

Üst Ekstremitte Hareket Kabiliyeti Değerlendirmesi İçin Yeni Bir Sistem Tasarımı

Design of a New System for Upper Extremity Movement Ability Assessment

Serkan ÇİZMECİOĞULLARI
Biyomedikal Müh. Programı
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
İstanbul, Türkiye
serkancizmeciogullari@gmail.com

Şenay MİHÇİN
Makina Müh. Böl.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
İzmir, Türkiye
senaymihcin@iyte.edu.tr

Aydın AKAN
Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
akan.aydin@ieu.edu.tr

Mertcan KOÇAK
Mekatronik Müh. Böl.
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
mertcan.kocak@ikcu.edu.tr

Aliye TOSUN
Fizik Tedavi ve Rehabil. Böl.
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
aliye.tosun@ikcu.edu.tr

Özetçe—Üst ekstremitte fonksiyon değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi de Eklem Hareket Açıklığı (EHA) ölçümleridir. Günümüzde bu ölçümler klinisyenin gözlemsel değerlendirmesine ve/veya gonyometrik ölçümlere dayanmaktadır. Bu ölçümlerde tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik açısından problemler mevcuttur. Bu çalışmada üst ekstremitte EHA ölçümlerinin sayısal değerlendirilmesine bağlı olarak objektif çıkarımlar yapılmasını sağlayabilecek tek kameralı bir sistem önerilmiştir. Bireylerin omuz ve dirsek fleksiyonu hareketleri kaydedilmiştir. Eş zamanlı olarak “Altın Standart” olarak OptiTrack sistemi ile de yapılan hareketler kayıt altına alınmıştır ve analiz edilmiştir. Çalışmaya 9 erkek ve 9 kadın birey katılmıştır. Hareketlerin kaydedilmesi için Kinect kamera kullanılmıştır. Kinect kamera OptiTrack sistemi ile karşılaştırılmıştır. Omuz ve dirsek fleksiyonu açıları her iki sistem ile hesaplanmıştır. Hesaplanan açıları kullanarak her iki sistemin uyumu istatistiksel olarak incelenmiştir. Bland-Altman yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde hem erkek hem de kadın bireylerde omuz fleksiyonu ve dirsek fleksiyonu hareketleri açısından %95 güven aralığında her iki kameranın birbiriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma önerilen sistemin klinik tanı için güvenilirliğine dair delil teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler — omuz, dirsek, EHA, ölçüm, geçerlilik, tekrarlanabilirlik

Abstract—One of the methods used in upper extremity function assessment is the Range of Motion (ROM) measurements. In practice, these measurements are performed by a clinicians' personal observations and/or goniometric measurements. In these measurements, there are some problems related to repeatability and reliability criterias. In this study, a novel system which contains only a single camera to perform ROM calculations objectively in upper extremity is suggested. For this purpose shoulder and elbow flexion movements were

recorded and analyzed. The system was compared with which was known as a “Gold Standard” system. The nine male and nine female volunteers were participated in the study. Kinect camera was used to record movements of upper limb. The Kinect camera results were compared with that of OptiTrack camera system. The shoulder and elbow flexion angles were computed for both systems. The agreement between the two systems were examined statistically by using the computed ROM values. Bland-Altman plots revealed the agreement within 95 % interval of confidence, between the two systems for shoulder flexion and elbow flexion in both males and females. This study provides evidence for the suitability of the proposed system for a clinical work.

Keywords — shoulder, elbow, ROM, measurement, validity, repeatability

I. GİRİŞ

Kas-İskelet sistemi kaynaklı rahatsızlıklar bireylerin hayatlarını olumsuz etkilemektedir. Söz konusu etkilerin yol açtığı sonuçlardan birisi de üst ekstremitte fonksiyonlarındaki azalma veya kayıplardır. Üst ekstremitte ortaya çıkan problemlerin çözümü için etkin bir değerlendirme yöntemine ihtiyaç vardır. Fizik tedavi ve rehabilitasyon alanında bu amaçla kullanılan yöntemlerden birisi de Eklem Hareket Açıklığı (EHA) ölçümleridir [1,2]. EHA ölçümleri sayesinde: Eklem hareket sınırlarını değerlendirmek, fonksiyonel kapasiteyi belirlemek ve tedavi programını ve tedavi etkinliğini belirlemek mümkün olmaktadır.

