



Radyasyonun Biyolojik Sistemler Üzerindeki Etkileri

The Effects of Radiation on Biological Systems

Nuri Arslan

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Radyobiyojoloji, iyonizan radyasyonun yaşayan canlılar üzerindeki etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Her hücre tipinin radyasyona duyarlılığı farklıdır. İyonizan radyasyonun hücre ile etkileşmesi direkt ve indirekt etki olarak iki farklı şekilde gözlenir. Direkt etki; yüksek lineer enerji transferine sahip nötron, alfa ve beta ışınım tiplerinde daha çok gözlenirken, indirekt etkide iyonizan radyasyon hücre içindeki moleküllerle etkileşerek serbest oksijen radikalleri oluşumuna neden olur. Radyasyona bağlı sağlık etkileri, etkilenen dokuya göre somatik ve genetik; ayrıca radyasyona maruz kalma süresine ve etkilenme periyoduna bakarak deterministik ve sitokastik olarak farklı gruplarda incelenebilir. Radyasyonun geç dönem etkileri arasında radyasyona bağlı kanser gelişimi, sonraki nesillerde genetik mutasyon, geç dönem organ etkileri, katarakt ve infertilite sayılabilir. Radyasyon miktarını azaltmak için alınacak önlemler 4 koruyucu faktörden oluşur; süre, mesafe, zırhlama ve radyoaktif kaynak miktarı.

Anahtar Kelimeler: Radyobiyojoloji, lineer enerji transferi, deterministik etki, sitokastik etki

Abstract

Radiobiology is a science that studies the effects of ionizing radiation on living organisms. Each cell type has a different sensitivity to radiation. Interaction of ionizing radiation with the cell is observed in two different ways as direct and indirect effect. While the direct effect is more observed in neutron, alpha, and beta radiation types with high linear energy transfer, in indirect effect, ionizing radiation interacts with molecules in the cell causing the formation of free oxygen radicals. Radiation-induced health effects according to the affected tissue are somatic and genetic; according to the duration of exposure to radiation and the period of exposure are deterministic and cytostatic effects. Late effects of radiation are cancer development due to radiation, genetic mutation in later generations, late organ effects, cataract, and infertility. The measures to be taken to reduce the amount of radiation consist of 4 protective factors: duration, distance, shielding, and amount of radioactive sources.

Keywords: Radiobiology, linear energy transfer, deterministic effect, cytostatic effect

Giriş

Radyobiyojoloji, temel olarak iyonizan radyasyonun yaşayan canlılar üzerindeki etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Radyasyonun canlı organizmadaki etkileri ilk kez Henri Becquerel tarafından tanımlanmıştır. Henri Becquerel 2 hafta süre ile cebinde taşıdığı radyum kaynağının derisinde kızarıklık yarattığını ve iyonizan radyasyona bağlı iritasyon nedeniyle derisinde eritem oluştuğunu fark etmiştir. Radyasyona bağlı epilasyon ise

ilk kez 1896 yılında J. Daniel tarafından rapor edilmiştir. 1906 yılında ABD’de Thomas Edison için floreskop ve floresan film üretiminde çalışan Clarence Dally isimli bir işçinin ölümü radyasyona bağlı ilk ölüm olarak tarihe geçmiştir. O tarihe kadar radyasyonun fark edilebilen en önemli kısa dönem etkisi deride eritem, epilasyon ve anemi iken, radyasyonun ölümcül olabileceği hakkında net bir bilgi yoktu. Bu nedenle alınan koruyucu önlemler de yetersiz ve sadece radyasyonun lokal eksternal etkilerini önlemeye yönelikti. Radyasyonun gereksiz

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Nuri Arslan, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: nuria_tr@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-4494-3951

©Telif Hakkı 2017 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

ve kontrolsüz kullanımının ölüme neden olabileceğinin anlaşılması üzerine; kurşun eldiven, kurşun önlük, kurşun gözlük kullanımı yaygınlaştı ve kişisel doz takip cihazlarının geliştirilmesine önem verildi (1).

