

## BÖLÜM 5

# İNME HASTALARINDA ROBOT YARDIMLI YÜRÜME EĞİTİMİ

Mustafa Fatih YAŞAR<sup>1</sup>

## GİRİŞ

### Yürüme

Yürüme, bir yerden bir yere gidebilmek amacıyla tekrarlanan ritmik hareketler zinciridir (1). Normal yürüme için kaslar, kemikler, eklemler ve sinir sisteminin çeşitli parçaları birlikte çalışmalıdır. Kas ve eklem hareketlerinin zamanlaması uyumlu ve gücü yeterli olmalıdır. Yürüme, spinal ve supraspinal nöral sistemlerin etkileşimi, denge kontrolü ve bacakların koordinasyonu ile oluşan dinamik ve karmaşık bir fiziksel aktivitedir. Vücut segmentlerinin uzaydaki konumu ve hızı ile ilgili sağlıklı duyuşsal geri bildirim de normal yürüme için gereklidir. Bu yapıların biri veya birkaçında oluşabilecek bozukluklar yürümeyi engeller ya da yürüyüş bozukluklarına neden olur (2).

Yürüyüş bozukluklarında, temel patolojik durumun yol açtığı kısıtlamaları aşabilmek için alternatif kas hareketleri kullanılır. Ortaya çıkan yürüme şekli zamanlaması bozuk, yetersiz, aşırı ya da faz dışı kas hareketlerinin de eşlik ettiği, telafi edici hareketlerin bir karışımıdır (3).

Normal yürüyüşte, bacak hareketlerinin stereotipik istemli ve/veya refleks hareketler hatta otomatik bir patern izlediği kabul edilmektedir. Buradan yola çıkarak yürüyüş bozukluklarında, yürümenin desteklenebileceği düşünülmüştür.

Nörolojik hastalıklarının neden olduğu yürüyüş bozukluklarında uygulanan rehabilitasyon programlarına, yürüme siklusunun sürekli tekrarlanması prensibi-ne dayalı cihazlar geliştirilmiştir.

### Robot Yardımlı Yürüme Cihazları

Nörolojik hastalıkların önemli bir sonucu yürüme güçlüğü, hareket kayıpları ve günlük yaşam aktivite kaybıdır. Kişinin yürüme yeteneğini yeniden kazanması, nörolojik hastalar için büyük önem taşır ve tüm rehabilitasyon programlarının

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi İzzet Baysal Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Eğitim Araştırma Hastanesi, mustafafy@hotmail.com

ana hedefidir (4). Ağır şekilde etkilenen nörobilişsel hastaları lokomotor terapi kullanarak tedavi etmek, denge bozuklukları ve motor zayıflıkları nedeniyle teknik olarak zordur (5).

Geçtiğimiz yüzyıl ortalarından itibaren uygulanmakta olan ve günümüze kadar gelişimini sürdürmüş, spontan iyileşmeye rehberlik edebilen destek tedaviler mevcuttur. Konvansiyonel egzersizler, denge egzersizleri, kuvvetlendirme, germe ve eklem hareket açıklığı egzersizleri, rehabilitasyonda en sık kullanılan egzersiz uygulamalarıdır (6). Motor öğrenme temelli diğer fizyoterapi yaklaşımları arasında kısıtlayarak zorlayıcı hareket tedavisi ve nörofizyolojik temelli egzersiz tedavisi sayılabilir (7).

Nörolojik hastalıkların tedavisinde nöral bağlantılarda plastik değişiklikler teklilenerek öğrenme ve motor kontrol desteklenmektedir. Nöroplastisite nöronal devrelerin ve beynin kendisini yapısal ve işlevsel olarak yeniden düzenlenme ve organize olma yeteneğidir. Fonksiyonel, yapısal, anatomik ve nörofizyolojik süreçleri kapsayan bu değişikliklerin tamamı nöroplastisite olarak tanımlanır (8). Locomotor egzersizler santral sinir sistemi plastisitesi yoluyla kaybedilen motor fonksiyonun yeniden eğitimini amaçlamaktadır (9). Santral sinir sisteminin öğrenme ve öğrenilenlerin korunmasında tekrarlı hareketlerin önemli rolü olduğu bilinmektedir. Ancak tek başına sık tekrarlı egzersizler veya egzersiz yoğunluğunun artırılması ideal motor öğrenme için yeterli değildir. Santral sinir sistemi plastisitesi için görev hedefli ve sık tekrarlı terapiler gerekmektedir. (10,11).

