



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Kasım 2017 Cilt: 3 Sayı: 3 www.nukleertipseminerleri.org



Bölüm Editörü: Nuri Arslan

Radyolojik-Nükleer Acillerde Hazırlık ve Hasta Yönetimi

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



İmtiyaz Sahibi / Association Owner

Zehra Özcan

Editör / Editor

Zeynep Burak

Editör Yardımcısı / Associate Editor

Tevfik Fikret Çermik

Editöryal Kurul / Editorial Board

Elvan Sayit Bilgi

Murat Fani Bozkurt

Gamze Çapa Kaya

Gülün Uçmak

Doğangün Yüksel

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi, Türkiye Nükleer Tıp Derneği'nin resmi yayın organıdır.
The Nuclear Medicine Seminars is an official journal of the Turkish Nuclear Medicine Society.



Galenos Yayinevi Kurucusu ve Sahibi/Galenos
Publishing House Owner and Publisher
Erkan Mor

Genel Yayın Yönetmeni/Publication Director
Nesrin Çolak

Web Koordinatörleri/Web Coordinators
Soner Yıldırım
Turgay Akpınar

Grafik Departmanı/Graphics Department
Ayda Alaca
Çiğdem Birinci

Araştırma&Geliştirme/Research&Development
Denis Slepsov

Proje Koordinatörleri/Project Coordinators

Eda Kolkısa
Hatice Balta
Lütfiye Ayhan İrtem
Melis Kuru
Zeynep Altındağ

Proje Asistanları/Project Assistants

Esra Semerci
Günay Selimoğlu
Sedanur Sert

Finans Koordinatörü/Finance Coordinator
Sevinç Çakmak

Yayinevi İletişim/Publisher Contact

Adres/Address: Molla Gürani Mah. Kaçamak Sk. No: 21/1
34093 İstanbul, Türkiye

Telefon/Phone: +90 (212) 621 99 25 Faks/Fax: +90 (212) 621 99 27

E-posta/E-mail: info@galenos.com.tr/yayin@galenos.com.tr

Web: www.galenos.com.tr

Yayın Tarihi/Publication Date: Kasım 2017/November 2017

E-ISSN: 2149-6447

Dört ayda bir yayımlanan süreli yayındır.
The international scientific journal is published every four months.



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Amaç Kapsam

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi, Türkiye Nükleer Tıp Derneği'nin sürekli tıp eğitimi faaliyetleri kapsamında elektronik-dergi olarak yayınlanan, bilimsel içerikli resmi yayın organıdır. Derginin yayın dili Türkçedir. Mart, Temmuz, Kasım aylarında yılda 3 sayı olacak şekilde yayınlanmaktadır.

Nükleer Tıp Seminerleri dergisinin yayın hedefi uluslararası medikal yayıncılık standartları ve etik ilkelere uygun olarak nükleer tıp alanında görev yapan hekimlere, fizikçilere, radyofarmasistlere ve diğer sağlık profesyonellerine yönelik hakemli eğitim materyallerinin oluşturulmasıdır. Kanıta dayalı tıp literatürüne yansımış güncel bilgileri içeren Derleme, İlginç Olgular, Atlas ve Uygulama Kılavuzları gibi eğitim amaçlı yazılar ve görsel materyaller derginin içeriğini oluşturmaktadır.

Derginin yayın politikası Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi yönergesi kapsamında Türkiye Nükleer Tıp Derneği Yönetim Kurulu tarafından atanan bir Editör ve bir Editör yardımcısından oluşan Editörler Kurulu tarafından uluslararası tıbbi yayıncılık standartları ve etik prensiplere bağlı kalınarak belirlenir ve denetlenir. Editörler Kurulu her sayı için Nükleer Tıp çalışmaları konularından bir veya iki ana başlık belirler ve içerik planlaması ve koordinasyonu için bir konuk Editör atanır. Editörler Kurulu, konuk Editör ile birlikte alt başlıkları ve yazarları planlar. Yazıların basım öncesi denetimi ve içerik düzenlemeleri konuk Editör ve Editörler Kurulu tarafından yapılır. Konuk Editörlerin görev ve sorumlulukları (www.nukleertipseminerleri.org) internet adresinde yayınlanan Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi yönergesi ile belirlenmiştir. Çalışma gruplarının başkan ve çekirdek üyeleri Dergi Danışmanlar Kurulu'nu oluşturmaktadır. Uygulama kılavuzları için konuk Editör atanmaz.

Reklam vermek isteyen kuruluşlar Türkiye Nükleer Tıp Derneği'ne başvurmalıdır.

Dergi <http://nukleertipseminerleri.org> web sayfasında Nükleer Tıp Derneği üyelerinin ücretsiz erişimine açıktır. Nükleer Tıp Derneği'ne üye olmayanlar ise arzu ettikleri yayınları Türkiye Nükleer Tıp Derneği Yönetim Kurulu'nun belirlediği bir ücret karşılığında indirebilirler.

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



About

The Nuclear Medicine Seminars is a legal scientific publication, which is published as an electronic journal in context of continuing medical education activities of the Turkish Nuclear Medicine Society. The official language is Turkish, and it is being published three times a year, in March, July, November.

The aim for publishing the Nuclear Medicine Seminars is providing peer-reviewed educational materials in conjunction with the international medical publishing standards and ethical issues, to physicians, physicists, radiopharmacists, and other health professionals working in the field of nuclear medicine. The contents of the journal are educational and visual materials, such as Reviews that incorporates the updated information based on evidence-based medicine, Interesting Cases, Atlas and Application Guidelines.

The publication policy of the journal is determined and audited by the Editorial Board that appointed by the Board of Directors of Turkish Nuclear Medicine Society, and which includes an Editor and an Assistant Editor, according to Nuclear Medicine Seminars directives and international medical publishing standards and ethical principles. The Editorial Board determines one to two main headings from the working area of Nuclear Medicine for each issue, and appoints a guest Editor for content planning and coordination. The Editorial Board plans the sub-headings and the authors, together with the guest Editor. The reviews and content revisions are conducted by the guest Editor and the Editorial Board prior to publication. The missions and the responsibilities of the guest Editors were determined by the directives of Nuclear Medicine Seminars that issued in (www.nukleertipseminerleri.org) internet address. The Advisory Board of the journal includes the president and the core members of study groups. A guest Editor is not appointed for the application Guidelines.

The institutions willing to advertise should make an application to the Turkish Nuclear Medicine Society.

The journal is open for free-access to the members of Turkish Nuclear Medicine Society at the web page <http://nukleertipseminerleri.org>. The non-members can download the preferred content by paying a fee that determined by the Board of Directors of Turkish Nuclear Medicine Society.



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Yazarlara Bilgi

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisinde sadece Editörler Kurulu ve Konuk Editör tarafından belirlenen ve davet edilen yazılar yayınlanır. Bu sistem dışında dergiye gönderilen yazılar değerlendirilmeye alınmaz.

YAZILARIN FORMATI

"Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals: Writing and Editing for Biomedical Publications (<http://www.icmje.org>)" kurallarına göre düzenlenmelidir. Yazarlar, yayın haklarının devredildiğini belirten onay belgesini (Yazarlık, Yayın Hakkı Devri, Maddi Yardım ve Teşekkür-Kabul İzin Formu) uygun biçimde doldurarak Dergi Editörüne göndermelidir. Bu formlara dergi web adresinden (www.nukleertipseminerleri.org) ulaşılabilir. Bu belgenin tüm yazarlar tarafından imzalanarak dergiye gönderilmesi ile birlikte yazarlar, gönderdikleri çalışmanın başka bir dergiye yayınlanmadığı ve/veya yayınlanmak üzere incelemede olmadığı konusunda garanti vermiş, bilimsel katkı ve sorumluluklarını beyan etmiş sayılırlar. Dergide yayınlanan yazılar için herhangi bir ücret ya da karşılık ödenmez.

Yazarlar Derleme, İlgili Olgular, Atlas ve Uygulama Kılavuzları gibi yazıları derginin online yazı kabul sistemi üzerinden gönderirler (www.nukleertipseminerleri.org). Yazılarının telif hakkını Nükleer Tıp Seminerleri'ne bıraktıklarını bildiren onay formunu doldurmaları gereklidir. Ayrıca yayında adı olan tüm yazarlar bilimsel katkı ve sorumluluklarını ve çıkar çatışması olmadığını bildiren toplu imza ile yayına katılmırlar.

Editörler Kurulu yayın koşullarına uymayan yazıları; düzeltmek üzere yazarına geri gönderme, biçimce düzenleme veya reddetme yetkisine sahiptir. Gönderilen yazılar, editör, editör yardımcısı konuk editörün incelemesinden geçip, gerek görüldüğü takdirde, istenen değişiklikler yazarlarca yapıldıktan sonra yayımlanır. Makaleler yayınlanmadan önce intihal programı olan iThenticate ile taranmaktadır.

Nükleer Tıp Seminerleri'nin isim hakkı ve yayınlanan içeriklerin telif hakları yazarların yazılı izinleriyle Türkiye Nükleer Tıp Derneği'ne, yazılarının bilimsel ve etik sorumlulukları yazarlara aittir. Yazılar, tablolar, görseller ve diğer tüm içeriklerin kullanımı ve tıpkı basımları için Türkiye Nükleer Tıp Derneği'ne müracaat edilmelidir.

YAZIM KURALLARI

Kısaltmalar

Makalelerde kullanılan kısaltmalar uluslararası kabul görmüş şekilleriyle kullanılmalı, ilk kullanıldıkları yerde açık olarak yazılmalı ve parantez içinde kısaltılmış şekli gösterilmelidir. Örneğin, ilk geçtiği yerde, Pozitron Emisyon Tomografi (PET); biçiminde verilmelidir. İlaç adları kullanımında ilaçların jenerik adları Türkçe okunuşlarıyla yazılır. Ölçüm birimleri metrik sisteme uygun olarak verilmeli; örneğin, "mg" olarak yazılmalıdır. Nokta kullanılmamalı; ek alırsa (!) ile ayrılmalıdır. Laboratuvar ölçümleri Uluslararası Sistem (US; Système International: SI) birimleri ile bildirilmelidir.

YAZIM DİLİ

Derginin yayın dili Türkçe olup, Türkçe yazılarda Türk Dil Kurumu'nun Türkçe sözlüğü veya www.tdk.gov.tr adresi esas alınmalıdır. Makalelerin ve özetlerin, dergiye gönderilmeden önce gerek duyulduğunda, gramer kuralları yönünden profesyoneller gözden geçirilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca gönderilmiş olan makalelerdeki yazım ve dilbilgisi hataları düzeltilmektedir. Makalelerin yazım vedil bilgisi kurallarına uygunluğu yazarların sorumluluğundadır.

DERGİYE GÖNDERİLECEK MAKALE TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Nükleer Tıp Seminerleri (International Committee for Medical Journal Editors: ICMJE) hazırlanan ve yeniden düzenlenmiş 5. Baskısı 1997 yılında (International Committee of Medical Journal Editors. Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. New England Journal of Medicine, 1997; 336:309-315); kısaca "Vancouver stili" diye anılan kurallara göre düzenlenmiş yazıları yayınlar.

Makale, PC uyumlu bilgisayarlarda Microsoft Word programı ile yazılmalıdır. Makaleler sayfanın her bir kenarından 2 cm kenar boşluğu bırakılarak ve çift satır aralıklı "arial, calibri veya times new roman" yazı formatlarından biri ile yazılmalıdır. Aksi belirtilmedikçe gönderilen yazılarla ilgili tüm yazışmalar birinci isim yazarla yapılacaktır.

Derleme

Derlemeler en fazla üç yazar tarafından yazılmış olmalıdır. Türkçe başlık, Türkçe özet ve Türkçe anahtar kelimeler, İngilizce başlık, İngilizce özet, İngilizce anahtar kelimeler içermelidir. Derleme türü makalelerde özet tek paragraf olacak şekilde hazırlanmalı ve 400 kelime ile sınırlı olmalıdır. Şu alt başlıklar bulunacak şekilde bulunmalıdır; Tam metin dosyası en fazla 4000 kelime olmalı, kaynak sayısı ise 70 adedi geçmemelidir.

Giriş: Derlemenin anahtarlarını içermeli ve konuyla ilgili daha önceki çalışmalardan bahsedilmelidir.

Derleme metni: Metin başlıklar ve konularla ilgili paragraflar içerir. Her bir başlık en az bir hükme ulaşmalıdır.

Sonuç: Derlemenin konusuyla ilgili çıkarımları içeren kısa bir paragraf hazırlanmalıdır. Uygunsa, sonraki araştırmalarla ilgili önerilerde bulunulur.

İlgili Olgular

Tanı, ayırıcı tanı, klinik değerlendirme tedaviye etki açısından özellik ve bilimsel önem taşıyan, bir ya da birden çok olgunun özelliklerini sunan ve tartışan yazılardır.

Olgu sunumları; Türkçe ve İngilizce başlık, Türkçe ve İngilizce özetler, Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler (en fazla 3 kelime), Ana metin, (Giriş, Olgu Sunumu ve Tartışma bölümlerini içermelidir.), Kaynaklar, Tablo/Şekil/Resim bölümlerini içerir.

Ana metin alt başlıkları yazı içeriğinin gerektirdiği biçimde düzenlenir. Olgu sunumlarının Giriş ve Tartışma kısımları kısa ve öz olmalı, özet kısmı tek paragraf

olacak şekilde en fazla 150 kelime olacak şekilde hazırlanmalıdır. Bölümlendirilmiş özet hazırlanmasına gerek yoktur. Olgu sunumlarının ana metin bölümü (başlık sayfası, kaynaklar, tablo/şekil/resim hariç) 1000 kelimeyi kaynak sayısı 10'ı geçmemelidir.

Atlas

Tanı, ayırıcı tanı, klinik değerlendirme ve tedaviye etki açısından özellik ve önem taşıyan belirli bir konuya, lezyona veya antiteye odaklanmış güncel ve bilimsel önem taşıyan yazılardır.

Atlas sunumları; Türkçe ve İngilizce başlık, Türkçe ve İngilizce özetler, Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler (en fazla 3 kelime), Ana metin, (Giriş, Olgu Sunumları ve Tartışma bölümlerini içermelidir.), Kaynaklar, Tablo/Şekil/Resim bölümlerini içerir.

Ana metin alt başlıkları yazı içeriğinin gerektirdiği biçimde düzenlenir.

Atlasların Giriş ve Tartışma kısımları kısa ve öz olmalı, özet kısmı tek paragraf olacak şekilde en fazla 150 kelime olacak şekilde hazırlanmalıdır. Atlasların ana metin bölümü (başlık sayfası, kaynaklar, tablo/şekil/resim hariç) 2000 kelimeyi kaynak sayısı 20'yi geçmemelidir.

Uygulama Kılavuzu

Türkiye Nükleer Tıp Derneği çalışma grupları tarafından Nükleer Tıp görüntüleme ve tedavileri konusunda hekimlere ve sağlıkçılara yol göstermek, metodolojiyi tanımlamak, bu uygulamaların doğru ve standart bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla hazırlanır.

Çalışma grubunun her üyesi kılavuzun yazarlarından biridir. Çalışma grubunun başkanı tarafından kılavuz metninin oluşturulmasında görev verilen üyelerinin isimleri başa yazılır, diğer üyeler yazar listesine alfabetik sıra ile yer alırlar.

Kılavuzlar "SNM/EANM Guideline for Guideline Development 6", Delbec K, Chiti A, Christian P, et al. JNM 2012;40:1-7" de tanımlanan formata göre hazırlanır. Türkçe ve İngilizce W, Türkçe ve İngilizce özetler, Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler (en fazla 3 kelime) tanımlanmalıdır. Ana metin; giriş, amaç, tanımlar, endikasyonlar, hasta hazırlığı, radyofarmasötik, uygulama, radyasyon güvenliği, kaynaklar, Tablo/Şekil/Resim bölümlerini içerir.

Kaynaklar

Kaynaklar ana metindeki geçiş sırasına göre numaralanır ve metinde, tablolarda, tablo ya da şekil dipnotlarında parantez içinde gösterilir. Her kaynak, tüm yazar adları eklenerek sıralanabilir. Kaynak sayfa numaraları açık olarak yazılmalıdır. Kaynakların yazımında, aşağıdaki örnekler dikkate alınır. Burada örneği verilmemiş kaynakların yazım kuralları için "Ortak kurallar"a başvurulur. Dergi adları Index Medicus'taki biçime göre kısaltılır; burada bulunamayan bir dergi ise, kısaltılmadan yazılır. Dergi listesi A.B.D. Ulusal Tıp Kütüphanesi (USA-NLM; National Library of Medicine) web sitesinden (<http://www.nlm.nih.gov>) elde edilebilir.

Kaynakların ağırlıklı olarak son yıllarda yayımlanmış olanlardan seçilmesi önerilir.

Kaynakların doğruluğundan yazar(lar) sorumludur.

Dergi: Yazar A, Yazar B, Yazar C. Makalenin başlığı. Dergi adının kısaltılması 2011;4:25-27.

Kitap: Yazar A, Yazar B, Yazar C. Bölüm başlığı. In: Kitabın adı. Kaçınç baskı olduğu.

Editörler Editör A, Editör B, Editör C. Yayınlanma yeri: Yayınevi; 2011. sayfa. 25-27.

Kaynak yazımı için örnekler:

Dergi Yazıları:

Dergi: Soukup V, Dušková J, Pešl M, et al. The prognostic value of t1 bladder cancer substaging: a single institution retrospective study. Urol Int 2014;92:150-156.

Yazar kurum ise: The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing: Safety and performance guidelines. Med J Aust 1996;164:282-284.

Ek sayı: Goodman WK, McDougle JC, Price LH. Pharmacotherapy of obsessive compulsive disorder. J Clin Psychiatry 1992;53(Suppl 14):29-37.

Kitaplar

Kitap yazar(lar) kişi ise: Jacobson E. The Self and the Object World. 2nd Edition. New York: International Universities Press; 1964.

Kitap yazar kurum ise: Institute of Medicine (US). Looking at the Future of the Medicaid Program. Washington: The Institute; 1992.

Kitap bölümü: Phillips SJ, Whisnant JP. Hypertension and stroke. Laragh JH, Brenner BM, editörler. Hypertension: Pathophysiology, Diagnosis, and Management içinde. 2. Baskı. New York: Raven Press; 1995; s. 465-478.

Çeviri kitap: Amerikan Psikiyatri Birliği. Mental Bozuklukların Tanısal ve Sayımsal El Kitabı. 4. Baskı. Koroğlu E, çev. editör. Ankara: Hekimler Yayın Birliği; 1995.

Şekil, Tablo ve Grafikler

Şekil ve tablo seçiminde dikkatli karar verilmelidir. Derleme ve orijinal araştırmalar için en fazla 4 adet, olgu sunumları için 2 adet şekil/tablo kabul edilecektir. Tüm resimler// "Şekil" olarak adlandırılmalı ve metin içinde numaralandırılmış olarak belirtilmelidir. Şekiller tanımlayıcı bir başlık ve açıklama içermelidir. Ana metinde bulunmayan ve şekillerde kullanılan tüm kısaltmalar, şekil açıklamalarında tanımlanmalıdır. Özelliği olan bir yazıda dörtlük daha fazla şekil/tablo olması gerekiyorsa bu durumda yazar, Editörler Kuruluna bunu bildirmelidir. Bütün tablo ve şekillere metin içinde atıf yapılmalıdır.

Her bir tablo ayrı sayfaya basılarak, metin içinde geçtiği sıraya göre numaralandırılır. Her tablonun bir başlığı bulunur ve gerektiğinde (örneğin, tabloda geçen kısaltmalar) tablo altına açıklamaları yazılır. Her bir tablo ana metne başvurma gereği doğurmayacak biçimde anlaşılır olmalıdır.

Daha önce yayımlanmış bir şekil veya tablo kullanılmak istenirse, yazarlardan çizimlerin temin edilmesi ve kaynağın tüm detaylarının bildirilmesi gereklidir. Şekil üretimi için yayınevi izni araştırması yapılacaktır. Şekil ve çizimlerin ilgili izinlerinin alınmasından yazarlar sorumludur.

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ



Intructions to Authors

Nuclear Medicine Seminars

Only the manuscripts that determined and invited by the Editorial Board and the Guest Editor are published in Nuclear Medicine Seminars. The other manuscripts that sent to the journal out of this concept are not taken into consideration.

The format of the manuscripts should be constructed according to "Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals: Writing and Editing for Biomedical Publications (<http://www.icmje.org>)" regulations. The authors should also complete a consent form properly for delivering the publication rights (Authorship, Delivery of Publication Rights, Financial Aid, and Acknowledgements-Consent Permission Form), and send the form to the journal Editor. These forms can be reached from the journal's web address (www.nukleertipseminerleri.org). By signing this document, all authors guarantee that the manuscript has not been published previously and/or under assessment for publishing in a journal, and declare their scientific contribution and responsibility on the manuscript. No fee or provision is paid for the manuscripts that published in the journal. The authors send the Reviews, Interesting Cases, Atlas and Application Guidelines by the online submission system of the journal (www.nukleertipseminerleri.org). They should also complete the approval form, which states that they delivered the copyrights to the Nuclear Medicine Seminars. Also, all authors must participate to the manuscript by signing for their scientific contribution and responsibilities, and they do not have conflict of interest on the manuscript.

The Editorial Board has right to organize, send back to the author, arrange the format, or refuse the manuscript in cases when the manuscript do not comply with the publication requirements. The manuscripts are published after the reviews of the Editor, Assistant Editor, and Guest Editor, and after completion of the necessary revisions, if there is any, by the authors. The manuscripts are being evaluated prior to publication by the plagiarism detection software, iThenticate.

The royalty of the Nuclear Medicine Seminars, and the copyrights of the published content that delivered by the written permissions of the authors, are belonged to Turkish Nuclear Medicine Society, and the scientific and ethical responsibilities of the manuscripts are belonged to the authors. An appeal to the Turkish Nuclear Medicine Society is necessary for using and copying of the manuscripts, tables, visual materials, and all remaining content.

RULES FOR WRITING

Abbreviations

The abbreviations that used in the manuscripts should be used according to their internationally accepted styles, should be written in unabbreviated forms and should be written as abbreviated in parenthesis at the first place in manuscript. For example, Positron Emission Tomography (PET) should be used in the first mention. If the drug names are used, the generic names should be written in Turkish pronunciation. The measurement units should be in metric scales, e.g. "mg". A period should not be used, and the attachments should be separated by (). The laboratory values should be reported by International System (Système International: SI) units.

LANGUAGE

The publication language of the articles is Turkish, and Turkish manuscripts should be based on the Turkish Dictionary or the www.tdk.gov.tr/web page of the Turkish Language Society. If necessary, the manuscripts and the abstracts should be reviewed professionally for grammatical rules prior to submitting to the journal. Also, the typos and grammatical errors in the submitted manuscripts are being corrected. The appropriateness of the manuscripts to writing and grammatical rules are in responsibility of the authors.

ARTICLE TYPES AND PROPERTIES

Nuclear Medicine Seminars publishes the manuscripts that prepared in conjunction with the rules of International Committee for Medical Journal Editors: ICMJE, 5th edition, which was published in 1997 (International Committee of Medical Journal Editors. Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. New England Journal of Medicine, 1997; 336:309-315), and which is called shortly as "Vancouver Style". The articles should be written in PC based computers with Microsoft Word software. There should be 2 cm of space in both sides of the page, double line-spacing, and the font should be "Arial, Calibri, or Times New Roman". All of the correspondence for the articles should be made to the first author, unless otherwise stated.

Reviews

The reviews should be prepared by a maximum of three authors. It should contain Turkish title, Turkish abstract, Turkish keywords, English title, English abstract, and English keywords. The abstract should be one paragraph in reviews, and should not exceed 400 words. It should consist the following sub-headings:

The full-text should be maximum 4000 words, and the number of the references should be maximum 70.

Introduction: It should contain the mainframe of the review, and it should mention the previous work on the subject.

Review body: Text should include headings and paragraphs related to the subject. Each heading should reach to a conclusion.

Conclusion: A brief paragraph should be prepared to include the outcomes about the subject of the review. If appropriate, it should make recommendations for the future studies.

Interesting Cases

These are the manuscripts that present and discuss the properties of one or more cases, which have scientific importance for diagnosis, differential diagnosis, clinical evaluation, and treatment.

Case reports: These include Turkish and English titles, Turkish and English abstracts, Turkish and English keywords (maximum 3 words), Main text (which contains Introduction, Case Report, and Discussion), References, and Tables/figures/images.

Sub-headings of the main text should be arranged according to the content of the manuscript.

The Introduction and Discussion sections of the case reports should be brief, and the abstract should be one paragraph with a maximum of 150 words. It is not necessary to prepare structured abstract. The main text of the case reports (excluding title page, references, tables/figures/images) should not exceed 1000 words, and number of the references should not exceed 10.

Atlas

These are the texts that focused on a specific issue, lesion, or entity, which has recent or scientific importance for diagnosis, differential diagnosis, clinical evaluation, and treatment.

Atlas presentations: These include Turkish and English titles, Turkish and English abstracts, Turkish and English keywords (maximum 3 words), Main text (which contains Introduction, Case Report, and Discussion), References, and Tables/figures/images.

Sub-headings of the main text should be arranged according to the content of the manuscript.

The Introduction and Discussion sections of the atlases should be brief, and the abstract should be one paragraph with a maximum of 150 words. The main text of the case reports (excluding title page, references, tables/figures/images) should not exceed 2000 words, and number of the references should not exceed 20.

Application Guideline

These are prepared by the workgroups of Turkish Nuclear Medicine Society for the physicians and health professionals for guidance, defining the methodologies, and providing accurate and standardized applications about the imaging and treatment options of Nuclear Medicine.

Each member of the workgroup is also an author of the guideline. The names of the members, who were recruited for the preparation of the guideline, are presented in first order, and the names of the remaining members are presented in alphabetical order afterwards.

The guidelines are prepared according to the format that described in "SNM/EANM Guideline for Guideline Development 6", Delbec D, Chiti A, Christian P, et al. JNMT 2012;40:1-7. They include Turkish and English titles, Turkish and English abstracts, Turkish and English keywords (maximum 3 words). Main text should contain Introduction, Aim, Definitions, Indications, Patient Preparation, Radiopharmaceuticals, Application, Radiation Safety, References, and Tables/figures/images.

References

References are numbered according to the order in the text, and presented in parenthesis in the text, tables, and footnotes of tables and images. Each reference may be ordered by mentioning all of the author names. The page numbers in references should be mentioned clearly. The following samples should be taken into consideration for the references. The "Common Rules" are applied for the references without samples. The names of the journals should be abbreviated according to Index Medicus; and unabbreviated names should be used for the journals which are not listed. The list of the journals can be obtained from the webpage (<http://www.nlm.nih.gov>) of the National Library of Medicine of USA.

It is recommended to choose the references from the publications in recent years.

The accuracy of the reference(s) is in the responsibility of the authors.

Journal: Author A, Author B, Author C. Title. Abbreviated Name of the Journal 2011;4:25-27.

Book: Author A, Author B, Author C. Chapter Title. In: Name of the Book. Edition Number. Editors Editor A, Editor B, Editor C. Place of Publication: Publisher; 2011. Pages. 25-27.

Samples for references

Journal Articles

Journal: Soukup V, Dušková J, Pešl M, et al. The prognostic value of t1 bladder cancer substaging: a single institution retrospective study. Urol Int 2014;92:150-156.

Institution as the Author: The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing: Safety and performance guidelines. Med J Aust 1996;164:282-284.

Supplement: Goodman WK, McDougle JC, Price LH. Pharmacotherapy of obsessive compulsive disorder. J Clin Psychiatry 1992;53(Suppl 14):29-37.

Books

Person as the Author(s): Jacobson E. The Self and the Object World. 2nd Edition. New York: International Universities Press; 1964.

Institution as the Author: Institute of Medicine (US). Looking at the Future of the Medicaid Program. Washington: The Institute; 1992.

Book Chapter: Phillips SJ, Whisnant JP. Hypertension and stroke. Laragh JH, Brenner BM, editors. Hypertension: Pathophysiology, Diagnosis, and Management içinde. 2. Baskı. New York: Raven Press; 1995; s. 465-478.

Translation: Amerikan Psikiyatri Birliği. Mental Bozuklukların Tanısal ve Sayımsal El Kitabı. 4. Baskı. Köroğlu E, çev. editörü. Ankara: Hekimler Yayın Birliği; 1995.

Figure, Table, and Illustrations

Figures and tables should be selected carefully. A maximum of 4 figures/tables should be allowed for reviews and original articles, and 2 figures/tables should be allowed for case-reports. All images should be named as "Figure" and should be cited numerically in the text. Figures should have a descriptive title and explanation. All abbreviations which are not in the main text, and only in the figures, should be defined in the figure explanations. If more than 4 figures/tables are needed in a specified manuscript, authors should inform Editorial Board about it. All tables and figures should be cited in the text.

Each table should be printed on separate pages, and numbered according to the order in the text. Each table should have a title and footnotes, if necessary (e.g. abbreviations in the tables). Each table should be exploratory enough that there should be no need to check the text.

If a previously published figure or table is going to be used, all illustrations and all details of the references should be provided by the authors. Publisher permission will be sought for the production of the figures. The required permissions for the figures and illustrations are in responsibility of the authors.



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Editörden/Editorial

Değerli Meslektaşlarım,

Günümüze kadar Dünya genelinde çoğunluğu nükleer reaktörlerde, radyoaktif izotop üretim tesislerinde ve radyoaktif maddelerin taşınması sırasında olmak üzere pek çok radyasyon kazası gerçekleşmiştir. Ancak tüm Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de radyasyon kazalarının büyük kısmı endüstriyel radyolojide veya tahribatsız tanı (non-destructive testing) amacı ile kapalı radyoaktif kaynakların kullanımı sırasında, çok az bir kısmı ise medikal uygulamalarda gerçekleşmektedir.

Genel olarak radyasyon kazazedelerinin çok azında Akut Radyasyon Sendromu geliştiği ve acil tıbbi müdahaleye ihtiyaç duyduğu değerlendirilmekle birlikte, internal kontaminasyon ve bunun sonucunda inkorporasyona bağlı olarak olaydan yıllar sonra olumsuz sağlık etkileri ile karşılaşılacağından bazı olgularda acil tıbbi müdahaleye gereksinim duyulabileceği bilinen bir gerçektir. Öte yandan radyoaktif madde bulunan bina ve tesislerin yangınlarında, radyoaktif maddelerin kullanıldığı terör olaylarında veya radyoaktif maddelerin kara veya hava yolu ile taşınması sırasında oluşabilecek kazalara müdahale sırasında, acil müdahale ekipleri ve ilk yardım görevlilerinin de potansiyel olarak radyasyona maruz kalma olasılığı da mevcuttur.

Bu amaçla Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Tıp Fakültesi (eski adı ile Gülhane Askeri Tıp Akademisi ve Askeri Tıp Fakültesi) Nükleer Tıp Anabilim Dalı'ndan öğretim üyesi personel, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ile birlikte Uluslararası Atom Enerjisi'ne sunulan proje kapsamında, Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, Oak Ridge, ABD'de "Radyasyon Kazalarında Acil Müdahale, Tıbbi Bakım Planlaması ve Medikal Tedavi" konusunda teorik ve pratik eğitim almıştır. Gülhane Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, TAEK ile 2007 yılında imzalanan işbirliği protokolü kapsamında, halen Radyolojik/Nükleer Acillerde TAEK'e tıbbi danışmanlık hizmeti vermeye devam etmekte ayrıca Tıbbi Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Bilim Dalı Başkanlığı'nın eğitim ve öğretim faaliyetlerine de bilimsel destek vermektedir.

Özellikle iyonlaştırıcı radyasyon ile çalışan medikal personelin ilgisini çekeceğini düşündüğüm, "Radyolojik-Nükleer Acillerde Hazırlık ve Hasta Yönetimi" başlıklı bu sayının oluşmasında katkıda bulunan ve deneyimlerini paylaşan tüm yazar arkadaşlarıma en derin teşekkürlerimi sunuyorum.

Saygılarımla

Prof. Dr. Nuri Arslan

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

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



Editörden/Editorial

Değerli Meslektaşlarım,

"Bilgisayar ekranında, televizyonda radyasyon var mı?" "Duman dedektörleri çok tehlikeli, radyasyon yayıyor" "Hava limanında kontrolden geçerken radyasyon alıyor muyuz?" "Cep telefonlarından çok korkuyorum!" gibi cümleler toplumun "radyasyon" kavramına yaklaşımını özetliyor. Burada kastedilen ve korkulan iyonizan radyasyon elbette.

Geçen yüzyılın başında akne tedavisinden güzellik kremlerine kadar birçok preparatta ve alette kullanılan radyasyonun zaman içinde yol açtığı biyolojik ve çevre sorunları bilimsel olarak saptansa da halk nezdinde korkulu rüya olması Japonya'ya atılan atom bombalarından sonrasına denk gelmektedir. Ardından gelen iki kutuplu soğuk savaş döneminde, sürekli gündemde tutulan nükleer savaş tehdidi altında yaşayan insanlık için "Nükleer ve radyasyon" kelimeleri yok oluş ve dünyanın sonu ile eşdeğerdir. Öte yandan nükleer enerjinin ve iyonizan radyasyonun yol açtığı yıkımın boyutunun görülmesi, sağlık sektörü ve endüstri gibi sivil kullanım alanlarında standardizasyon, yoğun denetim ve eğitimin zorunlu kılınmasına yol açmıştır.

