

Pediyatrik ve Gebe Hastada Radyasyondan Korunma

Radiation Protection in Children and Pregnant Women

✉ Derya Bako, ✉ Meltem Ceyhan Bilgici

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Pediyatrik Radyoloji Bilim Dalı, Samsun, Türkiye

ÖZ

Görüntüleme teknolojisindeki yenilikler ve uygulamalar her ne kadar görüntüleme işlemleri kaynaklı radyasyon dozunu azaltsa da sıfırlamaktan çok uzaktır. Radyasyona en duyarlı gruplar olan çocuklar ve gebelerin gereksiz radyasyon maruziyetinden korunması sadece teknik sıkıntıları azaltmaya yönelik bir strateji değil, aynı zamanda ahlaki bir yükümlülük ve yasal bir gereklilik olarak benimsenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Çocuklar, gebelik, radyasyon, korunma

ABSTRACT

Although innovations and applications in imaging technology have reduced radiation doses from imaging procedures, they are still far from eliminating them entirely. Protecting sensitive groups such as children and pregnant women from unnecessary radiation exposure should be viewed not only as a strategy to reduce technical issues but also as an ethical obligation and legal requirement.

Keywords: Children, pregnancy, radiation, protection

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Tanısal görüntüleme işlemlerinde gerekçeleştirme ve optimizasyon kavramlarını tanımlamak.
- Çocuklarda görüntüleme yöntemlerinin optimizasyonunda “as low as reasonably achievable” prensipleri hakkında bilgi sahibi olmak.
- Gebelikte radyasyon maruziyeti, deterministik ve stokastik etkiler konularında bilgi vermek.

GİRİŞ

Görüntüleme teknolojilerindeki ilerlemeler, hastalıkların erken dönemde etkin bir biçimde tanısına imkan sunarken bu yöntemlerin kullanımında da orantısız bir artışa neden olmuş; görüntüleme yöntemleri kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyon, günümüzdeki en önemli yapay radyasyon kaynağı haline gelmiştir. Bilgisayarlı tomografi (BT) incelemeleri Avrupa'daki tüm radyolojik incelemelerin %7-11'ini oluşturmalarına rağmen, kümülatif radyasyon maruziyetinin de %60-70'inden sorumludur [1]. Radyasyonun (makalenin tamamında iyonlaştırıcı radyasyon anlamında kullanılmıştır) tanı sürecine sunduğu katkı kadar; bu süreçte yarar zarar dengesinin gözetilmesi de o derece önemlidir. **Zira radyasyon önemli bir mutajendir ve olası mutasyonu engellemeye yönelik olarak gereksiz radyasyon maruziyeti de engellenmelidir.**

DNA tamir süreçlerine rağmen onarılamayan mutasyona uğramış hücrelerin yıllar ya da on yıllar sürebilecek bir pencere döneminden sonra malignleşebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Beklenen yaşam süresi erişkinlere göre daha fazla olduğundan çocuklar ve fetüs; radyasyonun biyolojik etkilerine en hassas hasta gruplarıdır.

Radyasyonun biyolojik etkileri deterministik ve stokastik olarak tanımlanmıştır.

Deterministik Etkiler: Yalnızca nispeten büyük dozlar uygulandığında ve birden fazla hücre grubu etkilendiğinde gözlemlenirken hücre hasarının bir sonucudur ve belirli bir eşik seviyesinin altındaki dozlarda meydana gelmez. Deterministik etkilerin şiddeti, radyasyon dozu ile doğru orantılıdır. Ciltte hiperemi, epilasyon ve daha yüksek dozlarda bül ve nekrozlar bu etkinin örnekleridir.



Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Meltem Ceyhan Bilgici, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Pediyatrik Radyoloji Bilim Dalı, Samsun

E-posta: drmccehan@hotmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-0133-0234

Geliş Tarihi/Received: 14.01.2025 **Kabul Tarihi/Accepted:** 06.02.2025 **Epub:** 18.03.2025

Cite this article as: Bako D, Ceyhan Bilgici M. Radiation protection in children and pregnant women. *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.

Stokastik Etkiler: Tek bir hücrede meydana gelen değişikliklerden kaynaklanır ve karsinogenez potansiyeli taşır. Deterministik etkilerin aksine, stokastik etkilerin şiddeti dozun şiddeti ile orantılı olmayabilir ancak doz arttıkça ortaya çıkma olasılığı artar.

ÇOCUKLARDA RADYASYONDAN KORUNMA

Çocuklarda radyasyonun en korkulan etkisi stokastik etkilerdir. Radyasyon ile ilişkili karsinogenez ihtimali göz önüne alındığında; radyasyondan korunma ve radyasyon maruziyetini engellemeye yönelik olarak lineer “no-threshold” modeli temel alınmaktadır. Bu model, düşük doz radyasyonun bile karsinogenez ihtimalini ortaya çıkarabileceği ve güvenli bir eşik seviyesinin olmadığını varsayar. Ancak bu varsayımlar ağırlıklı olarak atom bombası sonrası elde edilen sonuçlara dayanmaktadır [2]. Oysa ki tanısal radyolojide kullanılan dozlar genelde bu varsayımların dayandığı çalışmalara kıyasla çok daha düşüktür (100-150 mSv altı), düşük dozlarda kanser gelişimi kesin olarak kanıtlanmamış olsa da radyasyon güvenliği göz önüne alındığında özellikle gebeler ve çocuklarda “no-threshold” modelinin temel alınmaya devam edilmesi önerilir [3].

