



## ALT EKSTREMİTENİN ROBOTİK REHABİLİTASYONU

Kemal Cem KÖSE\*

\*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [kcem.kose@dpu.edu.tr](mailto:kcem.kose@dpu.edu.tr),  
ORCID:0000-00022705-9075

*Geliş Tarihi (Received Date):01.06.2022*

*Kabul Tarihi (Accepted Date):06.06.2022*

### ÖZ

İnme, omurilik yaralanmaları, serebral palsi gibi rahatsızlıklar nedeni ile alt ekstremitte lokomotor fonksiyonlarının bir kısmı veya tamamı kaybedilebilmektedir. Bu tip hastalarda doğru ve uygun rehabilitasyon programları uygulandığında lokomotor fonksiyonlarda pozitif artış sağlanabilmektedir. Özellikle hemiplejik vakalarda erken dönemde uygulanan rehabilitasyon programları yardımı ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Teknolojide meydana gelen gelişmeler ile birlikte robotik sistemlerin rehabilitasyon süreçlerinde kullanımı fikri ortaya atılmıştır. Süreç içerisinde farklı teknik ve stratejilere sahip robotik rehabilitasyon cihazları üretilmiş ve aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada inme, omurilik yaralanmaları, serebral palsi gibi rahatsızlıklar nedeni ile alt ekstremitte fonksiyon kaybına uğramış hastaların rehabilitasyonunda kullanılan robotik rehabilitasyon cihazlarının teknolojileri, çalışma prensipleri ve tedavi proseslerine getirdiği katkılar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Robotik Rehabilitasyon, Yürüme Rehabilitasyonu, Alt Ekstremitte Rehabilitasyonu,*

## LOWER-LIMB ROBOTIC REHABILITATION

### ABSTRACT

Due to complications such as stroke, spinal cord injuries, and cerebral palsy, some or all of the lower extremity locomotor functions may be lost. With such patients; when correct and appropriate rehabilitation programs are applied in, a positive increase in locomotor functions can be achieved. Especially in hemiplegic cases, successful results are obtained with the help of early rehabilitation programs.

Thanks to the developments in technology, the idea of using robotic systems in rehabilitation processes has been put forward. During the process, robotic rehabilitation devices with different techniques and strategies were produced and started to be used actively. In this study, technologies, working principles and contributions to the treatment processes of robotic rehabilitation devices used in the rehabilitation of patients who have lost lower extremity function due to stroke, spinal cord injuries, and cerebral palsy were evaluated.

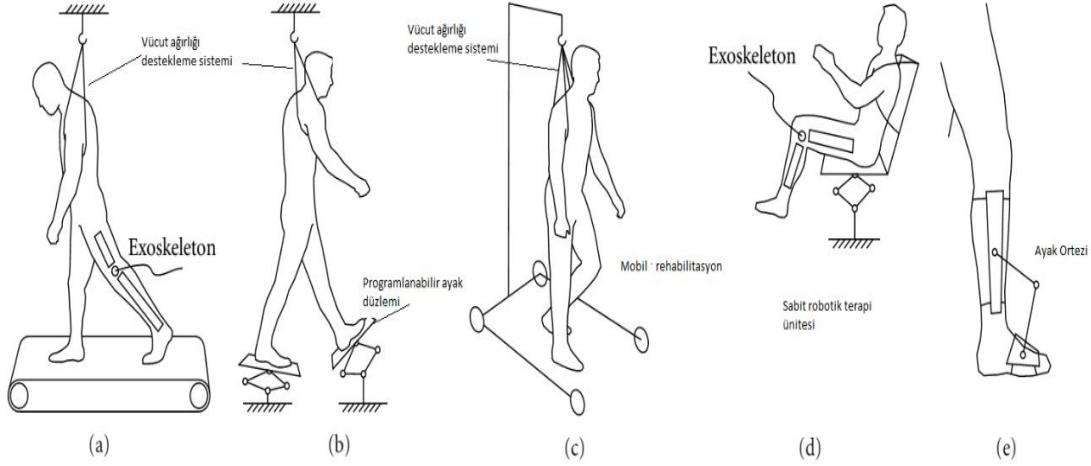
**Keywords:** *Lower Limb Robotic Rehabilitation, Robotic Rehabilitation, Gait Rehabilitation*

