



## EL REHABİLİTASYONUNDA KULLANILAN CİHAZLARIN GELİŞİMİ

Melih CANLIDİNÇ<sup>1,\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [melih.canlidinc@dpu.edu.tr](mailto:melih.canlidinc@dpu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-4011-9490

*Geliş Tarihi (Received Date):08.12.2022*

*Kabul Tarihi (Accepted Date):25.12.2022*

### ÖZ

İnme vb. tıbbi durumlar veya kazalar insan vücudunda önemli nörolojik hasarlar oluşturabilir ve üst ekstremitede, hastanın ellerinde motor fonksiyon kaybına neden olabilir. İnsanlara rehabilitasyon sürecinde yardımcı olmak için dış iskelet gibi çeşitli robotik cihazlar tasarlanmıştır; ancak, bu cihazlar optimum performans elde etmeyen sınırlı özelliklere sahiptirler. Hastaların el rehabilitasyon tedavisi, kliniklerde ve çeşitli el rehabilitasyon cihazları kullanılarak bir uzman rehberliğinde gerçekleştirilir. Elin rehabilitasyonunda kullanılan cihazların görevi ele pasif, aktif veya aktif yardımcı rehabilitasyon tedavisi sağlamaktır. Ancak el rehabilitasyon cihazlarının herhangi bir standardı yoktur. Bu çalışmada, el rehabilitasyon cihazlarının mekanik tasarımları ve tahrik mekanizmaları tanımlanmakta ve karşılaştırılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** *El rehabilitasyonu, Dış iskelet, Robotik,*

### DEVELOPMENT OF DEVICES USED IN HAND REHABILITATION

#### ABSTRACT

Medical conditions or accidents, such as stroke, can cause significant neurological damage to the human body and cause loss of motor function in the upper extremity, the patient's hands. Various robotic devices such as exoskeletons have been designed to assist humans in the rehabilitation process; however, they have limited features that do not achieve optimum performance. Hand rehabilitation treatment of patients is carried out in clinics and under the guidance of an expert using various hand rehabilitation devices. The task of the devices used in the rehabilitation of the hand is to provide passive, active or active assisted rehabilitation therapy to the hand. However, hand rehabilitation devices do not have any standards. In this study, mechanical designs and drive mechanisms of hand rehabilitation devices are described and compared.

**Keywords:** *Hand Rehabilitation, Exoskeletons, Robotics*

## 1. GİRİŞ

Robotik rehabilitasyon cihazları engelli insanlara çok yardımcı olmaktadır. Fiziksel veya nörolojik engelli hastalar için motor iyileşmeyi ve işlevsel bağımsızlığı geliştirirken terapistin manuel çalışmasını sağlar [1].

Günümüzde dünya nüfusunun %15'inde serebrovasküler kazalar, romatoid artrit, karpal tünel sendromu veya bir yaralanma nedeniyle alt veya üst ekstremitelerde bir tür motor sakatlık vardır [2]. El engelleri söz konusu olduğunda, dış iskeletler, tekrarlanan günlük yaşam aktiviteleri için eklemlerin etkin hareket aralığını artırmaya yardımcı olur. Bu, önemli rehabilitasyon hareketleri ile planlı ve kontrollü bir şekilde yapılır. Ayrıca elin karmaşık anatomisi ve yüksek hareket kabiliyeti göz önüne alındığında dış iskeletler, sağlıklı bir elin hemen hemen tüm hareketlerini gerçekleştirebilen, hatta yapılacak göreve göre yapılandırılabilen robotik cihazlardır. Ayrıca, elin boyutuna ve parmakların uzunluğuna uyum sağladıklarından hasta tarafından rahat ve kullanımı kolaydır [3].

Öte yandan, HandMATE ve Narvaez ve arkadaşlarının geliştirdikleri dış iskeletler sahip oldukları 15 derecelik serbestlik sayesinde daha iyi parmak hareketliliği sunar [4,5]. Dış iskelet tasarımında önemli bir faktör, basitlik, düşük maliyet, taşınabilirlik ve sezgisel kontrol gibi özellikleri geliştirmektir [6]. Butzer ve arkadaşları, çocuk rehabilitasyonuna odaklanan Myo bileziğine ve elektromiyografiye (EMG) dayalı taşınabilir bir 3D prototip oluşturan; Wang ve arkadaşları bir mobil uygulama aracılığıyla sesli komutlarla kontrol edilen bir el dış iskeleti tasarladı ve üretti [7]. Li ve arkadaşları, "Brainlink Lite" kullanarak beyin sinyallerine dayalı verimli bir kontrol sistemi oluşturdu [6]. Ancak, el dış iskeletlerinin her geçen gün gösterdiği ilerlemelere rağmen, elin gerçek performansını bütünüyle sağlayamayan sınırlı işlevler hala vardır.

