

## KEMANCILARDA SAĞ ÜST EKSTREMİTE EKLEMLERİNİN 3 BOYUTLU HAREKET ANALİZİNİN DİJİTAL FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hakan KARABÖRK<sup>1</sup>, Nihan YAGIŞAN<sup>2</sup>, Ayhan GÖKTEPE<sup>3</sup>, M. Nazım KARALEZLİ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh Bölümü, KONYA

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, KONYA

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, KONYA

<sup>4</sup>Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri, Ortopedi ve Travmatoloji ABD, KONYA

**ÖZET:** Bu çalışmada, keman çalma sırasında temel yay sürüşlerinde aktif olarak kullanılan el bileği ve dirsek eklemlerinin açısal değişikliklerinin, digital fotogrametrik yöntemler kullanılarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu araştırma 9 kemancı üzerinde yapılmıştır. Fotogrametrik değerlendirmede Pictran yazılımı kullanılmıştır. Keman çalmada aktif olarak kullanılan sağ üst ekstremiteye ait el bileği ve dirsek eklemleri, kalibre edilmiş bir test alanı üzerinde metrik olmayan kameralarla görüntülenerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Görüntüde kullanılan işaretleyicilerin değerlendirilmesi sonucunda eklemlerin hareket açıları ve aynı zamanda üst ekstremitte kemiklerinden humerus, ulna ve 5. metakarp kemikleri baz alınarak kol, önkol ve elin düşey eğimleri ortaya çıkartılmıştır. Eklem hareketlerindeki açısal değişikliklerin üç boyutlu (3B) rekonstruksiyonu yapılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Açısal ve eğimlerdeki değişikliklerdeki standart sapmalara bakıldığında açısal değişikliklerin kişilere göre fazla değişmediği ancak eğimlerde kişisel farklılıkların fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çalma tekniklerinde çok fazla kişisel farklılıkların olması, doğru tekniğin öğretilmesinin önemini vurgulamaktadır. Çalma esnasında aktif olarak çalışan bu eklemlerin daha etkili ve bilinçli kullanılması ile ileride oluşabilecek meslek problemlerine önlem olması yanında bir anlamda açısal standardizasyonun geliştirilmesi de sağlanmış olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** *Digital fotogrametri, keman, hareket analizi, sağ üst ekstremitte, eklem.*

### Three-Dimensional Motion Analysis of Right Upper Limb Movement in the Bowing Arm of String-Playing Musicians

**ABSTRACT:** The objective of this study is to measure, using digital photogrammetric methods, the angular changes in the wrist and elbow joints which are active in basic bow drives while playing the violin. This study consists of nine violin players. The Pictran software was used in the photogrammetric restitution. The wrist and elbow joints of the right upper extremity were filmed on a calibrated test field by using ametric cameras and then transferred to the computer environment. As a result of the evaluation of the markers in image, the movement angles of the joints as well as ulna and the fifth metacarpal bones were taken as the basis, and thus, the vertical inclination of the arm, forearm and hand were found out. The angular changes in the joint movements were reconstructed in 3D, and the results obtained were compared. When the standart deviations of the angular changes and inclinations are considered, it is possible to say that the angular changes do not vary much depending on the individuals, but, as for inclination, individual difference vary significantly. The fact that individual differences vary much in the playing techniques shows that to teach proper technique is so significant. When these active joints are used effectively and properly while playing, it will also help to eliminate possible problems in the future. In addition, it will, in a sense, provide angular standardisation.

**Keywords:** *Digital photogrammetry, violin, motoin analysis, upper limb, joint.*

## GİRİŞ

Bir enstrüman çalmak, zihin ve kasların birlikte çalışması sonucu meydana gelen psiko-motor davranışların bilişsel, duyuşsal ve devinişsel davranışlarla desteklenerek beceriye dönüştürüldüğü bir etkinliktir. Her enstrümanın kendine özgü bir tekniği vardır. Örneğin; nefesli sazlarda diyaframı doğru ve etkili kullanmak önemli iken yaylı çalgılarda yayı doğru ve etkili kullanmak önemli hale gelmektedir. Yaylı çalgıların tümünde 'sağ el tekniği' olarak adlandırılan yay kullanımının başarısı el, kol, bilek, dirsek, omuz gibi vücut bölümlerinin birbirleriyle koordineli olarak doğru ve bilinçli kullanımına bağlıdır. Özellikle çalma esnasında aktif olan bedensel elemanlar, müzisyenin fiziksel yapısının elverdiği ölçüde, çalgının teknik özelliklerine cevap verebilmeye çalışır. O nedenle çalma esnasında bu yapıların hareket genişliklerini öğrenmek önemlidir.