Günümüzde ulusal ve uluslararası kuruluşlar ve anlaşmalar gereğince radyasyonun insan ve çevreye zararının minimuma indirecek düzeyde kullanımı karara bağlanmış, sürekli denetim altına alınmıştır. Aslında meslek gereği radyasyon veya radyoaktif maddelerle çalışılan iş yerlerinde eğitim, korunma ve periyodik tıbbi takip kanun ve yönetmeliklerle zorunlu tutulduğundan, buralarda çalışan bireylerde ihmal veya kaza gibi nedenler dışında radyasyondan kaynaklanabilecek sağlık problemleri minimal düzeydedir.

Nükleer tıp uygulamaları, açma-kapama düğmesi ile kontrol edilemeyen "açık radyoaktif kaynaklar" ile çalışıldığı için insan kaynaklı hatalara açık uygulamalardır. Bu nedenle nükleer tıp uzman ve teknikerlerinin, radyofarmasistlerin olası bir kaza veya bulaş durumunda ne yapılması gerektiğini bilmeleri önemlidir. Ayrıca radyasyonla çalışan bireyler olarak bizler olası bir radyasyon kazasında veya nükleer terör olayında acil eylem planında ilk görev alacak sağlık çalışanları olduğumuzdan bu konularda donanımlı olmamız gerekmektedir. Bu açıdan dergimizin 2017 yılı son sayısını "Radyolojik-Nükleer Acillerde Hazırlık ve Hasta Yönetimi" konusuna ayırdık. Konuk editör Dr. Nuri Arslan'a ve birbirinden değerli davetli yazarlarımıza, yoğun iş tempolarından vakit ayırarak bizimle paylaştıkları deneyimleri ve görüşleri için çok teşekkür ediyorum. Bu sayıda temel radyasyon fiziğine ek olarak nükleer kazalar, acil tıbbi triyaj, internal ve eksternal kontaminasyonda yapılacaklar vb. acil durum uygulamaları konunun uzmanları tarafından toparlanmıştır. Radyasyonla ilgili acil eylem planı gündeme geldiğinde mutlaka başvurulması gereken bu dokümanları dergimizde yayınlamaya daha çok kişiye ulaştırmayı amaçladık. İlginizi çekeceğini ümit ediyorum.

2017 yılının son sayısı ile bir yayın döneminin de sonuna geldik. Başta Türkiye Nükleer Tıp Derneği yöntemi olmak üzere emeği geçen herkese teşekkür ediyorum. 2018 yılında yayınlanacak sayıların konuları ve yazarları şimdiden belirlendi. Bu sayı ile 3. yılını tamamlayan Nükleer Tıp Seminerleri dergisinde yeni konular ve yazarlarla buluşmak umuduyla saygılarımı sunarım.

Saygılarımla

Dr. Zeynep Burak

Editör

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine



Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları

Natural and Artificial Radiation Sources and Personal Dose Additives

Tuğba Hacıosmanoğlu

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

Öz

Radyasyon hareket halindeki enerji olarak tanımlanır. Evrenin oluşumundan itibaren bütün yaşayan canlılar ve bizler radyasyona az veya çok seviyede maruz kalmaktayız. Havada, tükettiğimiz gıdalarda ve içeceklerde doğal olarak radyoaktivite vardır. Güneş ışınları radyasyonun en bilinen formudur. Birçok insan hayatı boyunca doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyon kaynaklarından da etkilenmektedir. Yapay radyasyon kaynakları gerek medikal gerek mesleki olsun hayatımızda çok yer kaplamaktadır. Birçoğumuz için de radyasyon kaynaklarını içeren ürünlerin kullanımından kaynaklanan doz maruziyeti söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, radyasyon kaynakları, radyasyon maruziyeti

Abstract

Radiation is defined as the energy in motion. Since the creation of the universe, all living creatures and humans are exposed to radiation in more or less levels. There is radioactivity naturally in the air, in the foods we consume, and in beverages. Sunshine is one of the most familiar forms of radiation. Many people are affected by natural radiation as well as artificial radiation sources throughout their lives. Artificial radiation sources take up a lot of our lives, either medical or vocational. For many of us, there is a dose exposure caused by the use of products containing radiation sources.

Keywords: Radiation, sources of radiation, radiation exposure

Doğal Radyasyon

Radyasyon doğanın bir parçasıdır. Güneş en çok bilinen doğal radyasyon kaynağıdır. Radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay kaynaklar olarak sınıflandırabiliriz. Maruz kaldığımız radyasyonun %88'i doğal kaynaklardan oluşur (Şekil 1) (1).

1955 yılında kurulan ve atmosferde gerçekleştirilen nükleer silah testlerinden kaynaklanan radyoaktif serpentinin potansiyel sağlık etkilerini değerlendirmek üzere çalışmalarını yürüten Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre doğal radyasyon 4 ana başlıkta incelenmektedir (2):

- Kozmik radyasyon.
- Karasal radyasyon (terrestrial).
- Solunan radyasyon (inhalasyon).
- Yiyeceklerle alınan radyasyon (ingestion).

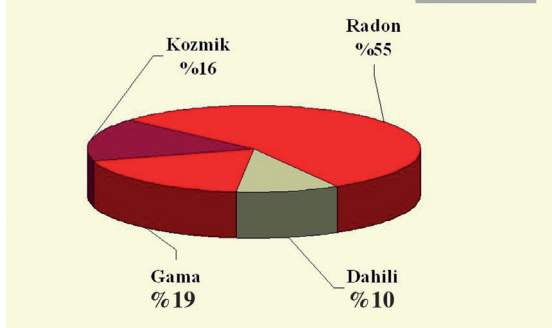
Kozmik radyasyon: Kozmik ışınlar; dünyamızın dış atmosferine belli miktarda ulaşan yüksek enerjili protonlar olarak tanımlanabilir. Dünyamız ve yaşayan tüm canlılar bu enerji ile sürekli ışınlanmaktadır. Kozmik radyasyon; protonlar, alfa parçacıkları elektronlar ile yüksek enerjili diğer parçacıkların karışımıdır. Neredeyse ışık hızına yakın hızla ve tüm yönlerden dünyayı ışınlarlar. Atmosfer, dünya yüzeyine doğru salınan kozmik radyasyonu engelleyici ve büyük

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Tuğba Hacıosmanoğlu, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

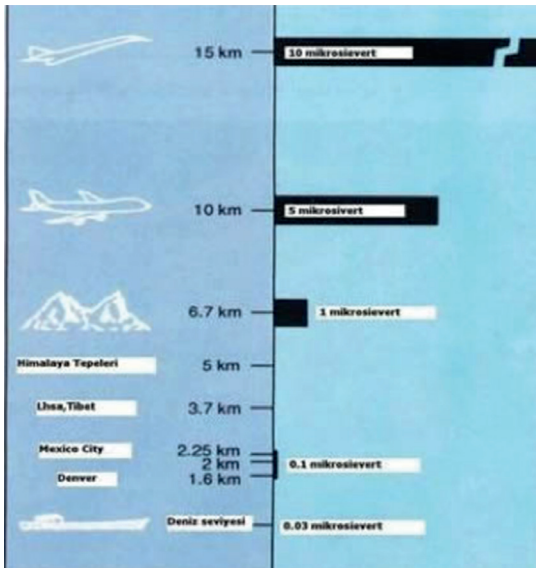
E-posta: tubiki76@yahoo.com.tr **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-2006-8817

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



Şekil 1. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

oranda azaltıcı bir koruyucu katman olarak görev yapar. Kozmik radyasyonun dünyamızla etkileşimi sonucunda radyasyon yağmuru şeklinde bir manyetik alan oluşur. Bu alan, dünyanın manyetik alanındaki değişiklikler sebebiyle farklı düzeyde etkiler oluşturur (3). UNSCEAR, yer seviyesindeki kozmik ışınlardan kaynaklanan yıllık etkin dozu, enlem ve yükseklikteki değişimi dikkate alarak ortalama 0,4 mSv civarında hesaplamıştır (4). Bu değer Amerika kıtası için yıllık 0,3 mSv olarak hesaplanmıştır (2). Dağ tepesinde ya da havada yol almak, deniz seviyesinde bulunmaya oranla daha fazla radyasyona maruz kalmaya sebeptir. Bir pilot uçuş süresi boyunca deniz seviyesinde çalışan insanın maruz kalacağı radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyona maruz kalacaktır (5). Günlük yaşantımızda kozmik ışınlar sebebiyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıldır (Şekil 2) (5).



Şekil 2. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

Karasal radyasyon (radon, terrestrial): Dünya oluşumu sırasında birçok radyoaktif maddeden meydana gelmiştir. Bu andan itibaren kısa yarı ömürlü olanlar tükenirken oldukça uzun yarı ömürlü olanlar kalmış olup doğal olarak oluşan bu radyonüklidler; uranyum, toryum ve onların bozunum ürünlerini örneğin; radonu içerir. Dünyamızda yerkabuğunda yaygın ve fazla miktarda bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra-226) bozunması sırasında salınan "radon gazı" doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli sebeplerden biridir. Kayalarda ve toprakta bulunan bu doğal radyoaktif materyal bir insanın yıllık olarak alacağı bütün radyoaktif kaynak dozlarının toplamının (doğal+yapay) %8'ini oluşturmaktadır (6). Radon soygaz olduğu için (soygaz=kimyasal olarak hiç bir tepkimeye girmeyen gaz) topraktan havaya salınır. Salınma sonucu seyrelirse sorun yoktur. Tablo 1'de bazı bölgelere ait doğal radyasyon doz seviyeleri verilmiştir.

Radon gazı dünya atmosferinin doğal parçasıdır. Radon gazı dışında doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı etkisi yoktur. Radon gazı birikiminin zararlı etkilerinin önlenmesi için binaların iyice havalandırılması gerekmektedir. Binalarda ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler nedeniyle binalardaki radon yoğunluğu bina dışına göre yüksek olabilmektedir. Bu yoğunluk yerel jeolojik yapıya, ülkelerdeki coğrafi değişikliklere ve hatta binadan binaya farklılıklar gösterir. Dünya genelinde radon bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir (4). Coğrafi değişiklikler nedeniyle alınan etkin dozun farklılık göstermesi nedeniyle, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu tarafından dünya genelinde radon gazı nedeniyle alınan doz düzeyinin düşürülmesi maksatlı enlem düzeylerinin (Bqm-3) kullanılması tavsiye edilmiştir (4). Bu enlem düzeyleri genellikle evlerdeki radon değişiminin ortalama değerinin on katı olan 200-600 Bq/m³ aralığında olmalıdır (4). Yaşadığı ortamda yüksek

Tablo 1. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri

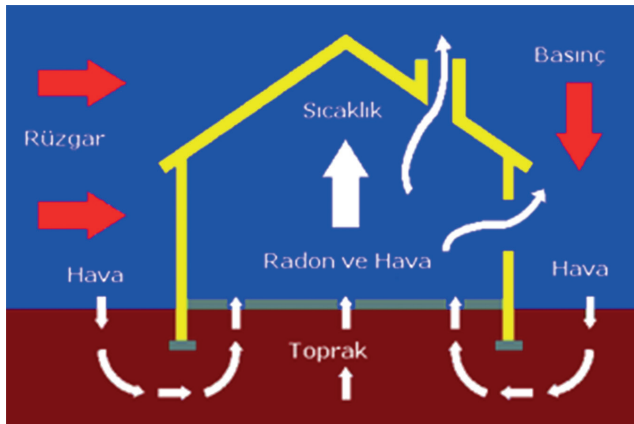
Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Iğdır	0,88 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl
Kars	1,58 mSv /yıl
Hindistan (Kerala)	15,80 mSv/yıl
İran (Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Brezilya	788,40 mSv/yıl

düzye radon seviyesi tespit edilen kişiler için yerden hava girişini engellemek uygun bir çözümdür. Bunun için bina altındaki basıncın azaltılması gerekmektedir. Bazı bölgelerdeki evlerde radon gazı nedeniyle maruz kalınan doğal radyasyon dozu önemli ölçüde yüksek olabilmesine karşın bahsedilen önlemlerin alınarak dozun azaltılması sağlanabilir. Bu önlemlere ek olarak yeni inşa edilen binalarda yüksek gaz konsantrasyonundan kaçınmak mümkün olabilir (Şekil 3).

İnsanların çoğunun kapalı alanlarda, ofislerde, okullarda artan doğal radyasyon seviyesi nedeniyle günlük doz değeri seviyesinde artış gözlenmektedir. Bu değer yıllık yaklaşık 5 mSv'dir (4). Binaların ısıtılıp soğutulması nedeniyle binalarda bulunan radon gazı seviyesi de değişiklik göstermektedir.

Solunan radyasyon (inhalasyon): Radyoaktif materyaller toprakta, suda ve besinlerde de bulunmaktadır. Uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleri hemen hemen her yerdedir. Bu maddelerden bazıları yiyecek ve su ile vücuda alınırken radon gibi diğer radyoaktif maddeler yukarıda anlatıldığı gibi soluma yoluyla vücuda girerler. Fosil yakıtlar radyoaktif elementler içerir. Bu tür elementler yakıt içinde iken tehlikesizdir. Ancak yakıldıklarında atmosfere yayılır toprağa döner ve doğal radyasyon düzeyinde bir artışa neden olurlar. Doğada bulunan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınının da katkısıyla topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıldır (5).

Yiyeceklerle alınan radyasyon: Tüm kozmik, karasal radyasyon ve radon katkısının yanı sıra insan vücudunda DNA molekülünün önemli bir parçası olan potasyum-40 ve karbon-14 doğal radyoaktif element olarak bulunmaktadır. Ayrıca K-40 ve C-14 elementlerini



Şekil 3. Radonun ev ortamına giriş yolları

<http://www.populermidikal.com/saglikguvenlik/images/>

bir çok yiyecek de vücudumuza almaktayız. Bir çok besinde yüksek miktarda bulunan bunlar gibi radyoaktif elementlerin insan vücudundaki düzeyleri yaşanan bölge ve beslenme alışkanlığına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler nedeniyle bir yıl boyunca maruz kaldığımız iç ışınlanma dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv'dir (5). Bitkisel ve hayvansal gıdalarla vücudumuza yaklaşık olarak ortalama 40 Bq/kg'lık bir aktivite almaktayız (4). Bir insan vücudunda bulunan radyoaktif izotop miktarları Tablo 3'te belirtilmiştir.

Doğal radyasyondan kaynaklanan toplam ortalama yıllık etkin doz yaklaşık 2,4 mSv'dir (Tablo 4). Ancak dozlar büyük ölçüde değişebilir (4). Bazı ülkelerdeki ulusal doz ortalamaları yıllık 10 mSv'nin üzerindedir ve bazı bölgelerde genellikle radonun bozunum ürünlerinin yüksek düzeyde olduğu binalar nedeniyle kişisel dozlar yılda 100 mSv'yi aşabilir (4).

Yapay Radyasyon

Toplumsal ve teknolojik gelişmeler nedeniyle insanoğlu bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla

Tablo 2. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları

Yiyecek	Bq/500 gr
Kırmızı et	56
Havuç	63
Patates	63
Muz	65
Lima fasulyesi	86
Brezilya fıncığı	103

Handbook of Radiation Measurement and Protection, Brodsky, A. CRC Press 1978

Tablo 3. Yetmiş kilogram ağırlığındaki bir insan vücudundaki radyoaktif izotop miktarları

İzotop	Radyoaktivite miktarı(Bq)
Uranyum	2,32
Toryum	0,213
Potasyum-40	4,0
Radyum-226	1,13
Karbon-14	3,7
Trityum	234
Polonyum-210	403,5

ICRP-23, UNSCEAR 2000, ICRP-30

üretmiştir. Günümüzde toplam radyasyon maruziyetinin %21'i yapay kaynaklardan gerçekleşmektedir (7). Gelişmiş ülkelerde yapay radyasyon kaynaklarından olan radyasyon maruziyetinin %50 kadarını medikal görüntüleme oluşturmaktadır (7). Yapay radyasyon alanlarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Tıbbi kaynaklar.
- Nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpiniler.
- Nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler.
- Tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler.

Yapay radyasyon kaynaklarından olan ışınlanmanın büyük çoğunluğunu medikal uygulamalar oluşturmaktadır. En yaygın olan tanısal radyoloji adıyla bilinen X-ray grafilerdir. Radyasyon kaynaklarına göre alınan dozun dağılımı ise Tablo 5'te verilmiştir.

X ışını tetkiklerinde cihazın ürettiği radyasyon kemik ve yumuşak dokularda farklı yoğunluklarda nüfuz eder ve film üzerinde yapısal bilgi verecek olan görüntü oluşur. En çok X ışını ile film çekilen bölge olan göğüs filminde alınan doz ortalama 0,1 mSv'dir (4). Tablo 6 ve Tablo 7'de radyolojiye ait hasta dozları verilmiştir. Radyolojik tetkikler arasında en fazla doz veren tetkik girişimsel

radyolojidir. Bu işlemde hekim, hastanın organını işlem sırasında görebilmek için hastaya sürekli X ışını verir. Bu işlem sırasında hastaya 10-100 mSv arasında doz verilir (4), dikkat edilmezse cerrah içinde yüksek doz riski mevcuttur.

Nükleer tıp tetkiklerinde vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili tetkikler yapılır. Tanı ve tedavi olarak ayrılan bu işlemlerden tanı amaçlı uygulamada; hastaya enjeksiyon yoluyla farmasötik gibi bir taşıyıcıya bağlanmış gama ışını yayan radyonüklid verilir. Dedektör olarak gama kameralar kullanılarak radyofarmasötüğün hareketi izlenir. Tedavi amaçlı kullanılan radyonüklidlerde hastaya çok daha yüksek aktivite ve organ ya da dokuya çok daha yüksek dozlar verilir (Tablo 8).

Kanserli hücrelerin tedavi edildiği bir diğer alan olan radyoretapide, yüksek enerjili X ışınları yada Co-60 gibi gama ışını yayan radyoaktif maddeler kullanılır. Radyasyon Onkolojisinde etkin tedavi için radyolojide alınan radyasyon dozunun binlerce katı değerinde radyasyon dozuna (kanser türüne göre 60,000 mSv'ye kadar çıkabilir) ihtiyaç duyulur (5). Radyasyon onkolojisinde dokular için öngörülen dozlar birkaç haftalık periyotta normal olarak fraksiyonlar halinde genellikle 20-60 Gy arasında verilir (4).

Tablo 4. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin dozlar

Kaynak	Dünya ortalaması Doz (mSv)	Doz aralığı Doz (mSv)
Kozmik radyasyon	0,4	0,3-1,0
Gama radyasyonu	0,5	0,3-0,6
Radon solunumu	1,2	0,2-10
İç ışınlanma	0,3	0,2-0,8
Toplam (yaklaşık)	2,4	1,0-10

UNSCEAR 2000 yılı raporu

Tablo 5. Dünya nüfusunun tüm radyasyon kaynaklarından aldığı yıllık ortalama doz (4,8)

Kozmik ışınlar	0,4 mSv
Gama ışınları	0,5 mSv
İç ışınlanma	0,3 mSv
Radon	1,2 mSv
Tıbbi ışınlanma	0,4 mSv
Atmosferde gerçekleştirilen nükleer testler	0,005 mSv
Çernobil	0,002 mSv
Nükleer santraller	0,0002 mSv
Toplam değer (yaklaşık)	2,8 mSv

Tablo 6. Konvansiyonel X ışını ve bilgisayarlı tomografi tetkiklerinde hasta dozları

Tetkik	Konvansiyonel X-ışını dozu (mSv)	BT dozu (mSv)
Baş	0,07	2
Diş	<0,1	-
Göğüs	0,1	10
Abdomen	0,5	10
Pelvis	0,8	10
Alt omur	2	5
Barsağın alt kısmı	6	-
Kol bacak ve eklemler	0,06	-

BT: Bilgisayarlı tomografi
UNSCEAR 2000

Tablo 7. Tanısal radyolojide Uluslararası Atom Enerji Ajansı rehber doz seviyeleri

Tetkik	Film başına yüzey giriş dozu (mGy)
Lomber omurlar (AP)	10
Göğüs (PA)	0,4
Kafatası (PA)	5

BSS (1996 Ek-3 sf:279)

Tüm bu uygulamaların yanı sıra günümüzde endüstriyel alanda X ve gama ışınlarından faydalanılarak endüstriyel ürünlerin herhangi bir arızası olup olmadığı tespit edilmektedir. Radyasyon endüstride yaygın olarak:

Tablo 8. Nükleer tıpta bazı organ tetkiklerinde tipik hasta dozları

İşlem/Taranan organ	Etkin doz (mSv)
Tiroid (I-131)	10
Beyin	7
Kemik	4
Tiroid, akciğer	1
Karaciğer, böbrek	1
UNSCEAR 2000 (Cilt 1 Tablo 42'den alınan yuvarlatılmış değerler)	

Tablo 9. Çeşitli meslekler için yıllık ortalama etkin dozlar

Kaynak (yapay kaynaklar)	Doz (mSv)
Nükleer endüstri	
Uranyum madenciliği	4,5
Uranyum öğütme	3,3
Zenginleştirme	0,1
Yakıt üretimi	1
Nükleer reaktörler	1,4
Yeniden işleme	1,5
Tıbbi kullanımlar	
Radyoloji	0,5
Dış hekimliği	0,06
Nükleer tıp	0,8
Radyoterapi	0,6
Endüstriyel kaynaklar	
Işınlama	0,1
Radyografi	1,6
İzotop üretimi	1,9
Kuyu işletme	0,4
Hızlandırıcılar	0,8
Aydınlatma	0,4
Doğal kaynaklar	
Radon kaynakları	
Kömür maden ocakları	0,7
Metal madeni ocakları	2,7
Toprak üzerindeki binalar (radon)	4,8
Kozmik kaynaklar	
Sivil uçuş personeli	3
1990-1994 verileri UNSCEAR 2000 cilt 1, ek-E Tablo 12	

- Kaynak ve ek yerlerinin radyografisi,
- Paket ve çantaların güvenlik kontrolü,
- Kap içindkilerin seviye ölçümü,
- Bazı tıbbi malzemelerin sterilizasyonu,
- Kağıt üretiminde statifi engelleme,
- Numunelerin kalite kontrol amaçlı analizi alanlarında kullanılmaktadır.

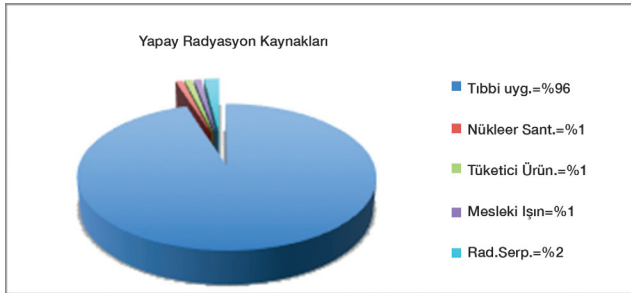
Mesleki olarak oldukça fazla alanda iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları bulunmaktadır (Tablo 9). Üretim ve hizmet endüstrisinde, savunma alanlarında, araştırma merkezlerinde ve nükleer güç endüstrisinde mesleki radyasyon kullanımı yaygındır. Yapay radyasyon kaynakları ile mesleği gereği ışınlanan tüm çalışanların maruz kaldıkları ortalama doz yılda 1 mSv civarındadır (4). Madencilik hariç olmak üzere yapay kaynaklardan alınan ortalama doz birçok mesleki ışınlama tipi için nükleer endüstri de dahil olmak üzere yıllık yaklaşık 2 mSv'nin altındadır (4).

Günümüzde işyerlerinde mesleki olarak radyasyonla çalışanlar için etkin doz herhangi bir yılda 50 mSv'yi, ardışık beş yılın ortalaması ise 20 mSv'yi geçemez (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Toplum üyesi kişiler için yapay kaynaklardan kazara ışınlanma sonucu yıllık 1 mSv'den fazla doz alınması olası değildir (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Tüketici ürünlerinden olan duman dedektörleri ve fosforlu saatler gibi radyoaktif madde içeren ürünlerin kullanımında yıllık doz en fazla 1 µSv'dir (4).

Tüm dünyada yapay radyasyon kaynaklarıyla çalışanlar için ortalama doz 0,6 mSv ve doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalan çalışanlar için 1,8 mSv'dir (4). Bu rakamlar birleştiğinde çalışanlar için küresel ortalama doz yılda 1,3 mSv'dir. Bu değer tüm dünya nüfusuna yayıldığında yılda yaklaşık 0,002 mSv'lik doza karşılık gelmektedir ve bu değer tüm kaynaklardan gelen 2,8 mSv'lik doza küçük bir katkıda olmaktadır (4). Radyasyonun tıbbi uygulamaları toplum içinde en çok radyasyon dozuna maruz kalınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Tıbbi uygulamalar sonucu halkın maruz kaldığı yıllık ortalama radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,3 mSv'dir (Şekil 4) (8).

UNSCEAR 2000 yılı inceleme raporuna göre; dünya nüfusunun ortalaması alınmış yıllık doz değeri toplamda 2,8 mSv'dir (9). Bu toplam doz değerinin:

- %14'ü doğal kozmik ışınlamalar,
- %18'i doğal dış ışınlamalar,
- %11'i doğal iç ışınlamalar,



Şekil 4. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon doz oranları (8)

- %14'ü tıbbi ışınlamalar,
- %0,25'i nükleer endüstri,
- %43'ü doğal radon,
- %14'ü doğal kozmik ışınlamalar oluşturmaktadır (9).

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Sabri Hızarcı. TAEK Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi. Radyasyon Kaynakları Ve Radyasyondan Korunma.
2. Canadian Nuclear Safety Commission. <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/>
3. Natural and Man-made Radiation Sources, Health Physics Society, Power Reactor Section. Naturalplain.
4. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon, İnsan ve Çevre: TAEK, Nisan 2009.
5. <http://www.taek.gov.tr>
6. Background Radiation Natural versus Man-Made. Washington State Dept of Health, Fact Sheet 2002:1-7.
7. <http://www.iaea.org/index.html>
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
9. UNSCEAR 2000 Report on Sources and Effects of Ionizing Radiation to the General Assembly (2 Volumes), United Nations, Vienna 2000.



Radyasyon Tespiti ve Ölçümü

Radiation Detection and Measurement

Semra Dönmez

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

Öz

Radyasyon, duyu organları ile hissedilebilen bir olgu değildir; görülmez, duyulmaz, hissedilmez ve dokunarak algılanmaz. Teşhis, tedavi, radyasyondan korunma ve olası radyasyon kazası durumlarında; radyasyonun tipini, enerjisini, şiddetini ölçmek ve varlığını belirlemek için özel geliştirilmiş cihazlar kullanılmaktadır. Bu makalede radyasyonun tespiti ve ölçümü ile ilgili cihazlar, bu cihazların kullanım alanları ve sağladıkları bilgiler anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, dedektör, radyasyon ölçümü

Abstract

Radiation is not a phenomenon that can be sensed, it is invisible, inaudible, imperceptible, and it cannot be perceived by contact. In cases of diagnosis, treatment, radiation protection, and possible radiation accidents, specially designed instruments are used to determine the presence and type of the radiation, and to measure the energy and intensity of the radiation. This article focuses on the instruments used to detect and measure radiation, the areas of usage of those instruments, and the data they provide.

Keywords: Radiation, detector, radiation measurement.

Radyasyon Nedir

Radyasyon, dalga ya da parçacık şeklinde uzayda enerji yayınlanmasıdır. Bazı atomlar, çekirdeğindeki nötron ve proton sayılarının dengesiz olması sonucu kararsızdır. Proton nötron sayısındaki dengesizlik atom çekirdeğinde ilave enerjiye neden olur. Bu enerji fazlalığı radyasyon (ışınım) olarak salınır. Bu salınım çekirdekteki proton sayısı nötron sayısı ile dengeleninceye yani kararlı hale gelene kadar devam eder. Atom, kararlı hale geçme süreci içerisinde enerjisini değişik şekillerde kaybeder ve farklı elementlere dönüşür. Ortaya çıkan enerjiye "radyasyon", bu sürece ise "radyoaktif parçalanma" (bozunma) adı verilir (1).

Radyasyon iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır. İyonize olan radyasyon, karşılaştığı atomun yörüngelerinden elektron kopararak iyon çiftleri oluşturan radyasyondur. İyonize radyasyon, parçacık ve dalga tipi olmak üzere ikiye ayrılır:

Parçacık tipi radyasyon: Belirgin bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Alfa (α) ve beta (β^+ , β^-) radyasyonları bu grubun en bilinen tipleridir.

Dalga tipi radyasyon: Belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bu grupta X ve gama (γ) ışınları bulunur; farkları X ışınının atomu çevreleyen elektron bulutunda, gama ışınının ise atomun çekirdeğinde meydana gelmesidir.

İyonize olmayan radyasyon (noniyonize radyasyon), etkileşime girdiği maddede iyonlar oluşturmayan radyasyondur. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ve mor ötesi ışık ve görünür ışık bu tip radyasyon örnekleridir (2,3).

Radyasyon Ölçüm Cihazları (Radyasyon Dedektörleri)

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Semra Dönmez, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: semdonmez@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-3386-4644

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

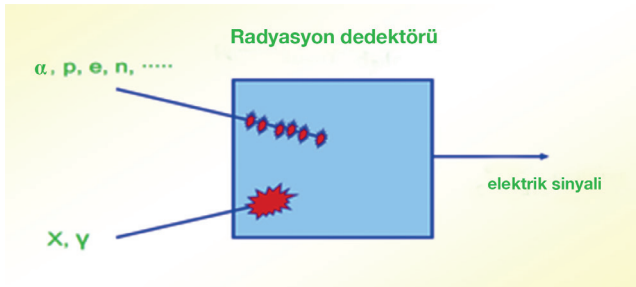
radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Bu maksatla geliştirilmiş olan aygıtlara genel olarak radyasyon dedektörü adı verilir. Radyasyon, bir maddenin içerisinden geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını etkilediği ortamda kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosforesans, floresans gibi olaylara neden olarak kaybeder. Dedektörler, radyasyonun içlerinde sebep olduğu iyonlaştırma ve uyarma mekanizmalarının elektrik sinyallerine çevrilmesi prensibiyle çalışırlar (Şekil 1) (4).

Radyasyon dedektörleri, ortamda radyasyon olup olmadığını, belli bir zamanda dedektör yüzeyine çarpan parçacık sayısını, her parçacığın enerjisini, radyoaktif kaynağın parçalanma hızını, aktivitesini, miktarını, yarı ömrünü belirlemede ve kişisel doz ölçme cihazları ile canlı eşdeğer doz bilgisi hakkında bilgilenmemize olanak tanır (5).

Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Genel Özellikleri

Bir dedektörün radyoaktif bir parçacık ile etkileşmesi çok kısa bir sürede gerçekleşir. Bu süre gazlarda nanosaniye, katılarda pikosaniye düzeyindedir. Etkileşim sonunda dedektörün aktif hacmi üzerinde bir elektrik yükü oluşur. Oluşan elektrik yüklerinin toplanarak elektrik sinyali oluşturması uygulanan elektrik alan ile gerçekleştirilir. Yüklerin toplanması için gerekli süre, farklı dedektörler için farklılık gösterir. Farklı radyasyon dedektör tiplerinden bahsetmeden önce tüm tipler için geçerli özellikler aşağıda açıklanmıştır (6).

Dedektör verimi: Tüm radyasyon dedektörleri aktif hacimleri ile etkileşen her radyasyon için bir çıkış sinyali verir. Yüklü parçacıkların etkileşiminde meydana gelen iyon çiftlerinin sayısı dedektör çıkışında yeterli büyüklükte bir puls oluşturur ve sayım etkinliği %100'e yakındır. Yüksüz parçacıklar ise dedektörde birçok etkileşim yaparak uzun mesafeler katettiklerinden sayım etkinlikleri daha düşüktür.



Şekil 1. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi
α: Alfa

Dedektör ölü zamanı: Cihazın arka arkaya gelen iki etkileşimi anlamlandırabilmesi için gerekli zamana denir. Ölü zamanı büyük olan cihazlar özellikle yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında kullanılmamalıdır.

Dedektör enerji rezolüsyonu: Dedektörün farklı enerjilere sahip iki radyasyonu birbirinden ayırt edebilme yeteneğidir.

Dedektörde Kullanılan Modlar

Puls modu: Dedekte edilen her bir parçacık veya ışın başına tek bir voltaj sinyali yükseltilerek ölçülür. Radyasyon şiddeti yeterince düşük olduğunda her bir etkileşimin neden olduğu akımları puls'lar halinde ayrı ayrı dedekte etmek mümkün olur. Çoğu uygulamada her bir etkileşim ile meydana gelen akım, gelen radyasyonun bıraktığı enerji ile orantılıdır. Gelen radyasyonun enerjisi ölçülmek istendiğinde bu mod kullanılır.

Akım modu: Elektrik akımının bir ampermetre ile okunmasıdır. Dedektör içerisinde belli bir zaman aralığında etkileşimle oluşan elektriksel yükün ortalamasını kullanır. Bu modda çalışan cihazlar, dedektörün cevap verme süresi boyunca meydana gelen akımların ortalamasını alarak değer verir (7).