Pratikte EHA ölçümleri için en çok kullanılan yöntem gonyometrik ölçümlerdir. Gonyometrik ölçümde Gonyometre adı verilen bir aparat ile eklem açıları ölçülmektedir. Bu yöntem pratikte yaygın olmasının yanında ölçüm güvenirliliği açısından yetersizlikleri bulunmaktadır. Bu ölçümlerin

değerleri ölçümü yapan kişinin uzmanlık seviyesi, bireyin anatomik yapısı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [3]. Gonyometrik yöntemin diğer dezavantajları arasında ölçümlerin zaman alması, tek düzlemde ve sadece statik ölçümler yapılabilmesi olarak sıralanabilir [4-6].

Gonyometrik ölçümlerin bahsedilen dezavantajları alternatif hareket takip sistemleri arayışına yol açmıştır. Günümüzde eylemsizlik sensörleri ve işaretleyici sistemler bu amaçla kullanılmaktadır. Eylemsizlik sensörlerinin hareketi kısıtlayabilme, sürüklenme (drift) evrensel koordinat sisteminin bulunmayışı gibi problemleri bulunmaktadır. İşaretleyicili sistemler ise çok sayıda kamera gerektirmesi, maliyetlerinin fazla olması ve özel kıyafetler gerektirmesi nedeniyle pratikte kullanılmamaktadır [7-9].

Bu çalışmada üst ekstremitede omuz ve dirsek hareketlerinin hareket kabiliyetlerini değerlendirilmesini sağlayabilecek düşük maliyet ve kolay kullanım özelliklerine sahip bir hareket yakalama sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemin klinikte kullanılan mekanik ölçme yöntemi yerine kullanılabilme potansiyelini belirlemek üzere istatistiksel değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Microsoft tarafından üretilen Kinect kamera ile sağlıklı bireyler üzerinde belirlenen test hareketlerine ait veri toplanmıştır. Toplanan veriler bu alanda "Altın Standard" olarak kabul edilen OptiTrack kamera sistemiyle eş zamanlı olarak alınan verilerle kıyaslanmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEMLER

A. Katılımcılar

Bu çalışmaya 9 kadın ve 9 erkek olmak üzere toplam 18 birey katılmıştır. Bireylerinyaş boy ve kilo ortalamaları sırasıyla 29.8 ± 9.7 yıl, 71.1 ± 13.4 kg ve 171.2 ± 9.6 cm dir. Tüm katılımcılar bu çalışmaya engel olabilecek herhangi bir kas-iskelet problemi yaşamadıklarını ifade etmişlerdir. Çalışma için üniversite etik kurulundan Helsinki Deklarasyonu doğrultusunda gerekli izinler alınmıştır.

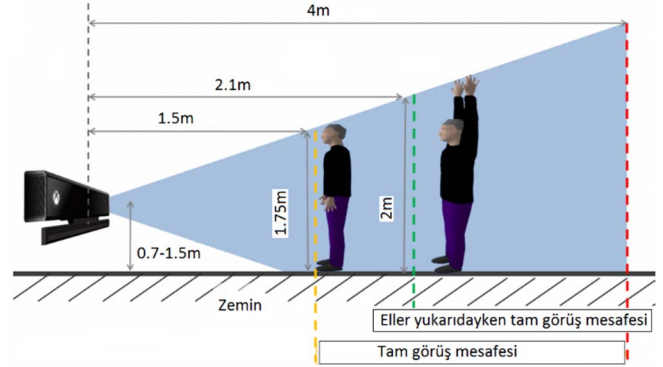
B. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada veri toplama araçları olarak önerilen sistem içerisinde Kinect V2 kamera ve bu kamera ile kıyaslanmak üzere OptiTrack kamera sistemi kullanılmıştır.

Kinect V2 kamera Microsoft (Redmond, USA) tarafından oyun konsolları için üretilmiş bir kameradır. Bu kamera kendi içerisinde renkli kamera ve kızılötesi yayıcı -kamera ikilisinden oluşmaktadır. Renkli kamera 1920×1080 pixel çözünürlükte 30 fps frekansında görüntü özelliklerine sahiptir. Kızılötesi kamera ise 512×424 pixel çözünürlükte 30 fps frekansında görüntü özelliklerine sahiptir. Kinect kamera yatayda 70° dikeyde 60° lik görüş açısına sahiptir. Bu kameranın en önemli avantajı Time-of-Flight (ToF) teknolojisini kullanarak kızılötesi yayıcıdan yayılan ışının karşısındaki objeye çarpıp geri dönmesi arasındaki süreyi ölçerek derinlik bilgisi sağlayabilmesidir [10,11]. Kinect kameranın kullandığı "Örüntü Tanıma" teknolojisi sayesinde vücuttaki 25 eklem 3 boyutlu koordinat bilgisini elde etmek mümkündür.

