

Optimizasyonun Temelleri

Principles of Optimization

Mustafa Fazıl Gelal

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

ÖZ

Optimizasyon, iyonlaştırıcı radyasyon içeren bir işlemde hastanın radyasyon maruziyetini, tanı ya da tedavi hedefine ulaşmaya yetecek minimal düzeyde tutmayı amaçlar. Bunun için görüntüleme cihazı, teknik parametreler, çekim protokolleri optimize edilmeli; görüntü kalitesi ve doz ölçümleri yapılarak referans değerler ile karşılaştırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, iyonizan radyasyon, görüntü kalitesi, hasta dozu

ABSTRACT

Optimization aims to keep patient exposure to the minimum necessary to achieve required diagnostic or therapeutic objective in imaging using ionising radiation. The equipment, technical parameters and imaging protocols should be optimized; image quality and patient dose should be measured and compared with reference values.

Keywords: Optimization, ionising radiation, image quality, patient dose

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Radyasyondan korunmanın temel ilkelerini öğrenmek
- Optimizasyonun anlamını, temel yöntemlerini öğrenmek; toplum sağlığı için önemini kavramak
- Radyasyon dozu ile görüntü kalitesi arasındaki dengenin önemini anlamak

GİRİŞ

İyonlaştırıcı radyasyon maruziyeti biyolojik etkilere yol açabilir. Katarakt, deri yanıkları, doku hasarı ve organ disfonksiyonu gibi deterministik etkiler, belli bir eşik değerin üzerinde ortaya çıkar ve doz arttıkça hasarın şiddeti artar. Kanser, lösemi ve kalıtsal hastalıklar gibi stokastik etkilerin oluşması için eşik değeri yoktur; ancak 100 mSv üzerindeki dozlarda lineer olarak artan risk var iken daha düşük dozlarda risk çok düşüktür [1].

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu, deterministik etkileri önleme ve stokastik etki olasılığını azaltma amacıyla tıbbi görüntülemede kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon dozlarının eşik değerin altında tutulması için gereken önlemlerin alınmasını önermiş ve bunun için üç ilke belirlemiştir: Gerekçelendirme, optimizasyon ve doz sınırlaması [2]. Gerekçelendirme ilkesine

göre iyonlaştırıcı radyasyon içeren işlem yalnızca, getireceği yarar, zarar riskinden fazla olduğu durumlarda yapılmalıdır.

Doz sınırlaması ise hastaların tıbbi işinlamaları dışında kalan mesleksel ya da toplumsal radyasyon maruziyetini tarif eder. Bu bölümde radyasyondan korunmanın üç ana ilkesinden biri olan optimizasyonun temelleri anlatılacaktır.

Optimizasyon İlkesi

Bu ilkeye göre iyonlaştırıcı radyasyon içeren bir işlemde hastanın radyasyon maruziyeti, tanı ya da tedavi hedefine ulaşmaya yetecek minimal düzeyde olmalıdır. Bunun için görüntüleme parametreleri ve kurumsal korunma önlemleri gerekli şekilde düzenlenmelidir. Görüntüleme, makul olarak



Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Mustafa Fazıl Gelal, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

E-posta: fgelal@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-1263-0918

Geliş Tarihi/Received: 23.11.2024 **Kabul Tarihi/Accepted:** 03.02.2025 **Epub:** 06.03.2025

Cite this article as: Gelal MF. Principles of optimization. *Trd Sem.* [Epub Ahead of Print]



Copyright© 2025 Yazar. Türk Radyoloji Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır.
Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makaledir.

elde edilebilecek en düşük düzey (ALARA) prensibine göre yapılmalı; doz azaltmanın yanı sıra görüntü kalitesinin korunmasına da önem verilmelidir [3].

Optimizasyonun Bileşenleri

Optimizasyonun dört temel bileşeni vardır [4]:

1) Görüntüleme cihazı: Cihaz iyi durumda olmalı, ilgili inceleme için doğru düzeyde ışınlama yapabilmelidir. Ulusal ve uluslararası kuruluşların standartlarına uygun olmalı, kurulumu sırasında kabul testleri yapılmalı, daha sonra belirli aralarla kalite kontrol testleri uygulanmalıdır. Cihazın; teknik özelliklerinin uygunluğu yanı sıra ilgili personel tarafından doğru şekilde kullanılması önemlidir.

