Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi
1(1), 454-458, 2022 Araştırma Makalesi

Adaptif Yardımlı Dış İskelet Kontrol Sisteminin Motor Öğrenme Becerilerine Etkisi

Effect of Adaptive Assisted Exoskeleton Control System on Motor Learning Skills

Enes Muslu[1], *Muhammed Sezer*[2], *Amr Okasha*[3], Sabahat Şengezer[4], Ceylan Yozgatlıgil[5], *Ali E. Turgut*[6], *Kutluk B. Arıkan*[7]

[1,7]Makine Mühendisliği Bölümü
TED Üniversitesi, Ankara
{enes.muslu, kutluk.arikan}@tedu.edu.tr

[2]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
muhammed.sezer@metu.edu.tr

[3,6]Makine Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
{okasha.amr, aturgut}@metu.edu.tr

[5]İstatistik Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
ceylan@metu.edu.tr

[4]Uygulamalı Veri Bilimi Yüksek Lisans Programı
TED Üniversitesi, Ankara
sabahat.sengezer@tedu.edu.tr

Özetçe

Motor değişkenliği genellikle belirli bir hareketin gerçekleştirilmesi sırasında gözlenen gürültü olarak tanımlanır; bununla birlikte, motor değişkenliği motor öğrenmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, işaret parmağına basit bir harici iskelet mekanizması takılmış halde oynanan sanal bir lider-takipçi oyunu konu edilmiştir. Uygulanan denetim stratejilerinin motor değişkenliğe ve takip performansına olan etkileri irdelenmiştir. Katılımcı, sol işaret parmağının ucuyla kuvvet sensörü yerleştirilmiş yay destekli bir yüzeye baskı uygulayarak sanal dinamik sistemdeki avatarını hareket ettirmektedir. 20 katılımcı dört gruba ayrılmış ve harici iskelet mekanizması takılı halde ekrandaki görüntüde yer alan lideri takip etme görevi verilmiştir. Bazı gruplarda dış iskelet kullanılarak katılımcıların görevi yerine getirmesini destekleyici veya zorlaştırıcı etkilerde bulunulmuştur. Ayrıca değişkenliğin etkilerini daha belirgin görebilmek için bir grup da destekleyici ve zorlaştırıcı şekilde rastgele olarak etkilenmiştir. Rastgele yardım modunun getirdiği ekstra değişkenliğin katılımcıların öğrenme oranını arttırdığı gözlenmiştir.

Abstract

Motor variability is generally defined as the noise observed during the performance of a particular movement; however, motor variability plays an important role in motor learning. In this study, a virtual leader-follower game played with a simple exoskeleton attached to the index finger is discussed. The effects of control strategies on motor variability and follow-up performance were examined. The participant moves the avatar in the virtual-dynamic system by applying pressure to the spring-supported surface with a force sensor placed on the left index fingertip. 20 participants were divided into four groups and given the task of following the leader in the image. In some groups, the exoskeleton was used to support or hinder for the participants to perform the task. One group was randomly affected in a supportive and challenging way. The variability brought by the random-help mode increased the learning rate of the participants was observed.

1. Giriş

İnme, motor fonksiyon kaybının önde gelen nedenlerinden biridir [1]. İnme hastaları, kaybettikleri motor yeteneklerini yeniden kazanmak için yoğun rehabilitasyon seanslarına ihtiyaç duyarlar [2]. Robot destekli rehabilitasyonun, hastalar için erişilebilirlik anlamında avantajları bulunmaktadır [3-6]. Rehabilitasyon robotlarında kullanılacak denetim yaklaşımları ve ilgili terapi protokolleri günümüzde sürmekte olan araştırma konuları arasındadır [7]. Motor öğrenme temelli geliştirilen robotik rehabilitasyon sistemleri, motor öğrenmeyi optimize edecek şekilde, motor değişkenlik ve arayışı (İng. motor variability and exploration) gözeten, hata yapmaya izin

veren ancak hatanın azalma hızına dikkat eden yaklaşımlar ile tasarlanmaktadır [8-10].

