

El Rehabilitasyonunda Kullanılabilecek Yay Mekanizmalı Bir Egzersiz Eldiveni Tasarımı

Design of an Exercise Glove for Hand Rehabilitation using Spring Mechanism

Kasım Serbest¹, Serdar Ateş², Arno H. A. Stienen^{2,3}

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
kserbest@sakarya.edu.tr

²Department of Biomechanical Engineering, University of Twente, Enschede, The Netherlands
s.ates@utwente.nl

³Department of Physical Therapy and Human Movement Sciences, Northwestern University, Chicago, USA
a.h.a.stienen@utwente.nl

Özetçe—Hatalık, kaza, travma gibi sebeplerden ötürü el kasları işlevlerini yerine getiremez hale gelmektedir. Hastanelerde ve rehabilitasyon merkezlerinde el rehabilitasyonunda farklı yöntemlere dayalı tedaviler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden biri cihaza dayalı rehabilitasyondur. Kişinin eli üzerine yerleştirilen cihazlarda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri kuvvet aktarımıdır. Bu çalışmada el rehabilitasyonunda kullanılabilecek yeni bir egzersiz eldivenin tasarımı ve üretim aşamaları sunulmuştur. Eldivenin özgün unsuru, kuvvet aktarımını sağlayan yay sistemidir. Geliştirilen bu yeni eldiven yardımıyla fleksiyon ve ekstansiyon hareketine dayalı parmak egzersizleri gerçekleştirilebilir. Yay sistemini, kullanıcı kendi kas gücüyle hareket ettirmektedir. Eldivenin özellikle inme sonrası rehabilitasyonda kullanılması beklenmektedir. Ayrıca eldiven, diğer eyleyici sistemlerine kolayca entegre edilerek aktif ve pasif egzersizlere olanak sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler — *el rehabilitasyonu; egzersiz; basma yayı.*

Abstract—Hand muscles do not perform their functions because of different reasons such as disease, injury and trauma. It is implemented some treatments for the hand therapy at hospitals and rehabilitation centers. One of these is using orthotic or robotic devices for rehabilitation. One of the important issues for these devices, placed on the user's hand, is force transmitting. Design and manufacturing process of a novel exercise glove for hand rehabilitation has been presented in this study. Original component of the glove is the spring mechanism for the force transmitting. Finger exercises based on flexion and extension movement can be performed using the new glove. The spring mechanism is driven by user's muscle strength. The glove could be used for especially post-stroke rehabilitation. Besides, this glove can

be integrated to other actuator systems easily, so both active and passive exercises can be performed.

Keywords — *hand rehabilitation; exercise; compression spring.*

I. GİRİŞ

El, şüphesiz gündelik yaşantımız açısından büyük öneme sahip bir uzvumuzdur. En zor ve karmaşık motor becerileri sergileyen elimiz, dokunma duyusu ve jestleri sayesinde duygularımızı da daha güçlü şekilde ifade etmemizi sağlar. Bu açıdan hem bir duyu organı hem de uygulayıcı bir organ olan elde meydana gelen fonksiyon kayıpları elin yapabildiği işlerin çok daha ötesindedir.

Hastalık, kaza, travma veya doğuştan gelen bir takım kusurlar el kaslarında fonksiyon kayıplarına sebep olmaktadır. Rehabilitasyon amaçlı farklı yöntemler kullanılarak eldeki fonksiyon kayıpları giderilmektedir. Bu yöntemlerden biri cihaza dayalı rehabilitasyondur. Ortez veya robotik temelli giyilebilir cihazlar kullanılarak el rehabilitasyonunda başarılı sonuçlar elde edilmektedir [1]. Bu cihazların tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri kuvvet aktarım işlemidir. Kuvvet aktarımının eldeki eklemlere minimum seviyede yük bindirecek veya hiç yük bindirmeyecek şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Eldeki eklemlere aşırı derecede kuvvet etki etmesinin sebebi, el eklemleri ile cihazın mafsallarının dönme merkezlerinin tam olarak eşleşmemesidir. Önceki çalışmalarda bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Tablo 1'de kuvvet aktarımında kullanılan farklı uygulamalar yer almaktadır.

