



HÜNKAR

HACI BEKTAŞ VELİ
ANMA ve ARMAĞAN KİTABI

750.YIL



Hacı Bektaş Veli'nin
Vefatının 750.
Yılı Dönümü (1209-1271)
UNESCO İhtiyatı Anıtı



2020
UNESCO
HACI BEKTAŞ
VELİ

NÖROLOJİK FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYONDA TEKNOLOJİNİN KULLANIMI

USAGE OF TECHNOLOGY IN NEUROLOGICAL PHYSIOTHERAPY AND REHABILITATION

Büşra KAYABINAR

Erdi KAYABINAR

Özet

Nörolojik hastalıklarda rehabilitasyon uygulamalarının erken dönemdeki ilk hedefi hastanın kaybettiği fonksiyonlarını hızlı bir şekilde geri kazanabilmesine odaklanır. Bu nedenle yaralanmadan sonra, hasta stabil hale geldiği anda rehabilitasyon uygulamalarına başlamak gerekmektedir. Son yıllarda özellikle merkezi sinir sisteminin plastisite özelliğinin ortaya çıkarılabilmesi, motor öğrenmenin sağlanabilmesi ve hastaların hastalıkları ile ilişkili duyuşal, motor, kognitif ve emosyonel bütün problemlerinin ortak bir yaklaşım ile tedavi edilebilmesi için teknolojik gelişmeler rehabilitasyonda sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen dünyada teknolojiye yaşanan büyük ilerlemeler ile birlikte rehabilitasyon ekibinin hastaya erken ve hızlı müdahaleleri konusunda elleri çok güçlenmiştir. Elektrik stimülasyonu (NMES) ve fonksiyonel elektrik stimülasyonu ile hastanın kas aktivitelerinin reedükasyonu ve fonksiyonel iyileşmesinin sağlanması amaçlanır. Biyofeedback uygulamaları, EMG uygulamaları ve bunların NMES ile kombine uygulaması olan EMG-Biyofeedback yaklaşımları hastaların duyuşal uyarılarını kontrol edebilmesini ve bunlara uygun motor cevapları ortaya çıkarabilmesini sağlar. Üst ve alt ekstremitelerde robotik teknolojileri, yürüme fonksiyonu, el becerileri, uzanma aktiviteleri gibi nörolojik etkilenimi olan hastaları günlük yaşam aktivitelerinde en fazla etkileyen bozuklukların erken dönemde fonksiyonel olarak tedavi edilebilmesi ve hastanın cesaretinin artırılabilmesi için önemlidir. Bilgisayarlı dinamik postürografi cihazları ile hastanın günlük yaşam aktivitelerini daha güvenli bir çevrede ve daha becerili olarak sürdürebilmesi için gereken denge yeteneğinin kazandırılması ve artırılması amaçlanır. Sanal gerçeklik uygulamaları, rehabilitasyonun her döneminde hastanın gelişimini sağlayabilmek için fiziksel olarak oluşturulamayacak işitsel, görsel ve hastanın normal duyuşal integrasyon yeteneği üzerinde etki oluşturabilecek diğer uyarıların, bilgisayar donanım ve yazılımları ile oluşturulan

sanal ortamda uygulanmasını amaçlar. Bu sayede hasta gerçek dünyadaki nesnelere ve uyarılara benzer sanal bir ortamda tedaviye başlar ve daha sonra sanal dünyada elde ettiği becerilerini gerçek dünyaya aktarır. Hastaya günlük yaşam aktivitelerinde destek olmayı amaçlayan nöroprotezler, kayıp fonksiyonların restore edilmesinde dışarıdan verilen stimülasyon desteğinin kullanıldığı ekzoskeleton cihazlardır. Nöroprotezler hastanın sensorimotor sistemi ile entegre halde ve teknolojiye diğer gelişmeler ile birlikte beyin-bilgisayar arayüzü sistemleri olarak da kullanılabilir. Son zamanlarda kullanımı giderek yaygınlaşan tele-rehabilitasyon uygulamaları ise hastaların ortam ve zaman farketmeden rehabilitasyon

hizmetlerine hızlı, efektif ve kolay bir şekilde ulaşmasını ve rehabilitasyon hizmetlerinin her daim kesintisiz devam etmesini sağlar. Bütün bu teknolojiler, erken dönemde motor öğrenme prensiplerine dayalı rehabilitasyon yaklaşımlarının hızlı bir şekilde başlamasını, hastaların rehabilitasyona daha istekli katılmalarını ve rehabilitasyonun kalitesini artırmaktadır. Bu teknolojilerin hemen hemen hepsi bütün nörolojik etkilenimi olan hastalarda kullanılabilir ancak hastaların etkilenim düzeyi, etkilenen merkezi sinir sistemi bölgeleri, prognozu ve kognitif becerileri hangi hastanın hangi teknolojik destekten ne kadar yarar sağladığını etkileyebilmektedir. Bu bölümde amacımız nörolojik etkilenimi olan hastaların rehabilitasyonunda, hastaların fonksiyonel düzeylerine ve etkilenimlerine göre, kullanımı uygun olan rehabilitasyon teknolojilerinin tanımlanması ve tartışılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Nörolojik rehabilitasyon. Rehabilitasyon teknolojileri. Fizyoterapi ve rehabilitasyon.

Abstract

The first aim of the rehabilitation approaches to the patients who had neurological disorders is focused on the rapid recovery of the lost functions of the patients. Therefore, after the injury, it is necessary to begin the rehabilitation approaches as soon as the patient becomes stable. Nowadays, technological developments have been used frequently in rehabilitation to reveal the plasticity of the central nervous system, to improve motor learning abilities and to treat all sensory, motor, cognitive and emotional problems associated with patients' diseases with a common approach. With the great improvements in technology in the developing world, the rehabilitation team has more opportunities in terms of approaching early and rapid interventions to the patient. With electrical stimulation (NMES) and functional electrical stimulation, it is aimed to ensure the reeducation and functional recovery of the patient's muscle activities. Biofeedback applications, EMG applications and EMG-Biofeedback approaches, which are combined with NMES, enable patients to control their sensory stimuli and reveal appropriate motor responses. Upper and lower extremity robotic technologies are important for early functional treatment of the disorders that most affect patients with neurological disorders in daily living activities such as gait function, hand skills, reaching out activities, and to increase the patient's courage. With computed dynamic posturography devices, it is aimed to gain and increase the balance ability required for the patients to continue their daily living activities in a safer environment and more skillfully. To ensure the development of the patients in every period of rehabilitation, virtual reality approaches aim to apply the auditory, visual and other stimuli which can affect the normal sensory integration ability of the patient that cannot be physically created, in a virtual environment created with computer hardware and software. Thus, the patient begins treatment in a virtual environment similar to real-world objects and stimuli, and then transfers these skills acquired in the virtual world to the real world. Neuroprostheses that aim to support the patient in daily living activities are exoskeleton devices that use external stimulation support to restore lost functions. With other developments in technology, neuroprostheses can also be used as brain-computer interface systems which are integrated with the patient's sensorimotor system. Tele-rehabilitation practices, which are becoming more common in recent years, enable patients to access rehabilitation services quickly, effectively and easily, regardless of the environment and time, and thus rehabilitation services can continue uninterrupted. All these technologies increase the rapid initiation of rehabilitation approaches based on

the principles of motor learning in the early stage, the willingness of patients to participate in rehabilitation and the quality of rehabilitation. Almost all of these technologies can be used in patients with all neurological disorders, however the level of injury, affected central nervous system regions, prognosis and cognitive skills of the patients can affect which patient benefits from which technological support. In this chapter, we aim to define and discuss the rehabilitation technologies that are appropriate for the rehabilitation of patients with neurological disorders, according to their functional levels and injuries.

Keywords: Neurological rehabilitation. Rehabilitation technologies. Physical therapy and rehabilitation.

