



Biyomedikal Teknik Servis Uygulamalarında X-İşını Sistemleri için Yeni Bir Radyasyon Doz Ölçüm Yaklaşımı: Bir Radyoloji Çalışması

A new Radiation Dose Measurement Approach for X-ray Units on Biomedical Technical Service Applications: A Study of Radiology

Ahmet Tartar¹, Aydın AKAN²

¹Department of Biomedical Engineering, University of Inonu, Malatya, Turkey

²Department of Biomedical Engineering, University of Izmir Katip Celebi, Izmir, Turkey
atartar34@gmail.com; aydin.akan@ikc.edu.tr

Özetçe—Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber radyoloji sistemlerindeki yenilik, birçok tıbbi vakaların teşhis ve tedavisine önemli katkı sağlamaktadır. Çalışmada, X-ışını sistemlerinde hasta ve radyasyon çalışanları için yeni bir radyasyon doz ölçüm yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşım, X-ışını sistemlerinin kalite kontrolü için bir altın standart oluşturmasının yanı sıra bu alandaki eksikliklerin giderilmesine katkı sağlayacaktır. Yaklaşım, hasta ve çalışanların radyasyonla ilgili kaygılarının giderilmesine ve güvenilir bir çalışma ortamının sağlanmasına öncülük edecektir.

Anahtar Kelimeler —Röntgen; eşdeğer doz; hasta doz seviyesi; biyomedikal teknik servis; klinik mühendislik.

Abstract—Recently, the improvement of radiology systems along with the developing technologies has provided an important contribution in the diagnosis and treatment of numerous medical cases. In this study, we propose a new radiation dose measurement approach for patients and radiation workers on X-ray units. The approach is extremely important to correct the shortcomings in this area as well as to provide a “gold standard” for radiation quality control measurement of X-ray units. The implementation of the approach will allow to the elimination of concerns of patients and radiation workers about radiation. Also it will present the opportunity to work in a safe environment for radiologists and radiation workers.

Keywords — X-ray unit; radiation; equivalent dose; patient dose level; biomedical technical service; clinical engineering.

I. GİRİŞ

Biyomedikal ve klinik mühendisliği teknik servis uygulamalarında radyoloji bölümünde bulunan tıbbi cihazların doğru şekilde bakım ve kalibrasyonunun

yapılması son derece önemli ve hala çözülmesi gereken güç problemlerden biridir [1]. Özellikle, teşhis aşamasında dünyada en çok kullanılan röntgen cihazlarının bakım ve kalibrasyonlarının doğru bir şekilde yapılması oldukça önem arz etmektedir [2].

Günümüz biyomedikal teknik servis uygulamalarında, X-ışını cihazları için standardize edilmiş bir teknik servis cetveli bulunmamaktadır. Bu durum, gerek mühendisler gerekse biyomedikal teknikerleri için bu cihazların daha verimli ve etkin bir şekilde kullanımını ve bakımını zorlaştırmaktadır. Çalışmada, İstanbul Üniversitesi'nde farklı birimlerde bulunan 10 (on) farklı röntgen sistemi için kullanıcı, hasta ve röntgen odası dışındaki toplum üyesi kişiler için yeni bir doz ölçüm yaklaşımı kullanılarak radyasyon doz değerleri ölçülmüştür. Böylece, cihaz ve ortamın radyasyon koruması ile ilgili metodolojik olarak ayrıntılı bir değerlendirme yapılması sağlanmıştır. Bu açıdan önerilen yaklaşım, biyomedikal-klinik mühendisliği teknik servis uygulamalarına pratik bir protokol oluşturması ve radyoloji cihazlarının teknik servislerinde ciddi bir eksikliğin giderilmesi açısından literatüre ve biyomedikal teknik servis uygulama sahasına özgün bir katkı sağlayacaktır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. X-İşını Sistemleri

X-ışını radyografi sistemleri, hala dünyada sağlık kurumlarında en çok kullanılan konvansiyonel tıbbi görüntüleme ekipmanlarından biridir. Bir X-ışını görüntüsü, dedektörün önüne hastanın vücudunun bir kısmının yerleştirilerek elde edilen “radyograf” olarak



İnteraktif Sunumlar

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

tanımlanır [3]. Konvansiyonel röntgen sistemleri, beyin ve kas yapıları gibi yumuşak dokuların görüntülenmesinde daha az kullanışlı olup kemik yapıların görüntülenmesinde daha elverişlidir [4].