## 1. GİRİŞ

İnme, omurilik yaralanmaları, serebral palsi gibi rahatsızlıklar hastalarda yürüme kabiliyetinin bir kısmının veya tamamının kaybına sebebiyet vermektedir. Yürüme kaybının dışında farklı semptomlarında ortaya çıktığı bu tip rahatsızlıklardan özellikle inme, ölüm nedenleri arasında dünya çapında görülen üçüncü en sık ölüm nedenidir [1]. Bu rahatsızlıklar hastalarda mobilite kaybı oluşturmakta ve yaşam kalitelerini düşürmektedir. İnme sonrası, vücudun bir tarafında hemiparezi veya kısmi felce yol açan ve hastanın günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirme kabiliyetini etkileyen nörolojik bozukluklar sıklıkla ortaya çıkmaktadır [2]. Bu vb. nörolojik bozuklukların giderilmesinde rehabilitasyon süreçlerinin doğru ve etkili olarak yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Rehabilitasyon süreçleri yardımı ile hastanın yeniden yürüyebilmesi bağımsız bir hayat sürdürebilmesi açısından çok önemlidir. Doğru ve etkili bir rehabilitasyon programı hastaların hızlıca toparlanıp, iyileşmesine olanak sağlayabilecektir. Fizik tedavi ve rehabilitasyon süreçleri kaybedilen işlevlerin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır [3,4]. Burada fizik tedavi ve rehabilitasyon sürecinin asıl amacı, spesifik hareketler yardımı ile hastada motor plastisiteyi tetiklemek ve böylelikle motor iyileşmeyi sağlamak olarak ifade edilebilir. Hareket uzvu etkilediğinden uzun çalıştırılmalıdır [2,4]. Yürüme hareketi, “vücudu istenen ilerleme çizgisi boyunca aynı anda ilerleten ve aynı zamanda sabit bir ağırlık taşıma postürünü koruyan bir dizi hareketin alt uzuvları tarafından tekrarlanan performansdır” şeklinde ifade edilebilir[5]. Normal yürüyüş karakterize edilmek istenirse ana unsurlar ilerleme, ayakta durma dengesi ve enerji tasarrufudur. Patolojik durumlar yürümenin etkinliğini değiştirip bozacaktır. İleri yönde ilerleme ve duruş kararlılığı korunabildiği takdirde oluşan kontrol kaybının giderilmesi gerekir [6]. Hasta hareketlerinin vücudun belli bir bölgesine doğru yoğunlaştırılması vücutta sezgisel ve bütünsel iyileşme sağlayabilir[7]. Yürüme rehabilitasyonunda terapötik egzersizler öncelikle bağımsız yürüme kabiliyetini eski haline getirmeyi amaçlar. Modern terapötik yaklaşımlar büyük ölçüde tekrarlı uygulamalara dayanır[8]. Bu görev odaklı eğitimler motor öğrenmenin temel prensiplerine dayanmaktadır[9,10]. Bu nedenle rehabilitasyon sırasında tekrarlı ve doğru egzersiz kalıplarının yoğun bir şekilde hastaya uygulanması gerekmektedir. Nörolojik kökenli problemlerin yoğun, tekrarlayan ve görev odaklı eğitimle azaltılabileceği ve benzer şekilde bu yaklaşımın kısa ve uzun vadeli kortikal organizasyona yol açtığına dair ortaya çıkan kanıtlar bulunmaktadır [11,12,13,14,15]. Rehabilitasyon, kontrollü tekrarlayan ve değişken modeller sağlayarak nöronal plastisiteyi etkileyen bir motor iyileşme sağlayabilir[6]. Fizik tedavi ve rehabilitasyon süreçleri hastalarda nöronal plastisiteyi tetikleyerek iyileşme sağlayabilir. Plastisite, insan yaşamı boyunca nöral bileşenlerin organizasyonunun değiştirme kapasitesidir[16]. Adaptif modifikasyonlar, beyindeki anatomik veya fonksiyonel değişikliklere yanıt olarak ortaya çıkan nöral plastik oluşumlardır [17,18]. Rehabilitasyon süreçleri nöroplastisiteyi tetikleyerek hastalarda iyileşme sağlayabilecektir. Geleneksel terapi yöntemlerinde fizyoterapistlerin iş yükü çok fazladır. Aynı zamanda geleneksel terapide tekrarlı hareketlerin aynı seviyede yaptırılması ve ölçülmesi, rehabilitasyonu gerçekleştiren uzmanın tecrübe ve kabiliyetlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu durum tedaviden elde edilen verimi değiştirmektedir. Robotik teknolojideki gelişmeler ile birlikte, rehabilitasyon sürecinde robotların etkin olarak kullanılması ile ilgili çok ciddi çalışmalar yürütülmüş ve bu anlamda farklı teknik ve stratejileri kullanan cihazlar geliştirilmiştir. Alt ekstremitenin rehabilitasyonunda yürüme kabiliyetinin yeniden kazanılabilmesi amacıyla rehabilitasyon süreci üç faza ayrılabilir [19].

