonksiyonel elektrik stimülasyon ilave edilmiştir. Fonksiyonel elektrik stimülasyonun hastalarda kas kütlelerinin korunmasında ve kemik mineral kaybındaki progresyonun azaltılmasında etkili olduğu gösterilmiş fakat klinik uygulamalarda bazı kısıtlılıkları olduğu görülmüştür (25,26). Duyusu korunmuş olan olgularda, stimülasyonun zor tolere edilmesi, fonksiyonel ve koordine hareketlerin kazanımına istenen katkıyı sağlayamaması bu kısıtlılıklardan bazılarıdır (27). Bu kısıtlılıklar rehabilitasyon mühendisliği alanında yeni yöntemlerin araştırılmasına yönelik kapı açmış ve ritmik sensorial input girişi ile yoğun hızlı ve görev-spesifik egzersizlerin yapılmasını sağlayan robotik yürüme sistemlerinin geliştirilmesi gündeme gelmeye başlamıştır (10,24,27). Robotik sistemlerin diğer egzersiz yöntemleri ile karşılaştırıldığında, daha uzun süreli ve daha yoğun bir egzersiz programının sürdürülebilmesi, egzersize uyumun yüksek olması, hastada ileri düzeyde motivasyon sağlanması, fonksiyonel progresyonun değerlendirilmesi, raporlanması ve tedavi etkinliğinin objektif izlenebilmesi gibi avantajları mevcuttur (10).

Robotik Sistemler

İlk kullanıma giren aktif ortezler, FES ile kombine edilen ve tek bir eklem fonksiyonu için geliştirilmiş olan "ankle robot"lardır. Tüm alt ekstremitayı kaplayan ilk aktif ortez 1981 yılında paraplejik hastalar için Wisconsin Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. 1990'lı yılların sonunda, manuel vücut ağırlığı destekli yürüyüş sisteminin otomatize edildiği, ilk modern robotik vücut ağırlığı destekli treadmill sistemlerinin temeli atılmıştır.

Robotik sistemler üst ve alt ekstremita için sabit egzersiz robotları, vücuda giyilebilen robotlar (robotik ortezler), günlük yaşam aktivitelerinde yardımcı robotlar, robotik yürüteçler olarak sınıflandırılabilir.

Klinik çalışmalarda bildirilen robotlar tek eklemler basit sistemlerden, çoklu hareket sistemlerine kadar değişik tipleri içermektedir. Rehabilitasyon robotları tasarım esasına göre end-effector ve eksoskeleton cihazlar olmak üzere 2 grupta incelenebilir (10,24).

End-effector tipte cihazlar ekstremita distaline mekanik kuvvet uygulayarak çalışırlar. Kinetik zincirin son halkası ayakta desteklenir. Kalça ve diz eklemleri serbest aktif katılım gerektirir. Ekstremita proksimalini kontrol etmekte yetersiz olduğundan anormal postür ve hareketlerin ortaya çıkmasına neden olabilirler. Değişik yüzeylerde yürüme, yokuş inme, çıkma çalıştırılabilir (Resim 1).

Buna karşın eksoskeleton sistemler sabit ve ambulatuvar olabilirler. Eksoskeleton tipte robotik cihazlar, hastanın anatomik eksenleri ile hizalanmış eksenlere sahiptirler, eklemlerin direkt kontrolünü sağlarlar. Anormal postür ve hareketlerin ortaya çıkması ihtimalini azaltırlar (Resim 2).

Lokomat, Alex, Arthur, Pam-Pogo ve UoA PMA Bot treadmill destekli eksoskeleton sistemlerdir. Ülkemizde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Teknokente üretilmiş olan RoboGait de eksoskeleton treadmill egzersiz robotudur.

İlk kez askeri amaçlarla, askerlerin daha ağır taşınması ve uzun mesafe yürümesi için geliştirilmiş olan giyilebilir robotlar 20-23 kg ağırlığındadır. Sırt çantası içerisinde ana bilgisayar ile batarya mevcuttur. Eklem açıları ve yer teması için sensörler ve kalça ve diz eklemlerini kontrol eden motorlarla hasta diyagonal yönlerde ağırlık aktarımı yaptığı zaman, cihaz otomatik olarak adım atar. El bileğinde kablosuz mod seçici ya da kumanda vardır. Koltuk değnekleri ve yürüteçle kullanılabilirler (Resim 3) (10).