Teknoloji, tıp, müzik uzmanlarının hareketler üzerinde yüzyıllar boyu sabırla yaptıkları araştırmalar sonucunda insan vücudunu tanımının enstrüman çalmadaki önemi daha iyi anlaşılmıştır (Şen, 1994).

Son yıllarda teknolojinin ilerlemesine paralel olarak dijital fotogrametrik yöntemlerle görüntü analizlerinin 3-B rekonstruksiyonu, birçok vücut hareketinin değerlendirilmesine yeni bir boyut kazandırmıştır (Ambrosio et al., 2001; Awan et al., 2002; Pers et al., 2002; Cerveri et al., 2003; Krosshaug and Bahr, 2005; Tsuruoka et al., 2005). Özellikle spor biliminde çeşitli branşlara yönelik eklem ve kasların biyomekanik (Smith, 1973; Laubach, 1976; Buff et al., 1988; Bell et al., 1990; Markolf et al., 1995) ve anatomik (Hida, 1994; Bendjaballah et al., 1997) analizleri çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır.

Bu çalışmada, yaylı çalgılar ailesinde önemli bir yere sahip olan ve dünyada eğitimi en fazla verilen enstrümanlardan olan kemandaki temel yay sürüşlerinde aktif olarak kullanılan sağ el bilek ve sağ dirsek eklemlerinin hareket genişliklerini dijital fotogrametrik yöntemler kullanarak yaklaşık olarak tespit etmek amaçlanmıştır. Böylelikle eklemlerin hangi

sınırlar içinde çalışması gerektiği yada hangi sınırlar içinde çalıştığı takdirde doğru tekniğin kavranacağı eğitimin en başında belirlenmiş olacaktır. Çalma esnasında aktif olarak çalışan bu eklemlerin daha etkili ve bilinçli kullanılmasını ilerde oluşabilecek meslek problemlerine (Fry, 1986; Marxhausen, 2002; Rozmary, 1993; Norris, 1993; Lockwood, 1989; Zaza, 1993) önlem olması yanında bir anlamda açılmal standardizasyonun geliştirilmesi de sağlanmış olacaktır.

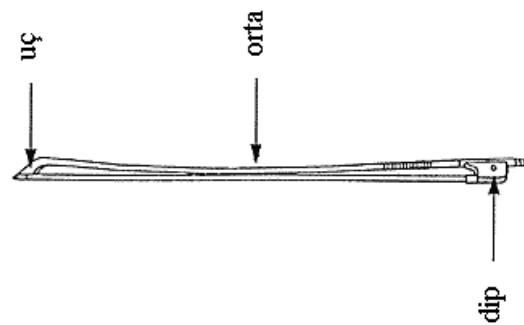
Araştırmanın deneysel bir yol izlemesi ve farklı disiplinleri bir araya getirmesi, çalışmayı yaklaşım ve yöntem itibarıyla önemli kılmaktadır.

## MATERYAL ve METOD

Çalışmadaki tüm ölçümlerde standart bir tam (4/4) keman ve 65 cm uzunluğunda standart bir yay (arşe) kullanılmıştır.

Ölçümlerde, tel olarak la, mi ve sol telleri kullanılmıştır.

Ölçümler temel yay sürüşleri esnasında yayın üç temel bölgesinde yapılmıştır. Bunlar dip (yayın ökçe kısmı, başlangıç noktası), orta (yayın alt yay ve üst yay arasında kalan orta bölgesi) ve uç (yayın üst yarısındaki bitiş noktası) bölgeleridir(Şekil 1.).



Şekil 1. Yayın temel bölgeleri.  
Figure 1. The basic points of the string.

Fotogrametrik değerlendirmede kullanılmak üzere, 3 Boyutlu koordinatları belli noktalardan oluşan bir test alanı kullanılmıştır.(Şekil 2.).



