



# TIPTEKNO'17

TIP TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ

12-14 Ekim 2017 / TRABZON

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Prof.Dr. Osman Turan Kongre Merkezi



Biyomedikal ve Klinik  
Mühendisliği Derneği



Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Biyomedikal Sinyal İşleme 3

13 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon C

# Osilometrik Tabanlı Ölçüm Ve Elektrokardiyogram Sinyallerinden Elde Edilen Kalp Hızı Değişkenliği Parametrelerinin Karşılaştırılması

## Comparison Of The Heart Rate Variability Parameters Obtained From The Oscillometric Based Measurement And Electrocardiogram Signals

Fatma Uysal<sup>1</sup>, Mahmut Tokmakçı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye  
{fatmauysal, tokmakci}@erciyes.edu.tr

**Özetçe**— Bu çalışmada kalp atım sinyalleri tasarlanan osilometrik tabanlı ölçüm sistemi ile elde edilmiştir. Kalp atımları sırasında meydana gelen osilasyonlar basınç sensörü tarafından tespit edilmiş ve kalp atım bilgisini içeren bu sinyaller arduino ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Osilometrik tabanlı bu sistemin doğruluğunu kontrol etmek için Biopac MP36 ölçüm sistemi üzerinden Elektrokardiyogram (EKG) sinyalleri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. 10 sağlıklı gönüllüden dinlenme, Stroop renk kelime testi ve mental işlem olmak üzere 3 durum altında sinyal alınmıştır. Sinyaller alınıp analiz edildikten sonra istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Korelasyon analizine göre osilometrik tabanlı sistemden alınan sinyaller ile EKG sinyalleri arasında zaman eksenli parametrelerinden normal normal aralıkların standart sapması (SDNN) hariç yüksek bir ilişki gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — *osilometrik ölçüm; elektrokardiyogram; kalp hızı değişkenliği.*

**Abstract**— In this study, heartbeat signals were acquired by an oscillometric based measurement system. Oscillations that occur during the heartbeat are detected by a pressure sensor and oscillation signals which contain this heartbeat information are transmitted to the computer via arduino. To validate this oscillometric based system ECG signal acquisition was performed simultaneously by Biopac MP36 measurement system. Signals were collected 10 volunteer healthy participants under 3 different situations; relaxation, Stroop color/word test and mental process. After signals are taken and analyzed, statistical analysis was performed. According to correlation analysis between oscillometric

based measurement system and ECG signals, a high correlation was observed except the standard deviation of the normal normal intervals (SDNN) from the time axis parameters.

**Keywords** — *oscillometric measurement; electrocardiogram; heart rate variability.*

### I. GİRİŞ

Kalp hızı değişkenliği (KHD), kalp atımları arasında meydana gelen dalgalanmaların ölçümüdür ve kişinin sağlık ya da hastalık durumunun değerlendirilmesinde önemli bir işarettir [1]. Kalp hızı değişkenliğinin kaynağı, değişen ortam koşullarına uyum sağlanabilmesi için otonom sinir sisteminin sempatik ve parasempatik dallar vasıtasıyla kalp üzerinde meydana getirdiği hızlandırıcı ve yavaşlatıcı etkidir. KHD'deki değişimlerin genellikle hipertansiyon, kalp yetmezliği ve septik şok gibi patolojik durumların tanısında kullanılabileceğini gösteren çalışmalar vardır [2]. KHD, ya zaman eksenli analizleri ya da güç spektral yoğunluğu analizlerini içeren frekans eksenli analizleri ile değerlendirilir. Zaman eksenli analizlerinde ortalama RR aralığı, kalp atım hızı (Heart Rate- HR), normal normal aralıkların standart sapması (Standart Deviation Of Normal Normal Intervals- SDNN), normal normal aralıkların ortalama karesel farklarının kare kökü (Root Mean Square Of Successive Heart Beat Interval Differences- RMSSD) gibi önemli parametreler hesaplanır. Frekans ekseninde ise sempatik aktiviteyi yansıtan düşük frekans bandı (Low Frequency- LF), parasempatik aktiviteyi yansıtan yüksek frekans bandı

## Biyomedikal Sinyal İşleme 3

13 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon C

(High Frequency- HF) ve bu ikisi arasındaki dengeyi yansıtan LF/HF parametreleri hesaplanır.

