



Bilgisayarlı tomografi, röntgen ve ultrason görüntüleme cihazları için balistik jelatin esaslı fantom modellerinin araştırılması

Investigation of ballistic gelatin based phantom models for computed tomography, x-ray and ultrasound imaging devices

Mertcan Özdemir¹ ve Osman Eroğul¹

¹Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

¹TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Ankara, Türkiye

mertcanoazdemir@yahoo.com; erogul@etu.edu.tr

Aytekin Ünlü²

²Genel Cerrahi AD.

²SBÜ Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Ankara, Türkiye

aytekin.unlu@sbu.edu.tr

Özetçe—Simülasyon temelli tıbbi eğitim; acemi, orta ve ileri düzey pratisyenlerin hastalara zarar vermeden becerilerini öğrenebilecekleri veya pratik yapabilecekleri, öğrenen merkezli bir ortam sağlar. Tıbbi cihaz fantomları, cihazların performansını değerlendirmek, analiz etmek ve ayarlamak gibi teknik özelliklerinin yanında simülasyon temelli eğitimlerde de kullanılan ve özel olarak tasarlanan nesnelere dir. Balistik jelatin, mekanik özellikleri açısından insan kas dokusunu taklit eden 250A-Bloom hidrojel ailesinin bir üyesidir. Bu çalışmada balistik jelatin esaslı fantomlar üretilmiş ve tıbbi cihaz görüntülerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hazırlanan fantom modellerinin cihaz eğitimlerinde bir tıbbi cihaz fantomu olarak kullanılması önerilmektedir. Bu modellerin en büyük avantajları üretimini pratik ve ekonomik olmasıdır.

Anahtar Kelimeler — Tıbbi görüntüleme; Fantom; Simülasyon temelli tıbbi eğitim; Balistik jelatin.

Abstract— Simulation-based medical education provides a learner-centered environment in which novice, intermediate and advanced practitioners can learn or practice their skills without harming patients. Medical device phantoms are specially designed objects that are used in simulation based trainings as well as technical features such as evaluating, analyzing and adjusting the performance of devices. Ballistic gelatin is a member of the 250A-Bloom hydrogel family, which mimics human muscle tissue in terms of mechanical properties. In this study, ballistic gelatin-based phantoms were produced and examined on medical device images. According to the results, it is suggested to use phantom models as a medical device phantom in device training. The main advantages of these models are that their production is practical and economical.

Keywords — Medical imaging; Phantom, Simulation based medical education; Ballistic gelatin.

I. GİRİŞ

Tıbbi görüntüleme, tıpkı belirli organların veya dokuların fizyolojisi gibi, klinik muayene ve terapötik işlem için vücudun içerisini görsel olarak tasvir etmenin yöntemidir. İnsan veya hayvan dokularının özelliklerini taklit etmek amacıyla tüm tanısal görüntüleme sistemlerinde doku taklit eden nesnelere kullanılması ve fizik tedavi müdahalelerini gerektirmiştir [1]. Bu nesnelere, sistem tasarımlarını test etmek, mevcut sistemlerdeki gürültüyü sinyal optimize etmek, rutin kalite kontrol yapmak, sistemler arasındaki performansı karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır [2]. Ayrıca eğitim tecrübesi kazanılmasında ve araştırma çalışmalarında ön bilgi elde etmek amacıyla da kullanılabilirler [3]. Fantom ile test edilen cihazlar, canlı bir deneğin veya kadavranın kullanımından daha tutarlı sonuçlar vermekte ve aynı şekilde canlılığın doğrudan tıbbi cihaza maruz bırakılması önlenmektedir [4].

Balistik jelatin, mekanik özellikleri bakımından insan kas dokusuna benzeyen 250-Bloom hidrojel ailesinin bir üyesidir. Jelatin tozu, asidik (tip A) veya alkalın (tip B) bir ortamda ekstraksiyon yoluyla hayvan derisinde, kemikte ve tendon dokularında bulunan doğal protein olan kollajenden üretilen biyolojik proteinleri içerir.