Bu çalışmada kuvvet aktarımı için yay sistemi kullanılan yeni bir egzersiz eldivenin tasarım ve üretim aşamaları yer almaktadır. Eldiven, parmaklara fleksiyon ve

Referans	Yöntem
[2]	Her bir parmağa ayrı yerleştirilen tek veya çok serbestlik dereceli mekanizma ve kablo yardımıyla kuvvet aktarımı
[3]	Her bir parmak için ayrı doğrusal eyleyici ve mekanizma kullanarak kuvvet aktarımı
[4]	Mekanik mafsalları olmayan, eldiven üzerine yerleştirilmiş kablo sistemi ile kuvvet aktarımı
[5]	Çok katmanlı, elyaf takviyeli, yay prensibine göre çalışan ve akışkan tahrikli bir eyleyici ile kuvvet aktarımı
[6]	Parmak eklemlerinin her biri üzerine yerleştirilmiş kramayer dişli sistemi ile kuvvet aktarımı
[7]	Robotik temelli bir sistem ile kuvvet aktarımı
[8]	Parmaklara doğrudan irtibatlandırılmış akışkan tahrikli doğrusal eyleyici ile kuvvet aktarımı
[9]	Yumuşak (soft) eyleyiciler kullanarak kuvvet aktarımı

Tablo 1. Önceki çalışmalarda kullanılan kuvvet aktarım sistemleri

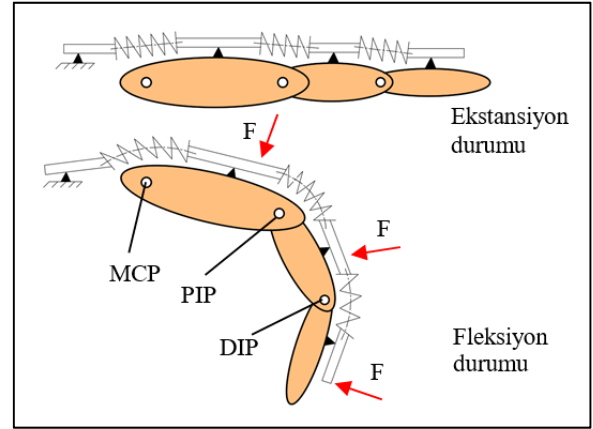
ekstansiyon egzersizleri yaptıracak şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı egzersizleri kendi kas gücü ile gerçekleştirmektedir. Geliştirilen eldiven; elektrik, pnömatik, hidrolik ve mekanik prensiplerle çalışan eyleyicilere kolaylıkla entegre edilebilir. Ayrıca önerilen yeni eldivenin düşük maliyetli, hafif, evde kullanıma uygun ve kolay kullanılabilir olması beklenmektedir.

II. METOT

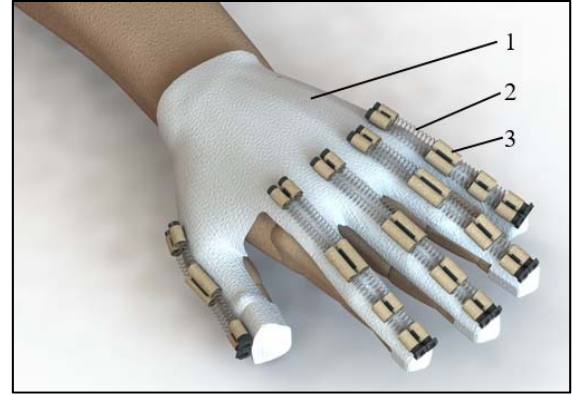
Eldivenin ilk kullanım alanının inme sonrası el rehabilitasyonu olması beklendiğinden tasarım işlemi, inme rahatsızlığı geçiren kişilerin durumu göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. İnme rahatsızlığı yaşayan kişilerde meydana gelen spastisite, kasların parmakları fleksiyon konumunda tutacak şekilde kasılı kalmasına sebep olur. Dolayısıyla inmeli hastaların parmaklarını ekstansiyon konumuna getirebilmeleri egzersiz açısından daha faydalıdır. Bu durum dikkate alınarak eldivenin başlangıçta parmakları fleksiyon konumunda tutacak bir yapıda olması kararlaştırılmıştır.

A. Eldivenin Kavramsal Tasarımı

Yapılan değerlendirmeler neticesinde kuvvet aktarımında kullanılan mekanizmaların hantal bir yapıda oldukları ve estetik açıdan hoş gözükmedikleri anlaşılmıştır. Bu çalışmada ele giyilecek bir cihazın el üzerinde fazla yer kaplamaması amaçlanmıştır. Yumuşak eyleyici [5, 9] temelli kuvvet aktarım sistemleri daha ergonomik olmalarına rağmen işlevlerini yerine getirebilmeleri için akışkan gücüne gerek duymaktadırlar. Hidrolik veya pnömatik prensiplere göre çalışan bu sistemlerin ev ortamında kullanılmalrı zordur. Hem ev ortamında kullanıma uygun cihazlara entegre edilebilecek hem de ergonomik bir kuvvet aktarım sisteminin mekanik yaylar ile gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Şekil 1, kuvvet aktarımı için önerilen yay sistemini göstermektedir.