**Şekil 2.** Test alanı ve üzerinde çalışılan obje.

*Figure 2.* The test area and an object.

Bu kontrol noktalarının X,Y,Z koordinatları Total Station ile tekrarlamalı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Kontrol noktalarının elde edilme prezisyonları  $m_{x,y,z} = \pm 1$  mm'dir.

Her bir obje üzerine bir Ortopedist (MNK) tarafından markerler işaretlenmiştir (Şekil 3.) Bu noktalar;

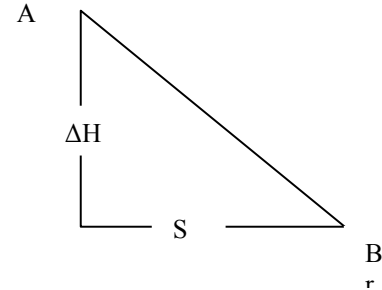
1. acromion tipi,
2. lateral epikondil
3. olekranon tipi
4. ulna stiloidi
5. hamatum kemiğinin çengeli (hook)
6. metakarp başı

1 ile 2 nolu nokta kol, 3 ile 4 ön kol ve 5 ile 6 numaralı nokta el bilek doğrultusunu oluşturmaktadır. Bu doğrultular, kemanda temel yay sürüşlerinde kullanılan eklemleri temsil etmektedir. Mi, la, sol tellerindeki yayın üç temel bölgesinde fotogrametrik değerlendirmeyi gerçekleştirmek için enine ve boyuna örtü alanları olan farklı izdüşüm merkezlerinden 2 veya daha fazla görüntü alınarak (Şekil 4.) 81 adet proje oluşturulmuştur.

81 adet proje, Pictran yazılımında fotogrametrik yöntemle değerlendirilmiştir. Dengeleme 8-10 kontrol noktası ve ortalama 5 bağlama noktası ile ışın demetleri yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Dengeleme işleminden sonra, yukarıda tanımlanan noktaların 3D koordinatları elde edilmiştir.

3D koordinatları yardımıyla XY düzleminde, dirsekte oluşan açılar ve el bileğinde oluşan açılar hesaplanmıştır (Şekil 5.). Ayrıca 1 ile 2 nolu noktalardan oluşan kol doğrultusunun, 3 ile 4

nolu noktalardan oluşan ön kol doğrultusunun ve 5 ile 6 nolu noktalardan oluşan el bilek doğrultusunun düşeydeki eğimleri hesaplanmıştır.



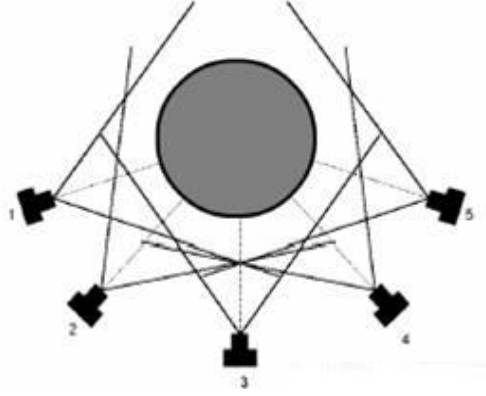
$$\text{Düşey eğim} = \frac{H_B - H_A}{S} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (2)$$