Motor değişkenliğinin, insan motor denetiminde neden olduğu gürültü nedeniyle genellikle istenmeyen bir durum olduğu düşünülür. Hastayı terapi sırasında "gerektiği kadar destekleyen" (İng. assist as needed) denetim yaklaşımları günümüzde robotik rehabilitasyon sistemlerinde oldukça popüler olmalarına rağmen motor arayışı ve değişkenliği kısıtlamaları sebebiyle her şartta ve her hastada ideal sonuca sevk etmedikleri yönünde bulgulara da rastlanmaktadır. Bu yaklaşımın yerine veya beraberinde direnç oluşturucu ya da bozucu etkilerin kullanıldığı protokollerin motor yeniden öğrenme ve beceri geri kazanımını olumlu yönde etkilediği de gösterilmiştir [11].

Rehabilitasyonu kişiye özel ve optimal kılmak adına sanal gerçekliğin kullanımı her geçen gün artmaktadır [12]. İncelemede, VR'nin haptik arayüzlerle kombinasyonu, daha fazla çeşitlilik sağlayarak hastalarla etkileşim açısından daha iyi sonuçlar vaat etmektedir. Bu dokunsal arayüzler genellikle günlük yaşam aktivitelerinin (ADL'ler) motor öğrenme/yeniden öğrenmesine rehberlik etmek için yardımcı bir şekilde kullanılmaktadır [13].

Bu çalışmada, motor öğrenmeyi değerlendirmek amacıyla bir ayna paradigma oyunu uygulanmıştır [14-17]. Katılımcının Şekil 1'de sunulan sanal dinamik sistemdeki lideri (yeşil kutu) kendisini temsil eden avatar ile (kırmızı kutu) takip etmesi hedeflenmektedir. Lider, açık ve ilk seferde öngörülemeyen ama zamanla motor öğrenme ile öngörülmesi kolaylaşan/mümkün olan bir harekete sahiptir. Katılımcı kendi avatarını yaya bağlı yüzey ve üzerindeki kuvvet sensörüne bastırarak yukarı yönde kuvvet uygulayabilmektedir. Avatar, aşağı doğru bir kuvvet alanı (yer çekimi kuvveti benzeri) etkisi altındadır. Parmak ile uygulanan yukarı yönlü kuvvet ve aşağı doğru olan kuvvet alanının bileşeni sonucu avatar ivmelenmektedir. Katılımcının bu sanal dinamiği öğrenmesi de motor öğrenme sürecinde beklenmektedir. Yaya bastırarak kuvvet üreten sol işaret parmağı üzerine tek döngülü bir 4 çubuk mekanizma yapısı yerleştirilmiştir. Admitans tipi denetimci ile kontrol edilen bu mekanizma marifetiyle oyun sırasında 1) destekleyici, 2) zorlaştırıcı 3) destekleyici-zorlaştırıcı – rastgele-değişen denetim aksiyonları uygulanmıştır. Destekleyici etkinin uygulandığı grupta sağlanan yardımın büyüklüğü, lider ve takipçinin konum hatasıyla orantılı olarak değiştirilmektedir. Ayna oyununun değişken dış iskelet yardımlı bu versiyonunun, öğrenme keşfi sağlayan ekstra motor değişkenlik nedeniyle motor öğrenme oranını olumlu yönde etkilediği varsayılmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, deneye genel bakışın yanı sıra deney düzeneğinin özellikleri ve performansın değerlendirilmesi için kullanılan metrikler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

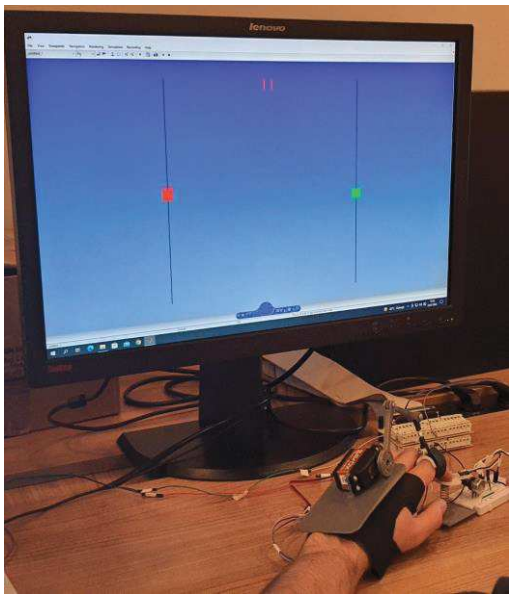
2. Yöntem

Bu bölümde, hipotezi test etmek için geliştirilen yöntemler ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Ek olarak, sanal gerçeklikte bir ayna oyunu düzeneği ve dış iskelet ile desteklenmiş bir manipulandum içeren fiziksel deney düzeneği sunulmuştur. Son olarak, deney düzeneği ve değerlendirme ölçütleri tartışılmıştır.