Resim 1. End-effector tipte sistem

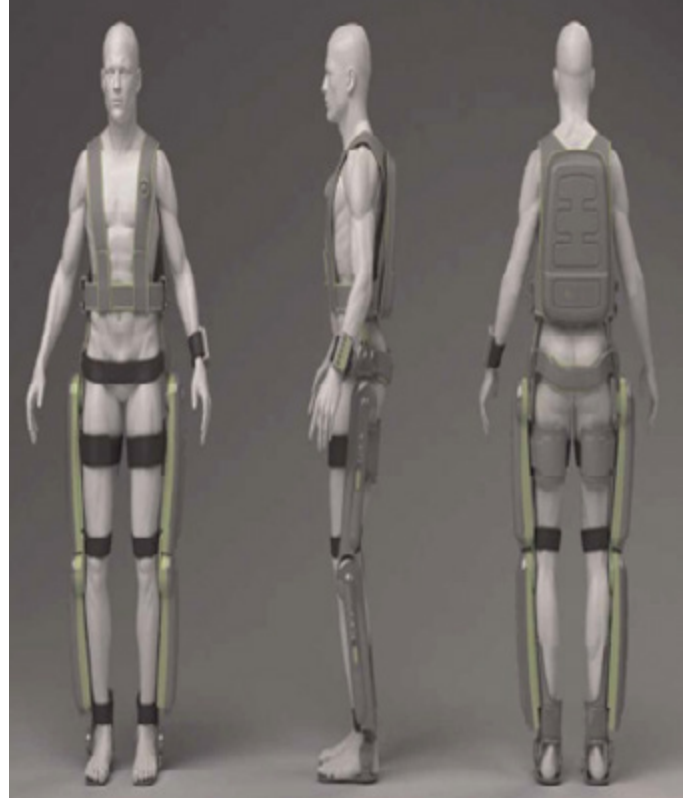


Resim 2. Eksoskeleton sistem

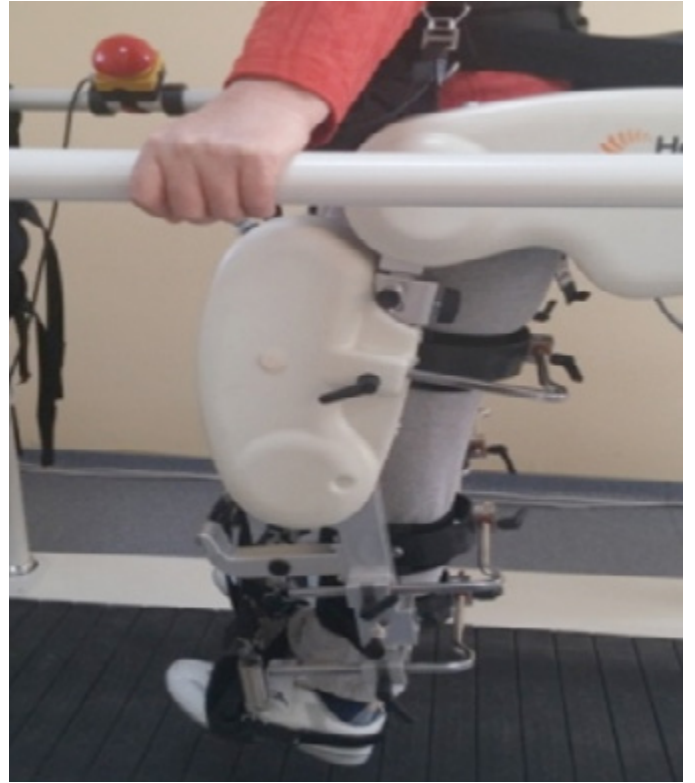
ReWalk ve Ekso (E-leg) FDA onayı almış giyilebilir robotlardır.