Giriş

Nörolojik etkilenimi olan hastalarda, motor, duyuşsal, kognitif ve emosyonel fonksiyonlar genellikle birarada etkilenir ve bu durum hastaların sağlıkla ilişekli yaşam kaliteleri ve aktivite limitasyonları ve katılımları üzerinde büyük bir etkiye yol açar (Joseph & Rhoda, 2013; Särkämö, 2018; Umphred & Lazaro, 2012). Bu nedenle hastalarda ilk hedef nörolojik iyileşme ve fonksiyonel iyileşmenin birlikte ve erken dönemde sağlanmasıdır (Karaduman, Yıldırım, & Yılmaz, 2016). Özellikle sinir hasarları ile seyreden nörolojik etkilenimlerde nöroplastisite mekanizmaları hastalarda spontan olarak nörolojik iyileşmenin ortaya çıkmasını sağlayacaktır (Cramer & Riley, 2008). Ancak bu spontan iyileşmenin sınırlarının geliştirilebilmesi, hızlandırılabilmesi ve nörolojik iyileşmenin fiziksel etkilenimin sınırları içerisinde hastaların günlük yaşam aktiviteleri ve katılımlarına aktarılabilmesini sağlayan fonksiyonel iyileşmeye dönüştürülebilmesi için iyi bir rehabilitasyon uygulaması şarttır (Karaduman et al., 2016).

Literatür incelendiğinde nörolojik hastalıkların rehabilitasyonunda en etkili yöntemlerin motor öğrenme temelli yaklaşımlar olduğu görülmektedir (Levin & Demers, 2020). Amaca yönelik istemli davranış ve görevler olarak tanımlanan motor becerilerin kazanılabilmesi ve harekette kalıcı değişiklikler haline dönüşmesi için çok tekrarlı, amaca yönelik deneyim ve alıştırmalara, yani motor öğrenme sürecine ihtiyaç vardır (R. Schmidt & Lee, 2019; R. A. Schmidt, 1991). Motor öğrenme sürecinin birey, çevre ve görev üzerine odaklanan yapısı ve çok sayıda tekrar, geri bildirim, çevre düzenlemesi, uzamış rehabilitasyon süreleri gibi birçok komponente ihtiyaç duyması nedeniyle, nörolojik hastalığa sahip kişilerin rehabilitasyonunda görev alan ekibin üzerinde oluşturacağı yük ise kaçınılmazdır (Kernan et al., 2014). Son yıllarda teknolojidaki büyük ilerlemeler ile birlikte rehabilitasyon ekibinin hastalara erken ve hızlı müdahale edebilmek ve motor öğrenmeye dayalı rehabilitasyon sürecini daha efektif olarak kullanabilmek konusunda elleri güçlenmiştir. Teknolojinin rehabilitasyonda kullanılması sadece ekibin yükünü azaltmamakta aynı zamanda objektif ölçme ve değerlendirmelerin yapılabilmesi, geri bildirim miktarının artırılabilmesi, hasta motivasyonunun artırılması, hastanın durumuna göre içerisinde bulunması tehlikeli olan dış ortamların sanal gerçeklik gibi teknolojiler ile güvenli rehabilitasyon ortamına getirilmesi gibi etkilere de sahip olmaktadır (Dixit & Tedla, 2019; Karaduman et al., 2016; Tarakcı & Tarakcı, 2019).

Bu bölümde, son yıllarda klinikte kullanımı giderek artan motor öğrenme ve teknoloji tabanlı rehabilitasyon yaklaşımlarının nörolojik etkilenimlere sahip hastalarda uygulama yöntemleri ve etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, literatürde kanıt düzeyi en yüksek olan ve klinikte sıkça karşılaşılan, FES-nöroprotez, robotik teknolojiler, sanal gerçeklik, EMG biyofeedback, beyin bilgisayar arayüzleri ve telerehabilitasyon yaklaşımları bu bölüm içerisinde tartışılacaktır.

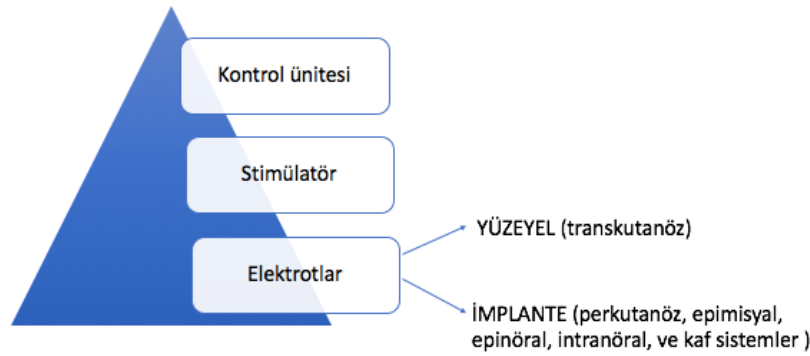
1. FES-Nöroprotezler

Fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES), merkezi sinir sistemi hasarı sonucunda paralize olan kasları elektrik stimülasyonu ile uyararak ayakta durma, ambulasyon veya günlük yaşam aktiviteleri gibi fonksiyonel görevleri başarmak amacıyla kullanılan bir tedavi yöntemidir. Bir aktivite sırasında kasın kasılması gereken zamanda kasılmaları stimüle ederek aktiviteye katkıda bulunur. Elektrik stimülasyonu deri, kas ve eklemlerin duyuşsal geri bildirimini artırarak ilgili motor aktivasyonu geliştirmeye yardımcı olmaktadır. FES'in diğer rehabilitasyon teknikleriyle kombine olarak kullanıldığında motor öğrenmeyi artırarak hastaların istemli ve fonksiyonel hareketleri gerçekleştirebilmelerine katkı sağlayacağına inanılmaktadır (Karaduman et al., 2016; Tarakcı & Tarakcı, 2019).

FES kasların motor nöronlarında aksiyon potansiyeli oluşmasını sağlar. Bu nedenle nöroprotezlerin kullanılmasında gerekli olan durum kası stimüle edecek olan motor nöronların sağlam olmasıdır (Dietz & Morariy). Bu nedenle FES inme, travmatik beyin hasarı, serebral palsi, multipl skleroz ve medulla spinalis yaralanması (MSY) gibi üst motor nöron lezyonu hasarlarına bağlı gelişen paralizi durumlarında kullanılmaktadır.

FES hem nöroprostatik hem de terapötik amaçlar ile uygulanabilir. Nöroprotez olarak kullanımına ayakta durma ve adım alma için FES uygulamaları örnek verilebilir. Burada bir teknolojik cihaz olmadan yapılamayacak bir fonksiyonun yapılması amaçlanır. Ancak, bu tür sistemlerin klinik olarak kabul edilebilirliği, elektrotların uygulanmasının karmaşıklığı, belirli kasların aktivasyonunu kontrol etme ve kaslardaki hızlı yorgunluk oranı nedeniyle sınırlıdır, bu da bu tür sistemlerle yürüyen hastaların genellikle 100 metreden daha az yürümesine neden olur. Ek olarak, bu tür sistemler, tipik olarak manuel olarak kontrol edilen anahtarlara dayandıklarından ve beyin ile spinal motor havuzları arasındaki ayrılmış yolların nöroplastisitesini kullanamadıklarından, supraspinal kontrolden yoksundur. Amaç istemli işlevi geri kazanmak ve FES, nöromüsküler sistemin bozulmuş bir işlevin yerine getirilmesini yeniden öğrenmesine yardımcı olmak için geçici olarak uygulanacaksa, FES terapötik bir amaca hizmet etmektedir (Wirz & van Hedel, 2018).

FES'in üç ana parçası vardır. (Şekil 1)



Şekil 1. FES Parçaları

Kontrol Ünitesi: FES kontrol sistemi kullanıcının niyeti ile fonksiyonel performansın ilişkilendirilmesine yönelik önemli bir olanak sağlar. Fizyoterapist kontrollü FES sistemlerinin tuş ve anahtarları vardır. Hasta kontrollü FES sistemlerinin (ör. Nöroprotezler) ise anahtarlar, düğmeler, joystickler, eklem pozisyon sensörleri, EMG elektrotları, ses aktivasyonlu kontroller, çekme ve üfleme cihazları gibi çeşitli kontrol mekanizmaları vardır (Karaduman & Yılmaz, 2017).