1. Yürüyemeyecek durumdaki hastaların tekerlekli iskemle ile mobilizasyonu.
2. Yürüme kabiliyetinin tekrar kazanılması.
3. Günlük hayat aktivitelerini gerçekleştirmek üzere yürümenin iyileştirilmesi.

Şekil 1’ de alt ekstremitenin robotik rehabilitasyonu için kullanılan yöntemler verilmiştir.



**Şekil 1.** Alt ekstremitenin robotik rehabilitasyonu için kullanılan yöntemler [2].

Şekil 1’ de gösterilen sistemler[2].

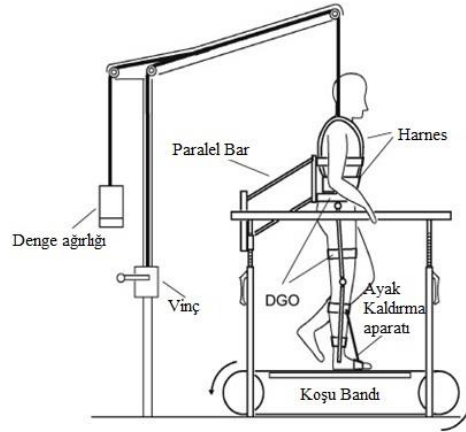
- Kayar zemin (koşu bandı) destekli rehabilitasyon cihazı,
- Programlanabilir ayak düzlemi destekli rehabilitasyon cihazı,
- Mobil rehabilitasyon cihazı,
- Sabit robotik terapi cihazı,
- Ayak ortezi,

Şeklinde gruplandırılabilir.

## 2. ALT EKSTREMİTENİN ROBOTİK REHABİLİTASYONUNDA KULLANILAN CİHAZLAR

### 2.1. Kayar Zemin (Koşu Bandı) Destekli Yürüme Rehabilitasyon Cihazları

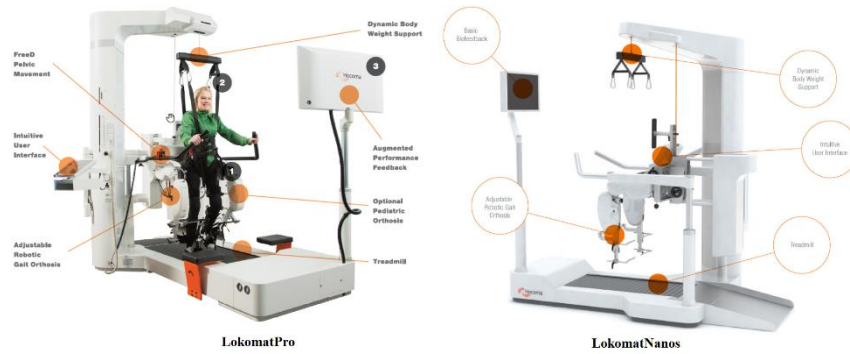
Kayar zemin yardımcı yürüme rehabilitasyon cihazları, rehabilitasyon sırasında doğru yürüme kalıbını aktarmak amacı ile hastaya hareket aktarımı yaparken, aynı zamanda hasta hareketlerini sürekli izleyerek raporlamaktadır. Bu yöntemi kullanarak rehabilitasyon gerçekleştiren cihazların çalışma prensibi şekil 2’ de sunulmuştur. Hasta, cihazda bulunan ağırlık eksiltici mekanizmaya şekil 2’ de gösterildiği gibi koşum kıyafeti (harness) aracılığı ile bağlanmıştır. Kalça ve bacak hareketi bacaklara bağlanan robotik unsur yardımı ile sağlanmaktadır. Ayrıca dik duruşun sağlanabilmesi için bir bel desteği bulunmaktadır. İleri gitme hareketi altta bulunan yürüme bandı sayesinde simüle edilmektedir. Sistem hasta tepkilerini ölçümleyip raporlarken üzerinde bulunan sensörlerden gelen verileri kullanmaktadır. Bu konuda geliştirilen cihazların bir kısmı ticarileşirken, bir kısmı sadece prototip düzeyinde üretilmiş ve ticari olarak satışa konu olmamıştır. Bu tipteki cihazlardan ticarileşmiş ve en yaygın olarak bilinen cihaz Hocoma firmasının geliştirmiş olduğu Lokomat isimli cihazdır. LOKOMAT gibi benzer yaklaşımla çalışan diğer rehabilitasyon sistemleri temelde adaptif ortak tork geri bildirim fikrine göre çalışmaktadır [20].