Hastanemizde de kullandığımız sabit treadmill egzersiz robotlarında Levi ve lokolift olarak adlandırılan vücut ağırlığı destek ve yükseltme sistemleri, vücut ağırlığı desteğinin, vücudun her iki yarısına eşit olarak dağılmasını sağlayan defleksiyon makarası, göğüs askısı sistemi, kişiyi askı sistemine bağlayacak olan bir gövde korsesi (harness), egzersiz sırasında hastanın pelvik rotasyonunu engellemek için bir çift pelvik askı, sürtünmeyi engelleyen pedler ve robotik sürücü donanımları mevcuttur. Kalça ve diz eklemlerinin sürücüsü olarak da adlandırabileceğimiz robot kolları içerisine yerleştirilmiş direkt akımla çalışan motor sistemler, robot kollarına monte kelepçeler (cuff) ve dorsifleksör asistif mekanizması yer almaktadır (Resim 4, 5).

Ayrıca hastanın katılımı ve motivasyonunu arttırmaya yönelik yürüyüş siklusunu gösteren grafiklerin yer aldığı görsel feedback ekranı ve sanal gerçeklik ekranı mevcuttur (Resim 6).



Resim 3. Giyilebilir robotik sistem



Resim 4. Robot kolları içerisine yerleştirilmiş direkt akımla çalışan motor sistemler, robot kollarına monte kelepçeler



Resim 5. Dorsifleksör asistif mekanizması

Sanal ortamlardaki görevler görsel objelere doğru hareket edince puan almak, görevi başarı ile gerçekleştirdiğinde görsel ve akustik geri bildirim gezinmekten daha teşvik edicidir. Ayrıca bazı objeleri toplayıp diğer objelerden kaçınma, dost ve düşman objeler ayırtma, sanal rakiplerle rekabet gibi kompleks görevler de verilebilir.

Robotik sistemlerde kalça ve diz eklemi için desteksiz pasif ve aktif hareket sırasındaki eklem hareket açıklığı, statik pozisyondayken izometrik kas gücü (torque), pasif hareket sırasında eklemlerindeki mekanik direnç (Nm/derece) ve yürüme parametreleri değerlendirilebilmektedir.

Yeni geliştirilen sistemlerde ortezlere lateral translasyon, transvers rotasyon ve kalça abduksiyon-adduksiyon ilavesi ile fizyolojik yürüme sağlanmaya çalışılmaktadır.

Ciddi düzeyde spastisite ve kontraktür varlığı, instabil spinal kırıklar, ciddi osteoporoz varlığı, iyi kaynamamış ekstremitte kırıkları gibi instabilite yaratan durumlar, açık deri lezyonları, bası yaraları, dolaşım problemleri, kardiyak-pulmoner kontrendikasyonlar, kooperasyon bozukluğu, ciddi kognitif defisit ve psikiyatrik problemlerin varlığı, mekanik ventilasyon, ileri derecede orantısız alt ekstremitte ve/veya omurga gelişimi olan hastalar, kalça, diz ve ayak bileği artrodezleri, akut inflamatuvar veya enfeksiyöz hastalıkların varlığı, ileri diskinetik ve miyoklonik refleksler ve aşırı kilo-



Resim 6. Görsel feedback ekranı ve sanal gerçeklik ekranı

lu olmak (cihazlara göre değişen ağırlık sınırları mevcuttur) kullanım açısından kontrendikasyon oluşturan durumlardır. Kronik immobil hastalarda daha dikkatli davranılması gerekebilir. Yüksek düzey vücut ağırlık desteği, kısa egzersiz süreleri ile tedaviye başlanmalı ve osteoporoz değerlendirmesine özen gösterilmelidir. İlk seans sonrası öforik bir reaksiyon gösterme ve egzersize daha uzun süre ve daha yoğun bir katılım isteği olabilir. Hastalara kas ve iskelet sistemi üzerinde gerilme olabileceği bunun da ağrıya neden olabileceği anlatılmalıdır.

Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi

Komplet Omurilik Yaralanması- Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi

Robotik yardımcı yürüme eğitimi (RYYE) komplet OY'lilerde bozukluğa veya fonksiyona etkili mi? Nörofizyolojik inkomplet kabul edilen, translezyonal motor bağlantılar olan diskomplet de denilen bu hastalar RYYE'den yarar görebilir mi?

Otuz üç yaşında, T-7 ASIA bozukluk skalası (ABS) A, 2,5 yıllık, oturma dengesi olmayan hastada 7 aylık yoğun rehabilitasyon programı ve son 3 ay 33 seans 40 dakika RYYE uygulanmıştır. RYYE sonunda alt ekstremitte motor skorunda 4 puan artış saptanan hastada gövde ve oturma dengesi gelişmiştir ve bir çift KAFO-Walker ile yürüyebilir hale gelmiştir. Sonuç olarak araştırmacı lezyon seviyesinde korunmuş motor bağlantılarda (diskomplet lezyon) yoğun programla nöroplastik değişiklikler sağlanmış olabileceğini bildirmiştir (28).