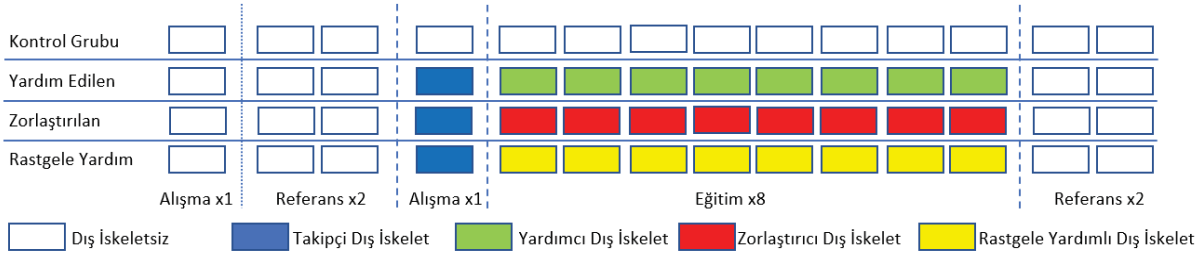
2.1. Deney Düzeneği

Bu çalışmada Şekil 1 'deki lider-takipçi türündeki ayna oyunu dikey olarak yukarı ve aşağı hareket eden kutular ile bir monitörde gösterilen sanal gerçeklik ortamında hazırlanmıştır. Katılımcıların görevi, manipulanduma uyguladıkları kuvvet ile monitörün sağ tarafında yukarı-aşağı belirli bir karmaşık örüntüde hareket eden yeşil kutuyu takip etmektir. Monitörün üst-orta bölümünde katılımcının takip skoru 0 ile 100 arasında belirtilmektedir. Skor hesaplaması aşağıdaki Denklem 1 'e göre gerçek zamanlı simülasyon ortamında anlık olarak yapılmıştır. Bu skor denklemi tüm deney süresi boyunca lider x_L ve takipçi x_T avatarları arasındaki takip mesafesinin belirlenmiş bir mesafe olan x_b den uzun olduğunda negatif, kısa olduğunda pozitif olarak artmasını sağlamaktadır. Bu skorların deney süresi sonunda tam puan 100 olacak şekilde oranlanması k sabiti ile sağlanmıştır. Skor yazısı 40 puanı geçtikten sonra kırmızı renkten yeşil renge dönmektedir.

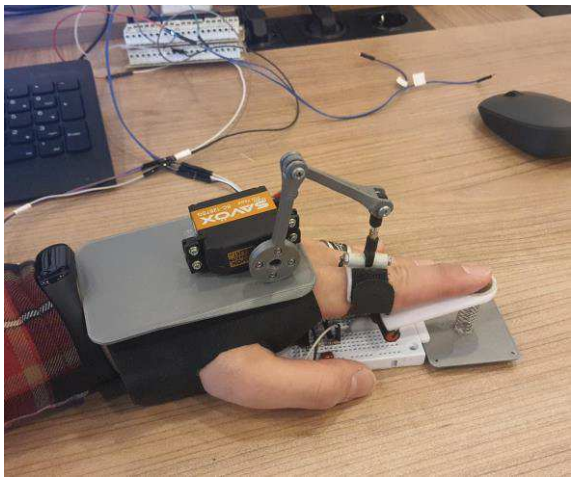
$$Skor = \frac{1}{k}\int x_b - (x_L - x_T)dt$$
$$Skor = \frac{1}{k}\sum x_b - (x_L - x_T)\Delta t \quad (1)$$



Şekil 1: Deneyde katılımcılara gösterilen sanal deney ortamı görüntüsü ve deneyde kullanılan dış iskelet ile birlikte manipulandum düzeneği.