**Şekil 2.** Kayar zemin destekli robotik rehabilitasyon cihazları çalışma prensibi [21].

### 2.1.1. Lokomat

Bu cihaz Hocoma firması tarafından geliştirilmiş ve ticari olarak satışta bulunan bir cihazdır. Bu cihaz robotik bir yürüyüş ortezi, gelişmiş bir vücut ağırlık destek sistemi ve koşu bandından oluşmaktadır[21]. Cihaz üzerinde bulunan sensörler yardımı ile diz ve kalça ekleminde meydana gelen torkları ölçümleyip raporlayabilmektedir. LokomatPro ve LokomatNano olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Cihaz üzerinde hastanın karşısında konumlandırılmış monitör ile sesli ve görsel geribildirim yapılmakta ve hasta yönlendirilebilmektedir[22]. Lokomat ile yapılan klinik çalışmada elde edilen sonuçlar omurilik yaralanmasını takiben birçok motor bozukluğun tedavisinde faydalı etkileri olduğuna dair kanıtlar bulunmuştur [23].



**Şekil 3.** Lokomat robotik rehabilitasyon cihazı modelleri [24].

### 2.1.2. LokoHelp

Woodway firması tarafından üretilen LokoHelp isimli rehabilitasyon cihazı end-efektör tipinde bir cihaz olarak kabul edilir. Elektromekanik yapıda olan bu cihazın geliştirilme amacı ağırlıklı olarak beyin travmaları sebebiyle oluşan yürüme problemlerini gidermektir [25]. LokoHelp rehabilitasyon cihazında, kayar bandın ön tarafına sabitlenmiş pedal sistemi, kayar zemin (koşu bandı) orta ekseninde yüzeye paralel yürüme doğrultusunda yerleştirilmiştir. Cihaz üzerinde ayrıca vücut ağırlığı

dengeleme sistemi bulunmaktadır. Freivogel vd. tarafından yapılan klinik çalışmalarda cihazın fizibilite ve etkinliği değerlendirilmiştir [26].



**Şekil 4.** Lokohelp robotik rehabilitasyon cihazı [27].

### **2.1.3. ReoAmbulator**

Motorika firması tarafından üretilmiş bir rehabilitasyon cihazı olan ReoAmbulator, benzer cihazlarda olduğu gibi vücut ağırlığı dengeleme sistemine sahip kayar zemin destekli robotik sistemdir [28]. Cihaz yapısal olarak diğer cihazlar ile benzer karakteristikte çalışmaktadır.



**Şekil 5.** ReoAmbulator robotik rehabilitasyon cihazı [29].

#### 2.1.4. RoboGait

Türkiye’ de Bama teknoloji firması tarafından geliştirilip üretilmiş bir cihaz olan RoboGait, ticarileşmiş ve fizik tedavi ve rehabilitasyon merkezlerinde kullanımda olan bir cihazdır. Yapısal olarak diğer kayar zemin yardımcı robotik cihazlar ile aynı özellikleri taşımaktadır. Benzerlerinden farklı olarak yetişkin ve pediatrik için ayrı ünite kullanım zorunluluğu bulunmamaktadır. Ayarlanabilir yapısı sayesinde hem yetişkin hem pediatrik hastalarda aynı ünite kullanılabilir.



Şekil 6. RoboGait robotik rehabilitasyon cihazı [30].

#### 2.1.7. Walkbot

Güney koreli P&S mekanik şirketi tarafından üretilmiş olan Walkbot, Walkbot-K, Walkbot-S, Walkbot-G şeklinde üç ayrı model olarak üretilmektedir. Walkbot- K pediatrik hastalar için geliştirilmiş bir modeldir. Walkbot-S standart model olarak piyasaya sürülmüştür. Sistemin çalışma yapısı diğer kayar zemin yardımcı robotik cihazlar ile aynı yapıdadır.



Şekil 7. Walkbot robotik rehabilitasyon cihazı modelleri [31].