T6 ABS B, 2,5 yıllık başka bir olguda ise RYYE ile birlikte FES uygulanmıştır. Tedavi öncesi ambüle olmayan hastanın walker ve terapistin desteği ile 200 m ambüle olabildiği bildirilmiştir. Motor komplet olan bu olguda duyuşsal ağılardaki korunmanın yoğun tedavile lokomotor fonksiyonlarda nöroplastik değişikliklere neden olabileceği belirtilmiştir (29).

On iki ve 6 komplet paraplejik hastayı içeren 2 ayrı çalışmada eksoskeleton giyilebilir robotların güvenli, tolere edilebilir, 12-14 seanslık eğitimle kullanımı kolay öğrenilebilir olduğu bildirilmiştir. Bazı hastalarda ağrı, mesane-barsak fonksiyonları ve spastisitede düzelme, tüm hastalarda çok yüksek emosyonel-psikososyal memnuniyet gözleendiği vurgulanmıştır (30,31).

Fineberg ve ark.larının (32) 6 komplet paraplejik (torakal) hasta ve 3 kontrol grubu ile yapılan bir başka çalışmada ayakta durma ve yürüme fazlarında yer tepkime kuvvetindeki değişim ölçülmüş, hastalarda kontrol grubundaki bireylere benzer büyüklük ve paternde yer tepkime kuvveti oluşturuşu saptanmış ve mekanik yüklenmenin kemik parametrelerinde oluşturabileceği değişikliklerin araştırılması gerektiği belirtilmiştir.

İnkomples Omurilik Yaralanması- Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi

Subakut ve kronik dönem OY'li hastaları içeren çalışmaların dahil edildiği alındığı ilk derlemede Uluslararası Fonksiyon, Özürlülük ve Sağlık Sınıflaması çerçevesinde başlıca 4 grup soruya cevap aranmıştır. Vücut fonksiyonları düzeyinde; OY'li hastalarda robotik yürüme, spastisitede azalma ya da motor seviyede düzelme sağlamış mıdır? Günlük yaşam aktivitelerindeki limitasyonlar düzeyinde; robotik yürüme eğitimi ile yürüme hızında ve endüransında, adım uzunluklarında ve simetrisinde, dengede, bağımsız yürüme mesafesi ve aktivite düzeyinde artış kaydedilmiş midir? Katılımdaki kısıtlılıklar düzeyinde; toplumsal katılımda ve yaşam kalitesinde bir ilerleme gözlenmiş midir? Tüm bu komponentlerde; robotik yürüme sistemleri ile yapılan egzersizin, konvansiyonel egzersiz yöntemlerine göre anlamlı üstünlüğü var mıdır.

Vücut fonksiyonları düzeyinde; yalnızca iki çalışmada, alt ekstremitte motor skorlarda belirgin gelişme bildirilmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi randomize kontrollü çalışmadır. Spastisite üzerinde etki izlenmemiştir. Aktivite düzeyinde; bir çalışmada yürüyüş hızında, bir çalışmada adım simetrisinde, iki çalışmada ise Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçeği skorlarında artış izlenmiştir. Hiçbir çalışmada denge üzerine etkinlik tespit edilmemiştir. Derlemeye alınan çalışmalarda, katılımla ilgili bir sonuç ölçeği kullanılmamıştır.

Konvansiyonel ve RYYE alan tüm gruplarda, Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçeği lokomotor alt grup skorlarında anlamlı ilerleme olduğu, ancak tedavi grupları arasında istatistiksel bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir. Robotik yürüme eğitimiyle bazı kazanımlar rapor edilmekle birlikte, diğer lokomotor tedavilerle karşılaştırıldığında, yürüme fonksiyonunu düzelttiğine yönelik kanıtlar olmadığı belirtilmiştir (33).

Beş RKÇ ve 309 hastayı değerlendiren başka bir derlemede de RYYE'nin yürüme hızı ve kapasitesini arttırmadığı, lokomotor tedavilerden birinin diğerine üstün olduğunu söylemek için yeni

randomize kontrollü çalışmalara gereksinim olduğu vurgulanmıştır (34).