Yaklaşık 20 yıl önce, Brenner ve ark. [4] çocuklarda BT incelemeleri ile ilişkili kanser riskleri konusunda endişe verici sonuçlar yayınlaması üzerine konu ile ilişkili birçok kohort ve olgu-kontrol çalışması hayata geçirilmiştir. Berrington de Gonzalez ve ark. [5] (2020 yılına kadar yapılmış çalışmaları dahil ederek yaptıkları meta analiz özetinde) çocuklar ve genç erişkinlerde baş-boyun BT incelemeleri kaynaklı düşük doz radyasyonun beyin tümörü riskini artırabileceğini ayrıca radyasyonun hematolojik malignite gelişimi açısından da risk faktörü olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla günümüze dek yapılan çalışmalardan temel çıkarım; radyasyon maruziyetinin mümkün olan en düşük düzeyde tutulmasının hedeflenmesi ve bu doğrultuda incelemeler için uygun gerekçelendirme ve optimizasyonun sağlanması olmuştur.

Gerekçelendirme: Radyolojide gerekçelendirme, radyasyondan korumanın ilk adımıdır. Gerekçelendirme, tanısal görüntüleme işlemlerini talep ederken gereksiz radyasyon maruziyeti ve sağlık hizmeti maliyetini de en aza indirmeyi amaçlayan temel ilkedir. Gerekçelendirme kavramı basit gibi görünse de klinik pratikte optimal düzeyde uygulaması maalesef ki o kadar kolay olmamaktadır. Zira yapılan çalışmalar, radyolojik görüntülemelerin %20 ila %50’sinin gerekçelendirmelerinin uygun olmadığını ve söz konusu oranların sağlık sistemi yanı sıra kullanılan görüntüleme modaliteleri ve görüntüleme sevk rehberlerinin mevcudiyeti ile ilişkili olduğunu öne sürmektedir [6, 7].

Gerekçelendirmenin yetersiz uygulanmasındaki en büyük engellerden biri çocuklar için tetkik istem rehberlerinin

yetersizliği ya da kullanıcı dostu olmamasıdır. Avrupa Radyoloji Derneği (ESR), çocuklar için kullanıcı dostu tıbbi görüntüleme istem rehberleri oluşturmuş (ESR iGuide) ve kullanıma sunmuştur. Ancak, tüm bu çabalara rağmen, çocuklarda görüntüleme istem rehberleri etkili bir şekilde benimsenmemiş ve klinik karar destek sistemlerinin elektronik talep yazılımına entegrasyonu henüz tamamlanmamıştır. Yapay zeka (AI) destekli bu sistemlerin ülkemizde de uygulanması ile gerekçelendirme konusundaki kısıtlamaların önüne geçebilecektir.

Optimizasyon: Radyasyondan korumanın ikinci temel ilkesidir ve görüntüleme teknikleri ve protokollerinin; tanısal görüntü kalitesini koruyarak radyasyon maruziyetini en aza indirmeye yönelik olarak ayarlanmasını ifade eder. Amaç, radyasyon maruziyetini en aza indirirken tanısal doğruluğu sağlamaktır. Pediatrik protokoller optimize edilirken makul olabildiğince düşük (*as low as reasonably achievable*) ilkesi yanı sıra çocuğun yaşı, beden büyüklüğü ve klinik durum gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İNCELEMELERİNİN OPTİMİZASYONU

Çocuklarda radyasyon maruziyetinin görüntü kalitesinden ödün vermeden azaltılması için gerekli temel teknik parametre ve faktörler aşağıda belirtilmiştir [8].

1. Kılavuz Görüntüler (scout) ve Tarama Uzunluğu

Tarama alanı ve kılavuz görüntüler sadece ilgi alanıyla sınırlı tutularak gereksiz bölgelerin ısıtılmasının önüne geçilmelidir.

2. Tüp Akımı

Tüp akımı, X-ışını tüpünden birim zamanda yayılan X-ışını fotonlarının sayısını ve dolayısıyla radyasyon dozunu doğrudan etkiler. Tüp akımının artırılması, görüntü gürültüsünü azaltır ancak bu durumda alınan doz artar. Genel olarak, çocuklara yönelik BT protokollerinde, çocuklar erişkinlere kıyasla daha küçük olduğundan daha düşük tüp akımı ile görüntüleme yapılabilir. Göğüs, karın ve pelvis bölgesinde yönelik BT incelemelerinde tüp akımı, çocuğun yaşına göre değil, çocuğun ağırlığına göre belirlenmelidir. Zira aynı yaştaki çocuklar arasında ağırlık bakımından ciddi farklılıklar olabilir.