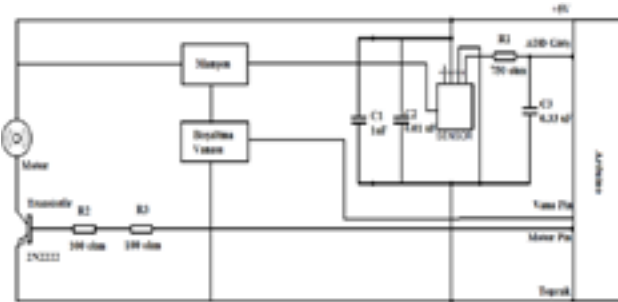
KHD; elektrokardiyogram (EKG), fotopleitismograf, arteriyel basınç izleme teknikleri gibi yöntemlerle ölçülebilmektedir [2]. Her ne kadar KHD analizlerinde EKG sinyalleri altın standart olarak kabul edilse de [3] diğer ölçüm yöntemlerinin de geçerliliğini gösteren çalışmalar mevcuttur [2, 4, 5].

Osilometrik ölçüme dayalı yöntem, kanın her bir kalp atımı sırasında damarda oluşturduğu basınç değişikliğini bir basınç sensörü yardımıyla izlenmesine dayanmaktadır. Osilometrik yöntemle elde edilen kan basıncı dalgalarından hesaplanan KHD parametreleri ve EKG sinyallerinden hesaplanan KHD parametreleri kıyaslandığında bunlar arasında yüksek uyum gösteren çalışmalar mevcuttur [4,6]. McKinley ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada KHD'nin hesaplanmasında kan basıncı dalgalarından elde edilen verilerin EKG'den elde edilen verilerle uyumlu sonuçlar gösterdiği görülmüş ve bu iki metod arasında yüksek bir güvenilirlik hesaplanmıştır [4]. Ahmad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada osilometrik tabanlı ölçüm yapan kan basınç monitörü kullanılarak elde edilen kısa süreli verilere ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kan basınç monitörlerinin kan basınç bilgisine ilave olarak KHD bilgisini de gösterebileceğini ortaya koymuştur [2]. Yapılan başka bir çalışmada Hayano ve arkadaşları kan basınç sinyallerini darbe frekansı demodülasyonu tekniği ile analiz etmişler ve bu sinyallerden elde edilen darbe hızı değişkenliğinin KHD ile iyi derecede uyumlu olduğu görülmüştür [6].

Bu çalışmanın amacı; dinlenme, Stroop test ve mental test sırasında eş zamanlı olarak alınan EKG ve kendi tasarladığımız osilometrik tabanlı sistemle alınan kalp atım bilgisi sinyallerinden hesaplanan KHD bilgisinin karşılaştırılması ve tasarımı yapılan sistemin güvenilirliğinin araştırılmasıdır.

## II. SİSTEM TANITIMI

Gerçekleştirilen sistemde kalp atım sinyallerini algılayabilmek amacıyla osilometrik temelli bir yaklaşım kullanılmıştır. Sisteme ait şema Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Osilometrik tabanlı ölçüm yapan sisteme ait şema

Sistem temel olarak aşağıda verilen 3 ana kısımdan oluşmaktadır.

### A. Basınç Sensörü

Gerçekleştirilen sistemde her bir atıma bağlı olarak damarda meydana gelen basınç değişimlerini algılamak amacıyla MPXV5050GP basınç sensörü kullanılmıştır. Bu basınç sensörü piezorezistif tabanlı olup pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Sensör çıkışında meydana gelen çıkış voltajının değeri aşağıda verilen "(1)" yardımıyla hesaplanabilir.

$$V_{\text{çıkış}} = V_S \cdot (0.018 \cdot P + 0.04) \pm \text{Hata} \quad (1)$$

$V_S$ : kaynak gerilimi ~ 5V

P: kpa cinsinden basınç

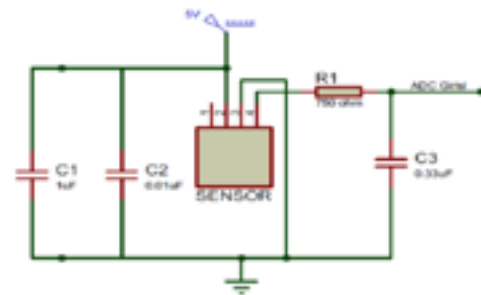
Hata: 0-85 °C çalışma sıcaklığı arasında maksimum %2.5 olarak verilmiştir.

### B. Arduino

Basınç sensörü çıkışından alınan veriler arduino üzerinde yer alan analog girişe iletilir. Arduino belirlenen örnekleme frekansına göre bu verileri bilgisayar ortamına iletir.