Stimülâtör: Stimülâtörler eksternal (radyo sinyalleri), kısmen veya tamamen implante şeklinde olabilir. Pille çalışan mikrostimülâtörler geliştirilme aşamasındadır (Karaduman & Yılmaz, 2017).

Elektrotlar: Elektrik stimülasyonu; spinal kord nöronları, periferik sinirler veya kası çevreleyen deri gibi çeşitli yerlere uygulanabilir (Luo, Xu, Zuo, Liu, & All, 2020). Perkütan sistemler, deri bariyerine nüfuz eden ve yönlendirilmiş aktivasyon için kaslara implante edilen kas içi elektrotları kullanır. İmplant sistemler uzun dönem kullanım için tasarlanmış olup ve cerrahi olarak yerleştirilirler. En kolay uygulanabilen elektrot, cilde konulan ve periferik sinir ya da motor nokta üzerinden direkt uyarı veren yüzeysel (transkutanöz) elektrottur (Lombardo et al., 2018).

MSY'de tipik FES seansları, bisiklet veya kürek çekme gibi belirli bir görev gerçekleştirilirken paralizili sinir veya kasa uygulanan elektriksel uyarıları içerir. FES ve diğer nöromüsküler elektrik stimülasyonlarının kan dolaşımını, hareket açıklığını, kas gücünü ve kas spastisitesini iyileştirebileceği gösterilmiştir. FES, kasları belirli bir eylemi başlatmak için uyarabilir veya hasarlı sinaptik bağlantıların yeniden kurulmasını ve yenilenmesini destekleyebilir. MSY'den sonra rehabilitasyon sürecinde, özellikle üst ve alt ekstremitte işlevlerini iyileştirmek ve eski haline getirmek, kardiyopulmoner sağlığı korumak ve mesane kullanımını kontrol etmek için önemli bir rol oynar. FES'in kemik kütleliğini korumaya, spastisiteyi hafifletmeye, basınç ülserlerini azaltmaya ve denge ve duruşu kontrol etmeye yardımcı olabileceği de gösterilmiştir (Luo et al., 2020).

FES'in inmeli hastalarda; aktif normal eklem hareket açıklığını, kaslar arasında koordinasyonu yürüme hızını ve yürüme ahengini artırdığı, hem alt hem de üst ekstremiteye faydalı olduğu bilinmektedir (Howlett, Lannin, Ada, & McKinstry, 2015; Pilkar, Ramanujam, & Nolan, 2017). Aynı zamanda birçok çalışmada FES'in akut dönemde omuz sublüksiyonunu önlemekte etkili olduğu bulunmuştur (Arya, Pandian, Vikas, & Puri, 2018).

Şekil 2'de üst ve Şekil 3'te alt ekstremit için kullanılan nöroprotezlere örnekler gösterilmiştir.



(https://www.bioness.com/Documents/H200HCP/Product_Brochure_Professional_NESS_H200.pdf sitesinden alınmıştır.)

Şekil 2. Üst Ekstremit Nöroprotezi



(https://www.bioness.com/United_Kingdom/L300_for_Foot_Drop/What_is_It.php sitesinden alınmıştır.)

Şekil 3. Alt Ekstremit Nöroprotezi

2. Robotik Teknolojiler

Rehabilitasyonda kullanılan robotlar üst ve alt ekstremit robotları olarak yer almakta ve sağladıkları görev odaklı tekrarlı hareketler ile nörolojik bozukluğu olan hastalarda kas koordinasyon ve kuvvetinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

2.1. Üst Ekstremit Robotları

Üst ekstremit yemek yeme, giyinme, yazı yazma ve objelerin manipülasyonu gibi birçok günlük yaşam aktivitesinde önemli role sahip olan bir uzuvdur. Bu nedenle üst ekstremit bozukluklarında ortaya çıkan en önemli problem günlük aktivitelerdeki bağımsızlığın ve yaşam kalitesinin azalmasıdır. Rehabilitasyon alanında kullanılan üst ekstremit robotlarının amaçları, hastanın amaca yönelik hareketi tamamlamasına yardımcı olmak ve hareketi tekrarlı bir şekilde pratik ettirmektir (Dixit & Tedla, 2019). Özellikle inme olmak üzere, multipl skleroz, travmatik beyin hasarı ve medulla spinalis yaralanması gibi birçok nörolojik hastalıkta rehabilitasyona destek sağlamak amacıyla üst ekstremit robotları kullanılmaktadır (Dixit & Tedla, 2019; Duret, Grosmaire, & Krebs, 2019).

Üst ekstremitte robotları ekzoskeleton ve end-effektör sistemler olarak kullanılabilir. Ekzoskeleton robotlar üst ekstremitte kinematiğine daha fazla uyum sağlarken, end-effektör robotlar ile distal bölgede daha büyük kuvvet ve hareketlerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır (Duret et al., 2019). Yine üst ekstremitte robotları sadece pasif hareketler yaptırabilen, aktif harekete yardım eden ve sadece aktif hareket yaptırabilen cihazlar olarak rehabilitasyonda kullanılanlar, günlük yaşam aktivitelerine yardım edenler ve her iki amaç için de kullanılabilen cihazlar olarak sınıflandırılabilir (Dixit & Tedla, 2019; Islam, Spiewak, Rahman, & Fareh, 2017). Unilateral ya da bilateral kullanıma uygun olan bu üst ekstremitte robotlarının büyük bir kısmı sanal gerçeklik ve oyun teknolojileri ile birarada geliştirilmiştir (Islam et al., 2017). Üst ekstremitte robotlarının rehabilitasyonunda kullanılmasında bir önemli kavram da serbestlik dereceleridir. Serbestlik derecesi robotun hareketi sağladığı düzlem ve eksenleri ifade etmektedir (Tarakcı & Tarakcı, 2019).

Üst ekstremitte robotik rehabilitasyonunda en büyük avantaj hastaların kendi başlarına ve bağımsız olarak robot yardımcı rehabilitasyona katılmaları sayesinde terapistlerin üzerindeki iş yükünde azalmaların sağlanması ve hastaların motivasyonlarının artmasıdır (Dixit & Tedla, 2019).

Üst ekstremitte robotlarının gelişim süreci 1960'lı yılların başlarına dayansa da modern anlamda geliştirilmeleri ve rehabilitasyonda ilk kullanımları 1990'lı yılların sonlarına dayanmaktadır. Bu teknolojinin ilk denendiği hasta grubu ise inmeli hastalardır (Duret et al., 2019; Islam et al., 2017). İlk kullanılan cihaz dirsek ve omuz hareketlerine yoğunlaşan ve 2 dereceli serbestliğe imkan tanıyan MIT-Manus robot ismi verilen cihazdır (Aisen, Krebs, Hogan, McDowell, & Volpe, 1997). MIME ismi verilen bir diğer cihaz 6 derece serbestliğe sahiptir ve bilateral uygulamalar için kullanılabilir (Burgar, Lum, Shor, & Van der Loos, 2000). Bi-Manu-Track isimli robot ise 1 derece serbestlik ile ön kolda pronasyon/supinasyon ve elbileğinde fleksiyon/ekstansiyon hareketlerine yoğunlaşmaktadır (Hesse, Schulte-Tigges, Konrad, Bardeleben, & Werner, 2003). Bu cihazlar üst ekstremitte robotik teknolojilerinde en eski cihazlar olsa da kullanımları ve geliştirilmeleri devam etmektedir. Daha sonraki süreçte ekzoskeleton ve end-effektör tipte Armeo Spring, Armeo Power, Myomo, InMotion, Burt, Kinarm, Haptic Master, ARM Guide ve REAplan gibi robotlar da geliştirilmiştir (Duret et al., 2019).