Şekil 2: Deney deseni.



Şekil 3: Deneyde kullanılan dış iskelet.

Katılımcılar görevi uygularken Şekil 3 ’de görüldüğü üzere manipulandum üzerindeki parmağın MCP mafsalına destek veya zorlaştırma yönünde kuvvet uygulaması amacıyla elin üstüne cırt bantlar ile tutturulabilen 4 çubuk mekanizmalı bir parmak dış iskeleti geliştirilmiştir. RC servo motor tahrikli dış iskeletin gerçek zamanlı hareket kontrolü MATLAB/Simulink Real-Time Desktop yazılımı ile sağlanmıştır. Admitans tipi denetim yapısı sayesinde hem katılımcının istemli hareketlerinin hem de verilmek istenen dış etkinin birleşimi bir çıktı sağlanmıştır. Hiçbir dış etki verilmediğinde dış iskelet sadece katılımcının kuvvet sensörü üzerindeki parmağının hareketiyle uyumlu bir şekilde hareket etmektedir.

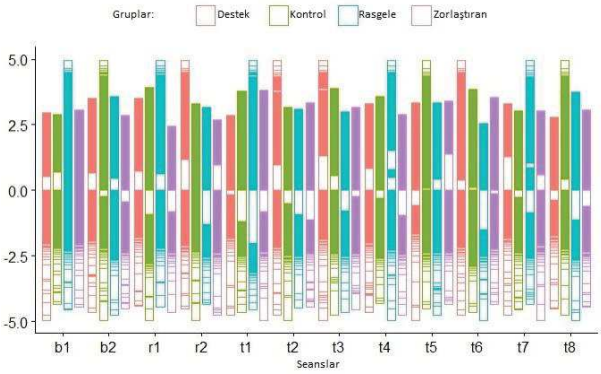
Katılımcılardan bahsedilen deney düzeneğinde 1 dakikalık seans boyunca belirtilen görevi yerine getirmeleri istenmiştir. Gruplara ayrılan katılımcılar toplamda 12 seans boyunca Şekil 2’de belirtilen desende oyunu oynamışlardır. Her gruptaki katılımcılar, deney düzeneğini anlayabilmeleri ve ilk öğrenme sürecindeki belirsiz davranışların deney sonuçlarını etkilememesi için kayıt altına alınmayan uyum sağlama seansları oynamıştır. Ardından her grup 2 kez referans alınacak temel seansları oynamışlardır. Ardından kontrol grubu sadece belirtilen şekilde herhangi bir destek olmadan oynamıştır. Yardım edilen grup ellerine dış iskelet giyerek ilk alışma seansını herhangi bir yardım olmadan oynadıktan sonra 8 eğitim seansı oynamıştır. Bu sırada dış iskelet, takip edilen yeşil kutu ile kontrol edilen kırmızı kutu arasındaki mesafe arttığında katılımcının parmağını manipulandum üzerinde bastırarak veya bastırmasını engelleyecek yönde kuvvet uygulayarak hatayı azaltması yönünde destekleyici bir rol oynamıştır. Zorlaştırılan grupta ise 8 eğitim seansı boyunca tam tersi olarak aradaki mesafe arttığında bu mesafeyi azaltmayı zorlaştıracak şekilde parmağa kuvvet uygulamıştır. Rastgele yardım grubunda ise dış iskelet 8 eğitim seansı boyunca her seansta rastgele şekilde yardım veya zorlaştırma şeklinde kuvvet uygulamıştır. Eğitim seanslarının ardından her grupta eğitim öncesindeki durum ile değişimi gözlemlemek amacıyla dış iskelet olmadan 2 seans daha oynamış ve deney sona ermiştir. Deney süresince katılımcılara seans aralarında ve deney bitiminde nasıl hissettikleri sözlü olarak sorulmuş ve notlar alınmıştır.

3. Değerlendirme

Deneydeki istatistiksel analizler için R ve Matlab programları kullanılmıştır. Deney ve kontrol gruplarının her biri için 5’er kişi olmak üzere toplamda 20 kişi üzerinde çalışılmıştır. Deneyde alınan veriler ‘takip mesafesi’, ‘grup’ ve ‘seanslar’ değişkenlerinden oluşmaktadır.