Rehabilitasyonda amacımız kas kuvvetlerinin kontrolünü düzenlemek, bireyi fiziksel, psikolojik ve sosyal yönden maksimum bağımsızlık düzeyine erdirtmek ve yaşam kalitesini arttırmaktır. Rehabilitasyona yönelik multidisipliner yaklaşımlar nörolojik hastalıklardaki fonksiyonel durumu ve bağımsızlığını arttırmak için en etkili seçenektir (12). Mevcut kanıtlar erken rehabilitasyon ve yoğun bir eğitim programının yürüyüş ve hareket bozukluğu yaşayan hastaların fonksiyonel iyileşmesini destekleyebileceğini göstermektedir (13,14).

Nörorehabilitasyon yaklaşımlarının ortak özellikleri hastayı tekrarlayıcı, yoğun ve görev hedefli çalıştırmalarıdır. Son yıllarda nörorehabilitasyon amacına uygun robotik cihazların kullanımı hızla artmıştır. İlk robot sistemleri fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES) ile uyumlu yapılan aktif ortezlerdir (15).

Günümüzde ambulasyonu sağlamanın güncel ve efektif olduğu düşünölen yöntemlerden birisi de vücut ağırlığı desteğı koşu bandı eğitimini kullanan, görev odaklı uygulamaların yüksek tekrarlarını içeren, yeni bir lokomotor eğitimidir (16). Manuel vücut ağırlığını alan korseler ile yürüme bantlarının beraber kullanıldığı modern treadmill sistemlerinin başlangıcı 30 yıl öncesine dayanmaktadır (17). Vücut ağırlığı desteğı koşu bandı eğitimi, vücut ağırlığı baş üzerinde

yer alan bir askı sistemi ile hasta ağırlığının kısmi olarak azaltılması ve yürüme bandında adımlama, eklem açıları ile her bacağın basma ve salınım fazlarının simetrisini sağlamaya yönelik eğitim verilmesidir. Simetrik yürüme modeli kazanılması, yürüme hızı ve dayanıklılığının arttırılmasını sağlar. Bu yaklaşım işleve yönelik olup, yürüme döngüsünün tekrarlamasını kolaylaştırır (18,19). Yapılan bir randomize kontrollü çalışmada, mobilize olmayan subakut dönemdeki hastalarda vücut ağırlığı destekli yürüme eğitimi tedavisinin desteksiz yürüyüşü kolaylaştırdığı sonucuna varılmıştır (20).

Vücut ağırlığı desteği koşu bandı eğitimi verilmesini kolaylaştırmak için robotik yardımcı yürüyüş eğitimi geliştirilmiştir. Robot yardımcı yürüyüş rehabilitasyonu ilk defa 1990'larda ortaya çıkmıştır. Rehabilitasyon amacıyla geliştirilen robotlar herhangi bir görevi yerine getirmek için belirlenen hareketleri yaptıran, programlanabilen çok fonksiyonlu, büyüklük, şekil ve sistemleri bakımından farklılıkları olan cihazlardır. Robotik sistemler, görev spesifik egzersizlerin yapılmasına olanak vererek birçok hastalığın neden olduğu yürüyüş bozukluklarının tedavisinde kullanılmaktadır.

Robotik sistemlerin diğer egzersiz yöntemleri ile karşılaştırıldığında, egzersize uyumun yüksek olması, daha uzun süreli ve daha yoğun bir egzersiz programının uygulanabilmesi, fonksiyonel gelişimin değerlendirilmesi, tedavi etkinliğinin objektif izlenebilmesi ve hastada ileri düzeyde motivasyon sağlanması gibi avantajları vardır.

Robotik sistemler özelliklerine göre, vücuda giyilebilen robotlar, günlük yaşam aktivitelerinde yardımcı robotlar, robotik yürüteçler ve sabit egzersiz robotları olarak sınıflandırılabilir. Tasarım açısından alt ekstremite rehabilitasyon robotları, end-effector ve eksoskeleton olarak iki kategoriye ayrılabilir.

End-effector tarzı robotların çalışma prensibi alt ekstremitenin distalinden mekanik kuvvet uygulayarak çalışmasıdır. Kinetik zincirin son halkası ayaktan desteklenir. Diz ve kalça eklemleri desteklenmez ve normal olmayan postür ve hareketlerin ortaya çıkmasına neden olur. Kalça ve diz eklemleri serbest aktif katılım gerektirir. End-effector robotlarda farklı platformlarda yürüme ve yokuş inip çıkma gibi egzersizler yaptırılabilir.