Avrupa OY grubunun çok merkezli çalışmasında ise subakut fazda inkomples hastalarda yürüme ölçümlerinde aşamalı gelişmeler nedeniyle subakut fazda RYYE'nin desteklenmesi önerilmiştir (35).

Yang ve ark. (22) fonksiyonel yürüme yetisinde kayda değer başarılar sağlamayı temel alarak kime, ne için, ne zaman, nasıl tedavi uygulanacağı konusunda şu önerilerde bulunmuşlardır: İnkomples hastalarda erken başlayan, bireylerin katılımı ile desteklenen RYYE ile hem treadmill hem de düz zeminde yürümede iyi sonuçlar alınabilir, mümkün olduğunca erken eğitimle daha iyi fonksiyonel sonuçlara ulaşılabılır. Ancak kronik yaralanması olan hastalarda daha uzun tedavi süreleri ile başarı gösterebilirler.

Yürüme rehabilitasyonunda klinisyene tedavi seçeneklerini sunmak ve hasta için en etkin olanı seçmesine yardım etmek amacıyla yapılan 113 çalışmanın tarandığı, 8 çalışmanın dahil edildiği başka bir derlemede 270 akut, 114 kronik 384 hasta değerlendirilmiştir. Akut hastalarda yürüme hız ve mesafesinde vücut ağırlıklı treadmill egzersizi ve robotik eğitim alan gruplarda daha fazla gelişme izlendiği belirtilmiştir. Kronik hastalarda ise yürüme hız ve mesafesinde akut hastalara göre daha fazla gelişme gözlenmekle birlikte tedavi yöntemleri açısından fark saptanmamış ve sonuç olarak uygulanan tüm tedavi yöntemlerinin potansiyel etkisi olduğu vurgulanmıştır (21).

Robotik yürüme eğitiminin ve yük aktarımının kan lipid profilinde düzelme, kalp hızında ve kan basıncında iyileşme, pulmoner fonksiyonlarda iyileşme, kas kitlesi, kas bileşimi gelişmesi, yaşam memnuniyetinin artması, kemik kütlesi ve bileşiminde gelişme, osteoporoz riskinin azalması gibi birçok potansiyel yararları vardır. Galen ve ark.ları (36) RYYE ile kalça ve dizden ölçülen izometrik peak torque değerlerinde artış saptamışlar ancak bu artışın ASIA Bozukluk Skalasındaki motor skor artışıyla ilişkili olmadığını göstermişlerdir.

Esclarín-Ruz ve ark.ları (27) yaralanmayı üst ve alt motor nöron olarak ayırdıkları çalışmalarında, her iki gruptaki hastalarda robotik tedavi uygulananlarda 6 dakika yürüme testinde, ASIA Bozukluk Skalası alt ekstremitte motor skorunda ve Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçeęi lokomotor skorunda daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. RYYE'nin kasların güçlenmesinde de etkisi olan, yürüme için iyi bir yardımcı tedavi yöntemi olduğunu bildirmişlerdir.

Mirbagheri ve ark. (37) günde 1 saat olmak üzere haftada 3 gün, 4 haftalık robotik eğitimle ayak bileği spastisitesinde azalma, kas gücünde artış saptamışlardır.

İmpedans kontrollü robotik yürüme eğitimi ile kronik inkomples hastalarda yürüme hızında, kapasitesinde ve kas gücünde olumlu değişiklikler bildirilmiştir (38).

Robotik yardımcı yürüme eğitimi ile kardiyopulmoner sistemde; kalp hızında, VO₂ ve dakika ventilasyonunda olumlu bulgular saptanmış, pulmoner fonksiyonlardaki iyileşme respiratuvar kaslardaki nöroplastisite ile ilişkilendirilmiştir (39,40).

Robot veya terapist yardımlı yürüme sırasındaki VO₂ tüketimi ve elektronöromiyografi karşılaştırılmasında, tam robot destekli yürüme eğitimi alan katılımcılarda terapist destekli yürüme eğitimi alanlara kıyasla nabız hızı ve VO₂ tüketiminin daha düşük olduğu görülmüştür. Robotik yürüme eğitimine hastanın aktif katılımı, robota karşı üretilen güçlerin feedback etkisi eklendiğinde bu farklılık ortadan kalkmaktadır. Özet olarak kronik fazdaki RYYE; nabız hızı, VO₂ ve kas aktivitesinde daha iyi sonuçlara ulaşılmışta etkilili bulunmuştur (41).