Şekil 1. Eldivendeki yay sisteminin işaret parmağı üzerindeki yerleşimi.



Şekil 2. Egzersiz eldiveninin CAD modeli. 1, eldiven; 2, basma yayı; 3, fiberglas kılıf.

Sistem, parmak üzerindeki her bir ekleme bir yay gelecek şekilde oluşturulmuştur. Yaylar, parmakları başlangıçta fleksiyon konumunda tutan bir kuvvet oluşturmaktadır. Yay sistemi, deri malzemeden üretilmiş bir eldiven üzerine yerleştirilmiştir. Yaylar, birkaç farklı noktadan eldivene yapıştırılmıştır. Parmakları fleksiyonda tutabilmek için yaylara bükme işlemi uygulanmıştır. Yaylar, başparmak haricindeki parmakların MCP, PIP ve DIP eklemlerine [10]; başparmakta ise MCP ve IP eklemlerine denk gelecek şekilde bükülmüştür. Yetişkin bir insan elinin ölçüleri [11-13] dikkate alınarak parmakların her biri üzerine iki sıra yay yerleştirilmesi uygun bulunmuştur. Şekil 2'de eldivenin CAD modeli görülmektedir.

B. Uygun Yayın Seçimi

Yapılan değerlendirme neticesinde eldiven üzerinde ticari olarak satılan basma yaylarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bir basma yayının doğrusal yer değiştirme sonucunda ürettiği kuvvet $F_{yay(x)}$, yay katsayısı k ve yer değiştirme miktarına x bağlı olarak hesaplanabilir (Denklem 1). Her bir parmak üzerindeki 3'erli veya 2'şerli sıra şeklindeki yaylar birbirine seri olarak, iki sıra halindeki yaylarda birbirlerine paralel olarak bağlanmıştır. Seri bağlı yayların toplam yay katsayısı k_{top} Denklem 2 ile,

Tel çapı	d	0.8 mm
Ortalama çapı	Dm	5.60 mm
Tam boyu	Lo	59.00 mm
Minimum boyu	Ln	27.03 mm
Yay katsayısı	C	0.80 N/mm
Maksimum kuvvet	F	25.59 N
Malzeme		Paslanmaz yay çeliği

Tablo 2. Egzersiz eldiveninde kuvvet aktratımı için kullanılan basma yayının özellikleri [14].

paralel bağlı yayların toplam yay katsayısı Denklem 3 ile hesaplanabilir. Ancak eldiven üzerindeki yayların parmak eklemleri üzerindeki kısımlarına bükme işlemi uygulanacağından, yaylar ekstansiyon/fleksiyon egzersizi sırasında hem doğrusal hem de açısal yer değiştirme yapacaktır. Dolayısıyla yaylarda doğrusal kuvvetin yanı sıra radyal ve teğetsel yönlerde de kuvvet meydana gelecektir. Bu kuvvetleri belirlemek için gerekli radyal ve teğetsel yay katsayılarını teorik veya deneysel olarak belirlemek zor olacağından uygun yayın seçimi farklı denemeler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

$$F_{yay(x)} = k \cdot x \quad (1)$$

$$\frac{1}{k_{top}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \quad (2)$$

$$k_{top} = \sum_{i=1}^n k_i \quad (3)$$

Ticari basma yayları arasından farklı geometrik özelliklere ve farklı yay katsayılarına sahip yaylar bükme işlemine tabi tutularak eli fleksiyonda tutmaya yetecek kadar kuvvet üreten bir yay belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak Tablo 1’de geometrik ve mekanik özellikleri yer alan standart basma yayının egzersiz eldiveni için uygun olduğu kararlaştırılmıştır.

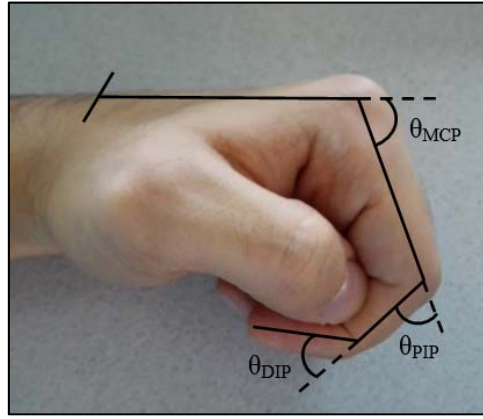
C. Eldivenin Üretim Aşamaları

Önerilen egzersiz eldiveni parmakları başlangıçta fleksiyon konumunda tutacağından, parmak eklemleri üzerinde yer alan yayların (Bkz. Şekil 1. Fleksiyon konumu) bükülmesi gerekmektedir. Yaylar, eğrisel bir kılavuz parça üzerine geçirilerek ısı altında bükülmüştür. Plastik malzemeden yapılmış içi boş bir mil ile yaylar uç uca birleştirilmiştir (Şekil 3).