Eksoskeleton robotların gövde ağırlığını destekleyen ortezi ve treadmill aparatları mevcuttur. Eksoskeleton robotlarda kalça, diz ve ayak eklemleri daha stabil ve ambulatuardır. Günümüzde geliştirilmekte olan çoğu eksoskeleton robotu, tüm yürüyüş döngüsünün tek bir birim olarak desteklenmesine odaklanmaktadır. Eklemlerin kontrolü daha stabil olduğu için normal olmayan postür ve hareketlerin açığa çıkma olasılığı azdır (21).

Lokomat, Bleex, Alex, Lopes eksoskeleton robotlara örnek iken, Rutgers Ankle ve HapticWalker end-effector robotlara örnektir. Ülkemizde üretilmiş olan Robo-Gait de eksoskeleton robotudur (22).

Eksoskeleton tip robotların prototip olan Lokomat'ın, hastaları dik pozisyonda tutan gövde ağırlığını destekleyen ortezi , fizyolojik ve simetrik karşılıklı hareket yaptıran bacaklarına bağlı robotik kollar ve treadmill aparatları mevcuttur. Ayrıca hastanın katılımı ve motivasyonunu arttırmaya yönelik sanal gerçeklik ekranı ve yürüyüş siklusunu gösteren grafiklerin yer aldığı görsel destek monitörü mevcuttur. Hastaya bu sayede tedavi sırasında geri bildirim verilerek performansının geliştirebilmesi amaçlanmaktadır (23).

Robotik yürüme eğitiminin yaşam memnuniyetinin artması, osteoporoz riskinin azalması gibi birçok potansiyel yararları vardır. Ayrıca metabolik parametrelere, kalp hızında ve kan basıncında iyileşme, kan lipid profilinde düzelme, pulmoner fonksiyonlarda iyileşme gibi faydaları gösterilmiştir (22).

Açık deri lezyonları, akut inflamatuvar veya enfeksiyöz hastalıkların varlığı, ciddi osteoporoz varlığı, instabil spinal kırıklar, kalça, diz ve ayak bileği artrozları, ciddi düzeyde spastisite ve kontraktür varlığı, iyi kaynamamış ekstremitte kırıkları gibi instabilite yaratan durumlar, bası yaraları, dolaşım problemleri, kardiyak-pulmoner kontrendikasyonlar, ciddi kognitif defisit ve kooperasyon bozukluğu, psikiyatrik problemlerin varlığı, ileri diskinetik ve miyoklonik refleksler ve aşırı kilolu olmak, kullanım açısından kontraendike oluşturan durumlardır.

### **İnme Hastalarında Robot Yardımlı Yürüme Rehabilitasyonu**

İnme, serebral damarlardaki tıkanma veya kanama nedeniyle oluşan, klinik olarak motor, duyu, konuşma ve kognitif fonksiyon kayıplarından komaya kadar gidebilen nörolojik bir tablodur. Ayrıca, fonksiyonel kayıplara neden olan ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. İnme tüm dünyada mortalitenin ikinci, morbiditenin üçüncü en sık nedenidir (24). Fonksiyonel ve nörolojik kayıplar nedeniyle hastanede yatış süresi açısından 3. sırada yer almaktadır (25). İnmeden sonra gelişen fonksiyonel problemler lezyonun yeri ve büyüklüğü ile ilişkilidir. İnmeli hastaların %40'ı orta, %15-30'u ise ciddi derecede özürlü olarak hastaneden taburcu edilmektedir (26). Akut inme tedavisindeki gelişmelere rağmen, inme sonrası bakımın büyük bir kısmını, hastanın bağımsızlığını arttırmaya yönelik rehabilitasyon programları oluşturmaktadır. İyileşme üzerine olumlu etkileri ve minimal özürlülük ile ilişkisi nedeniyle, erken dönem rehabilitasyon programları önem kazanmaktadır (27).

İnme sonrasında yaşam kalitesinin artırılabilmesi ve günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilebilmesi için yürüme yeteneğinin yeniden kazandırılması şart-

tır (28). İnme sonrası yürümede iyileşme, birçok hasta için önceliktir. İnme rehabilitasyonunun önemli bir amacı fonksiyonel iyileşme için nöroplastisitenin etkili kullanımınıdır. Bu amaç doğrultusunda hedef odaklı, yüksek yoğunluklu egzersiz uygulamaları yapılmaktadır. Robot destekli yürüme cihazları inme rehabilitasyonunda yürüme yeteneğinin yeniden kazanılması ya da iyileştirilmesi için son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (24, 29, 30).

