

# Kalp Pillerinin Manyetik Rezonans Görüntüleme Esnasında Yarattığı Sıcaklık Artışı

Onur Ferhanoğlu, Ayhan Altıntaş, Ergin Atalar  
Bilkent Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Bilkent, Ankara

ferhan@ee.bilkent.edu.tr, altintas@ee.bilkent.edu.tr, ergin@ee.bilkent.edu.tr

**Özet:** Günümüzde, kalp pili kullanan hastaların Manyetik Rezonans (MR) cihazına girmesi çeşitli sebeplerden dolayı uygun görülmemektedir. Bunlar; sabit elektromanyetik alan yüzünden pilin yerinden oynaması, kalp pili üzerinde indüklenen akımların kalp atış hızına etkimesi, pilin içindeki devrenin elektromanyetik alandan etkilenmesi ve de kalp pilinin etrafındaki elektromanyetik alan yoğunlaşması yüzünden oluşan sıcaklık artışıdır. Bu çalışmanın amacı, kalp pilinin MR görüntülenmesi esnasında yarattığı birim uygulanan güç başına düşen sıcaklık artışının tespit edilmesi, hastaya zarar vermeden yapılabilecek bir görüntülemenin güç eşiğinin bulunmasıdır.

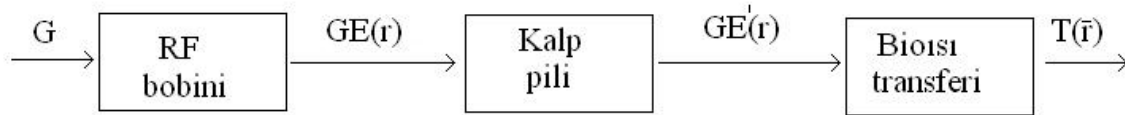
## Önceki Çalışmalar:

Kalp pili kullanan hastalar üzerinde yapılan deneylerde [1], [2], kalp atım eşiğinde kalıcı olmayan değişiklikler gözlemlenmiş olmasına karşın ciddi bir doku hasarına rastlanmamıştır.

Yapılan teorik çalışmalarda [3], MR içindeki Radiofrekans (RF) sargısının, görüntüleme esnasında kullanılan düz kateterler üzerindeki sıcaklık artışı tespit edilmiş, hastaya zarar vermeden yapılabilecek bir görüntülemenin güç eşiği bulunmuştur. Amaç, bu çalışma referans alınarak kalp pilli bir hasta için benzer sonuçlar elde etmektir.

## Teori:

MR'da, RF sargısından kaynaklanan ısınmanın bulunmasında kullanılan şema Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şemada 3 temel sistem mevcuttur.



**Şekil 1.** MRda RF ısınma şeması

1) RF sargısından verilen güç manyetik alan yaratır ve bu alanda vücut tarafından emilir. Bu Güç Emilimi (GE) şöyle ifade edilir:

$$G.E = \frac{\sigma E^2}{2\rho_t} \quad (1)$$

burada  $\sigma$ ,  $E$ ,  $\rho_t$  doku iletkenliği, Elektrik alan ve dokunun yoğunluğudur.

2) Kalp pili, dokulardaki güç emilimine uzaya bağlı bir kazanç sağlar.

$$GE \text{ kazancı} = \frac{GE'(r)}{GE(r)} \quad (2)$$

$GE'(r)$ , kalp pilli bir hastadaki güç emilim dağılımıdır.

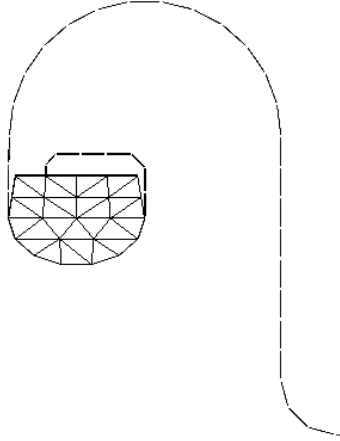
3) Dokularda oluşan  $GE'(r)$ , sıcaklık artışına sebebiyet verir. Bu ilişki Biosı denklemi ile belirtilir:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{d\Delta T(r,t)}{dt} = \nabla^2 \Delta T(r,t) - v^2 \Delta T(r,t) + \frac{\rho_t}{k} GE'(r,t) \quad (3)$$

$\alpha$ ,  $v$ ,  $k$ ,  $\Delta T$ : sırasıyla ısı yayılımı, perfüzyon, ısı iletkenliği ve sıcaklık artışıdır.