Bergonie ve Tribondeau kanununa göre, dokuların radyasyona hücresele yanıtı farklı olup radyosensitivite ışınlanan hücrenin metabolik durumunun bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Çok basit bir şekilde ifade etmek gerekir ise, her hücre tipinin radyasyona duyarlılığı farklıdır. Örneğin; sık bölünen ve aktif mitozdaki hücre sayısı fazla olan, az diferansiye hücreler (over ve testisin germinal hücreleri, hematopoetik sistem hücreleri, gastrointestinal sistem epitel hücreleri vs.) radyasyona daha fazla duyarlıdır. Bölünmeyen veya daha az bölünen, iyi diferansiye hücre ve dokular (karaciğer, böbrek, kıkırdak, kas, sinir hücreleri vb.) ise radyasyona daha az duyarlıdır. Benzer şekilde büyüme çağındaki çocuklar ve genel olarak fetüs de radyasyona daha fazla duyarlıdır (1).

Radyasyonun Hücre Üzerinde Etkisi

Küçük dozlarda radyasyona maruz kalan hücrelerde, kesin nedeni bilinmemekle birlikte mitozda rol alan kimyasal maddelerde değişiklik, mitoz için gerekli proteinlerin sentez edilememesi ve DNA sentezinin yavaşlamasına bağlı olarak mitozda gecikme gözlenir. Hücre ölümü için gerekli olan radyasyon dozu hücreden hücreye değişiklik göstermekle birlikte daha yüksek radyasyon dozu hücre ölümüne neden olabilir. Genel olarak hızla bölünen indiferansiye hücreler, bölünmeyen diferansiye hücrelere oranla daha düşük düzeydeki radyasyona duyarlıdır. Özellikle küçük matür lenfositlerde olduğu gibi hücreler radyasyona maruz kaldığında, sitoplazmik organellerin bütünlüğü korunurken elektrolit dengesindeki bozukluğa bağlı olarak gelişen hücre membranındaki değişiklikler nedeniyle hücre parçalanır ve büzüşerek "interfaz ölümü" denilen hücre ölümü gerçekleşir (1).

İyonizan radyasyonun hücre etkileşmesi Direkt ve İndirekt Etki olarak 2 farklı şekilde gözlenir.

Direkt etkide radyasyon ışınım yolu üzerinde etkileştiği hücrelerin DNA zincirinde kırılmalar meydana getirir. Bu tür etki yüksek lineer enerji transferine (LET) sahip nötron, alfa ve beta ışınım tiplerinde daha çok gözlenir. LET, yüklü partikülün ışınım yolu üzerinde etkileştiği maddeye bıraktığı enerji miktarı olarak tanımlanır. X ve gama ışınımı düşük LET'e sahip olup enerjilerini etkileştikleri dokuya çok çabuk bir şekilde aktarmadan göreceli olarak uzun bir yol kat ederken daha uzun bir mesafede daha az hasara neden olur.

Yüksek LET'li radyasyon ise daha kısa mesafede daha çok hasara yol açar. Düşük LET'de onarımla olasılığı daha fazla olan tek zincir kırığı ve nokta mutasyonlara sık rastlanırken, yüksek LET'de çift zincir kırığı ve frameshift mutasyonlar gözlenir. Frameshift mutasyon, bir genin protein kodlayan kısmında birkaç baz çiftinin girmesi ya da çıkması ile oluşan mutasyonlar olup onarılması daha güçtür (Tablo 1).

LET'e benzer şekilde radyasyon ve hücre etkileşiminde kullanılan diğer bir terim de "rölatif biyolojik etkinliktir (RBE)". RBE'de, 250 keV enerjili X ışınının hücrede yaptığı etki standart olarak alınır. RBE radyasyonun cinsinin yanı sıra radyasyonun etkileştiği hücre veya dokunun tipi, dokunun fizyolojik durumu ve doz hızından da etkilenir. Genel olarak LET arttıkça RBE de artar. Bu nedenle alfa ve beta ışınımı gibi yüksek LET radyasyon için RBE de yüksektir. Buna karşın X ve gama ışınımı gibi düşük LET için de düşük RBE söz konusudur. Sonuç olarak; alfa ve beta ışınımı her iki radyasyon tipinin de yüksek penetrasyon göstermemesi ve ancak birkaç milimetre dokuda hasar oluşturması nedeniyle rölatif olarak daha az zararlıdır. Alfa ve beta ışınımının düşük penetrasyon göstermesi sayesinde derimiz özellikle alfa ve beta emisyonu gibi çevresel zararlı ışınımara karşı vücudumuzu korumaktadır (1).