Çalışma Prensibine Göre Radyasyon Dedektörleri

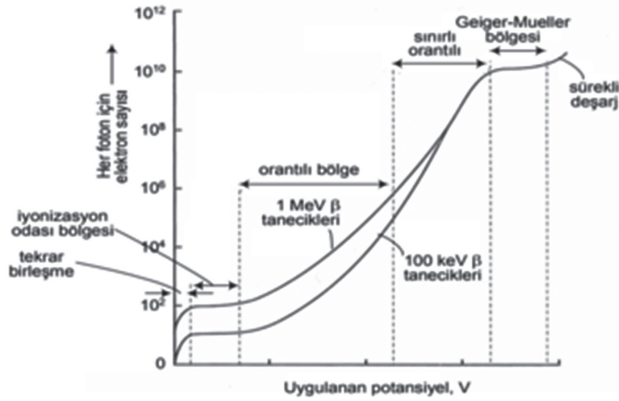
Gaz dolu dedektörler: Gaz doldurulmuş dedektörler iyonizasyon dedektörleri olarak da adlandırılırlar. Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımını ölçerler. İyonlaştırıcı radyasyonun gaz ortamı içerisinde oluşturduğu iyonlar, elektrik olarak yüklü parçacıklardır. Silindirik bir kap içerisine yüksek basınçta genellikle hava, helyum, argon gibi bir gaz doldurulmuştur. Bu gaz anod (pozitif) ve katod (negatif) olarak bilinen iki elektrot arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan bu elektrotlar arasında bir manyetik alan yaratılır. İyonlaştırıcı radyasyon gaz molekülleri ile etkileşerek gazı iyonlarına ayırır. Pozitif iyonlar katoda, negatif iyonlar anoda göç eder ve iki zıt kutup arasında bir iyon ya da iyonizasyon akımı meydana gelir. Oluşan bu akımın şiddeti gelen radyasyonun şiddeti ile orantılı olarak değişir. Gaz dolu dedektörler, pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki uygulanan gerilim farkına göre; iyon odası, orantılı sayaç ve Geiger-Müller dedektörleri olarak üçe ayrılır (8,9,10). Gaz dolu dedektörlerin farklı çalışma bölgeleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

İyon odası: İyon akımının okunması prensibine göre çalışan iyon odaları radyasyonun oluşturduğu ortalama iyonizasyonu algılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımları çok küçük olduklarından ayrı ayrı ölçülmeyip, gelen radyasyonun ortalama şiddeti elde edilir. İyonizasyonun zaman içerisindeki oluşum hızının, direkt akım ölçümüne uygun olmayacak şekilde yavaş olması durumunda puls tipi çalışma modu tercih edilir. Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır. Doz hızı ölçümü, radyasyon alan dedektörü, doz kalibratörü ve cep dozimetresi iyon odası prensibiyle çalışan radyasyon ölçüm cihazlarıdır (Şekil 3).

Orantılı sayaçlar: Yapısal olarak iyon odası prensibi ile çalışırlar. Aralarındaki fark orantılı sayaçlarda daha yüksek gerilim uygulanmasıdır. Gelen radyasyonun oluşturduğu orijinal iyon çiftlerinin gaz atomları ile etkileşmeleri prensibine göre ve puls modunda çalışırlar. Farklı enerjilere sahip radyasyon kaynaklarının oluşturdukları iyonlaşma sonucu oluşan elektrik akımı farklı olacağından enerjinin ayırt edilmesini sağlarlar. Çalışma voltajı orantılı bölgede olup, meydana gelen yüksek alan şiddeti ile anottaki yük miktarı, dolayısıyla voltaj pulsu büyüktür. Bu tip dedektörlerle; düşük enerjili X ve gama ışınları, iyon odasına açılan naylon veya mikalardan yapılmış ince pencere ile alfa parçacıklarının ölçümü yapılır. Orantılı cihazların alfa ve beta radyasyonlarını ayırt etme özelliği vardır.

Geiger-Müller: Yüksek gerilim ile çalışan iyon odalarıdır. Uygulanan yüksek gerilimden dolayı Geiger-



Şekil 2. Gaz dolu dedektörlerin çalışma bölgeleri
β: Beta



Şekil 3. Radyasyon ölçüm cihazları

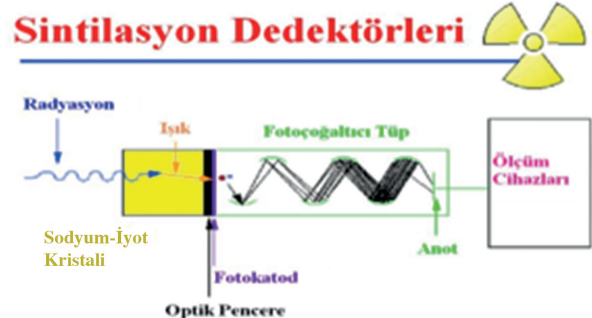
Müller dedektörleri radyasyonun enerjisinden bağımsız olarak bir sinyal üretir. İyonlaşma miktarı az olan yüklü parçacıklar, düşük enerjili X ve gama ışınları ölçülür. Bu dedektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin bir birinden ayrılması söz konusu değildir. Odanın önüne yerleştirilen bir zırh ile beta parçacıkları tutulup, yalnız gama ışınları sayılabilir. Radyasyonun ve radyoaktif kirlenmenin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılır. Survey metre ve alan monitörleri Geiger-Müller tipi dedektörlere sahip radyasyon ölçüm cihazlarıdır.

Sintilasyon dedektörleri: Bu dedektörler, aldıkları radyasyonun miktarıyla orantılı olarak görülebilir ışık salar. Bu ışığın miktarı fotoçoğaltıcı tüpler ile ölçülerek radyasyon miktarı belirlenir. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir (Şekil 4). Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır.

Bu dedektörlerde foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle değişik tipte radyasyonların dedeksiyonu mümkündür. Bunlar:

- Alfa parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu,
- Beta parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben,
- Düşük enerjili X ve gama ışını ölçmek için Talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılır.

Sintilatör materyallerinin nükleer tıpta yaygın olan iki tipi vardır. Bunlar katı kristal formundaki inorganik sintilatörler, sıvı formdaki organik sintilatörlerdir. İnorganiklerin ışık verimi ve doğrusallığı iyi, cevap zamanları yavaştır. Organik sintilatörler ise daha az ışık veriminde ama çok hızlıdırlar. Yüksek atom numarası ve yoğunlukları inorganik sintilatörleri gama spektroskopisinde uygun yaparken, organik sintilatörleri beta spektroskopisi ve hızlı nötron dedeksiyonunda tercih edilirler (5,8,10).



Şekil 4. Sintilasyon dedektörleri

Yarı iletken dedektörler: Yarı iletken dedektörler, gaz dolu dedektörler ile benzer şekilde çalışan ancak bu dedektörlerde gaz yerine katı madde kullanılan dedektörlerdir. En yaygın kullanılan yarı iletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Diğer dedektörlerden en üstün özellikleri enerji ayırma güçlerinin son derece yüksek olmasıdır. Günümüzde cerrahi gama problemleri yarı iletken dedektör yapısındadır. Sintilasyon kristalli NaI(Tl) dedektörlerine alternatif olarak daha az radyofarmasötik kullanarak daha kısa sürede sintigrafik görüntüler elde edilmektedir (10).

Nötron dedektörleri: Nötronlar doğaları gereği iyonlaşmaya ya da uyarılmaya sebep olmazlar ve atomların elektronları ile etkileşmezler. Tespit edilmeleri zor olan nötronlar doğrudan ölçülemezler. Nötronların tespit edilebilmeleri için atom çekirdeği ile etkileşmeleri gereklidir. Bu dedektörlerle nötron etkileşmesi sonucu oluşan ikincil iyonlaştırıcı ışınlar ölçülür. Nötronlar yüksüz olduğundan, nötron dedektöründe bir nötron-iyonizasyon tanecik dönüştürücüsü bulunur. Gelen nötronlar tarafından dönüştürücü malzeme yakalanır ve burada nükleer bir reaksiyonla algılanabilecek iyon tanecikler meydana gelir.

Nötron dedektörler orantılı sayıcılarıdır; çünkü, yaratılan yükün toplam miktarı, orijinal nötronlardan çıkarılması gereken yük miktarıyla orantılıdır. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indium, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır (6,8). Bazı nötron dedektörleri şunlardır:

- BF3 orantılı sayaçları.
- Helyum orantılı sayaçları.
- Gaz çarpışma orantılı sayaçları.
- Kabarcık dedektörleri.

Dozimetreler: Dozimetre, radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerini tespit etmede kullanılan dedektörlerdir. Alfa parçacıkları dış ışınlama ile radyasyon maruziyetinde deri tarafından doğal bir zırhlamaya uğradığından, dozimetreler X ışını, gama, beta ve nötron ışınlamalarının doz ölçümlerini yapmak üzere kullanılmaktadır. Dozimetre seçimi radyasyon tipine, enerji aralığına, ölçüm menziline ve açısına, cevap süresine bağlıdır. Radyasyonun özelliklerine göre çeşitli maddelerde meydana getirdikleri renklenme, ağartma iyonlaştırma ve enerji soğurması gibi etkilerinden yararlanılarak ölçümleri sağlanır. Dozimetreler radyasyon dozu bilgisinin okunma mekanizmasına bağlı olarak iki sınıfta incelenebilir:

A. Doğrudan Okunabilen (Aktif) Dozimetreler

Cep dozimetreleri: X ışını veya gama ışınlarına maruz kalma durumlarında anlık doz bilgisi sağlayabilen dozimetrelerdir. Cep dozimetresi iki elektrot ihtiva eden bir iyon odasıdır. Oda içine giren radyasyon duyarlı hacim içinde iyonizasyon meydana getirir ve elektroskopu deşarj eder. Bu dozimetrelerin dezavantajı; üzerinde toz, kir, düşme, sarsılma durumlarında deşarja uğramalarıdır ve bu istenmeyen bir olaydır. Genellikle X ve gama radyasyonlarını okur. Beta, alfa duvarları kalın olduğundan okunmaz. İki çeşit cep dozimetresi vardır (12):

Direkt okunabilen cep dozimetreleri: Bu dozimetreler kalem şeklinde olduğundan “kalem dozimetre” diye de adlandırılırlar (Şekil 5). Bu tip dozimetrelerin hemen radyasyon cevabı verebilme ve yeniden kullanılabilme gibi avantajlı özellikleri olsa da, sınırlı doz ölçüm aralığı, kalıcı bir kayıt oluşturamama ve fiziksel darbelerden kolayca etkilenebilme ve fazla maliyetli olma gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Dijital elektronik cep dozimetreleri: Dijital elektronik cep dozimetreleri, genellikle Geiger-Müller sayaçları kullanan, doz ve doz hızı gibi bilgileri kaydedebilme özelliğine sahip olan dozimetrelerdir. Cihazın programlandığı doz limit değeri, dedektör çıkışında toplanan radyasyon miktarı bilgisiyile örtüştüğü zaman, dedektör sistemindeki yükler elektronik ve dijital göstergeli bir sayaçta sayılarak maruz kalınan radyasyon dozu ve doz hızı görüntülenir. Bazı dijital elektronik dozimetreler sesli alarm sistemi içerirler ve dedektörün saptadığı her radyasyon olayında kesik kesik seslerle, belirlenen eşik değere ulaşıldığında ise sürekli bir alarm sesiyle uyarı verirler.



Şekil 5. Kalem tipi dozimetre

B. İşlemden Geçirilerek Okunabilen (Pasif) Dozimetreler

Film dozimetreler: Gama ışını, X ışını, beta ve nötron parçacıklarının dozimetrik ölçümlerinde kullanılabilen bir dozimetredir (Şekil 6). Burada dedektör olarak kullanılan materyal radyasyona duyarlı ince bir film tabakasıdır. Bu film asetat bir tabanın her iki yüzünü kaplayan jelatin bir emülsiyondan oluşur ve ışık, su buharı (nem) ve diğer kimyasal buharları geçirmeyen bir zarf içinde yer alır. Her iki taraftaki emülsiyon tabakası gümüş-brom kristalleri içerir. Bu kristaller radyasyona maruz kaldıklarında gümüş ve brom iyonları arasında elektron alışverişi olur ve bu olay filmin banyo işlemi sonucu optik karama olarak gözlenir. Bu optik karamanın yoğunluğu da radyasyon şiddetiyle doğru orantılı olarak değişir ve bu yoğunluk densitometre ile ölçülerek sayısal bir karşılık bulur. Son olarak mevcut yoğunluk değeri, daha önce belli enerjilerde bilinen radyasyon miktarıyla elde edilen karamaların yoğunluklarıyla karşılaştırılarak radyasyon doz birimine çevrilir. Film dozimetreler sıcaklık ve nem gibi hava şartlarından ve ışıktan kötü etkilenirler (13).

Termolüminesans dozimetreler (TLD): TLD film dozimetrelerin yerine sıkça kullanılmakta olan dozimetrelerdir (Şekil 7). Film dozimetreler gibi belirli periyodik kullanım süreleri vardır ve doz değerlendirmesi için işleme tabi tutulurlar. TLD katı halde kristallerden oluşan bir tabakadır. İyonlaştırıcı radyasyon kristalle etkileştikten sonra, kristal ısıtılır ve kristaldeki tuzaklanmış elektronlar iyonlaştırıcı radyasyon enerjisine eşdeğer bir enerjide görünür ışık fotonu yayarlar. Isı enerjisiyle tetiklenen bu olay termolüminesans olarak adlandırılır. Yayılan ışık fotonları fotoçoğaltıcı tüpler aracılığıyla sayılmaktadır. Foton sayısının radyasyon miktarıyla lineer artışı radyasyon dozunun değerlendirilmesinde doz-optik yoğunluk doğrusallığının söz konusu olmadığı film dozimetrelere göre büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca TLD'lerin film dozimetrelerden en büyük farkları yeniden kullanılabilir olmalarıdır. Diğer taraftan TLD'lerde doz okumasının sadece bir kez yapılabilmesi, tekrar ölçüm alınmadan önce sıfırlanmaları gerekliliği ve morötesi ışınlardan etkilenmeleri de dezavantajlarıdır (13).

Optik olarak uyarılmış/optik uyarmalı lüminesans dozimetreler: Bu dozimetreler TLD ile radyasyonla etkileşim mekanizmasında çok büyük benzerlik gösteren, sadece radyasyon bilgisi alınırken ısı yerine ışığın kullanıldığı bir mekanizmaya sahip dozimetrelerdir (Şekil 8) (14).

Radyasyon kaynakları ile yapılan çalışmalarda radyasyona maruz kalan kişilerin radyasyon güvenliğini

sağlamak amacıyla doz ölçümü yapılması gerekmektedir. Doz ölçümü dozimetre olarak tanımlanan ve eşdeğer radyasyon dozu bilgisini veren kişisel izleme cihazlarıyla yapılmaktadır. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği madde 20 ve 21'de (Çalışma Koşulu A: Yılda 6 mSv'den daha fazla etkin doza veya göz merceği, deri, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 3/10'undan daha fazla doza maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.



Şekil 6. Film dozimetre



Şekil 7. Termolüminesans dozimetre



Şekil 8. Optik uyarmalı lüminesans dozimetre

Çalışma Koşulu B: Çalışma Koşulu A'da verilen değerleri aşmayacak şekilde radyasyon dozuna maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.

Madde 21 Kişisel Dozimetre Zorunluluğu: Çalışma Koşulu A durumunda görev yapan kişilerin, kişisel dozimetre kullanması zorunludur.) kişisel dozimetre kullanma zorunluluğu belirtilmiştir (15).

Sonuç

Bu yazıda, radyasyonun etkisinin ve şiddetinin sayısal veya görüntüsel olarak değerlendirilebilmesi için, radyasyon ölçüm cihazlarının kullanım amaçları ve sağladıkları bilgiler açıklanarak, parçacığın cinsine, enerjisine ve kullanılacağı radyasyon ortamına göre hangi cihazın seçilmesi ve kullanılması önerilmiştir.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Bor D. Radyasyon Nedir? 2015.
2. Togay YE. Radyasyon ve Biz, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları 2002:2-12.
3. İnce MZ. Tanısal Radyolojide Radasyondan Korunma, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları 2002:2-34.
4. Gündüz Y. Radyolojik Tehditler Radyasyonun Ölçülmesi, 2015.
5. Knoll GF. Radiation Detection and Measurement. Third Edition Wiley, 2000.
6. Demir M. Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları, Dördüncü Baskı, İstanbul 2014.
7. Akkaş A. Radyasyon Ölçüm Cihazları, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2013.
8. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
9. Powsner RA, Powsner ER. Essential Nuclear Medicine Physics, Blackwell Publishing.
10. Bor D. Radyasyon Dedeksiyon ve Ölçüm Yöntemleri Ders Notları, Ankara.
11. Gündüz H. Radyasyon Güvenliği, Korunma Yöntemleri Ve Dozimetre Kullanıda Dikkat Edilecek Hususlar, TAEK / Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi (SANAEM).
12. Nondestructive Testing Resource Center, Pocket Dosimeter, https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/radiation_safety_equipment/pocket_dosimeter.htm
13. Shani G. Radiation Dosimetry - Instrumentation and Methods.
14. Bhatt BC. Thermoluminescence, optically stimulated luminescence and radiophotoluminescence dosimetry: An overall perspective, 2012.
15. Resmi Gazete, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği.



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.

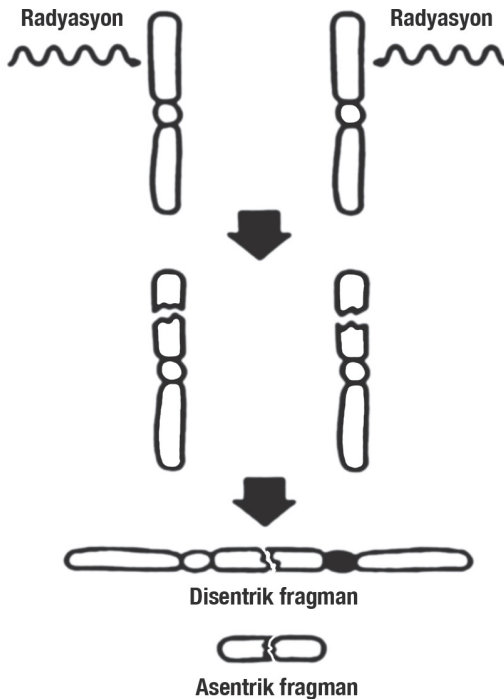
Tablo 1. Düşük ve yüksek lineer enerji transferi radyasyonun karşılaştırılması (1)

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).



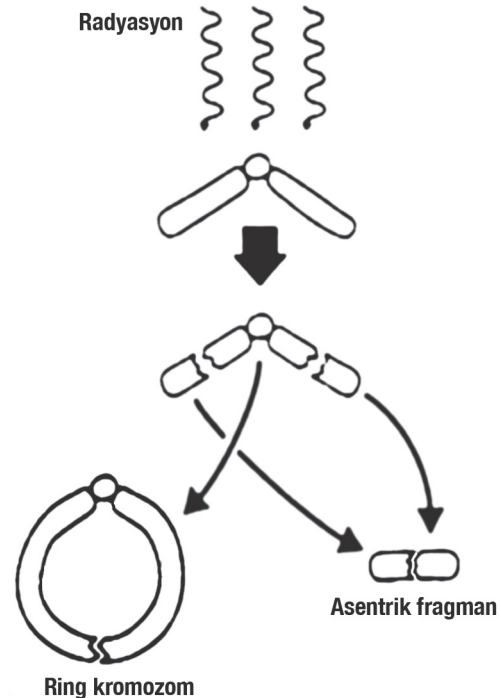
Şekil 1. Asentrik ve disentrik fragman oluşumu (1)

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 oluşarlardan 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 hücresel 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>



Dünyada ve Ülkemizde Nükleer ve Radyolojik Kazaların Tarihçesi

History of Nuclear and Radiological Accidents in the World and Turkey

Bengül Günalp

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

Öz

Nükleer ve radyasyon kazaları Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından "insanlar, çevre veya tesis üzerinde ciddi sonuçlara yol açmış bir olay" olarak tanımlanır. Kazanın ölümlere neden olması, çevreye büyük miktarlarda radyoaktivite salınımının olması veya reaktör çekirdeğinin erimesi bu ciddi sonuçlardan bazılarıdır. Majör nükleer kazalara en önde gelen örnek reaktör çekirdeğinin hasar görmesi ile çevreye büyük miktarlarda radyoaktivitenin salındığı, 1986 yılında olan Çernobil felaketidir. Nükleer ve radyasyon kazaları/olaylar nükleer tesislerdeki operasyonlar, radyoaktif maddelerin taşınması, radyasyon kaynaklarının endüstriyel ve tıbbi kullanımları sırasında ortaya çıkabilir. Kaza ve olayların önemi Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği'ne [International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)] göre belirlenir. Skala bir üst seviyedeki kaza veya olay diğerinden önemi on kat daha fazla olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu skalaya göre 4, 5, 6 ve 7 dereceleri ile belirlenen kazalar oldukça nadirdir, ancak sonuçları önemlidir. INES skalasına göre seviye 1, 2 ve 3 ile derecelenen olaylar ise radyasyonun rutin kullanımı sırasında daha sık karşımıza çıkar ve sonuçları açısından daha az önemlidir. Bu derlemede dünya çapında günümüze kadar olan önemli nükleer ve radyolojik kazalara örnekler verilecek ve tekrarlamalarını önlemek için çıkarılan dersler üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer kazalar, radyolojik kazalar, radyasyon kazaları, radyasyon güvenliği

Abstract

Nuclear and radiation accidents are defined by International Atomic Energy Agency as "an event that has led to significant consequences to people, the environment or the facility". Death of people, release of large amount of radioactivity to the environment, and reactor core melt are some examples of such serious effects. The most prominent example of a "major nuclear accident" is the Chernobyl disaster in 1986, in which reactor core was damaged and significant amounts of radioactivity released. Nuclear and radiological accidents can occur during the operations in nuclear facilities, transportation of nuclear substances, industrial and medical use of radiation sources. The significance of events is determined by the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES). The INES scale is designed as the severity of an event is about ten times greater for each increase in level on the scale. According to this scale, level 4, 5, 6, and 7 are described as "accident". They are rare, but their consequences are serious. INES scale 2 and 3 are described as "incidents" which more commonly occur during the routine use of radiation. In this review, we present examples of significant nuclear and radiological events worldwide and focus on learning from previous accidents to prevent future catastrophes.

Keywords: Nuclear accidents, radiologic accidents, radiation accidents, radiation safety

Giriş

Günümüzde radyasyon ve radyoaktif maddelerin nükleer tesislerde, endüstride ve tıp alanında giderek

yaygınlaşan kullanımı beraberinde kazaların, olayların ve normalden sapmaların da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Aynı depremlerin şiddetinin Richter ölçeği olmadan anlaşılmasının mümkün olmaması gibi

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Bengül Günalp, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: bgunalp@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-2337-8295

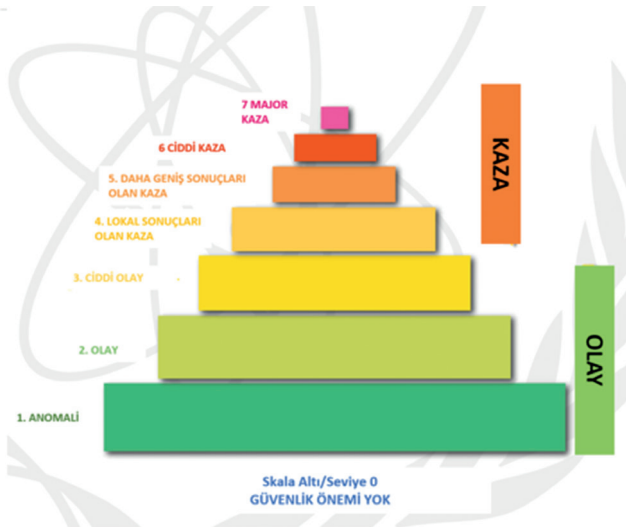
©Telif Hakkı 2017 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

nükleer/radyolojik kazaların önemini belirlemek için de benzer bir skala tanımlanmıştır (1). Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği'ne [International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)] göre kaza ve olaylar önemlerine göre derecelendirilirler (Şekil 1). INES'de her bir seviye bir öncekinden 10 kat daha fazla öneme sahip olayları tanımlar. Bu ölçeğe göre her bir seviyede günümüze kadar ortaya çıkmış kazalardan örnekler aşağıda sıralanmaktadır.

Nükleer Enerji Santrali Kazalarına Örnekler

Three Mile Adası, Pensilvanya ABD, 28 Mart 1979, INES Seviye 5

Three Mile Adası kazası Pensilvanya'daki nükleer enerji santralinin 2 no'lu reaktöründe 28 Mart 1979'da meydana gelmiştir. Kaza önce reaktörün ikinci soğutma sisteminde meydana gelen bir arıza ile başlamış ve birincil su soğutma sistemindeki bir vananın sıkışarak açık kalması ile büyük miktarda soğutma suyu soğutma sisteminin dışına kaçarak reaktör çekirdeğinde ısının yükselmesinde ve neticede reaktör çekirdeğinin kısmi erimesine yol açmıştır. Kaza ABD tarihinde ticari nükleer santrallerde meydana gelmiş en ciddi kazadır. Kaza sonucu halkta nükleer güvenlik ile ilgili kaygılar oluşmuş, bu nükleer karşıtı aktivistlerin eylemleri ile artmıştır. Amerikan Nükleer Düzenleme Komisyonu kazanın oluşumunu araştıran bir komisyon kurmuş ve sonuçta nükleer santrallere yeni güvenlik önlemleri ve ciddi yaptırımlar getirilmiştir (2).



Şekil 1. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (International Nuclear and Radiological Event Scale)

Kazanın sonuçları: Kaza sonucu çevreye yayılan radyonüklidler çok düşük miktarda (Tablo 1) olup İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komisyonu tarafından yayınlanan raporda kanser insidansında istatistiksel olarak anlamlı bir artış olmayacağı belirtilmiş (3) ve bu daha sonra yapılan pek çok çalışma ile desteklenmiştir (4,5).

Çernobil, Ukrayna (Eski Sovyetler Birliği), 26 Nisan 1986, INES Seviye 7 (Majör Kaza)

Çernobil günümüze kadar dünyada gerçekleşmiş en kötü nükleer felaket olarak düşünülür. 26 Nisan 1986'da bir reaktör sistem testi sırasında güçte ani artış reaktörün 4. ünitesini yıkan patlama ve yangına neden olmuştur. Çevreye masif miktarda radyasyon salınımı olmuş ve Sovyetler Birliği'nin batı kesimi ve Avrupa'ya yayılmıştır. Bu felaket sonucu yaklaşık 220,000 kişi evlerinden başka yerlere taşınmak zorunda kalmıştır.

Kaza Nasıl Oldu?

Reaktörün 4. ünitesi rutin bakım nedeniyle kapatılmıştı. Ana istasyon elektrik güç desteği kalktığında acil güç kaynağı devreye girinceye kadar olan geçiş süresinde, reaktörün kendi donanımının çekirdeğini soğutmaya ve acil cihazlarını ça lıştırmaya yeterli elektrik gücünü sağlama kabiliyetini sinamak için bir test gerçekleştirildi. Çalışanlar yeterli güvenlik önlemlerini almadan veya elektrik testinin riskleri konusunda operatörü uyaracak sistemleri çalıştırmadan testi başlattılar. Bu farkındalığın olmaması operatörlerin güvenlik prosedürlerinden uzaklaşan eylemler yapmalarına neden oldu. Sonuç olarak, ani güç dalgası patlama ve reaktörün hemen tümünün yıkımı ile sonuçlandı. Yıkılan reaktör binasında çıkan yangın aşırı ölçüde radyoaktif salınıma katkıda bulundu.

Kazanın sonuçları: Akut dönem sonuçları (deterministik etkiler, akut radyasyon sendromu): Çernobil kazasında iki kişi patlamadan dolayı öldü ve çoğu tehlikenin farkında olmayan itfaiye erleri olmak üzere

Tablo 1. Nükleer ve radyolojik kazalardan çevreye yayılan önemli radyonüklidlerin miktar karşılaştırılması ($\times 10^{15}$ Bq)

	I-131	Cs-137	Sr-90	Diğer
Reaktörler				
Three Mile Adası (1979)	0,001	-	-	Xe-133
Çernobil (1986)	1800	85	10	Cs-134, vb.
Fukushima (2011)	160	15	0,14	Cs-134, vb.
Radyolojik kazalar				
Goiania (1987)	-	0,05	-	-

100'den fazla kişi akut radyasyon sendromuna (ARS) neden olacak düzeyde yüksek radyasyon aldı. Bunlardan 29'u birkaç ay içerisinde öldü ve bunu takibeden yıllarda 18 kişi daha hayatını kaybetti (6,7).

Geç dönem sonuçları (Stokastik etkiler, tiroid kanserleri): Çernobil kazası sonrasında 40'ı insan sağlığına potansiyel zararlı olmak üzere 400'ün üzerinde radyonüklid biyosfere salındı. Bir milyon kilometre kare alan 1 Ci ve üzeri radyoizotop ile kontamine oldu. Yakın zonda (<100 km) öncelikle ağır partiküllerin (Sr, Pu, vb.), uzak zonda ise volatil elementler (I, Cs) deposiyonu oldu. Kazada 17-45 MCi I-131'in atmosfere salındığı hesaplanmaktadır (Tablo 1). Çernobil felaketinin majör sağlık sonuçlarından birisi özellikle çocukluk çağında olmak üzere tiroid kanserlerindeki anlamlı artıştır. Kazayı takiben 10 milyon nüfuslu Belarus'ta total 5449 tiroid kanseri tanısı konulmuştur. Bu kazadan 12 yıl öncesi ile karşılaştırıldığında tiroid kanserlerinde 3,9 kat artış ile uyumludur. Tiroid kanserlerindeki artıştan özellikle I-131 olmak üzere iyot izotoplarının salınımı ve erken dönemde stabil iyot dağıtımının yapılmamış olması sorumlu tutulmuştur (8,9).

Fukushima Daiichi, Japonya, 11 Mart 2011, INES Seviye 7 (Majör Kaza)

11 Mart 2011'de Japonya'nın doğu kıyısında 9 şiddetinde tsunami yaratan bir deprem oldu. Deprem ve tsunami sonucu 15891 kişi öldü ve 2579 kişi kayboldu. Deprem ve tsunami Japonya'nın Kuzeydoğu kıyısında olan Fukushima Daiichi Nükleer Enerji Santrali'nde ciddi hasara yol açtı.

Kaza Nasıl Oldu?

Deprem reaktörlerin dış güç kaynaklarını kesmişti. Deprem sonrası ortaya çıkan tsunami dalgası da santralin dayanmak üzere planlandığından daha yüksekti. Yedek jeneratörler çalışmadı ve reaktörün soğutma sistemi felce uğradı. Reaktör çekirdeğinde aşırı ısınan yakıt 12, 14 ve 15 Mart'ta reaktör binalarının üçünde ciddi hasara yol açan hidrojen patlamalarına neden oldu. Reaktör çekirdeklerinden üçünde bulunan yakıt eridi ve hasar görmüş reaktörlerden salınan radyonüklidler santral çevresindeki geniş bir alanı kontamine etti. Bunun sonucunda çevrede oturan yarım milyona yakın kişi evlerinden boşaltıldı.

Kazanın sonuçları: Fukushima kazası Çernobil kazasından sonra en ciddi sonuçları olan nükleer kazadır. Bununla birlikte radyasyon nedeni ile ölen olmamıştır. Kazada salınan önemli radyonüklidler yarı ömrü 8 gün olan I-131 ve 30 yıl olan Cs-137'dir. Birleşmiş Milletler

Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından Fukushima çevresinde yaşayanlarda yaşam boyu alınacak efektif doz erişkinlerde 10 mSv olarak hesaplanmıştır. Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi kayıtlarına göre ortalama çalışanların kazadan sonraki ilk 19 ayda aldığı doz 12 mSv'dir. Bu süreç içerisinde işgücünün yaklaşık %35'i 10 mSv, %0,7'si ise 100 mSv'den daha yüksek doz almıştır. Bu işçilerde artmış kanser riski beklenebilir. Ancak genel sağlık perspektifinde Fukushima kazasına bağlı radyasyona maruz kalmadan doğan risk Japonya'da düşük ve diğer komşu ülkelerde ise çok düşük olarak hesaplanmaktadır (10,11,12).

