

Manyetik Rezonans Güvenilirliği için Anatomik Koyun Modellerinin Karşılaştırılması¹

Samat Turdumamatov, Hamza Ergüder, Tahir Malas
Turgut Özal Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

sturdumamatov@turgutozal.edu.tr, herguder@turgutozal.edu.tr, tmalas@turgutozal.edu.tr,

Özet: Bu çalışmada manyetik rezonans görüntüleme için kullanılan bobinlerin olası zararlı etkilerini üç farklı koyun modeli üzerinde değerlendirdik. Bilgisayar tomografisinden elde edilen görüntüler kullanılarak homojen, üç katmanlı ve yedi dokulu anatomik model olmak üzere üç model oluşturduk ve bu modeller üzerinde özgül soğurma hızı (ÖSH) ve sıcaklık artışlarını hesapladık. Burada gördük ki, homojen modelde ÖSH ve sıcaklık artışları yedi dokulu modele göre yüksek olurken, üç katmanlı modelde daha düşük oluyor. Ancak, ÖSH ve sıcaklık değerlerinin özellikle üç katmanlı modelde anatomik modele yakın olduğunu gördük. Homojen ve üç katmanlı modeller ile yapılan simülasyonlar çok daha hızlı ve daha az bilgisayar kaynağı gerektirmektedir. Bu yüzden simülasyonlarda ayrıntılı modeller yerine homojen veya basit üç dokulu modeller kullanılabilir.

Abstract: We compare three anatomical sheep models to assess possible adverse effects of magnetic resonance imaging. Using the images obtained from computerized tomography, we generate i) homogenous, ii) three-layered, and iii) seven-tissue models and compute specific absorption rate (SAR) and temperature increase on those models. We conclude that the homogenous model overestimates both SAR and heating whereas the three-tissue model underestimates those (although slightly) compared to more accurate seven-tissue model. However, simulations with both homogenous and three-layered models can be performed much faster and using fewer computational resources compared to more accurate models, hence, can be viable alternatives to simulations with a more accurate anatomic model.

1. Giriş

3T ve üzeri manyetik rezonans cihazlarının geliştirilmesi ile beraber radyo frekans (RF) bobinlerin insan vücuduna olası etkileri üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. RF bobinlerinin oluşturduğu elektromanyetik dalgalar lokal veya tüm vücut sıcaklığını etkilemektedir. Vücut bobinlerine göre daha az güç gerektiren küçük bobinlerde dahi, son zamanlarda insan ve domuz üzerinde yapılan çalışmalara bakıldığında 15 dakikadan uzun süren işlemlerin vücut sıcaklığını belirgin şekilde arttırdığı görülmektedir [1-3].

MR cihazlarının güvenliğinden emin olmak ve buna bağlı olarak RF bobinlerinin çıkış güçlerine sınırlamalar koymak için, uluslararası elektroteknik komisyonu (IEC) tarafından güvenlik standartları yayımlandı. RF güvenliğindeki asıl endişe sıcaklık artışı olsa da; vücut içi sıcaklıkların ölçülmesi ve hesaplanması zor olmasından dolayı, güvenlik sınırlamaları özgül soğurma oranında yapılmıştır. Noktasal ÖSH

$$\text{ÖSH}(\mathbf{R}) = \frac{\sigma(\mathbf{R}) \|\mathbf{E}(\mathbf{R})\|^2}{\rho(\mathbf{R})} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. σ dokunun iletkenliği (S/m^2), ρ ise yoğunluğunu (kg/m^3) göstermektedir. Ancak lokal ÖSH hesaplanırken ortalama bir versiyon olan

$$\text{ÖSH}_L = \frac{1}{V} \int_{10 \text{ gr sample}} \frac{\sigma(\mathbf{R}) \|\mathbf{E}(\mathbf{R})\|^2}{\rho(\mathbf{R})} d\mathbf{R}. \quad (2)$$

¹ Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 113E187 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

kullanılmaktadır. Burada V 10 gr'lık örnek hacmi simgelemektedir. Yüzeysel bobinler için lokal limitler düzenlenmesi gerekmektedir. Ancak, MR cihazlarında kullanılan, çıkış gücü vücudun görüntülenene kısmına göre ayarlanan hacimsel bobinler için, tüm vücut veya kısmi vücuda göre ayarlanmış ortalama ÖSH değerleri kullanılmaktadır. Tablo 1'de gösterilen IEC limitlerine göre 80 kg ağırlığında bir kişiye tüm vücut MR taraması yapıldığında 160 W (kontrollü durumda 320 W) güç uygulama izni vermektedir.

Tablo 1 MR için IEC ÖSH Limitleri.