## Metotlar:

1. ve 2. sistemler Maxwell denklemleri ile modellenebilir. Bir elektromanyetik simülasyon programı olan FEKO (EMSS, Stellenbosch, Güney Africa) kullanılarak GE'(r) bulunmuştur. Bu simülasyonda vücudu temsilen kalp kasının elektromanyetik özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan kalp pili modeli Şekil 2'de görülmektedir. Burada, kalp pilinin kablosunun vücut içerisinde tipik olarak aldığı şekil görülmektedir. Kalp pilinin kablosunun uzunluğu, kalbe yakın ucta en fazla Güç Emilimi olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2. Kullanılan kalp pili modeli

Simulasyonu doğrulamak için bir deney yapılmıştır. GE Signa 1.5T MR cihazı ile içine kalp pili yerleştirilmiş silindirik jel-fantom RF alanına tabi tutulmuştur. Biri kalp pilinin kablosunun kalbe yakın ucuna, diğeri de merkeze eş uzaklıkta, pile uzak bir noktaya olmak suretiyle iki fiberoptik sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir. Bu iki yerdeki sıcaklıkların oranı, kablonun kalbe yakın ucundaki GE' değerini vermektedir. Deneyden bulunan değer ile simulasyonda hesaplanan değer bu şekilde karşılaştırılabilir.

Vücuttaki Güç Emilimi sıcaklık artışına sebebiyet verir. Bu, Bioısı denklemleri ile modellenebilir. Eğer, sıcaklık artışını incelediğimiz yerde tek doku var ise ve bu yer vücudun sınırlarına uzak ise Green Fonksiyonu yaklaşımı kullanılabilir. Bioısı denkleminin doğrusal, uzayda değişmez bir denklem olduğu kabul edilirse, uzayda dürtü işlevinde bir GE dağılımı için, Green Fonksiyonu şeklinde bir sıcaklık artışı gözlemlenir. Bu durumda sıcaklık artışı Green Fonksiyonu ve GE(r) 'in evrişimi ile bulunabilir.

Kalp pilinin kablosu bir yalıtkan ile çevrilmiştir. Yalnızca kalbe yakın ucunda 0.5 cm'lik bir kısım çıplak teldir. Yapılan simülasyonda en yüksek GE(r) değerleri bu bölgede çıkmış, ve telin çıplak olduğu yerde silindirik simetri gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında kullanılacak Green Fonksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

$$G(r) = \frac{\rho_l}{2\pi k} K_0(vr) \quad (4)$$

## Tartışma:

Domuzlar üzerinde yapılan deneylerde[4], 4W/kg GE'ne karşılık 15 °C sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Doku zararı gözlemlenmemek için , uluslararası standartlara göre 2 °C'den fazla bir sıcaklık artışı olmamalıdır. Bu deneylerde domuzlarda 15 °C ye kadar varan sıcaklık artışı ölçülmesine rağmen deney sonrası domuzların yaşamsal faaliyetlerinde hiç bir eksiklik gözlemlenmemiştir. Bu deneylerde birim GE başına düşen sıcaklık artışı 3.75 °C'dir. Domuzlarda perfüzyon miktarının 100 ml/min/100g, insanlarda ise 350 ml/min/100g civarında olduğu göz önüne alınır, insanlarda birim GE başına daha az sıcaklık artışı beklenmektedir.

## Sonuçlar:

Kablonun ucunda, 1W/kg GE'ne karşılık 2.6 °C sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Hastaya doku zararı verilmemesi için , uluslararası standartlara göre 2 °C'den fazla bir sıcaklık artışı olmamalıdır, bu durumda uygulanan güç burada kullanılan kalp pili modeli için 0.77 W/kg ile sınırlandırılmalıdır.

## **Kaynaklar**

- [1]. Roguin A et al. Modern Pacemaker and Implantable Cardioverter-Defibrillator Systems can be MRI safe: In vitro and in vivo assessment of safety and function at 1.5 Tesla. American Heart Association Scientific Sessions; Orlando, Florida, 2003; 108(17): IV-372
- [2]. E. T. Martin et al. ISMRM 2003, #2445
- [3]. Yeung CJ, Susil RC, Atalar E, RF Safety of Wires in Interventional MRI: Using a Safety Index, MRM. 47:187-193, 2002.
- [4]. Luechinger R et al, "*In Vivo Heating Measurements near Pacemaker leads during MRI*", ISMRM 2004