‘Takip mesafesi’ değişkeni; lider ve takipçi arasındaki pozisyon farkını göstermektedir. ‘Grup’, deney gruplarını tanımlayan değişkendir ve kontrol, yardımcı, zorlaştırıcı ve rastgele adlı grupları kapsamaktadır.

Referans (İng. baseline) amaçlı tasarlanan b1 ve b2 turlarıyla başlayan deney, eğitim (İng. training) amaçlı tasarlanan t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8 turlarıyla devam edip, kısa süreli öğrenimi (İng. retention) gözlemleyebilmek amacıyla tasarlanan r1 ve r2 turlarıyla son bulmaktadır.



Şekil 4: Seanslara göre liderler ile takipçi arasındaki uzaklık

Şekil 4 ‘de, takip edilen liderin pozisyonları ile lideri takip eden katılımcıların pozisyonları arasındaki fark verilmiştir. Destekleyici ve zorlaştırıcı kuvvetler uygulanarak kontrol edilen eğitim görevleri sonrasındaki turlarda daha iyi performanslar sergilendiği bilinmektedir [18]. Bu çalışmada

ise Şekil 3'de yer alan deneyin başlangıç turu b1 ve deneyin son turu r2 incelendiğinde, rastgele ve zorlaştırıcı gruplarında deney sonunda liderin hareketlerinin öğrenildiği ve daha kısa mesafeden takip ettikleri gözlenmektedir.

Zorlaştırıcı grubunun deney turlarındaki dağılımı incelendiğinde ise, liderlerle arasındaki farkın diğer gruplara göre daha kısa aralıkta olduğu gözlenmektedir. Hareketlerini engellemeye yönelik kuvvet uygulandıkça oluşan değişkenliğin, katılımcıları motor arayışa sevk ettiği yorumu yapılabilmektedir.

Araştırmada, verilerin normal dağılıma uygun olmadığı anlaşıldığı için analizlerde parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Analiz sırasında istatistiksel yöntem olarak tanımlayıcı istatistikler, Kruskall–Wallis H, Levene, Tukey, Anova testleri kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi için testler yorumlanırken p değeri 0,05 olarak alınmıştır [19]. Tüm deney grubunun ortalamaları arasında istatistiksel farklılığın anlamlılığını test etmek amacıyla deney verilerine Kruskall–Wallis H testi uygulanmıştır.

Tablo 1: Kruskal-Wallis Rank Sum Test sonuçları

Chi-Squared	Df	P-Değeri
25920	3	$<2.2e^{-16}$

*veri: gruplara göre takip mesafeleri

Test sonucunda görülen P-değeri, anlamlılık düzeyi (0,05)'den küçük olduğu için, deney grupları arasında anlamlı bir farkın olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Hangi deney grubu ya da gruplarının anlamlı bir farka sahip olduğunu gösterecek Post-Hoc çoklu karşılaştırmanın bir örneği olan Levene tekniği uygulayabilmek için gerekli koşul olan, verilerin homojen dağılmasını test edebilmek amacıyla Levene Test uygulanmıştır.

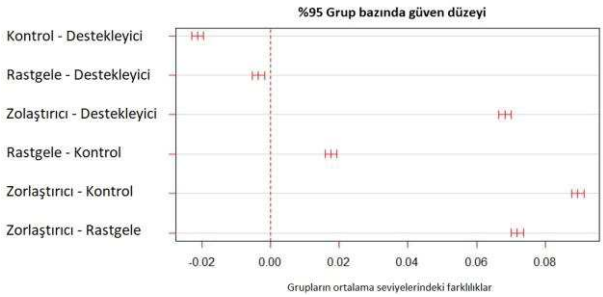
Tablo 2: Varyansın Homojenliği için Levene Testi

Df	F-Değeri	Pr(>F)
3	2339.6	$<2.2e^{-16}$

Levene Test sonucunda P-değeri, anlamlılık düzeyinden küçük olduğundan gruplar arasında varyansın homojen dağılmadığı bulunmuştur. Bir sonraki adım için, veriler normalize edilerek devam edilmiştir. Veriler, Rstudio'da bulunan 'bestNormalized' paketinin önerdiği 'orderNorm' transformasyonu ile normalize edilmiştir. Normal dağılımlı ve 4 bağımsız değişkene sahip veriye tek yönlü Anova uygulanmıştır.