Bu çalışmada, bu cihazların sistematik bir incelemesini sunmak ve gelecekteki projeler ve araştırmalar için bir rehber görevi görmektir. El rehabilitasyon cihazları detaylı olarak açıklanmış ve tahrik mekanizmaları sunulmuştur. Çalışmanın birincil amacı, nörolojik bir geri bildirim sistemi ile pasif, aktif ve aktif yardımcı egzersizler yapabilen bir evde rehabilitasyon cihazları için bir bilgi temeli oluşturmaktır.

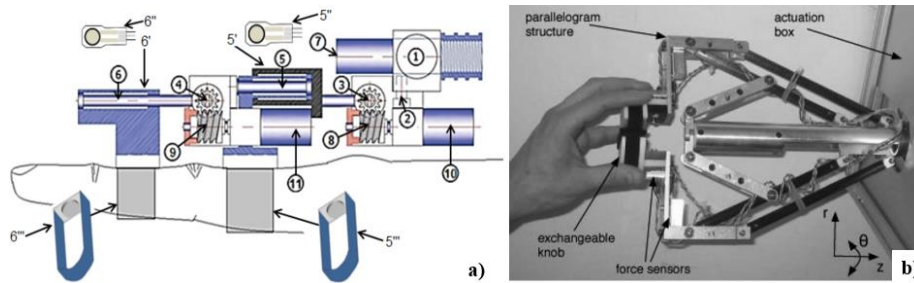
## 2. EL REHABİLİTASYON CİHAZLARI

El rehabilitasyon cihazları, el için rehabilitasyon tedavisinin herhangi bir aşaması için tasarlanmış cihazlar veya dış telleri olarak karakterize edilebilir. El için rehabilitasyon tedavisi, Kentucky Üniversitesi Sağlık Departmanı tarafından özetlendiği gibi belirli egzersiz aşamalarında tanımlanmıştır. Burada, el rehabilitasyonunun başlangıcından son aşamalarına kadar metakarpal falanks, proksimal falanks ve distal falanks eklemlerinin fleksiyon ve ekstansiyonunu farklı açılarda tanımlamıştır [8].

El rehabilitasyon cihazları; ortezler, dış iskeletler veya uç efektör tabanlı cihazlar olarak sınıflandırılmıştır. Her tip cihaz rehabilitasyon sürecine çok önemli faydalar sağlar. Ortezler gerekli desteği sağlar ve çoğu el breysi gibi çalışır. Dış iskeletler ve uç efektör tabanlı cihazlar, rehabilitasyon tedavisine gerekli olan pasif egzersizleri gerçekleştirir. Bu elektrikli cihazlar, pnömatik ve mafsal tabanlı sistemler dahil olmak üzere çeşitli tahrik (eyleyici) mekanizmalarını kullanarak falanksların desteklenmesini ve çalıştırılmasını sağlar. El için birkaç rehabilitasyon cihazı yalnızca aktif veya pasif

egzersizler kullanır. Aktif rehabilitasyon dışarıdan bir kuvvet uygulanmadan gerçekleştirildiğinden, sadece aktif rehabilitasyon tedavisi sağlayan cihazlar öncelikle ortezlerdir.

Dış iskeletler ve uç-efektör tabanlı cihazlar, birden fazla çözümü tek bir cihazda birleştirerek hastalara hem aktif hem de pasif rehabilitasyon sağlar. Tahriği rehabilitasyon cihazlarına dahil etmek, bir fizyoterapistle yapılan standart yüz yüze rehabilitasyona kıyasla motor iyileşmeyi ve rehabilitasyonu artırır [9,10]. Aktif ve pasif rehabilitasyon sağlayan dış iskeletler ve uç efektör tabanlı cihazlar arasında rehabilitasyon sürecinde belirgin avantajlar veya dezavantajlar net olmamakla birlikte, eklemlerin fleksiyon ve ekstansiyonunun kinematik modeli aynıdır [11,12]. Bir dış iskelet ve uç efektör cihazının mekanik tasarımları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Bir dış iskelet ve bir uç efektör tabanlı cihazların mekanik tasarımları örnekleri a) ExoK'ab dış iskeleti ve b) HapticKnob uç efektör cihazı [13,14].

## 2.1. Dış İskelet Cihazları

Dış iskeletler, bir orteze benzer şekilde hedef bölgeye oturacak şekilde tasarlanmış cihazlardır, dış iskeletler güvenlik ve destek sağlar; ancak dış iskeletler, son kullanıcıya güç sağlayan işlevler sağlayan ek bileşenlere sahiptir. Dış iskeletler, kullanıcının fiziksel performansını artıran giyilebilir elektromekanik cihazlar olarak tasarlanmıştır [15]. El rehabilitasyonu için, daha ciddi yaralanmaları olan hastalar, rehabilitasyona başlamak için ek güç gerektirir.