İndirekt etkide ise iyonizan radyasyon hücre içindeki moleküllerle etkileşerek serbest oksijen radikalleri oluşumuna neden olur. Hücreden hücreye değişmekle birlikte her bir hücre %70-85 oranında su içermektedir.

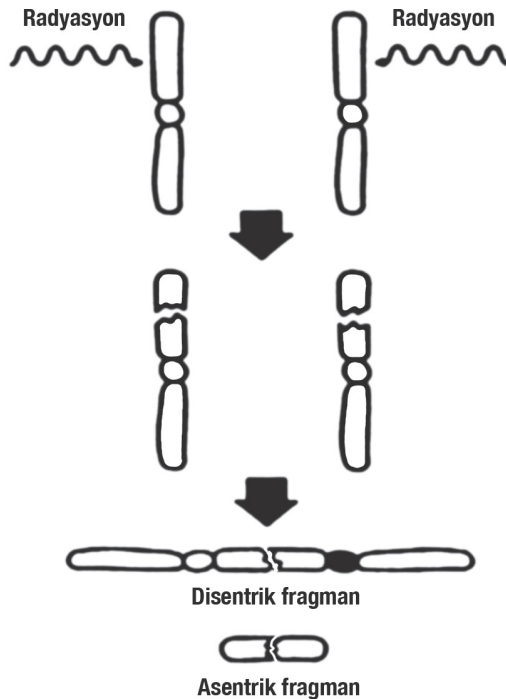
Tablo 1. Düşük ve yüksek lineer enerji transferi radyasyonun karşılaştırılması (1)

Düşük LET	Yüksek LET
Penetran radyasyon	Yüzeysel penetrasyon
Düşük RBE	Yüksek RBE
İndirekt hasar	Direkt hasar
<10 keV/mm	>10 keV/mm
Sublethal	Sıklıkla lethal
Eksternal radyasyon hasarı	İnternal radyasyon hasarı
Tek zincir kırığı	Çift zincir kırığı
Çoğunlukla mükemmel onarım	Yüksek hata riski
Nokta mutasyon	Frameshift mutasyon
Hücre ile rastgele etkileşim	Hücrede uniform enerji depozisyonu
Oksijen konsantrasyonuna bağımlı etki	Oksijen konsantrasyonundan bağımsız etki
LET: Lineer enerji transferi, RBE: Rölatif biyolojik etkinlik	

İndirekt etkide primer mekanizma hücre içerisindeki suyun radyolizi yani radyasyon ile parçalanarak başta hidrojen peroksit olmak üzere serbest oksijen radikallerinin oluşmasıdır. Oluşan bu oksijen radikalleri DNA bileşenleri ile etkileşerek tek ve çift zincir kırılmaları veya hücresel makro moleküllerle etkileşerek baz hasarı gibi diğer tipteki bozulmalara neden olur. Oluşan zincir kırığı küçük ise hücre ölümüne neden olmaz iken büyük kromozom kırıkları genellikle tamir edilse bile sonraki kuşaklarda ölümcül olur. Bunun dışında radyasyona bağlı olarak asentrik veya disentrik fragmanlar ve ring formasyonu şeklinde kromozom kırıkları da meydana gelebilir (Şekil 1, 2).

Radyasyon etkisi ile yapısı değişen pek çok molekülün işlevinin benzerleri tarafından yerine getirilmesi nedeniyle hücrede radyasyona bağlı önemli bir hasar görülmez. Ancak DNA gibi “anahtar molekül” olarak tanımlanan makro moleküllerde oluşan değişiklikler, doğrudan hücrenin yapısını etkiler. Radyasyonla karşılaşan canlı dokular ortaya çıkan hasarı onaramaz ise hasarın derecesine göre genetik mutasyon ve buna bağlı kanser gelişimi veya hücre ölümü meydana gelir.

Genel olarak maruz kalınan radyasyonun miktarı ve süresi, radyasyona bağlı ortaya çıkacak sağlık probleminin ciddiyetini belirlemektedir (1).