## 2.2. Programlanabilir Ayak Düzlemi İle Robotik Yürüme Rehabilitasyon Cihazı

Yürüme rehabilitasyonu için geliştirilen cihazların bazılarında ayak, tabandan hareketin aktarıldığı programlanabilen bir düzlem yardımı ile hareket ettirilmektedir. Bu tip cihazlara aynı zamanda end-efektör cihazlarda denilmektedir. Hareketin ayak tabanından aktarılması sayesinde bacak üzerine robotik ortez yerleştirme zorunluğu ortadan kalkmaktadır. Hastanın fonksiyon kaybına göre, bacakları ve duruşu desteklemek için bazı ortezler kullanılabilir. Kayar zemin yardımcı cihazlarda olduğu gibi bu cihazlarda da vücut ağırlığı destekleme sistemi kullanılmaktadır.

### 2.2.1. Geo- system evolution

Reha technology tarafından İsviçre de üretimi yapılmaktadır. End-efektör tipinde bir cihaz olup hareket ayak tabanından hastaya aktarılmaktadır. Bu cihaz, vücut ağırlığını destekleyen koşum takımı ile birlikte iki ayak için ayrı ve bağımsız programlanabilen ayak düzlemi ve bilgisayar ara yüzünden oluşmaktadır. Kalça ve gövde ayak tabanından aktarılan harekete göre serbestçe hareket eder. Cihaz ayrıca merdiven çıkma programı ile farklı bir rehabilitasyon imkanı tanımaktadır. Firmanın G-EOs, G-EO<sub>L</sub> ve G-EO<sub>1</sub> olmak üzere toplam üç farklı modeli bulunmaktadır.



Şekil 8. G-EO robotik rehabilitasyon cihazı modelleri [32].

### Thera-trainer lyra

Bu cihaz da end-efektör tipinde bir cihaz olup, rehabilitasyon sırasında hareket ayak tabanında, ayağın bağlandığı düzlem tarafından hastaya aktarılmaktadır. Bu cihaz da vücut ağırlığını destekleyen ve iki ayak için bağımsız programlanabilen ayak düzlemi ve bilgisayar ara yüzünden oluşmaktadır.



Şekil 9. There-trainer lyra robotik rehabilitasyon cihazı modelleri [33].

### 2.2.2. Gangtrainer (GT)

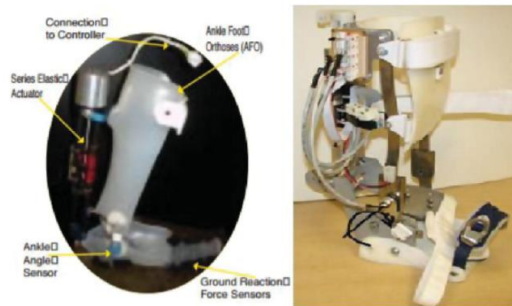
Gangtrainer GT I reha-stim firması tarafından ticarileştirilmiştir [2]. Cihaz rehabilitasyon sırasında ağırlık eksilterek ve hastanın bireysel kapasitesi ve hızına uyumlu bir şekilde hareket özgürlüğünü yeniden kazandırmaktadır [34]. Hastanın dengesi kuşak (harness) sistemi yardımı ile sağlanmaktadır. Ayak bağlantı plakaları yardımı ile yürüyüş simüle edilmektedir. Klinik olarak bu cihaz yardımı ile yapılan rehabilitasyon süreçleri ve etkileri üzerine dünyada çok sayıda çalışma yapılmıştır [35,36]. Reha – stim firması Gait trainer GT I' i ürettikten sonra, bu cihazda elde edilen bilgi birikimini kullanarak Gait trainer GT II modelini geliştirmiştir.



Şekil 9. Gait trainer GT II robotik rehabilitasyon cihazı modelleri [37].

### 2.3. Ayak Ortezi ve Rehabilitasyon Robotları

Ayak bileğinde meydana gelen rahatsızlıklar sonucunda bireyde mobilite kaybı sıkça görülmektedir. Bu tip hastalarda, rehabilitasyon sürecinde ayak bileğini destekleyecek ve ayak bileğinin hareket yapısına uygun hareketleri aktarabilecek ortezler ve platform temelli cihazlar kullanılmaktadır. Aktif ortez terimi, tipik olarak kullanıcı veya terapist talimatları altında bir veya daha fazla eklemden gücü artırmayı amaçlayan antropomorfik bir cihazı tanımlamak için kullanılır[38]. İlk aktif ortezler 1935 yılında tescil edilmiştir[39]. Aktif ortezlerde MIT yüksek sürtünme ve gürültü gibi problemleri gidermek üzere, vidalı mil ve spiral yay kullanarak bir seri elastik aktüatör ekleyerek alternatif bir tasarım gerçekleştirmiştir [40]. Şekil 10'da MIT ve Arizona State Üniversitesi tarafından tasarlanmış olan aktif ortezler verilmiştir.