ÖSH Limitleri (W/kg)	Ortalama ÖSH		Lokal ÖSH		
	Tüm beden	Baş	Baş	Gövde	Ekstremiteler
Normal Mod	2	3.2	10	10	20
Kontrol Modu	4	3.2	20	20	40

Bu makalede farklı karmaşıklıklarda koyun anatomik modellerini kullanarak 3T'da MR güvenliğini ÖSH ve sıcaklık artışlarını karşılaştırarak inceledik. Koyun modeli kullanmamızın sebebi simülasyon sonuçlarını yapılan diğer hayvan deneyleri ile karşılaştırabilmektir.

2. Anatomik Koyun Modeli

Anatomik model oluşturmak için ortalama büyüklükte bir erkek koyunun yüksek çözünürlüklü MR ve bilgisayarlı tomografi (CT) görüntülerini kullandık. MR görüntüleri yumuşak dokuları daha net gösterse de, kullanmış olduğumuz modelleme programının threshold yapan birçok bölütleme aracı ile CT görüntülerdeki yumuşak doku, kemik ve vücut içi hava çok daha hızlı ve kolay modellenenibilmesinden dolayı; modelleri CT görüntüler üzerinden oluşturduk. Bu çalışmada anatomik modeli göz, beyin, kemik, yağ, kas, deri, ve iç hava olmak üzere yedi doku olarak oluşturduk.

Anatomik modele ek olarak, sonuçları karşılaştırmak üzere homojen ve üç katmanlı olmak üzere iki farklı model daha oluşturduk. Bu modeller için, sadece yüzeyi ayırma gereken ve daha az bilinmeyen ile problemin boyutunu küçültün yüzey-integral-denklemini yöntemi kullanabilme avantajı vardır. Üç katmanlı modeller deri, derinin altında 1-2 cm kalınlığında yağ doku ve kas (yumuşak doku yerine) dokudan oluşmaktadır. Homojen model ise tamamen yumuşak dokudan oluşmaktadır.