Jelatin sertliği Bloom sayısı ile tanımlanmaktadır (50'den 300'e kadar) [5]. Yüksek Bloom değerine sahip olan jel, daha yüksek erime ve jelleşme noktalarına sahip olacak ve bu sayede gerekli jelatinleşme süresi daha uzun olacaktır. Tip A ve 250 Bloom jelatin, insan kas dokusunu taklit etmek amacıyla birçok çalışmada yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Birçok çalışmada, balistik jelatin üretiminde karışım oranları oldukça değişkendir. 4°C'de %10 (Fackler jelatin) ve 10°C'de %20

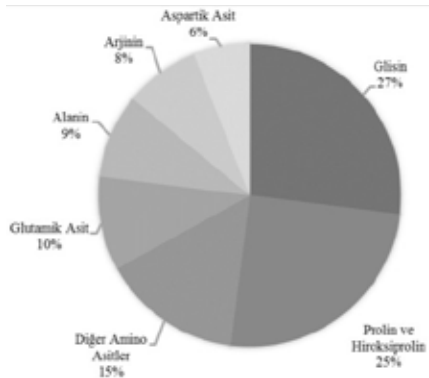
(NATO jelatin), literatürde mevcut karışım oranlarına sahip yaygın olan balistik jelatin karışımıdır [6-8].

Ticari fantomlar piyasada mevcuttur, ancak fantom modelinin kalitesine ve istenen vücut kısmına bağlı olarak maliyeti 200\$ ile 19000\$ arasında değişmektedir (Blue Phantom Corporation, WA/Universal Medical, GT Simulators). Bu fiyat seviyeleri birçok düşük ve orta gelirli ülkelerde yüksek kabul edilmektedir. Göreceli olarak yüksek maliyeti düşürmek amacıyla araştırmacılar metamucil, tavuk göğsü veya bologna kullanılarak oluşturulan fantom modelleri kullanmışlardır [9,10]. Ancak, bu modeller Salmonella ve Campylobacter gibi patojenlerin enfeksiyon riskini ortaya çıkarabilmekte ve ayrıca eğitim veya cihaz testleri için yeniden kullanıma uygun olmamaktadır.

Bu çalışmada bilgisayarlı tomografi, x-ışını ve ultrason görüntüleme cihazlarında kullanılmak üzere balistik jelatin esaslı fantom üretim yöntemi önerilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Jelatin malzemesi, memelilerin derisinde, kemiklerinde ve dokularında bulunan kollajenden üretilen doğal bir protein maddesidir. Bu proteinin yapısında çok çeşitli amino asitler bulunmaktadır. Şekil 1'de yapısını içerisinde bulunan amino asitlerin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. Kollajen proteininin yapısında bulunan amino asitler

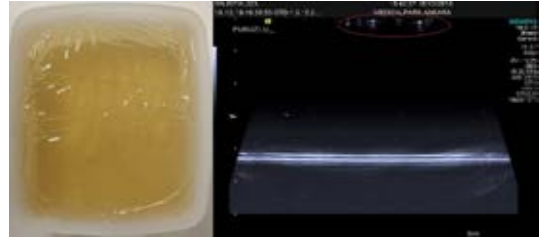
Balistik jelatin, insan ve hayvan kas dokusunun yoğunluğunu ve viskozitesini taklit edebildiğinden dolayı ateşli silah performansını test etmek amacıyla bir ortam olarak kullanılmaktadır. İnsan deri ve kemik dokuları dahil olmak üzere vücudun yapısını tam olarak taklit edemese de, kas dokusu benzerliği bir çok çalışmada gösterilmiştir. Jelatin malzemesinin özelliklerinden dolayı, kas dokusunun taklidi olarak tutarlı ve güvenilir bir karşılaştırma sağlar.