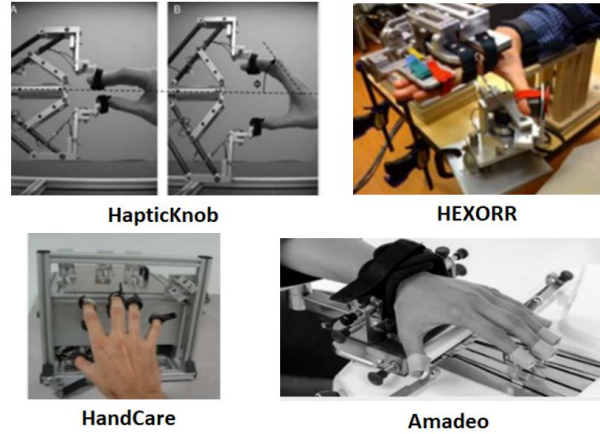
Dış iskeletler, Şekil 2'de tasarımlarına özel çözümler sunar. Dış iskeletler her bir parmağı kapsadığı için, tek tek eklemler üzerinde çalıştırma, aynı zamanda destek sağlarken ilerlemiş yaralanmaları olan hastalar için çok önemlidir. Ayrıca, dış iskeletler, yaşlı veya tedavi merkezlerine uzak hastalar için gerekli olan taşınabilir çözümleri sağlar. Dış iskeletlerle ilgili başlıca dezavantajlar, karmaşık kontrol algoritmalarını ve cihazın ayarlanabilir olması durumuyla ilgilidir. Bir dış iskelet, her eklem üzerindeki her bir uzantıyı harekete geçireceğinden, konumlandırmayı kontrol etmek karmaşık stratejiler gerektirir. Ayrıca, dış iskeletler hastanın eline uyacak şekilde uyarlanmalıdır. Uç efektör tabanlı cihazlarla, mekanik tasarımlar uç nokta kontrolüne odaklanır ve değişen el boyutlarına göre ayarlanabilir.



**Şekil 2.** Dış iskelet cihaz örnekleri.

## 2.2. Uç Efektör Cihazlar

Uç efektör cihazlar dış iskeletlerden farklıdır, çünkü eklemler üzerindeki çalıştırma uç nokta kontrolüne veya tüm parmak yerine distal falanks (DIP) eklemi üzerindeki kontrole dayanır [16]. Tipik olarak, bu cihazlar sabittir, çünkü distal falanks eklemi uygun konum kontrolü ile çalıştırılabilmesi için elin sabitlenmesi gerekir. Şekil 3, bu çalışmada incelenen son efektör el rehabilitasyon cihazlarından bazılarını göstermektedir. Taşınabilirlik, hastalar için yararlı, uzaktan rehabilitasyon sağlar ancak cihazı olası rehabilitasyon ve ilerleme takibi açısından sınırlayabilir. Aubin ve arkadaşları, uç efektör cihazlarının hastanın sağ veya sol eline ve boyutlarına nasıl uyum sağlayabileceğini not ederek, değişen yaralanma şiddeti ve el boyutu için tekil bir çözüm sunar [17].



**Şekil 3.** Uç efektör cihaz örnekleri.

Uç efektör cihazların ana avantajlarından biri, yüksek düzeyde kontrol ve geri bildirimdir. Doğrusal raylar ve egzersizler sırasında nörolojik tepkileri okuyan ve görüntüleyen bir kontrol sistemi kullanan Amadeo, her yaşta ve şiddetli hasta için eli çalıştırabilir ve iyileştirebilir [18]. Haptic Knob, küre üzerinde kuvvet geri beslemesi ve empedans kontrolü kullanarak doğru kontrol sağlayabilir [14]. Ek olarak, uç efektör cihazlar, taşınabilirlik artık bir tasarım yönü olmadığı için daha fazla algılama

bileşeni kullanabilir [18]. Amadeo, Gloreha, HEXORR ve My-HERO, VAEDA, PneuGlove incelenen uç efektör cihazlarıdır [18,19,20,21, 22,23].

Son efektör cihazlar, dış iskeletlere göre önemli avantajlar sağlar. Son efektör cihazlar, genel rehabilitasyon ilerlemesinden ödün vermeden çok daha basit kontrol mekanizmalarını içerir. FMA ölçeği (Fugl-Meyer Assessment-Hand) puanları önemli ölçüde farklı olmadığından, uç efektör cihazlar, karmaşık mekanik tasarımlar olmaksızın yüksek düzeyde kontrol ve güvenlik sağlar. Diğer bir avantaj ise artan kullanıcı geri bildirim miktarıdır. Amadeo gibi cihazlar, egzersizler yapılırken hastanın elinin nörolojik profillerini görüntüleyebilir. Ancak, uç efektör cihazlar her bir eklemi tek tek sınırlayamaz ve kontrolü yalnızca bir parmağın ucundan harekete geçtiğinden, yanlış hizalama riski artar [24].