3. Tüp Pik Kilovolt (kVp)

Pik kVp’yi artırmak, X-ışını fotonlarının enerjisini yükselterek daha kalın veya yoğun bölgelerin, daha iyi görüntülenmesini sağlar. kVp ile doz arasındaki üssel bir ilişki mevcuttur. kVp’yi %20 azaltmak, dozun yaklaşık olarak %35-40 oranında düşürülmesini sağlayabilir. Toraks ve batin incelemelerinde erişkindeki standart olarak 120 kV kullanılırken; çocuklarda kVp 100 ya da 80 kV’ya kadar düşürülebilir.

4. Pitch

Gantri dönüşü başına masa hareketinin toplam kolimasyonlu ışın genişliğine oranını Z yönünde temsil eder. Genel olarak pediatrik çalışmalarda, tarama süresini, hareket artefaktlarını ve doz maruziyetini en aza indirmek için yüksek bir pitch ve hızlı gantri dönüşü tercih edilir. Ancak, aşırı yüksek pitch ve hızlı gantri dönüşünün de görüntü artefaktlar ve çözünürlük kaybına yol açabileceği unutulmamalıdır.

5. Otomatik Işınlama Kontrolü

Otomatik ışınlama kontrolü (AEC), anatomik bölgenin kalınlığı ve yoğunluğundaki değişikliklere bağlı olarak tüp akımını modüle ederek tarama sırasında tutarlı bir görüntü kalitesi sağlar. AEC'in etkinliği, kılavuz taramasının doğru bir şekilde ayarlanması ile ilişkilidir.

6. Hasta Pozisyonlaması

Hasta, gantrinin izosentrik noktasında doğru şekilde hizalandığında X-ışınları eşit bir şekilde dağılır. Yanlış pozisyonlama, özellikle çocuklarda, görüntülerde distorsiyona neden olabilir.

7. Faz Sayısı

Yetişkinlerden farklı olarak, çocuklar özel gereksinimler haricinde tek fazda görüntülenmelidir. Birden fazla görüntüleme, karaciğer lezyonlarının karakterizasyonu gibi belirli durumlar için sınırlandırılabilir. Ancak bu olgularda da mümkün ise karaciğer spesifik kontrast madde ile yapılan manyetik rezonans görüntülemesi (MRG) tercih edilmelidir. Hem arteriyel hem de venöz yapıların görüntülenmesinin gerektiği konjenital kalp hastalıkları gibi durumlarda; çift fazda görüntü eldesi yerine çift fazlı (dual faz) kontrast uygulama yöntemleriyle gerekli klinik bilgiye ulaşılabileceği daima akılda tutulmalıdır.

8. Görüntü Rekonstrüksiyonu

2000'lerin başında filtreli geri projeksiyonun kısıtlamalarını aşmaya yönelik olarak geliştirilen iteratif rekonstrüksiyon (IR) algoritmaları; görüntüyü azaltma, artefakt baskılama, görüntü kalitesini ve kontrast çözünürlüğünü iyileştirme yetenekleri sayesinde doz maruziyetini azaltmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, en gelişmiş IR algoritmaları bile bazı durumlarda "plastik doku benzeri" görüntü oluşumuna neden olarak görüntü kalitesini ve tanısal yorumu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Günümüzde derin öğrenme ve AI tabanlı rekonstrüksiyon algoritmaları düşük dozlarda dahi optimal görüntü eldesini mümkün kılmakta ve pediatrik görüntülemenin geleceği için temel rekonstrüksiyon yöntemi olma yönünde ilerlemektedir [9].

Floroskopi ve Girişimsel Radyolojide Optimizasyon

Çocuklarda floroskopi süresi mümkün olduğunca sınırlı tutulmalı ve genellikle 3-8 görüntü/saniye arasında pulslu floroskopi kullanılmalıdır. Son görüntü tutma yöntemiyle elde edilen sabit görüntüler, bulguları gözden geçirmek için kullanılmalıdır. Floroskopi masası, deri giriş dozunu azaltmak için X-ışını tüpünden olabildiğince uzak konumlandırılmalıdır. X-ışını ışınının kolimasyonu, ilgilenilen alan ile sınırlanmalı, radyasyona duyarlı bölgeler (göğüs, gözler, tiroit bezi ve gonadlar) mümkünse X ışınından uzak tutulmalıdır. Büyütme minimumda tutulmalı, hasta dozu kaydedilmelidir. Girişimsel radyolojide özellikle uzun süreli işlemlerde dozun yüksek olabileceği ve deride deterministik etkilerin gözlemlenebileceği unutulmamalıdır [8].