Hastanemizde yapılmış olan çalışmada ise robotik yürüme eğitimi alan komplet ve inkomplet hastalarda konvansiyonel tedavi alan gruba göre pulmoner fonksiyonlarda iyileşme yönünde anlamlı değişiklikler saptanmıştır (42).

Soru İşaretlerimiz

Katılımcı sayısı yüksek olan ve homojen gruplarda (yaş, yaralanma seviyesi, yaralanma süresi) çalışmalara ihtiyaç vardır. Doğru sonuç ölçüm parametreleri kullanılmalı, uzun dönem izlemler yapılmalıdır. Robotik yürüme eğitiminin iyileşme yönünde etki sağlayabilecek yoğunluğu ve dozajı tespit edilmelidir. Kısa süre içinde verilen yoğun eğitim mi yoksa uzun sürede yoğun olmayan eğitim mi daha iyidir sorusuna yanıt bulunmalıdır. Yürüme yoğunluğunun nasıl ölçüleceği konusunda uzlaşa sağlanmalıdır. Yürüme hızı, yürüme süresi, yürüme mesafesi, atılan adım sayısı ve kalp hızı hepsi birlikte verilen eğimi daha iyi tanımlamaktadır. Hedef, ev içinde ve toplumda yürüme ise hastalar neye ihtiyaç duyuyorlar? Örneğin; oldukça iyi yürüme yetisine sahip olan hastalar ritmik adımlamaya kıyasla daha zorlu yürüme eğitiminden yarar görebilirler. Fonksiyonları düşük olanlar ise daha fazla desteğin sağlandığı ritmik adımlama odaklı eğitimlerden yarar görebilirler. Bu düşüncelerin test edilmesi gereklidir. Çocuk hastalarda iyileşme farklı olabilir, ayrıca ele alınmalıdır. Maliyet etkinliği çalışmaları yapılmalıdır.

Sonuç

Tedavinin amacı düz zeminde yürüme ise umut vadeden adaylar inkomplet lezyonu olanlardır. Yürüme hızında artma, yürüme mesafesinde artma, dengede düzleme, yardımcı yürüyüş cihazlarında azalma, kas gücünde artış ve kardiyopulmoner sistemde olumlu değişiklikler saptanmıştır. Komplet hastalarda kanıtlar, çalışmalar yetersiz olmakla birlikte yoğun robotik yürüme eğitim sonrasında minimal motor yetenek kazanan, yürümesi sınırlı olan olgular bildirilmiştir. Hasta sayıları az olmakla birlikte giyilebilir robotlarla olumlu sonuçlar mevcuttur. Tedavinin hedefine bağlı olarak komplet bireyler; dik postürde durma ve asistif yürüme eğitiminden yarar görebilecek robotik yürüme eğitimi için uygun adaylar olabilirler.

Birçok çalışmada; herhangi bir fonksiyonel kazanç göstermese de komplet-inkomplet tüm hastaların hayat kalitelerinin, mutluluk, motivasyon, umut ve özgüvenlerinin arttığı, stres ve ağrılarının azaldığı bildiriliyor. Genelde hastaların "kendilerini iyi hissetmeleri" artıyor.

Sonuç olarak RYYE verilen yanıtta değişiklikler, yaralanma sonrası sinir sisteminde oluşan kalıcı hasara ve etkilenen sinir sisteminin iyileşmeyi uyarmak için uygun bir dinamik uyarı sağlayan

girişimlere karşı oluşturduğu yanıtı bağlıdır. Bu nedenle her hastaya ayrı bir takım elbise diğer gibi tedavinin kişiselleştirilmesi en önemli hedefimiz olmalıdır. Robotik yürüme eğitiminin doğru ve yeterli şekilde yapılan diğer rehabilitasyon yöntemleriyle birlikte uygulanması yararlı olacaktır.

Hakem değerlendirmesi: Bu makale Editörler Kurulu'nun davetiyle hazırlanmış ve bilimsel değerlendirilmesi Editörler Kurulu tarafından yapılmıştır.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: This manuscript was prepared by the invitation of the Editorial Board and its scientific evaluation was carried out by the Editorial Board.