Üst ekstremitte robotik teknolojilerinin nörolojik hastalıklarda etkilerini değerlendiren derleme çalışmaları incelendiğinde; en çok çalışmanın inmeli hastalarda yapıldığı ve çelişkili sonuçların elde edildiği görülmektedir (Dixit & Tedla, 2019). Birçok çalışma en büyük gelişmenin akut ve subakut dönemdeki etkilim düzeyi daha fazla olan hastalarda ortaya çıktığını göstermektedir (Dixit & Tedla, 2019; Duret, Hutin, Lehenaff, & Gracies, 2015). Serebral palsili popülasyonda yapılan çalışmalarda üst ekstremitte robotik teknolojilerinin etkinliği daha fazla gösterilirken, MS'te ek bir etki ortaya çıkarmadığı ve medulla spinalis yaralanması ve parkinson hastalarında da etkili olmadığı gösterilmektedir (Dixit & Tedla, 2019; Duret et al., 2019). Üst ekstremitte robotik teknolojileri ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bu çelişki sonuçların nedeninin; robotların, karmaşık ve zor bir fonksiyonelliğe sahip olan elin kavrama hareketlerinin robotlar tarafından uygun kinematik içerisinde yapılamaması ve bu nedenle üst ekstremitte fonksiyonelliğini inceleyen testlerde gelişmelerin görülebilmesi olacağı düşünülmektedir (Karaduman et al., 2016).

2.2. Alt Ekstremitte Robotları

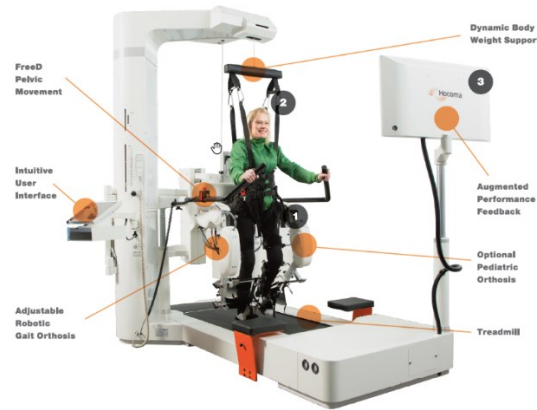
Nörolojik rehabilitasyonda yürüme becerisinin yeniden kazandırılması, geliştirilmesi ya da korunması oldukça önemli bir yer tutmaktadır ve günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirebilmek için rehabilitasyonun temel amaçlarındandır. Bu nedenle klasik tedavilere ek olarak uygulanan robot yardımcı yürüme eğitimleri yürüme becerisini geliştirmek için rehabilitasyon alanında ki kliniklerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Alt ekstremitte robotlarının geliştirilmesi vücut ağırlığı destekli yürüme bandı sistemlerine dayanmaktadır. Bu sistemde hastaların gövdelerine ağırlıklarını alacak bir harnes sistemi bağlanır ve

hasta yukarı doğru asılır. Böylece hasta düşme riski olmadan yürüyüş bandı üzerinde adım alabilir ve alt ekstremitelerine ağırlık aktarabilir. Ancak bu sistemde bir veya daha fazla fizyoterapistin el ile hastanın adımlarını pozisyonlaması, yürüyüş ritmini ayarlaması gerekmektedir. Yorucu ve maliyetli bu yöntem yerine robotik destekler ile hastanın ekstremitelerini pozisyonlayan ve destekleyen yürüyüş ritmini ayarlayan robot yardımlı yürüyüş sistemleri geliştirilmiştir (Stein et al., 2012). Yürüme robotları temel olarak ekzoskeleton ve end-effektör cihazlar olarak iki başlık altında incelenmektedir.

Ekzoskeleton robotlar kalça, diz ve ayak bileği eklemlerini hareket ettirir ve yürüyüş döngüsü sırasında kontrol uygular. Hastanın anatomik eksenleri ile hizalanmış eksenlere sahiptir ve doğrudan eklemlerin kontrolünü sağlar. End-effektör robotlar ise sadece ayakları hareket ettirir ve genellikle duruşu ve dönüş evrelerini simüle eden bir destek (ayak plakası) üzerine yerleştirilir. Kalça ve diz eklemleri serbesttir ve aktif katılım gerektirir. Ekzoskeleton tip cihazlara ülkemizde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Teknokent'te geliştirilen RoboGait, Lokomat, OP LOPES; end-effektör cihazlara G-EO, Lokohelp, Haptic Walker ve Gait Trainer örnek olarak gösterilebilir (Cho et al., 2018; Demir, 2015).

Şekil 4 ve Şekil 5'te farklı yürüyüş robotlarına örnek gösterilmiştir.



(<https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/> sitesinden alınmıştır.)

Şekil 4. Lokomat



(<http://www.bamateknoloji.com/urunlerimiz/robotik-rehabilasyon/robogait/> sitesinden alınmıştır.)

Şekil 5. RoboGait

Robot yardımlı yürüme eğitimlerinin ortak bir avantajı, kısmen veya tamamen vücut ağırlığını taşımayı desteklemesi ve terapistin tek başına başarması zor olan, ambulatuvar olmayan hastalar için yüksek yoğunluklu, karmaşık yürüyüş döngüsü eğitimine izin vermesidir. Robotik bir cihazla vücut ağırlığı desteği, ambulatuvar olmayan hastalarda yürüme iyileşmesini kolaylaştırır. Ek olarak, robot yardımlı

yürüme eğitimi terapistin yükünü hafifletir, eğitim sırasında düşmeyi önleyerek hasta güvenliğini sağlar ve sürekli ve tekrarlanabilir bir eğitim sunar (Cho et al., 2018).

İnmeli hastalarla yapılan birçok çalışma robot yardımcı yürüme eğitiminin hastaların yürüme, mobilite, denge, günlük yaşam aktiviteleri ve yaşam kalitesi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Cao, Xie, Das, & Zhu, 2014; Kayabınar, Özalp, Koçyiğit, As, & Elbasan, 2019).

Multipl sklerozlu hastalarla yapılan bir çalışmada robot yardımcı yürüme eğitiminin sanal gerçeklikle birlikte uygulandığında hastaların denge ve problem çözme becerilerini daha fazla geliştirdiğini ve tedavinin etkinliğini güçlendirdiğini göstermektedir (Calabrò et al., 2017).

Medulla spinalis yaralanmalı hastalarda da robot yardımcı yürüme eğitiminin yürüme mesafesi, bacak kuvveti, fonksiyonel seviye ve bağımsızlık düzeylerini artırdığı gösterilmiştir (Nam et al., 2017).

3. Sanal Gerçeklik

Sanal gerçekliği (Larsen et al., 2009), gerçek zamanlı, interaktif ve çoklu duyuşal girdilerden oluşan bilgisayar tabanlı stimülasyon ortamının kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar SG uygulamaları ile bilgisayar tarafından yaratılmış yapay dünyaya girebilme, orada çeşitli deneyimler yaşayabilme ve orayı yönlendirebilme olanağı bulmaktadır (Laver et al., 2017; Weiss, Kizony, Feintuch, & Katz, 2006).

SG ilk kez İngiliz yazar Ray Bradbury tarafından 1950 yılında ‘The Veldt’ adlı kısa hikayede bahsedilmiştir. Hikayede; varlıklı bir aile Afrika bozkırlarını görüntü, ses, koku gibi birçok duyuya hitap eden özellikleriyle 3 boyutlu olarak temsil edebilen bir sistem alır ve çocuklarının odasına kurar, zamanla çocukların bu sanal Afrika dünyasına duydukları tutkunun artmasından endişe duyan aileninö sanal dünyayı kaldırmaları anlatılmaktadır (Kurbanoglu, 1996).