Goiânia, Brezilya, 13 Eylül 1987, INES Seviye 5: Geniş Sonuçları Olan Kaza

Goiânia Radyoterapi Enstitüsü Co-60 teleterapi ünitesini alarak, fakat eski Cs-137 teleterapi cihazını eski binalarında bırakarak yeni binalarına kalmıştır. Terk edilen binada değerli cihazın olduğu bilgisini alan iki hurdacı 13 Eylül 1987'de binaya girerek teleterapi ünitesinin başını sökmeye çalışır ve sonunda kapalı sezyum kaynağının olduğu dönen üniteyi çıkarırlar. Bunu el arabası ile eve getirip tokmak ve muşta ile koruyucu dış zırhını açarlar ve kolimatör orifisinin kapağını kırarak radyasyona maruz kalırlar. Kırarak açma işinin başlangıcından yaklaşık 3 saat sonra her iki hurdacıda bulantı ve kusma gelişir. Bu gastrointestinal yakınmalar 4-5 gün sürmüştür. 18 Eylül'de kaynağın olduğu radyoterapi başı bir hurda metal toplayıcısına satılır. Gece hurda metal toplayıcı satın aldığı objeden karanlıkta değerli bir taş gibi mavi bir ışığın çıktığını fark eder ve bunun mistik bir özellik olduğunu düşünürler. Bu bilgi akrabaları ve arkadaşları arasında yayılır ve bu fenomeni izlemek üzere hurda toplayıcısının evine pek çok kişi gelir. Kaynak kapsülü yırtılarak sezyum yayılımı başlar. Cs-137 kaynağı sezyum klorid tuzu şeklinde bulunup çözünürlüğü çok yüksektir. Misafirler Cs-137 ile kontamine olarak gittikleri her yerde sezyum kontaminasyonuna neden olurlar. Goiânia'dan 100 km uzaklıktaki evlerde bile Cs-137 kontaminasyonu saptanır. 28 Eylül'de hurda metal toplayıcısının eşi giderek artan sayıda kişide gastrointestinal semptomların olduğunu fark ederek bu gelen obje ile ilişkili olabileceğini düşünür ve kaynaktan kalanları otobüs ile Sanity Surveillance Division'a götürür ve doktorun önüne bırakarak "bu benim ailemi öldürüyor" der. Doktor materyalin toksik gaz içerebileceğini düşünerek maddeyi bahçeye çıkarır ve madde bir gün orada kalır. Sonuçta radyoaktivite içeriğinden şüphelenilerek nükleer fizikçi çağırılır. Fizikçi

ortamda çok yüksek radyasyon olduğunu tespit ederek binayı boşaltır ve etrafını kordon ile çevirir.

Kazaya neden olan Cs-137 kaynağının aktivitesi 1375 Ci olup çok geniş bir alanda kontaminasyona neden olmuştur. Radyolojik triyaj bir statyumda yapılmış. Yüz on iki bin kişi monitörize edilmiş ve 249'unda kontaminasyon bulunmuştur. Yüz yirmi kişide kontaminasyon sadece giysilerinde iken 129 kişide internal kontaminasyon saptanmış. Elli kişi tıbbi takibe alınmış. Seksen beş evde ciddi kontaminasyon bulunarak 41'i boşaltılmış, dördü yıkılmış. 2000 m² alanda kontaminasyon bulunarak 3000 m³ kontamine materyal toplanmış ve 15 km uzaklıktaki bir kalıcı depoda saklanmıştır.

Kazanın sonuçları: Goiânia kazasında Cs-137 internal kontaminasyonu olan hastalar Prusya mavisi (erişkin 3-10 gr/gün, çocuklar 1-3 gr/gün) ile tedavi edilmiştir. Sekiz hastada ciddi kemik iliği sendromu gelişmiş ve bu hastalardan dördü hemoraji ve sepsis nedeni ile hayatlarını kaybetmişler, 28 hastada da radyasyon yanıkları meydana gelmiş ve cerrahi ile tedavi edilmişlerdir (13,14,15,16).

Kosta Rika Radyoterapi Kazası, Ağustos-Eylül 1996

Kosta Rika radyoterapi kazası San Jose'deki San Juan de Dios Hastanesi'nde radyoterapi biriminde olmuştur. 22 Ağustos 1996'da Co-60 kaynağı değiştirilmiş ve kalibrasyonda doz hızları yanlış olarak hesaplanmıştır. Bu hata hastaların yüksek dozlarda ışınlanması ile sonuçlanmıştır. Kalibrasyon hatası 27 Aralık 1997'de saptanmış ve kaza sırasında 114 hasta yüksek dozlarda ışınlanmıştır. On üç hasta radyasyon ile ilgili yaralanmalardan hayatını kaybetmiştir (17).

İstanbul İkitelli Kazası, Aralık 1998, INES Seviye 3, Ciddi Olay

Goiânia kazasının bir benzeri 1998 Aralık ayında İstanbul'da yaşandı. Bir depoda tutulan radyoterapi kaynakları deponun el değiştirmesi ile hurdacılara satıldı. Hurdacılar içerisinde Co-60 bulunan radyoterapi ünitesinin başını sökmeye çalışırken yüksek doz radyasyona maruz kaldılar. Goiânia kazasından farklı olarak kaynak kendi zırhından açılmadı ve kontaminasyona neden olmadı. Hastalardaki gastrointestinal semptomlar besin zehirlenmesi olarak düşünüldü. Kazadan bir ay sonra hastalarda pansitopeni gelişmesi üzerine özel bir klinikte radyasyon kazasından şüphelenilerek Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi kaynağı bularak güvenli ortamda depoladı.

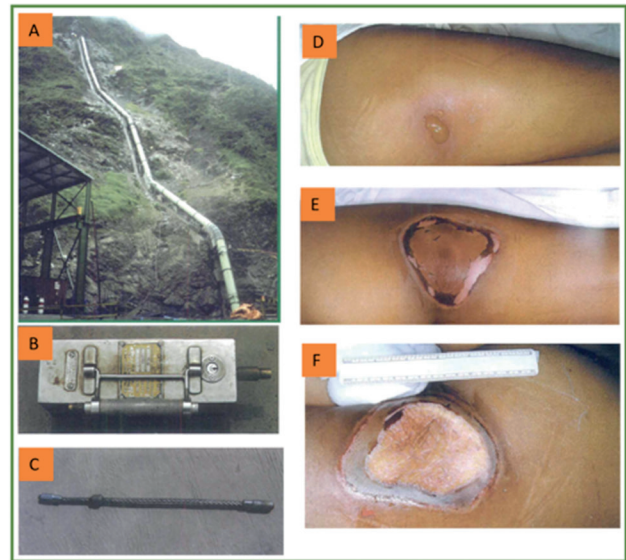
Kazanın sonuçları: On kişide orta ve ciddi derecede ARS gelişti, bunlardan bir tanesinde ayrıca lokal radyasyon yaralanması mevcuttu. Beş kişide orta derecede ARS gelişti. Bu hastalar G-CSF, yeterli antibakteriyel, antiviral ve antifungal profilaksi ve trombosit transfüzyonları ile tedavi edildi (18).

Yanango Radyolojik Kazası, Peru, 20 Şubat 1999

Şubat 1999'da Peru'da bir hidroelektrik santraline döşenen boru hatlarına yapılan kaynakların bütünlüğünü Ir-192 radyografi kaynağını kullanılarak çekilen radyografiler ile gösterilirken kaynağın zırhlı kutusuna geri çekilmesinde oluşan problem sonucu kaynak zemine düşer. Yerde parlak bir obje bulan bir kaynak ustası değerli bir şey olduğunu düşünerek kaynağı cebine atar ve birkaç saat süresince taşır. Lokal olarak pelvise çok yüksek radyasyon dozu alır ve ciddi bir radyasyon kazasına neden olur. Kaynağının aldığı yüksek doz bacağının amputasyonu ile sonuçlanmıştır. Karısı ve çocukları da daha az oranlarda radyasyona maruz kalmışlardır (Şekil 2) (19).

Sonuç

Günümüze kadar yaşanan nükleer kazalarda gördüğümüz gibi kazanın sadece olduğu yeri değil çevre ülkeleri hatta bütün bir kıtayı etkilemesi söz konusudur. Çernobil kazasından sonra operatör



Şekil 2. Yanango radyolojik kazası. A) Hidroelektrik santralinde kaynak yapılan boru hattı. B) Zırhlı radyografi cihazı. C) Kaynağı taşıyan kablo. D) Sağ kalça üst kesimindeki lezyonda bilister formasyonu ve etrafında enflamasyon alanı (22 Şubat 1999). E) Santral lezyonda soyulma ve etrafında hiperpigmentasyon alanı (5 Mart 1999). F) Sağ kalçada yüzeysel ülser gelişimi (19 Mart 1999) (19).

hatalarını ortadan kaldıracak otomatik kontrol sistemleri geliştirilmiş, santrallerin bir kaza durumunda çevreye radyonüklid salınımını minimuma indirecek yapı güçlendirmesi yapılmıştır. Ancak Fukushima’da o güne kadar karşılaşılmamış şiddette bir deprem ve tsunami alınan tüm önlemleri yetersiz bırakmıştır. Bu kazalar hiç bir zaman nükleer enerjiden vaz geçilmesi anlamına gelmeyip her kazadan sonra eksikler, aksayan teknikler gözden geçirilip daha güvenli sistemler kurulmaktadır. Günümüze kadar örneklerini verdiğimiz radyolojik kazaların önlenmesinde de en önemli faktörlerin radyasyon kaynaklarının kullanımının ve kullanılmış kaynakların lisanslı üreticisine tesliminin ulusal otorite (Türkiye’de Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından sıkı denetim altında tutulması ve tüm radyasyon çalışanlarının radyasyon güvenliği konusunda eğitimlerinin zorunlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir

Kaynaklar

1. International Atomic Energy Agency. International Nuclear and Radiological Events Scale Users’ Manual, Edition. Vienna, Austria 2008.
2. Nuclear Regulatory Commission. Investigation into the march 28 1979 Three Mile Island Accident by Office of Inspection and Enforcement. Washington DC: 1979.
3. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. “Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation (BEIR V)”. Washington DC: National Academy Press, 1990.
4. Wing S, Richardson D, Armstrong D, Crawford-Brown D. A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant: the collision of evidence and assumptions. Environ Health Perspect 1997;105:52-57.
5. Hatch MC, Wallenstein S, Beyea J, Nieves JW, Susser M. Cancer rates after the Three Mile Island nuclear accident and proximity of residence to the plant. Am J Public Health 1991;81:719-724.
6. Bebashko VG, Kovalenko AN, Belyi DA, Bazyka DA, Chumak AA, Sushko VA, Gayiday VM. Medical monitoring results of survivors with acute radiation syndrome after Chernobyl disaster. International Congress Series 2003;1258:115-122.
7. Berry RJ. Early radiation casualties-what Chernobyl has taught us. Journal of the Society of Radiological Protection 1987;7:55-59.
8. Ivanov VK, Gorsky AI, Tsyb AF, Maksyutov MA, Rastopchin EM. Dynamics of thyroid cancer incidence in Russia following the Chernobyl accident. J Radiol Prot 1999;19:305-318.
9. Peter J, Bogdanova TI, Buglova EE, Kenigsberg JE, Tronko ND. Comparison of thyroid cancer incidence after the Chernobyl accident in Belarus and in Ukraine. International Congress Series 2002;1234:215-219.
10. WHO publication 2013. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. WHO publication 2013.
11. UNSCEAR 2013 REPORT Sources, effects and risks of ionizing radiation UNSCEAR 2013 REPORT Vol I.
12. UNSCEAR Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami. UNSCEAR Fukushima 2015.
13. International Atomic Energy Agency. The Radiological accident in Goiânia . Vienna: International Atomic Energy Agency. 1988. ISBN 92-0-129088-8. on line at IAEA [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub815_web.pdf].
14. Brandao-Mello CER, Farina A Rodrigues de Oliveira MP, Curado JF, Filho QCB. Santos, May 2000, “Medical follow-up of the radiation accident with 137-Cs in Goiania--an update (1990-1994), Restoration of Environments Affected by Residues from Radiological Accidents: Approaches to Decision Making. IAEA (Vienna, Austria), pp. 240-243, on line at IAEA [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1131_prn.pdf].
15. IAEA, June 1998, Dosimetric and Medical Aspects of the Radiological Accident in Goiania in 1987, IAEA (Vienna, Austria), on line at IAEA [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1009_prn.pdf].
16. Valverde NJ, Oliveria AR. The early medical response to the Goiania accident, in Restoration of Environments Affected by Residues from Radiological Accidents: Approaches to Decision Making, IAEA (Vienna, Austria), pp. 138+, on line at IAEA [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1131_prn.pdf].
17. IAEA. Accidental overexposure of radiotherapy patients in San Jose, Costa Rica. International Atomic Energy Agency 1998.
18. IAEA. The radiological accident in Istanbul. IAEA 2000.
19. IAEA. The radiological accident in Yanango. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2000.STI/PUB/1101, ISBN 92-0-101500-3.



Nükleer Radyolojik Acillere Müdahalede Temel Kavramlar, Akut Radyasyon Sendromu ve Tedavisi

Basic Concepts in Intervention of Nuclear, Radiological Injuries, Acute Radiation Syndrome and Its Treatment

Engin Alagöz

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

Öz

Akut radyasyon sendromu veya akut radyasyon hastalığı vücudun lokal bir bölgesinin veya tamamının, çok kısa süreler içerisinde, çok yüksek dozda (>1 Gy) radyasyona maruz kalması sonucu ortaya çıkan klinik durumdur. Klasik olarak hematopoetik, gastrointestinal ve nörovasküler sistemler etkilenmektedir. Klinik belirtiler, semptomların süresi ve şiddetine, ışınlanan vücut hacmine, doz maruziyetinin homojen olmamasına, parçacık türüne, radyasyon dozu ve hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu derlememizin amacı akut radyasyon sendromunun patogenezi, klinik özellikleri, tanı ve tedavisi hakkında güncel bilgileri paylaşmaktır.

Anahtar Kelimeler: Akut radyasyon sendromu, klinik bulgular, tedavi

Abstract

Acute radiation syndrome or acute radiation sickness is a term used to describe a constellation of signs and symptoms that occurs after whole-body or significant partial-body irradiation of certain amount of radiation (>1 Gy) delivered at high rate. It is classically subdivided into three subsyndromes: the hematopoietic, gastrointestinal, and neurovascular syndrome, but many other tissues can be damaged. The time course and severity of clinical signs and symptoms are a function of the overall body volume irradiated, the inhomogeneity of dose exposure, the particle type, the absorbed dose, and the dose rate. The purpose of this paper is to review the current knowledge about pathogenesis, clinical features, diagnosis, and treatment of acute radiation sickness.

Keywords: Acute radiation syndrome, clinical findings, treatment

Giriş

Akut radyasyon sendromu (ARS) vücudun lokal bir bölgesinin veya tamamının, çok kısa süreler içerisinde çok yüksek dozda (>1 Gy) radyasyona maruz kalması sonucu ortaya çıkan klinik durumdur. Bu hastalık bazen radyasyon toksisitesi veya radyasyon hastalığı olarak da tariflenebilir (1). ARS tanımı ilk kez 1945'de II. Dünya Savaşı sırasında Japonya'ya atılan atom bombası sonrası, De-Coursey tarafından ortaya konulmuştur. Bu konu hakkındaki veriler, Çernobil Nükleer Santral

felaketi sonrası meydana gelen radyasyon kazalarından ve kanser tedavisinin bir parçası olarak toplam vücut ışınlanmasına maruz kalan hastaların klinik verilerinden elde edilmiştir (2).

Nükleer enerji santrallerine saldırı, radyolojik cihazların kötü niyetli kullanılması, endüstriyel radyografi kazaları, terör amaçlı kullanılan kirli bomba vs. sonucu radyasyon hasarı meydana gelebilmektedir. Bu hasarlar harici ışınlanma, radyoaktif materyallerle eksternal kontaminasyon veya internal kontaminasyon olmak üzere 3 farklı şekilde meydana gelebilir. Bu üç radyasyon

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Engin Alagöz, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-mail: enalamed@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-4214-4016

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

maruziyetine termal veya travmatik yaralanmalar da eşlik edebilir.

Bu sendromun gelişimindeki temel neden belli dokularda immatür parankimal kök hücrelerin zedelenmesidir. Maruz kalınan radyasyon dozuna, radyasyon tipine, ışınlanan doku hacmine, hastanın yaşına, mevcut sağlık durumuna veya uygulanan tıbbi müdahaleye göre değişmekle birlikte, genellikle hematopoetik, gastrointestinal ve serebrovasküler olmak üzere üç sistemi ilgilendiren semptomlar görülür. Bu sistemlerin yanı sıra kutanöz radyasyon sendromu olarak da adlandırılan radyasyon bağlı deri hasarları da bu tabloya eşlik edebilir.

Akut olarak radyasyondan etkilenen hastaların tıbbi bakımı ve idaresinde bir ekip çalışması yürütmeli ve bu ekipte nükleer fizikçi, nükleer tıp uzmanları, acil tıp doktorları, radyasyon ve medikal onkologlar, gastroenterologlar, enfeksiyon hastalıkları, yoğun bakım ve hematoloji uzmanları görev almalıdır. Biz bu derlemede, ilgili branşların bu konu hakkında bilgi ve becerilerini arttırmayı, gereğinde bu konuyla ilgili beklentileri karşılayabilecek reaksiyonları gösterebilmeleri için akut radyasyon sendromunun klinik özelliklerini ve tedavi yaklaşımlarını gözden geçirmeyi amaçladık.

Radyasyon Hasarının Biyolojisi ve Klinik Özellikleri

Biyolojik hasarın düzeyi maruz kalınan radyasyon dozuna, radyasyon tipine, uygulanan tıbbi müdahaleye, kaynağa olan mesafeye, kaynakla kazazede arasındaki korunma faktörlerine bağlı olarak değişik düzeylerde meydana gelebilmektedir. Radyasyon organizmada deterministik ve stokastik olmak üzere iki tip hasar oluşturur. Deterministik etkide, radyasyon dozu/hızı ile hasarın düzeyi (derinliği-ciddiyeti) arasında bir ilişki kurulabilirken (deterministik-belirleyici etki); diğerinde doz ile hasarın ortaya çıkabilme olasılığı arasında ilişki (stokastik-olasılık etki) yoktur. ARS'de oluşan farklı hastalık tabloları doza bağımlı değişkenler şeklinde ortaya çıkarlar. Radyasyona bağlı ve geç dönemde ortaya çıkan hasarlar ise olasılıksal etkilere bağlı gelişen zararlara örnek oluşturur ve bunlara sebep olabilecek belirli bir doz eşiği tanımlanmamıştır.

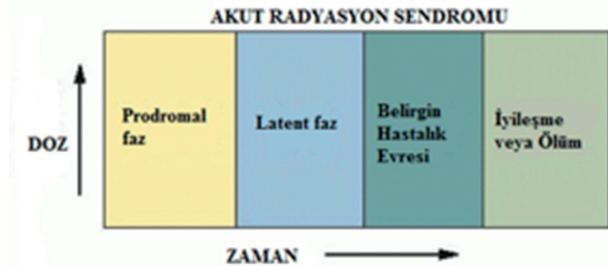
Organizmadaki pek çok doku radyasyon hasarından etkilenirse de, yüksek dozda radyasyona maruz kalındığında ilk olarak yüksek bölünme hızına sahip kemik iliğindeki prekürsör hücreler, testislerdeki spermatositler ve intestinal sistemde yer alan kript hücreleri etkilenmektedir. İyonize edici radyasyona en hassas hücreler hızlı bölünen ve mitotik fazdaki hücrelerdir. Tüm kan hücreleri ve trombositleri oluşturan kemik iliğindeki

ana hücreler, dalak, karaciğer, lenf nodları, timusda bulunan lenfoid dokular radyasyona aşırı hassastır. Lenfositlerin neredeyse tüm sitoplazmayı kapsayan çekirdek yapısına sahip olmaları onları radyasyona ideal hedef durumuna getirmektedir. Barsak mukoza epitel de radyasyona oldukça hassastır. Bu hassasiyet, hematopoetik sistem ve gonadlardaki kadar değildir. Bu nedenle radyasyonun meydana getirdiği değişiklikler ilk olarak özellikle hematopoetik sistem ve spermatogonia üzerinde olmaktadır. Ayrıca deri de radyosensitif bir organdır. Deride meydana gelen radyobiyojik etkiler; total doza ve doz hızına bağlı olarak eritem, tırnak ve saçlarda değişiklikler, kıllanmada azalma gibi belirtiler ve yüksek dozlarda ise pigmentasyonda bozulma, ülserasyon ve dermatittir (3).

ARS'de klasik olarak hematopoetik, gastrointestinal, nörovasküler ve kutanöz organ sistemleri tek tek veya bunların kombinasyonu şeklinde etkilenebilir. Bu sendromların her biri prodromal, latent, belirgin hastalık ve iyileşme ya da ölüm olmak üzere dört klinik aşamada gözlenmektedir (Şekil 1).

Prodromal semptomlar maruziyetten birkaç saat sonra başlar ve başlangıç zamanı genellikle dozun şiddeti ve doz oranına bağlıdır. Latent dönem süresince hasta nispeten klinik açıdan normal veya genellikle semptomsuz olabilir. Belirgin hastalık döneminde, hematopoetik bulgular ve özellikle de nötropeni, pansitopeni kliniği ile ortaya çıkar. Bu fazlar kazazedenin maruz kaldığı radyasyon dozuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Sonuç olarak, radyasyon kazalarının ortak etkileri doz ilişkili olarak çoklu organ tutulumu ve çoklu organ yetmezliği gelişimi şeklinde görülebilir.

Bu tabloya yol açan olayların, iyonize edici radyasyon maruziyetini takiben reaktif oksijen radikallerinin aşırı üretimi ve hücrede apoptozis, nekroza yol açması sonucu hücre debrislerinin (özellikle lipid peroksidazların) oluşumu olduğu bilinmektedir. Reaktif oksijen radikallerinin aşırı üretimi genellikle 4 Gy üzerinde iyonize edici radyasyon dozları sonrası gelişir.



Şekil 1. Akut radyasyon sendromunun fazları

Çeşitli araştırmalar reaktif oksijen radikallerinin bazı endotel gibi hücre tiplerinde apopitozise veya nekrotik hücre ölümüne neden olduğu göstermektedir. Endotel hücrelerindeki böyle bir hasar mikrovasküler kanama ve kapiller sızıntıyı başlatabilir. İyonize edici radyasyon ayrıca normal hücrelerin fagositik yanıtını bozabilir ve apopitotik hücrelerin temizlenmesini önleyebilir. Reaktif oksijen radikallerinin neden olduğu hücre debrisindeki artış mikrovasküler hasara yol açabilir. Ayrıca, reaktif oksijen radikalleri endoplazmik retikulumdan Ca^{++} iyonu salınımına, takiben de nekroz ve apopitoziste artışa yol açabilir. Sonuçta çoklu organ yetmezliği sendromu gelişir. Anoreksi, apati, mide bulantısı, kusma, diyare, ateş, taşikardi ve baş ağrısı erken dönemde ortaya çıkan ve radyasyon dozu ile orantılı olarak değişkenlik gösteren bulguları kapsamaktadır (4,5).

Genel olarak 1 Gy veya daha düşük vücut dozlarında prodromal bulgular çok hafif bir şekilde ve bazen de hiç görünmeyebilir. Klasik olarak ARS hematopoetik, gastrointestinal ve nörovasküler olmak üzere 3 alt sendrom şeklinde gözlenebilir.

Hematopoetik sendrom: Tüm vücut veya kemik iliği dozu >1 Gy olduğu durumlarda ortaya çıkan klinik tablodur. Hematopoetik sistemin radyasyona çok duyarlı sistem olması, radyasyon maruziyetinin düzeyinin belirlenmesi ve hastanın prognozu açısından en belirleyici faktördür (6). Bu sisteme ait değişikliklerin ilk günden titizlikle izlenmesi gerekir. Ayrıca kemik iliği yetersizliği olanlarda bazı tedavi girişimlerinin çok erkenden yapılması gerekliliği de bilinmelidir. Çeşitli radyasyon kazaları ve tedavi amaçlı yüksek doz ışınlama gibi deneyimlerden elde edilen bilgilere bağlı olarak LD 50/60'ın (etkilenen insanların %50'sini 60 gün içinde öldürebilen doz) destek tedavisi yapılmayanlarda 3,25-4 Gy kadar olabileceği düşünülmektedir (7). Buna karşılık antibiyotik ve transfüzyon desteği alanlarda bu doz 6-7 Gy'ye çıkabilirken, izolasyon koşulları sağlanan ve allojenik hematopoetik kök hücre nakli yapılabilen olgularda 7-9 Gy dozlarındaki radyasyona rağmen sağkalım olasılığı olduğu, 10-12 Gy üzerindeki bir doza maruz kalanların ise neredeyse hiç hayatta kalma şansı olmadığı belirtilmektedir (8,9).

Gastrointestinal sendrom: Gastrointestinal sendrom $>5-6$ Gy dozlarda meydana gelir. Hafif gastrointestinal semptomlar karın ağrısı ile birlikte 1-2 ishal atağıyla sınırlı ise gerçekte belirgin iyileşmeye eşlik eder. Prodromal evre, şiddetli mide bulantısı, kusma, sulu ishal ve abdominal kramplar radyasyon maruziyeti sonrası saatler içinde meydana gelir. Daha yüksek dozlarda, kanlı diyare, hipovolemi, sıvı-elektrolit kaybı,

sok ve ölüm gerçekleşebilir. Yüksek radyasyon dozlarında (10-12 Gy) barsak mukozasında yer alan epitel hücre tabakasında yoğun soyulmaya sekonder normal floradaki mikroorganizmaların bozulmuş bariyer fonksiyonu neticesinde kan dolaşımına geçişi ile sepsis tablosu oluşabilir. Ciddi komplikasyonlar barsak duvarında ülserasyon ve nekrozu içerir. Son durumda, iyileşme mümkün değildir, kriplerdeki radyasyona duyarlı kök hücreler devamlı olarak hasara uğrar. Sonuçta, normal barsağın soyulması ve villusların yüzeyinde kayıplar sonucunda hücreler yeniden oluşamaz (10).

Serebrovasküler sendrom: Genellikle >10 Gy dozlarda meydana gelir. Kan-beyin bariyerinin bozulması, interstisyel ödem, akut enflamasyon, peteşiyel kanamalar, meninklerin enflamasyonu ve perivasküler astrositlerin hipertrofisi sonucunda değişik klinik tablolar ile ortaya çıkar. On ile 20 Gy radyasyon dozlarında persistan kusma, ciddi baş ağrısı, belirgin nörolojik bulgular, disoryantasyon, bilinç kaybı, nöbetler gözlenebilmektedir. Fizik muayenede, papil ödemi, ataksi ve derin tendon reflekslerin kaybı ve korneal reflekslerde azalma gözlenir. Sonuçta hipotansiyon, serebral ödem, artan intrakraniyal basınç ve serebral anoksi neticesinde 5-6 gün içerisinde ölümle sonuçlanır (11).

Radyasyon Dozunun Hesaplanması

Radyasyon dozunun tahmin edilmesi, radyasyon hasarının seyrini ve şiddetini öngörmek, kısa süreli tirajı kolaylaştırmak, tedaviye yönelik önlemleri kısa sürede almak, radyasyon maruziyetinden dolayı oluşabilecek uzun dönem risklerini saptayabilmek için çok önemlidir. Temel olarak 2 farklı şekilde hesaplanabilmektedir.

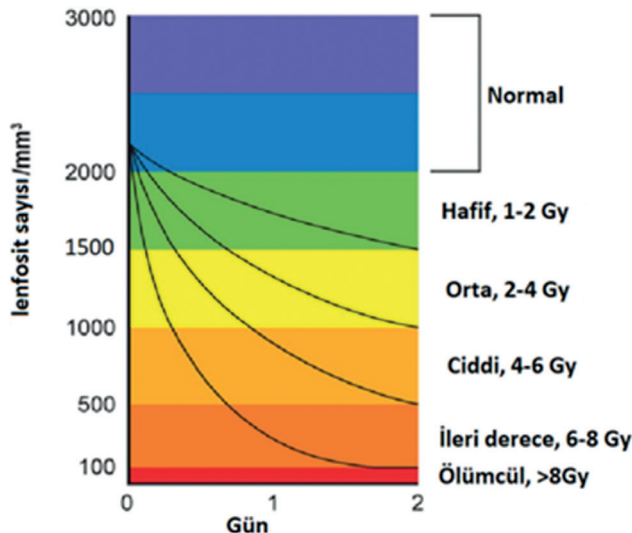
Fiziksel dozimetre: Personel dozimetreleri veya surveymeter aracılığıyla yapılan ölçümlerdir. Bununla birlikte, acil bir durumda, özellikle potansiyel olarak radyasyona maruz kalmış birçok kişi olduğunda, pratik olmayan, zaman alıcı bir süreçtir. Alfa yayıcılar (plutonyum, amerikanum, kaliforniyum) ve beta-gama yayıcıları (sezyum, kobalt ve iyot) gibi akciğerlere, gastrointestinal sisteme ve diğer dokulara radyoaktif materyallerin internal kontaminasyonu durumunda dozu tahmin etmede özel enstrümantasyonlar (iyon odaları ve spektroskoplar gibi) gerektirir (12,13,14).

Klinik ve biyolojik dozimetre: Kısmen zamana dayalı olsa da altın standart olarak kabul edilir. Kusmanın başlangıç zamanı, lenfosit sayılarındaki azalma hızı/derinliği ve kromozom aberasyon testleri ile saptanabilmektedir (Tablo 1).

Radyasyon hasarı sonrası ilk olarak lenfosit sayılarında azalma gözlenir ve diğer sitopenilerden önce gelişir. Özellikle mutlak lenfosit sayılarındaki değişiklikler maruziyetten sonraki ilk 2-3 gün içerisinde gerçekleştiğinden, 4-6 saat aralıklarla lenfosit sayılarının izlenimi radyasyonun neden olduğu hasarı saptamak için oldukça önemlidir (Şekil 2). İlk 24 saat içinde mutlak lenfosit sayımında %50'lik bir azalma ve takiben 48 saat içinde daha ciddi bir düşüş gözlenmesi, potansiyel olarak ölümcül bir radyasyon dozunu karakterize eder (15).

Kromozom aberasyon testi, lenfositlerdeki kromozomal bozuklukların (disentrik, kromozomal halka vs.) frekansı maruz kalınan radyasyon dozu ile koreledir. En fazla güvenilen ve kabul görendir. Dünyada bir çok laboratuvarın iyi bir şekilde elde edilmiş doz-cevap eğrileri mevcuttur. Bu sitogenetik metodun kullanılması ile saptanabilen en düşük doz, X ve gama ışınları için yaklaşık 0,2 Gy, fisyon spektrum nötronları için yaklaşık 10-20 mGy'dir (16). Kısmi vücut ışınlanmasında bu

Tablo 1. Kusma başlangıç zamanına göre doz tahmini	
Doz (Gy)	Kusma olana kadar geçen süre (saat)
1	>4
2	>2
4	1,7
6	1
10	<0,5



Şekil 2. Lenfosit sayısındaki değişiklikler ve beklenen hasar düzeyi arasındaki ilişki

teknik kullanımında bazı sınırlamalar vardır. Kromozom aberasyonlarının varlığı radyasyon hasarını gösterebilir ancak kesin doz tayinine izin vermez. Ayrıca farklı radyonüklidlerin vücuttaki dağılımlarının farklı olması nedeni ile internal kaynaklarından alınan dozlar, her zaman saptanamaz. Periferik bir kan örneği sitogenetik biyodozimetre laboratuvarlarının politikalarına uygun olarak maruziyetten 24 saat veya daha sonrasında alınmalıdır. Numune alındıktan yaklaşık 48-72 saat (kuluçka dönemi) sonra sonuçlar elde edilebilmektedir. Mikronükleus analizi yöntemi ile daha hızlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu teknikte de lenfosit kültürü gereklidir. Ancak sayım daha hızlı ve kolaydır. Özellikle bilgisayar destekli görüntü analizi, metafaz kromozomların analizi için gerekli olandan daha az çaba gerektirir (17).

Tedavi

Geniş kitleleri ilgilendiren bir akut radyasyon kazası durumunda, ilk 48 saat içerisinde kazazedelerde oluşabilecek radyasyon hasar düzeyini ve uygulanacak medikal tedavi yaklaşımlarını hızla belirlemek için METROPOL (Medical Treatment Protocols for Radiation Accident Victims) skorum sistemi kullanılmaktadır (Tablo 2) (18,19).

Çoğu yaralanma ve hastalıkta olduğu gibi, radyasyon kazalarında da kazazedenin çok detaylı bir hikayesi alınmalı, bahsi geçen dozimetrik yaklaşımlarla hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu en kısa sürede tahmin edilerek en uygun tedavi yaklaşımı belirlenmelidir. ARS şüphesi ile başvuran bir hastada ilk 24-48 saat içerisinde aşağıda verilen işlemler hızlı bir şekilde yapılmalı ve düzenli kayıtları tutulmalıdır.

- İlk 24 saatte 4-8 saat ara ile tam kan sayımları (lenfosit, granülosit, platelet) bakılmalı ve birinci günden sonra 12 saat arayla bu testler tekrarlanmalı,
- Kromozom aberasyon testi için mutlaka kan örneği alınmalı,
- HLA (insan lenfosit antijeni) tiplendirmesi için serum örnekleme yapılmalı,
- Radyasyon kontaminasyonundan şüpheleniyorsa mutlaka dışkı ve idrar örnekleri alınmalıdır,
- Hastaların maruz kaldığı radyasyon dozlarına göre tedavi yaklaşımları Tablo 3, 4, 5, 6 ve 7'de özetlenmiştir.