Conflict of Interest: No conflict of interest was declared by the author.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

1. Fehlings MG, Cadotte DW, Fehlings LN. A series of systematic reviews on the treatment of acute spinal cord injury: a foundation for best medical practice. *J Neurotrauma* 2011;28:1329-33. [CrossRef]
2. Dobkin BH, Havton LA. Basic advances and new avenues in therapy of spinal cord injury. *Annu Rev Med* 2004;55:255-82. [CrossRef]
3. van Hedel HJ, Dietz V. Rehabilitation of locomotion after spinal cord injury. *Restor Neurol Neurosci* 2010;28:123-34.
4. Ditunno PL, Patrick M, Stineman M, Ditunno JF. Who wants to walk? Preferences for recovery after SCI: a longitudinal and cross-sectional study. *Spinal Cord* 2008;46:500-6. [CrossRef]
5. Heng C, de Leon RD. Treadmill training enhances the recovery of normal stepping patterns in spinal cord contused rats. *Exp Neurol* 2009;216:139-47. [CrossRef]
6. Behrman AL, Harkema SJ. Locomotor training after human spinal cord injury: a series of case studies. *Phys Ther* 2000;80:688-700.
7. Dietz V, Colombo G, Jensen L, Baumgartner L. Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. *Ann Neurol* 1995;37:574-82. [CrossRef]
8. Sun T, Ye C, Wu J, Zhang Z, Cai Y, Yue F. Treadmill step training promotes spinal cord neural plasticity after incomplete spinal cord injury. *Neural Regen Res* 2013;25:2540-7.
9. Fouad K, Tetzlaff W. Rehabilitative training and plasticity following spinal cord injury. *Exp Neurol* 2012;235:91-9. [CrossRef]
10. Cao J, Xie SQ, Das R, Zhu GL. Control strategies for effective robot assisted gait rehabilitation: the state of art and future prospects. *Med Eng Phys* 2014;36:1555-66. [CrossRef]
11. Weaver TD, Klein RG. The evolution of human walking. In: Rose J, Gamble JG, editors. *Human Walking*. 3rd ed. PA: Lippincott & Williams & Wilkins; 2006. p.23-32.
12. Pearson K. Locomotor reflexes. In: Binder MD, Hirokawa N, Windhorst U, editors. *Encyclopedia of Neuroscience*. Berlin: Springer; 2009. p.2811-3. [CrossRef]
13. Katz PS. Neurons, networks, and motor behavior. *Neuron* 1996;16:245-53. [CrossRef]
14. Drew T, Prentice S, Schepens B. Cortical and brainstem control of locomotion. *Prog Brain Res* 2004;143:251-61. [CrossRef]
15. Takakusaki K. Neurophysiology of gait: from the spinal cord to the