Bu çalışmadaki kıyaslama amaçlı kullanılan sistem ise OptiTrack (LEYARD, Corvallis, USA) kamera sistemidir. Bu sistem çoklu kamera ve özel olarak üretilmiş işaretleyici

(marker)'lerden oluşmaktadır. OptiTrack kamera sistemi biyomekanik alanındaki araştırmalarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu sistem yüksek doğruluk oranı ve işlem kapasitesi gibi özellikleriyle bilinmektedir. OptiTrack milimetre altı boyutlardaki hareketi tespit edebilmektedir. Sistem 6 adet kamera, pasif işaretleyiciler (kendisi ışın yaymayan) ve kamera arayüz yazılımından oluşmuştur. Bu kameralar 100Hz örnekleme frekansı ile görüntü verisi toplamaktadır [12-13].



Şekil 1. Kinect Kamera'nın görüş alanı



Şekil 2. OptiTrack işaretleyici ve kızılötesi kamera

Elde edilen iki boyutlu görüntülerle kartezyen koordinat sisteminde üç boyutlu konum verileri elde edilmektedir.

C. Deneysel Prosedür

Bu çalışmada bireylerden "Omuz Fleksiyonu" (OF) ve "Dirsek Fleksiyonu" (DF) hareketleri yapmaları istenmiştir. Her iki hareket de sagittal düzlemde gerçekleşir. OF hareketinde kollar yana doğru serbest bir şekilde bırakılır. Elin avuç içi bacaklara doğru bakacak şekilde konumlandırılır. Hareketin başlamasıyla (0°) kollar dirseklerden bükülmeksizin öne doğru başının üstüne kadar (180°) kaldırılır. Sonrasında benzer şekilde başlangıç pozisyonuna getirilir. Deney esnasında her bir birey bu hareketi 1 kayıt periyodu boyunca 3 kez tekrarlar. Dolayısıyla toplamda 18 kişi 54 defa bu hareketi tekrarladı. DF hareketinde ise başlangıçta kollar düz bir şekilde vücutun yan tarafına serbest bırakılır. Üst kol vücutta paralel kalacak biçimde bilek sağtal düzlemde üst kola doğru yaklaştırılır. Bu durumda ulaşabilecek maksimum açı 150° dir. OF'ye benzer şekilde DF hareketi için de toplam 54 kayıt alındı.

D. Veri işleme

OF ve DF hareketleri eş zamanlı olarak Kinect ve OptiTrack kameralarıyla kaydedildi. Kinect kameradan bilgisayara veri transferi yapabilmek için Matlab® (Mathworks Inc., Massachusetts, USA) yazılımıyla bir arayüz geliştirildi. Optirack kameradan bilgisayara veri transferi için kamera ile birlikte sunulan Motive yazılımı kullanıldı. Tüm veriler Matlab® yazılım ortamına transfer edilerek işlendi. Kinect bünyesindeki derinlik kamerası ile vücuttaki 25 eklem koordinatlarındaki pozisyon verisi alındı. OptiTrack kameralarıyla biri üst kola diğeri bilek üzerine yerleştirilmiş iki çift işaretleyiciden toplam 4 noktanın üç boyutlu koordinat verileri alındı. Her iki kameradan elde edilen veriler 4 Hz kesim frekanslı 4. dereceden Butterworth düşük geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Kinect ve OptiTrack kameranın örnekleme frekansları sırasıyla 30 ve 100 Hz olduğu için verileri zamanda senkronize etmek için Kinect verisi öncelikle “Yukarı Örnekleme” (Upsampling) ile 300 Hz seviyesine getirildikten sonra “Aşağı Örnekleme” (Downsampling) ile 100 Hz seviyesine çekildi.

Verilerin filtrelenmesinden sonra Kinect kameraya ait iskelet görüntüsü üzerinden iki vektör belirlenerek omuza ait fleksiyon açısı ve benzer şekilde iki vektör kullanılarak dirsek fleksiyon açısı hesaplandı. Bu açıların minimum ve maksimum değerleri bulundu. OptiTrack verilerinde ise 4 işaretleyicinin uzaydaki pozisyonlarından yararlanılarak OF ve DF açıları hesaplandı.