Konvansiyonel Radyografide Optimizasyon

Çocuklarda radyografik projeksiyon sayısı mümkün olduğu kadar sınırlandırılmalıdır. Örneğin uzun kemiklerin radyografilerinde gereksiz yere karşı ekstremite görüntülenmesinden ve rutin karşılaştırmadan kaçınılmalıdır. Akciğer grafilerinde, çoğu olguda lateral projeksiyon gereksizdir. Takip grafileri mümkün ise tek projeksiyonda elde olunmalıdır [10]. Yedi yaş altındaki çocuklarda grid-saçılmayı önleyici ızgaralar kullanılmamalıdır, zira görüntü kalitesindeki küçük iyileşme, kullanılan grid özelliklerine, grid oranı ve faktörüne bağlı olarak 2-3 kat fazla hasta dozuna yol açabilir. Özellikle küçük çocuklarda, detektör/kasetin doğrudan hastanın altına koyulması ya da radyografi masasındaki gridin çıkarılması-çıkarılabilir olması bir çözüm getirebilir.

Tanısal Referans Seviyeleri

Tanısal referans seviyeleri (DRL), tanısal ve girişimsel radyolojik işlemlerde standart boyuttaki hastalar veya standart fantomlara yönelik olarak belirlenen doz seviyeleridir. DRL'ler, doz sınırlarını değil, radyoloji servislerinin ve kullanılan görüntüleme sistemlerinin hastaya uyguladığı radyasyon büyüklüklerinin belirlenmiş standartlarla karşılaştırmalarını sağlayan kıyaslama değerleridir ve tanısal etkinlikten ödün vermeden doz azaltımına olanak tanır. Pediatrik görüntülemede DRL'lerin uygulanması erişkine göre daha zordur. Zira çocukların boyut çeşitliliği DRL'ler için daha ayrıntılı bir yaklaşım gerektirmektedir. Örneğin, yenidoğanlar için bir akciğer görüntülemesinin dozu, ergen bir çocuktan oldukça farklıdır. Bu nedenle, pediatrik DRL'ler, farklı boyutlardaki hastalar için optimize edilmiştir. Birçok ülkenin pediatrik radyolojik görüntülemelere yönelik DRL standartları mevcuttur. Ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte pediatrik görüntülemeye yönelik DRL Avrupa Kılavuzları Radyasyon Koruma Serisi No. 185'te yayımlanmıştır [11]. Bir örneği **Tablo 1**'de sunulmuştur.

Tablo 1. BT referans değerleri [11].

İnceleme	Yaş ya da ağırlık	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy-cm)
Kranium	0-<3 ay	24	300
	3 ay-<1 yaşı	28	385
	1-<6 yaşı	40	505
	≥6 yaşı	50	650
Toraks	<5 kg	1,4	35
	5-<15 kg	1,8	50
	15-<30 kg	2,7	70
	30-<50 kg	3,7	115
	50-<80 kg	5,4	200
Abdomen	<5 kg		45
	5-<15 kg	3,5	120
	15-<30 kg	5,4	150
	30-<50 kg	7,3	210
	50-<80 kg	13	480

CTDI_{vol}: bilgisayarlı tomografi doz indeksi; DLP: doz-uzunluk çarpımı; BT: bilgisayarlı tomografi.

Çocuklarda Kurşun Kalkan Kullanımı

Kurşun kalkanlar geçtiğimiz 50 yıl boyunca radyosensitif organları gereksiz radyasyon maruziyetinden korumak için kullanılmış ise de günümüzde kullanılmaması önerilmektedir [12-14]. Zira birçok çalışmada doğru yerleştirilmeyen gonad koruyucuların radyasyonun azalmasına belirgin bir katkı sağlamazken anatomik detay ve patolojileri gizleyerek görüntü tekrarına ve tanıda gecikmeye neden olabileceği bildirilmiştir. Diğer taraftan radyasyon dozu ayarlanmasında hayati öneme sahip AEC, koruyucu kalkan kullanılan bireylerde paradoksal olarak radyasyon dozunu artırabileceği de ortaya çıkmıştır. Kurşun kalkanların kullanımının sorgulanmasına neden olan diğer bir husus da temas korumasının sağladığı sahte güven duygusu olmuştur. Zira temas korumasına güvenmek, daha etkili radyasyon koruma önlemlerine, örneğin görüntüleme prosedürlerinin uygun gerekçelendirilmesi ve optimizasyonuna verilmesi gereken önemin de görece azalmasının bir nedeni olabilir.

Gebelerde Radyasyondan Korunma

Gebeler hariç iyonlaştırıcı radyasyon kullanarak gerçekleştirdiğimiz görüntüleme işlemlerinin tamamında (çocuklar da dahil) fayda ve potansiyel riskler aynı kişiyi aittir. Halbuki gebe bir bireyin görüntülenmesi ardından ortaya çıkabilecek radyasyon kaynaklı risk ve faydaların değerlendirmesinde iki bireyin de dikkate alınması gereklidir. Anne tetkikten doğrudan fayda görürken, fetüsün doğrudan bir kazanımı yoktur hatta incelemenin zararı bile dokunabilmektedir. Öte yandan, annenin tıbbi sorunu hayatı tehdit edici bir husus ise, görüntüleme ile ortaya konan doğru tanı ile annenin hayata tutulabilmesi, fetüse de doğrudan fayda

sağlamış olur. Dolayısıyla diğer görüntüleme uygulamaları ile karşılaştırıldığında, gebe bir bireyin görüntüleme kaynaklı radyasyona maruz kalması ek etik değerlendirme ve sorgulamalar gerektirmektedir [15].