ARS'nin tedavisinde takip edilecek prensip, kemik iliği depresyonunda ortaya çıkabilecek komplikasyonları önlemeye yönelik olmalıdır. Yaklaşık 2-6 Gy radyasyon maruziyetinden sonraki ilk 6 hafta içerisinde uygulanacak

tıbbi tedavi özellikle pansitopeni ve enfeksiyonları önlemeye yönelik olmalıdır. Şiddetli derecede anemi ve trombositopeni genelde maruziyetten 2-4 hafta sonra ortaya çıkar. Düşük radyasyon maruziyetinde (<3 Gy) kısa süreli sitokinlerle tedavi mümkün olabilmekteyken, daha

yüksek radyasyon maruziyetlerinde (>7 Gy) sitokinler, kan transfüzyonları, kemik iliği nakli gibi uzun süreli tedavilere ihtiyaç duyulmaktadır. Cerrahi müdahale düşünülüyorsa ilk 48 saat içinde yapılmalı veya maruziyetten en az 6 hafta süre geçmesi beklenmelidir.

Tablo 2. Radyasyon maruziyetinin şiddetinin skorlaması (METROPOL)

Bulgular	Skor 1	Skor 2	Skor 3
Semptomların başlangıç zamanı	<12 saat	<5 saat	<30 dakika
Deride eritem	0	+/-	+++ (<3 saat)
Bulantı	+	+++	++++
Kusma	Maksimum 1 kez	1-10	>10
Diyare	2-3	2-9	>10 sulu
Baş ağrısı	0	++	Belirgin
Ateş	<38	38-40	>40
Kan basıncı	Normal	Geçici azalma	Sistolik <80
Bilinç durumu	0	0	Koma
Lenfosit sayısı	24. saat: >1500	<1500	<500
Lenfosit sayısı	48. saat: >1500	<1500	<100
Takip	Ayaktan	Hospitalizasyon	Hospitalizasyon

Tablo 3. Tüm vücut dozu: 1-2 Gy

Bulgular	Prodromal	Latent	Kritik faz	İyileşme - ölüm
Kusma	%10-50	21-35 gün	Yaklaşık 1 ay sonra yorgunluk, halsizlik şikayetleri	Danışmanlık Stokastik etkiler yönünden takip Psikolojik destek
Kusma zamanı	3-4 saat sonra			
Diyare	Yok			
Ateş	Normal			
Epilasyon	Yok			
Tedavi - takip	Ayaktan gözlem			

Tablo 4. Tüm vücut dozu: 2-4 Gy

Bulgular	Prodromal	Latent	Kritik faz	İyileşme - ölüm
Kusma	%70-90	18-28 gün	Yaklaşık 1. ayda yorgunluk, halsizlik diyare kanama	Danışmanlık, Stokastik etkiler yönünden takip Psikolojik destek % 50 ölüm (tıbbi destek olmaksızın)
Kusma zamanı	1-2 saat sonra			
Diyare	Hafif			
Ateş	Hafif artmış			
Epilasyon	>15. gün saç dökülmesi			
Tedavi - takip	Hospitalizasyon			

Profilaktik antibiyotiklerin kullanılması, kan ürünlerinin uygulanması, hastaların antiseptik bir koşutta izolasyonu ve ateş, kanama, orofaringeal ülserasyonlar, nörolojik ve vasküler değişiklikler gibi klinik semptomların dikkatli gözlemlenmesi gerekmektedir. Ateş 38 °C'den daha yüksek olduğunda kan kültürüne başlanmalıdır. Kemik iliğinin kendiliğinden iyileşmesini imkansız kılacak kadar yüksek dozlarda tüm vücudun ışınlandığı durumlarda, kemik iliği transplantasyonu (KİT) kazazedeler için kaçınılmaz bir tedavi gibi görünmektedir.

Buna rağmen, KİT'nin bir çok kısıtlaması vardır. Bunlar, doku uyumlu donörlerin belirlenmesi, lenfopenik hastalarda HLA belirlenmesi, ek immünoşüpresyon ihtiyacı ve alıcıda doku naklinin yaratacağı (graft versus vs.) risklerdir (20).

Sonuç

Nükleer ve radyolojik kazalar sonrası meydana gelen akut radyasyon sendromu, tıbbi ve cerrahi müdahalelerin

Tablo 5. Tüm vücut dozu: 4-6 Gy

Bulgular	Prodromal	Latent	Kritik faz	İyileşme - ölüm
Kusma	%100	8-18 Gün	Yaklaşık 1. ayda yorgunluk Halsizlik Diyare Kanama	Hematopoetik, gastrointestinal nörolojik sendrom %20-60 1-2 ay içerisinde ölüm
Kusma zamanı	<1 saat			
Diyare	3-8 saat içinde			
Ateş	1-2 saat içinde yükselir			
Epilasyon	Var			
Tedavi - takip	Hospitalizasyon, agresif destek bakım			

Tablo 6. Tüm vücut dozu: 6-8 Gy

Bulgular	Prodromal	Latent	Kritik faz	İyileşme - ölüm
Kusma	%100	Yaklaşık 7 gün sürer	Yorgunluk, halsizlik, diyare, kanama, enfeksiyon, disoryantasyon,	Hematopoetik, gastrointestinal nörolojik sendrom >%50 (1-2 hafta) ölüm
Kusma zamanı	<30 dk.			
Diyare	1-3 saat içinde ağır diare			
Ateş	1 saat içinde yükselir			
Epilasyon	Komple saç dökülmesi			
Tedavi -takip	Hospitalizasyon, agresif destek bakım, kemik iliği transplantasyonu?			

Tablo 7. Tüm vücut dozu: >8 Gy

Bulgular	Prodromal	Latent	Kritik faz	İyileşme - ölüm
Kusma	%100	<7 Gün	Yorgunluk, halsizlik sulu, kanlı diyare enfeksiyon disoryantasyon bilinç kaybı hipotansiyon nöbet	Hematopoetik, gastrointestinal nörolojik sendrom Ölüm <1 hafta
Kusma zamanı	<10 dk			
Diyare	Çok kısa sürede			
Ateş	<1 saat			
Epilasyon	Komple saç dökülmesi <10 gün			
Tedavi - takip	Hospitalizasyon, agresif destek bakım, kemik iliği transplantasyonu?			

yanında hızlı teşhis ve tedavi gerektirmektedir. Akut radyasyon sendromunun doğru değerlendirilmesi, tedavisine en kısa sürede başlanması hasta yönetimi açısından son derece önem arz etmektedir. Bu açıdan makalemizin radyasyon kazalarında görev alacak hekim ve sağlık personeline hastayı değerlendirmeleri açısından önemli katkılar sağlayacağını ümit ediyoruz.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, et al. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Ann Intern Med* 2004;140:1037-1051.
2. De-Coursey E. Human pathological anatomy of ionizing radiation effects of the atomic bomb explosions. *Mil Surg* 1948;102:427-432.
3. Young NS, Maciejewski JP. Aplastic anemia , Hematology, Basic Principles and Practice. In: Hoffman R, Benz EJ, Shattil SJ, Furie B, Cohen HJ, Silberstein LE, Mc Glave P, editors. Elsevier Churchill Livingstone; 2005. p. 381-417.
4. Vriesendorp HM, Van Bekkum DW. Susceptibility to total-body irradiation. In: Broerse JJ, MacVittie T, editors. Response to total-body irradiation in different species. Amsterdam: Martinus Nijhoff; 1984.
5. Anno GH, Young RW, Bloom RM, Mercier JR. Dose response relationship for acute ionizing-radiation lethality. *Health Phys* 2003;84:565-575.
6. Walker RI, Cerveny RJ. Medical Consequences of Nuclear Warfare. Falls Church, VA: Office of the Surgeon General; 1989. Available at www.afri.usuhs.mil.
7. Vorobiev AI. Acute radiation disease and biological dosimetry in 1993. In: Dainiak N, Schull WJ, Karkanitsa L, Aleinikova OA, editors. Radiation Injury and the Chernobyl Catastrophe. Miamisburg, OH: Alpha Med Pr; 1997.
8. Anno GH, Young RW, Bloom RM, Mercier JR. Dose response relationships for acute ionizing-radiation lethality. *Health Phys* 2003;84:565-575.
9. Saenger EL. Radiation accidents. *Ann Emerg Med* 1986;15:1061-1066.
10. Mettler FA Jr, Upton AC. Medical Effects of Ionizing Radiation. 2nd Philadelphia: WB Saunders; 1995.
11. Hall EJ. Acute effects of total-body irradiation. In: Hall EJ. Radiobiology for the Radiologist. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000:124-35.
12. Bouville A, Anspaugh L, Beebe GQ. What is desirable and feasible in dose reconstruction for application in epidemiological studies? In: Karaglou A, Desmetg G, Kelly GN, editors. The radiological consequences of the Chernobyl accident. Luxembourg: Office for Official Public of the European Communities; 1996.
13. Brooks AL. Biomarkers of exposure, sensitivity and disease. *Int J Radiat Biol* 1999;75:1481-1503.
14. Management of persons accidentally contaminated with radionuclides. NCRP 1980. 65. Bethesda. National Council on Radiation Protection and Measurements; 1979.
15. Goans RE, Holloway EC, Berger ME, Ricks RC. Early dose assessment following severe radiation accidents. *Health Phys* 1997;72:513-8.
16. Ishihara T, Sasaki MS. Radiation Induced Chromosome Damage in man. New York: Alan R. Liss; 1983.
17. Szirmai S, Berces J, Köteles GJ. Computerized image analysis for determination of micronucleus frequency. *Environ Health Perspect* 1993;101(Suppl 3):57-60.
18. Gorin NC, Fliedner TM, Gourmelon P, et al. Consensus conference on European preparedness for haematological and other medical management of mass radiation accidents. *Ann Hematol* 2006;85:671-679.
19. Gourmelon P, Benderitter M, Bertho JM, et al. European consensus of the medical management of acute radiation syndrome and analysis of the radiation accidents in Belgium and Senegal. *Health Phys* 2010;98:825-832.
20. Vorobiev AI. Acute radiation disease and biological dosimetry in 1993. *Stem Cells* 1997;15(Suppl 2):269-274.



Nükleer-Radyolojik Acillerde Tıbbi Triyaj

Medical Triage in Nuclear-Radiological Emergency

Alper Özgür Karaçalıoğlu

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

Öz

Radyolojik ve nükleer aciller, radyoaktif bir kaynağın bir şekilde kontrol dışı kalmasıyla kişi veya kişilerin belirli bir süre bu kaynağa maruz kalmalarından, radyoaktif maddeler ile kontamine olmuş konvansiyonel bomba (kirli bomba) patlamasına, nükleer santral kazalarına ya da nükleer bir patlama sonrası kitlesel kayıplardan sağ kurtulanlara kadar değişkenlik gösterebilir. Bu kriz durumunda, ilk tıbbi yardım, ilk triyaj, dekontaminasyon ve ikinci triyaj genelde izlenen ilk yardım yaklaşım yöntemleridir. Triyaj, kelime anlamı olarak, tıbbi yardım önceliğine göre hasta veya yaralıların sınıflandırılması ve ileri tıbbi bakım sağlanacak birimlere nakledilmesidir. Acil ve önemli olan ise radyolojik-nükleer bir acil duruma maruz kalmış kazazedelerde radyasyon dışında eşlik eden biyolojik yaralanmaların olup olmadığıdır. Çünkü kazazedelerin erken dönemde hayatta kalma oranlarını öncelikle bu eşlik eden biyolojik yaralanmaların varlığı, niteliği ve ciddiyeti belirler. Bu nedenle kazazedenin iç veya dış bulaşma varlığı dikkate alınmadan önce hayat kurtarıcı eylemlerin öncelikle solunum ve dolaşımın devamının sağlanması ve ekstremitte koruyucu tedbirlerin alınması önemlidir. Radyasyon dedektörleri ile ortamın ve kazazedelerin üzerlerindeki radyasyon düzeyleri ölçülür ve aktivite saptanırsa bunu kazazedelerin dekontaminasyon süreci izler. Daha sonra kazazedeler ilk yardım merkezine nakledilirler. Bu tip olaylarda olaya müdahale eden ilk yardım görevlilerinin maruz kaldığı doz düzeyi önemlidir. Bunu en aza indirmek için, her ne kadar fiziksel aktiviteyi kısıtlasa da, bulaşma olmuş bölgeye giden ilk müdahale ekipleri solunum deri ve gözlerini korumak için koruyucu donanımı giymek zorundadır. Aslında böyle bir krizi başarılı yönetmenin tek yolu böyle potansiyel bir krizi önceden görüp hazırlık yapmak ve tedbir almaktır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer acil, radyolojik acil, triyaj

Abstract

Radiological and nuclear emergency situations vary from person or people exposing to uncontrolled radioactive source for a while to victims from a mass loss after detonation of a conventional bomb contaminated with radioactive materials (dirty bomb), accident in nuclear reactor plant or detonation of a nuclear bomb. First aid approach methods, which should be followed, are first medical aid, first triage, decontamination and second triage of the victims in this kind of crisis. Triage is, literally, the classification of patients or injured persons according to the priority of medical aid and the transfer to advanced medical care units. What urgent and important is that whether there are accompanying biological injuries other than radiation in accidents that have been exposed to a radiological-nuclear emergency. Because the existence, nature and severity of these accompanying biological injuries primarily determine the early survival rates of casualties. For this reason, it is important to take into account life saving actions. Therefore ensuring continuation of the respiration and circulation, and extremity protective measures should be performed before taking into consideration the existence of internal or external contamination of a victim. The radiation levels in the environment and on the victims are measured by radiation detectors and when the activity is detected, decontamination process of the victims is followed. The victims are then transferred to the first aid center. The level of dose to which first aid workers are exposed in such events is important. Although the physical activity is restricted, the first aid teams who go to the contaminated area have to wear protective equipment to protect the respiratory skin and eyes to minimize the exposed dose. In fact, the only way to manage successfully a potential crisis like this is to foresee and to take precautions for preparation.

Keywords: Nuclear emergency, radiological emergency, triage

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Alper Özgür Karaçalıoğlu, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: aokaracali@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-2683-804X

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

Giriş

Radyolojik ve nükleer aciller, radyoaktif bir kaynağın bir şekilde kontrol dışı kalmasıyla kişi veya kişilerin belirli bir süre bu kaynağa maruz kalmalarından, radyoaktif maddeler ile kontamine olmuş konvansiyonel bomba (kirli bomba) patlamasına, nükleer santral kazalarına ya da nükleer bir patlama sonrası kitlesel kayıplardan sağ kurtulanlara kadar değişkenlik gösterebilir. Maruz kalınan radyoaktif kaynağın dozu bir milikürden milyonlarca miliküriye kadar değişebilir. Ayrıca bu radyoaktif kaynakların etki alanları, iridyum-192 gibi sınırlı bir bölgede etkili iken, bir nükleer santral kazası ya da nükleer bir patlama sonrası, nükleer serpinti ve atmosfer olayları nedeniyle çok geniş alanlara kadar yayılabilir. Canlıların radyasyondan zarar görme olasılıkları zamanın bir fonksiyonu olduğu için maruz kalınan süre de çok önemlidir ve anlık etkilenmeden saatlere kadar değişkenlik gösterebilir. Yine böyle bir radyoaktif kaynağa canlıların maruz kalma şekilleri ile iç ve dış bulaşmanın varlığı alınan dozlar açısından belirleyicidir. Dolayısı ile olaya müdahale edecek ilk yardım personelinin bu konularda bilgilendirilmesi, nasıl bir yaralı veya kazazede ile karşılaşacakları hakkında bilgi verirken böyle bir süreçte tahmini ne kadar bir doza maruz kalacakları ve almaları gereken önlemler açısından da hayati önem arz eder. Radyolojik ve nükleer aciller, bir kişiyi, grubu veya daha büyük kitleleri etkileyebildiğinden, etkilenen sayısı arttıkça tıbbi yardım açısından öncelik belirleme ve nakil, kısıtlı tıbbi olanakların uygun kullanımı açısından büyük önem arz eder. Bu nedenle bu tip olayların saptanması, niteliğinin belirlenmesi ve sonrasında izlem önemli aşamalardır. Aslında böyle bir krizi başarılı yönetmenin tek yolu böyle potansiyel bir krizi önceden görüp hazırlık yapmak ve tedbir almaktır (1,2). Dolayısı ile böylesi potansiyel bir krizde, ilk müdahale, komuta kontrol ve dekontaminasyonda görev alacak kadroların önceden belirlenmesi, eğitim ve tatbikatların yapılması, gerekli donanımların önceden temin edilmesi ve kolay ulaşılabilir bir yerde muhafazası, tahliye zincirinin planlanması, en az zararlı olayın üstesinden gelinmesi açısından çok önemlidir (3). Hatta halkı da içine alacak büyük tatbikatlar böyle bir krize karşı hazırlıklı olmak açısından da faydalı olabilir (4). Dolayısı ile hazırlanacak planlar, personel ve kaynak yönetimini, ilk müdahale timlerinin sağlık ve emniyetlerinin korunmasını ve iletişim konularını içermesi gerekmektedir.

Her ne kadar acil koşullarda geçerli olmayabilirse de yürürlükteki bir radyasyon güvenlik programının temel amacı radyasyonun deterministik ve stokastik etkilerini

sınırlamak ve bunun için hastaları, görevlileri ve halkı kaçınılabılır radyasyon maruziyetinden korumaktır (5). Bu amaçla, mesafe, zaman, zırhlama ve radyoaktif kaynağın kontrolünden oluşan ALARA (as low as reasonably achievable) prensibi göz önüne alınır. Eğer, radyolojik ve nükleer acil, radyoaktif bir kaynağın bir şekilde kontrol dışı kalmasıyla kişi veya kişilerin belirli bir süre bu kaynağa maruz kalmalarından kaynaklanmış ise yapılacak ilk iş kontrolsüz radyoaktif kaynağa ulaşım gerekli zırhlamasını sağlayarak oluşacak sonraki maruziyetleri engellemektir. Kaynak katı ise kontaminasyon riski yoktur ama sıvı ya da uçucu özellikleri varsa maruz kalanların radyasyonun doğrudan etkilerine ilaveten iç ve dış kontaminasyon riski bulunabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Sonrasında kaynakla temas eden kişilere ulaşılıp onların radyasyon kazaları konusunda deneyimli bir ilk yardım kuruluşuna yönlendirilmeleri gereklidir. Bu tip kazalarda eşlik eden yaralanma beklenmediğinden triyaj gerekli olmayabilir. Kazazede radyoaktif bir parça ile yaralanmışsa mümkünse olay yerinde çıkarılıp zırhla emniyet altına alınması sonraki etkilenmeleri azaltacağından önemlidir. Bu tip bir durumda, radyasyon acillerinde görevli personelin uygun hasta-yaralıya yaklaşımını, radyoaktif kaynağa maruziyeti en kısa sürede tutarak, kaynaktan mümkün olduğunca uzaklaştırarak ve mümkün olduğunca radyoaktif kaynakla araya bariyer koyma yöntemi ile zırhlayarak yapması gereklidir (6).

Radyolojik ve nükleer aciller, radyoaktif maddeler ile kontamine olmuş konvansiyonel bomba (kirli bomba) patlaması, nükleer santral kazası ya da nükleer bir patlama sonrası meydana gelmiş ise etkilenenlerin sayısı, radyolojik-nükleer acilin niteliğine göre bir kişiden binlerce kişiye kadar değişkenlik gösterebilir. Bu tip acillerde etkilenenlerde iki konu çok önemlidir. İlki, eşlik eden termal yanıklar ve travma ile yaralanmaların varlığı ikincisi ise radyoaktif kaynak ile etkileşimdir (7). Radyoaktif kaynağın tipi ve niteliği bu gibi durumlarda önem arz eder. Alfa yayanlar gibi zırhlaması kolay ve ciddi dış tehdit oluşturmayanlardan beta gibi partiküller ya da gama gibi elektromanyetik radyasyon yayan ve ciddi zırhlama gerektiren radyasyon tiplerine kadar değişkenlik gösterebilir (8). Yine bu kaynakların fiziksel formu da önemlidir. Katı formda olup bir bölgede sınırlı iken sıvı formda olup çevreye sızıp dağılabilir ya da buharlaşıp havaya karışıp daha geniş alanlara yayılabilir. Dolayısı ile kazazedeler radyoaktif kaynağa doğrudan temas etmiş olabilirler, hem iç hem de dış radyoaktif kaynak ile bulaş meydana gelmiş olabilir ya da kazazedeler sadece radyasyondan etkilenmiş olup bulaşma meydana

gelmemiş olabilir. Bu temas şekli kazazedeye bundan sonraki yaklaşım şeklini belirleme açısından önemlidir.

Genelde akut radyasyon kazaları veya nükleer acillerde, ihtiyaç halinde ilk tıbbi yardım ilk triyaj, dekontaminasyon ve ikinci triyaj genelde izlenen ilk yardım yaklaşım yöntemleridir. Triyaj, kelime anlamı olarak, tıbbi yardım önceliğine göre hasta veya yaralıların sınıflandırılması ve ileri tıbbi bakım sağlanacak birimlere nakledilmesidir. Acil ve önemli olan ise radyolojik-nükleer bir acil duruma maruz kalmış kazazedelerde radyasyon dışında eşlik eden biyolojik yaralanmaların olup olmadığıdır. Çünkü kazazedelerin erken dönemde hayatta kalma oranlarını öncelikle bu eşlik eden biyolojik yaralanmaların varlığı, niteliği ve ciddiyeti belirler. Bu nedenle kazazedenin iç veya dış bulaşma varlığı dikkate alınmadan önce hayat kurtarıcı eylemlerin öncelikle solunum ve dolaşımın devamının sağlanması, kanama kontrolü ve ekstremitelere koruyucu tedbirlerin alınması önemlidir. Bu amaçla kazazede ile öncelikle sözel temas kurulması, yaralının kendinde olup olmadığını anlaşılması açısından önem arz eder. Bilinci ve dolayısı ile iletişimi açık genel durumu iyi yaralılar hızlıca dekontaminasyon ünitesine doğru yönlendirilirler. Genel durumu iyi olmayan bilinci açık yaralıların solunum ve dolaşım bütünlüğü kontrol edildikten sonra gerekiyorsa ekstremitelere stabilizasyonu sonrası nakle uygun hale getirilip dekontaminasyon ünitesine nakledilirler. Üzerlerinde aktivite var ise yaralının genel durumunun önceliğine göre temel dekontaminasyon sonrası donanımlı sağlık merkezine yönlendirilirler. Bilinci açık olmayan yaralılarda önce nabız ve solunum kontrolü yapılarak yaralının hayatta olup olmadığı anlaşılır. Hayatta olan ve bilinci kapalı yaralıların genel durumu kontrol edilip solunum ve dolaşım kontrolü yapılır. Kanama var ise kontrol altına alınır. Gerektiğinde ekstremitelere stabilizasyonu sağlanıp dekontaminasyon merkezine nakledilir. Özellikle çok sayıda kazazedenin bulunduğu durumlarda olay yerine ulaşan ilk ekibin karar vermesi gereken ilk husus budur. Bu durumda kazazedelerin öncelik sırasına göre renkli etiketlenmesi de faydalı olabilir. Örneğin; öncelikli tıbbi müdahale gerektirenlere kırmızı, daha sonra tıbbi müdahale gerektirenlere sarı, gerektirmeyenlere yeşil, ölümlere siyah gibi renkli etiket uygulaması olay yeri müdahale, kontaminasyon-dekontaminasyon ve yaralı naklini kolaylaştıracak pratik bir uygulamadır (9).

Unutulmaması gereken nokta, radyasyon acillerine müdahale ederken her şeyden önce ilk yardıma gidenlerin ve toplumun can güvenliği ön planda tutulmalıdır. Radyasyona maruz kalmış ve bulaşma olmamış hastalar ile minimal bulaşma olmuş olanlar bir tehlike unsuru

oluşturmaz. Ancak bu durumun radyasyon tespit cihazları ile de doğrulanması gereklidir. Olaya müdahale edecek ilk yardım ekipleri, bu tarz olaylara müdahale edebilecek gerekli bilgi, eğitim ve pratiğe sahip profesyonellerden oluşmalıdır. Radyolojik ve nükleer acillere müdahale edecek ekiplerin vazgeçilmez unsurlarından biri sağlık personeli olup doktor ve/veya acil tıp teknisyenlerinden oluşur. Bu ekiplere radyasyondan korunmanın temel ilkeleri öğretilir. Böyle acillere müdahale ederken, zırlama, mesafe ve zaman ilkelerine, ortam koşullarına, durumun ciddiyetine, olayın yaygınlığına göre mümkün olduğunca da uymaları istenir. Sağlık personelinin ilk görevi, radyolojik ve nükleer bir acil durumda kazazedelere ilk müdahalede bulunmak ve bu bölgede kazazedelerin radyasyon dışında maruz kaldıkları biyolojik yaralanmaların önemine göre ilk müdahaleyi yapıp yaralanmaların niteliğine ve önemine göre kazazedeleri sınıflandırıp, öncelikle gerekiyorsa ilk müdahalelerinin yapıp nakledilmeye uygun hale getirdikten sonra nakletmektir. Fiziksel bir travması olmayan olgularda ilk müdahale gerekmez. Bu kazazedelere dekontaminasyon işlemi uygulandıktan sonra, tam donanımlı bir hastaneye maruz kaldıkları doz düzeyine göre radyasyonun akut ve kronik etkilerini izlemek üzere gözetim altına alınırlar. Fiziksel travmaya maruz kalan olgularda ise kanama kontrolü, solunum ve dolaşım devamlılığının sağlanması ve gerekirse ekstremitelere stabilizasyonu yapıldıktan sonra dekontaminasyon, tıbbi ve cerrahi tedavi planlanması ve maruz kalınan radyasyon dozuna bağlı olarak akut ve kronik etkilerinin izlenmesi amacıyla donanımlı bir sağlık merkezine nakilleri sağlanır. Bu sürece, sahada yapılan öncelik belirleme ve nakil işlemi ya da ilk triyaj adı verilir. Bundan sonra kazazedeler dekontaminasyon işlemlerin yapılacağı üniteye yönlendirilirler. Burada hastaların öncelikle kıyafetleri komple çıkarılır. Bu şekilde varsa dış bulaşmanın %95'i uzaklaştırılmış olur. Takip eden bir duş ile de dış kontaminasyonun büyük kısmı uzaklaştırılır. Bundan sonra kazazede güvenli bir şekilde bundan sonraki tıbbi yardımların yapılabileceği bir sağlık merkezine ulaştırılır.

İlk yardım merkezine ulaşan yaralılar için burada öncelik belirleme ve nakil işlemi ya da ikinci triyaj işlemi gerçekleştirilir. Öncelik yaralıda travmanın bulunup bulunmadığı ve varsa hastanın hareket edip edemediğidir. Hareket edebilen travmatik yaralıların ilk tıbbi müdahaleleri gözden geçirilir, öyküleri ve tam kanları alındıktan sonra daha ileri bakım gerektirenleri ilgili kliniklere ya da diğer hastanelere gönderilirler. Hareket edemeyen travmatik olguların cerrahi öncelik gerektirip gerektirmediği ikinci basamak olup, operasyon

gerektirenler tıbbi önceliklerine göre cerrahiye alınırlar. Operasyon aciliyeti olmayan ve hareket edemeyen travmatik hastalar gözetime alınır. Tam kan sayımları yapıp öyküleri tamamlanır. Gerekirse koloni uyaran ilaçlar başlanabilir. Gerektiğinde de opere ya da tekrar opere edilebilirler. Travması olmayan olgularda doğrudan radyasyon hastalığının varlığı araştırılır. Kazazedelerin hepsinden kromozom analizi için kan alınır (10). Ayrıca tam kan sayımı yapılır. Kazanın niteliği, olgunun klinik şikayetleri ve başlanma süresine bakılarak ve mutlak lenfosit sayımları incelenerek doz tayini yapılır. Doz tayini hastaların klinik yönlendirme, yatış ve takip sürelerini belirlemede önemli bir kriterdir (11). Doz ölümcül ise, hasta beklenen sona kadar destek bakımın yapılabileceği bir servise gönderilir. Değilse, koloni uyaran faktörler başlanır ve klinik tablosunun önceliğine göre ilgili serviste gözetim altına alınır. Eğer akut radyasyon hastalığı yoksa epidemiyolojik olarak aldığı doza bakılır ve yüksekse akut radyasyon hastalığı olanlar gibi işlem görür. Değilse kontrole gelmek üzere evine gönderilir (12).

İlk müdahale ekibi, olay yerine ulaştığında, olayın içeriğinin netliği ortaya çıkıncaya kadar çok dikkatli olmak zorundadırlar. Öncelikle olayın niteliği hakkında ne kadar çok bilgiye sahip olurlarsa hem kendilerini korumak hem de yardıma ihtiyacı olanlara uygun yardımı yapabilmek açısından o kadar hazırlıklı olabilirler. Bu tip olaylarda değişik iş kollarından yardım talep edileceğinden, genelde yönetim tek elden olur ve bu nedenle uyumlu ve birlikte çalışmak için emir komuta zincirini takip etmek çok önemlidir. Böylece olayın niteliği, olayın sınırları ve etkilenen birey sayısı hakkında en doğru bilgilere doğrudan ulaşma şansı ortaya çıkar. Ekip lideri eldeki olanakları en uygun şekilde kullanılmasını planlayabilir. Bu tip olaylarda kullanılan işaretlerin bilinmesi de önemlidir. Çünkü olay sadece radyasyon kazası olmayabilir ve eşlik eden kimyasal ya da biyolojik tehlikeler de bulunabilir.

Her ne kadar fiziksel aktiviteyi kısıtlasa da koruyucu donanımı, bulaşma olmuş bölgeye giden tüm ilk müdahale ekibi kendilerini, özellikle; solunum deri ve gözlerini korumak için giymek zorundadır (13). Bu tür olaylara ilk müdahale edecek personele, bu donanım içinde çalışma koşulları zor olacağından, önceden eğitim verilmeli ve düzenli tatbikatlar ile pratiklik kazandırılması sağlanmalıdır. Bu amaç için hazırlanmış donanımlar, müdahalenin niteliğine göre değişik kategorilerde koruyucu görevi görebilen değişik donanımlardan oluşabilmektedir (9). Bunlar; sert koruyucu kask, tüm yüzü kaplayan pozitif basınçlı filtreli yüz maskeleri, kimyasallara dirençli eldiven ve botlar, tüm vücudu

örtten kimyasallara ve buhara dirençli elbiselerdir (14). Bu donanıma kontaminasyon olasılığı ortadan kaldırılmış kişisel dozimetrelerin de ilave edilmesi gereklidir. Böylece bu görevde çalışan personelin maruz kaldığı doz oranları ölçülebilir. Ayrıca ortamın doz oranlarını gösterecek alan dozimetreleri de bu donanımın bir parçası olmalıdır.

Bu tip olaylarda, olaya müdahale eden ilk yardım görevlilerinin maruz kaldığı doz düzeyi önemlidir. Birçok radyasyon kazasında, acil yanıt ekibinin maruz kalacağı dozlar genelde mesleki doz sınırı olan 5 rem'den (50 mSv) azdır. Ancak yaralı sayısının fazla olması ya da yüksek radyasyon dozu bulunan ortamda müdahale ya da yaralı kurtarma işlemlerinin enkaz nedeniyle uzamasından kaynaklanan sorunlar nedeniyle yukarıdaki eşik değerden fazla doz alınması kaçınılmaz olabilir. Bu koşullarda ilk müdahale timi hayatta bir kez alınacak yüksek radyasyon dozunda ilk yardım koşullarını gerçekleştirip gerçekleştirilmeme konusunda kararı bu noktada vermek zorunda kalacaktır. Bu noktada alınan eğitimin ve yüksek doz radyasyonun kısa ve uzun vadede etkilerinin bilinmesi bu tip kararların alınmasında önemli rol oynamaktadır. Böylece ilk müdahalede bulunacak ekibin, özel bir görevin tamamlanması için alınan dozun risklerini göz önüne alıp bu işi yapmaya gönüllü olması için her ferдинin bilgilendirilmiş olarak karar vermesi gerekir. Acil koşullarda hayat kurtarma rehberleri, bu ortamda çalışan işçiler için 25 rem (250 mSv) radyasyonun doza bağlı sağlığa zararlı etkilerinin (özellikle akut etkilerinin) ortaya çıkmayacağını garanti etmektedir. Ancak kanser gibi stokastik kronik etkilerinin artacağı bir gerçektir. Akut radyasyon kazalarına müdahale eden timin, bu görev süresince alacağı doz 25 rem (250 mSv) ve yukarısı olduğundan, radyasyonun akut etkilerine maruz kalabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, kar-zarar hesabı yapıp sonrasında müdahale kararı verilmesi daha uygun bir davranış gibi görünmektedir. Burada amaç ya hayat kurtarma ya da geniş kitlelerin alacağı dozun engellenmesidir. Aslında bu tip müdahalelerde mesleki doz sınırı olan 5 rem (50 mSv) geçildiğinde bile bu personele tıbbi takip önerisinde bulunulmalıdır (15,16).