2) Cihazın yeterliliği: Cihaz üzerinde spesifik incelemeler için hazır protokoller bulunmalı, çekim parametrelerinin uygun aralıklarda ayarlanmasına izin verebilmeli, doz azaltma yöntemleri uygulanabilmelidir. Cihazın performansı kalite kontrol programları ile izlenmeli, çekim protokolleri sürekli olarak iyileştirilmelidir.

3) İncelemenin teknik parametreleri: Işınlama parametreleri (mAs, kV), kolimasyon, filtrasyon ve grid kullanımı gibi özellikler doğru şekilde kullanılmalıdır. Bilgisayarlı tomografide (BT) mAs, kV, pitch değerleri fantom çalışmalarıyla optimize edilerek daha düşük doz ile yeterli görüntü kalitesi elde edilebilir [5].

4) Tanısal referans düzeyleri [diagnostic reference levels (DRL)]: Tıbbi ışınlamada DRL göz önünde bulundurularak teknik parametreler optimize edilmelidir. Bir çalışmada, BT protokolleri ve radyasyon dozlarının, ülkeler ve kurumlar arasındaki belirgin farklılığının nedenleri araştırılmış; bunun, hasta, kurum ya da cihaz özelliklerinden çok seçilen teknik parametrelere bağlı olduğu bulunmuştur [6]. Bu çalışma, uygun bir referans düzeyine göre doz optimizasyonu yapılmasının önemini göstermektedir.

Optimizasyon Ekibi

Optimizasyon için ekip olarak çalışan radyolog, radyoloji teknikeri ve medikal fizikçi gerekir. Radyolog ve tekniker, tanısal amaç için görüntü kalitesinin yeterli olup olmadığına karar verir. Radyoloji teknikeri; cihazın çalışma prensiplerini ve sınırlılıklarını, görüntü oluşumunun temel fizik kurallarını bilmelidir. Medikal fizikçi; görüntü oluşumunun fizik temellerinin ayrıntılarını bilmeli, doz ve görüntü kalitesi ile ilgili ölçümleri yapabilmeli ve yorumlayabilmelidir. Optimizasyon ekibi, birbirlerinin bilgi ve becerilerine saygı duymalı ve profesyonellik çerçevesinde dayanışma içerisinde çalışmalıdır. Ancak birçok ülkede radyasyon çalışanlarının bilgi ve beceri düzeyi optimizasyon için yeterli düzeyde değildir. Cihazların teknolojik düzeyi arttıkça optimizasyon

ekibini oluşturan profesyonellerin birbirleriyle dayanışma ve yardımlaşması daha büyük önem taşır [7]. Ülkemizde birçok kurumda medikal fizikçi bulunmaması, radyolog ve radyasyon teknikerlerinin optimizasyon süreci ile ilgili yeterli bilgi ve beceri sahibi olmaması radyasyondan korunma hedefinin önünde büyük bir engel oluşturmaktadır.

Optimizasyon ekibini oluşturan radyolog, radyoloji teknikeri ve medikal fizikçiden her birisi görüntüleme performansını artırmak için almış oldukları eğitim doğrultusunda bilgi ve becerilerini kullanırlar. Bazı görüntüleme tekniklerinde bilgi ve becerinin önemi daha büyüktür. Örneğin, dijital radyografide geniş dinamik aralık nedeniyle daha geniş ekspozur değerlerinde görüntü oluşturulabilir. Ekrandaki görüntünün parlaklık ve kontrastı ise pencere genişliği ve düzeyi ile ayarlanır. Tekniker, belli sınırlar içerisinde hangi ekspozur değerlerini seçerse seçsin görüntü kontrastı aynı olur; dolayısıyla filme bakarak verilen dozun uygunluğu anlaşılamaz. Yeterince eğitilmiş olmayan teknikerler, daha düşük ekspozur değerleri ile aynı sonucu elde edebilecekken yüksek ekspozur değerlerini kullanarak hastaların fazla doz almasına neden olur. Buna “doz aşımı” denir [8]. Ülkemizde doz aşımı konusunda yeterli farkındalık yoktur. Tüm görüntüleme ekibinin cihazın çalışma prensipleri konusunda yeterli bilgi ve beceri kazanması sağlanmalı, bilgileri düzenli aralarla güncellenmelidir.