Çalışmada önerilen ölçüm yaklaşımı, İstanbul Üniversitesi'nde bulunan 10 farklı röntgen sistemi için Unfors X-Işını Doz Ölçüm Sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan konvansiyonel X-Işını sistemlerinin yer, marka ve model bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Sistem	Marka	Model	Yer
Ünite-1	Siemens	Multix-CH	Radyoloji
Ünite-2	Kodak	CR800 Digital Radiography	Radyoloji
Ünite-3	Siemens	Multix-UH	Radyoloji
Ünite-4	Sinegraph	192AXD14	Radyoloji
Ünite-5	Sinegraph	192AXD13	Radyoloji
Ünite-6	Sedecal	Millenium	Acil
Ünite-7	Sedecal	Millenium	Acil
Ünite-8	Siemens	Polystar (Pediatric Applications)	Radyoloji
Ünite-9	US X-ray	Conventional System	Acil Cerrahi
Ünite-10	Mecall	Integron S	Acil Cerrahi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan X-ışını sistemleri.

Tablo-1'de, Ünite 1-8 arasındaki sistemler Cerrahpaşa Tıp Fakültesi'nde ve Ünite 9-10 ise İstanbul Çapa Tıp Fakültesi'nde yer almaktadır. Tablodaki ünite-2, dijital radyografi sistemi, ünite-8 ise pediatrik uygulamalarda kullanılan bir radyografi sistemidir.

B. Unfors Xi Ölçüm Sistemi

Unfors Xi doz ölçüm sistemi, X-ışınları için radyasyon dozu kalite kontrol değerlendirme testlerinde kullanılmaktadır. Unfors Xi, tüm tıbbi sistemlerdeki çoklu parametre ölçümleri için kullanılan bir cihazdır. Cihaz, radyografi/floreskopi (R/F), mamografi (MAM) ve bilgisayar tomografi (CT) gibi farklı dedektör yapılarına sahiptir [unf1]. Cihaz kVp, doz, doz hızı, HVL, pulse hızı, mA, mAs ve zaman gibi parametreleri aynı anda ölçebilmektedir [5,6].

Radyasyon doz limit değerleri, Avrupa Atom Enerji Komitesi (EURATOM), Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) ve Uluslararası Atom Enerji Ajansı gibi kuruluşlar tarafından belirlenmiştir [7]. Radyasyonun biyolojik etkileri incelendiğinde, deterministik ve stokastik etkiler görülmektedir. Tıbbi uygulamalarda, ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*) yöntemi dikkate alınarak olası en düşük doz değeri kullanılarak en iyi teşhis ve tedavinin elde edilmesi amaçlanmaktadır [8].

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Tüzüğü, radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için yıllık doz sınırlarını belirlemiştir. Tüzüğün 10. Maddesi, radyasyon görevlileri için 5 yılın ortalaması eşdeğer doz

değeri 20 mSv olmak üzere, 1 yılda en fazla 50 mSv değerine kadar müsaade edilmiştir. Aynı şekilde toplum üyesi kişiler için 5 yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere, yıllık 5 mSv değerine kadar izin verilmiştir. Radyasyon görevlilerinin yıllık müsaade edilebilir doz sınırı değerinden yararlanılarak, günlük maksimum müsaade edilebilir eşdeğer doz değeri, $80\text{ }\mu\text{Sv/gün}$ olarak belirlenmiştir [9].