Sonuç

Yazının önceki bölümlerinde belirtildiği gibi, böyle bir krizi başarılı bir şekilde yönetmenin temel anahtarı, potansiyel tehlikelerin olabileceğini önceden görmek ve buna karşı tedbir almaktır. Değişik kriz senaryoları oluşturulup, bu senaryolarda görev alacak kadroların ve görev dağılımının önceden belirlenmesi, gerekli

donanım ve koruyucu ekipmanın kolay ulaşılabilecek bir yerde depolanması, personelin ve halkın eğitilmesi ve mümkünse geniş ölçekli tatbikatların yapılması, bu ve benzeri krizlerin en az zararla atlatılmasını sağlayacak temel tedbirlerdir. Yoksa o kaotik ortamda, kimse ne yapacağını bilemez. Organize olunamayacağı için kurtarılabilir kazazedeler kaybedilir. Radyoaktif kontaminasyon kontrol edilemez ve olaya müdahale edenler ve ilgisiz olanlar önlenemez dozların çok ötesinde dozlara maruz kalabilirler ve zarar tahminlerin çok ötesine ulaşabilir. Böyle bir olayın oluşmamasını temenni etmek bir iyi niyet göstergesi olsa da gerekli ön tedbirler önceden alınmadığında böyle bir olayın felaket boyutlarına ulaşacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. National Council on Radiation Protection and Measurements. Management of terrorist events involving radioactive material. NCRP Report No. 138. Bethesda Md: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2001.
2. American College of Radiology. Disaster preparedness for radiology professionals: response to radiological terrorism. A primer for radiologists, radiation oncologists, and medical physicists, 2006. (<http://www.acr.org/SecondaryMainMenuCategories/BusinessPracticeIssues/DisasterPreparedness/ACRsDisasterPreparednessPrimer/ACRDisasterPreparednessPrimer2006Doc1.aspx>)
3. International Atomic Energy Agency. Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. IAEA Safety Standards series (No. GS-R-2). (http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1133_scr.pdf)
4. Schoch-Spana M, Franco C, Nuzzo JB, Usenza C; Working Group on Community Engagement in Health Emergency Planning. Community engagement: leadership tool for catastrophic health events. *Biosecure Bioterror* 2007;5:8-25.
5. No authors listed. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007;37:1-332.
6. Musolino SV, DeFranco J, Schlueck R. The ALARA principle in the context of a radiological or nuclear emergency. *Health Phys* 2008;94:109-111.
7. Ricks RC, Berger ME Jr, O'Hara FM, Ricks ME. The medical basis for radiation-accident preparedness: the clinical care of victims. Boca Raton, Fla: CRC; 2002.
8. Management of Persons Contaminated with Radionuclides: Handbook (NCRP Report No. 161, Vol. I), National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, 2008.
9. Ramesh AC, Kumar S. Triage, monitoring, and treatment of mass casualty events involving chemical, biological, radiological, or nuclear agents. *J Pharm Bioallied Sci* 2010;2:239-247.
10. Coleman CN, Koerner JF. Biodosimetry: Medicine, Science, and Systems to Support the Medical Decision-Maker Following a Large Scale Nuclear or Radiation Incident. *Radiat Prot Dosimetry* 2016;172:38-46.
11. Musolino SV, Harper FT. Emergency Response Guidance for the First 48 Hours after the Outdoor Detonation of an Explosive Radiological Device. *Health Phys* 2006;90:377-385.
12. Hick JL, Weinstock DM, Coleman CN, et al. Health Care System Planning and Response for a Nuclear Detonation. *Disaster Med Public Health Prep* 2011;5(Suppl 1):73-88.
13. Varela J. Hazardous Materials Handbook for Emergency Responders. New York: Van Nostrand Reinhold; 1996.
14. Attention emergency responders: Guidance on Emergency Responder Personal Protective Equipment (PPE) for Response to CBRN Terrorism Incidents. (PDF - 281 KB) (NIOSH Publication No. 2008-132, June 2008. Page 5) (HHS/CDC/NIOSH, June 2008.)
15. National Council on Radiation Protection and Measurements. Key elements of preparing, protecting, and equipping emergency responders for nuclear and radiological terrorism. NCRP Commentary No. 19. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005.
16. U.S. Department of Homeland Security. National response plan. (http://www.dhs.gov/xprepresp/committees/editorial_0566.shtm)



Akut Lokal Radyasyon Hasarı ve Tedavisi

Acute Local Radiation Injury and Treatment Methods

Semra İnce

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

Öz

Lokal radyasyon yaralanması (LRY); vücudun lokal bir bölgesinin yüksek dozlarda iyonize radyasyona maruz kalınması sonucu oluşan klinik durumdur. Bir acil olayın erken döneminde LRY tanısı temel olarak klinik bulgulara dayanır (sorgulama ve gözlem). Fakat ne yazık ki, çoğunlukla deri lezyonları hekimler tarafından böcek ısırığı, mekanik travma, lokal enfeksiyonlar, alerjik reaksiyonlar ile karıştırılabilmektedir. LRY genelde yavaş ilerler. Tedavideki temel noktalar enfeksiyon kontrolü, yara bakımı ve ağrı yönetimidir. Bu yazı, LRY tanı ve tedavisi hakkında bilgi sağlamak amacıyla yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lokal radyasyon yaralanması, radyasyon kazası, sitokastik etki, deterministik etki

Abstract

Local radiation injury (LRI) is the clinical condition that results from exposure to high-dose ionizing radiation at a certain area of the body. In the early period of an emergency, the diagnosis of LRI is based primarily on clinical findings (questioning and observation). However, unfortunately, skin lesions are often confused by physicians with insect bites, mechanical trauma, local infections, and allergic reactions. LRI generally progresses slowly. The main points of treatment are infection control, wound care, and pain management. This article aims to provide information about LRI diagnosis and treatment.

Keywords: Local radiation injury, radiation accident, cytostatic effect, deterministic effect

Giriş

Vücudun lokal bir bölgesinin yüksek dozlarda iyonize radyasyona maruz kalınması sonucu oluşan klinik durum birçok tıbbi terim ile tanımlanabilir. Bunlar:

- Lokal ışınlama,
- Lokal radyasyon yaralanması,
- Radyasyon yanığı,
- Radyodermatit,
- Kutanöz radyasyon sendromu (KRS).

Bu yazıda bu klinik durum lokal radyasyon yaralanması (LRY) olarak ifade edilmiştir. Bu yazı, LRY tanı ve tedavisi hakkında bilgi sağlamak amacıyla yazılmıştır. Özellikle pratisyen ve acil hekimlerinin iyi bilmesi gereken bir konudur. Fakat ne yazık ki, çoğunlukla deri lezyonları hekimler tarafından

böcek ısırığı, mekanik travma, lokal enfeksiyonlar, alerjik reaksiyonlar ve hatta pemfigus ile karıştırılabilmektedir. Yanlış teşhis, uygun tedaviyi geciktirerek prognozu daha kötü hale getirmektedir.

Radyasyon kaynaklarının art niyetli kullanımlarında, kişiler radyasyona maruz kaldıklarını bilmeyebilirler. Tüm vücut dozu yeteri kadar yüksek değil ise, bulantı, kusma diyare gibi prodromal semptomlar olmayabilir veya varsa da bu semptomlar başka nedenlere bağlanabilir. LRY'nin varlığının ve yaygınlığının belirlenmesinde bu nedenle tıbbi hikaye çok önemlidir, çünkü kazanın belirti ve bulgularının ortaya çıkması genelde günler veya haftalar alır. Deri hastalığı, termal yanık, böcek ısırığı, alerji ya da deri travması öyküsü bulunmayan bir olguda konservatif yaklaşımla tedavi edilemeyen

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Semra İnce, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: drsemra@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-9633-052X

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

deri lezyonu varlığı, haftalar ya da aylar önce maruz kalınan lokal radyasyon hasarını akla getirmelidir. Eğer hasta "radyasyon tehlikesi" uyarısını gördüyse ve deri lezyonuna baş ağrısı, yorgunluk, iştahsızlık, diyare eşlik ediyorsa LRY'den şüphelenilmelidir (1).

LRY ya da KRS; radyasyona maruz kaldıktan sonra gözlenen, derinin özellikle sitokinler ile ilişkili enflamatuvar cevabını tanımlayan akademik bir kavramdır. Ancak, konvansiyonel aciller ile ilişkili olan metinlerin çoğuna sokulmamıştır ve pratisyenler tarafından iyi anlaşılammıştır. Yüksek dozlara maruz kalmayı takiben olaya katılan sadece deri değil, aynı zamanda subkutan doku ve hatta kas ve kemiklerdir (kutanözden daha fazladır). Bu da hastayı kompartman sendromu açısından risk altına sokar. Hastada klinik tabloya eşlik eden hematopoetik sendrom varsa kanama, enfeksiyon ve kötü yara iyileşmesi nedeniyle klinik olarak daha komplike hale gelebilir.

Deri insandaki en büyük organdır (1,5 ve 2 m² arasında, toplam vücut ağırlığının yaklaşık 1/6'sını oluşturur). Deri insan fizyolojisinde birden çok görev görür. İnsan vücut sıcaklığı ve metabolizmasının düzenlenmesine yardım eder ve vücudu su kaybı, sürtünme ve künt yaralanmalardan korur. Çevreye karşı bir bariyer olarak görev yapar ve bezlerinden bazılarının antienfektif fonksiyonları vardır. Özelleşmiş pigment hücreleri (melanositler) vasıtası ile güneşin UV ışınlarından korur. İnsan derisinde üç fonksiyonel tabaka vardır; epidermis, dermis ve hipodermis.

Epidermisteki hücrelerin büyük çoğunluğu keratinositlerdir. Epiderminin bazal tabakasına ayrıca stratum germinativum da denir çünkü, hücre proliferasyonu ile ilişkilidir. Bazal tabakada üç tür keratinosit tanımlanmıştır; kök hücreler, geçici büyüyen hücreler ve adanmış (committed) hücreler. Kök hücreler bazal hücre popülasyonunun yaklaşık %10'unu temsil ederler ve kendileri de kök hücre olan yavru hücreler veya geçici büyüyen hücreleri oluşturmak için mitoz ile çoğalırlar. Geçici büyüyen hücreler, bazal hücre popülasyonunun yaklaşık %40'ını oluştururlar ve kök hücrelerden çok daha sık çoğalırlar. Geçici büyüyen hücreler, nihai olarak farklılaşmaya adanmış yavru hücreleri oluştururlar. Bu adanmış hücreler, bazal membrandan ayrılırlar, farklılaşırlar ve ölü, kornifiye hücreler olarak döküldükleri deri yüzeyine yaklaştıkça, çoğalmaları nihai olarak azalır. Epiderminin bu klasik hiyerarşik organizasyonu, iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıktan sonra, verilen tipik akut cevabı açıklar.

Öte yandan, dermis ve hipodermis, radyasyona maruz kaldıktan sonra temel olarak geç etkilerin geliştiği fleksibl dokulardır. Dermis su ve kollajenden oluşmuştur. Dermis içine gömülmüş, diğer organlara benzer yapılar vardır; lenfatik ve kan damarları, sinir lifleri ve kas hücreleri. Kıl follikülleri, sebace bezler ve ter bezleri dermise özgüdür. Hipodermis veya subkutan doku, deri altındaki yağ dokusudur. Süngerimsi bağ dokusu ve bunları aralayan adipositleri (yağ hücreleri) içerir. Vasküler endotel, radyasyona özel olarak duyarlıdır. Orta ile yüksek doz ışınlamalarından sonra, neovaskülarizasyon işleminin yanı sıra *endarteritis obliterans* görülebilir. Radyasyon fibrozisi, derinin yüksek doz radyasyona maruz kalmasından sonra sık görülen bir sekeldir ve bu dokular içindeki miyofibroblastların kronik aktivasyonu ile ilişkilidir.

Lokal Radyasyon Yaralanmalarının Klinik Özellikleri

1. Tek bir ışınlama ile oluşan akut deri etkileri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (2):

4-5 Gy: Basit ve geçici tüy kaybı (kaza sonrası 14.-21. günlerde).

5-12 Gy: Eritem ve takiben hiperpigmentasyon (kaza sonrası 14.-21. günlerde).

12-15 Gy: Eritem ve kuru deskuamasyon (kaza sonrası ortalama 20. günde).

15-25 Gy: Islak deskuamasyon, vezikül, bül oluşumu (kaza sonrası 2.-3. haftada).

25-30 Gy: Deri radyo-nekrozu, ülserasyon.

Radyasyon kazalarından elde edilen tecrübeler, LRY'nin, kazazedelerin tıbbi bakım istemelerinin ilk nedeni olduğunu göstermiştir. Klinik olarak önemli bir lezyon oluşumu için derinin bazal tabakasının 10 cm²'den büyük bir alanının radyasyona maruz kalması gerekir. Kaza sonrası ilk haftada (doza bağımlı olarak) hasta asemptomatiktir veya geçici eritem oluşabilir. Bu dönemden başlayarak yakın takip ve bazal tam kan sayımı önemlidir. İlk 6 saatte yaygın eritem varlığı 4 Gy'den fazla tüm vücut dozuna maruz kalındığının belirtisi olabilir. İkinci hafta civarında gerçek eritem oluşur ve epilasyon, deri kuruluğu eşlik eder. Üçüncü haftada kazaya maruz kalan deri bölgesinde nemli, ödemli, ağrılı, kaşıntılı deri oluşur. Kazazedelere lezyon alanına travmadan kaçınmalarını öğütlemek gerekir. Mukozalarda meydana gelen eritem radyasyon mukoziti gelişiminin habercisidir.

Deri dozu ve klinik özellikler arasındaki bu korelasyon, tek bir yüksek doz hızındaki ışınlamadan sonra (yani yüksek dozun çok kısa sürede verilmesi

sonucu) gözlenmiştir. LRY'de doz hızının etkisi net olarak belgelenmemiştir ve uzun süreli (yani daha uzun zaman periyodunda verilen doz) veya kronik dozlardan sonraki deri etkileri ile ilgili veriler kısıtlıdır (Resim 1).

Radyasyonun derideki geç etkileri şunlardır:

- Deri atrofisi,
- Kütanöz fibrozis,
- Hiper/hipopigmentasyon,
- Telenjektazi,
- Hiperkeratozis,
- Saç ve tırnaklarda değişiklik.

2. Deri üzerinde radyasyon tarafından indüklenen geç etkiler; fonksiyonel bozukluk, sekonder nekroz ve hatta kanseri içerebilir. LRY'nin bir özelliği de, yara iyileşmesinden birkaç yıl sonra bile sekonder nekrozun tekrar görülebilmesidir.



Resim 1. 50 Ci Ir-192 kaynağının yaklaşık 5 dakika süreyle sol elde tutulması sonucu 6. ayda sol elde meydana gelen değişiklikler izleniyor. Sol el 2. parmak amputasyonu yapılan hastada, sol el 1., 3. ve 4. parmaklarda onikodistrofi, kronik radyasyon dermatiti ve ülsere nekrotik lezyonlar izlenmektedir

3. LRY radyasyona maruz kaldıktan birkaç saat sonrasında başlayarak, yıllar sonrasına kadar uzayabilen, farklı klinik fazlarda (prodromal faz, hastalık fazı ve geç faz) gelişebilir. Bu fazlar, akut, subakut veya kronik şartlarda ortaya çıkabilir. LRY, ardışık enflamatuvar dalgalar ile (ağrı, ödem, eritem), hiçbir klinik semptomun olmadığı veya çok az olduğu değişen periyotlarda dinamiktir.

4. CDC (The Centers for Disease Control and Prevention) kategorizasyon sistemini kullanarak, klinik bulgu ve semptomlarla ilişkili olarak LRY'de dört ağırlık derecesi tanımlamak mümkündür (Tablo 1):

- Derece 1 (C1) (>2 Gy): Hafif hasar.
- Derece 2 (C2) (>15 Gy): Orta derecede hasar.
- Derece 3 (C3) (>40 Gy): Ağır hasar.
- Derece 4 (C4): Fatal hasar.

5. Deri pigmentasyonunda değişiklikler de olabilir ancak, bu semptom, depigmentasyon veya hiperpigmentasyon ile ilgili referans verinin olmaması nedeni ile CDC derecelendirme sistemine dahil edilmemiştir. Gene de sistematik olarak kaydedilmelidir.

6. CDC tablosunda, deri için klinik semptom olarak bahsedilmesine rağmen, ağrı oluşumu dikkate alınmalı ve farklı bir antite olarak kaydedilmelidir. Çünkü prognozun ve nekroz gelişiminin iyi bir indikatörüdür.

7. LRY'nin yüzey ve derinde yayılımı ve lezyonların yerleşimi de ayrıca kaydedilmelidir. Termal yanıklarda olduğu gibi, yaygınlık çok önemlidir ve prognoz yayılım yerine (örneğin; toraks kalçadan daha önemlidir) ve derinliğine göre değişir. Termal yanıklarda uygulanana

Tablo 1. Lokal radyasyon yaralanmasının ağırlık dereceleri (4)

Semptom	Derece 1	Derece 2	Derece 3	Derece 4
Eritem	Minimal ve geçici	Orta derecede; vücut yüzeyinin <10 cm ² izole alanlar	Belirgin, izole veya birbirleri ile birleşen alanlar; vücut yüzeyinin %10-40'ı	Ağır; izole veya birbirleri ile birleşen alanlar, vücut yüzeyinin >%40'ı, eritroderma
Hissetme/Kaşıntı	Kaşıntı	Hafif ve aralıklı ağrı	Orta derecede ve ısrarcı ağrı	Ağır ve ısrarcı ağrı
Şişme/Ödem	Var, asemptomatik	Semptomatik, gerilim	Sekonder disfonksiyon	Total disfonksiyon
Blister (su toplama) oluşumu	Nadir, steril sıvı ile	Nadir, kanama ile	Steril sıvı ile bül	Kanama ile bül
Desküamasyon	Yok	Kuru	Islak	Birbirine karışan ıslak
Ülser/Nekroz	Sadece epidermiste	Dermal	Subkutan	Kas/Kemik katılımı
Kıl kaybı	İncelme, bariz değil	Yamalı tarzda, görülebilir şekilde	Tam ve genellikle reversible	Tam ve genellikle irreversible
Onikolizis	Yok	Kısmi	Tanımlanmamış	Tam

benzer standart kriterler, örneğin; “dokuzlar kuralı” gibi, LRY’nin yayılımını tespit etmek için kullanılabilir:

- Baş = %9
- Göğüs ve batin = %18
- Sırtın üstü, ortası ve altı ve kalçalar = %18
- Her bir kol = %9
- Kasık = %1
- Her bir bacak = %18

8. LRY şüphesi varsa, etkilenen alanların ilk günde fotoğrafları alınmalıdır. Radyasyon yaralanması bulguları ilerlerse, günlük olarak ek fotoğraflar alınmalıdır; aksi halde, bu işlem haftada iki kez ve herhangi bir cerrahi işlemden önce/sonra tekrarlanmalıdır (klinik gelişme ve tedaviye cevabı izlemek ve yasal amaçlar için). Bu fotoğraflar etiketlenmeli (hasta ID’si, tarih ve zaman) ve hastanın tıbbi kayıtları içinde saklanmalıdır.

9. LRY sonucu oluşan deri lezyonları termal yanıklara oldukça benzer. Ancak termal yanıklar, “radyasyon yanıklarından” aşağıdaki açılardan farklıdır:

- Radyasyon yanıkları dinamikdir, zamansal ve mekansal gelişimleri ön görülebilir değildir ve başlangıçtaki klinik durumdan bağımsızdır,
- Hastada ilk şok görülmez,
- LRY’de etkilenen doku ödemli, gergin ve kaşıntılı olsa da ağrı hemen başlamaz (termal yanıkta başlar), fakat daha sonra görüldüğünde çok ağırdır ve ilaçlara karşı dirençlidir. Ağrı klinik nüksün habercisi olan prognostik bir semptomdur,
- Radyasyon yanıklarında (doza çok bağımlı olmakla birlikte), genellikle başlangıçta doku veya kıl kaybı olmadan (ancak ışınlanmadan 2-3 hafta sonra görülebilir) erken (primer) eritem gözlenirken, termal yanıklar yanığın derinliğine bağlı olarak erken kıl ve doku kaybı gösterirler (5).

10. Maalesef, hastanede LRY’yi belirlemek için hiçbir özgül klinik özellik yoktur ve LRY varlığının kabul edilmesi aşağıdaki verilerin kombinasyonu ile olur:

- Potansiyel olarak atfedilebilecek klinik özellikler (daha önce anlatılanlar gibi),
- Lezyon(lar)ın dinamikleri ve gelişmeleri,
- Açıklanamayan yanık, bilinmeyen sebep (daha önce kimyasal, mekanik veya termal yaralanma öyküsü olmaması),
- Lezyon(lar)ın şekli: Dairesel şekil iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmış olmayı düşündürür (ancak şarbon lezyonları da daireseldir),

- Benzer bulgu/semptomlara sahip başka insanlar (örneğin; aile üyeleri, komşular, iş arkadaşları) (Resim 2).

Lokal Radyasyon Yaralanmalarında Temel Tanısal Araçlar

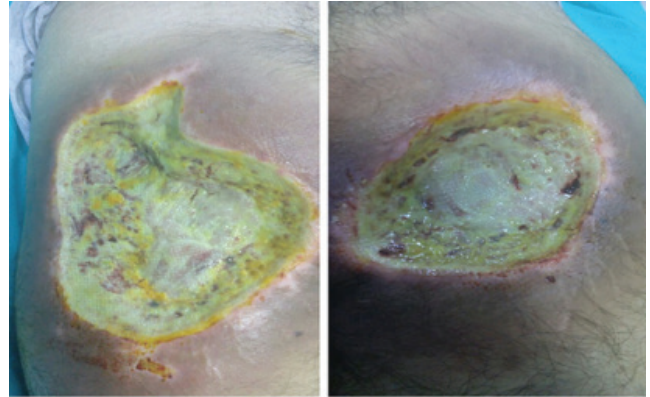
Bir acil olayın erken döneminde LRY tanısı temel olarak klinik bulgulara dayanır (sorgulama ve gözlem). Tamamlayıcı tanısal araçlar [ultrason, pozitron emisyon tomografisi, sitogenetik dozimetri, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) vs.] varsayımı desteklemek ve yaralanmanın yaygınlık ve derinliğini değerlendirmede faydalı olabilir. Sonuçlar bir araya getirilmeli ve klinik bulgular üzerine odaklanarak yorumlanmalıdır.

- Renkli fotoğraf zamanla oluşan değişikliklerin değerlendirilmesi için şarttır. Lezyon(lar)ın boyutlarının kaydedilmesi önemlidir.

- 7,5 MHz veya daha yüksek çözünürlükteki (7,5-20 MHz) ultrasonografi, derideki kalınlık ve yoğunluk değişikliklerini belirlemek için, akut fazda günlük olarak, hastalık fazında ise haftada bir yapılmalıdır. Ekipmanın çözünürlüğüne bağlı olarak, ultrasonografi ayrıca lezyonun derinliği hakkında da bilgi verebilir fakat cerrahi planlamak ve kılavuzluk için kullanılamaz.

- Eritemlerin klinik olarak belirlenmesine ilaveten, hipertermik (enfamatuvar) veya hipotermik (nekrotik) deri alanlarının gelişmesinin tespiti için (izotermal çizgilerin belirlenmesi), ilk saatlerde ve sonra da haftada bir kez termografi yapılabilir. Termografik bulgular, düzenli hasta takibi için referans olarak kullanılabilirler.

- Kan akımı, kapiller mikroskopi (dermal kapillerlerin değerlendirilmesi için) veya Doppler ultrasonografi



Resim 2. 50 Ci Ir-192 kaynağının yaklaşık 2 saat süreyle dönüşümlü olarak pantolonun her iki arka cebinde taşınması sonucu 4. ayda her iki kalçada meydana gelen değişiklikler izleniyor. Sağ ve sol gluteal bölgede ağrılı derin ülserasyonlar ve gelişen derin doku nekrozu izlenmektedir

ile (daha büyük damarlardaki hasarı belirlemek için) değerlendirilebilir.

- MRG; dermis, deri altı yağ dokusu, kas ve kemiğin, sıvı birikmesinin (enflamasyon, ödem, nekroz) bir sonucu olarak artan sinyal yoğunluğunu değerlendirmek için invaziv olmayan bir işlemdir. MRG, ışınlamadan sonraki ilk gün içinde lokal hasarı gösterebilir ve mümkün olan en kısa sürede lezyonun yaygınlığını anlamak için kullanılmalıdır. Cerrahi kararını vermek için önemlidir fakat nekroz ve enflamasyon arasındaki farkı ayırt etmek zor olabilir.

- LRY ihtimalini ekarte etmeden önce, ikinci dalga eritem olup olmadığını görmek için hasta 4 hafta takip edilmelidir. İlk 4 hafta içinde bu ikinci dalga eritem görülmezse, daha sonra deri lezyonlarının gelişmesi uzak ihtimaldir.

Lokal Radyasyon Yaralanmalarının Tıbbi Tedavisi

LRY genelde yavaş ilerler (haftalar veya aylar sürebilir). Konservatif metotlarla tedavi oldukça zordur. Tedavideki temel noktalar enfeksiyon kontrolü, yara bakımı ve ağrı yönetimidir. Erken dönemde plastik-rekonstrüktif cerrahi yardımı önem taşır.

1. Genel bir yaklaşım olarak, prodromal dönemde deri koruyucu kremler kullanılabilir; daha sonra akut/kronik enflamasyonu kontrol etmek için topikal veya sistemik steroidler, hidrokolloid pansuman, lokal enfeksiyon profilaksisi ve tedavisi dikkate alınmalıdır; daha sonra pentoksifilin ve alfa tokoferol uygulanabilir.

2. Hafif (C1) ve orta derecede (C2) LRY tedavisi nispeten basittir ve bir çok ülkede yapılabilir. Ağır ve fatal (C3 ve C4) derecede LRY, uzmanların olmasını ve sıklıkla uluslararası yardımı gerektirir.

3. C1, LRY için poliklinik tedavisi gereklidir. Buna antienflamatuvar losyonlar/tozlar, topikal antienflamatuvar ve antiproliferatif non-atrofik glukokortikoidler (sitokin ekspresyonunun süpresyonu için) yanında sistemik antihistaminikler dahil olabilir.

4. C2, LRY tedavisi poliklinik temelinde yapılabilir. Pansumana genellikle ihtiyaç olur. Enfeksiyondan korunma önemlidir.

5. C3, LRY hastaları için hastanın hastaneye yatırılması endikedir. Nekrotik dokuların debrütmanı, yapışmayan pansumanların kullanımı ile beraber bakteriyostatik ajanların, antienflamatuvar ajanların ve esansiyel yağ asitlerinin topikal olarak kullanımı yararlıdır. Sistemik tedavide, standart protokollere uygun olarak,

antienflamatuvar ve antiproliferatif glukokortikoidler ve etkin analjezi gereklidir.

6. C4, LRY'li hastalarda yoğun bakım ünitesi olan hastanelere yatış endikedir. Bu hastaların muhtemelen erken cerrahiye de ihtiyaçları olacaktır.

7. Ağır LRY (C3 ve C4) için klasik tedavi yaklaşımı:

- Yüzeysel lezyonlar için konservatif tedavi,
- Ağrılı derin ülserler ve nekroz için cerrahi:

- Ülseretomi,
- Nekrotomi,
- Rotasyon flep'i ile yaranın kapatılması,
- Ampütasyon.

c. Derin ve yaygın nekroz durumunda, lezyon eksize edilmeli ve yara yatağı, iyi kalitede, tam kalınlıkta deri grefti ile kaplanmalıdır.

d. Hiperbarik oksijen tedavisi de vasküler yatağın iyileşmesini kolaylaştırabilir.

8. Eksizyondan sonra lezyonların kaplanması için kullanılan farklı opsiyonların örnekleri:

- Rotasyon flep'i,
- Silikon yaprak (sheet) ile kaplanmış suni deri grefti (INTEGRA®): Suni derinin hastanın hücreleri tarafından kolonizasyonu gösterilmiştir. Yeni deri (neoderma), suni deriyi birkaç hafta içinde kaplar. Daha sonra silikon alınır ve klasik deri grefti neoderma üzerine yapılır.

- "Görünüşte sağlıklı dokuda" eksizyon, takiben domuzdan ksenograft ve daha sonra silikon yaprak ile kaplanmış suni deri. Neoderma gelişir ve bu silikon yaprağının alınabilmesine izin verir ve ağ halindeki otograft ile replase edilir.

- Tünelleme ile birlikte omentum flap. Bir ayda omentum büyür ve deri grefti daha sonra yapılabilir.

Bu değişik yaklaşımların genelde başarılı olmasına rağmen nekroz çok sıklıkla daha sonra tekrar görünür ve yeni otograft(lar) yapılması gerekir.

9. LRY tedavisi için insan mezenseşimal kök hücrelerinin (MKH) lokal olarak verilmesi, radyasyon kazalarındaki bazı kazazedelerde kullanılmıştır ve çok etkili olduğu gösterilmiştir. MKH, dokunun geniş rezeksiyonundan sonra ışınlanmış alan içine enjekte edilmelidir. Cerrahi mümkün olduğunca çabuk yapılmalı (ışınlamadan sonraki ilk ayda), lezyon deri grefti ile kaplanmalı ve otolog MKH lokal olarak enjekte edilmelidir (0,5 mL civarında bir hacme, enjeksiyon başına 70x100x106 MKH). Ancak, bu yeni, ümit vaat eden yaklaşım daha hala gelişme safhasındadır.

10. LRY tedavisindeki yeni bir yaklaşım dozimetre temelli cerrahidir. Anatomik bilgi sağlamak için MRG veya BT ve Monte Carlo metodu ile izodoz rekonstrüksiyonu için sayısal voxel fantomu kullanılabilir ve takiben dozimetre kılavuzlu cerrahi tasarım yapılır.

11. Uzmanın gelmesinden önce, C3 ve C4 LRY tedavisi için dikkate alınabilecek hususlar şunlardır:

- Steroidler gibi acil ilaçlara muhtemelen erken fazda ihtiyaç olacaktır,
- Lokal mukozit tedavisi faydalı olacaktır,
- Mikro dolaşımı daha iyi hale getirmek için pentoksifilin kullanılabilir,
- Enfeksiyon ve enflamasyon engellenmeli/tedavi edilmelidir,
- Hiperbarik oksijen,
- Ağrı tedavisi,
- Ağrı kontrolü için bölgesel hassas sinir blokajı (kan akımını düzeltmek için yapılan sempatik sinir blokajından farklıdır),
- Takrolimus, linoleik asit, prednisolon ve retinoik asit gibi başka farmakolojik yaklaşımlar.

Sonuç

LRY hastaları en az 10 sene takip edilmelidir. Bu hastalarda, geç deterministik etki riski sitokastik etki riskinden daha yüksektir. Işınlanmış alanda herhangi bir fiziksel travmadan dolayı lezyon oluşması sık görülür. Çizikler, termal yaralanma (aşırı yüksek veya düşük

sıcaklıklar), böcek ısırılmaları veya mekanik travma kolayca nekrozu indükleyebilir. Bu faktörler, hastalara net tavsiyeler ile engellenmelidir. Seksen yaş üstü insanlar, yaşlanma prosesi, hipoksik dokular da iyileşme sürecini yavaşlatacağından dikkate alınmalıdır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Turai I, Veress K, Günalp B, Souchkevitch G. Medical response to radiation incidents and radionuclear threats. *BMJ* 2004;328;568-572.
2. Military Medical Operations. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Medical Management of Skin Injury. In: Medical Management of Radiological Casualties. 3rd Edition. Bethesda, Maryland; 2010. p. 23-27.
3. Sugarman SL, Goans RE, Garrett SA, Livingston GK. Medical Management of Local Injury. In: The Medical Aspects of Radiation Incidents, REAC/TS. Oak Ridge, US; 2009. p. 21-24.
4. Waselenko JK, MacVittle TJ, Blakely WF, et al. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Ann Intern Med* 2004;140:1037-1051.
5. Berger ME, Leonard RB, Ricks RC, Wiley AL, Lowry PC, Flynn DF. Hospital Triage in the First 24 Hours after a Nuclear or Radiological Disaster. *ORISE, U.S.* 2004.
6. Perez MR, Jaworska A. Local Radiation Injuries. In: Palma CR, Liland A, Jerstad AN, Etherington G, Perez MR, Rahola T, et al., editors. *TMT Handbook*, Norway: Lobo Media AS; 2009. p. 282-296.



İnternal Kontaminasyon ve Dekorporasyon

Internal Contamination and Decorporation

Mustafa Özdeş Emer

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

Öz

Kontaminasyon istenmeyen bir materyalin hastanın içinde ya da üzerinde kalması olarak tanımlanabilir. Eksternal kontaminasyon vücudun dış yüzeyindedir ve kolayca temizlenebilir. İnternal kontaminasyonda ise radyoaktif madde vücut içindedir. Tedavi daha güçtür çünkü radyoaktif madde metabolik yollara girmiş olabilir. Radyoaktif maddenin kimyasal yapısı, fizyolojik özellikleri ve vücuttan atılım yollarının bilinmesi tedavi planlaması için önemlidir. Bu derlemede, internal kontaminasyon oluşma yolları, genel medikal tedavi ve kontaminanta spesifik tedavi seçeneklerinden bahsedilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnternal kontaminasyon, dekorporasyon, şelasyon

Abstract

Contamination can be defined as the presence of an undesirable material in or on the patient. External contamination is on the outer surface of the body and can easily be cleaned. In internal contamination, radioactive material is in the body. Treatment is more difficult because the radioactive material may have entered the metabolic pathways. The chemical structure of the radioactive material, its physiological properties, and the ways of excretion from the body are important for planning the treatment. In this review, the pathways of internal contamination, general medical treatment, and contaminant-specific treatment options are mentioned.