Tablo 3: Tek Yönlü Anova Sonuçları

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-Değeri	Pr(>F)
Grup	3	19503	6501	6508	$<2.2e^{-16}$
Artık	16800236	16780721	1		



Şekil 5: Tukey testi sonuçları

Tek yönlü ANOVA'nın sonucu olarak karşılık gelen p değerinin, anlamlılık seviyesinden (0,01) çok daha az olması nedeniyle, deney grupları için anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Tek yönlü ANOVA incelendiğinde deney gruplarının, deney sırasındaki lider takip edilme üzerinde etkili olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Farklı olan grubun bulunması için ise Tukey testi uygulanmıştır.

Destekleyi-zorlaştırıcı, rastgele-kontrol, zorlaştırıcı-kontrol, zorlaştırıcı-rastgele deney grupları yüzde 95 güven aralığında, anlamlı bir şekilde farklı çıkmıştır. Şekil 5'teki Tukey tablosuna baktığımızda en büyük farkın zorlaştırıcı etkiler uygulanan deneyler sırasında olduğu gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Sonuçlar değerlendirildiğinde yardım edilen grubun kontrol grubuna çok yakın bir şekilde fakat onlardan daha iyi olduğu, rastgele yardım uygulanan grubun ise zorlaştırıcı etki uygulanan gruptan daha kötü ama yakın seviyelerde oldukları gözlemlenmiştir. Genelde aradaki farkların daha büyük olması beklenmekte olmasına rağmen istatistiksel testler ile yapılan farklılık analizleri sonucunda bu küçük farklılıkların da ileride yapılacak uzun süreli daha çok seans içeren deneylerin sonuçlarına ilişkin fikirler verebilmektedir.

Yardım edilen grubun sonuçlarının bazı çalışmalarda belirtildiği üzere dokunsal etkileşimin iyi performans gösteren katılımcılar üzerindeki olumsuz etkisini kanıtlar nitelikte olduğu söylenebilir [20]. Bu durumda rastgele yardım veya zorlaştırma etkileri motor değişkenliğini arttırarak öğrenmeyi olumlu yönde etkileyebilmektedir. Katılımcı sayısının arttırılması ilave metriklerin kullanımı ve motor öğrenme modellerinin geliştirilmesine imkân verecektir.

Ayrıca dış iskelet kontrol sisteminin katılımcı hareketlerine ve sanal ortam parametrelerine daha duyarlı olacak şekilde tasarımı için Kalman filtresi temelli öngörücülerin kullanılabileceği düşünülmektedir. Farklı eklemlere uygulanacak etkilerin öğrenmeye olan katkıları irdelenecektir.

Sağlıklı katılımcılar üzerinde yapılan bu deneylerin sonuçlarının inme sonrası rehabilitasyonunda uygulanacak denetim stratejilerinde belirleyici olması amaçlanmaktadır.

Teşekkür

Bu araştırma, 121E107 No.lu TÜBİTAK 1001 Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Destekleri için TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunmak isteriz.

Kaynakça

[1] E. Raffin and F. Hummel, "Restoring Motor Functions After Stroke: Multiple Approaches and Opportunities", *The Neuroscientist*, Cilt: 24, No: 4, s:400-416, 2017. doi: 10.1177/1073858417737486.

[2] S. Hatem et al., "Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple Systematic Review Focused on Techniques to Stimulate Upper Extremity Recovery", *Frontiers in Human Neuroscience*, Cilt: 10, 2016. doi: 10.3389/fnhum.2016.00442.

[3] H. Krebs, N. Hogan, M. Aisen and B. Volpe, "Robot-aided neurorehabilitation", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Cilt: 6, No: 1, s:75-87, 1998. doi: 10.1109/86.662623.

[4] R. Colombo et al., "Design strategies to improve patient motivation during robot-aided rehabilitation", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Cilt: 4, No: 1, 2007. doi: 10.1186/1743-0003-4-3.