C. Önerilen Radyasyon Doz Ölçüm Yaklaşımı

Biyomedikal teknik servis organizasyonlarında, radyografi sistemlerinin biyomedikal teknik servis personeli tarafından doz kalite kontrol ölçümlerinin yapılabilmesi son derece önemlidir. Bu ölçümler, hasta ve radyasyon çalışanlarının radyasyonla ilgili kaygılarının giderilmesinde önemli rol oynamaktadır. Benzer şekilde, güvenilir bir sağlık hizmetinin alınmasına öncülük etmektedir. Bu yüzden önerilen yaklaşım, biyomedikal teknik servis uygulamalarında sıklıkla ihtiyaç duyulan bir problemin efektif bir çözümünü sağlayacaktır.

Çalışmada önerilen doz ölçüm yaklaşımı, X-ışını radyografi (röntgen) sistemlerine uygulanmıştır. Örnek bir X-ışını odası ve ölçüm sırasında referans alınan noktalar, Şekil-1'de gösterilmiştir. Ölçümler, sistem çalışır durumda iken kurşun cam/koruyucu ekranın 3 cm önünde (*a*, radyasyon alanı tarafı) ve arkasında (*b*, operator konsolu tarafı) alınmıştır. Tüm ölçümler, radyasyon görevlisinin baş hizasında oturur pozisyonunda (*c*) alınmıştır. Ayrıca, kurşun cam/koruyucu yapının radyasyonu zayıflatma oranları da hesap edilmiştir.



Şekil 1. Örnek bir X-ışını odası ve ölçüm noktaları.

Benzer şekilde, X-ışını odasının dışında bekleyen hasta veya toplum üyesi kişilerin maruz kalabileceği eşdeğer doz değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, iç kapının (*interior door*) açık olduğu varsayılarak dış kapının (*d*, exterior door) açık ve kapalı olduğu durumlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Klinik uygulamalarda, yoğun iş yükünden dolayı kapılar açık unutulabilmektedir. Bu şekilde, dışarıda bekleyen hasta/bireyler, bilinçsizce radyasyona maruz kalabilmektedir.



III. SONUÇLAR

Çalışmada 10 farklı radyografi sistemi için dış kapı ve operatör konsolunda alınan eşdeğer doz ölçümleri ve her bir odadaki kurşun cam/koruyucu paravanların zayıflatma oranları Tablo 2'de tabule edilmiştir. Tabloda her bir sistem için potansiyel enerji (kVp) ve mAs değerleri verilmiştir. Ayrıca, her bir sistemin kurşun cam/koruyucu paravanı için zayıflatma oranları (%) hesap edilmiştir. Eşdeğer doz ölçümleri, Unfors X-ışını doz ölçüm sisteminin Survey dedektörü kullanılarak alınmıştır. Çalışmada standart bir ölçüm yaklaşımı oluşturmak için tüm ölçümler, 100 kVp ve 50 mAs değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Ünite	Operatör Konsolu					Dış Kapı		
	kVp	mAs	Rad. Alanı (a)	Kurşun Cam Önü (b)	Zay. Oranı (%)	Açık	Kapalı	Zay. Oranı (%)
1	100	50	4.890 mSv/h	9.517 μ Sv/h	99.81	2.364 mSv/h	8.995 μ Sv/h	99.62
2	100	50	4.055 μ Sv/h	243.9 nSv/h	93.99	4.241 μ Sv/h	3.732 nSv/h	99.91
3	102	50	4.681 mSv/h	5.707 μ Sv/h	99.88	3.234 mSv/h	3.676 μ Sv/h	99.89
4	102	50	1.492 mSv/h	1.244 μ Sv/h	99.92	465.2 μ Sv/h	1.751 μ Sv/h	99.62
5	102	50	3.384 mSv/h	80.96 μ Sv/h	97.61	756.4 μSv/h	172.2 μSv/h	77.24
6	100	50	3.287 mSv/h	35.50 μ Sv/h	98.92	544.9 μ Sv/h	50.34 μ Sv/h	90.76
7	100	50	2.497 mSv/h	1.863 μ Sv/h	99.93	94.61 μ Sv/h	2.117 μ Sv/h	97.76
8	75	1.3	39.34 μ Sv/h	750.7 nSv/h	98.09	57.75 μ Sv/h	601.1 nSv/h	98.96
9	100	50	1.970 mSv/h	20.47 μ Sv/h	98.96	534.4 μ Sv/h	4.32 μ Sv/h	99.19
10	100	50	3.713 mSv/h	3.175 mSv/h	14.49	783 μ Sv/h	6.346 μ Sv/h	99.19