Optimizasyon Süreci

Bir kurumda başarılı bir optimizasyon için yeterli kalitede görüntüleme cihazları ve cihaz ve görüntüleme teknolojileri konusunda uygun eğitimi almış yeterli sayıda personel gerekir. Optimizasyon süreci klinik gereksinimlere uygun cihazın belirlenmesi ile başlar; cihazın satın alınması, kurulumu ve kabulü ile devam eder. Cihazın bakımı ve kalite kontrolü de programlanmalıdır. Günlük kullanım süresince optimizasyon sürer. Optimizasyon işlemlerinin sürekli olarak gerçekleştirilmesi için idari gözetim mekanizması kurulmalıdır. Görüntü kalitesi ve hasta doz ölçümlerinin düzenli olarak yapılması, bu verinin kullanılarak inceleme protokollerinin düzenlenmesi ve kaydedilen ilerlemelerin belgelenmesi sürekli olarak denetlenmelidir [7].

Görüntü Kalitesinin Değerlendirilmesi

Optimizasyon sürecinde büyük önem taşır. Bu değerlendirmeyi deneyimli bir radyolog, radyoloji teknikeri ya da fantomlar üzerinden medikal fizikçi yapabilir. Gelecekte yapay zeka algoritmaları görüntü kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Görüntü kalite ölçümleri ve hasta doz ölçümleri birlikte değerlendirilerek görüntüleme protokolleri iyileştirilir.

Dijital radyografi, floroskopi ve BT gibi dijital radyoloji yöntemlerinde çekim, çekim sonrası görüntü işleme ve

gösterim aşamalarındaki teknik özelliklerin bilinmesi ve buna uygun şekilde optimizasyon yapılması önem kazanır. **Minimal radyasyon dozu hedeflenirken görüntü kalitesinin gereğinden düşük olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü düşük kalitedeki görüntü nedeniyle doğru tanı koyulamaması sonucu hastaların uğrayacağı zarar, biraz daha yüksek radyasyon dozunun neden olabileceği ek riskten daha büyüktür.** Ancak tekrarlanan çekimler sonucunda maruz kalınan kümülatif doz, daha sonra ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarına yol açabilir. **Dolayısıyla radyasyon dozu ve kalite arasında uygun dengenin kurulması radyologların önemli bir görevidir [7].**

İnsan gözlemcilerle dayanan görüntü kalitesi değerlendirilmesinde iki ana yaklaşım kullanılır: 1) Patolojinin saptanma doğruluğunu değerlendiren alıcı çalışma karakteristiği (ROC) analizi, 2) anatomik yapıların ayırt edilebilirliğini değerlendiren görsel derecelendirme analizi [visual grading analysis (VGA)] [9]. ROC analizinde gözlemcilerin patolojiyi saptama duyarlılık ve özgüllükleri ROC eğrisi ile belirlenir. Ancak bu yöntem ile değerlendirme zaman alıcıdır ve patoloji ile ilişkili gerçek doğrunun bilinmesini gerektirir. Görüntü kalitesini değerlendirmenin alternatif yolu olan VGA ise basit ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir.

Patolojik lezyonları saptama duyarlılığının, anatomiye ayırt edebilme duyarlılığı ile korele olması varsayımına dayanır. Önceden belirlenen anatomik yapılar; “ayırt edilemez” ile “çok iyi sınırlanır” arasında değişen ölçeğe göre 1-3 ya da 1-5 olarak derecelendirilir. Değerlendirmede, radyografik görüntü kalitesi (RGK) kriterleri göz önünde bulundurulur; bunlar, uzaysal çözünürlük, kontrast çözünürlüğü ve gürültüye dayanır. **Tablo 1’de RGK ile ilişkili VGA görüntü kalite kriterlerine bir örnek görülmektedir.**

Görüntü kalitesinin optimizasyonu, mümkün olan en düşük doz kullanılarak var olan klinik soru yanıtlandığında başarılmış olur. Yani kalite, doğrudan klinik soru ile ilişkilidir; buna görev tabanlı radyoloji denir. Dolayısıyla görüntü kalitesinin yukarıda tanımlanan uygun yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi optimizasyon sürecinin en önemli parçasını oluşturur.