Şekil 10. MIT ve Arizona State Üniversitesi tarafından tasarlanmış olan aktif ortezler [41,42]



İlk olarak 1952’ de McKibben tarafından geliştirilen pnömatik aktüatörler, yapay pnömatik kas oluşturmada kullanılmıştır [43]. Bu yapı kullanılarak daha hafif ve kolay üretilen aktif ortezler tasarlanmıştır. Şekil 11’ de Gordon ve arkadaşları tarafından tasarlanmış olan ve çift pnömatik kas kullanılmış aktif ortez gösterilmiştir [44].



**Şekil 11.** Gordon ve arkadaşlarının tasarlamış olduğu aktif ortez [44].

Aktif ortezler ile yapılan çalışmalar ile birlikte ayak bileği rehabilitasyonunda, platform temelli cihazlar geliştirilmiştir. Yapısal olarak hastanın ayağının yerleştirildiği bir platform aracılığı ile hareket aktarımının yapıldığı cihazlardır. Bu kategorideki ilk robot Rutgers Ankle olarak ifade edilir [45]. Ayrıca Liu ve arkadaşları [46], Yoon ve arkadaşları [47] prototip cihazlar geliştirmişlerdir. Bu kategoride geliştirilen pek çok robotik cihaz, tasarımında Gough-Stewart platformundan esinlenmiştir [48]. Şekil 12’ de Rutgers Ankle, Liu ve arkadaşları, Yoon ve arkadaşları tarafından tasarlanan cihazların görselleri paylaşılmıştır



**Rutgers Ankle**



**Liu prototip cihazı**



**Yoon prototip cihazı**

**Şekil 12.** Rutgers Ankle, Liu ve arkadaşları, Yoon ve arkadaşları tarafından tasarlanan prototipler [45,46,47]

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, alt ekstremitenin robotik rehabilitasyonunda kullanılan cihazlar ve teknikleri hakkında bilgi paylaşılmıştır. Geleneksel rehabilitasyon yöntemlerinde rehabilitasyonun başarısı, rehabilitasyonu gerçekleştiren uzmanın tecrübesi ve uygulamaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca rehabilitasyon sürecinin ve hastada meydana gelen düzelmelerin ölçülmesi fizyoterapistler açısından zahmetli süreçler içermektedir. Robotik rehabilitasyon ile zamanın daha verimli kullanılabilmesi ve daha fazla hastanın rehabilite edilebilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca fizyoterapistlerin iş yükünü azaltması sayesinde, uzmanların hastalar ile daha rahat ilgilenebilmesine imkan tanımıştır. Mehrholz ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, fizyoterapi ile birlikte robotik yürüyüş eğitiminin inme sonrası hastalarda bağımsız yürümeyi iyileştirebileceğini gösterdi[49]. Lo ve arkadaşları hafif ve şiddetli bozuklukları olan hastaların bir alt grup analizini gerçekleştirmiştir; robotik cihazlarla tedavi edilen ciddi rahatsızlıkları olan hastaların, geleneksel tedavi ile tedavi edilen hastalara göre daha iyi gelişme gösterdiği sonucuna ulaştılar [50]. Bruni ve arkadaşları 2018'de end-efektör robotların bir kontrol grubuna kıyasla yürüme hızını iyileştirmede önemli ölçüde daha etkili olduğunu bulmuş ve dış iskelet robotlarının geleneksel terapiden daha etkili olduğuna dair hiçbir kanıt bulamamışlardır[51].

### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, alt ekstremitenin robotik rehabilitasyonunda kullanılan cihazlar ve yöntemleri, yürüme rehabilitasyonu açısından değerlendirilerek genel özellikleri ve rehabilitasyon yaklaşımları hakkında bilgi verilmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla robotik rehabilitasyonun avantajlarından bahsedilmiştir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, alt ekstremitenin robotik rehabilitasyonunda kullanılan cihazlar ve yöntemleri değerlendirilmiştir. Bu vesileyle, robotik rehabilitasyon süreçlerinin geliştirilmesinde emeği olan tüm bilim insanlarına teşekkür etmek isterim.