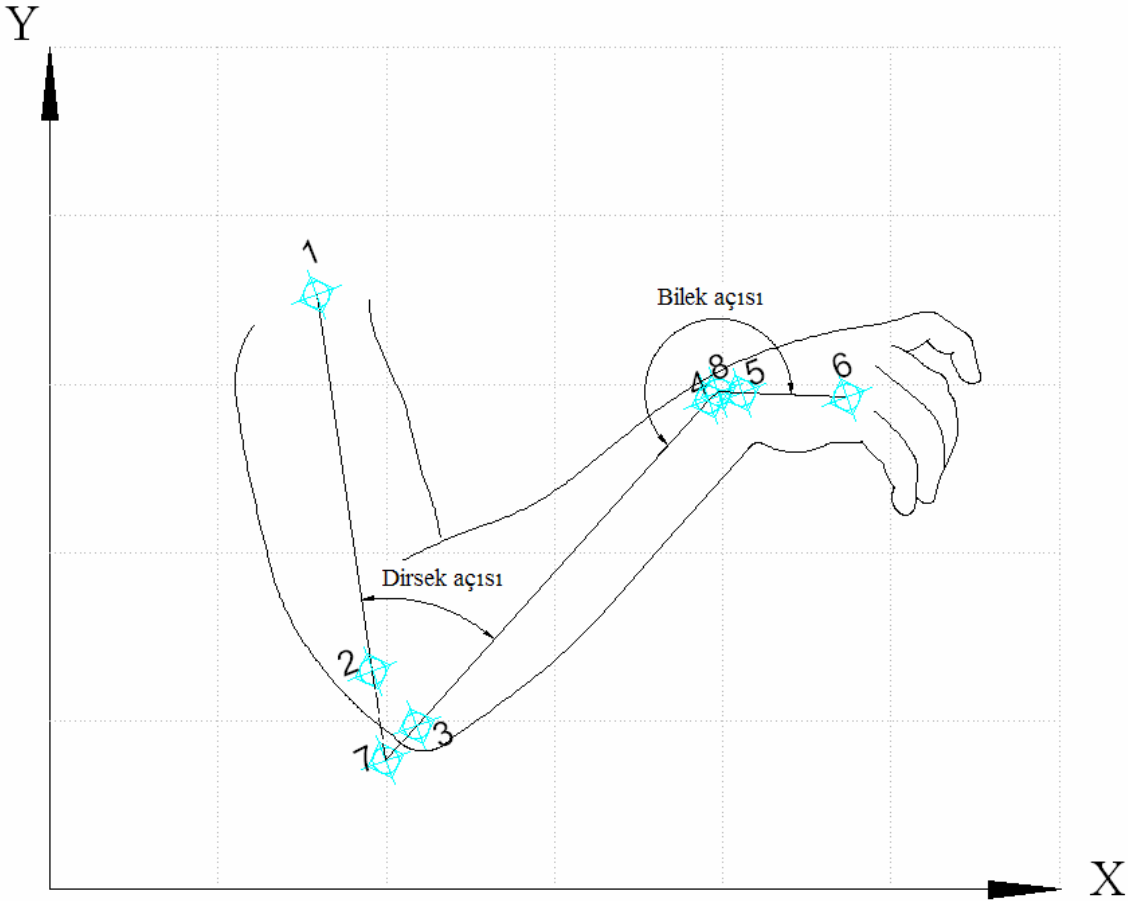


**Şekil 3.** Objeye üzerinde işaretlenen noktalar.

*Figure 3.* The markers on the object.



Şekil 4. Fotogrametrik resim alımı.  
Figure 4. Photogrammetric exposure image.



Şekil 5. XY düzleminde, dirsekte ve el bileğinde oluşan açılar.  
Figure 5. The angles at the elbow and wrist on the XY plane.

#### UYGULAMA

Fotogrametrik değerlendirmeler sonucu her bir keman çalma pozisyonu için dirsek ve el bileğinin ortalama açıları ile kol, önkol ve el

bileği doğrultularının eğimleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. (Tablo 1.).

Açılardaki standart sapmalara bakıldığında dirsekte en büyük farklılıkların mi telinde yay

uçta iken ( $\pm 14^\circ$ ), el bileğinde ise mi telinde yay dipte iken ( $\pm 14^\circ$ ) olduğu görülmektedir.

Eğimlere bakıldığında ise koldaki eğimin standart sapması, mi teli ortada iken  $\pm 38$  yine mi teli uçta iken  $\pm 34$ , önkoldaki eğimlere bakıldığında la dipte iken  $\pm 20$  mi dipte iken  $\pm 17$  olduğu görülmektedir. El bilek eğimlerine bakıldığında ise tüm tellerin tüm