### 2.2.1. El örtezleri

Ortez olarak sınıflandırılan cihazlar, eli korumak ve desteklemek için oluşturulmuş cihazlardır [25]. Bu cihazların tümü aktif terapi sağlar (Şekil 4), ancak yalnızca biri dirençli eğitim sağlar. Bu cihazlar tipik olarak herhangi bir güçlendirilmiş bileşen içermediğinden, terapi hasta girişi ile sınırlıdır. Bu sınırlama, daha ciddi yaralanmaları olan hastaların uygun tedaviyi almasını engeller [26].



Şekil 4. El ortez örnekleri.

Bazı ortezler, herhangi bir güçlendirilmiş bileşen olmadan güçlendirme egzersizleri sağladıkları için dirençli terapiler kullanır. SCRIPT ve Saebo ortezleri, cihazlarında direnç eğitimi sağlamak için yaylı kordlar kullanır. Dirençli egzersizler, geç dönem el rehabilitasyonunun bir parçasıdır, çünkü birincil amaçları uygun hareket ve yerleştirmeyi yeniden sağlamaktan ziyade kasları güçlendirmektir [27,28].

## 3. EL REHABİLİTASYON CİHAZLARININ TAHRİK MEKANİZMALARI

Tahrik (eyleyici) mekanizmaları, dış iskelet veya uç efektör cihazlarda çalıştırıcılardan iletilen gücü çevirmek için cihazlarda kullanılan mekanizmaları tanımlar. Pnömatik eyleyiciler, cihazları harekete geçirmek için sızdırmaz tüpler veya kanallar gerektirirken, mafsalsız tabanlı tahrik yalnızca eyleyiciden parmağa doğrudan bağlantı gerektirir. Kablo tahrikli sistemler, parmak boyunca bağlı kabloları kullanarak çalıştırır.

### 3.1. Pnömatik Tahrik

Tipik olarak, pnömatik cihazlar, metakarpal falanks, distal falanks ve proksimal falanks (MCP, DIP ve PIP) eklemlerini harekete geçirmek için pnömatik tüpler veya yollar kullanan hava pistonları tarafından çalıştırılır. Pnömatik çalıştırma, rehabilitasyon için yüksek tork ve kontrolü sağlar.

Pnömatik cihazlar arasında Rutgers Master II ve Power Assist Glove [29,30] bulunur. Pnömatik cihazların önemli bir avantajı, ağırlık-tork oranıdır. SymbiHand ele yalnızca 241 g kütle ekler ve Power Assist eldiveni yalnızca 170 g ekler [31,32]. Bununla birlikte, SymbiHand pnömatik cihazlardan sonra modellenmiş olsa da, bir elektrohidrolik sistem kullanır. Ayrıca, Gloveha eldiveni, doğrudan bir pompadan çalıştırılmak yerine hava dolu mesaneleri kullanarak eli harekete geçirir [20].

Pnömatik cihazların ana dezavantajı, gerekli alan, pnömatik ve hidrolik sistemler, kompresör, ayrı haznelere, pompalar ve ek güç kaynakları dahil olmak üzere birden fazla bileşene bağlıdır. Düşük ağırlık seçenekleri mevcuttur, ancak pnömatik cihazlar dış iskelet tasarımlarını daha fazla telerehabilitasyon ve hassas kontrol ihtiyacı ile engelleyebilir [33]. Ayrıca, basınçlı hava kapalı döngü içinde iyi çalışır, ancak cihazlar tarafından yürütülen çalıştırma olarak genellikle yavaştır. Artan dönüş hızı, daha iyi tork ve kontrol için daha yüksek maliyetli çözümler gerektirir [34].

### **3.2. Mafsallı Tabanlı Tahrik**

Mafsallı tabanlı çalıştırma, uzaktan rehabilitasyon için popüler bir seçimdir. 3D baskılı veya işlenmiş mafsallar kullanarak, lineer aktüatörler (eyleyiciler) ve değişken motorlar, güçlendirilmiş tahriği çevirir. Bu yöntemi kullanan cihazlar arasında Hand of Hope, CyberGrasp ve HEXORR bulunur. Bu cihazlar, her bir parmak için düzlemsel hareket sağlamak, hareket aralığını güvence altına almak ve hastaların esnemesini veya düzlemden dışarı çıkmasını önlemek için bağlantılar kullanır [33]. Mafsallı tabanlı çalıştırma çok yönlüdür ve bir dizi kontrol yöntemiyle uygulanabilirken, pnömatik çalıştırma pnömatik kontrolörlerle sınırlıdır. Aktüatörleri sert bir dış iskelet ile birleştirerek, basit ve genellikle 3D baskılı bağlantılar ile esneme ve uzama hareketi elde edilebilir [33,35].