SG teknolojileri ilk kez 1980’li yıllarda kullanılmaya başlanmış daha sonra 90’lı yıllarda programlama ve bilgisayar teknolojilerinde ilerlemeyle kullanımı yaygınlaşmıştır. Askeri alanlarda, otomobil-uçak ve petrol-gaz endüstrilerinde, pilotlar için uçuş simülasyonu eğitiminde, cerrahlar için prosedür eğitiminde, fobi, travma sonrası stres bozukluğu ve vücut imaj bozuklukları tedavisinde kullanılmıştır (Jiandani, Nair, & Shukla, 2014; Larsen et al., 2009; Lintern, Roscoe, Koonce, & Segal, 1990; Raghav et al., 2016). Rehabilitasyon konusundaki araştırmalar teknoloji daha erişilebilir ve uygun fiyatlı hale geldikçe daha yaygın hale gelse de sanal gerçekliğin kullanımı henüz klinik rehabilitasyon ortamlarında rutin olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle daha ucuz ve kolay ulaşılabilir olan oyun konsolları rehabilitasyon amaçlı kullanıma alternatif olarak kullanılmaktadır (Laver et al., 2017).

SG sistemleri; kullanıcıları sanal ortama bağlayan görsel, işitsel ve dokunsal araçlar, kullanıcının hareketlerini ve konumunu algılayan eldiven ve joystick gibi araçlar, sanal ortamı oluşturacak bir grafik görüntü oluşturma sistemi ve sanal dünyadaki nesnelere oluşturacak bir yazılım ve veritabanından oluşmaktadır (Tarakcı & Tarakcı, 2019).

SG ile ilgili iki önemli kavram “daldırma” ve “varlık”tır. Daldırma, kullanıcının gerçek dünyadan ziyade sanal ortamda olduğunu ve yazılım ve donanımın tasarımıyla ne ölçüde ilişkili olduğunu ifade eder. Daldırmanın dereceleri değişebilir. Konkav bir yüzeye yansıtılan, kafaya monte edilen ekran ya da kullanıcının sanal ortamda temsil edildiği video çekimi içeren sistemler sürükleyici olarak tanımlanır. Tek ekranlı bir yansıtma veya masaüstü ekran düşük daldırma olarak kabul edilir. 3 boyutlu sistemler sürükleyici daldırmaya, masa başı sistemler ise düşük daldırmaya örnek olarak verilebilir. Varlık kavramı ise kullanıcıların özel deneyimi olarak tanımlanır ve sanal gerçeklik sisteminin özelliklerine (iki veya üç boyutlu sistemler), sanal göreve (görevin anlamlılığı, ne kadar gerçekçi olduğu) ve bireylerin yaş, cinsiyet gibi özelliklerine bağlıdır (Weiss et al., 2006). Bazı kullanıcılarda SG

uygulanması sonucu siber hastalık adı verilen mide bulantısı, baş ağrısı gibi bulgular ortaya çıkmaktadır (Karaduman & Yılmaz, 2017).

Sanal gerçeklikle karıştırılmaması gereken bir başka kavram da artırılmış gerçekliktir. Artırılmış gerçeklik sanal ve gerçek nesnelere gerçek bir ortamda birleştiren, etkileşimli ve gerçek zamanlı çalışan bir sistemdir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarının da sağlık alanında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Tarakcı & Tarakcı, 2019).

Nörolojik rehabilitasyonun önemli komponentleri olan nöroplastisiteyi destekleyen amaca yönelik, çok tekrarlı eğitimlerin SG uygulamaları ile verilebilmesi önemli bir avantajdır. İnmeli hastalarda SG eğitiminin hareket kalitesini ve fonksiyonel kapasiteyi artırdığı bilinmektedir. Aynı zamanda SG uygulamaları klasik tedavilere destek olan eğlenceli bir tedavi yaklaşımı olarak görülmekte ve hastaların motivasyonunu artırmaktadır (Kayabınar, Alemdaroğlu-Gürbüz, & Yılmaz, 2021). Parkinson hastalarında yapılan çalışmalar SG uygulamalarının yürüyüş, denge ve yaşam kalitesi üzerinde iyileşme sağlayabileceğini bildirmektedir. Benzer şekilde SG'nin multipl skleroz hastalarında da motor ve bilişsel bozukluklarda etkili bir tedavi yöntemi olabileceği düşünülmektedir (Tarakcı & Tarakcı, 2019).

4. EMG-Biofeedback

Biofeedback bir kaynağın oluşturduğu bilginin kaynak tarafından anlaşılabilmesi ve kontrol edilebilmesi için, tekrar kaynağa geri döndürülmesi anlamına gelmektedir (Uzunca, 2007). Nörolojik rehabilitasyonda öğrenme, hareketlerin doğru ve kontrollü yapılabilmesi, performansın geliştirilebilmesi için bu geribildirimlerin olması oldukça önemlidir. Biofeedback rehabilitasyon hastalarında; spastisite yönetimi, denge ve yürümenin geliştirilmesi, kas kuvvetinin artırılması, mesane ve bağırsak fonksiyonlarının tedavisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Karaduman & Yılmaz, 2017; Uzunca, 2007).

EMG-biofeedback uygulamasında hastanın bir aktivite içerisinde istemli kas kasılmalarından elde edilen EMG sinyalleri önceden belirlenen eşik geçtiğinde aktivitenin tamamlanması için kasa elektrik stimülasyonu uygulanmaktadır. Burada ki eşik hastanın önceki denemelerine göre belirlenmektedir (Karaduman & Yılmaz, 2017).

İnmeli hastalarda EMG-biofeedback ile ilgili çalışmalar çoğunlukla yürüyüş üzerine odaklanmaktadır. Bu amaçla tibialis anterior kası ve diğer ayak bileği dorsi fleksör kaslarının aktivitesine yardımcı olmaya ve plantar fleksör kaslarda ki spastisite yönetimine yönelik uygulamalar yapılmaktadır (Karaduman et al., 2016). Alt ekstremitede EMG-biofeedback uygulamalarının yürüyüş hızını artırdığı, üst ekstremitede ise el bileği ekstansiyonu, kavrama ve uzanma fonksiyonlarında gelişmeler sağladığı gösterilmiştir (Karaduman & Yılmaz, 2017).

5. Beyin Bilgisayar Arayüzleri

Amiyotrofik lateral skleroz, multipl skleroz, beyin ve medulla spinalis yaralanması, kas yetersizliği gibi nörolojik hastalıklara sahip bireylerde zaman içerisinde kaslarını kullanma yeteneğinde kayıp meydana gelir ve bu durum bireylerin çevre ile iletişimlerinde de kayıplara neden olur. Beyin bilgisayar arayüzleri bu durumlarda bireylerin kaslarını kullanmadan bir elektronik sistemi, elektromekanik sistemi veya yazılım sistemlerini kullanmalarına imkân tanıyan sistemlere verilen isimdir. Beyin bilgisayar arayüzleri, beyin sinyallerini kaydeder ve bunları kontrol ve iletişim komutlarına dönüştürebilir (Kayıkçıoğlu, Maleki, & Ketenci, 2018; Olgun & Türkoğlu, 2017; Yağanoğlu, Bozkurt, & Günay, 2014).

Beyin bilgisayar arayüzleri invaziv olmayan ve invaziv olmak üzere iki başlıkta incelenebilmektedir. İnvaziv-olmayan yöntemlere elektroensefalografi (EEG), magnetoensefalografi (Kassebaum et al.), pozitron emisyon tomografi (Burgar et al.), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve

yakın kızılötesi (NIR) spektroskopi teknikleri örnek gösterilebilir. Bu yöntemlerde elektrotlar kafa derisi üzerine yerleştirilmektedir ve invaziv yöntemlere göre maliyet daha düşüktür. İnvaziv yöntemlerde ise beynin hedeflenen bölgesi üzerindeki kafatası çıkartılmakta, algılayıcılar beynin açıkta kalan bölgesi üzerine direkt olarak yerleştirilmektedir (Kayıkçıoğlu et al., 2018).