Yay sistemi, deri malzemeden üretilmiş bir eldiven üzerine yapıştırılmıştır. Yaylara kılavuzluk yapması için eldiven üzerine fiberglas kılıflar yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 2, 3). Yaylar bu kılavuzlar içerisinden geçirilmiştir. Parmaklar ekstansiyon konumuna getirildiğinde yaylarda burkulma olmaması için her bir parmak üzerinde yer alan iki sıra yay, birbirlerine düğümlenmiştir.



Şekil 3. Bükülmüş ve uç uca eklenmiş yaylar.



Şekil 4. İşaret parmağı üzerindeki eklem açıları.

D. Yay Kuvvetinin Belirlenmesi

Eldivendeki yay sisteminin ekstansiyon/fleksiyon egzersizleri sırasında ürettiği kuvvetin teorik olarak hesaplanmasının zorluğu Bölüm 2.2’de açıklanmıştır. Yayların ürettiği kuvveti tespit etmek amacıyla bir ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. İşaret parmağının geometrik özelliklerine uygun olarak üç silindirik çubuktan ve üç döner mafsaldan oluşan çift sarkaca benzer bir parmak modeli oluşturulmuştur. Bu model, eldivenin işaret parmağı kısmına geçirilmiştir. Eldivenin işaret parmağı kısmının distal ucu, dijital bir el terazisi ile çekilerek parmak kısmı ekstansiyon konumuna getirilmiştir. Kuvvet ölçüm işlemi üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Bu sırada işlem, bir video kamera ile kaydedilmiştir. Video görüntülerinden yararlanılarak yay sisteminin ürettiği kuvvet, toplam eklem açısına (θ_{top}) göre belirlenmiştir. Toplam eklem açısının tanımlaması Şekil 4’de ve Denklem 4’de görülmektedir.

$$\theta_{top} = \theta_{MCP} + \theta_{PIP} + \theta_{DIP} \quad (4)$$

III. SONUÇLAR

Egzersiz eldivenin üretilen ilk prototipi Şekil 5’de yer almaktadır. Bir deri eldiven ve eldiven üzerine yerleştirilen toplam 24 adet yaydan oluşan sistemin ağırlığı 200 gramın altındadır. Prototipin üretim maliyeti ise 100 TL’den azdır.

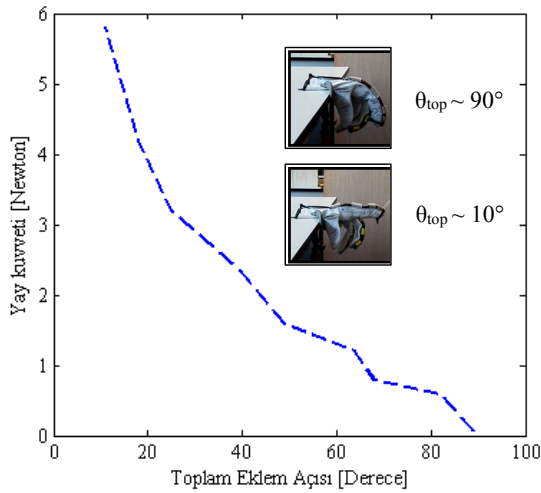
Geliştirilen eldiven kullanılarak yapılacak egzersize ait görsellere Şekil 6’da yer verilmiştir. Kullanıcı kendi kas



Şekil 5. Egzersiz eldivenin ilk prototipi.



Şekil 6. Egzersiz hareketleri.



Şekil 7. Yay kuvvetinin değişimi.

kuvveti ile parmaklarını ekstansiyon konumuna getirmektedir (Bkz. Şekil 6. Üst). Ardından kullanıcı ekstansör kaslarını serbest bıraktığında yay kuvvetinin etkisiyle parmaklar fleksiyon konumuna geri gelmektedir (Bkz. Şekil 6. Alt). Egzersizler ekstansiyon/fleksiyon hareketleri bir biri ardına tekrarlanarak gerçekleştirilmektedir.