E. İstatiksel Analiz

Hesaplanan açıların minimum ve maksimum değerleri elde edildi. Bu değerlerin ortalama (Mean) ve Standart Sapmaları (Standard Deviation) hesaplanmadan önce verilerin normal dağılım varsayımına uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile test edildi. Hesaplanan minimum ve maksimum değerlerin pratikte olması gereken değerlerden farkı bulunarak bu farklılara ait Hata Kareleri Ortalaması (Sum of Squared Errors: SSE), Ortalama Karesel Hata (Mean of Sum of Squared Errors: MSE) ve Hataların Kare Ortalamalarının Karekökü (RMSE) değerleri bulundu. Kinect ve OptiTrack kameranın birbiriyle olan uyumunu belirlemek için Bland-Altman grafikleri elde edildi.

III. BULGULAR

OF ve DF hareketlerine ait veriler erkek ve kadın bireyler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Hareketlere ait kayıtların bazılarının problemlili olması dolayısıyla erkek bireylerde OF ve DF için sırasıyla 27 ve 21 kayıt hesaplamaya katılmıştır. Kadın bireylerde ise OF ve DF için sırasıyla 21 ve 18 kayıt hesaplamaya katılmıştır. Bu kayıtlardaki problemlerde en belirgin sebep olarak OptiTrack kamera sistemine ait işaretleyicilerin hareket esnasında bireyin üzerindeki kıyafetin de hareketli olmasından dolayı geçici olarak kamera takibinden çıkması olduğu görülmüştür.

Tabloların tümü incelendiğinde kadın bireylerde DF hareketi haricinde minimum değerler açısından Kinect daha yüksek standart sapma değerleri sunmaktadır. Bu durum Kinect kameranın minimum açı değerleri için ortalama etrafında daha geniş bir aralıkta maksimum açı değerleri için ise OptiTrack

kameranın daha geniş bir aralıkta ölçüm yaptığına işaret etmektedir. Her iki cinsiyet açısından OF hareketinin pratik maksimum değerine Kinect kameranın daha yakın sonuçlar sunduğu görülmektedir. Minimum pratik değer için ise OptiTrack kameranın daha yakın sonuçlar sunduğu görülmektedir. Her iki cinsiyet açısından DF hareketinin pratik maksimum değerine OptiTrack kameranın daha yakın sonuçlar sunduğu görülmektedir. Minimum pratik değer için ise OptiTrack kameranın daha yakın sonuçlar sunduğu görülmektedir. Şekil 3'den Şekil 6'ya kadar olan Bland-Altman grafikleri incelendiğinde hem erkek hem de kadın bireylerde OF ve DF hareketlerinde her iki kameranın %95 güven aralığı dahilinde birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir.

TABLO I. ERKEK BİREYLERDE OMUZ FLEKSİYONU DEĞERLERİ

	Kinect Kamera		OptiTrack Kamera	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maksimum
Ortalama±Std	2.5±4.0	164.8±11.6	0.1±0.2	152.0±16.6
SSE	594.0	9703.8	2.480	28264.6
MSE	22.0	359.4	0.0	1046.8
RMSE	4.6	18.9	0.3	32.3

TABLO II. ERKEK BİREYLERDE DİRSEK FLEKSİYONU DEĞERLERİ

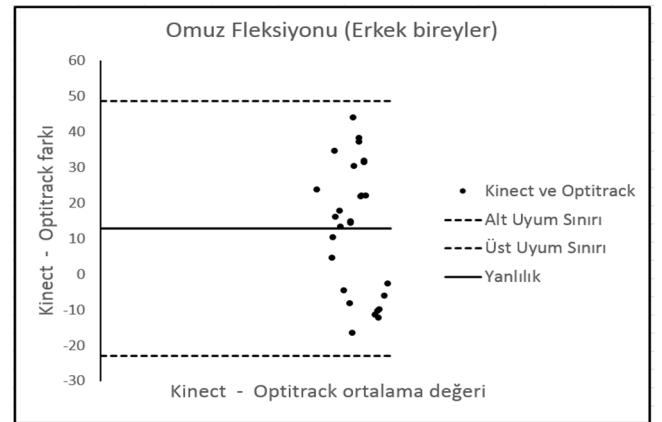
	Kinect Kamera		OptiTrack Kamera	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maksimum
Ortalama±Std	32.6±7.5	154.6±19.3	12.4±17.9	152.3±27.4
SSE	23573.5	7906.9	9674.1	31098.3
MSE	1122.5	376.5	460.6	1480.8
RMSE	33.5	19.4	21.4	38.4