BBA sistemleri ile; bilgisayar ekranına metin yazdırılması ve yazdırılan metinlerin seslendirilmesi, SMS benzeri iletişim teknikleri ile yardım talebinde bulunulması, tekerlekli sandalye kontrolü, elektrikli cihazların açılıp kapatılması, robot kollarının kontrolü benzeri işlemler yapılabilmektedir (Olgun & Türkoğlu, 2017). Teknolojideki gelişmeler sayesinde yetersiz çalışan ekstremitelere yerleştirilen bir nöroprotezin beyinde oluşan sinyaller aracılığıyla kontrolü sağlanabilmektedir (Karaduman et al., 2016).

6. Telerehabilitasyon

Tele kelimesi latince uzak/uzaktan anlamlarına gelmektedir. Telerehabilitasyon ise rehabilitasyon hizmetlerinin kominikasyon yöntemleri kullanılarak hastalara klinik ortamına gelmeden ulaştırılması anlamına gelmektedir (Laver et al., 2020). Bu yöntemlerin içerisinde videokonferanslar, telefon görüşmeleri, mail ve mesajlaşma programları, web ve mobil cihaz tabanlı uygulamalar, video, ses, poster ve diğer veri ve dökümanların paylaşılmasını sağlayan yöntemler, sanal gerçeklik uygulamaları gibi ileri teknoloji gerektiren ya da gerektirmeyen, senkron ve asenkron uygulamalar gösterilebilir (Brennan, Curran, Barlow, & Jayaraman, 2021; Laver et al., 2020). Nörolojik hastalarda telerehabilitasyon tabanlı yöntemler tanı, değerlendirme, tedavi ve uzun süreli takip gibi rehabilitasyon basamaklarında kullanılabilir. Rehabilitasyonda telerehabilitasyon tabanlı uygulamalar hastaların içinde buldukları duruma göre tedavinin bir bütünü olarak kullanılabilir gibi klinikte yüz yüze uygulamalara destek olarak da kullanılabilir (Brennan et al., 2021).

Literatürde bilinen en eski telerehabilitasyon temelli nörolojik rehabilitasyon 1976 yılında araştırmacıların afazi tedavisinde telefon görüşmelerini kullanmasıdır. Ancak bu yayında kullanılan yöntem telerehabilitasyon olarak isimlendirilmemiştir (Vaughn, 1976). Daha sonraki süreçte özellikle 1990'lı yıllardan sonra telerehabilitasyon uygulamaları literatürde yaygınlaşmaya başlasa da 2000'li yıllar sonrasında teknolojinin hızla gelişmesi telerehabilitasyona da altın çağını yaşatmaktadır (Seron et al., 2021). Özellikle 2019 yılının sonlarında ortaya çıkan Covid-19 pandemisi ve pandemiye bağlı alınan önlemler nedeniyle telerehabilitasyon yöntemlerinin klinikte kullanımı konusunda büyük bir yaygınlaşma oluşmuştur (Chang & Boudier-Revéret, 2020).

Nörolojik hastalarda telerehabilitasyon tabanlı uygulamalar iyi bir değerlendirme ile başlamalıdır. Hastanın ev ortamında bulunduğu değerlendirmeler sırasında nörolojik hastalıklara spesifik olarak geliştirilen anketler senkron ya da asenkron yöntemler ile uygulanabilir. Daha sonra videokonferans yöntemleri ile hastaların klinisyen ile birebir temas kurması ve klinisyenin yönlendirmeleri ile bazı spesifik fonksiyonel testleri uygulaması sağlanabilir (Hill et al., 2006; Park, Peng, & Zhang, 2008; Sharma, Ward, Burns, Theodoros, & Russell, 2011). Palpasyon uygulamaları telerehabilitasyon yöntemleri ile yapılamayacak olsa da hastadan bu konuda kendi kendini muayene etmesi istenebilir. Yine hastadan ağırlıkları kullanması istenerek kas kuvveti, uzanma, oturma, kalkma, merdiven çıkma ve denge aktivitelerini yapması istenerek de fonksiyonelliği değerlendirilebilir (Cabrera-Martos et al., 2019; Rau et al., 2013; Venkataraman et al., 2020). Bütün bu değerlendirmeler sırasında maksimum güvenliğin alınması ve mümkün olduğunca evde hastaya yardımcı olacak bir kişinin bulunması gerekir. Değerlendirmelerde spesifik olarak geliştirilmiş haptik eller, sanal gerçeklik uygulamaları, giyilebilir teknolojiler ve robotlar gibi üst düzey teknolojilerden de yararlanılabilir (Park, Wu, Ren, & Zhang, 2007). Rehabilitasyonda yine üst düzey teknolojilerin ev ortamında uygulanması sağlanabileceği gibi videokonferans yöntemleri ile senkron egzersiz uygulamaları ve broşür, poster gibi yöntemler ile asenkron egzersiz uygulamaları tercih edilebilir (Bakas et al., 2015; Johansson & Wild, 2011; Seron et al., 2021). Yine telerehabilitasyonun en büyük avantajlarından biri de uzun dönemde hasta takibi için geliştirilen mobil uygulamaların kullanılması ile birlikte yüz yüze rehabilitasyondan taburcu olan ya da rehabilitasyonun en başından beri telerehabilitasyon uygulamalarını kullanan hastalarda tedavinin

ilerleyişi, egzersiz programlarının şekillendirilmesi, hastanın gelişiminin takip edilmesi, hastanın egzersiz programına uyumunun değerlendirilmesi gibi uzun süreli takipler de yapılabilecektir.

Nörolojik hastalarda telerehabilitasyon başlangıçta zamandan, mekandan, yol masraflarından tasarruf için ve özellikle şehir dışı uzak bölgelerde yaşayan kişilerin rehabilitasyon servislerine ulaşımını kolaylaştırmak için kullanılsa da günümüzde özellikle sağlık profesyonellerin sayısının hasta popülasyon nüfusuna yetişememesi gibi nedenler ile kalifiye personellerin farklı hastaneler ve bölgelere hizmet vermeleri için de sıklıkla tercih edilmektedir. Literatürdeki birçok çalışma fizyoterapinin birçok alanında telerehabilitasyon uygulamalarının yüzyüze uygulamalardan daha düşük etkilere sahip olmadığını göstermektedir (Dias, Limongi, Hsing, & Barbosa, 2016; Kahraman, Savci, Ozdogar, Gedik, & Idiman, 2020; Seron et al., 2021). Dahası telerehabilitasyon uygulamalarında hasta memnuniyetinin yüz yüze uygulamalardan çok daha fazla olduğu da literatürde sıklıkla belirtilmektedir (Brennan et al., 2021; Maresca et al., 2020; Suso-Martí et al., 2021).