Yapılan kuvvet ölçümünde tek bir parmak üzerindeki yay sisteminin ekstansiyon konumunda yaklaşık 6 N kuvvet ürettiği anlaşılmıştır. Şekil 7, radyal yöndeki yay kuvvetinin toplam eklem açısına göre değişimini göstermektedir.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen egzersiz eldiveni, kuvvet iletimi bakımından yeni bir yöntem önermektedir. Kullanılan yay sistemi ile dönme merkezlerinin eşleştirilmesi sorunu ortadan kaldırılmıştır. Öncelikli olarak inme rehabilitasyonunda kullanılması beklenen eldivende farklı yaylar kullanarak egzersiz direncinin miktarı değiştirilebilir. Rehabilitasyonun ilerleyen dönemlerinde hastanın kas kuvveti arttığından farklı dirençlere sahip eldivenler kullanılabilir. Ayrıca bu eldiven inmeli hastalara günlük işleri sırasında destekleyici bir cihaz olarak önerilebilir.

Geliştirilen egzersiz eldiveni ile aktif egzersizler gerçekleştirilebilir. Ancak bu eldiven; elektriksel, hidrolik pnömatik veya mekanik prensiplere göre çalışan doğrusal veya dairesel eyleyicilere kolayca entegre edilebilir. Böylelikle pasif egzersizler de gerçekleştirilebilir.

Çalışma kapsamında ticari basma yayları kullanılmıştır. Bu yaylarda, parmaklar ekstansiyon konumuna geldiğinde burkulma meydana gelmektedir. Bunu önlemek için yay sistemi iki sıralı olarak ve birbirine düğümlenmiş durumda üretilmiştir. Burkulma durumunu ortadan kaldırmak için egzersiz eldivende kullanılmak üzere özel bir yay geliştirilebilir.

İleriki çalışmalardan biri, eldivenin gönüllüler tarafından kullanımına olanak tanımaktır. Öte yandan eldivene bir eyleyici sistemi entegre edilerek giyilebilir bir el rehabilitasyon cihazı geliştirilecektir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Fonds NutsOhra tarafından kısmi olarak desteklenmiştir (Proje No: 558695). Ayrıca yazar Serbest, Desteklerinden dolayı Sakarya Üniversitesi BAP Komisyonuna ve TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- [1] F. Amirabdollahian, S. Ates, A. Basteris, A. Cesario, J. Buurke, H. Hermens vd., "Design, development and deployment of a hand/wrist exoskeleton for home-based rehabilitation after stroke – SCRIPT project", *Robotica*, vol. 32, no. 8, s. 1331-1346, 2014.
- [2] A. Wege ve G. Hommel, "Development and control of a hand exoskeleton for rehabilitation of hand injuries", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, s. 3046-3051, Canada, 2005.

- [3] K. Y. Tong, S. K. Ho, P. M. K. Pang, X. L. Hu, W. K. Tam, X. J. Wei vd., "An intention driven hand functions task training robotic system", *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, s. 3406-3409, Argentina, 2010.
- [4] H. K. In, K. J. Cho, K. R. Kim, ve B. S. Lim, "Jointless structure and under-actuation for compact hand exoskeleton", *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, s. 1-6, Switzerland, 2011.
- [5] P. Polygerinos, Z. Wang, K. C. Galloway, R. J. Wood, ve C. J. Walsh, "Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 73, p. 135-143, 2015.
- [6] F. Zhang, L. Hua, Y. Fu, H. Chen, ve S. Wang, "Design and development of a hand exoskeleton for rehabilitation of hand injuries", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 73, s. 103-116, 2014.
- [7] J. Iqbal, H. Khan, ve N. G. Tsagarakis, "A novel exoskeleton robotic system for hand rehabilitation – Conceptualization to prototyping", *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 34, s. 79-89, 2014.
- [8] M. Bouzit, G. Burdea, ve G. Popescu, R. "The Rutgers Master II – new design force – feedback glove", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 7, no. 2, s. 256-263, 2002.
- [9] Y. Kadowaki, T. Noritsugu, M. Takaiwa, D. Sasaki, ve M. Kato, "Development of soft power-assist glove and control based on human intent", *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 23, no. 2, s. 281-291, 2011.
- [10] B. Buchholz ve T. J. Armstrong, "A kinematic model of the human hand to evaluate its prehensile capabilities" *Journal of Biomechanics*, vol. 25, no. 2, p. 149-162, 1992.
- [11] J. W. Garret, Anthropometry of the hands of male air force flight personnel. DTIC Document, Tech. Rep., 1970.
- [12] J. W. Garret, Anthropometry of the air force female hand. DTIC Document, Tech. Rep., 1970.
- [13] T. M. Greiner, Hand Anthropometry of U.S. Army Personnel. Tech. Rep., 1991.
- [14] Tevema Technical Springs, Compression Spring Catalogue, 2016. Erişim Yeri: http://www.tevema.com/webshop_nl.html?pmProductId=104666