Tablo 2. Eşdeğer doz değerleri ve zayıflatma oranları.

Her bir sistemin radyasyon çalışanları için toplam olası eşdeğer doz değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tabloda, X-ışını odasında çalışan bir radyasyon personelinin günlük çalışma mesaisi boyunca ortalama 1 dakika şutlama yaptığı varsayılmıştır. Böylece toplam olası eşdeğer doz değerleri kurşun camın önünde (b) hesap edilmiştir. Bu süre şutlama yapılan hasta sayısına göre değişebilmesine rağmen, 1 dakikalık süre, çalışmada eşdeğer doz ölçümleri için referans bir değer (gold standard) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 1 saat ve 250 dakikalık [$50\text{ hafta} \times 5\text{ gün/hafta} \times 1\text{ dak/gün}$] ışınlama süreleri için eşdeğer doz değerleri tabloda hesap edilmiştir.

Ünite	Operatör Konsolu	Eşdeğer Doz Değerleri		
	Kurşun Cam Önü (b)	İşnlama Süresi (1 dk.)	İşnlama Süresi (1 saat)	İşnlama Süresi (250 dk/yıl)
1	9.517 μ Sv/h	0.159 μ Sv	9.517 μ Sv	39.65 μ Sv
2	243.9 nSv/h	4.065 nSv	243.9 nSv	1.02 μ Sv
3	5.707 μ Sv/h	0.095 μ Sv	5.707 μ Sv	23.78 μ Sv
4	1.244 μ Sv/h	0.021 μ Sv	1.244 μ Sv	5.18 μ Sv
5	80.96 μ Sv/h	1.349 μ Sv	80.96 μ Sv	337.33 μ Sv
6	35.50 μ Sv/h	0.608 μ Sv	35.50 μ Sv	152.08 μ Sv
7	1.863 μ Sv/h	0.031 μ Sv	1.863 μ Sv	7.76 μ Sv
8	750.7 nSv/h	12.5 nSv	750.7 nSv	3.125 μ Sv
9	20.47 μ Sv/h	0.341 μ Sv	20.47 μ Sv	85.2 μ Sv
10	3.175 mSv/h	52.92 μSv	3.175 mSv	13.23 mSv

Tablo 3. Radyasyon çalışanları için toplam olası eşdeğer doz değerleri.

Ünite	Dış Kapı (d)		Eşdeğer Doz Değerleri	
	Açık	Kapalı	AÇIK İşnlama Süresi (1 dk.)	KAPALI İşnlama Süresi (1 dk.)
1	2.364 mSv/h	8.995 μ Sv/h	0.039 mSv	0.150 μ Sv
2	4.241 μ Sv/h	3.732 nSv/h	0.071 μ Sv	0.062 nSv
3	3.234 mSv/h	3.676 μ Sv/h	0.054 mSv	0.061 μ Sv
4	465.2 μ Sv/h	1.751 μ Sv/h	7.753 μ Sv	0.029 μ Sv
5	756.4 μ Sv/h	172.2 μ Sv/h	12.607 μ Sv	2.870 μ Sv
6	544.9 μ Sv/h	50.34 μ Sv/h	9.082 μ Sv	0.839 μ Sv
7	94.61 μ Sv/h	2.117 μ Sv/h	1.577 μ Sv	0.035 μ Sv
8	57.75 μ Sv/h	601.1 nSv/h	0.963 μ Sv	10.02 nSv
9	534.4 μ Sv/h	4.32 μ Sv/h	8.91 μ Sv	0.072 μ Sv
10	783 μ Sv/h	6.346 μ Sv/h	13.05 μ Sv	0.106 μ Sv

Tablo 4. Röntgen odası dışındaki toplum üyesi/hastalar için olası eşdeğer doz değerleri.