Belirtilen hususlar ve etik endişeler altında her yıl binlerce hamile birey ve radyasyon çalışanı, tıbbi gereksinimler sonucunda gebe olduğunun bilincinde ya da kazara (gebe olduğunu bilmeksizin) radyasyona maruz kalmaktadır. **Gebelikte radyasyon konusu hakkındaki bilgi eksikliği büyük bir endişeye ve bazı gebeliklerin muhtemelen gereksiz yere sonlandırılmasına neden olmaktadır. Oysa ki tıbbi görüntüleme işlemlerinde alınan radyasyon dozu, tıbbi abortus dozu ve deterministik etki dozunun (50-100 mGy) sıklıkla çok altındadır.**

Tüm radyolojik görüntülemelerde olduğu gibi, çocuklar dışındaki en önemli diğer hassas grup olan gebelerde de gerekçelendirme en önemli basamaktır. Gebelerde mümkün ise iyonlaştırıcı radyasyon içermeyen görüntüleme yöntemleri tercih edilmelidir. Tanı için en uygun görüntüleme yöntemi X-ışını içeren bir modalite ise; olgunun gebe olması tanısını ya da tedavisini geciktirici bir unsur haline gelmemelidir. Tıbbi bir prosedürün uygun gerekçelendirildiğine karar verildiğinde, tetkik optimize edilmelidir. Bu durum, yukarıda bahsedildiği üzere incelemenin uygun teknik ve dozla gerçekleştirilme süreci anlamına gelir ve çocuklarda uygulanan optimizasyon tekniklerinin temelde aynıdır.

Fetüsün Aldığı Tahmini Dozlar

Güncel görüntüleme tekniklerinden fetüsün alabileceği tahmini dozlar Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir [15]. Görüldüğü üzere tek bir görüntüleme sonucunda alınan doz, deterministik etki dozunun (50-100 mGy) belirgin altındadır.

Tablo 2. Radyografik ve floroskopik incelemelerde tahmini konseptus dozları [15].

İnceleme	Tipik konseptus dozu (mGy)
Servikal omurga (AP, yan)	<0,001
Ekstremiteler	<0,001
Göğüs (PA, yan)	0,002
Torasik omurga (AP, yan)	0,003
Karın (AP)	
21 cm hasta kalınlığı	1
33 cm hasta kalınlığı	3
Lomber omurga (AP, yan)	1
AP: Anterior-posterior; PA: Postero-anterior.	

Tablo 3. BT'de tahmini konseptus dozları [15].

İnceleme	Konseptus dozu (mGy)
Ekstra-abdominal	
Beyin BT	0
Toraks BT	
Rutin	0,2
Pulmoner arter BT anjiyografisi	0,2
Koroner arterlerin BT anjiyografisi	0,1
Abdomen BT	
Üst abdomen	4
Üst abdomen/pelvis, rutin	25
Aorta BT anjiyografisi (toraks ve batin)	34
Üst abdomen-pelvis, taş protokolü BT	10
BT: bilgisayarlı tomografi.	

Özellikle, baş, boyun, göğüs ve çevresel ekstremitelerin görüntülemeleri sonucunda alınan doz ihmal edilebilir düzeydedir. Kuşkusuz ki batin görüntülemesinde ilk tercih edilecek görüntüleme yöntemi ultrasonografi, ultrasonografinin arada kaldığı olgularda MR olabilir. Ancak çoğu hastanede MR'ye erişim sıkıntısı nedeniyle söz konusu inceleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı olgularda BT incelemesi tercih edilebilir. Kaldı ki ağır maternal travma gibi hayatı tehdit edici durumlarda zaman kaybetmeksizin BT incelemesi tercih edilmelidir. Zira bu koşullarda dahi alınan fetal radyasyon dozu deterministik etki dozunun altında kalmaktadır [16].

Görüntüleme gerçekleştikten sonra karşımıza çıkan en önemli sorun; genel bilgi eksikliği ve radyasyon korkusunun hem sağlık çalışanları hem de ailede yarattığı yersiz endişe ve artan abortus talebidir. Bu durumun uygun bir şekilde yönetimi, radyasyonun biyolojik etkileri ve özellikle deterministik etkiler (doku reaksiyonları) için eşik dozunun bilinmesi ile aşılabılır. Zira stokastik eşik değer yoktur ve karsinogenez ihtimalini net olarak tahmin etmek mümkün değildir. Deterministik etkiler için ise eşik dozlar konseptusun radyasyona maruziyet haftası

ve alınan doz miktarı ile ilişkilidir. Konseptusun haftasına göre Tablo 4'te tahmini eşik doz ve olası deterministik etkiler ayrıntılı olarak belirtilmiştir [17].