İnme sonrası robot yardımcı tedavi ile yapılan çalışmalarda, robot yardımcı tedaviden sonra beyin bağlantılarının yeniden organizasyonunun, gerek interhemisferik ve intrahemisferik fonksiyonel bağlantılar ve gerekse bölgesel aktivasyon anlamında mümkün olduğu desteklenmektedir (31,32).

Akut veya subakut evrede olan yürüme yetisini kaybetmiş inmeli hastalara robot destekli yürüyüş eğitimi, özel bir amaca yönelik tekrarlı egzersizlerle motor kontrol fonksiyonunun yeniden kazanılması için etkilidir (33). Robot destekli yürüyüş eğitimi, çoklu uyarılarla motor iyileşmeyi sağlar ve terapistlerin yükünü azaltır (27). Robotik yürüme eğitimiyle ilgili birçok çalışmada, kas aktivitesini, kas tonusunu, eklem açıklığını, yürüyüş hızını, fonksiyonel yürüme yeteneğini yükseltmekte etkili olduğu bildirilmiştir (34,35).

Nöronal plastisitenin varlığından yola çıkılarak geliştirilen robot yardımcı yürüme cihazlarının inme tedavisinde etkinliğini araştırma amacıyla yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Ayrıca sadece konvansiyonel yürüme eğitimi alan hastalara göre, konvansiyonel yürüme eğitimi ile birlikte robotik yürüme eğitimi alan hastaların desteksiz yürüme olasılığının daha fazla olduğu bildirilmiştir (17). Sonuçlar çelişkili olsa da, inme rehabilitasyonunda robot destekli tedavinin yürüyüş ve yaşam kalitesine etkisini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (17,21,27). Ayrıca az sayıda çalışmada nörofizyolojik yaklaşım temelli tedavinin robotik yöntemden üstün olduğu ya da benzer olduğu bildirilmiştir (36). Hidler ve ark.' ı tarafından yapılan çalışmada yürüme hızının nörofizyolojik yaklaşım temelli yürüme eğitimi alan hastalarda, robotik cihaz yardımcı yürüme eğitimi alan hastalara kıyasla daha iyi olduğu bildirilmiştir (37).

Literatür taramasında, robot yardımcı yürüyüş rehabilitasyonunun konvansiyonel tedavi ile kombine olarak uygulanmasının daha etkili olduğu yönünde çalışmalar mevcuttur (17, 38).

Yakın tarihli bir Cochrane incelemesi, inme popülasyonunda, fizyoterapi ile birlikte robotik yürüyüş eğitimi alanların, bu tarz cihazlar olmadan yürüyüş eğitimi alanlara göre bağımsız yürümeyi başarma olasılığı daha yüksek olduğu gösterilmiştir (39).

Jan Mehrholz ve ark, 2440 katılımcının yer aldığı 62 çalışmayı inceledikleri güncel araştırmada, inme sonrası fizyoterapi ile birlikte elektromekanik destekli

yürüyüş eğitimi alan kişilerin, bu cihazlar olmadan yürüyüş eğitimi alan kişilere göre bağımsız yürüyüş yapma olasılığının daha yüksek olduğunu göstermiştir (38). Kullanılan cihazlar ile tedavi süresi ve sıklığı açısından çalışmalar arasında farklılıklar bildirilmiştir. Elektromekanik destekli yürüyüş eğitiminin optimal sıklığı ve süresi ile herhangi bir faydanın ne kadar sürebileceğine ilişkin araştırmaya yapılması tavsiye edilmiştir (40). Yapılan çalışmalarda seans sayısı, tedavi süresi, hasta sayısı farklı olmasına rağmen başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Robotik yardımcı yürüme eğitimi ve nörofizyolojik yaklaşım temelli yürüme eğitimini birlikte alan hastaların, sadece nörofizyolojik yaklaşım temelli yürüme eğitimi alan hastalara nazaran daha başarılı olduğu 2009'da Schwartz ve ark.' 1 tarafından subakut inmeli hastalarla yapılan randomize kontrollü çalışma ile de doğrulanmıştır (41).

Kronik inme hastalarında kombine robotik yardımcı yürüme eğitimi tedavisinin etkinliğine ilişkin yeterli veri yoktur, ancak nispeten az sayıda hasta içeren birkaç çalışma yayınlanmıştır. Bu nedenle, kronik inmeli hastalarda robotik yardımcı yürüme eğitiminin optimal yoğunluğunu ve süresini belirlemek için daha geniş kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır (17).