- frontal lobe. *Mov Disord* 2013;28:1483-91. [CrossRef]
16. Lovely RG, Gregor RJ, Roy RR, Edgerton VR. Effects of training on the recovery of full-weight-bearing stepping in the adult spinal cat. *Exp Neurol* 1986;92:421-35. [CrossRef]
 17. Çolakoğlu Z. Yürümenin maturasyonu. In: Sarıca Y, editör. *Postür Denge ve Yürüme Bozuklukları (1. Baskı) Güneş Kitabevi, Ankara, 2008. p.11-5.*
 18. Hajela N, Mummidisetty CK, Smith AC, Knikou M. Corticospinal reorganization after locomotor training in a person with motor incomplete paraplegia. *Biomed Res Int* 2013;2013:516427. [CrossRef]
 19. Dietz V, Fouad K. Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury. *Brain* 2014;137:654-67. [CrossRef]
 20. Winchester P, McColl R, Querry R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, et al. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2005;19:313-24. [CrossRef]
 21. Morawietz C, Moffat F. Effects of locomotor training after incomplete spinal cord injury: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2013;94:2297-308. [CrossRef]
 22. Yang JF, Musselman KE. Training to achieve over ground walking after spinal cord injury: a review of who, what, when, and how. *Spinal Cord Med* 2012;35:293-304. [CrossRef]
 23. Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L, Torre M, Molinari M. Who is going to walk? A review of the factors influencing walking recovery after spinal cord injury. *Front Hum Neurosci* 2014;8:141. [CrossRef]
 24. Schwartz I, Meiner Z. Robotic-Assisted Gait Training in Neurological Patients: Who May Benefit? *Ann Biomed Eng* 2015 Feb 28 [Epub ahead of print]. [CrossRef]
 25. Peckham PH, Knutson JS. Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng* 2005;7:327-60. [CrossRef]
 26. Thrasher TA, Popovic MR. Functional electrical stimulation of walking: Function, exercise and rehabilitation. *Ann Readapt Med Phys* 2008;51:452-60. [CrossRef]
 27. Esclarín-Ruz A, Alcobendas-Maestro M, Casado-Lopez R, Perez-Mateos G, Florido-Sanchez MA, Gonzalez-Valdizan E, et al. A comparison of robotic walking therapy and conventional walking therapy in individuals with upper versus lower motor neuron lesions: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95:1023-31. [CrossRef]
 28. Manella KJ. Restoration of walking function in an individual with chronic complete (AISA) spinal cord injury. *J Rehabil Med* 2010;42:795-8. [CrossRef]
 29. Murillo N, Kumru H, Opisso E, Padullés JM, Medina J, Vidal J, et al. Recovery of assisted overground stepping in a patient with chronic motor complete spinal cord injury: a case report. *NeuroRehabilitation* 2012;31:401-7.
 30. Esquenazi A, Talaty M, Packel A, Saulino M. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil* 2012;91:911-21. [CrossRef]
 31. Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, Dudkiewicz I, Bloch A, Esquenazi A. Safety and tolerance of the ReWalk exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *J Spinal Cord Med* 2012;35:96-101. [CrossRef]
 32. Fineberg DB, Asselin P, Harel NY, Agranova-Breyter I, Kornfeld SD, Bauman WA, et al. Vertical ground reaction force-based analysis of powered exoskeleton-assisted walking in persons with motor-complete paraplegia. *J Spinal Cord Med* 2013;36:313-21. [CrossRef]
 33. Swinnen E, Duerinck S, Baeyens JP, Meeusen R, Kerckhofs E. Effectiveness of robot assisted gait training in persons with spinal cord injury: A systematic review. *J Rehab Med* 2010;42:520-6. [CrossRef]
 34. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;11:CD006676. doi:10.1002/14651858.CD006676.pub3. [CrossRef]
 35. Benito-Penalva J, Edwards DJ, Opisso E, Cortes M, Lopez-Blazquez R, Murillo N, Costa U, et al. Gait training in human spinal cord injury using electromechanical systems effect of device type and patient characteristics. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93:404-12. [CrossRef]
 36. Galen SS, Clarke CJ, McLean AN, Allan DB, Conway BA. Isometric hip and knee torque measurements as an outcome measure in robot assisted gait training. *NeuroRehabilitation* 2014;34:287-95.
 37. Mirbagheri MM, Patel C, Quiney K. Robotic-assisted locomotor training impact on neuromuscular properties and muscle strength in spinal cord injury. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011;2011:4132-5. [CrossRef]
 38. Fleerkotte BM, Koopman B, Buurke JH, van Asseldonk EH, van der Kooij H, Rietman JS. The effect of impedance-controlled robotic gait training on Walking ability and quality in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: an explorative study. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:26. [CrossRef]
 39. Hoekstra F, van Nunen MP, Gerrits KH, Stolwijk-Swüste JM, Crins MH, Janssen TW. Effect of robotic gait training on cardiorespiratory system in incomplete spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2013;50:1411-22. [CrossRef]
 40. Nash MS, Jacobs PL, Johnson BM, Field-Fote' E. Metabolic and cardiac response to robotic-assisted locomotion in motor-complete tetraplegia: a case report. *J Spinal Cord Med* 2004;27:78-82.
 41. Israel JF, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Metabolic costs and muscle activity patterns during robotic- and therapist-assisted treadmill walking in individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2006;86:1466-78. [CrossRef]
 42. Tiftik T, Gökkaya NK, Malas FÜ, Tunç H, Yalçın S, Ekiz T, et al. Does locomotor training improve pulmonary function in patients with spinal cord injury? *Spinal Cord* 2015 Feb 17. doi: 10.1038/sc.2014.251 [Epub ahead of print]. [CrossRef]