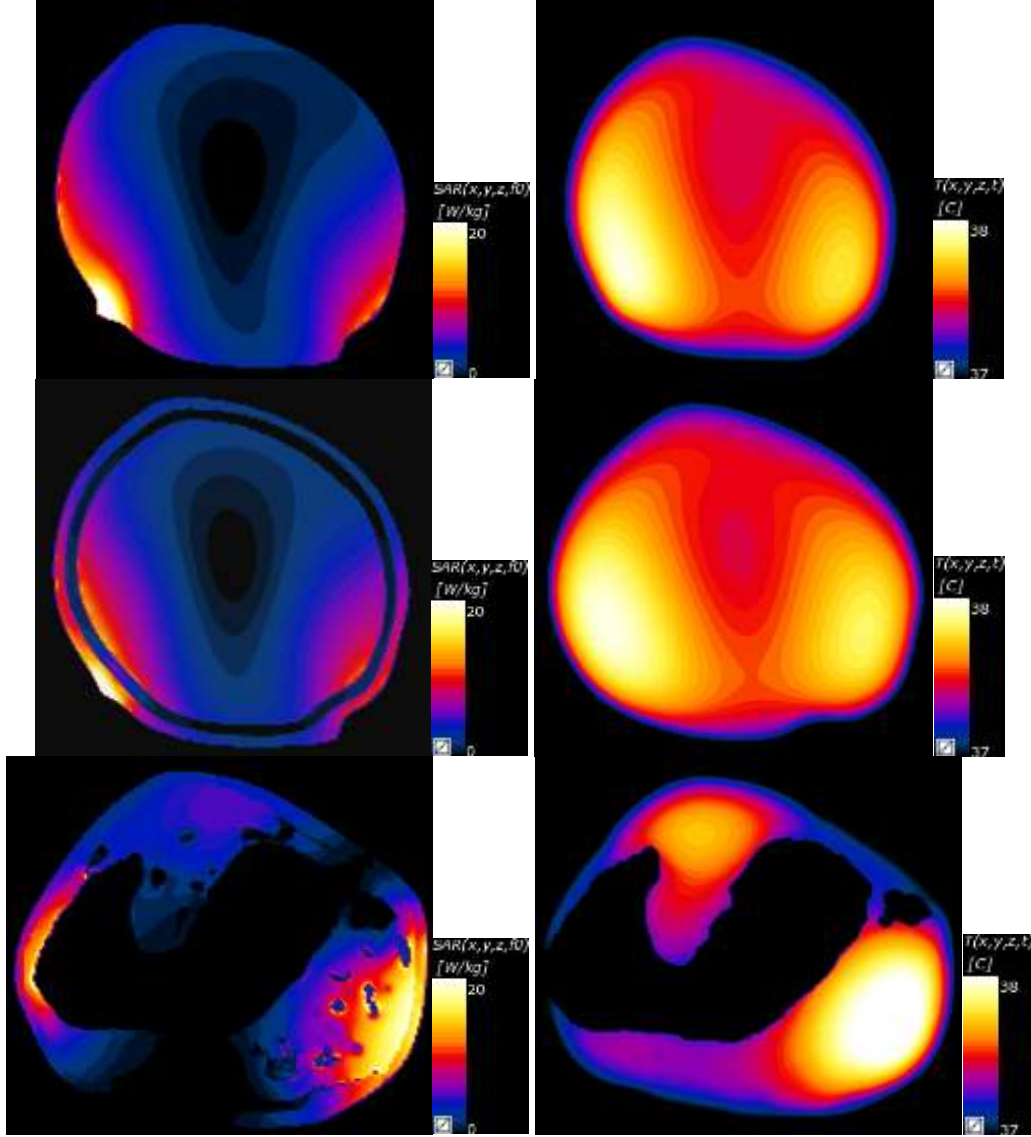


Şekil 1. Simülasyonlarda kullanılan homojen, üç katmanlı ve yedi dokulu anatomik model.

3. Simülasyon Sonuçları

MR bobinini bu çalışmada 3T MR cihazlarında genelde kullanılan 16 bacaklı kuşkafe bobin olarak tasarladık. Bobinin çapını 60 cm ve uzunluğunu 40 cm olarak ayarladık. Bobini 68 cm çapında 1 m uzunluğunda shield içerisine yerleştirdik. Bobin quadrature modda çalıştırıldı. ÖSH ve sıcaklık simülasyonları için zaman alanı sonlu farklar yöntemini kullanan Sim4Life programını kullandık [4]. Sıcaklık simülasyonları için genel olarak kullanılan Pennes biyoısı transfer modelini kullandık. Yapılan simülasyonları, zamanda sonlu farklar metodunu oldukça etkili şekilde hızlandıran 4 NVIDIA Tesla C2075 GPU'su olan Linux sunucuda çözdürdük. Bütün modelleri 6 mm x 6 mm x 10 mm çözünürlüğünde ayrıştırdık ve her model yaklaşık altı milyon vokselle oldu.

Vücut merkezde yapılan simülasyonların sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. 2 W/kg ÖSH varsayılarak ortalama bir koyun için 100 W'lık bir giriş gücü uygulanmıştır. 1 saatlik RF uyguladık. Homojen model sonuçları için ÖSH ve sıcaklık sonuçlarının birbirine yakın ilişkili olduğunu gördük. Son sıcaklık dağılımı, BHTM modelde tanımlandığı gibi ÖSH sonuçlarının difüze olmuş halidir. Üç katmanlı model sonucunda sıcaklık ve ÖSH değerleri yüksek çıksa da, homojen modele göre anatomik modele daha yakın olduğunu gördük. Heterojen model için, tüm vücut ÖSH değeri 2 W/kg olarak normalleştirildiğinde en yüksek noktasal ÖSH değerinin yaklaşık 80 W/kg olduğunu gözlemledik.



Şekil 2. ÖSH (sol sütun) ve sıcaklık (sağ sütun) sonuçları. Homojen model üstte, üç katmanlı model ortada, yedi dokulu model ise en alt satırdadır.

Kaynaklar

- [1]. S. Oh, Y.-C. Ryu, G. Carluccio, C. T. Sica, and C. M. Collins, "Measurement of SAR-induced temperature increase in a phantom and in vivo with comparison to numerical simulation: SAR-Induced Temperature Rise," *Magn. Reson. Med.*, vol. 71, no. 5, pp. 1923–1931, May 2014.
- [2]. M. Murbach, E. Neufeld, M. Capstick, W. Kainz, D. O. Brunner, T. Samaras, K. P. Pruessmann, and N. Kuster, "Thermal Tissue Damage Model Analyzed for Different Whole-Body SAR and Scan Durations for Standard MR Body Coils," *Magn. Reson. Med.*, p. n/a–n/a, Jan. 2013.
- [3]. D. Shrivastava, L. Utecht, J. Tian, J. Hughes, and J. T. Vaughan, "In vivo radiofrequency heating in swine in a 3T (123.2-MHz) birdcage whole body coil: In Vivo RF Heating in 3T," *Magn. Reson. Med.*, vol. 72, no. 4, pp. 1141–1150, Oct. 2014.
- [4] AG, ZMT Zurich MedTech, and C. H. Zürich. "Sim4Life: A Simulation Platform for Life Sciences and Medtech Applications." *European Cells and Materials* 27.2 (2014): 6.