Mafsallı tabanlı çalıştırmanın bir dezavantajı vardır. Hareket basit olsa da motorlar ve gerekli aktarma mafsalları sisteme ağırlık katabilir [35]. Kompakt bir tasarım sağlamak için, Festo'nun Exo Glove ve Cyber Grasp [36,37] tarafından görüldüğü gibi, hastanın rehabilitasyon sürecine entegre olabilecek diğer algılama bileşenleri pahasına daha pahalı aktüatörler kullanılabilir. Ayrıca, bağlantıların eklenmesi, dış iskeletin kinematikliğini karmaşıklaştırır. Diğer çalıştırma mekanizmaları tipleriyle, kinematik, elin boyutları açısından bağlantı tabanlı sistemler kadar değişmez. Pnömatik çalıştırma ile kinematik değişmezdi; bununla birlikte, mafsallı tabanlı sistemlerde her bir bağlantının kütlesi, ataleti ve ağırlık merkezi her el için değişir.

### **3.3. Kablo Tahrikli Dış İskeletler**

Kabloyla tahriklenen dış iskeletler, eli iyileştirmek için yeterli tork sağlamak üzere servo vb. motorlar kullanır. WearME, SEM Glove ve Delph tarafından tasarlanan eldiven gibi sistemler, düşük ağırlıklı çözümler için kablolar kullanır. Kabloyla çalışan sistemlerin uygulanması, cihazın eyleyici bileşenlerinin ağırlığını elden uzağa kaydırmasına olanak tanır [38,39,40].

Kabloyla çalışan sistemlerin diğer bir avantajı, cihazı çevreleyen yumuşak dış iskelettir. Yumuşak dış iskelet, hastanın el boyutlarına göre ayarlanabilen bir tasarım sağlar [41,42].

Kablolu sistemlerin önemli bir dezavantajı, kayıp ve kontrol sorunlarıdır. Sistem, çalıştırmanın kablolar aracılığıyla çevrilmesine bağlı olduğundan, cihaz çalışırken iletim kayıpları yaşar [95]. Kablo tahrikli sistemler, tahrik kablosunu serbest bırakmak ve geri çekmek için bu kablonun bir makaraya dayanması gerektiğinden, sürtünme kayıplarına daha yatkındır. Sonuç olarak, kontrol ile ilgili bir sorun var. Şekil 10'da gösterildiği gibi, WearME cihazı gibi kabloyla çalışan dış iskeletler, cihazı tamamen çalıştırmak ve kontrol etmek için gereken mekanizmalar tarafından aşırı yüklenebilir. Ayarlanabilir tasarımlarda kablonun konumu değişebileceğinden, konum kontrolüne ek olarak çoklu

kontrol yöntemleri kullanılmalıdır. Delph'in eli, doğru kontrol sağlamak için üç kontrol yöntemi kullanır: kuvvet, konum ve sEMG [40].

#### **4. TARTIŞMA**

Bu çalışmada, el rehabilitasyonunda kullanılan cihazlar, tasarımları ve tahrik mekanizmaları bakımından değerlendirilmiş ve robotik rehabilitasyon yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla robotik rehabilitasyonun avantajlarından bahsedilmiştir.

Ortezler esas olarak sadece aktif rehabilitasyon tedavisi sağlarken, bazı cihazlarda kullanıcı direnciyle eğitim sağlayan parçalar da bulunur. Ancak ortezlerin düşük profili ve maliyetleri, daha gelişmiş dış iskelet cihazlarıyla rekabet etmelerini engellemektedir. Dış iskeletler, güç ve desteğin mükemmel birleşimini sağlar. Dış gövde, düşük maliyetli plastiklerden basılabilirken, malzeme ihtiyacına bağlı olarak yüksek maliyetlerle dış iskeletler de geliştirilebilir. Bu cihazlar tüm rehabilitasyon terapi egzersizlerini sağlar. Dış iskelet kullanan hastalar, FMA (Fugl-Meyer Assessment-Hand) ölçeklerinde gösterildiği gibi, motor fonksiyon iyileşmesinde daha büyük bir iyileşme bildirmektedir. Uç efektör cihazlar, hastaların ilgisini çekecek daha yüksek algılama yetenekleri ve oyunları bir araya getirirerek benzer faydaları sağlar. Uç efektör cihazlar biraz daha yüksek hasta skorları sağlasa da, bunlar tekil bir konumla sınırlıdır ve taşınabilir olamazlar. Bu nedenle son zamanlarda rehabilitasyonda bir dış iskelet cihazı tercih edilir.