Balistik jelatin hazırlama yönteminde, jelatin kullanımı hakkındaki bilimsel raporlarda farklı karışım oranları bulunmaktadır. Konsantrasyon oranındaki farklılıkların, balistik jelatin modelinin canlı dokunun özelliklerine yakın olduğu sürece önemsiz olduğu belirtilmektedir [11]. Ayrıca su sıcaklığının ve saklama koşullarının, doku taklidi olarak kullanılan balistik jelatin modelin fiziksel özelliklerini etkilediği gösterilmiştir. Bu çalışmada %10 balistik jelatin/su oranı ile üretilen modeller kullanılmıştır.

%10 balistik jelatin fantom modelini elde etmek amacıyla jelatin tozu, 1:9 oranında su ile 40°C sabit bir sıcaklıkta paramanyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Karıştırırken sistemde köpüklenme tespit edildi ve bunun sonucunda jelatin sertleştiğinde üzerinde granüllü bir yapı bıraktı. Bu granüllü yapı yine de görüntüleme farklılığına yol açıp açmadığını kontrol etmek amacıyla örneklerin arasına dahil edilmiştir. Köpüklenmeyi önlemek amacıyla, karıştırma sırasında karışıma bir kaç damla tarçın yaprağı yağı (köpük önleyici madde) ilave edildi. Vasküler görüntüleme için üretilen fantom modellerinden birine plastik bir serum damarı yerleştirildi. Nihai çözelti kalıplara döküldü ve katılaşmaya bırakıldı. Tamamen katı forma geçtikten sonra, 24 saat boyunca buzdolabında (4°C) sertleşmeye bırakıldı. Farklı görüntüleme cihazlarında test için 6 farklı kalıp üretildi. Bu modeller sırasıyla; ısı ile eritilip tekrar kalıba dökülmüş, içerisine taş ve su yerleştirilmiş plastik balon bulunan, üretiminde tarçın yağı yaprağı yağı kullanılmayan, içerisine oyun hamuru ve yumurta yerleştirilmiş, içerisinden su bulunan balon yerleştirilmiş ve içerisine sırasıyla 5, 7 ve 10 mm çapında serum borusu yerleştirilmiş modeldir.

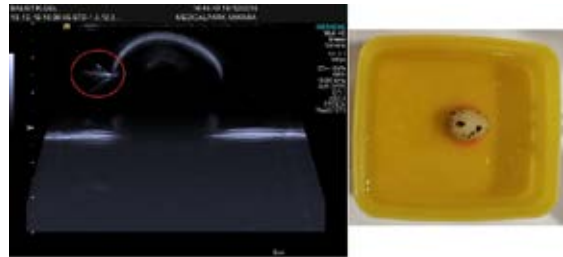
III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fantom modelleri üretirken, üretim aşamasına damlatılan tarçın yaprağı yağı, jelatin karışımında meydana gelen köpüklenmeyi ortadan kaldırmaktadır. Köpüklenmenin olduğu modellerde, jelatinin katılaşmasından sonra yüzeyde pürüzlü bir yapı oluşmuştur. Bu pürüzlülük, ultrason görüntülerinde model yüzeyindeki görüntü artefaktına neden olduğu görülmüştür. (Şekil 2). Bu artefaktların oluşumunu önlemek amacıyla tarçın yaprağı yağı kullanılması tavsiye edilir.



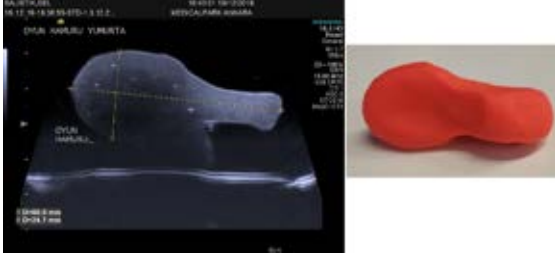
Şekil 2. Pürüzlü bir yüzeye sahip fantom modelinin ultrason görüntüsü.

Fantom modelini ultrason görüntüleme yönteminde test etmek ve kullanmak amacıyla, fantom modeli ultrason cihazı ile görüntüldü. Fantom modelinin içerisine yerleştirilen Coturnix yumurtasının mediyaline doğru sokulan iğnenin görüntüsü elde edildi. Burada, iğnenin ucunda bir kuyruklu yıldız artefaktı meydana gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Coturnix yumurtasının balistik jelatin fantom modelindeki ultrason görüntüsü.