TABLO III. KADIN BİREYLERDE OMUZ FLEKSİYONU DEĞERLERİ

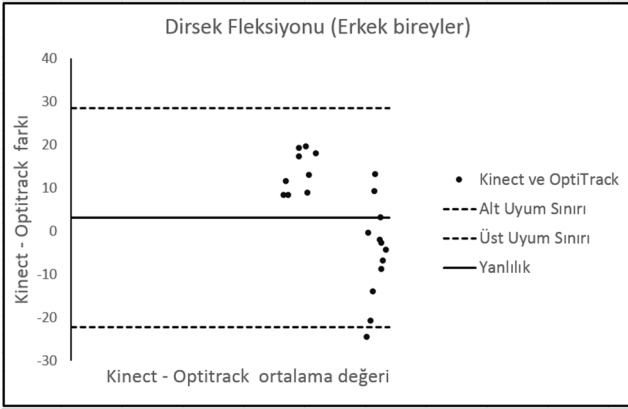
	Kinect Kamera		OptiTrack Kamera	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maksimum
Ortalama±Std	0.9±1.6	173.0±8.7	0.6±1.3	159.6±13.2
SSE	73.8	2529.7	43.8	12172.9
MSE	3.51	120.4	2.08	579.6
RMSE	1.8	10.9	1.4	24.0

TABLO IV. KADIN BİREYLERDE DİRSEK FLEKSİYONU DEĞERLERİ

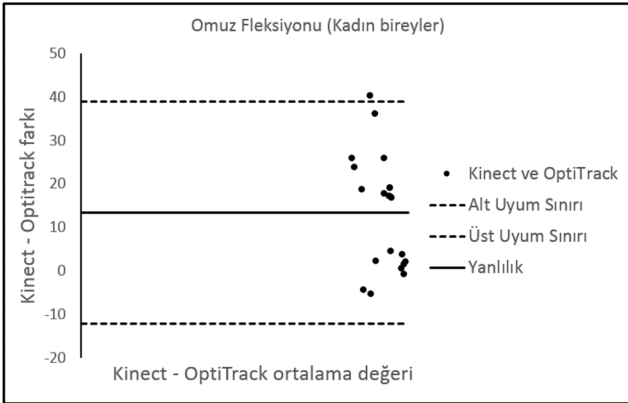
	Kinect Kamera		OptiTrack Kamera	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maksimum
Ortalama±Std	37.8±8.9	169.9±11.6	26.3±21.6	148.0±25.4
SSE	27197.9	9492.6	20496.0	11047.5
MSE	1510.9	527.3	1138.6	613.7
RMSE	38.8	22.9	33.7	24.7



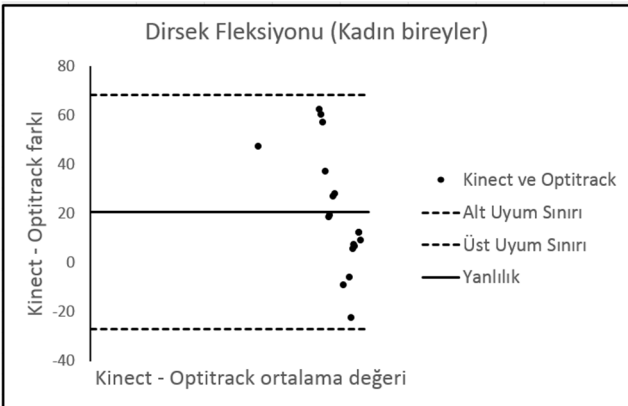
Şekil 3. Erkek bireylerde “Omuz Fleksiyonu” için Bland-Altman grafiği