## **SONUÇ**

İnme sonrasında, yaşam kalitesinin artırılabilmesi ve günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilebilmesi için hedef odaklı, yüksek yoğunluklu egzersiz uygulanmaktadır. İnme hastalarının tedavisinde farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte multidisipliner tedaviler önerilmektedir.

Son yıllarda inmeli bireylerin tedavi ve takibinde robot yardımcı yürüme eğitimine ilgi giderek artmakta ve görev spesifik egzersizlerin yapılmasına olanak veren robotik sistemler birçok hastalığın neden olduğu yürüyüş bozukluklarının tedavisinde kullanılmaktadır.

Konvansiyonel tedaviye göre robotik destekli yürüme tedavisi, iş yükünü azalttığı için avantajlı, ulaşılabilirliğinin zor olması ve maliyetinin yüksek olması bakımından dezavantajlıdır.

Konvansiyonel rehabilitasyon tedavisi ile robotik yardımcı yürüme tedavilerinin kombinasyon halinde kullanımı önerilmektedir. Robotik yürüme eğitiminde standart tedavi protokolü oluşturmak için geniş kapsamlı kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

Gelecekte kişiye özel, standardize edilebilir kombine tedaviler ile kompakt ve ev kullanımı için uygun maliyetli cihazlar daha da önem kazanacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Yavuzer G. (2001). Hemiparezi. Özaras N, Yalçın S. (Ed.), Yürüme Analizi (56-60). İstanbul: Avrupa Tıp Kitapçılık
2. Esquenazi A, Talaty M. (2000) Gait Analysis: Technology and Clinical Applications. Braddom RL, In: Physical Medicine and Rehabilitation (93-108). Philadelphia: WB Saunders Company.
3. Yavuzer, G. (2009). Üç boyutlu niceliksel yürüme analizi. *Acta Orthopaedica Traumatologica Turcica*, 43(2), 94-101.
4. Dobkin, B. H. Clinical practice. Rehabilitation after stroke. *N Engl J Med*, 2005,352:1677-1684,
5. Hill, K., P. Ellis, J. Bernhardt. Balance and mobility outcomes for stroke patients: a comprehensive audit. *Aust J Physiother* 1997; 43:173-180,
6. Behrman AL, Harkema SJ. Locomotor training after human spinal cord injury: a series of case studies. *Phys Ther* 2000;80:688-70
7. Karaduman, A., Aksu Yıldırım, S., Tunca Yılmaz, Ö. (2013). İnme rehabilitasyonunda motor öğrenme. *İnme Sonrası Fizyoterapi ve Rehabilitasyon*, 113-124.
8. Onifer SM, Smith GM, Fouad K. Plasticity after spinal cord injury: relevance to recovery and approaches to facilitate it. *Neurotherapeutics* 2011;8:283-93.
9. Van Hedel HJ, Dietz V. Rehabilitation of locomotion after spinal cord injury. *Restor Neurol Neurosci* 2010;28:123-34
10. 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.
11. Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L. Who is going to walk? A review of the factors influencing walking recovery after spinal cord injury. *Front Hum Neurosci* 2014;8:141.
12. Whiteneck G, Gassaway J, Dijkers M. The SCIRehab project: treatment time spent in SCI rehabilitation. Inpatient treatment time across disciplines in spinal cord injury rehabilitation. *J Spinal Cord Med*. 2011;34(2):133-48.
13. Edwards MJ, McNeil JE, Greenwood RJ. Process and outcome during early inpatient rehabilitation after brain injury. *Disabil Rehabil*. 2003;25(8):405-410. doi:10.1080/0963828031000062642
14. Winstein CJ, Stein J, Arena R. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association [published correction appears in *Stroke*. 2017 Feb;48(2):e78]
15. Iosa M, Morone G, Cherubini A. The Three Laws of Neurorobotics: A Review on What Neurorehabilitation Robots Should Do for Patients and Clinicians. *J Med Biol Eng* 2016;36:1-11
16. Dobkin, B. H. An overview of treadmill locomotor training with partial body weight support: a neurophysiologically sound approach whose time has come for randomized clinical trials. *Neurorehabilitation and neural repair*, 1999, 13.3: 157-165.
17. Schwartz I, Meiner Z. Robotic-assisted gait training in neurological patients: who may benefit?. *Ann Biomed Eng*. 2015;43(5):1260-1269. doi:10.1007/s10439-015-1283-x
18. Çevikol A, Çakıcı A. (2015) İnme Rehabilitasyonu. Ed: Oğuz H, Çakırbay H, Yanık B. *Tıbbi Rehabilitasyon* (419-44). İstanbul, Nobel Tıp Kitapevi
19. Karataş Kaymak G. (2011). İnme. Ed:Gökce Kutsal Y, Beyazova M, *Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon* (2761-88). Güneş tıp kitapçevleri
20. Ada L, Dean CM, Morris ME. Randomized trial of treadmill walking with body weight support to establish walking in subacute stroke: the MOBILISE trial. *Stroke*. 2010;41(6):1237-1242. doi:10.1161/STROKEAHA.109.569483
21. Cao J, Xie SQ, Das R. Control strategies for effective robot assisted gait rehabilitation: the state of art and future prospects. *Med Eng Phys* 2014;36:1555-66.
22. Demir, S. Ö. Omurilik Yaralanmalı Hastalarda Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi. *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 2015, 61.
23. Onat Ş, Şule. C. S, Orhan A. Robotik Rehabilitasyon Kullanma Kriterleri Biraz Daha Genişletilmeli mi?. *Journal of Physical Medicine & Rehabilitation Sciences/Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Bilimleri Dergisi*, 2019, 22.1.

24. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet*. 2011;377(9778):1693-1702. doi:10.1016/S0140-6736(11)60325-5
25. Nichols-Larsen DS, Clark PC, Zeringue A. Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke* 2005;36:1480-4
26. Roberts L, Counsell C. Assessment of clinical outcomes in acute stroke trials. *Stroke* 1998;29:986-91
27. Chang WH, Kim YH. Robot-assisted Therapy in Stroke Rehabilitation. *J Stroke*. 2013;15(3):174-81
28. Wagenaar, R., Meijer, O., Kuik, D. The functional recovery of stroke: a comparison between neurodevelopmental treatment and the Brunnstrom method. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, (1990), 22(1), 1-8
29. Riener R, Lünenburger L, Jezernik S. Patient-cooperative strategies for robot-aided treadmill training: First experimental results. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2005;13(3):380-94
30. Colombo G, Joerg M, Schreiber R. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev*. 2000;37(6):693-700.
31. Turner DL, Ramos-Murguialday A, Birbaumer N. Neurophysiology of robot-mediated training and therapy: a perspective for future use in clinical populations. *Front Neurol* 2013;4:184
32. Sergi F, Krebs HI, Groisser B. Predicting efficacy of robot-aided rehabilitation in chronic stroke patients using an MRI robotic device. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011;2011:7470-3.
33. Hesse S. Treadmill training with partial body weight support after stroke: a review. *NeuroRehabilitation*. 2008; 23(1):55-65
34. Hsueh I.-P., Wang C.-H., Sheu C.-F. Comparison of psychometric properties of three mobility measures for patients with stroke. *Stroke*. 2003;34(7):1741-1745. doi: 10.1161/01.STR.0000075295.45185.D4
35. Horstman A. M., Gerrits K. H., Beltman M. Intrinsic Properties of the Knee Extensor Muscles After Subacute Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010;91(1):123-128. doi: 10.1016/j.apmr.2009.09.008
36. Jorgensen H. S., Nakayama H., Raaschou H. O. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen stroke study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1995;76(1):27-32. doi: 10.1016/S0003-9993(95)80038-7
37. Hidler JM, Wall AE. Alterations in muscle activation patterns during robotic-assisted walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2005;20(2):184-193. doi:10.1016/j.clinbiomech.2004.09.016
38. Mehrholz J, Thomas S, Kugler J. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;10(10):CD006185. Published 2020 Oct 22. doi:10.1002/14651858.CD006185.pub5
39. Tedla JS, Dixit S, Gular K. Robotic-Assisted Gait Training Effect on Function and Gait Speed in Subacute and Chronic Stroke Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Eur Neurol*. 2019;81(3-4):103-111. doi:10.1159/000500747
40. Nizamis K, Athanasiou A, Almpani S. Converging Robotic Technologies in Targeted Neural Rehabilitation: A Review of Emerging Solutions and Challenges. *Sensors (Basel)*. 2021;21(6):2084. Published 2021 Mar 16. doi:10.3390/s21062084
41. Schwartz I, Sajin A, Fisher I. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *PM R*. 2009;1(6):516-523. doi:10.1016/j.pmrj.2009.03.009