Gestasyonel Haftaya Göre Deterministik Etki Dozları ve Olası Malformasyonlar

Gestasyonel evre; preimplantasyon (fertilizasyondan sonraki 2 hafta) ve organogenez (3-8. haftalar) olmak üzere iki aşamada incelenir. Preimplantasyon döneminde “ya hep ya hiç” kuralı geçerlidir. Bu dönemdeki radyasyon maruziyetinde konseptüs ya hiç etkilenmez ya da gebelik düşük ile sonlanır [17]. Oysa ki organogenez dönemi (3-8. haftalar) organların hızlı geliştiği, hücrelerin hızlı çoğaldığı bir dönem olup radyasyona en hassas dönemdir. Eşik doz üzerinde (200 mGy) organlarda malformasyonlar (gözler, kas-iskelet sistemi), büyüme-gelişme gerilikleri olasılığı artar [18]. Sekizinci haftadan sonraki dönem fetal dönem olarak adlandırılır. Özellikle konsepsiyondan sonraki 8-16 haftalık dönemde merkezi sinir sistemi radyasyona çok duyarlıdır. Bu etkilerin nöronal ölüm, hücresel farklılaşma ve nöronal göç sürecinin engellenmesi ya da bozulması ile gerçekleştiği varsayılmaktadır. Her ne kadar tartışmalı da olsa

Tablo 4. Gestasyonel hafta ve radyasyon dozunun teratojenite üzerindeki etkileri [17].

Gestasyonel hafta	Etkiler	Tahmini eşik doz (mGy)
Preimplantasyon dönemi (fertilizasyondan sonraki 0-2. hafta)	Ya hep ya hiç kuralı	50-100 mGy
Organogenez (fertilizasyondan sonraki 2-8. hafta)	Doğumsal anomaliler (iskelet, gözler ve genital organlar)	200 mGy
	Büyüme geriliği	200-250 mGy
8-15. haftalar	Ağır zeka geriliği (yüksek risk)	60-310 mGy
	Zeka geriliği (25 IQ puanı kaybı/1000 mGy)	25 IQ puan kaybı/1000 mGy
	Mikrosefali	200 mGy
16-25. haftalar	Ağır zeka geriliği (düşük risk)	250-280 mGy

100 mGy'yi aşan fetal dozların IQ'da düşüşe neden olabileceği bildirilmiştir. 1,000 mGy (1 Gy) seviyesindeki fetal dozlar, ciddi zihinsel gerilik olasılığını artırır [19]. Duyarlılık, konsepsiyondan sonraki 8-15 haftalık dönemde en yüksek seviyededir. Yirmi beş haftadan büyük fetüsler santral sinir sistemindeki hasarlara daha az hassas hale gelir. Yirmi altıncı haftadan sonraki geç fetal dönemde radyasyonun biyolojik etkilerinin çocukluk dönemi ile benzer olduğu varsayılmaktadır [17].

Karsinogenez

Orta ve yüksek dozlarda fetal radyasyonun çocukluk çağı ve yetişkin kanserlerine yol açabilir. Ancak, düşük dozlar ve kanser ilişkisi üzerine çalışma ve tartışmalar sürmektedir. Zira bu değerleri nicel olarak ortaya koymak kanser oluşumundaki genetik ya da çevresel etmenler gibi çoklu faktör dahil edildiğinde belirgin olarak zorlaşmaktadır. Oxford Çocukluk Çağı Kanserleri Anketi ile yapılan kapsamlı bir olgu kontrol çalışması, prenatal radyasyonun lösemi ve çocukluk çağı kanser riskini artırdığına dair veriler ortaya koymuştur [20]. Oysa ki Hiroshima ve Nagasaki'de atom bombası atıldığında gebe olan kadınların çocuklarında yapılan çalışmaların sonuçları farklıdır. Söz konusu kohortun kanser ve ölüm oranlarını incelediğinde, kız çocuklarda kanser riskinin artmış olduğu ancak erkeklerde böyle bir ilişkinin gözlenmediği belirtilmektedir, ki bir önceki çalışma sonuçları ile tutarsızlık doğurmaktadır [21].