Ultrason görüntüleme cihazı ile elde edilmiş bir diğer görüntüde modelin içerisine yerleştirilen malzemeler net bir şekilde görüntülenmiştir. Şekil 4'de içerisine oyun hamuru yerleştirilmiş modelin ultrason görüntüsü gösterilmiştir. Bu modelde hamur net bir şekilde görülmüş ve hekimler ile yapılan görüşmede bu modelin skrotal görüntüleme çalışmalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4. İçerisine oyun hamuru yerleştirilmiş fantom modelinde oyun hamurunun lateral görüntüsü.

Altı farklı modelin X-ışını görüntüsü Şekil 5'de gösterilmektedir. En düşük kontrast, oyun hamurunun yerleştirildiği modelde görülmüştür. Coturnix yumurtası x-ışını altında kolayca tespit edilebilmektedir. Ayrıca fantom modelinin sınırları açıkça görülmektedir. Isıtılan ve daha sonra tekrar kalıplanan modelden elde edilen görüntülerde diğer modellere göre görüntü farkı gözlemlenmemiştir.



Şekil 5. Farklı fantom modellerinde X-ışını görüntüleme.

Bilgisayarlı tomografi görüntüsünde en yüksek kontrastlı görüntü oyun hamuru ve Coturnix yumurtası içeren modellerde gözlemlendi. İçerisinde su ve taşların yerleştirildiği balon bulunan modelde, taşlar düzgün şekilde görüntülenememiştir. Öte yandan, modellerin sınırları x-ray görüntülerinde olduğu gibi açıkça belirlenebilmektedir. Bilgisayarlı tomografi cihazlarında kullanılacak modeller için oyun hamuru ve Coturnix yumurtası bulunan fantom modelleri tercih edilmelidir. Ayrıca, eritilen ve tekrar sertleştirilen modelin bilgisayarlı tomografi görüntüsünde diğer modellere göre herhangi bir fark gözlemlenmemiştir (Şekil 6).

4°C sıcaklıktaki ortamdan çıkarıldıktan sonra fantom modelini kullanmak için gereken süre esas olarak hem fantom boyutuna hem de test alanının ortam sıcaklığına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Önceki çalışmamızda modelin mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği ve 100mm x 110mm x 50mm boyutlu fantom modelinin kullanımı için uygun sürenin 30 dakika olması gerektiği gösterilmiştir [3]. Bu

nedenle, modelin soğuk ortamdan çıkarıldıktan sonraki 30 dakika içinde kullanılması önerilir.



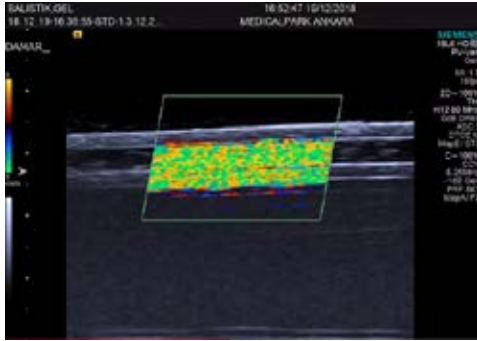
Şekil 6. Farklı fantom modellerinde X-ışını görüntüleme.

Modelin tekrar kullanılabilir olduğunu göstermek amacıyla, balistik jelatin esaslı fantom modeli ısı ile eritildi ve yeniden kalıplandı. Bu işlem sonucunda bilgisayarlı tomografi, x-ray ve ultrason cihazlarından elde edilen görüntülerde, eritilip tekrar üretilen model için tekrar üretilmeye bağlı herhangi bir artefakt gözlemlenmedi. Bu nedenle, bu tıbbi cihazların uygulamalarında balistik jelatin esaslı fantom modeli eritilebilir ve tekrar kullanılabilir.