[5] B. Volpe, H. Krebs, N. Hogan, L. Edelstein, C. Diels and M. Aisen, "A novel approach to stroke rehabilitation", *Neurology*, Cilt: 54, No: 10, s:1938-1944, 2000. doi: 10.1212/wnl.54.10.1938.

[6] E. Oña, J. Garcia-Haro, A. Jardón and C. Balaguer, "Robotics in Health Care: Perspectives of Robot-Aided Interventions in Clinical Practice for Rehabilitation of Upper Limbs", *Applied Sciences*, Cilt: 9, No: 13, s:2586, 2019. doi: 10.3390/app9132586.

[7] C. Urdiales García, "The Shared Control Paradigm for Assistive and Rehabilitation Robots", *Advances in Computational Intelligence*, s:613-616, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19222-2_52.

[8] D. Herzfeld and R. Shadmehr, "Motor variability is not noise, but grist for the learning mill", *Nature Neuroscience*, Cilt: 17, No: 2, s:149-150, 2014. doi: 10.1038/nn.3633.

[9] H. Wu, Y. Miyamoto, L. Castro, B. Ölveczky and M. Smith, "Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability", *Nature Neuroscience*, Cilt: 17, No: 2, s:312-321, 2014. doi: 10.1038/nn.3616.

[10] Z. Tang, Y. Oouchida, M. Wang, Z. Dou and S. Izumi, "Observing errors in a combination of error and correct models favors observational motor learning", *BMC Neuroscience*, Cilt: 23, No: 1, 2022. doi: 10.1186/s12868-021-00685-6.

[11] R. Kaipa, M. Robb, R. Jones, "The Effectiveness of Constant, Variable, Random, and Blocked Practice in Speech-Motor Learning", *Journal of Motor Learning and Development*, Cilt: 5, No: 1, s:103-125, 2022. doi: 10.1123/jmld.2015-0044.

[12] H. Sveistrup, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Cilt: 1, No: 1, s:10, 2004. doi: 10.1186/1743-0003-1-10.

[13] R. Colombo and V. Sanguineti, "Assistive controllers and modalities for robot-aided neurorehabilitation", *Rehabilitation Robotics*, s:63-74, 2018. doi: 10.1016/b978-0-12-811995-2.00005-9.

[14] I. Konvalinka, P. Vuust, A. Roepstorff and C. Frith, "Follow you, Follow me: Continuous Mutual Prediction and Adaptation in Joint Tapping", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 63, no. 11, pp. 2220-2230, 2010. doi: 10.1080/17470218.2010.497843.

[15] L. Noy, E. Dekel and U. Alon, "The mirror game as a paradigm for studying the dynamics of two people improvising motion together", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Cilt: 108, No: 52, s:20947-20952, 2011. doi: 10.1073/pnas.1108155108.

[16] A. Takagi, G. Ganesh, T. Yoshioka, M. Kawato and E. Burdet, "Physically interacting individuals estimate the partner's goal to enhance their movements", *Nature Human Behaviour*, Cilt: 1, No: 3, 2017. Available: 10.1038/s41562-017-0054.

[17] G. Ganesh, A. Takagi, R. Osu, T. Yoshioka, M. Kawato and E. Burdet, "Two is better than one: Physical interactions improve motor performance in humans", *Scientific Reports*, Cilt: 4, No: 1, 2014. Available: 10.1038/srep03824.

[18] D.P. Losey, L.H. Blumenschein, J.P. Clark, M.K. O'Malley, "Improving short-term retention after robotic training by leveraging fixed-gain controllers", *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 2019. Available: 10.1177/2055668319866311.

[19] J.P.A. Ioannidis, "The Importance of Predefined Rules and Prespecified Statistical Analyses: Do Not Abandon Significance", *JAMA*, Cilt: 321, No: 21, s:2067-2068, 2019. Available: 10.1001/jama.2019.4582.

[20] Ö. Özen, K.A. Buetler, L. Marchal-Crespo, "Promoting Motor Variability During Robotic Assistance Enhances Motor Learning of Dynamic Tasks", *Front Neurosci,* 2021. Available: 10.3389/fnins.2020.600059