El rehabilitasyon cihazlarında, ortezler, dış iskeletler ve uç efektör cihazlar farklı dengelerde rehabilitasyon yararları sağlar. Daha yeni tasarımlar, her birinin avantajlarını tek bir cihazda birleştirmelidir. Rehabilitasyon cihazlarını değerlendirmek için tek tip bir ölçek olmadığı için gelecekteki araştırmaların yapılması gerekecektir.

#### **5. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, el rehabilitasyonunda kullanılan cihazların tasarımları ve tahrik mekanizmaları hakkında bilgi sunulmuştur. Geleneksel rehabilitasyon süreçleri rehabilitasyon uzmanlarının uygulamalarına bağlıdır. Rehabilitasyonun uygulanması ve hastada meydana gelen iyileşmelerin elde edilmesi zorlu bir süreçtir. El rehabilitasyonunda dış iskelet ve robotik cihazların kullanılmasıyla birlikte rehabilitasyonun verimli olarak uygulanabilmesinin önünü açmaktadır. Bu cihazlarla birlikte fizyoterapistin iş yükü önemli ölçüde azalmakta ve aynı zamanda hastayla ilgili hızlı ve güvenilir bilgi alınmasını sağlamaktadır. Çalışmada incelenen dış iskeletler ve uç efektör cihazlar için klinik denemelere bakıldığında, Amadeo, Gloreha, HEXORR ve My-HERO cihazları, FMA ölçeğinde en az 7 puanlık bir artış bildirmiştir ve standart rehabilitasyon tedavisinin kontrol gruplarından daha iyi performans göstermiştir [18,19,20,21]. VAEDA, PneuGlove gibi daha küçük, taşınabilir cihazlar ise FMA puanlarını 2-4 puan iyileştirmiştir [22,23]. Hem uç efektör hem de dış iskelet, değişen ölçeklerle FMA puanlarını iyileştirmiştir. Bu sonuçlar el rehabilitasyonunda kullanılan cihazların geleneksel rehabilitasyon yöntemlerine göre güvenilirliğini ve iyileştirmeyi artırdığını göstermiştir.

#### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada el rehabilitasyonu için tasarlanan, üretilen ve kullanılan cihazların değerlendirilmiştir. El rehabilitasyonu için geleneksel ve robotik cihazların üretimine ve geliştirilmesine katkı sağlayan araştırmacılara teşekkür ederim.

#### KAYNAKÇA

- [1] Huamanchahua, D., Yalli-Villa, D., Bello-Merlo, A. and MacuriVasquez, J., (2021), "Ground Robots for Inspection and Monitoring: A State-of-theArt Review," IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON), 2021, pp. 0768-0774, doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666648.
- [2] Huamanchahua, D., Ortiz-Zacarias, J., Asto-Evangelista J. and Quintanilla-Mosquera, I., (2021), "Types of Lower-Limb Orthoses for Rehabilitation and Assistance: A Systematic Review," IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON), 2021, pp. 0705-0711, doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666710.
- [3] Huamanchahua, D., Tadeo-Gabriel, A., Chavez-Raraz R. and Serrano- Guzman, K., (2021), "Parallel Robots in Rehabilitation and Assistance: A Systematic Review," IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON), 2021, pp. 0692-0698, doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666501.
- [4] Sandison, M. et al.,(2020), "HandMATE: Wearable Robotic Hand Exoskeleton and Integrated Android App for at Home Stroke Rehabilitation", Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, vol. 2020-July, pp. 4867–4872, , doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9175332.
- [5] Narvaez, V., Bolanos, B., Lopez, D.J., Guerrero, J.A., Mejia J.E., and Ruiz, S.E., (2020), "Diseno de un prototipo de exoesqueleto para rehabilitaci ~ on' postquirurgica del s ´ indrome del tunel del carpo", IX International ´ Congress of Mechatronics Engineering and Automation (CIIMA), pp. 1–6, 2020.
- [6] Li, M., et al., (2019), "An attention-controlled hand exoskeleton for the rehabilitation of finger extension and flexion using a rigid-soft combined mechanism", Front. Neurobot., vol. 13, no May, pp. 1–13, , doi: 10.3389/fnbot.2019.00034
- [7] Huamanchahua, D., et al., (2021), "A Robotic Prosthesis as a Functional UpperLimb Aid: An Innovative Review," IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422648.
- [8] Hand Rehabilitation Protocols; University of Kentucky Healthcare: Lexington, KY, USA. Available online: [https://ukhealthcare .uky.edu/sites/default/files/m21-0609\\_ortho\\_protocols-final.pdf](https://ukhealthcare .uky.edu/sites/default/files/m21-0609_ortho_protocols-final.pdf) (accessed on 21 April 2022)
- [9] Huang, Y.C.; Chen, P.C.; Tso, H.H.; Yang, Y.C.; Ho, T.L.; Leong, C.P. (2019) Effects of Kinesio Taping on Hemiplegic Hand in Patients with Upper Limb Post-Stroke Spasticity: A Randomized Controlled Pilot Study. Eur. J. Phys. Rehabil. Med., 55, 551–557.
- [10] Villafañe, J.H.; Taveggia, G.; Galeri, S.; Bissolotti, L.; Mullè, C.; Imperio, G.; Valdes, K.; Borboni, A.; Negrini, S. (2018), Efficacy of Short-Term Robot-Assisted Rehabilitation in Patients With Hand Paralysis After Stroke: A Randomized Clinical Trial. Hand, 13, 95–102.
- [11] Molteni, F.; Gasperini, G.; Cannaviello, G.; Guanziroli, E. (2018), Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. PM&R, 10, S174–S188.