Keywords: Internal contamination, decorporation, chelation

Giriş

İnternal kontaminasyon, eksternal kontaminasyona göre daha ciddi bir sorundur. Etken madde deriyi geçerek, inspire edilerek veya oral yolla vücut içine girmiştir. Kontaminantın lokalizasyonu kimyasal kompozisyonuna ve biyolojik dağılımına bağlıdır. İnternal kontaminantın doz miktarını hesaplamak eksternal kontaminasyona göre daha karışıktır. Bu maddelerin ekskresyonunu hızlandıran girişimlerin bilinmesi internal dekontaminasyon için gereklidir.

Medikal Tedavi ve Dekorporasyon

Medikal yaklaşım spesifik ve internal kontaminasyona neden olan izotopa bağlı olarak yapılmalıdır. İzotopun

tanımlanması tedavide çok önemlidir. Non-radyoaktif analogun metabolizması ve eliminasyon kinetiği, radyonüklidin metabolik geçiş yolunu belirler.

İnternal kontaminasyonda uygulanacak medikal yaklaşımlar bazı kategorilere ayrılır:

- Çözünmeyen izotopun gastrointestinal sistemden emilimini azaltmak, bloke etmek veya atılımını hızlandırmak. Gastrik lavaj, laksatifler, aktif kömür, prusya mavisi (sezyum kontaminasyonunda), alüminyum içeren antiasitler (stronsiyum kontaminasyonunda) vb.

- İzotopun hedef organını bloke etmek. Örneğin; radyoaktif iyot kontaminasyonunda potasyum iyodür kullanarak tiroid glandının iyot tutulumunu azaltmak veya bloke etmek.

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Mustafa Özdeş Emer, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: ozdesemer@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-5729-0406

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

- İzotopu dilüe etmek. Örneğin; trityum kontaminasyonunda agresif hidrasyon yaparak izotopik dilüsyon sağlamak.

- Maddenin kimyasını değiştirmek. Örneğin; sodyum bikarbonat kullanarak uranil iyonlarının renal tübüllere bağlanmasını önlemek.

- Reseptörlerden izotopu yer değiştirmek. Örneğin; stabil iyot vererek, Tc-99m'nin reseptörlerden yerini değiştirmek.

- Geleneksel şelasyon teknikleri. Örneğin; plütonyum kontaminasyonunda, dietilen triamin pentaasetik asit vererek şelasyon sağlamak.

- Yaralardan emilimi en aza indirmek için radyoizotop kontaminasyonunu hızla temizlemek ve yaralı bölgeyi uygun solüsyon/sıvılar ile bolca yıkamak.

- İnhalasyon yoluyla radyoaktif partiküllere maruz kalan ciddi olgularda bronkoalveolar lavaj uygulamak. Ancak bu teknik plütonyum gibi alfa salınımı yapan izotoplara maruz kalan nadir hasta grubunda kullanılır.

Kontaminasyon Riski Yüksek Olan Radyoizotoplar

Günümüzde 8000'in üzerinde radyoizotop bulunmaktadır. Ancak sadece 10-15 tanesi askeri ve sivil sektörde önemli yer almaktadır. Aşağıda sık kullanılan bu izotopların buldukları gruplar belirtilmiştir.

Üniversite beşlisi: Karbon-14, fosfor-32, iyot-125, iyot-131 ve californium-252. Bu radyoizotoplar biyokimya laboratuvarlarında izotopik işaretlemeye ve tıp sektöründe yaygın olarak kullanılırlar.

Endüstriyel üçlü: İridyum-192, sezyum-137 ve Kobalt-60. İridyum-192 yaygın olarak petrol boruları, uçak kanatları gibi büyük nesnelere radyolojik olarak görüntülenmesinde kullanılmaktadır.

Askeri beşli: Trityum, uranyum-235, uranyum-238, plütonyum-239 ve americium-24. Bu izotoplar hem askeri silah hem de enerji üretimi sektörlerinde kullanılmaktadır.

Dekorporasyon Yöntemleri

Aşağıda karşılaşma olasılığı yüksek olan bazı izotopların internal kontaminasyonu sonrası uygulanması gereken medikal tedavi yöntemleri kısaca açıklanmaktadır.

İyot: İyot hemen tümüyle tiroid bezinde akümüle olur. Tiroid bezi tarafından tutulmayan iyot başlıca idrar yoluyla atılır. İyot, tiroid bezi içinde organifiye olduğundan tedaviye erken başlamak önemlidir. Hastaya yüksek miktarda kararlı iyot vererek iyot havuzu doldurulur. Bu

amaçla süper satüre potasyum iyodür (SSKI) kullanılır. SSKI dozu hastanın yaşına bağlı olarak değişebilir. Anne sütü ile beslenmeyen bebeklerde 10-20 mg, 1-10 yaş arası çocuklarda 20-50 mg, 11-18 yaş arası 50-100 mg ve yetişkinlerde 100-300 mg'dir. Bu tedaviye iyot-131 ile kontamine olmuş gıdaların yenmesi riskine karşılık birkaç gün daha devam edilebilir (1,2,3). Yaştan bağımsız olarak 10 damla SSKI, su veya meyve suyu içerisinde üç gün boyunca verilirse bu miktar tiroid blokajı için yeterlidir.

Kontaminasyonun ilk 1 saati içerisinde SSKI tedavisine başlanırsa tiroid uptake'i %90 etkinlikle sağlanabilir. Olay üzerinden 4 saat geçerse etkinlik %50'ye düşer. Eğer 24 saat geçmişse SSKI kullanımı yarasızdır. Daha önce bahsedildiği gibi betadine sağlam deri veya yaralardan absorbe edilerek etkin bir tiroid blokajı sağlar. Ancak radyoaktif iyot kontaminasyonundan şüpheleniliyorsa SSKI kullanımı tercih edilmelidir.

Trityum: İyot gibi trityum da sağlam deriden absorbe olabilir. Trityum su gibi davranır ve vücutta sıvı kompartmanlarında dağılır. Tedavi agresiv sıvı replasmanı ve diürezdir. Bu tedavi sırasında elektrolit düzeyleri sıkı takip edilmelidir (4).

Stronsiyum: Stronsiyum vücutta kalsiyum gibi davranır. Kemiklerde lokalize olarak kemik matriksi içine girer. Stronsiyum ile yer değiştirmesi ve ekskresyonu hızlandırması için kalsiyum verilebilir.

Bunların dışında aşağıda Tablo 1'de spesifik radyonüklitlerin internal kontaminasyonunda uygulanan medikasyon, kullanım şekli ve etki mekanizması sunulmuştur.

Metaller ve Diğer Elementler

Yukarıda sayılanlar dışında vücuttan kolay atılamayan birçok madde vardır. Bu durumda bu maddeleri bağlamak ve ekskresyonu hızlandırmak için desferoksamin, etilen diamin tetra asetik asit, İngiliz anti levizit merhemi ve diğer şelasyon yapıcı ajanlar kullanılırlar. Bu tedavi kullanıldığında şelasyon yapan ajanların radyoaktif ve radyoaktif olmayanı ayırt etmeden bağladığı ve bu nedenle elektrolit dengesini ciddi şekilde bozabileceği unutulmamalıdır.

Bronşiyal Lavaj

Önemli miktarda radyoaktif maddenin inhale edilmesi ve akciğerlerde birikmesi mümkündür. Bu durumda bronşiyal lavaj endikasyonu olup olmadığı tartışmalıdır. Kontaminasyon alfa salıcılar ile gerçekleşmişse

Tablo 1. Radyonüklitlerin internal kontaminasyonunda uygulanan medikasyon, kullanım şekli ve etki mekanizmaları

Radyonüklit	Medikasyon	Kullanım şekli	Etki mekanizması
İyot	Potasyum iyodür	130 mg (tb), gerekirse 4x130 mg 7 gün boyunca oral yolla	Tirod blokajı sağlar
Nadir elementler, plütonyum, transplutonikler, yttrium	Zn-DTPA Ca-DTPA	1 gm Ca-DTPA (Zn-DTPA) 150-250 mL %5 deiyonize su içinde 60 dakika üzerinde intravenöz yolla	Şelasyon
Uranyum	Bikarbonat	2 ampul sodyum bikarbonat (1000 cc normal SF içerisinde 125 cc/hr; veya, idrar pH'si 8-9 olana dek her 4 saatte bir iki bikarbonat tablet oral yolla	İdrar alkalinizasyonu akut tübüler nekroz olasılığını azaltır.
Cesium, rubidium, thallium	Prusya mavisii [Ferrihexacyano- Ferrate (II)]	Birkaç gün boyunca 100-200 mL su ile 1 gr günde üç kez oral yolla	GI absorpsiyonu önleyerek yeniden dolaşıma dönüşü engeller.
Tritium	Su	Agresif hidrasyon	İzotopik dilüsyon
Actinium, americium	Zn-DTPA Ca-DTPA	1 gm Ca-DTPA (Zn-DTPA) 150-250 mL %5 deiyonize su içinde 60 dakika üzerinde intravenöz yolla	Şelasyon
Arsenic, altın	Dimerkaprol (BAL)	İlk 2 gün; 2,5 mg/kg, 4 saatte bir, sonra 1 gün 12 saatte bir, daha sonra 5-10 gün boyunca günde 1 kez intramusküler yolla	Şelasyon
Cobalt, curium, indium	Zn-DTPA Ca-DTPA	1 gm Ca-DTPA (Zn-DTPA) 150-250 mL %5 deiyonize su içinde 60 dakika üzerinde intravenöz yolla	Şelasyon
Galium	Penisilamin	Günde 250 mg oral yolla, öğün aralarında alınır. Günlük doz gerekirse bölünerek 4-5 gr'ye arttırılabilir	Şelasyon
İridium	Zn-DTPA Ca-DTPA	1 gm Ca-DTPA (Zn-DTPA) 150-250 mL %5 deiyonize su içinde 60 dakika üzerinde intravenöz yolla	Şelasyon
Demir	Desferoksamin	3 gün boyunca, 12 saat bir 500 mg ampul intramusküler veya intravenöz yolla yavaş olarak enjekte edilir	Şelasyon
Kurşun	Dimerkaprol (BAL)	İlk 2 gün; 2,5 mg/kg, 4 saatte bir, sonra 1 gün 12 saatte bir, daha sonra 5-10 gün boyunca günde 1 kez intramusküler yolla	Şelasyon

Zn-DTPA: Pentetat çinko trisodyum enjeksiyonu, Ca-DTPA: Pentetat kalsiyum trisodyum enjeksiyonu, BAL: British anti-Lewisite/İngiliz anti levizit merhemi

pulmoner fibrozis gelişebilir. Bu durumlarda bronşiyal lavaj önerilmektedir. Ancak bronşiyal lavajın kendisi de masum bir yöntem değildir. Kontaminant tümüyle temizlenemediği gibi bronş epitelinde de ciddi irritasyon oluşturabilir.

Kemik İliği Transplantasyonu

Ciddi lökopeni ve trombositopeniye yol açan yüksek radyasyon dozlarında kemik iliği transplantasyonu gerekebilir. Bu tedavi biçiminde de ciddi komplikasyonlar gelişebilir. Işınlanan bölgeye bağlı olarak otolog transplantasyon yapmak mümkün olmayabilir.

Sonuç

İnternal kontaminasyon, eksternal kontaminasyona göre daha ciddi bir sorundur. İnternal kontaminant vücuda; deriyi geçerek, inhale edilerek veya oral yolla girebilir. Özellikle internal kontaminasyona neden olan radyoaktif madde bilinmiyor ise tedavi de bir o kadar güçtür. Eğer kontaminant biliniyor ise tedavide onu vücuttan bir an önce uzaklaştıracak metabolik yollar hakkında da bilgi sahibi olunabilir. Dekorporasyon işlemleri akut ve internal radyoizotop taşıyan kişilerin tedavisinde absorbe ettikleri radyasyon dozunu azaltmak

ve dolayısı ile ileride ortaya çıkabilecek sağlık etkilerini azaltmak için tavsiye edilir. Bu amaçlara; absorpsiyonun azaltılması ve iç organlarda birikimin önlenmesi ile absorbe edilen radyoizotopların en kısa sürede vücuttan atılımının hızlandırılması ile ulaşılabilir.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Ilyin LA. Radioiodine as a Radiation Safety Problem. Atomizdat, Moscow; 1972.
2. Turai I, Toivonen M. Radiohygiene of fission isotopes of iodine, STL-A42, Helsinki:1983.
3. World Health Organization, Guidelines for iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents, WHO Regional Office, Copenhagen: 1989.
4. International Atomic Energy Agency (IAEA), Assessment and treatment of external and internal radionuclide contamination, IAEA-TECDOC-869, Vienna:1996.



Eksternal Kontaminasyon ve Dekontaminasyon Teknikleri

External Contamination and Decontamination Techniques

Semra İnce

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

Öz

Eksternal kontaminasyon radyoaktif maddelerin insan vücuduna, eşyalara ve çevreye bulaşmasıdır. Radyoaktif kontaminasyonu kontrol altına almanın ilk kuralı materyalin yayılımını sınırlamaktır. Maruziyet sonrası ilk birkaç dakika içerisinde yapılan dekontaminasyon işlemi hastayı koruma adına en etkili yoldur. Radyasyon ölçümü ile kontaminasyon kontrolü yapılmalı ve bir "dekontaminasyon alanı" oluşturulmalıdır. Sağlık personelinin koruyucu ekipman kullanması önemlidir. Deri dekontaminasyonu için su ve sabun dışında sıvı, kuru ve kimyasal dekontaminantlar kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Eksternal kontaminasyon, radyasyon kazası, dekontaminasyon

Abstract

External contamination is the transmission of radioactive materials to the human body, equipment, and the environment. The first rule of controlling radioactive contamination is to limit the spread of the material. Decontamination in the first few minutes after exposure is the most effective way in order to protect the patient. Contamination control should be done by radiation measurement and a "decontamination area" should be established. The use of protective equipment by healthcare personnel is important. For decontamination of the skin, water and soap as well as liquid, dry, and chemical decontaminants may be used.

Keywords: External contamination, radiation accident, decontamination

Giriş

Kontaminasyon; tehlikeli maddelerin (kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer ajanlar) insan vücuduna, eşyalara ve çevreye bulaşmasıdır. Bu yazının konusu radyoaktif materyallerle olan kontaminasyondur. Kontaminasyona neden olan radyoaktif maddeler katı, sıvı, gaz ve aerosol formda olabilir ve farklı yollardan insan vücuduna girebilir (deri, gözler, akciğerler, sindirim sistemi, enjeksiyon yolu). Eksternal kontaminasyonun insan vücudunda en sık görülen şekli perkutanöz (deri) yoluyla olur.

"Dış ışınlanma (External Dose Exposure)" ise kişinin radyasyon kaynakları ile kontamine olmadan dışarıdan ışınlanmasıdır. Radyoaktif ışınlanmaya maruz

kalan hastanın kontaminasyondan farkı, herhangi bir radyoaktif bir materyal ile fiziksel teması veya bulaşı olmaması ve çevreye zararlı etkisi bulunmamasıdır. İnsan vücudunda, eşyalarda veya çevrede radyoaktif materyal ile fiziksel temas varlığında eksternal kontaminasyondan bahsedilir.

Radyoaktif eksternal kontaminasyon kaynakları şöyle özetlenebilir (1):

- Tıbbi tedavi ünitelerindeki (radyoterapi, nükleer tıp) kazalar,
- Nükleer reaktörler,
- Endüstriyel radyasyon,
- Kaybolan/çalınan tıbbi/endüstriyel radyoaktif kaynaklar,

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Semra İnce, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: drsemra@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-9633-052X

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

- Depolama, taşıma sırasında meydana gelen kazalar,
- Terörizm,
- Kirli bomba,
- Nükleer tesislere saldırı, sabotaj,
- Nükleer silahlar.

En sık radyoaktif kontaminantlar alfa ve beta yayıcılarıdır. Gama ışını yayanlar tüm vücut ışınlanmasına neden olurlar. Beta yayıcılar deride yanık ve skara neden olabilirler. Alfa yayıcılar ise epitele penetre olamaz.

Kontaminasyonu ve maruziyet miktarını belirlemek için radyasyon dedeksiyonu ve ölçümünde kullanılan cihazlar şunlardır:

- Geiger Müller (GM) sayacı: Yüzey kontaminasyon ölçüm cihazıdır. Bir yüzeydeki radyoaktif materyalin radyasyon ölçümünü verir, açık radyoaktif materyal ölçmek için uygun bir cihazdır. Zemin kontaminasyon ölçümü, vücut kontaminasyon taraması ve rutin çalışma alanı taramasında kullanılır. Farklı tür radyasyon ölçmek için farklı problemler kullanılır.

- İyon odası.
- Kişisel dozimetreler.
- Film dozimetre.
- Kalem dozimetre (analog & dijital).

Dekontaminasyon ise; kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer ajanların insan vücudundan, eşyalardan ve çevreden uzaklaştırılması veya etkisizleştirilmesi yoluyla insanların, eşyaların ve çevrenin güvenliğinin sağlanmasıdır.

Dekontaminasyonun iki temel amacı vardır:

1. Deriden zararlı maddeleri uzaklaştırarak hastanın maruz kalacağı dozu ve böylece radyoaktif ajanın etkilerinin şiddetini azaltmak,

2. Sekonder maruziyeti engelleyerek çevredeki sağlıklı kişileri (acil müdahale ekipleri, sağlık ekipleri vb.) korumak.

Maruziyet sonrası ilk birkaç dakika içerisinde yapılan dekontaminasyon işlemi hastayı koruma adına en etkili yoldur, daha geç yapılan dekontaminasyon işleminin de hastanın maruz kaldığı dozu azaltarak hastaya yarar sağlayabileceği ve sağlıklı kişileri sekonder maruziyetten koruyacağı göz ardı edilmemelidir.

Radyoaktif kontaminasyonu kontrol altına almanın ilk kuralı materyalin yayılımını sınırlamaktır. Bu da genellikle kontamine alana giriş çıkışların kontrol altına alınması, uygun koruyucu kıyafet kullanılması, havaya yayılan radyoaktif madde miktarının en aza indirilmesi ve personel monitörizasyonu ile olur (2).

Radyolojik materyalle kontamine hastaların sağlık personeline genel olarak potansiyel bir risk oluşturmadığı kabul edilir. Bu nedenle medikal veya cerrahi tedavi asla ertelenmemelidir. İlk olarak yapılacak şey kontaminasyondan bağımsız olarak hayat kurtarıcı tedbirlerin alınmasıdır.

Nükleer terörist saldırılar sonucunda çok sayıda kontamine hasta ile karşılaşılır. Bunların çoğu yaralı değil, sadece kontaminedirler. Yapılması gereken dekontaminasyon, oluşan paniğin tıbbi yönetimi ve kamuoyunun bilgilendirilmesidir. Bu insanların hastane acil servislerine aynı anda müracaat edip sistemi kilitlemelerine izin verilmemelidir. Acil servisin dışında bir triyaj alanı oluşturulmalıdır.

Çalışma Alanı Kontrolünde Radyasyon Ölçümü

Radyofarmasi laboratuvarında günlük iş bitimi sonrası yapılması gerekenler şunlardır:

- Enjektör kılıfı, kurşun şişe koruyucu, forseps gibi malzemelerin kontaminasyon açısından GM sayıcı ile ölçümü yapılır. Kontaminasyon yoksa; bu malzemeler tekrar kullanılmak üzere dolaba kaldırılır. Kontaminasyon varsa; kurşun arkasında yarı ömrüne göre bekletilir ya da kontaminasyon bitinceye kadar temizleme ve ölçme işlemi yapılır.

- Tc-99m sağım şişesi laminar flow/çeker ocak gibi çalışma alanından alınarak kurşun arkasına bırakılır.

- GM kullanılarak laminar flow/çeker ocak duvarları ve alanın tamamının ölçümü yapılır.

Dekontaminasyon Basamakları (2,3)

Dekontaminasyonun ilk basamağı; dekontaminasyona ihtiyaç olup olmadığına karar verilmesidir. Maruziyet şüphesi varsa yaralı olsun olmasın herkes dekontamine edilmelidir.

Etkin bir dekontaminasyon için ilk ana prensip dekontaminasyonun mümkün olan en kısa sürede yapılmasıdır. Erken dekontaminasyon kimyasal ajanlar özellikle de sıvı formda olanlar için çok önemlidir. Sıvı ajanların absorpsiyon miktarı temas süresi ile doğru orantılı olarak değiştiğinden, ajanın kısa sürede uzaklaştırılması penetrasyonunu ve absorpsiyonunu azaltır, etkilerini minimize eder.

- Öncelikle hayat kurtarıcı tedbirler alınıp hasta klinik olarak stabil hale getirildikten sonra, yapılacak ilk iş kişilerin kontamine bölgeden uzaklaştırılmasıdır. Radyasyon ölçümü ile kontaminasyon kontrolü yapılmalıdır. Kontamine hastalar için özel nakil tedbirleri

alınmalı ve bir “dekontaminasyon alanı” oluşturulmalıdır. Genel olarak açık havada, rüzgarın estiği yönün tersi yönünde kalan yerler tercih edilse de havada bulunan ajan miktarının arttığı durumlarda (saldırının devam etmesi vb.) kapalı alanlar da tercih edilebilir. Bu alanda radyasyon dedeksiyonu (girişte ve çıkışta) yapılmalıdır.

- Kişiler güvenli bir yere götürüldükten sonra kıyafetleri ve aksesuarları (takılar, saat, toka, vb.) tamamen çıkarılır (mümkünse kesilerek), saç ve deri dekontaminasyonu yapılır. Yaralılar için çoklu duş sistemi kurulabilir. Çıkarılan kıyafet ve aksesuarlar tıbbi atık poşetine konular, etiketlenir ve muhafaza edilir.

- Sadece kıyafetlerin çıkartılması veya saçın taranması bile genellikle hastanın taşıdığı ajanın miktarını büyük ölçüde azaltır, hatta bazı olgularda bu işlemler gerekli olan dekontaminasyonu sağlar.

- Hastanın kıyafetlerinde ve saçında bulunan sıvı veya gaz haldeki ajana sekonder maruziyet, çevredeki sağlıklı bireylerin de kontamine olmasına sebep olabilir. Bu nedenle kontamine kişi ile yakın teması bulunan kişilerin ve sağlık personelinin koruyucu ekipman (maske, kıyafet, çift eldiven vb.) kullanması önemlidir.

- Sağlık personeli için de bir dekontaminasyon alanı oluşturulmalıdır.

- Dekontaminasyon sonrası insanların istirahat edebilecekleri bir yer temin edilmelidir.

Dekontaminasyon Yöntemleri

1. Fiziksel uzaklaştırma.
2. Detoksifikasyon.

İlk ve en etkili dekontaminasyon kimyasal ajanın fiziksel uzaklaştırılmasıdır. Detoksifikasyon ikinci hedeftir ancak her zaman mümkün değildir.

Dekontaminasyon Malzemeleri

- Eldiven,
- Poşet,
- Dekontaminasyon ilaçları,
- Emici kağıt, kağıt havlu,
- Galoş.

Radyoaktif Alan Dekontaminasyonu

- Radyasyondan korunma sorumlusuna haber verilir ve onun gözetiminde yapılır,

- Radyasyon monitörü ile ölçüm alınarak radyoaktif alan belirlenir,

- Kontaminasyon alanının üzerine hemen emici kağıt konularak yayılması önlenir, çevresi belirlenir ve üzerinden geçişler engellenir,

- Emici kağıt kaldırılır, kağıt havlu ile dıştan içe doğru silinir ve tekrar ölçüm alınır,

- Kuru alan dekontaminasyon ilaçlarıyla ıslatılmış havlu ile dıştan içe doğru silinir ve kurulanır,

- Alanın radyoaktivitesi geri plan sayımın 2-3 katından daha düşük oluncaya kadar temizlik işlemine devam edilir.

Yara Dekontaminasyonu

Çoğu radyoaktif ajana maruziyet durumunda yaradan kıyafetlerin uzaklaştırılması büyük ölçüde dekontaminasyon sağlar, başka bir yöntem uygulamaya gerek yoktur. Ancak ek önlemler gerekebilir. Dekontaminasyon sırasında kontaminasyon şüphesi olan tüm bandajlar açılır ve yaralar izotonik solüsyon veya su ile yıkanır. Dekontaminasyon sonrası kanama varsa yara yeniden bandajlanır. Dekontaminasyon sırasında deri ovuşturulmamalıdır, derinin ovuşturulması ajanın deriye penetrasyonunu hızlandırır (2,3).

Personel Dekontaminasyonu

- Radyoaktif madde şişesinin kırılması, dökülmesi vb. durumlarda odadaki herkes kapıya ilerler ve yardım çağrılır,

- Radyasyondan korunma sorumlusuna haber verilir ve dekontaminasyon onun dekontaminasyon onun gözetiminde yapılır,

- Radyasyon monitörü kullanılarak odada bulunan herkesin el ve ayaklarına özellikle dikkat edilerek, herkesin vücut ölçümü yapılır,

- Bulaşmış kıyafetler plastik torbalara konularak atık işlemleri uygulanır,

- Radyasyon ölçümü tekrar yapılır, kontaminasyon devam ediyorsa, duş alınması sağlanır,

- Deri; yumuşak sabun ve bol su ile yıkanır, sert fırça ya da tahriş edici sabun kullanılmaz,

- Vücut; alanlar işaretlenir ve hızlıca duşa girilir,

- Göz; bol su ve serum fizyolojik ile durulanır, tahriş için önlem alınır,

- Saç; yumuşak deterjanla temizlenir, yıkarken göz, kulak ve ağız bölgesine özen gösterilir.

Hasta Yönetimi ve Dekontaminasyon (2,3)

- Yaralının kıyafetlerini ve şahsi eşyalarını dikkatlice çıkartın, torbalayın, emniyetli bir şekilde depolayın (kontaminasyon %95 azaltılır).

- Yaralıdan mümkünse biyolojik örnekler alın (nazal smear).
- Yabancı cisimlere aksi söylenene kadar radyoaktif materyalmiş gibi yaklaşın.
- Dekontaminasyon önceliği:
 - a. Önce yaralar sonra sağlam deri.
 - b. En fazla kontamine olan bölgeden başlayın.
- Her yaralıdan sonra dış eldivenleri değiştirin.
- Kontaminasyonu en aza indirmek için bıyık ve sakalları elektrikli makine yardımı ile traş edin.
- Kontamine olmayan yaraları su geçirmez malzeme ile kapatın.
- Kontamine yaralar:
 - a. Steril malzeme ile irriye edin.
 - b. Uzman hekime danıştıktan sonra kontamine debridmanları uzaklaştırın ve güvenli bir yerde biriktirin.
- Agresif müdahaleden kaçının.
- Sık sık temizlik malzemesini değiştirin.
- Saçlı deri ve sağlam deriyi su ve sabun ile dekontamine edin.
- Temizlenmiş ve pansumanı yapılmış yaraları su geçirmez malzeme ile kapatın.
- Yaralının el ve ayaklarının terlemesi için ilave tedbirler alınabilir (cerrahi eldiven).
- Dekontaminasyon sonrası dedeksiyon ve ölçüm yapın.
- Kullanılan tıbbi malzemelerin ağzı kapalı torbalarda, özel korumalı kaplarda biriktirin.
- Kirli bölgede kullanılan sedyeleri hep kirli bölgede kullanın.

Dekontaminantlar

İdeal bir dekontaminant bilinen tüm ajanların, insan vücudundan, eşyalardan ve çevreden uzaklaştırılmasını veya nötralizasyonunu veya detoksifikasyonunu sağlayacak nitelikte olmalıdır. Dekontaminasyon esnasında sorumlu personel koruyucu kıyafet giymelidir.

İdeal Dekontaminantın Özellikleri (4,5,6)

- Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer ajanlarla toksik endüstriyel maddeler, toksik endüstriyel kimyasallar ve yeni tehditlere karşı etkili olması,
- Tüm kimyasal ve biyolojik ajanları nötralize etmesi,
- Deri, gözler ve yaralarda kullanımının güvenli olması,
- Deri altındaki ajanı temizleyebilmesi,

- Kolay uygulanabilir olması,
- Kullanıma hazır halde olması,
- Geniş bir sıcaklık aralığında hızlı etki gösterebilmesi,
- Toksik ürün oluşturmaması,
- Uzun süre muhafaza edilebilir olması,
- Ulaşılabilir olması,
- Ajanın perkütanöz absorpsiyonunu arttıracak nitelikte olmaması,
- İrritan olmaması,
- Hipoallerjenik olması,
- Kolay imha edilebilir olması gerekmektedir.

Deri dekontaminasyonu için önerilen maddeler:

- Su ve sabun,
- Kuru dekontaminantlar,
- Sıvı dekontaminantlar,
- Kimyasal dekontaminantlar.

Su ve sabun: Sıvı dekontaminantlar büyük veya düzgün olmayan yüzeylerin dekontaminasyonu için en uygun seçenektir. Sağlık merkezlerinin ve ekipmanların dekontaminasyonu için en uygun dekontaminant sabunlu sudur. Yüksek miktar sabunlu su kullanılarak yapılan yıkama işlemi hidroliz yoluyla ajanı uzaklaştırır, ayrıca son derece ucuz bir yöntemdir. Ayrıca acil dekontaminasyon için de uygun ve pratik bir yöntemdir.

Bir litre su içerisine, beş mililitre sabun konularak; dekontaminasyon için uygun sıvı hazırlanır (Yaklaşık 1 kova suya 3 püskürtme). Dekontaminasyon için kullanılan su, miktarına bağlı olarak tanklarda toplanır, nötralize edilir ya da doğrudan kanalizasyona verilir.

Kuru dekontaminantlar: Sıvı ajanları absorbe ederek kurutacak ve daha sonra deriye zarar vermeden silme veya fırçalama gibi yöntemlerle uzaklaştırılabilecek nitelikte tüm maddeler sıvı ajanların dekontaminasyonu için kullanılabilir. Temiz kum, kil, kabartma tozu, Fuller toprağı, kuru veya ıslak mendiller, sıvı ajana uygulanır, ajanı absorbe ettikten sonra deriden uzaklaştırılır. Absorban madde maruziyetten sonraki ilk 4 dakika içinde uygulanırsa maksimum etkinlik elde edilir. Ancak kuru dekontaminantlar yara dekontaminasyonu için uygun değildir.

Sıvı dekontaminantlar: Radyoaktif kontaminasyonu hızla dekontamine etmeye yarayan sıvı dekontaminantlar mevcuttur. Direkt olarak deriye, kıyafetlere, tüm yüzeylere, plastik ve cam malzemelere, laboratuvar ekipmanlarına uygulanabilir. Radyoaktif partikülleri yıkar, sonuçta oluşan bileşim toksik değildir ve su ile yıkanarak kontamine alandan uzaklaştırılır. Yara ve göz dekontaminasyonu için kullanılmaz. Kontamine

alana uygulandıktan sonra kuru ve temiz kağıt havlu ile kurulanır.

Kimyasal dekontaminantlar: Deri dekontaminasyonu için %0,5'lik, ekipman dekontaminasyonu için %5'lik sodyum veya kalsiyum hipoklorit çözeltisi kullanılmaktadır. Solüsyon kullanım öncesi hazırlanmalı, önceden hazırlanmış ve bekletilmiş olmamalıdır. Solüsyonun pH'si alkaline pH'de (pH 10-11) olmalıdır. Hipoklorit solüsyonları (çamaşır suyu) göz ve yara dekontaminasyonu için uygun değildir, korneal hasara ve yapışıklıklara yol açabilir.

Dekontaminasyon Sonrası İşlemler

- Tutanak formatında kayıt,
- Kontaminasyon sebeplerinin araştırılması,
- Tekrarlanmaması için gerekli önlemlerin alınması.