Yakın zaman önce Kalra ve Rehani [10], görüntü kalitesi ve doz ölçümlerini birlikte değerlendirmeyi amaçlayan 5 yıldızlı derecelendirme sistemi önermiştir (**Tablo 2**). Bu sistemde 5 yıldız; klinik endikasyon temelli, tanı koymaya ancak yetecek görüntü kalitesi ve düşük dozlu incelemelere verilmiştir. Klinik endikasyona göre gereğinden yüksek görüntü kalitesi oluşturan, ancak daha yüksek doz içeren incelemeler ise 2 yıldız almıştır. Bu derecelendirme sistemi hastane bilgi sistemlerine entegre edilebilir; kullanıcılar yalnızca birkaç saniye içinde incelemeyi kalite ve doz açısından değerlendirebilir. Optimizasyon konusunda farkındalık oluşturmaya amaçlayan bu sistem endikasyon spesifik olarak yeterli kalitede ve az dozla inceleme yapılmasını teşvik edecektir [10].

Tablo 1. VGA görüntü kalite kriterleri örneği [9]

Görüntü kriteri	Teknik görüntü kalitesi ile ilişkisi
Aort duvarının keskin demarkasyonu	Büyük yapıların kenarlarının keskinliği
Koroner arter konturunun keskinliği	Küçük yapıların kenarlarının keskinliği
Mitral kapak konturunun keskinliği	Yüksek kontrastlı uzaysal çözünürlük
Sağ/sol ventrikülde homojenite	Gürültü
Miyokard septumunun görülebilirliği	Düşük kontrast çözünürlük
VGA, görsel derecelendirme analizi.	

Tablo 2. Klinik endikasyona göre görüntü kalitesi ve doz maruziyetini birlikte değerlendiren 5 yıldızlı derecelendirme sistemi

Yıldız	Tanı kalitesi/Doz ilişkisi	Açıklama	Radyasyon dozu (CTDI _{vol} , DLP)	Örnek
*****	Yüksek gürültü ve düşük doza rağmen kabul edilebilir	Spesifik endikasyonlar için, biraz gürültülü ancak düşük doz BT	DRL sınırlarının altında	Düşük doz böbrek taşı protokolu
****	Tüm inceleme bölgesi için kabul edilebilir	Rutin incelemeler için yeterli	DRL sınırlarında	Rutin abdomen
***	Bazı alanlarda artmış gürültü/ artefaktlara rağmen kabul edilebilir	Bazı bölgelerde yetersiz görüntüleme, ancak tekrara gerek yok	DRL sınırlarında	Bazı bölgelerde artefakt
**	Mükemmel görüntü kalitesi, gürültü düşük, artefakt yok	Belli bir endikasyon için gereğinden yüksek kalite, yüksek doz	DRL sınırlarının üstünde	Rutin toraks protokolüyle akciğer nodülü izlemi
*	Aşırı artefakt; tanısal değil	Tekrar gerektirir	Aşırı doz	Yüksek gürültü ve artefakt içeren görüntü

BT, bilgisayarlı tomografi; CTDI_{vol}, BT doz indeksi; DLP, doz uzunluk çarpımı; DRL, tanısal referans düzeyleri.

Doz Azaltma

Dijital görüntüleme, konvansiyonel radyografiye göre daha düşük dozlarda çekim yapılabilmesine olanak tanır. Yeni gelişen tekniklerle görüntü kalitesi korunurken daha düşük dozlarla çekim yapılabilir. Örneğin, otomatik ekspozur kontrol sistemleri radyasyon seviyesini işleme ve hastaya göre ayarlayarak iyi bir görüntü kalitesi sağlarken hasta dozunu düşürür [11]. Ancak görüntüleme sistemine eklenen bu ve benzeri gereçlerin çalışma prensipleri teknikerler tarafından yeterince bilinmiyorsa hastaların aldıkları dozlar yeterince azalmayabilir. Cihazların karmaşık yapıda olması, onları kullanan personelin daha iyi bir eğitim almasını gerektirir.