Danışmanlık

Gebelikte radyasyon maruziyeti ile ilişkili riskleri açıklamak için kullanılan dil, endişeyi azaltabileceği gibi artırabilir de. Bu durumda da özel eğitim almak, durumu kontrol altında tutmak ve aileyi doğru yönlendirmek için önemlidir. Diğer taraftan tam olarak uygun bir yaklaşım sunabilmek için genel olarak normal gebeliklerdeki embriyo/fetal kayıp ve malformasyon oranlarını da bilmek önemlidir. Örneğin spontan gebelik kaybı, normal gebeliklerin %15'inde görülür ve çoğu zaman kadın hamile olduğunu fark etmeden önce gerçekleşir. Gebeliklerin %3'ü büyük malformasyonlar, %4'ü ise küçük malformasyonlar içerir. Zeka geriliği doğumların %0,4'ünde, mikrosefali %4'ünde görülür. Dolayısıyla; radyasyonun biyolojik etkileri ile ortaya çıkabilecek hususların aslında radyasyon maruziyeti olmaksızın da görülebileceği ortaya çıkmaktadır. Danışmanlık verirken özellikle bu husus göz önünde bulundurulmalıdır. Tablo 5'te [22] belirtildiği üzere intrauterin dönemde hiç radyasyona maruz kalmamış bir fetüs doğduğunda %99,93 olasılıkla herhangi bir malformasyon olmayacak ve çocukluk çağı kanseri geliştirmeyecektir. Diğer taraftan aynı durum %4 olasılıkla malforme doğacak ve %0,07 oranında çocukluk çağı kanseri geliştirecektir diye de ifade edilebilir. Dolayısıyla 50 mGy radyasyona maruz kalmış bir fetüs hususunda danışmanlık verirken malformasyon ve çocukluk çağı kanseri geliştirme olasılığının %4,6 olduğunu ya da hiçbir patoloji olmama ihtimalinin %95,43 olduğunu söylemek mümkündür [15].

Tablo 5. Malformasyon ve çocukluk çağı kanseri gelişmesinin doğum olasılığı [22].

Konseptus dozu (mGy)	Malformasyon oluşmama ihtimali (%)	Çocukluk çağı kanseri gelişmeme ihtimali (%)	Malformasyon ve çocukluk çağı kanseri gelişmeme ihtimali (%)
0	96,00	99,93	95,93
0,5	95,999	99,926	95,928
1	95,998	99,921	95,922
2,5	95,995	99,908	95,91
5	95,99	99,89	95,88
10	95,98	99,84	95,83
50	95,90	99,51	95,43
100	95,80	99,07	94,91

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu, fetüsün aldığı radyasyon dozu 100 mGy'nin altında olduğunda gebeliğin sonlandırılmasının genellikle gerekmediğini belirtmektedir. Ancak daha yüksek dozlarda, kararlar bireysel olarak, tüm kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir [23].

SONUÇ

Teknolojik yenilikler ve uygulamalar her ne kadar görüntüleme işlemleri kaynaklı radyasyon dozunu azaltsa da günümüzde sınırlamaktan çok uzaktır. Radyasyonun stokastik yanı sıra deterministik etki olasılığı devam etmektedir. Dolayısıyla çocuklar ve gebelerin gereksiz radyasyon maruziyetinden korunması sadece teknik sıkıntıları azaltmaya yönelik bir strateji değil; aynı zamanda ahlaki bir yükümlülük ve yasal bir gereklilik olarak benimsenmelidir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması

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

KAYNAKLAR

1. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007; 357: 2277-84. [CrossRef]
2. Hsu W-L, Preston DL, Soda M, Sugiyama H, Funamoto S, Kodama K, et al. The incidence of leukemia, lymphoma and multiple myeloma among atomic bomb survivors: 1950-2001. *Radiat Res*. 2013; 179: 361-82. [CrossRef]
3. Chen J. A summary of updated UNSCEAR evaluations on medical and occupational exposures to ionising radiation and call for participation in UNSCEAR global surveys on radiation exposure. *Radiat Prot Dosimetry*. 2024; 200: 1495-500. [CrossRef]
4. Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, Berdon WE. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2001; 176: 289-96. [CrossRef]
5. Berrington de Gonzalez A, Pasqual E, Veiga L. Epidemiological studies of CT scans and cancer risk: the state of the science. *Br J Radiol*. 2021; 94: 20210471. [CrossRef]
6. Malone J, Guleria R, Craven C, Horton P, Järvinen H, Mayo J, et al. Justification of diagnostic medical exposures: some practical issues. Report of an International Atomic Energy Agency Consultation. *Br J Radiol*. 2012; 85: 523-38. [CrossRef]
7. Bouëtté A, Karoussou-Schreiner A, Ducou Le Pointe H, Grieten M, de Kerviler E, Rausin L, et al. National audit on the appropriateness of CT and MRI examinations in Luxembourg. *Insights Imaging*. 2019;10:54. [CrossRef]
8. Granata C, Sofia C, Francavilla M, Kardos M, Kasznia-Brown J, Nievelstein RA, et al. Let's talk about radiation dose and radiation protection in children. *Pediatric Radiology*. 2024: 1-11. [CrossRef]
9. Seah J, Brady Z, Ewert K, Law M. Artificial intelligence in medical imaging: implications for patient radiation safety. *Br J Radiol*. 2021; 94: 20210406. [CrossRef]
10. Perlmutter N, Arthur RJ, Beluffi G, Cook V, Horwitz EA, Kramer P, et al. The quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. *Radiation Protection Dosimetry*. 1998; 80 :45-8. [CrossRef]
11. Granata C, Sorantin E, Seuri R, Owens CM. European society of paediatric radiology computed tomography and dose task force: European guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. *Pediatr Radiol*. 2019; 49: 702-5. [CrossRef]
12. Hiles P, Gilligan P, Damilakis J, Briers E, Candela-Juan C, Faj D, et al. European consensus on patient contact shielding. *Radiography (Lond)*. 2022; 12: 353-9. [CrossRef]
13. American Association of Physicists in Medicine (AAPM). PP. 32-A: AAPM position statement on the use of patient gonadal and fetal shielding. 2019. [CrossRef]
14. Hiles P, Benson E, Hughes H, Loader R, Shaw D, Edyvean S, et al. Guidance on using shielding on patients for diagnostic radiology applications. A joint report of the British Institute of Radiology (BIR). Public Health England (PHE), Royal College of Radiologists (RCR), Society and College of Radiographers (SCoR), and the Society for Radiological Protection (SRP). 2020. [CrossRef]
15. McCollough CH, Schueler BA, Atwell TD, Braun NN, Regner DM, Brown DL, et al. Radiation exposure and pregnancy: when should we be concerned? *Radiographics*. 2007; 27: 909-17. [CrossRef]
16. Lowdermilk C, Gavant ML, Qaisi W, West OC, Goldman SM. Screening helical CT for evaluation of blunt traumatic injury in the pregnant patient. *Radiographics*. 1999; 19: 243-55. [CrossRef]
17. Saada M, Sanchez-Jimenez E, Roguin A. Risk of ionizing radiation in pregnancy: just a myth or a real concern? *Europace*. 2023; 25: 270-6. [CrossRef]
18. Council NR, Earth Do, Studies L, Sciences CoL, Radiation CotBEoL. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: *BEIR V*. 1990. [CrossRef]
19. Ikenoue T, Ikeda T, Ibara S, Otake M, Schull WJ. Effects of environmental factors on perinatal outcome: neurological development in cases of intrauterine growth retardation and school performance of children perinatally exposed to ionizing radiation. *Environ Health Perspect*. 1993; 101 (Suppl 2): 53-7. [CrossRef]
20. Wakeford R, Bithell JF. A review of the types of childhood cancer associated with a medical X-ray examination of the pregnant mother. *Int J Radiat Biol*. 2021; 97: 571-92. [CrossRef]
21. Sugiyama H, Misumi M, Sakata R, Brenner AV, Utada M, Ozasa K. Mortality among individuals exposed to atomic bomb radiation in utero: 1950-2012. *Eur J Epidemiol*. 2021; 36: 415-28. [CrossRef]
22. Wagner L, Hayman L. Pregnancy and women radiologists. *Radiology*. 1982; 145 :559-62. [CrossRef]
23. Brent R, Mettler F, Wagner L, Streffer BM, He S, Kusama T. ICRP publication 84: pregnancy and medical radiation. *ICRP*. 2001; 30: 1. [CrossRef]

1. Günümüzde en önemli yapay radyasyon kaynağı nedir?
 - a. Ultrason
 - b. Manyetik rezonans görüntüleme (MR)
 - c. Bilgisayarlı tomografi (BT)
 - d. Röntgen
 - e. Radyo dalgaları
2. Çocuklarda BT incelemelerinde aşağıdaki teknik parametrelerden hangisi optimize edilmelidir?
 - a. Pik kilovolt (kVp)
 - b. Tarama uzunluğu
 - c. Tüp akımı
 - d. Hasta pozisyonlaması
 - e. Hepsi
3. Radyolojik görüntülemede “no-threshold”-“eşiksizlik” modeli hangi varsayıma dayanır?
 - a. Düşük doz radyasyonun zararsız olduğu
 - b. Radyasyonun belirli bir eşik altında zararsız olduğu
 - c. Düşük doz radyasyonun bile kanser riskini artırabileceği
 - d. Çocukların radyasyona dayanıklı olduğu
 - e. Radyasyonun deterministik etkilerinin göz ardı edilebileceği
4. Çocuklara yönelik radyolojik görüntüleme protokollerinin optimizasyonunda hangi faktörler önemlidir?
 - a. Çocuğun cinsiyeti
 - b. Çocuğun yaşı, ağırlığı
 - c. Çocuğun tedaviye yatkınlığı
 - d. Aile fertlerinin sigara içme alışkanlığı
 - e. Çocuğun eğitim durumu
5. Radyolojik görüntüleme talebinde uygun gerekçelendirme yapılmamasının en önemli zararı hangisidir?
 - a. Daha hızlı tanı konması
 - b. Gereksiz radyasyon maruziyeti ortaya çıkarması
 - c. Görüntüleme kalitesindeki artış
 - d. Hasta memnuniyetindeki artış
 - e. İnceleme süresindeki kısalma