- [12] Gull, M.A.; Bai, S.; Bak, T. A. (2020), Review on Design of Upper Limb Exoskeletons. *Robotics*, 9, 16.
- [13] Sandoval-Gonzalez, O.; Jacinto-Villegas, J.; Herrera-Aguilar, I.; Portillo-Rodriguez, O.; Tripicchio, P.; Hernandez-Ramos, M.; Flores-Cuautle, A.; Avizzano, C. (2016), Design and Development of a Hand Exoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 13, 66.
- [14] Lamercy, O.; Dovat, L.; Gassert, R.; Burdet, E.; Teo, C.L.; Milner, T. A. (2007), Haptic Knob for Rehabilitation of Hand Function. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 15, 356–366.
- [15] Sirlantzis, K.; Larsen, L.B.; Kanumuru, L.K. (2018), Oprea, P. *Robotics. Handbook of Electronic Assistive Technology*; Academic Press: Cambridge, MA, USA,; pp. 311–345.
- [16] Proulx, C.E.; Beaulac, M.; David, M.; Deguire, C.; Haché, C.; Klug, F.; Kupnik, M.; Higgins, J.; Gagnon, D.H. (2020), Review of the Effects of Soft Robotic Gloves for Activity-Based Rehabilitation in Individuals with Reduced Hand Function and Manual Dexterity Following a Neurological Event. *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.*, 7, 205566832091813.
- [17] Aubin, P.M.; Sallum, H.; Walsh, C.; Stirling, L.; Correia, A. A. (June 2013), Pediatric Robotic Thumb Exoskeleton for At-Home Rehabilitation: The Isolated Orthosis for Thumb Actuation (IOTA). In *Proceedings of the IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Seattle, WA, USA, 24–26.
- [18] Huang, X.; Naghdy, F.; Naghdy, G.; Du, H.; Todd, C. (2018), The Combined Effects of Adaptive Control and Virtual Reality on Robot-Assisted Fine Hand Motion Rehabilitation in Chronic Stroke Patients: A Case Study. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.*, 27, 221–228.
- [19] Yurkewich, A.; Kozak, I.J.; Ivanovic, A.; Rossos, D.; Wang, R.H.; Hebert, D.; Mihailidis, A. (2020), Myoelectric Untethered Robotic Glove Enhances Hand Function and Performance on Daily Living Tasks after Stroke. *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.*, 7, 2055668320964050.
- [20] Lee, H.C.; Kuo, F.L.; Lin, Y.N.; Liou, T.H.; Lin, J.C.; Huang, S.W. (2021), Effects of Robot-Assisted Rehabilitation on Hand Function of People With Stroke: A Randomized, Crossover-Controlled, Assessor-Blinded Study. *Am. J. Occup. Ther.*, 75, 7501205020p1–7501205020p11.
- [21] Godfrey, S.B.; Holley, R.J.; Lum, P.S. (2013), Clinical Effects of Using HEXORR (Hand Exoskeleton Rehabilitation Robot) for Movement Therapy in Stroke Rehabilitation. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 92, 947–958.
- [22] Thielbar, K.O.; Triandafilou, K.M.; Fischer, H.C.; O’Toole, J.M.; Corrigan, M.L.; Ochoa, J.M.; Stoykov, M.E.; Kamper, D.G. (2017), Benefits of Using a Voice and EMG-Driven Actuated Glove to Support Occupational Therapy for Stroke Survivors. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 25, 297–306.
- [23] Connelly, L.; Jia, Y.; Toro, M.L.; Stoykov, M.E.; Kenyon, R.v.; Kamper, D.G. (2010), A Pneumatic Glove and Immersive Virtual Reality Environment for Hand Rehabilitative Training after Stroke. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 18, 551–559. 24–26 June 2013.