Doz Ölçümleri ve Tanısal Referans Düzeyleri

Optimizasyon ilkesine göre görüntü kalitesi yeterli tanısal bilgi sağlayacak düzeyde tutulurken hasta dozunun en az olması amaçlanır. Bunu sağlayabilmek için hasta gruplarından düzenli olarak doz ölçümleri yapılmalı; elde edilen değerler DRL ile karşılaştırılmalıdır. **Günümüzde optimizasyon kavramı, klasik optimizasyon yaklaşımının (ALARA) ötesinde, klinik endikasyonu gözeterek hastaya ve yapılacak işleme spesifik olacak şekilde genişlemiştir.** Endikasyona ve hastaya özgü optimizasyon birçok radyoloji bölümünde rutin olarak uygulanmaktadır. Bu yaklaşım, optimizasyonu gerekçelendirme kavramı ile ilişkilendirilerek radyasyondan korunma sürecine katkıda bulunur [7].

Optimizasyon Başarılabilir mi?

Bir kurumda dijital radyolojideki optimizasyonun ne derece başarılabilirdiği personel, altyapı ve bilgi ve deneyim birikimine bağlıdır. Buna göre bazı kurumlarda yalnızca temel düzeyde optimizasyon yapılabilirken bazılarında orta ya da ileri düzey optimizasyon uygulanabilir. Optimizasyon düzeyi arttıkça endikasyon ve hastaya özgü optimizasyon yapma becerisi de artar. **Optimizasyon yöntemlerini geliştirip uygulayabilmek için öncelikle bunun önemine inanmak ve süreci benimsemek gerekir. Cihazı kullanacak personelin eğitime önem verilmeli, bu kişilere mesleki gelişim fırsatları sunulmalıdır [7].**

Daha Geniş Bakış Açısıyla Optimizasyon

Optimizasyon denilince genellikle dozun, görüntü kalitesinin, iş istasyonunun optimizasyonu gibi görüntüleme zincirindeki teknolojik unsurların ölçülebilir fizik özelliklerinin iyileştirilmesi akla gelir. Ancak görüntülemenin ölçmesi ve optimize etmesi daha zor ve karmaşık unsurları da vardır. Bunlar arasında çekimleri yapan teknikerlerin eğitimi, becerisi ve deneyimi; görüntü kalitesini etkileyen hastaların ve anatominin değişkenliği; çekimin ne zaman ve nasıl yapılacağına dair alınan kararlar; sağlık hizmetinin ekonomisi sayılabilir [12].

Optimizasyonun amacı, hastalara en iyi teknolojileri kullanarak en etkili ve verimli sağlık hizmetini sunmaktır. Radyasyon teknikeri ve radyolog gibi sağlık personeli, görüntüleme zincirindeki halkalar olarak kabul edilmelidir. Çünkü derin öğrenme ve yapay zeka algoritmaları potansiyel olarak katkı sağlayabilse de görüntü eldesi ve yorumlanması bugün sağlık personelinin kontrolündedir. Bu personelin fiziksel, mental ve duygusal iyiliğini sağlamaya yönelik önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde hem sağlık personeline tükenmişlik ve mutsuzluk ortaya çıkacak, hem de hasta bakımı bu durumdan olumsuz etkilenecektir. Yorgunluğun radyologların yorumlama performansı üzerindeki etkisini araştırılmıştır [13, 14]. Sekiz saatlik çalışma sonrasında radyologların özellikle yakın mesafeye daha az odaklanabildikleri, tanısal doğruluklarının %4'e varan oranlarda gerilediği ve rapor kalitelerinin azaldığı bulunmuştur.

Ülkemizde radyologlar, iş yüklerinin fazlalığına bağlı olarak muhtemelen bu durumdan daha fazla etkilenmektedir. **Görüntüleme zincirindeki bileşenler ne kadar iyi optimize edilirse edilsin bu zincirin insan unsurlarının yorgunluğu durumunda hatalar kaçınılmazdır. Radyolog ve teknikerlerin performansını azaltan ve tükenmişliğe yol açan nedenler arasında yorgunluk dışında çalışma ortamlarındaki olumsuzluklar vardır.** Çalışma mekanının sağlıklı ve ergonomik olması performansı etkiler. Rapor odalarında dışarıya açılan pencereler olmalı, oda düzenli olarak havalandırılmalıdır. Ergonomik olmayan masa ve sandalyelerin kullanılması uzun vadede kronik kas iskelet sistemi sorunlarına yol açar. Monitör ve masaların yüksekliği ayarlanabilmelidir. Belirli aralarla masadan kalkıp yürümek ve esneme egzersizleri yapmak yararlı olacaktır. Fiziki ortamın olumsuzlukları dışında radyolog ve teknikerlerin fazla çalışmaya zorlanması ve stresli ortam da hizmet kalitesini negatif yönde etkiler. En iyi sağlık hizmeti sunabilmek için optimizasyon bir bütün olarak ele alınmalıdır; teknolojiler ve cihazlar yanında iş akışları ve çalışma ortamı birlikte optimize edilmelidir [12].