### C. Filtre Devresi

Sensör çıkış voltajının istenmeyen gürültü bileşenlerinden arındırılması gerekmektedir. Bunun için sensör çıkışından alınan basınç bilgisi ADD (analog dijital dönüştürücü) girişine verilmeden önce 650 Hz kesim frekansına sahip alçak geçiren filtre devresinden geçirilerek piezorezistif tabanlı sensörlerde en sık karşılaşılan iki gürültü tipinden olan beyaz gürültü ve titreşimden kaynaklı gürültüden arındırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 2. Filtre Devresi

Ayrıca Şekil 2'de verilen devrede sensörün besleme voltajındaki dalgalanmaları minimuma indirmek için besleme voltaj girişine 1µF ve 0.01 µF değerinde iki adet dekaplaj kapasitörü yerleştirilmiştir.

## Biyomedikal Sinyal İşleme 3

13 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon C

### III. METOT

#### A. Katılımcılar

Yaş aralığı 23-30 olan 4 bayan, 6 erkek toplamda 10 katılımcıdan tasarlanan osilometrik tabanlı sistem ve referans olarak kullanılan Biopac MP36 ünitesi üzerinden Ag/AgCl elektrotlar yardımıyla derivasyon-II düzeninde EKG sinyali alınmıştır.

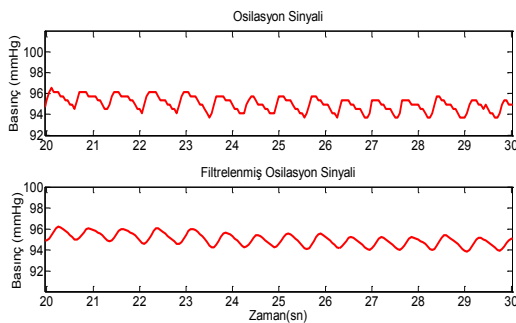
#### B. Prosedür

Deney prosedürü dinlenme, Stroop renk/kelime testi ve mental test olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle kişi rahat bir sandalyeye oturtularak rahatlaması istenmiş ve 60 saniye boyunca dinlenme konumunda önceden bahsedildiği şekilde tasarlanan sistem üzerinden kalp atım bilgisini içeren sinyaller ve Biopac ünitesi üzerinden EKG sinyalleri eş zamanlı olarak alınmıştır. Bu bir dakikalık kısım temel seviye olarak kabul edilmiş ve sonrasında kişiyi strese sokan durumlarda alınan sinyal ile bu kısımda alınan sinyal kıyaslanarak kişi stres altındayken kalp hızı değişkenliği parametrelerinde meydana gelen değişim de incelenmiştir. Temel seviyeden sonra kişiden 60 saniye boyunca Stroop renk/kelime testini gerçekleştirmesi istenmiş ve süre bitiminde denek yaklaşık 60 saniye kadar dinlendirilerek kalp atımlarının normal seviyeye dönmesi beklenmiştir. Sonrasında mental test için 3000'den geriye doğru 7'şer 7'şer olabildiğince hızlı bir şekilde sayması istenmiştir.

#### C. Sinyal Analizi

Kayıtlar alındıktan sonra KHD analizlerine geçmeden önce sinyaldeki gürültüleri ve taban hattındaki kaymayı gidermek için filtreleme işlemi yapılmıştır.

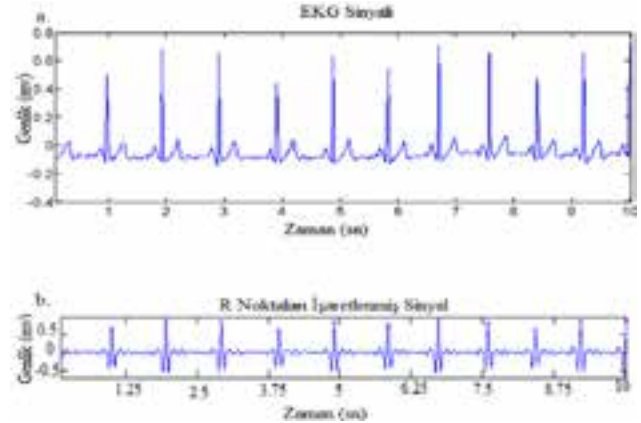
Gerçekleştirilen osilometrik tabanlı sistem tarafından alınan sinyal aşağıdaki Şekil 3'te verilmiştir. Verilen şekilde ilk grafik alınan osilasyon sinyalinin 10 saniyelik bir kısmını göstermektedir. İkinci grafik ise sinyal üzerinde meydana gelen küçük dalgalanmaları bastırmak için kayan ortalama (moving average) filtre ile filtrelenmiş sinyali göstermektedir.