### KAYNAKÇA

- [1] Lloyd-Jones, D., Adams, R. J., Brown, T. M. et al., (2010), "Heart disease and stroke statistics—2010 update: a report from the American heart association," *Circulation*, vol. 121, no. 7, pp. e46–e215.
- [2] Diaz, I., Gil, J.J., Sanchez, E., (2011), *Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges*, Hindawi Publishing Corporation *Journal of Robotics* Volume 2011,
- [3] Smith, D.S., Goldenberg, E., Ashburn, A., et al., (1981) "Remedial therapy after stroke: a randomised controlled trial," *The British Medical Journal*, vol. 282, no. 6263, pp. 517–520.
- [4] Dam, M., Tonin, P., Casson S., et al., (1993) "The effects of long-term rehabilitation therapy on poststroke hemiplegic patients," *Stroke*, vol. 24, no. 8, pp. 1186–1191.

- [5] Perry J, Burnfield JM.,(2010) *Gait Analysis, Normal and Pathological Function*. 2nd ed. Thorofare, NJ: Slack Inc;.
- [6] Molteni, F., Gasperini, G., Cannaviello, G., Guanziroli, E., (2018), *Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review, Innovations Influencing Physical Medicine and Rehabilitation*, 174- 188.
- [7] Morasso P, Casadio M, Mohan V, Rea F, Zenzeri J. (2015), *Revisiting the body-schema concept in the context of whole-body postural-focal dynamics*. *Front Hum Neurosci*;9:83.
- [8] Taub E, Uswatte G, Elbert T. (2002), *New treatments in neurorehabilitation founded on basic research*. *Nature Reviews Neuroscience*;3:228–236
- [9] Majsak MJ. (1996), *Application of motor learning principles to the stroke population*. *Topics in Stroke Rehabilitation*;3:27–59.
- [10] Carr JH, Shepherd R., (1987), *A motor relearning programme for stroke*. London: Heinemann;.
- [11] Van Peppen RP, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, Hendriks HJ, Van der Wees PJ, Dekker J., (2004), *The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: What’s the evidence?* *Clinical Rehabilitation*;18:833–862
- [12] Nilsson L, Carlsson J, Danielsson A, Fugl-Meyer A, Hellstrom K, Kristensen L, Sjolund B, Sunnerhagen KS, Grimby G.,(2001), *Walking training of patients with hemiparesis at an early stage after stroke: A comparison of walking training on a treadmill with body weight support and walking training on the ground*. *Clinical Rehabilitation*;15: 515–527.
- [13] Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG., (1998), *Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice*. *Journal of Neurophysiology*;79: 1117–1123.
- [14] Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, Miltner WH, Taub E, Weiller C.,(2000), *Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans*. *Stroke* ;31:1210–1216.
- [15] Luft AR, Forrester L, Macko RF, McCombe-Waller S, Whittall J, Villagra F, Hanley DF., (2005), *Brain activation of lower extremity movement in chronically impaired stroke survivors*. *Neuroimage*;26:184–194.
- [16] Sale A, Berardi N, Maffei L., (2009), *Enrich the environment to empower the brain*. *Trends Neurosci* ;32:233-239.
- [17] Gerloff C, Bushara K, Sailer A, et al., (2006), *Multimodal imaging of brain reorganization in motor areas of the contralesional hemisphere of well recovered patients after capsular stroke*. *Brain*; 129(pt 3):791-808
- [18] Nudo RJ., (2007), *Postinfarct cortical plasticity and behavioral recovery*. *Stroke*;38(2 suppl):840-845.