X-ışını odasının dışında bekleyen hasta veya diğer toplum üyesi kişiler için toplam olası eşdeğer doz değerleri Tablo 4'te hesap edilmiştir. Bu eşdeğer doz ölçümleri, iç kapı açık varsayılarak dış kapının açık ve kapalı olması durumlarında gerçekleştirilmiştir. Klinik uygulamalarda, röntgen odalarındaki yoğun iş yükünden dolayı iç ve dış kapılar açık unutulabilmektedir. Bunun sonucunda, dışarıda bekleyen hasta veya toplum üyesi kişiler bilinçsizce radyasyona maruz kalabilmektedir.



İnteraktif Sunumlar

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

IV. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada Tablo 2'de 10 farklı X-ışını sistemi için ölçülen eşdeğer doz değerleri makul seviyelerde ve koruyucu kurşun camların zayıflatma oranlarının kabul edilebilir ($\pm\%10$) sınırları içerisinde olduğu görülmüştür [ref]. Ancak, Ünite-5'te, dış kapı için hesap edilen zayıflatma oranı $\% 77.24$ olarak hesap edilmiştir. Bu doz seviyesinin μSv mertebesinde ($172.2 \mu\text{Sv/h}$) olmasından dolayı, yüksek bir doz maruziyetini akla getirmemektedir. Yine de, kabul edilebilir limitlerde olabilmesi için, kapıya kurşun koruyucu ilave edilmesi gerektiği önerilmiştir. Ünite-10 için koruyucu cam/paravanın zayıflatma oranı $\% 14.49$ seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. İnceleme sonucunda paravanın koruyucu özelliğinin olmadığı rapor edilmiştir. Test sonuçları ile birlikte, yetkililere bildirim sağlanmıştır. Böylece, paravanın yenilenmesi için resmi çalışmalar başlatılmıştır. Bu süreçte, Ünitenin kullanımı, hastanenin onayı ile duldurulmuştur.

Çalışmada, radyasyon çalışanları ve toplum üyesi kişiler için olası radyasyon eşdeğer doz değerleri Tablo-3'te hesap edilmiştir. Radyasyon çalışanları için günlük müsaade edilebilir eşdeğer doz sınır değeri, $80 \mu\text{Sv}$ olarak belirlenmiştir [9]. Tabloda, 1 (bir) günde, radyasyon çalışanın referans değer olarak 1 dakika, 1 saat ve yıllık 250 dakika radyasyona maruz kalması halinde olası eşdeğer doz değerleri hesap edilmiştir. Bu süreler, çalışma saati ve ışınlama sayısına bağlı olarak değişebileceği gibi bir referans değer "gold standard" olarak verilmiştir. Bu veriler ışığında Ünite-10'da alınan doz değeri ($52.92 \mu\text{Sv}$), günlük müsaade edilebilir limit değerine yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yıllık müsaade edilebilir radyasyon sınırı açısından bu değer, radyasyon görevlileri için endişe oluşturabilecek nitelikte görülmektedir.