Şekil 3. Osilasyon sinyali ve filtrelenmiş osilasyon sinyali

Zaman ve frekans domeni analizlerine geçmeden önce Biopac ünitesinden alınan EKG sinyallerindeki gürültüyü ve taban hattı kaymasını gidermek için de filtreleme işlemi

yapılmıştır. Filtreleme için öncelikle kayan ortalama (moving average) filtre kullanılarak gürültü elimine edilmeye çalışılmış sonrasında taban hattı kaymasını gidermek için sonlu dürtü yanıtına sahip FIR (finite impulse response) yapıda yüksek geçiren filtre kullanılmıştır. Şekil 4 a ve b'de filtrelenmiş ve tepe noktaları tespit edilmiş sinyaller verilmiştir.



Şekil 4. a. Filtrelenmiş EKG sinyali b. Tepe noktaları tespit edilmiş EKG sinyali

Sinyaller filtrelenip tepe noktaları tespit edildikten sonra KHD hesaplaması için zaman ve frekans eksenli analizleri gerçekleştirilmiştir.

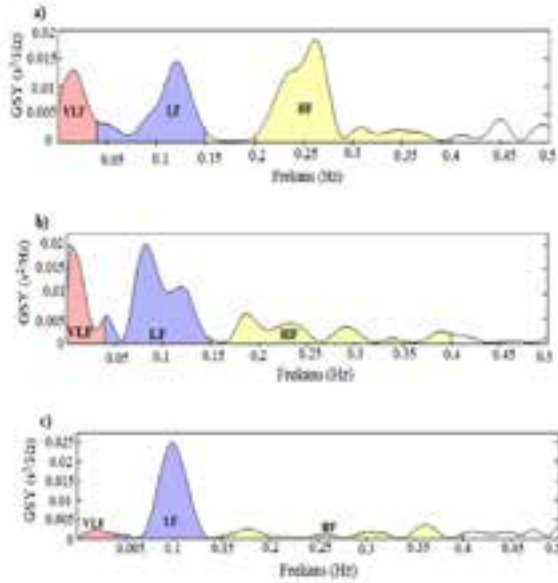
### IV. OSİLOMETRİK VE EKG TABANLI ÖLÇÜM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan çalışmada osilometrik yöntemle ve buna referans olarak kullanılan Biopac ölçüm sistemi üzerinden 3 farklı durum altında alınan kalp atım sinyalleri kullanılarak hesaplanan kalp hızı değişkenliği parametreleri kıyaslanmış ayrıca kişinin stres durumuna göre bu parametrelerin değişimi de incelenmiştir. Üç aşamadan oluşan test prosedürü neticesinde alınan sinyallerin zaman ve frekans domeninde analizleri yapılmıştır. Katılımcılardan birine ait kalp atımları arasındaki süre farklarından yola çıkılarak hesaplanan frekans domeni parametrelerinden olan VLF, LF ve HF bölgelerine ait grafik Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere Stroop renk/kelime testi ve zihinsel işlem sırasında sempatik aktiviteyi yansıtan LF bandındaki güç artarken parasempatik aktiviteyi yansıtan HF bandındaki güç önemli miktarda azalmıştır.

Osilometrik yöntemle alınan ve kalp atım bilgisini içeren osilasyon sinyali ve EKG sinyaline ait parametrelerin hesaplamaları yapılarak sonuçlar istatistiksel analiz yöntemlerinden olan ve iki bağımsız değişken arasındaki ilişkinin gücünü veren korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen Tablo 1 ve 2'de temel seviye durumundaki kişilere ait zaman ve frekans eksenlerindeki kalp hızı değişkenliği parametrelerinin osilasyon ve EKG sinyallerinden elde edilen değerleri arasındaki ilişkiye ait korelasyon analiz sonuçları verilmiştir.