- [19] Carr J., Shepherd R. (1987). A Motor Relearning Program for Stroke, Aspen Publishers.
- [20] Ott, C., Albu-Schäffer, A., Kugi, A., Hirzinger, G. (2008), On the passivity-based impedance control of flexible joint robots. IEEE Transactions on Robotics; 24(2):416–29.
- [21] Colombo G., Joerg M., Schreier R., Dietz V. (2000). Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis, Journal of Rehabilitation Research and Development, C.37, No. 6, s. 693–700.
- [22] Sucuoğlu, H., (2018), Robotik Rehabilitasyon, Güneş Yayınevi,35.
- [23] Anas R. Alashram, Giuseppe Annino, Elvira Padua, (2021)Robot-assisted gait training in individuals with spinal cord injury: A systematic review for the clinical effectiveness of Lokomat, Journal of Clinical Neuroscience, Volume 91,Pages 260-269.
- [24] <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/>
- [25] Freivogel, S., Mehrholz, J., Husak-Sotomayor, T., Schmalohr D. (2008). Gait training with the newly developed “LokoHelp”-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study,” Brain Injury, C.22, no. 7-8, s.625– 32.
- [26] Freivogel, S., Schmalohr, D., Mehrholz, J., (2009). Improved walking ability and reduced therapeutic stress with an electromechanical gait device, Journal of Rehabilitation Medicine, C. 41, no. 9, s.734–739,
- [27] <https://www.woodway.com/products/loko-help/>
- [28] West, G. R. (2004). Powered gait orthosis and method of utilizing same, Patent number 6689 075.
- [29] <https://exoskeletonreport.com/product/reoambulator/>
- [30] <https://www.bamateknoloji.com/urunlerimiz/robotik-rehabilitasyon/robogait/>
- [31] <http://walkbot.co.kr/introduction/>
- [32] <https://www.rehatechnology.com/en/>
- [33] <https://thera-trainer.com/en-us/thera-trainer-products/gait/thera-trainer-lyra>
- [34] Surdilovic, D., Bernhardt. R., (2004). “STRING-MAN: a new wire robot for gait rehabilitation,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, May, C.2, s. 2031–2036.
- [35] Werner, C., Von Frankenberg, S., Treig, T., Konrad, M., Hesse, S. (2002). Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized crossover study, Stroke, C.33, no. 12, s.2895–2901.

- [36] Peurala, S. H., Airaksinen, O., Huuskonen, P., Jäkääla, P., Juhakoski, M., Sandel, K., Tarkka I. M., Sivenius, J., (2009). Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke, *Journal of Rehabilitation Medicine*, C.41, no. 3, s.166–173.
- [37] <https://reha-stim.com/gt-ii/>
- [38] Marian G. Alvarez-Perez, Mario A. Garcia-Murillo & J. Jesús Cervantes- Sánchez (2020) Robot-assisted ankle rehabilitation: a review, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 15:4, 394-40
- [39] Cobb G. Walking Motion. 1935. <https://patents.google.com/patent/US2010482>
- [40] Blaya JA, Herr H., (2004), Adaptive control of a variable-impedance ankle-foot orthosis to assist drop-foot gait. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.*;12:24–31.
- [41] Dollar AM, Herr H., (2008), Lower extremity exoskeletons and active orthoses: challenges and state of the art. *IEEE Trans Robot.*;24:144–158.
- [42] Boehler AW, Hollander KW, Sugar TG, et al., (2008), Design, implementation and test results of a robust control method for a powered ankle foot orthosis (AFO). *Robotics and automation, 2008. IEEE International Conference; Pasadena, CA, United States; p. 2025–2030*
- [43] Chou C-P, (1994), Hannaford B. Static and dynamic characteristics of McKibben pneumatic artificial muscles. *Robotics and automation. 1994 IEEE International Conference; San Diego, CA, USA; p. 281–286.*
- [44] Gordon KE, Sawicki GS, Ferris DP., (2006), Mechanical performance of artificial pneumatic muscles to power an ankle-foot orthosis. *J Biomech.*;39:1832–1841.
- [45] Girone MJ, Burdea GC, Bouzit M., (1999), The "Rutgers ankle" orthopaedic rehabilitation interface. *Proc ASME Haptics Symp.*;67:305–312
- [46] Liu G, Gao J, Yue H, et al., (2006), Design and kinematics analysis of parallel robots for ankle rehabilitation. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China; p. 253–258.*
- [47] Yoon J, Ryu J, Lim KB., (2006), Reconfigurable ankle rehabilitation robot for various exercises. *J Robot Syst.*;22:15–33.
- [48] Dasgupta B, Mruthyunjaya TS., (2000), Stewart platform manipulator: a review. *Mech Mach Theory.*;35:15–40
- [49] Mehrholz J, Thomas S, Werner C, Kugler J, Pohl M, Elsner B., (2017), Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*;5:CD006185.

- [50] Lo K, Stephenson M, Lockwood C.,(2017), Effectiveness of robotic assisted rehabilitation for mobility and functional ability in adult stroke patients: A systematic review. JBI Database System Rev Implement Rep 2017;15:3049-3091.
- [51] Bruni MF, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabro` RS., (2018), What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: A systematic review and metaanalysis. Clin Neurosci;48:11-17