Sonuç

Teknolojik cihazlar insan hayatının her alanında konvansiyonel yöntemlerin yerini almaktadır. Bu alanlardan biri de rehabilitasyon uygulamaları olmaktadır. Her alanda olduğu gibi rehabilitasyon alanında da teknolojik cihazların kullanımının avantaj ve dezavantajları birbirleriyle yarışmaktadır. Özellikle teknolojilerin çok yeni olması ve sürekli gelişen ve geliştirilen bir yapıya sahip olması literatürdeki çalışmalarda çelişkili sonuçların ortaya çıkması üzerinde etkilidir. Yapılan uygulamaların birçoğu üzerinde sınırlı sayıda yayın olduğu için etkileri tam olarak belirlenememiştir. Yine nörolojik hastalar üzerindeki etkileri incelendiğinde de farklı hasta grupları üzerinde farklı sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Kanıt düzeyi her geçen yılda yükselmeye devam eden motor öğrenme temelli bu teknolojik uygulamaların ilerleyen yıllarda rehabilitasyon hizmetlerinin çok büyük bir kısmını oluşturması kaçınılmazdır. Bu nedenle teknolojideki gelişmelerin ilerleyen yıllarda günümüzdeki seviyelerde kalmayacağı gözönünde tutularak hastaların, araştırmacıların ve klinisyenlerin bu teknolojilere uyum sağlaması ve sürekli olarak teknolojideki gelişmeleri takip etmesi gerekmektedir. Bu bölümde tartışılan bütün teknolojiler, erken dönemde motor öğrenme prensiplerine dayalı rehabilitasyon yaklaşımlarının hızlı bir şekilde başlamasını, hastaların rehabilitasyona daha istekli katılmalarını ve rehabilitasyonun kalitesini artırmaktadır. Bu teknolojilerin hemen hemen hepsi bütün nörolojik etkilenimi olan hastalarda kullanılabilir ancak hastaların etkilenim düzeyi, etkilenen merkezi sinir sistemi bölgeleri, prognozu ve kognitif becerileri hangi hastanın hangi teknolojik destekten ne kadar yarar sağladığını etkileyebilmektedir. Rehabilitasyon teknolojilerinin hangi hastalıklarda hangi protokoller ile uygulanması gerektiği avantaj ve dezavantajları, hastalar için uygunlukları göz önünde bulundurularak ve hastaların iyi bir şekilde değerlendirilmesi sonrasında klinisyenler tarafından kararlaştırılmalıdır. Her hastada aynı tedavi yöntemlerinin uygulanamayacağı ve bir hasta bir tedavi yönteminden maksimum verimi alırken bir başka hastada aynı yöntemin aynı etkiyi göstermeyebileceği kesinlikle unutulmamalıdır.

Kaynakça

- Aisen, M. L., Krebs, H. I., Hogan, N., McDowell, F., & Volpe, B. T. (1997). The effect of robot-assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke. *Archives of neurology*, 54(4), 443-446.
- Arya, K. N., Pandian, S., Vikas, & Puri, V. (2018). Rehabilitation methods for reducing shoulder subluxation in post-stroke hemiparesis: a systematic review. *Topics in stroke rehabilitation*, 25(1), 68-81.
- Bakas, T., Austin, J. K., Habermann, B., Jessup, N. M., McLennon, S. M., Mitchell, P. H., . . . Weaver, M. T. (2015). Telephone assessment and skill-building kit for stroke caregivers: a randomized controlled clinical trial. *Stroke*, 46(12), 3478-3487.
- Brennan, K., Curran, J., Barlow, A., & Jayaraman, A. (2021). Telerehabilitation in Neurorehabilitation: Has it Passed the COVID Test? In: Taylor & Francis.

- Burgar, C. G., Lum, P. S., Shor, P. C., & Van der Loos, H. M. (2000). Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience. *Journal of rehabilitation research and development*, 37(6), 663-674.
- Cabrera-Martos, I., Ortiz-Rubio, A., Torres-Sánchez, I., López-López, L., Rodríguez-Torres, J., & Carmen Valenza, M. (2019). Agreement Between Face-to-Face and Tele-assessment of Upper Limb Functioning in Patients with Parkinson Disease. *PM&R*, 11(6), 590-596.
- Calabrò, R. S., Russo, M., Naro, A., De Luca, R., Leo, A., Tomasello, P., . . . Bramanti, P. (2017). Robotic gait training in multiple sclerosis rehabilitation: Can virtual reality make the difference? Findings from a randomized controlled trial. *Journal of the neurological sciences*, 377, 25-30.
- Cao, J., Xie, S. Q., Das, R., & Zhu, G. L. (2014). Control strategies for effective robot assisted gait rehabilitation: the state of art and future prospects. *Medical engineering & physics*, 36(12), 1555-1566.
- Chang, M. C., & Boudier-Revéret, M. (2020). Usefulness of telerehabilitation for stroke patients during the COVID-19 pandemic. *American journal of physical medicine & rehabilitation*.
- Cho, J.-E., Yoo, J. S., Kim, K. E., Cho, S. T., Jang, W. S., Cho, K. H., & Lee, W.-H. (2018). Systematic review of appropriate robotic intervention for gait function in subacute stroke patients. *BioMed research international*, 2018.
- Cramer, S. C., & Riley, J. D. (2008). Neuroplasticity and brain repair after stroke. *Current opinion in neurology*, 21(1), 76-82.
- Demir, S. Ö. (2015). Omurilik Yaralanmalı Hastalarda Robot Yardımlı Yürüme Eğitimi. *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Turkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 61.
- Dias, A. E., Limongi, J. C. P., Hsing, W. T., & Barbosa, E. R. (2016). Telerehabilitation in Parkinson's disease: Influence of cognitive status. *Dementia & neuropsychologia*, 10, 327-332.
- Dietz, V., & Morariy, M. ETHZ-ParaCare Grasping and Walking Neuroprostheses.
- Dixit, S., & Tedla, J. S. (2019). Effectiveness of robotics in improving upper extremity functions among people with neurological dysfunction: a systematic review. *International Journal of Neuroscience*, 129(4), 369-383.
- Duret, C., Grosmaire, A.-G., & Krebs, H. I. (2019). Robot-assisted therapy in upper extremity hemiparesis: overview of an evidence-based approach. *Frontiers in neurology*, 10, 412.
- Duret, C., Hutin, E., Lehenaff, L., & Gracies, J.-M. (2015). Do all sub acute stroke patients benefit from robot-assisted therapy? A retrospective study. *Restorative neurology and neuroscience*, 33(1), 57-65.
- Hesse, S., Schulte-Tigges, G., Konrad, M., Bardeleben, A., & Werner, C. (2003). Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(6), 915-920.
- Hill, A. J., Theodoros, D. G., Russell, T. G., Cahill, L. M., Ward, E. C., & Clark, K. M. (2006). An Internet-based telerehabilitation system for the assessment of motor speech disorders: A pilot study.
- Howlett, O. A., Lannin, N. A., Ada, L., & McKinstry, C. (2015). Functional electrical stimulation improves activity after stroke: a systematic review with meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 96(5), 934-943.
- Islam, M. R., Spiewak, C., Rahman, M. H., & Fareh, R. (2017). A brief review on robotic exoskeletons for upper extremity rehabilitation to find the gap between research prototype and commercial type. *Adv Robot Autom*, 6(3), 2.
- Jiandani, N., Nair, S., & Shukla, H. (2014). Efficacy of virtual reality exposure therapy in the management of symptoms associated with post traumatic stress disorder. *Value in Health*, 17(7), A572.
- Johansson, T., & Wild, C. (2011). Telerehabilitation in stroke care—a systematic review. *Journal of telemedicine and telecare*, 17(1), 1-6.
- Joseph, C., & Rhoda, A. (2013). Activity limitations and factors influencing functional outcome of patients with stroke following rehabilitation at a specialised facility in the Western Cape. *African Health Sciences*, 13(3), 646-654.