Fantom modeli, hazırlanma işlemi sırasında sıvı bir karışım halinde olduğundan dolayı, herhangi bir kabin şekline alılabilmektedir. Bu sayede vücut bölgesine göre üretilmiş kalıplara dökülerek sertleşmesi sağlanabilir. Model başarıyla sertleştiğinde vücudun herhangi bir bölgesinin modeli elde edilebilmektedir. Ayrıca fantom modeli başarıyla hazırlandığı takdirde, yeterince sağlamdır ve herhangi bir bakım gerektirmemektedir.

Balistik jelatin içerisine yerleştirilen serum, insan vücudunda bulunan kan damarını temsil eden bir model sağlamaktadır. Serum duvarı, fiili damar tabakasına benzer şekilde, iğne ilerlemesine karşı direnç sağlar. Bu sayede serum tüpünün içerisine aspirasyon ve sıvı enjeksiyonu işlemlerinin ultrason cihazı ile görüntülenmesini sağlar. Ultrason cihazının doppler modunda serum tüplerinin içerisinden su geçirilmiş ve Şekil 7'deki gibi anlık görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntüye göre ultrason cihazının doppler modu için bu model cihaz eğitimlerinde ve cihaz testlerinde kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Tıbbi eğitimlerine katkıda bulunabilecek bu fantom modelleri üzerinde yapılabilecek hatalar öngörülerek gerçek hasta üzerinde bu hataların tekrarlarından kaçınılması sağlanabilir.



Şekil 7. İçerisine serum borusu yerleştirilmiş modelden elde edilen doppler ultrasonografi görüntüsü.

IV. SONUÇ

Fantom modelleri, farklı tıbbi görüntüleme alanlarında, insan kas dokusuna benzerliğini göstermek için görselleştirilmiştir. Tıbbi cihazların performansını değerlendirmek, analiz etmek ve ayarlamak için farklı görüntüleme alanlarında farklı modeller üretilmiştir ve özellikleri incelenmiştir. Bu fantom modelleri aynı zamanda kolay üretim, tekrar kullanılabilirlik ve düşük maliyet avantajlarına sahiptir. Bu nedenle, özellikle ultrason eğitimlerinde bu tür bir fantom modeli uygun maliyetli bir alternatif olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Srinivasan, R., D. Kumar, and Megha Singh. "Optical tissue-equivalent phantoms for medical imaging." Trends Biomater. Artif. Organs 15.2, 42-47, 2002.
- [2] Iturralde, Mario P., *Dictionary and handbook of nuclear medicine and clinical imaging*. CRC Press, 2018.
- [3] Özdemir, M., Özdemir G., and Eroğul O.. "Investigating Ballistic Gelatin Based Phantom Properties for Ultrasound Training." World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018. Springer, Singapore, 2019.
- [4] Keenan, Kathryn E., et al. "Quantitative magnetic resonance imaging phantoms: A review and the need for a system phantom." Magnetic resonance in medicine 79.1, 48-61, 2018.
- [5] Schrieber, Reinhard, and Herbert Gareis. *Gelatine handbook: theory and industrial practice*. John Wiley & Sons, 2007.
- [6] Jussila, Jorma, et al. "Ballistic skin simulant." Forensic science international 150.1, 63-71, 2015.
- [7] Caudell, Joe N. "Review of wound ballistic research and its applicability to wildlife management." Wildlife Society Bulletin 37.4, 824-831, 2013.
- [8] Humphrey, Caitlin, and Jaliya Kumaratilake. "Ballistics and anatomical modelling—A review." Legal Medicine 23, 21-29, 2016.
- [9] Kendall, John L., and Jeffrey P. Faragher. "Ultrasound-guided central venous access: a homemade phantom for simulation." Canadian Journal of Emergency Medicine 9.5, 371-373, 2007.

- [10] Wells, Mike, and Lara Goldstein. "The polony phantom: a cost-effective aid for teaching emergency ultrasound procedures." International journal of emergency medicine 3.2, 115, 2010.
- [11] Jussila, Jorma. "Preparing ballistic gelatine—review and proposal for a standard method." Forensic science international 141.2-3, 91-98, 2004