## Biyomedikal Sinyal İşleme 3

13 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon C



Şekil 5. Katılımcılardan birine ait a. Temel seviye b. Stroop renk/kelime testi c. zihinsel işlem sırasında elde edilen güç spektral yoğunluğu (GSY) grafikleri

		EKG sinyaline ait zaman eksenli parametreleri			
		Ortalama RR	SDNN	Ortalama HR	RMSSD
Osilasyon sinyaline ait zaman eksenli parametreleri	Ortalama RR	0.999	-	-	-
	SDNN	-	0.409	-	-
	Ortalama HR	-	-	0.999	-
	RMSSD	-	-	-	0,716

Tablo 1. Osilasyon ve EKG sinyallerinden hesaplanan zaman eksenli parametrelerinin korelasyon analizi

		EKG sinyaline ait frekans eksenli parametreleri		
		LF	HF	LF/HF
Osilasyon sinyaline ait frekans eksenli parametreleri	LF	0.988	-	-
	HF	-	0.936	-
	LF/HF	-	-	0.936

Tablo 2. Osilasyon ve EKG sinyallerinden hesaplanan frekans eksenli parametrelerinin korelasyon analizi

Tablo 1 ve 2'de verilen korelasyon analizi sonuçlarına bakıldığında tasarlanan osilometrik tabanlı ölçüm sistemi ile buna referans olarak kullanılan EKG sinyalleri arasında zaman eksenli parametrelerinden SDNN parametresi hariç yüksek bir korelasyon olduğu görülmektedir.

## V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tablo 1. ve 2. incelendiğinde osilometrik tabanlı ölçüm sistemi ile EKG verilerinden elde edilen KHD parametrelerinden ortalama RR, ortalama HR, LF, HF ve LF/HF parametrelerinde 0,9'un üzerinde yüksek bir korelasyon bulunmuştur. Korelasyon değerinin 1'e yakın olması veriler arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir. RMSSD değerinin korelasyon değeri 0,7 civarında bulunmuştur. En düşük korelasyon değeri 0,4 ile SDNN parametresine aittir. Ölçüm yöntemleri arasında yapılan kıyaslamada SDNN parametresine ait korelasyon değerinin diğer parametrelere kıyasla daha küçük çıkmasının nedeninin atımlar arasındaki çok küçük zaman aralıkları farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde kan basıncı dalgaları kullanılarak yapılan KHD analizleri ile EKG'den elde edilen KHD analizleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. McKinley ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada farklı durumlar altında alınan EKG ve kan basıncı sinyallerinden elde edilen KHD parametreleri kıyaslandığında genel anlamıyla iki metot arasında yüksek bir güvenilirlik mevcuttur fakat HF parametresi bir miktar az güvenilir olarak hesaplanmakla birlikte sağlıklı kişilerde kan basıncı dalgalarının kullanıldığı bu metot güvenilir sonuçlar üretmiştir [4]. Yine benzer bir çalışma da Carrasco tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada farklı test prosedürleri altında elde edilen kan basıncı sinyalleri ile EKG sinyallerine ait KHD parametreleri kıyaslandığında yüksek bir korelasyon bulunmuştur [7].

## KAYNAKÇA

- [1] Stein, PhD, P. K., & Kleiger, MD, R. E., "Insights from the study of heart rate variability", *Annual review of medicine*, 50(1):249-261, 1999.
- [2] Ahmad, S., Bolic, M., Dajani, H., Groza, V., Batkin, I., & Rajan, S., "Measurement of heart rate variability using an oscillometric blood pressure monitor", *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 59(10):2575-2590, 2010.
- [3] D. McDuff, S. Gontarek, R. Picard, "Remote measurement of cognitive stress via heart rate variability", *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2957-2960, 2014.
- [4] McKinley, P. S., Shapiro, P. A., Bagiella, E., Myers, M. M., De Meersman, R. E., Grant, I., & Sloan, R. P., "Deriving heart period variability from blood pressure waveforms", *Journal of Applied Physiology*, 95(4):1431-1438, 2003.
- [5] Lu, G., Yang, F., Taylor, J. A., & Stein, J. F., "A comparison of photoplethysmography and ECG recording to analyse heart rate variability in healthy subjects", *Journal of medical engineering & technology*, 33(8):634-641, 2009.
- [6] Hayano, J., Barros, A. K., Kamiya, A., Ohte, N., & Yasuma, F., "Assessment of pulse rate variability by the method of pulse frequency demodulation", *Biomedical engineering online*, 4(1), 62, 2005.
- [7] Carrasco, S., Gonzalez, R., Jimenez, J., Roman, R., Medina, V., & Azpiroz, J., "Comparison of the heart rate variability parameters obtained from the electrocardiogram and the blood pressure wave", *Journal of medical engineering & technology*, 22(5):195-205, 1998.