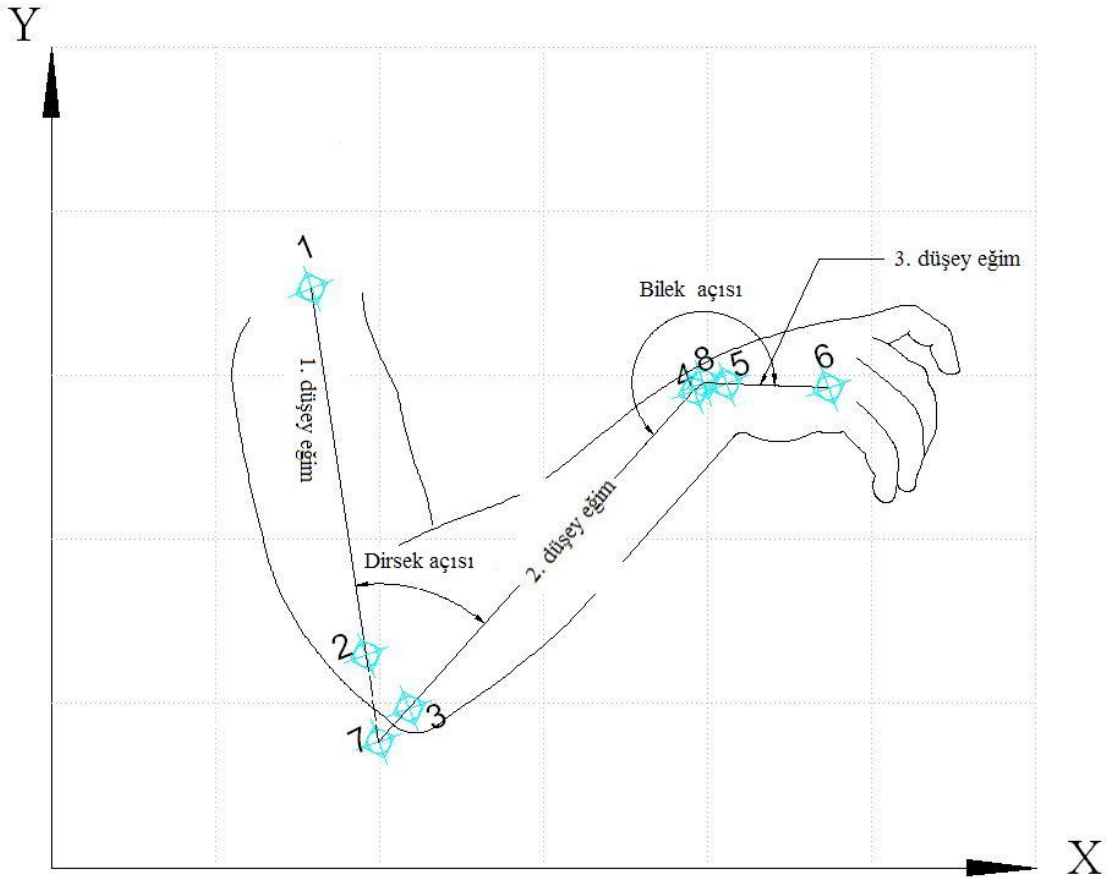
pozisyonlarında standart sapmaların çok yüksek olduğu görülmektedir.

Tüm sonuçlardan, mi, la ve sol tellerinde, yay dip, orta ve uç bölgelerinde iken kemancıların duruş modelleri üretilebilir. la telinde yay dip pozisyonunda iken oluşan model Şekil.6'da gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Her bir keman çalma pozisyonundaki ortalama değerler.

*Table 1.* The mean values for each posture of playing.

Notalar ve hareket yerleri	mi_dip	mi_orta	mi_uç	la_dip	la_orta	la_uç	sol_dip	sol_orta	sol_uç
Dirsek açıları (Derece)	98 $\pm$ 10	105 $\pm$ 6	152 $\pm$ 14	85 $\pm$ 8	107 $\pm$ 9	154 $\pm$ 8	64 $\pm$ 5	101 $\pm$ 11	157 $\pm$ 8
El bileği açıları (Derece)	195 $\pm$ 14	170 $\pm$ 7	162 $\pm$ 5	205 $\pm$ 8	173 $\pm$ 7	160 $\pm$ 6	226 $\pm$ 8	184 $\pm$ 9	156 $\pm$ 6
Kol eğim (1. eğim) (%)	-77 $\pm$ 7	-156 $\pm$ 38	-188 $\pm$ 34	-56 $\pm$ 10	-82 $\pm$ 15	-111 $\pm$ 19	-16 $\pm$ 7	-27 $\pm$ 14	-37 $\pm$ 17
Ön kol eğim (2. eğim) (%)	151 $\pm$ 17	38 $\pm$ 14	70 $\pm$ 11	-119 $\pm$ 20	45 $\pm$ 13	-41 $\pm$ 12	78 $\pm$ 16	54 $\pm$ 12	14 $\pm$ 15
El bileği eğim (3. eğim) (%)	10 $\pm$ 22	-9 $\pm$ 17	-38 $\pm$ 19	9 $\pm$ 11	-8 $\pm$ 16	-24 $\pm$ 16	13 $\pm$ 21	9 $\pm$ 17	17 $\pm$ 18