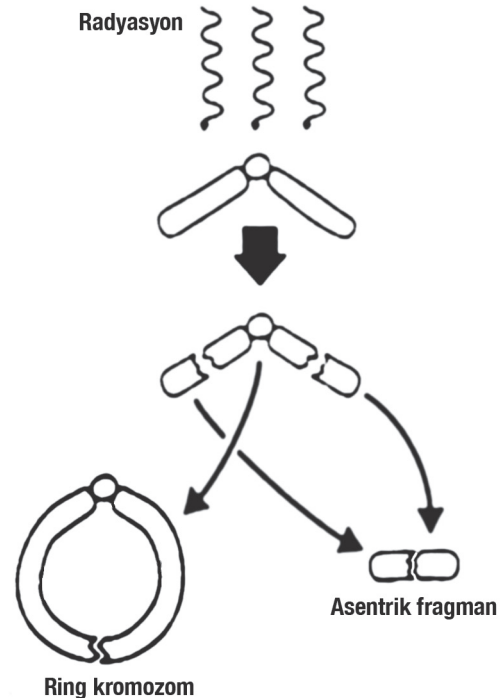
Şekil 1. Asentrik ve disentrik fragman oluşumu (1)

Radyasyona bağlı sağlık etkilerini etkilenen dokuya göre somatik ve genetik, ayrıca radyasyona maruz kalma süresine ve etkilenme periyoduna bakarak non-sitokastik (deterministik) ve sitokastik olarak farklı gruplarda incelemek yararlı olacaktır.

A. Somatik Etkiler

Non-sitokastik (deterministik) etkiler: Daha çok geniş bir vücut alanının etkilenmesi ile oluşur. Bu tür etkilenmede bir eşik değeri söz konusu olup doz arttıkça hasar miktarı artar. Non-sitokastik erken ya da akut (radyasyon hastalığı, eritem, pulmoner pnömoni, epilasyon vb.) ve geç ya da kronik (katarakt, akciğer fibrozisi, keratozis, infertilite, fibroartropati vb.) dönem etkiler olarak iki ana alt grup şeklinde incelemek yerinde olacaktır (2,3).

Sitokastik etkiler: Tüm vücut veya sadece birkaç hücre ya da dokunun etkilenmesi söz konusu olabilir. Sitokastik etki için eşik değer olmayıp doz arttıkça hasar oranı artmaz. Sitokastik etkiler için doğal radyasyon düzeyi üzerinde kesin bir “emniyet sınırı” belirlemek mümkün değildir. Ancak doz arttıkça sitokastik etkinin ortaya çıkma olasılığı artar. Lösemiler, kanserler, genetik mutasyonlar bu gruptadır. Bu grupta oluşan mutasyonların veya kanserlerin doğal yollarla oluşulardan bir farkı yoktur.



Şekil 2. Ring kromozom ve asentrik fragman oluşumu (1)

Temel sorun vücutta oluşan mutasyonların tamir edilememesi hatta onarım sırasında yeni mutasyonların meydana gelmesidir. Öte yandan önemli bir diğer nokta da oluşan mutasyonların teratojenik veya genetik özellik göstermesidir (2,3).

B. Genetik (Kalıtsal) Etkiler

Bu tip etki, üreme hücrelerinde bulunan kromozomların radyasyona bağlı hasarlanması ile oluşur. Bu durumda önemli olan hasarlanan hücrenin yaşaması ve döllenme işlevini yerine getirmesidir. Böylece hasar bireyde değil çocuklarında ortaya çıkar ve sonraki kuşaklara aktarılabilir. Bu etkiler de sitotoksik tip etkilerdir (2,3).

Radyasyonun Geç Dönem Etkileri

Radyasyonun geç dönem etkileri arasında radyasyona bağlı kanser gelişimi, sonraki nesillerde genetik mutasyon, geç dönem organ etkileri (tipik vasküler değişiklikler, fibröz atrofi ve tiroid disfonksiyonu), katarakt ve infertilite sayılabilir. İyonizan Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komitesi (The Biological Effects of Ionizing Radiation Committee) en son yayınladığı raporda (BEIR VII, 2006) radyasyonun geç dönem etkileri ile ilgili matematiksel risk modelleri geliştirmiş olup en uygun modelin Lineer eşiksiz model (lineer non-threshold) (LNT) modeli olduğunu rapor etmiştir (4). LNT modele göre sıfır radyasyon dozunda geç dönem etkiler sıfıra yaklaşırken artan radyasyon dozu ile bu risk lineer olarak artar. 1945 yılında Hiroshima ve Nagasaki'ye atılan atom bombalarından sonra hayatta kalan kişilerde kronik lenfositler lösemi dışında tüm lösemi tiplerinde istatistiksel olarak artış tespit edilmiştir. Ayrıca meme, tiroid, kolon, mide ve over kanserlerinde de radyasyona bağlı artış saptanmıştır. Özofagus, karaciğer, deri, mesane, santral sinir sistemi (SSS) kanserleri ile multipl miyeloma ve lenfomada ise radyasyona bağlı kanser sıklığında istatistik olarak anlamlı olmasa da dikkate değer düzeyde önemli artış mevcuttur (4,5,6).