Ülkemizde Optimizasyon

Radyasyon güvenliği yönetmeliği değişik: RG-3/6/2010-27600 Madde 7b bendinde optimizasyon; “Radyasyona maruz kalmaya sebep olan uygulamalarda, olası tüm ışınlanmalar için bireysel dozların büyüklüğü, ışınlanacak kişilerin sayısı, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanır.” şeklinde tanımlanmıştır. Madde 27-(değişik: RG-3/6/2010-27600)’de ise: “Tıbbi ışınlamaların yapıldığı tesislerde kaynak ve radyasyon dozunu etkileyen donanımlara ilişkin kalite kontrol ve uygulamaya özgü kalite temini programları oluşturulur ve yürütülür” ibaresi vardır [15].

Radyasyondan korunmaya ilişkin bilgi ve beceri düzeyi hasta ve çalışanların radyasyondan korunması açısından tıbbi

görüntüleme alanında en öncelikli konudur. Bir çalışmada, Türkiye'deki üniversitelerde radyasyon güvenliği ve korunması eğitim müfredatı ve ders içerikleri, Avrupa Birliği rehberinde belirtilen kriterlere göre karşılaştırılmış; Türkiye'deki radyasyon güvenliği ve korunması eğitiminin, Avrupa Birliği standartlarından daha düşük seviyede olduğu bulunmuştur [16]. Ülkemizde radyasyondan korunmanın optimizasyonu konusunda gerekli yasal düzenlemeler olmakla birlikte uygulama aşamasında eksiklikler yaşanmaktadır. Bunun nedenleri arasında optimizasyon ekibini oluşturan radyasyon çalışanlarının eğitimindeki yetersizlikler, yeterli sayıda ve eğitimde medikal fizikçinin bulunmaması, optimizasyon bilincinin yeterince oluşmaması, radyolojik incelemelerde görüntü kalitesi ve en az doz verme kaygıları yerine inceleme sayısının öncelenmesi, hasta sayısının fazlalığı ve malpraktis baskısıyla gerekli olmayan radyolojik incelemelerin yapılması, radyasyon çalışanlarının iş yükü fazlalığı, çalışma ortamlarındaki olumsuzluklar sayılabilir.

SONUÇ

Optimizasyon, radyasyondan korunmanın üç ana ilkesinden biridir. Bu ilkeye göre iyonlaştırıcı radyasyon içeren bir işlemde hastanın radyasyon maruziyeti, tanı ya da tedavi hedefine ulaşmaya yetecek minimal düzeyde olmalıdır. Bu amaca ulaşmak için görüntüleme cihazı, teknik parametreler, çekim protokolleri optimize edilmeli; görüntü kalitesi ve doz ölçümleri yapılarak referans değerler ile karşılaştırılmalıdır. Radyolog, radyasyon teknikeri ve medikal fizikçiden oluşan optimizasyon ekibi birbirleriyle uyum içerisinde çalışmalıdır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması

Yazar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

KAYNAKLAR

1. Bushong S. Radiologic science for technologists. 12th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2022. [CrossRef]