**Şekil 6.** la telinde yay dip pozisyonunda iken oluşan model.

*Figure 6.* The model for the frog position on the la bow.

## TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Sonuçlar incelendiğinde mi telinin teknik açıdan zor bir tel olduğu göze çarpmaktadır. Anatomik bölgeler içinde de en probleme yatkın olan bölgenin ise el bilek olduğu söylenebilir. Keman çalma eğitiminde de mi teli ve el bileğin önemi vurgulanmıştır.

Yay uçta iken tellere göre el bileği eklemünde görülen eğimdeki standart sapmaların yüksek olmasının nedeni mesafesinin (5. ve 6. nokta arası mesafe) anatomik açıdan kısa olması olabilir(5-6cm). Bu mesafe duruş pozisyonundaki farklılıkların eğim üzerindeki etkisini arttırmaktadır.

Günümüzde harekete dayalı pek çok alanda örneğin, sporda ve çeşitli branşlarda hareket analizlerine yönelik çalışmalar yapılmasına karşın, bir sanat ve bilim dalı olan müzikte deneysel araştırmalara yeterince rastlanmamaktadır. Oysaki -çalma tekniklerinde karşılaşılan esneklikler ve fiziksel farklılıklar göz önüne alındığında tam olarak çalma tekniğinin sınırlarını çizmek mümkün olmasa da, enstrümanın temel kullanım teknikleri açısından ölçülebilir yaklaşık değerlere ulaşmak mümkündür. Çünkü bilindiği üzere birtakım esnekliklere rağmen her çalgı belirli fiziksel çerçeveler içinde icra edilmektedir. Bu çerçevelerin dışına çıkıldığında bir takım problemlerin olması doğaldır. Müzisyenlerin neden ortopedistlere başvurduğu konusunda yapılan retrospektif bir çalışmada, 2/3 vakanın kas iskelet sistemine ait problemleri olduğu gösterilmiştir. Bunlarda %18 i aşırı kullanım %8.8 i ise çalma tekniğine bağlı yanlış kullanıma

bağlı olduğu bulunmuştur (Nourissat et al. 2003). Bu çalışmada da da (Nourissat et al. 2003) çalışmasını destekleyen sonuçlar bulunmuştur. Eğimler ve açılardaki standart sapmalar incelendiğinde en fazla problemin mi telinin çalınması sırasında olduğu görülmüştür. El bileğindeki eğimlerin ise tüm tellerde büyük farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yaptığımız çalışmaya benzer bir çalışma Stokes ve Reid (1999) tarafından MacReflex 3-D analysis system isimli üç boyutlu bir analiz sistemi kullanarak yapılmıştır. Araştırmada keman, viyola ve viyolonseldeki yay kolu (sağ kol) bilek, dirsek ve omuz eklemlerindeki hareket genişlikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca Visentin ve Shan (2003) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da; legato tekniğinde değişik tempolarda sağ koldaki iç yükler çalışılmıştır. Üst ekstremitte kinetikleri senkronize çalışan 9 kameralı VICON v8i sistemi kullanılarak yakalanmıştır. Yükün kantitesinin çalınan alet ve tempodan, kalitesinin ise müzisyenin fizyonomisinden etkilenmekte olduğu sonucunu bulmuşlardır.