Şekil. 4. Erkek bireylerde “Dirsek Fleksiyonu” için Bland-Altman grafiği



Şekil. 5. Kadın bireylerde “Omuz Fleksiyonu” için Bland-Altman grafiği



Şekil. 6. Kadın bireylerde “Dirsek Fleksiyonu” için Bland-Altman grafiği

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bireylerin EHA değerlerinin ölçülmesi o bireylere ait hareket kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu değerlendirmelerde kullanılan güncel yöntemlerin güvenilirlik, geçerlilik ve maliyet açısından dezavantajları mevcuttur. Bu çalışmada Kinect kameranın EHA ölçümlerinde doğruluk ve kesinlik özellikleri açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada OF ve DF hareketleri incelenmiştir. Bland-Altman grafiklerinden de görüldüğü üzere iki yöntemle elden değerlere ait fark verilerinin % 95 lik Uyum Sınırları (UF) dahilinde dağılım gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu sınırlar veriye ait noktaların % 95'inin belirtilen sınırlar içinde

kalması gerekliliğini anlatır. Elde edilen sonuçlar iki yöntemin istatistiksel olarak uyumlu olduğunu göstermektedir. Yöntemlerin uyumluluğu incelenirken Yanlılık (Bias) değerinin düşük ve alt ve üst uyum sınırları arasındaki farkın (USF) küçük olması da klinik açıdan önemlidir. Bu çalışmada OF hareketi açısından Huber ve arkadaşlarının [2] çalışmasında elde edilen değerlere kıyasla Yanlılık açısından birbirine yakın, USF açısından daha düşük değer elde edilmiştir. Söz konusu çalışmada bireylerin tamamı erkeklerden oluştuğu için cinsiyet açısından bir kıyaslama mümkün olmamıştır. Bu çalışmada her iki cinsiyete ait veriler karşılaştırıldığında OF hareketi için erkek ve kadın bireylerde Yanlılık değerinin birbirlerine yakın USF'nin kadın bireylerde daha düşük olduğu görülmüştür. DF hareketi için ise Yanlılık ve US farkının erkek bireylerde daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın her iki kamera sisteminin cinsiyetler açısından ayrı ayrı değerlendirilmesi yönüyle diğer çalışmalardan farklı bir yaklaşım izlediği ifade edilebilir. Bu çalışma önerilen sistemin klinik tanı için güvenilirliğine dair delil teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Oosterwijk A. M., Nieuwenhuis M. K., Schouten H. J., Van der Schans C. P., Mouton L. J. , Rating scales for shoulder and elbow range of motion impairment: Call for a functional approach, *Journal List PLoS One* , 2018,13(8)
- [2] Huber M.E., Seitz A.L., Leeser M., Sternad D., Validity and reliability of Kinect skeleton for measuring shoulder joint angles: a feasibility study, *Physiotherapy*, 2015 Dec; 101(4):389-393
- [3] Akizuki K., The effect of proficiency level on measurement error of range of motion *J Phys Ther Sci*. 2016 Sep; 28(9):2644-2651
- [4] Van de Pol R. J. , Van Trijffel E., Lucas C., Inter-rater reliability for measurement of passive physiological range of motion of upper extremity joints is better if instruments are used: a systematic review, *Journal of Physiotherapy*., 2010; 56(4):223-235
- [5] Hayes K., Walton J.R., Szomor Z.R., Murrell G.A., Reliability of five methods for assessing shoulder range of motion, *Aust J Physiother.* ,2001; 47(4):289-94
- [6] Nicol A. C., Measurement of joint motion, *Clinical Rehabilitation*. 1989; 3(1):1-9
- [7] Zerpa C., Lees C., Patel P., Pryszucha E., The Use of Microsoft Kinect for Human Movement Analysis, *International Journal of Sports Science*, 2015, 5(4): 120-127
- [8] Guess T. M., Razu S., Jahandar A., Skubic M., Comparison of 3D Joint Angles Measured With the Kinect 2.0 Skeletal Tracker Versus a Marker-Based Motion Capture System, *Journal of Applied Biomechanics*., 2017 Apr; 33(2):176-181
- [9] Reither R. L., Foreman M. H., Migotsky N., Haddix C., Engsborg J. R., Upper extremity movement reliability and validity of the Kinect version 2, *Disabil Rehabil Assist Technol.* ,2018; 13(1):54-59
- [10] Wasenmüller O., Stricker D., Comparison of Kinect v1 and v2 Depth Images in Terms of Accuracy and Precision, *Asian Conference on Computer Vision Workshop (ACCV workshop-16)* Taipei Taiwan, 2016 November
- [11] Hondori H. M., Khademi M., A Review on Technical and Clinical Impact of Microsoft Kinect on Physical Therapy and Rehabilitation, *Journal of Medical Engineering*, 2014; 2014:846514
- [12] Nagymáté G., Kiss R., Application of OptiTrack motion capture systems in human movement analysis: A systematic literature review, *Recent Innovations in Mechatronics*, 2018; 5(1)
- [13] <https://OptiTrack.com/software/>, accessed in 02.18.2019