Tablo 4'te, tüm üniteler için dışarda bekleyen hasta veya toplum üyesi kişilerde oluşabilecek olası eşdeğer doz değerleri ölçülmüştür. Elde edilen doz seviyeleri dışarda bekleyen hastalar için problem oluşturabilecek seviyede değildir. Hatta, Ünite-10 için dış kapı kurşunlamasının yeterli olmasından ötürü -çalışma sırasında kapalı olması koşulu ile- doz değeri ($6.346 \mu\text{Sv/h}$) dışarıda bekleyen kişileri tehdit edebilecek bir durum bulunmamaktadır. Toplum üyesi veya hastaların, çekim yapılan alanlarda kalma/bekleme sürelerinin sınırlı olduğu dikkate alınarak, 1 dk'lık bir referans değer üzerinden hesaplamalar verilmiştir.

Önerilen yöntemle yapılan ölçümlerde alınan sonuçlar, hastane yetkililerine, teknik ve sağlık personellerine bilgi verilerek ayrıntılı bir rapor halinde sunulmuştur. Önerilen yöntem, teknik ve sağlık personelinin radyasyonla ilgili kaygılarının giderilmesine ve daha güvenli bir ortamda çalışmalarına katkı sağlamasına öncülük etmektedir. Bu kapsamda, yetkililer tarafından uygun periyotlarla bu testlerin yapılması, Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Birimi tarafından talep edilmiştir. Hala, sağlıklı bir şekilde

önerilen yöntem ile kontrol amaçlı ölçümler düzenli aralıklarla yapılmaktadır.

Bu sonuçlara göre, radyasyonun canlı organizmadaki deterministik etkileri açısından örneğin, göz için sınır değerleri, radyasyon görevlileri 150 mSv , toplum üyesi kişiler için 15 mSv eşdeğer doz değerleriyle karşılaştırıldığında [10-11] ölçülen değerlerin güven sınırları içerisinde olduğu görülmektedir. Radyasyonun canlı organizmadaki stokastik etkileri açısından değerlendirildiğinde ise, düşük doz değerlerinin dahi vücutta herhangi bir olası hasara neden olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu yüzden ışınlama sırasında kapılar kapalı tutulmalı ve radyasyon çalışanları mutlaka kurşun önlük giyerek çalışmaları gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Tsai H.Y., Yang C.H., Huang K.M., Li M.J., Tung C.J., "Analyses of patient dose and image quality for chest digital radiography", Radiation Measurements, 45, pp. 722-725, 2010.
- [2] Mohamed Anwar K. A., "Patient dose levels for seven different radiographic examination types", Saudi Journal of Biological Sciences, 17, pp. 115-118, 2010.
- [3] Spiegel P.K., "The first clinical X-ray made in America—100 years", American Journal of Roentgenology (Leesburg, VA: American Roentgen Ray Society), 164 (1), pp. 241-243, 1995.
- [4] Roobottom C.A., Mitchell G., Morgan-Hughes G., "Radiation-reduction strategies in cardiac computed tomographic angiography", Clin Radiol, 65 (11), pp. 859-67, 2010.
- [5] Neto A.T.B., Oliveira B.B., Faria L.O., "kVp estimate intercomparison between Unfors XI, Radcal 4075 and a new CDTN multipurpose instrument", Applied Radiation and Isotopes, 100, pp. 60-64, 2015.
- [6] http://www.mediciscientific.co.uk/files/xi_platinum_plus_short_version_leaflet.pdf [Received Date: July 14, 2016].
- [7] Food And Agriculture Organization Of The United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organisation, Oecd Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, World Health Organization, "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources", Safety Series No. 115, IAEA, Vienna, 1996.
- [8] Uffmann M., Schaefer-Prokop C., "Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose", European Journal of Radiology, 72, pp. 202-208, 2009.
- [9] Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete, Tarih/Sayı 24.03.2000/23999, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- [10] Meghzi A., Vano E., Heron J.L., Cheung K.Y., "Roles and responsibilities of medical physicists in radiation protection", European Journal of Radiology, 76, pp. 24-27, 2010.
- [11] Mana S., "Radiation leakage tests in the Radiology Department of Istanbul Faculty of Medicine in Istanbul University", 15th National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), doi: 10.1109/BIYOMUT.2010.5479851, 2010.