Radyasyona Bağlı Kanser Riski Ne Kadardır? Diğer Kanser Nedenleri ile Nasıl Karşılaştırılabilir?

BEIR VII raporunda, ABD'de her 100 kişiden 43'ünde yaşamları süresinde kanser gelişeceği öngörülmektedir. Başka bir öngöründe ise 100 mSv (10 rem) doz alan 43 kişiden 1 tanesinde ortaya çıkan kanserin radyasyona bağlı gelişeceği öngörülmektedir. Eşik değer (0,5-0,75 Sv) üzerinde ve altında deterministik etkiler için risk artışı lineer davranış gösterir. Bu aşamada radyasyonun

sağlık etkilerini, birkaç soru ile örneklendirmek yararlı olacaktır (4).

Cs-137 Gama Radyasyon ile 0,1 Gy (10 Rad) Akut Tüm Vücut Radyasyona Maruz Kalan Genç Bir Bireyde Ekstra Kanser Riski Nedir ?

BEIR VII raporuna göre tek seferde 0,1 Sv (≈ 10 /Sv) doz alan 100 bireyden 1 tanesinde (%1) radyasyona bağlı kanser gelişebilir. Bu hasta yaşam boyu ≈ 50 olasılıkla kansere yakalanacağından, 0,1 Gy doz ile yaşam boyu kansere yakalanma olasılığında radyasyona bağlı ekstra risk artışı ≈ 1 , buna bağlı olarak toplamda oluşan risk ise ≈ 51 olarak hesaplanır. Genel olarak geri plan değerler üzerinde radyasyon maruziyetinde, radyasyona bağlı ekstra ölümcül kanser riski ≈ 5 /Sv olarak kabul edilir (4).

Kanser Dışı Etkiler

Radyasyonun kanser dışında başka geç dönem etkileri de söz konusudur. Bunlar arasında özellikle lensin posterior kapsülünde katarakt, hiperparatiroidizm, immün sistemde zayıflama sayılabilir. İntrauterin radyasyona maruz kalan çocuklarda ise mikrosefali, mental retardasyon, büyüme ve gelişme geriliği, zeka geriliği ve düşük okul performansı gözlenebilir. Katarakt oluşumunda eşik değer yaklaşık olarak 2 Gy (fraksiyone dozlarda bu değer daha yüksektir) olarak kabul edildiğinde, göze 40 Gy doz alınması durumunda 2 ay ile 35 yıl arasında olguların yaklaşık %100'ünde katarakt gelişeceği öngörülmektedir. Genel olarak artan radyasyon dozu ile birlikte katarakt gelişiminde latent periyot kısalmaktadır (4,5,6).

Radyasyon ve Hamilelik

Radyasyonun kanserden başka, en belirgin uzun dönem sağlık etkisi teratojenik ve genetik mutasyonlardır. Teratojenik mutasyonlar fetüsün aldığı radyasyondan kaynaklanır. Hamile bireyler, fetal etkiler açısından büyük endişe duymalarına karşın, konsepsiyon öncesi alınan medikal ışınlamaya bağlı olarak fetal risk açısından istatistiksel olarak belirgin artış gözlenmez (4,5,6).