2. International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP*. 2007; 37: 1-332. [CrossRef]
3. Seeram E. Dose optimization in digital radiography and computed tomography: an essential guide. First ed. Cham: Springer Nature Switzerland; 2023. [CrossRef]
4. ICRP; Khong PL, Ringertz H, Donoghue V, Frush D, Rehani M, Appelgate K, Sanchez R. ICRP Publication 121: Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. *Ann ICRP*. 2013; 42: 1-63. [CrossRef]
5. Zarb F, Rainford L, McEntee MF. Developing optimized CT scan protocols: phantom measurements of image quality. *Radiography*. 2011; 17: 109-14. [CrossRef]
6. Smith-Bindman R, Wang Y, Chu P, Chung R, Einstein AJ, Balcombe J, et al. International variation in radiation dose for computed tomography examinations: prospective cohort study. *BMJ*. 2019; 364: 4931. [CrossRef]
7. ICRP. ICRP Publication 154: Optimisation of radiological protection in digital radiology techniques for medical imaging. *Ann ICRP*. 2023; 52: 11-145. [CrossRef]
8. Ataç GK, Dönmez MH. Dijital radyografi sistemleri. In: Gelal F, ed. Radyoloji fiziği. Ankara: Dünya Tıp Kitabevi; 2023; 47-56. [CrossRef]
9. Precht H, Hansson J, Outzen C, Hogg P, Tingberg A. Radiographers' perspectives' on visual grading analysis as a scientific method to evaluate image quality. *Radiography*. 2019; 25: 14-8. [CrossRef]
10. Kalra MK, Rehani MM. Five-star rating system for acceptable quality and dose in CT. *Eur Radiol*. 2021; 31: 9161-3. [CrossRef]
11. Mulkens TH, Bellinck P, Baeyaert M, Ghysen D, Van Dijk X, Mussen E, et al. Use of an automatic exposure control mechanism for dose optimization in multi-detector row CT examinations: clinical evaluation. *Radiology*. 2005; 237: 213-23. [CrossRef]
12. Krupinski EA. Optimisation in daily practice-it's more than just radiation dose. *J Med Radiat Sci*. 2020; 67: 2-4. [CrossRef]
13. Waite S, Kolla S, Jeudy J, Legasto A, Macknik SL, Martinez-Conde S, et al. Tired in the reading room: the influence of fatigue in radiology. *J Am Coll Radiol*. 2017; 14: 191-7. [CrossRef]
14. Stec N, Arje D, Moody AR, Krupinski EA, Tyrrell PN. A systematic review of fatigue in radiology: is it real? *Am J Roentgen*. 2018; 210: 799-806. [CrossRef]
15. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 24.03.2000; Resmî Gazete Sayısı: 23999. [CrossRef]
16. Palacı H, Günay O, Yazar O. Evaluation of radiation safety and protection training in Turkey. *European Journal of Science and Technology*. 2018; 14: 249-54. [CrossRef]

1. Radyasyonun biyolojik etkileri ile ilgili hangisi doğrudur?

- a. Deterministik etkiler doza bağlı değildir
- b. Kalıtsal hastalıklar deterministik etkilere bir örnektir
- c. Stokastik etkilerin oluşması için eşik değer yoktur
- d. 50 mSv doza maruz kalmış bir kişi ile 150 mSv doza maruz kalmış kişi arasında stokastik etki riski aynıdır
- e. Lösemi gelişimi deterministik etkilere bir örnektir

2. Radyasyondan korunmanın ana ilkeleri ile ilgili hangisi yanlıştır?

- a. Gerekçelendirme, iyonizan radyasyon içeren incelemenin yarar-zarar oranını gözeterek yapılması anlamına gelir
- b. Doz sınırlaması, hastaların ışınlamalarında en az dozun kullanılmasını ifade eder
- c. Optimizasyon, ALARA prensibine göre incelemeyi önerir
- d. Optimizasyonda görüntü kalitesine de dikkat edilmelidir
- e. Tanısal referans düzeyleri optimizasyon sürecinde kullanılır

3. Hangisi optimizasyon sürecinden sorumlu değildir?

- a. Randevu sekreteri
- b. Kurum radyasyon güvenlik sorumlusu
- c. Radyolog
- d. Radyasyon teknikeri
- e. Medikal fizikçi

4. Hangisi optimizasyon süreci ile ilişkili değildir?

- a. Cihazın teknik parametreleri
- b. Doz referans seviyeleri
- c. Görüntü kalitesi
- d. Radyoloğun iş yükü
- e. Teknikerin maruz kaldığı doz

5. Optimizasyonla ilgili hangisi yanlıştır?

- a. Radyoloğun iş yükü optimizasyon süreci ile ilişkilidir
- b. Radyasyon çalışanlarının iyilik halini artırmak optimizasyon ile ilişkilidir
- c. Tanısal referans değerleri süreç ile ilgisizdir
- d. Ergonomik çalışma ortamı optimizasyonu artırır
- e. Çalışanların yorgunluğu optimizasyonu olumsuz etkiler