Sonuç olarak keman çalma tekniklerinde çok fazla kişisel farklılıkların olması, temel yay sürüşleri esnasındaki açısal sınırlılıkların belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmada elde edilen değerler bu sınırlılıkların belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Doğru duruş tekniği öğrencilere 2 boyutlu değil 3 boyutlu verilmeli, teller içinde mi telinin, eklemlerde ise el bileğinin problemleri yerler olduğu akılda tutulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ambrosio, J., Lopes, G., Costa, J. and Abrantes, J. ,2001, Spatial reconstruction of the human motion based on images of a single camera., J. Biomech., 34: 1217-1221.
- Awan, R., Smith, J. and Boon, A. J., 2002, Measuring Shoulder Internal Rotation Range of Motion:A Comparison of 3 Techniques. Arch Phys Med Rehabil. 83: 1229-1234.
- Bell, A. L., Pederson, D. R. and Brand, D., 1990, A comparison of the accuracy of several different hip center location prediction methods. J. Biomech., 23: 617-621.
- Bendijaballah, M. Z., Shirazi,-Adl, A. and Zukor, D. J., 1997, Finite element analysis of human knee joint in valgus-varus. Clin. Biomech., 12: 139-148.

- Buff, H. U., Jones, L. C. and Hungerford, D. S., 1988, Experimental determination of forces transmitted through the patello-femoral joint. *J Biomech.* 21:17-23.
- Cerveri, p., Pedotti, A. and Ferrigno, G., 2003, Robust recovery of human motion from video using Kalman filters and virtual humans. *Human Mov. Sci.*, 22: 377-404.
- Fry, H., 1986, Overuse syndrome of the upper limb in musicians. *The Medical Journal of Australia* 144:182-185.
- Hida, S., 1994, The collateral ligaments of the elbow joint: their functional anatomy with special reference to the pathology and treatment of post-traumatic stiff elbow. *Nipp. Seik. Gakk. Zass.* 864-877.
- Krosshaug, T. and Bahr, R., 2005, A model-based image-matching technique for three-dimensional reconstruction of human motion from uncalibrated video sequences. *J. Biomech.*, 38: 919-929.
- Laubach, L. L., 1976, Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat Space Environ. Med.* 47:534-542.
- Lockwood, A. H., 1989, Medical Problems of Musicians, *New England Journal of Medicine*, Volume 320, p. 221-227.
- Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A. and Slauterbeck, J. L., 1995, Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces, *J. Orth. Res.*, 13: 930-935.
- Marxhausen, P. Musicians and injuries. <[www.engr.unl.edu/eeshop/music.html](http://www.engr.unl.edu/eeshop/music.html)> (May 31, 2002).
- Norris, R., 1993, The musician's survival manual: A guide to preventing and treating injuries in instrumentalists. St. Louis: MMB Music Inc., 134 p.
- Nourissat G, Chamagne P, Dumontier C., 2003, Reasons why musicians consult hand surgeons *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.*, Oct;89(6):524-31.
- Pers, j., Bon, M., Kovacic, S., Sibilo, M. and Dezman, B., 2002, Observation and analysis of large-scale human motion. *Human Mov. Sci.*, 21: 295-311.
- Rozmaryn, L.M., 1993, Upper Extremity Disorders in Performing Artists, *Maryland Medical Journal*, No : 42(3), s 255-260.
- Smith, J. G., 1973, Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *J. Biomech.*, 6: 79-92.
- Stokes, L., and Reid, K., 1999, Three-dimensional motion analysis of upper limb movement in the bowing arm of string-playing musician, *Clinical Biomechanics* , Volume 14, Issue 6 , 426-433.
- Şen, S.B, 1994, Müzisyenlerde Görülen Çalmadan Doğan Rahatsızlıklar ve Sakatlıklar Üzerine, *Klas. Müz. Derg.*, sayı 2, s. 31.
- Tsuruoka, Y., Tamura, Y., Shibasaki, R. and Tsuruoka, M., 2005, Analysis of walking improvement with dynamic shoe insoles, using two accelerometers. *Physica A*, 352: 645-658.
- Visentin, P. and Shan, G., 2003, The kinetic characteristics of the bow arm during violin performance: an examination of internal loads as a function of tempo, *Med. Probl. Perform. Artists*, 18, 91-97.
- Zaza, C., 1993, Prevention of musicians' playing-related health problems: Rationale and recommendations for action, *Medical Problems of Performing Artists* 8:117-121.