- [24] Maciejasz, P.; Eschweiler, J.; Gerlach-Hahn, K.; Jansen-Troy, A. (2014), Leonhardt, S. A Survey on Robotic Devices for Upper Limb Rehabilitation. *J. NeuroEng. Rehabil.*, 11, 3
- [25] Choo, Y.J.; Boudier-Revéret, M.; Chang, M.C. (2020), 3D Printing Technology Applied to Orthosis Manufacturing: Narrative Review. *Ann. Palliat. Med.*, 9, 4262–4270.
- [26] Yurkewich, A.; Kozak, I.J.; Hebert, D.; Wang, R.H.; Mihailidis, A. (2020), Hand Extension Robot Orthosis (HERO) Grip Glove: Enabling Independence amongst Persons with Severe Hand Impairments after Stroke. *J. NeuroEng. Rehabil.*, 17, 33.
- [27] Ates, S.; Haarman, C.J.W.; Stienen, A.H.A. (2017), SCRIPT Passive Orthosis: Design of Interactive Hand and Wrist Exoskeleton for Rehabilitation at Home after Stroke. *Auton. Robot.*, 41, 711–723.
- [28] Farrell, J.F.; Hoffman, H.B.; Snyder, J.L.; Giuliani, C.A.; Bohannon, R.W. (2007), Orthotic Aided Training of the Paretic Upper Limb in Chronic Stroke: Results of a Phase 1 Trial. *NeuroRehabilitation*, 22, 99–103.
- [29] Fischer, H.C.; Triandafilou, K.M.; Thielbar, K.O.; Ochoa, J.M.; Lazzaro, E.D.C.; Pacholski, K.A.; Kamper, D.G. (2016), Use of a Portable Assistive Glove to Facilitate Rehabilitation in Stroke Survivors with Severe Hand Impairment. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 24, 344–351.
- [30] Haghshenas-Jaryani, M.; Nothnagle, C.; Patterson, R.M.; Bugnariu, N.; Wijesundara, M.B.J. (2017), Soft Robotic Rehabilitation Exoskeleton (REHAB Glove) for Hand Therapy. In *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, Cleveland, OH, USA, 6–9 August, Volume 3.
- [31] Borboni, A.; Mor, M.; Faglia, R. (2016), Glove-Hand Robotic Rehabilitation: Design, Mechanical Model, and Experiments. *J. Dyn. Syst. Meas. Control Trans. ASME*, 138, 111003.
- [32] Yap, H.K.; Lim, J.H.; Nasrallah, F.; Yeow, C.H. (2017), Design and Preliminary Feasibility Study of a Soft Robotic Glove for Hand Function Assistance in Stroke Survivors. *Front. Neurosci.*, 11, 547.
- [33] du Plessis, T.; Djouani, K.; Oosthuizen, C. (2021), A Review of Active Hand Exoskeletons for Rehabilitation and Assistance. *Robotics*, 10, 40.
- [34] Yue, Z.; Zhang, X.; Wang, J. (2017), Hand Rehabilitation Robotics on Poststroke Motor Recovery. *Behav. Neurol.*, 3908135.
- [35] Hussain, S.; Jamwal, P.K.; van Vliet, P.; Ghayesh, M.H. (2020), State-of-The-Art Robotic Devices for Wrist Rehabilitation: Design and Control Aspects. *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, 50, 361–372.
- [36] CyberGrasp—CyberGlove Systems LLC. Available online: <http://www.cyberglovesystems.com/cybergrasp> (accessed on 21 April 2022)

- [37] In, H.; Kang, B.B.; Sin, M.K.; Cho, K.J. Exo-Glove (2015), A Wearable Robot for the Hand with a Soft Tendon Routing System. *IEEE Robot. Autom. Mag.*, 22, 97–105.
- [38] Nilsson, M.; Ingvast, J.; Wikander, J.; von Holst, H. (2012), The Soft Extra Muscle System for Improving the Grasping Capability in Neurological Rehabilitation. In *Proceedings of the 2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES 2012)*, Langkawi, Malaysia, 17–19 December pp. 412–417.
- [39] Zhou, Y.; Desplenter, T.; Chinchalkar, S.; Trejos, A.L. (2019), A Wearable Mechatronic Glove for Resistive Hand Therapy Exercises. In *Proceedings of the 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Toronto, ON, Canada,; pp. 1097–1102.
- [40] Delph, M.A.; Fischer, S.A.; Gauthier, P.W.; Luna, C.H.M.; Clancy, E.A.; Fischer, G.S. (2013), A Soft Robotic Exomusculature Glove with Integrated SEMG Sensing for Hand Rehabilitation. In *Proceedings of the 2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Seattle, WA, USA,
- [41] Suarez-Escobar, M.; Rendon-Velez, E. (2018), An Overview of Robotic/Mechanical Devices for Post-Stroke Thumb Rehabilitation. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, 13, 683–703.
- [42] Alamdari, A.; Krovi, V. (2015), Modeling and Control of a Novel Home-Based Cable-Driven Parallel Platform Robot: PACER. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Hamburg, Germany,; pp. 6330–6335.