$>0,5$ Gy uterin dozda, göz küresinde gelişme geriliği, genel büyüme geriliği, gross konjenital malformasyonlar ve mikrosefali sıklıkla gözlenen etkilerdir. İlginç bir bulgu olarak; büyüme geriliği veya SSS anomalisi olmadan fetüste morfolojik malformasyona neden olan eksternal irradyasyon rapor edilmemiştir. Blastosistin fallopian tüplerden uterusu doğru transitisi sırasında radyasyona maruz kalınır ise "ya hep ya hiç" etkisi gözlenir. Uterusa

implantasyon gerçekleşir ise genellikle hamilelik terme kadar ulaşır. Onuncu günden 25. haftaya kadar olan gestasyonel dönemde, 10 cGy (10 rad) ve daha yüksek doz hamileliğin sonlandırılması için eşik değer olarak kabul edilir. Medikal abortus kararının verilmesinde; annenin sahip olduğu hastalıklar, çiftlerin çocuk arzusu, SSS hasarı ve mental gerilik olasılığı, ebeveynlerin dini inançları gibi pek çok faktör dikkate alınmalıdır (4,5,6). Yapılan çalışmalar fetüsün radyasyona en duyarlı olduğu dönemin 8-15. hafta arasında olduğunu göstermektedir. Fetüsün aldığı doz ve mental retardasyon arasındaki ilişki net olarak bilinmemekle birlikte 8-15. hafta arasında 1 rem'e maruz kalan 1000 fetüsten 4'ünde mental retardasyon beklenmektedir. Başka bir değerlendirmede, 1 Gy fetal doz alan bireylerin yaklaşık %75'inde mental gerilik ortaya çıkar. On altıncı ile yirmi beşinci haftalar arasında ise fetüs göreceli olarak radyasyona daha az duyarlıdır. On altıncı ile yirmi beşinci hafta arasında radyasyona maruz kalan 1000 fetüsten ise sadece 1'inde, radyasyona bağlı mental retardasyon beklenmektedir (4,5,6).

Genetik etkiler anne-babadan çocuklara geçen kalıtsal özelliklerdir. Her ikisi de 1 rem'e maruz kalan anne-babadan doğan 1 milyon yenidoğan içerisinde 50 adet ciddi herediter hastalık olacağı hesaplanmaktadır. Böyle bir gruba ait tüm ardışık kuşaklarda ise radyasyona bağlı olarak yaklaşık 120 ciddi herediter hastalık oluşması beklenmektedir. Yine karşılaştırmak gerekirse, spontan oluşmaların yanı sıra non-radyoaktif genetik etkenlere bağlı olarak 1 milyon yenidoğanda 100,000 herediter hastalık oluşacağı beklenir. Son olarak, yüksek dozda radyasyona maruz kalınması çok açık bir şekilde çocukluk çağı lösemi gelişimi için bir risk teşkil etmektedir (4,5,6).

Radyasyondan Korunmada Temel Prensipler

Gerek doğal gerekse yapay radyasyon kaynakları ile temasta radyasyon miktarını azaltacak spesifik radyasyon korunma prensipleri uygulanmalıdır. Bu önlemler alınacak radyasyon dozunu sınırlandırabilecek 4 koruyucu faktörden oluşur; süre, mesafe, zırhlama ve radyoaktif kaynak miktarı (7).

Süre: Süre, radyasyondan korunmada önemli bir faktördür. Radyasyon alanında ne kadar az zaman harcanırsa alınan radyasyon miktarı o kadar az olacaktır. Pek çok radyasyon monitorizasyon cihazı miliroentgen (mR)/saat düzeyinde alınan radyasyon miktarını göstermektedir. 60 mR/saat ışınlama hızı, radyasyon alanında geçirilen 1 dakika sonunda bireyin 1 mR (60

mR/saat ÷ 60 dk/saat=1 mR/dakika) radyasyona maruz kalacağını gösterir.

Olası bir radyasyon kazasına müdahalede, acil müdahale ekibindeki bireyin radyasyon alanında kaldığı süre arttıkça alacağı radyasyon miktarı artacağından her bir bireyin alacağı radyasyon dozunu sınırlamak için gerektiğinde vardiya usulü çalışacak takımlar organize edilmelidir.