- Kahraman, T., Savci, S., Ozdogar, A. T., Gedik, Z., & Idiman, E. (2020). Physical, cognitive and psychosocial effects of telerehabilitation-based motor imagery training in people with multiple sclerosis: A randomized controlled pilot trial. *Journal of telemedicine and telecare*, 26(5), 251-260.
- Karaduman, A., Yıldırım, S. A., & Yılmaz, Ö. T. (2016). *İnme Sonrası Fizyoterapi ve Rehabilitasyon*. Ankara: Hipokrat Kitabevi.
- Karaduman, A., & Yılmaz, Ö. T. (2017). *Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Cilt 3*. Ankara: Hipokrat Kitabevi.
- Kassebaum, N. J., Arora, M., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Brown, J., Carter, A., . . . Coggeshall, M. (2016). Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1603-1658.
- Kayabınar, B., Alemdaroğlu-Gürbüz, İ., & Yılmaz, Ö. (2021). The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 4.
- Kayabınar, E., Özalp, M., Koçyiğit, M. F., As, İ., & Elbasan, B. (2019). The effects of robotic and conventional gait training in addition to neurodevelopmental treatment on balance, mobility, and health-related quality of life in patients with stroke. *Neurological sciences and neurophysiology (Online)*, 36(2), 112-119.
- Kayıkçıoğlu, T., Maleki, M., & Ketenci, S. (2018). Beyin-Bilgisayar Arayüzü. In: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Biyomedikal Mühendisliği ve Uygulamaları.
- Kernan, W., Ovbiagele, B., Black, H., Bravata, D., Chimowitz, M., Ezekowitz, M., . . . Heck, D. (2014). American Heart Association Stroke Council, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Clinical Cardiology, and Council on Peripheral Vascular Disease. Guidelines for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 45(7), 2160-2236.
- Kurbanoğlu, S. (1996). Sanal gerçeklik: Gerçek mi, değil mi?
- Larsen, C. R., Soerensen, J. L., Grantcharov, T. P., Dalsgaard, T., Schouenborg, L., Ottosen, C., . . . Ottesen, B. S. (2009). Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial. *Bmj*, 338.
- Laver, K. E., Adey-Wakeling, Z., Crotty, M., Lannin, N. A., George, S., & Sherrington, C. (2020). Telerehabilitation services for stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(1).
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*(11).
- Levin, M. F., & Demers, M. (2020). Motor learning in neurological rehabilitation. *Disability and rehabilitation*, 1-9.
- Lintern, G., Roscoe, S. N., Koonce, J. M., & Segal, L. D. (1990). Transfer of landing skills in beginning flight training. *Human Factors*, 32(3), 319-327.
- Lombardo, L. M., Kobetic, R., Pinault, G., Foglyano, K. M., Bailey, S. N., Selkirk, S., & Triolo, R. J. (2018). Impact of an implanted neuroprosthesis on community ambulation in incomplete SCI. *The journal of spinal cord medicine*, 41(2), 165-173.
- Luo, S., Xu, H., Zuo, Y., Liu, X., & All, A. H. (2020). A review of functional electrical stimulation treatment in spinal cord injury. *Neuromolecular medicine*, 1-17.
- Maresca, G., Maggio, M. G., De Luca, R., Manuli, A., Tonin, P., Pignolo, L., & Calabrò, R. S. (2020). Tele-neuro-rehabilitation in Italy: state of the art and future perspectives. *Frontiers in neurology*, 11.
- Nam, K. Y., Kim, H. J., Kwon, B. S., Park, J.-W., Lee, H. J., & Yoo, A. (2017). Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 1-13.
- Olgun, N., & Türkoğlu, İ. (2017). *Brain-Computer Interface Systems*. Paper presented at the 8th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey.

- Park, H.-S., Peng, Q., & Zhang, L.-Q. (2008). A portable telerehabilitation system for remote evaluations of impaired elbows in neurological disorders. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 16(3), 245-254.
- Park, H.-S., Wu, Y.-N., Ren, Y., & Zhang, L.-Q. (2007). *A tele-assessment system for evaluating elbow spasticity in patients with neurological impairments*. Paper presented at the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics.
- Pilkar, R., Ramanujam, A., & Nolan, K. J. (2017). Alterations in spectral attributes of surface electromyograms after utilization of a foot drop stimulator during post-stroke gait. *Frontiers in neurology*, 8, 449.
- Raghav, K., Van Wijk, A., Abdullah, F., Islam, M. N., Bernatchez, M., & De Jongh, A. (2016). Efficacy of virtual reality exposure therapy for treatment of dental phobia: a randomized control trial. *BMC oral health*, 16(1), 1-11.
- Rau, C.-L., Chen, Y.-P., Lai, J.-S., Chen, S.-C., Kuo, T.-S., Jaw, F.-S., & Luh, J.-J. (2013). Low-cost tele-assessment system for home-based evaluation of reaching ability following stroke. *Telemedicine and e-Health*, 19(12), 973-978.
- Särkämö, T. (2018). Cognitive, emotional, and neural benefits of musical leisure activities in aging and neurological rehabilitation: A critical review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 61(6), 414-418.
- Schmidt, R., & Lee, T. (2019). *Motor learning and performance 6th edition with web study guide-loose-leaf edition: From principles to application*: Human Kinetics Publishers.
- Schmidt, R. A. (1991). *Motor learning principles for physical therapy*. Paper presented at the Contemporary management of motor control problems: Proceedings of the II STEP conference.
- Seron, P., Oliveros, M.-J., Gutierrez-Arias, R., Fuentes-Aspe, R., Torres-Castro, R. C., Merino-Osorio, C., . . . Solano, R. (2021). Effectiveness of telerehabilitation in physical therapy: A rapid overview. *Physical Therapy*, 101(6), pzab053.
- Sharma, S., Ward, E. C., Burns, C., Theodoros, D., & Russell, T. (2011). Assessing swallowing disorders online: a pilot telerehabilitation study. *Telemedicine and e-Health*, 17(9), 688-695.
- Stein, J., Harvey, R. L., Macko, R. F., Winstein, R. F., Zorowitz, R. D., Arasil, T., & Öztürk, E. A. (2012). *İnme iyileşmesi ve rehabilitasyonu*: Pelikan Yayıncılık.
- Suso-Martí, L., La Touche, R., Herranz-Gómez, A., Angulo-Díaz-Parreño, S., Paris-Alemany, A., & Cuenca-Martínez, F. (2021). Effectiveness of Telerehabilitation in Physical Therapist Practice: An Umbrella and Mapping Review with Meta–Meta-Analysis. *Physical Therapy*, 101(5), pzab075.
- Tarakcı, E., & Tarakcı, D. (2019). *Rehabilitasyonda Teknoloji*. İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi.
- Umphred, D. A., & Lazaro, R. T. (2012). *Neurological rehabilitation*: Elsevier Health Sciences.
- Uzunca, K. (2007). İnmeli Hastalarda EMG Biofeedback Kullanımı. *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 53.
- Vaughn, G. (1976). Tel-communicology: Health-care delivery system for persons with communicative disorders. *Asha*, 18(1), 13-17.
- Venkataraman, K., Amis, K., Landerman, L. R., Caves, K., Koh, G. C., & Hoenig, H. (2020). Teleassessment of gait and gait aids: Validity and interrater reliability. *Physical Therapy*, 100(4), 708-717.
- Weiss, P. L., Kizony, R., Feintuch, U., & Katz, N. (2006). Virtual reality in neurorehabilitation. *Textbook of neural repair and rehabilitation*, 51(8), 182-197.
- Wirz, M., & van Hedel, H. J. (2018). Balance, gait, and falls in spinal cord injury. *Handbook of clinical neurology*, 159, 367-384.
- Yağanoğlu, M., Bozkurt, F., & Günay, F. B. (2014). EEG tabanlı beyin-bilgisayar arayüzü sistemlerinde öznitelik çıkarma yöntemleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 313-

YAZARLAR

Öğr. Gör. Büşra KAYABINAR

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Kozaklı Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Fizyoterapi Programı

busrakayabinar@nevsehir.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7937-3683

2012’de Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kemal Demir Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümünden mezun olmuştur. 2019’da Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı Nöroloji Fizyoterapistliği Programından bilim uzmanlığı unvanını almıştır ve 2020’de aynı enstitünün Doktora Programına başlamıştır ve halen devam etmektedir. 11 Ocak 2017 tarihinden beri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Fizyoterapi Programında Öğretim Görevlisi olup Önlisans dersleri vermekte ve akademik çalışmalarını sürdürmektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Erdi KAYABINAR

Fenerbahçe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

erdi.kayabinar@fbu.edu.tr

ORCID No: 0000-0002-5720-9425

2012’de Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kemal Demir Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümünden mezun olmuştur. 2016’da Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalından bilim uzmanlığı unvanını almıştır. 2020’de Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı Nöroloji Fizyoterapistliği Doktora programından mezun olmuştur. 2013-2014 tarihleri arasında Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak, 2015-2021 tarihleri arasında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Fizyoterapi Programında Öğretim Görevlisi olarak görev almıştır. Nisan 2021 tarihinden beri Fenerbahçe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak ders vermekte ve akademik çalışmalarını sürdürmektedir.