Mesafe: Radyasyondan korunmada ikinci önemli faktör "mesafe" olup çalışma esnasında radyasyon kaynağından ne kadar uzakta kalınırsa o kadar az radyasyona maruz kalınacağı prensibine dayanır. Burada ters kare kanunu işler. Örnek olarak; 2 metreden 8 mR/saat ışımaya yol açan radyasyon kaynağı, 4 m mesafede sadece 2 mR/saat ışımaya neden olmaktadır. Bunun tersine, radyasyon kaynağı ile aradaki mesafenin yarıya inmesi durumunda alınan doz 4 kat artacaktır. Yukarıdaki örnekte kaynak ile aradaki mesafenin 2 metreden 1 metreye inmesi durumunda maruz kalınacak doz 32 mR/saat olur. Ters kare kanunu radyografide kullanılan küçük nokta kaynaklar için geçerlidir. Bu kural radyoaktif maddelerin dağılarak etrafa saçıldığı radyasyon kazaları için kullanılamasa da radyoaktif kaynak ve radyoaktif madde ile kontamine maddelerin belirli bir mesafeye uzaklaştırılması ile radyasyon miktarı önemli oranda azaltılabilir.

Zırhlama: Zırhlamada kullanılan maddenin yoğunluğu ne kadar fazla ise radyasyonu durdurabilme gücü o kadar fazladır. Zırhlama için çoğu zaman kurşun gibi yüksek dansiteli maddeler kullanılmaktadır. Olası bir radyasyon kazasında kaza alanında kurşun gibi yoğun dansitede maddeleri bulmak her zaman mümkün değildir. Bu nedenle acil müdahale ekibi ile radyasyon kaynağı arasında taşıt, çöp yığını, yoğun içerikli ağır materyal bulunması kaza alanında alınan radyasyon dozunu azaltmak için uygun bir önlem olabilir. Bununla birlikte pek çok acil durumda zırhlama, eldiven, ayakkabı galoşu, standart yangın elbisesi, mont, ceket veya kontaminasyonu önlemek için kullanılan cerrahi koruyucu malzemeler ile yapılmaktadır. Bu tür kıyafetler alfa ve beta radyasyonunu durdurmak için yeterli, fakat penetran (delici) özellikteki gama ışınımını durdurmak için etkisizdir. Sonuç olarak zırhlama acil müdahale alanında her zaman uygulanabilecek bir korunma yöntemi değildir. Zırhlama için uygun materyal aranırken acil müdahale geciktirilmemeli, zaman ve mesafe faktörlerine dikkat edilerek alınan radyasyon dozu azaltılmalıdır.

Radyoaktif kaynak miktarı: Radyoaktif maddeden kaynaklanan ışınlanma miktarı direkt olarak ortamdaki radyasyon kaynağı sayısı veya miktarı ile ilişkilidir. Bu nedenle olası bir radyasyon kazasında, kaza alanındaki radyoaktif kaynak sayı ve miktarını azaltmak oldukça yararlıdır. Örnek olarak; kontamine kıyafet ve teçhizat, radyoaktif madde içeren taşıma kapları, kontamine tüm malzeme ve eşya paketlenerek acil müdahale alanından uzaklaştırılmalıdır.

Sonuç

Radyasyonun canlı organizmadaki etkileri birçok faktöre bağlı olup, oldukça geniş bir spektrumda incelenebilir. Dokuların radyasyona hücreyel yanıtlarının da farklı olması bu etki çeşitliliğini artırmaktadır. Gerek doğal gerekse yapay radyasyon kaynakları ile temasta radyasyon miktarını azaltacak spesifik radyasyon korunma prensipleri uygulanmalıdır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir

Kaynaklar

1. Steven B, Elwin R, Tilson Ed. Practical Radiation Protection and Applied Radiobiology, 2e 2nd Edition. Saunders, 1999.
2. Radyasyonun Sağlık Etkileri. Ulusal Nükleer veya Radyolojik Kaza ve Tehlike Durumu Yönetimi Sempozyumu. 19-20 Kasım - GATA, Ankara 2008.
3. https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/1_TrainingMaterial/index.htm
4. National Academy of Sciences/National Research Council (NAS/NRC), Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2, Washington, DC 2006.
5. Military Medical Operations. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Delayed Effects. In: Medical Mangement of Radiological Casualties. 3rd Edition. Bethesda: Maryland; 2010. p. 41-43. https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/1_TrainingMaterial/index.htm.
6. Sugarman SL, Goans RE, Garrett SA, Livingston GK. Delayed Effects. In: The Medical Aspects of Radiation Incidents, REAC/TS. Oak Ridge, US. 2009. p. 44-46. <http://www.orise.orau.gov/reacts>
7. <https://www.epa.gov/radiation/protecting-yourself-radiation>