Sonuç

Sağlık personelinin önce kendini koruması esastır. Koruyucu kıyafet şarttır. Dekontaminasyon işlemi basit bir işlem değildir. Yüksek sayıda personel, malzeme ve çaba gerektirir. Etkin dekontaminasyonun iki temel prensibi

vardır: Mümkün olan en kısa sürede ve en uygun yöntem ile yapılması. Saldırı şüphesi mevcutsa aksi ispatlanana kadar herkes kontamine kabul edilir ve yaralı olsun olmasın dekontamine edilir. Deri dekontaminasyonu sırasında deri ovuşturulmamalıdır, ovuşturma ajanının deriye penetrasyonunu hızlandırır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Turai I, Veress K, Günalp B, Souchkevitch G. Medical response to radiation incidents and radionuclear threats. *BMJ* 2004;328;568-572.
2. Military Medical Operations. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Decontamination Techniques. In: Medical Management of Radiological Casualties. 3rd Edition. Bethesda, Maryland; 2010. p. 44-46.
3. Sugarman SL, Goans RE, Garrett SA, Livingston GK. Decontamination. In: The Medical Aspects of Radiation Incidents, REAC/TS. Oak Ridge, US; 2009. p. 33-38.
4. www.icrp.org
5. <http://rpop.iaea.org>
6. www.taek.gov.tr



Konsepsiyondan Adölesana Radyasyonun Geç Dönem Etkileri: İntrauterin Işınlamada Risk, Herediter Etkiler, Solid Tümörler

Late Effects of Radiation from Conception to Adolescence: Risk in
Intrauterine Irradiation, Hereditary Effects, Solid Tumours

Aslı Ayan

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

Öz

İyonizan radyasyon biyolojik dokularda atom veya molekülleri eksite veya iyonize ederek hasara neden olmaktadır. Maruz kalınan radyasyon dozuna ve değişen biyokimyasal süreçlere bağlı olarak meydana gelen hasar dakikalar veya aylar, yıllar içinde ortaya çıkabilmektedir. Bunlar deterministik ya da stokastik gibi maruz kalınan doza bağımlı veya dozdan bağımsız sınıflanabileceği gibi, biyolojik dokulara geç radyasyon etkileri somatik, genetik, teratojenik ve kalıtsal olarak da incelenebilir. Geç somatik etkiler somatik mutasyonlara veya hasara bağlı olarak dokularda nekroz, deri ve kaslarda fibrozis, tat duyusu kaybı, immün yetmezlik, aplastik anemi, katarakt ve artmış kanser insidansına neden olabilir. Kanser düşük doz radyasyon maruziyetinin en önemli geç somatik etkisidir. Radyasyon maruziyetinin oluşturduğu kanserler hakkında bilgi, atom bombası sonrasında hayatta kalanlar, tıbbi amaçlı radyasyon içeren tedaviler, mesleki maruziyetler ve yüksek geri plan radyasyonu bulunduran bölgelerin, bulundurmayan coğrafi bölgelerle kıyaslanmasından elde edilmektedir. Radyasyon maruziyeti DNA hasarına, mutasyonlara, kromozom bozukluklarına sebep olurken, etkilenen hücre grubunun somatik, germ hücresi veya fetal hücreler olmasına göre sırasıyla; karsinogeneze, kalıtsal genetik etkilere ve gelişim bozukluklarına neden olabilir.

Anahtar Kelimeler: Radyasyonun geç etkileri, prenatal ışınlama, karsinogeneze, solid tümörler

Abstract

Ionizing radiation causes excitation or ionization of atoms or molecules in biological tissues. Depending on the dose of radiation being exposed and the changing biochemical processes, damage can occur within minutes or months. These may be classified as dependent dose-independent or based on the susceptibility of the exposed tissues to the deterministic or stochastic as well as the effects of late radiation on biological tissues such as somatic, genetic, teratogenic, and hereditary. Late somatic effects can lead to necrosis, fibrosis in skin and muscles, loss of taste sensation, immunodeficiency, aplastic anemia, cataracts, and increased incidence of cancers due to somatic mutations or damage. Cancer is the most important late somatic effect of low-dose radiation exposure. Information on cancers caused by radiation exposure is obtained by comparing survivors after atomic bombardments, treatments containing medical-purpose radiation, occupational exposures, and regions with high background radiation compared to those that do not. Exposure to radiation causes DNA damage, mutations, chromosomal disorders, and on the other hand, if the affected cell group is somatic, germ cell, or fetal cells, leads to carcinogenesis, hereditary genetic effects, or developmental disorders, respectively.

Keywords: Late effects of radiation, prenatal irradiation, carcinogenesis, solid tumours

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Aslı Ayan, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: drasliayan@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-6311-1785

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

Giriş

İyonizan radyasyonun, özellikle DNA'nın direkt iyonizasyonu veya radyoliz sonucu oluşan reaktif oksijen türleri yoluyla dolaylı olarak, hücre ölümü, kromozomal bozukluklar, DNA hasarı, mutasyonlar ve karsinogeneze neden olduğu uzun süredir kabul edilmektedir. Bu biyolojik etkiler doğrudan radyasyona maruz kalan hücrelerde DNA'nın onarılamayan veya yanlış onarım gören hasarlarına bağlanmıştır. Günümüzde iyonlaştırıcı radyasyonun ışınlanmış hücreler dışında, aslında ışınlanmamış komşu hücrelerde ve hatta uzak hücrelerde de zararlı etkiler oluşturduğu kabul edilmektedir (1).

İyonize radyasyona prenatal maruziyet, maruz kalınan doz ve gebelik yaşına bağlı olarak embriyonik ve fetal gelişimi etkileyebilir. Radyoterapiye maruz kalan annelerin çocuklarında ciddi zihinsel engel ve mikrosefali saptanmıştır. Hayvan deneylerinde 0,05 veya 0,1 Gy'lik nispeten düşük dozların, gelişen embriyoda duyarlılığa neden olduğu gösterilmiştir (2). Radyasyona intrauterin maruziyetin sonucunu belirleyen başlıca faktörler doz, doz hızı ve maruz kalmanın gerçekleştiği gebelik evresidir. Hücrelerin hızlı çoğaldığı biyolojik sistemlerin radyosensitif olduğu bilinmektedir (3). İntrauterin dönemde preimplantasyon, organogenez ve fetal evrede radyasyonun etkileri farklılık gösterebilmektedir.

Preimplantasyon evresi hücrelerin radyasyonun ölümcül etkilerine en duyarlı olduğu, irradyasyonun embriyonun ölüm ve rezorpsiyonuna neden olduğu evredir. Bu dönemde insanlarda gebelik henüz teşhis edilemediğinden veriler genel olarak hayvan deneylerinden elde edilmektedir. Tüm hayvan çalışmaları ışınlanmış embriyo ölmediyse; malformasyonsuz hayatta kaldığını göstermiş ve Russel tarafından 1956'da "Ya hep, Ya hiç!" kavramı ortaya atılmıştır (4,5). Işınlama sonucu ortaya çıkan yapısal ve sayısal kromozom aberrasyonları preimplantasyon dönemindeki embriyonun ölümünden sorumlu tutulmuştur. Kemirgenlerde preimplantasyon aşamasındaki ışınlanma sonrası ilk maruziyet anını takip eden birkaç bölünmeden sonra artan kromozomal aberrasyonlar saptanmıştır (6). Bu genomik istikrarsızlığın gelecek nesile aktarılabilir kalıtsal istikrarlı mutasyonlar olabileceğine dair kaygılar mevcuttur (7). *In vivo* çalışmalarda organogenez döneminde ışınlanan kemirgenlerde maruz kalınan doza, gestasyonel yaşa, oksijen konsantrasyonuna, bağlı biyolojik etkinliğe göre değişen doğumsal anomaliler, büyüme geriliği ve doz yeterince yüksekse embriyonik veya neonatal ölümler gözlenmektedir (8). Kemirgenlerde organogenez sırasında ışınlanmanın en yaygın etkisi konjenital anomaliler olup

radyasyon dozu, cinsi, embriyonun gelişim evresine bağlı iskelet malformasyonları, oküler ve serebral malformasyonlar, iskelet sistemii deformiteleri vs. gelişebilir. Ancak faza bağlı, biyolojik, kullanılan radyasyon dozu cinsi ve çalışmaların tasarımından kaynaklı farklılıklar nedeniyle malformasyonların görüldüğü en düşük veya eşik dozun değerlendirilmesinde tutarsızlıklar vardır (9). Nötronlar ve beta parçacıkları fetüse gamma ve X ışınlarından daha çok zarar verir (2,8). Radyasyon dozunun kısa periyotlarla fraksiyone edilerek uygulanması hücre yıkımını ve dolayısıyla malformasyonları artırır.

Majör organogenez döneminin sonundan doğuma kadar uzanan dönemde, fetüs 3 Gy'nin altındaki dozlarda radyasyon ölümüne ve eksternal gözlenebilir malformasyonlara görece dirençli olmakla birlikte, merkezi sinir sistemi ve duyu organları, iyonize radyasyonların zararlı etkilerine karşı özellikle hassastır (6,7,8). Yaklaşık 1 Gy ışınlanma sonrasında belirgin ve kalıcı büyüme geriliği gözlenir. Fetal ışınlanmanın hematolojik sonuçları, karaciğer ve dalak hasarına neden olan fetal radyasyon maruziyeti, yetişkinlerde hematolojik bozukluklar olarak ortaya çıkar (9).

İnsanlarda gebeliğin ilk aşamalarda belirlenmesindeki güçlük nedeniyle preimplantasyon döneminde embriyonun ölümü açısından ikna edici veri yoktur (10). Bununla birlikte Nagasaki'de hayatta kalan az sayıda kadın olmakla birlikte, bombalama esnasında 4 haftadan daha küçük gebelik haftasında olanlarda ölü doğum ve yenidoğan bebek ölümü yüksek orandadır. Fetal, neonatal ve bebek mortalitesi, radyasyon hastalığı gösteren kadınlarda ve patlamanın merkez üssüne yakın olanlarda daha yüksek bulunmuştur. (11). Çernobil kazasını takiben ise; İsveç'te yenidoğan mortalitesinin arttığı saptanmıştır. Almanya, Norveç, Finlandiya ve Kiev'de kazadan sonra perinatal mortalitede herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Polonya, Macaristan, İsveç ve Yunanistan'da ise ölü doğum oranının arttığı gözlenmiştir (12).

1980'de İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komitesi, Hiroshima'da intrauterin radyasyona maruz kalmış 1,613 çocuğu 17 yıl izlemiş ve patlama merkezine (<1,500 m) daha yakın olanlar ile uzak olanların (>3,000 m) ortalama büyüme oranlarını karşılaştırdığında, patlama alanına yakın olan ve dolayısıyla daha yüksek doza maruz kalmış çocukların 2,25 cm daha kısa, 3 kg daha zayıf olduğunu kafa çapının ise 1,1 cm daha küçük olduğunu, saptamışlardır (13,14).

Atom bombası mağdurlarının çocuklarında gözlenen ana etkiler mikrosefali ve zeka geriliğidir. Mikrosefali

gestasyonel döneme bağlı olup, gebeliğin 0-7 ve 8-15 haftalarında maruz kalanlarda görülürken, 16 haftadan geç maruziyette saptanmamıştır (15). Tıbbi nedenlerle ışınlamaya maruz kalan çocuklar üzerine yapılan araştırmalarda göz anomalileri, hidrosefali, kranial kemiklerin ossifikasyonu, deformiteler, alopesi, görme alanı bozuklukları, körlük ve spina bifida dahil olmak üzere çeşitli malformasyonlar saptanmıştır (10). Sekizinci ile on beşinci gebelik haftaları merkezi sinir sisteminin radyasyon hasarına karşı en duyarlı olduğu dönemdir ve bunu 16-25. haftalar takip eder. Hiroshima-Nagasaki kohortunda zeka geriliği için eşik değer 0,12-0,2 Gy bulunmuştur (2,15,16). Çernobil'de radyoaktif serpinthiye maruz kalan çocuklar üzerinde yapılan kohortlarda, radyasyonun öngörülen daha düşük dozlarda bilişsel yeteneği bozabileceği konusunda önceki bulguları doğrulamaktadır. Zeka katsayısında azalma duyarlı dönemlerde 0,1 Gy'ye kadar düşük dozlarda bile görülebilir (10). Ayrıca, yarı dudak ve/veya damak, böbrek füzyon anomalileri, polidaktili, ameli, anensefali, spina bifida, Down sendromu, özofagus ve anüs anomalileri de eşzamanlı olarak ortaya çıkabilir (10,13,17).

Atom bombalarından sonra Japonya'da sağ kalanların izlendiği çalışmalarda ışınlanma anındaki postnatal yaşın etkisi üzerine veriler, göreceli kanser riskinin kolon ve mide kanseri dahil olmak üzere çok sayıda kanser türü için daha genç yaşta daha yüksek olduğunu göstermektedir (9). İn utero ışınlamayı takiben kanser riski hakkındaki bilgiler, doğum öncesi tanılmalı röntgen çekimleri ve atom bombasından sağ kalanlar üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Doğum öncesi teşhis amaçlı kullanılmış X ışınının etkileri üzerine yapılan en geniş çalışma, İngiltere'de yürütülen çocukluk çağı kanseri mortalitesi üzerine kurgulanmış ulusal bir olgu kontrol çalışması olan Oxford Anketi Çocukluk Çağı Kanseri Araştırması'dır. Oxford anketi ve diğer çalışmalardan elde edilen verileri inceleyen Doll ve Wakeford, özellikle hamileliğin son üç ayında (10 mGy) düşük dozda ışın uygulanmasının çocuk yaşta (<15 yaş) artmış kanser riskine neden olduğunu gösteren güçlü kanıtların bulunduğu sonucuna varmışlardır (17,18,19,20). Ancak, 2003'te Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), çocuklukta lösemi ve solid kanserler için tahmini göreceli riskleri araştırarak çalışmalardan elde edilen verilerin, belli organ ve dokuların intrauterin ışınlanması sonucu oluştuğu iddia edilen risklerin spesifikasyonu için yetersiz bir temel oluşturmakla birlikte, prenatal ışınlanmanın sebep olduğu genomik/kromozomal instabilitenin daha sonraki yaşlarda kanser gelişiminde majör rol oynayabileceği sonucuna varmıştır (21).

Radyasyonun tuhaf mutasyonlara neden olduğuna dair yaygın bir inanç olmasına rağmen, radyasyona maruz kalma, yeni veya benzersiz etkilere neden olmaktan ziyade popülasyonda doğal olarak veya kendiliğinden oluşan mutasyonların frekansını Mendelian, kromozomal veya multifaktöriyel olarak artırır. Radyasyonun kalıtsal etkileri hakkındaki bilgilerin neredeyse tamamı hayvan ve böcek çalışmalarından gelmekte olup, bu çalışmalar "katlanma dozu (doubling time)" tanımını yaratmıştır. Katlanma dozu, spontan mutasyon insidansını ikiye katlamak için gereken dozdur. Fare çalışmalarına dayanarak insanlardaki katlanma dozunun 1 Gy olduğu tahmin edilmektedir. ICRP, genel popülasyonda kalıtsal hastalık riskinin yaklaşık 0,002/Sv, kemirgenlerden ve böceklerden elde edilen verilere dayanılarak mesleki maruziyet içinse 0,001/Sv olduğu tahmininde bulunmuştur (10,21).

Atom bombası mağdurlarının çocukları, konjenital defektler, cinsiyet oranı, fiziksel gelişim, sağkalım, sitogenetik hasar, malign hastalıklar ve kandaki onkogenik proteinler gibi bazı olumsuz sağlık göstergeleri için araştırıldığında katlanma dozunun 1-2 Sv olduğu tahmin edilmektedir (10).

Hamile iken maternal maruz kalınan radyasyonun çocuklarda doğum kusurlarına neden olabileceği iyi bilinmesine rağmen, baba kökenli maruziyetin konsepsiyon öncesi etkileri yakın zamanda incelenmiştir. Babanın konsepsiyondan önce ışınlanmış olması, bazı nükleer tesislerin yakınındaki lösemili çocuk sayısı artışında bir faktör olabilir (10). Ancak zayıflatılmış uranyum parçalarına maruz kalmış askerlerin çocuklarında doğumsal anomali ve lösemi bildirilmemiştir. Ne var ki, zayıflatılmış uranyuma maruz kalan kimselerin, çocuklarının hücrelerinde genomik instabilite gösterilmiştir. Kuşak aşan fare çalışmaları da babaların ışınlanmasının, radyasyona maruz kalmamış kuşakta genomik instabiliteye neden olduğunu destekler niteliktedir.

Atom bombalarından 60 yıldan fazla zaman geçmesine rağmen, sağ kalanlar arasında gözlenen solid tümörler belgelere dayanan majör sağlık problemi olmaya devam etmektedir (22). Yaşam boyu çalışması (Life Span Study) ve benzerlerinden elde edilen epidemiyolojik çalışmaların sonuçları ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyon Bilimsel Komitesi, çocukların radyasyona; lösemi, tiroid, deri, beyin ve meme kanserlerini içine alan kanser tiplerinin %25'i için yetişkinlerden daha duyarlı olduğunu belirtmektedir. Yüksek doz hızında fakat düşük doz X ışını maruziyetine sebep olan bilgisayarlı tomografi

işlemlerine maruz kalan çocukların incelendiği çalışmalar, her ne kadar yorumlanmalarında bir takım problemler olsa da, solid tümör ve lösemi riskinin arttığını düşündürmektedir. İntrauterin yüksek doz hızında fakat düşük doz maruziyet, çocuklarda lösemi ve solid tümör riskini arttırmaktadır (23,24). İngiltere’de kronik düşük doz hızında maruziyeti ele alan bir çalışmanın öncül sonuçlarına göre, çocuklukta artmış doğal geri plan radyasyonuna maruz kalmak lösemi riskini arttırmaktadır (25). Düşük radyasyon dozlarının insanlarda kansere neden olabileceğine dair epidemiyolojik kanıtlar yalnızca 100 mSv’den yüksek dozlar için geçerlidir. Çocukluk çağında iyonizan radyasyona maruz kalma, özellikle, lösemi, meme ve tiroid kanseri riskini arttırsa da farklı organ ve dokuların radyasyona duyarlılığı da farklıdır (26,27). Atom bombası patlamalarından kurtulanlar üzerine yapılan çalışmalar hem lösemi insidansında hem de ilişkili mortalitede artmış bir risk göstermiştir. Ayrıca, radyasyondan kaynaklanan lösemi riski diğer risk faktörlerinden daha yüksektir ve solid tümörlerden daha erken ortaya çıkmaktadır. Çocukluk çağında alınan radyasyon dozu için risk daha yüksek olsa da maruziyetten 10-15 yıl sonra azalma eğilimi gösterir. Radyoterapi ve tanısız radyasyon ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, yüksek dozlarda lösemi riskinde bir artış olduğunu teyit etmektedir. Meme kanseri riski, göğüs dokusunun az ya da hiç olmadığı bir dönemde, atom bombası patlaması anında 10 yaşın altında olan kadınlarda artmıştır. Erken yaşta meme kanseri geliştiren kadınlar genetik olarak radyasyona duyarlı olabilirler. Yenilenen floroskopi nedeniyle iyonize radyasyona maruz kalan kadınlarda da benzer sonuçlar gözlenmiştir. Dozimetri ve maruz kalınan dozun neden olduğu radyobiyojik süreç doz-yanıt ilişkisinin sonuçlarına etki etmektedir. Bu bulgulara dayanarak memelerin teşhis veya terapötik radyasyon sırasında mümkün olduğunca korumalı olması önerilir.

Tiroid dokusu, çocukluk döneminde radyasyona oldukça duyarlıdır. Atom bombası mağdurları arasında, 19 yaşından önce ışınlananlarda maruz kalınan radyasyon dozu ve tiroid kanseri riski arasında anlamlı ilişki bulunmuştur. Çocukluk çağında radyoterapi almak da, tiroid kanseri riskini arttırabilir. Tiroid kanseri riski ufak çocuklar için en yüksektir, maruz kalma yaşı arttıkça azalır ve çoğunlukla maruziyetten 15-30 yıl sonra gözlenir. Çernobil olayından sonra çıkan en çarpıcı bulgu, çocukluk çağı tiroid kanserlerinde gözlenen büyük artıştır. Kontaminasyonun en çok olduğu Gomel bölgesinde tiroid kanseri sıklığı 100 kat artmıştır. Çernobil’deki radyoaktif serpintiden sonra

tiroid papiller kanserlerinde tanımlanan artış, lösemi için gösterilememiştir. İzlenen tiroid kanserlerinin çoğunda *RET* geninde *RET/PT3* mutasyonu bulunmuştur (21). Boyun bölgesine radyoterapi uygulanan olgularda da risk artmaktadır. Beyin tümörü ve akut lösemi nedeniyle kranyospinal aksa radyoterapi uygulanan olgularda da tiroid kanseri bildirilmiştir (27).

İyonize radyasyon, beyin tümörleri ile ilişkili olmasına rağmen, ilişki yukarıda tarif edilen kanserlerden daha zayıftır. İyonlaştırıcı radyasyon ile ilişkili beyin tümörlerinin çoğu benignidir. Japonya’da veriler beyin kanserleriyle birlitlik göstermemiş olmakla birlikte; 20 yaşından önce radyoterapi alan hastalarda malign beyin tümörlerinde bir artış gözlenmiştir. Radyoterapiden sonra gelişen kemik tümörleri ve sarkomlar radyasyon ile ilişkili ikincil kanserlerin tüm özelliklerini gösterirler. Radyoterapi alanında gelişen bu tümörler 10 yıllık bir latent periyottan sonra ortaya çıkar ve agresif seyirli olup, tedaviye dirençlidirler (26,27).

Sonuç

Sonuç olarak; hem germ hücrelerinde, hem de somatik hücrelerde insan genomu oldukça stabil olsa da; radyasyon sonraki nesillere ya da hücrelere aktarılabilir genomik hataların olağan oranlarının artmasına neden olabilir. Dozimetri ve maruz kalınan dozun neden olduğu radyobiyojik süreç doz-yanıt ilişkisinin sonuçlarına etki etmektedir. Maruz kalınan bir dozun eksternal, internal, düşük dozda, yüksek dozda olmasına ve maruz kalınan radyasyonun cinsine göre sebep olacağı mutasyonel, kanserojen ve gelişimsel etkiler birbirinden farklıdır ve uygun yorumlama için yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Desouky O, Ding N, Zhou G, Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2015;8:247-254.
2. Rugh R. the impact of ionizing radiations on the embryo and fetus. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1963;89:182-190.
3. Hall EJ, Giaccia A. *Radiobiology for the Radiologist*. 6th ed. Philadelphia, PA: lippincott, Williams & Wilkins; 2008.
4. Russell IB, Russell WI. The effect of radiation on the preimplantation stages of the mouse embryo. *Anat Rec* 1950;108:521.
5. Russell IB. X-ray-induced developmental abnormalities in the mouse and their use in the analysis of embryological patterns.

- ii. Abnormalities of the vertebral column and thorax. *J Exp Zool* 1956;131:329-395.
6. Pampfer S, Streffer C. Increased chromosome aberration levels in cells from mouse fetuses after zygote x-irradiation. *Int J Radiat Biol* 1989;55:85-92.
 7. Pils S, Muller WU, Streffer C. Lethal and teratogenic effects in two successive generations of the HLG mouse strain after radiation exposure of zygotes--association with genomic instability? *Mutat Res* 1999;429:85-92.
 8. United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, With Scientific Annexes. Vol ii. New York, ny: United Nations; 2000.
 9. Uma Devi P, Satyamitra M. Protection against prenatal irradiation-induced genomic instability and its consequences in adult mice by ocimum flavonoids, orientin and vicenin. *Int J Radiat Biol* 2004;80:653-662.
 10. Banks DE, Medical Consequences of Radiologic and Nuclear Weapons, Textbooks of Military Medicine, Borden Institute Press , US; 2012. p. 195-215.
 11. Yamazaki JN, Wright SW, Wright PM. Outcome Of Pregnancy In Women Exposed To The Atomic Bomb In Nagasaki. *AMA Am J Dis Child* 1954;87:448-463.
 12. Grosche B, Irl C, Schoetzau A, van Santen E. Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident. *Radiat Environ Biophys* 1997;36:129-136.
 13. Committee To Assess Health Risks From Exposure To Low Levels Of Ionizing Radiation; Board On Radiation Effects Research; Division On Earth And Life Studies; National Research Council Of The National Academies. Health Risks From Exposure To Low Levels Of Ionizing Radiation. Washington, Dc: National Academies Press; 1990.
 14. Schull WJ. Late radiation responses in man: current evaluation from results from hiroshima and nagasaki. *Adv Space Res* 1983;3:231-239.
 15. Miller RW, Mulvihill JJ. Small head size after atomic irradiation. *Teratology* 1976;14:355-357.
 16. Nias AhW. An Introduction to Radiobiology. 2nd Ed. New York, Ny: Wiley; 1998.
 17. Goldstein L, Murphy Dp. Etiology Of Ill-Health In Children Born After Postconceptional Maternal Irradiation. *Am J Roentgenol* 1990;22:322-331.
 18. Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol* 1997;70:130-139.
 19. Gardner MJ, Snee MP, Hall AJ, Powell CA, Downes S, Terrell JD. Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *BMJ* 1990;300:423-429.
 20. Doll R, Evans HJ, Darby SC. Paternal exposure not to blame. *Nature* 1994;367:678-680.
 21. Streffer C, Shore R, Konermann G. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). A report of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 2003;33:5-206.
 22. Grant EJ, Brenner A, Sugiyama H, et al. Solid Cancer Incidence among Life Span Study of Atomic Bomb Survivors : 1958-2009. *Radiat Res* 2017;187:513-537.
 23. Kamiya K, Ozasa K, Akiba S, et al. Long-term effects of radiation exposure on health. *Lancet* 2015;386:469-478.
 24. UNSCEAR. Scientific annex B: effects of ionizing radiation on children. Volume II: sources, effects and risks of ionizing radiation. Vienna: United Nations Scientific Committee on the Effects of 53 Atomic Radiation, 2013.
 25. Wakeford R. Childhood leukaemia following medical diagnostic exposure to ionizing radiation in utero or after birth. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;132:166-164.
 26. Casey DL, Friedman DN, Moscovitz CS, et al. Second cancer risk in childhood cancer survivors treated with intensity-modulated radiation therapy (IMRT). *Pediatr Blood Cancer* 2015;62:311-316.
 27. Bhatia S, Sklar C. Second cancers in survivors of childhood cancer. *Nat Rev Cancer*. 2002;2:124-132.



Nükleer ve Radyolojik Acillerde Dozimetri

Dosimetry in Nuclear and Radiation Emergencies

Bengül Günalp

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

Öz

Nükleer ve radyolojik acillerde, özellikle çok sayıda kazazedinin olduğu durumlarda, absorbe edilen dozun belirlenmesi hastaların sınıflanmasında (triyaaj) ve tıbbi müdahalenin planlanmasında kritik öneme sahiptir. Doz hesaplaması kabaca bulantı ve kusmanın başlangıç zamanı, bilinç durumu ve nörolojik bozukluk olup olmadığının bilinmesi ile yapılabilir. Periferik kan hücre sayımı, özellikle tüm vücut ışınlanmasından sonraki ilk 48 saatte yapılan lenfosit sayımı başlangıçtaki doz hesabında çok yararlıdır. Daha doğru doz hesaplamaları sitogenetik dozimetri metotları, elektron paramanyetik rezonans kullanarak, diğer biyodozimetri indikatörleri ile ve eksternal ve internal dozimetri teknikleri ile yapılabilir. Bu derlemede farklı nükleer ve radyolojik kaza senaryolarında kullanılacak güncel dozimetri tekniklerinin avantaj ve limitasyonları gözden geçirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Doz hesaplaması, akut dozimetri, radyolojik triyaaj, sitogenetik dozimetri, elektron paramanyetik rezonans, biyodozimetri göstergeleri

Abstract

Radiation absorbed dose assessment has critical importance especially in mass casualty conditions for sorting (triage) and medical management of patients in nuclear or radiological emergencies. Dose estimates can be done roughly by knowing clinical signs and symptoms, including time to onset of nausea and vomiting, cognition status and neurological deficits. Peripheral blood cell counts are also very useful for initial dose assessment especially lymphocyte counts in 48 hours after whole body exposure. More precise dose assessment can be made using cytogenetic dosimetry methods, electron paramagnetic resonance, other biodosimetry indicators, external and internal dosimetry techniques. In this review advantages and limitations of current dosimetry techniques will be discussed in different nuclear or radiological accident scenarios.

Keywords: Dose assessment, acute dosimetry, radiological triage, cytogenetic dosimetry, electron paramagnetic resonance, biodosimetry indicators

Giriş

Nükleer ve radyolojik acillerde çoğunlukla çok sayıda kişinin radyasyondan etkilenmesinin yanı sıra birlikte yanık ve travma gibi kombine yaralanmalar da olabilir. Sağlık tesisleri ve çalışanlar da etkilenmiş olabileceğinden kısıtlı imkanların en iyi şekilde kullanılmaları söz konusudur. Kazazedelerin bulunmuş oldukları yere göre ve almış olabilecekleri doz klinik bulgulara göre değerlendirilerek "triyaaj" olarak isimlendirilen sınıflanmaları yapılmalı ve uygun sağlık tesislerine yönlendirilmeleri sağlanmalıdır. Daha sonra sitogenetik dozimetri (SD) gibi daha çok zaman, iş gücü

gerektiren biyodozimetri teknikleri ile daha doğru doz hesaplamaları yapılarak tedavileri planlanmalıdır (1).

Klinik Dozimetri ve Triyaaj

Triyaaj, klinik bakımı hızlandırıp kolaylaştırmak ve mevcut klinik servis ve olanakların kullanımını maksimuma çıkarmak için hastaların yaraları ve/veya hastalık durumları esas alınarak sınıflara ayrılmasıdır. Triyaajın esas amaçlarından birisi gerekli acil bakım seviyesini belirlemektir. Eğer kazazede sayısı az ise, tıbbi yönetim açısından bu durum pek çok ülkede büyük bir problem yaratmaz. Ancak, onlarca veya yüzlerce kişinin ışınlandığı ya da ışınlandığından şüphelenildiği

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Bengül Günalp, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: bgunalp@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-2337-8295

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

bir kaza durumunda özellikle bu hastaların hastaneye yatırılmaları söz konusu olduğunda büyük zorluklarla karşılaşılabilir.

Erken klinik belirtiler radyasyona maruz kalan kişilerin sınıflandırılması ve kişisel seviyede uygun olan tıbbi bakıma karar vermede temel teşkil eder. En önemli prodromal (erken) klinik bulgular bulantı, kusma, diyare ve deri ve mukoza eritemidir. Tüm vücut ışınlanması veya lokal ışınlanma durumlarında hastanın almış olabileceği dozun yaklaşık olarak belirlenmesi ve hastaneye yatırma kararı, Tablo 1'de gösterilen erken klinik bulguların varlığına göre yapılır.

Klinik doz belirlemeleri genellikle alınan sonuçlara bakılarak yeniden değerlendirme yapılarak tayin edilir.

- Çok erken bir sınıflandırma, bulantı, kusma, diyare, eritem ve ateş gibi klinik semptomlara dayanır. Bu bulgular ve bunların ortaya çıkış zamanları, sıklıkları ve şiddeti dikkatlice kayıt edilmelidir. Bu kazazedeleri, absorbe edilen doz 2 Gy'den az veya çok olmak üzere iki kategoride sınıflandırılmasını sağlar.

- Doğrulama ve daha doğru bir sınıflandırma özellikle ilk 2 gün içinde lenfositlerdeki azalmanın izlenmesini içeren hematolojik sayımlara dayanır (Şekil 1).

- Hastanede, klinik ve laboratuvar bulgularının gelişimine, hematolojik tetkikler ve biyolojik (sitogenetik) ve fiziksel dozimetri gibi daha özel yöntemlerden alınan sonuçlara göre, hastanın durumunun daha ayrıntılı ve doğru olarak değerlendirilmesi mümkün olur.

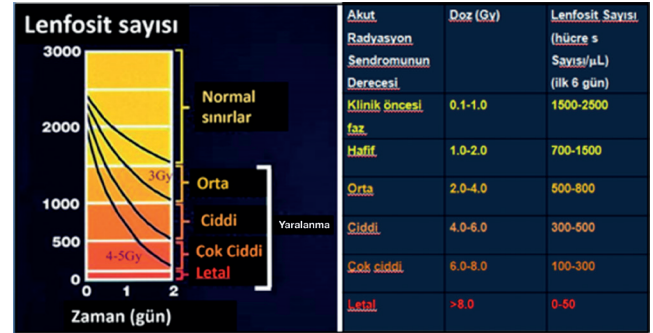
Sitogenetik Dozimetri

SD kemik iliği ve internal organların akut ışınlanmasından sonra doz belirlenmesinde yaygın

olarak kabul edilen metottur. Bununla birlikte SD'nin önemli limitasyonları vardır. Tipik olarak SD ile doz hesabı yaklaşık 4-5 günlük bir zaman ve önemli iş gücü gerektirir. Mikronükleus testi daha az zaman gerektirir (1-2 gün) ancak duyarlılığı ve özgüllüğü düşüktür. Lenfositlerin metafaz yaymalarında disentrik kromozom sayımı doz hesaplanmasında en güçlü tekniktir.

Disentrik Testi

Disentrik sayımı ile doz belirlenmesi uzun yıllardır kaza radyasyon dozimetresinde kullanılmaktadır. Bu tetkikte proliferasyonu aktive edilmiş lenfositler metafazda durdurulur, slayt preparatları üzerinde fikse edilerek disentrik ve ring kromozom varlığı analiz edilir. Her bir birey için en az 50 metafaz skorlanmalıdır. Saptanan disentrik ve ring sayıları *in vitro* oluşturulmuş kalibrasyon eğrilerine göre doz hesabında kullanılır. Disentrik kromozom içeren hücrelerde iki adet sentromer olduğundan bölünemezler (unstable) ve hücre yaşam



Şekil 1. Işınlanmadan sonra ilk 48 saate ve ilk 6 gün içerisinde lenfosit sayımında değişime bakılarak klinik doz hesabı

Tablo 1. Erken klinik semptomlara göre radyasyon yaralanmalarının tanı ve tedavisi için rehber

Klinik bulgular		Karşılık gelen doz (Gy)		Karar
TVI	LI	TVI	LI	
Kusma yok	Erken eritem yok	<1	<10	Beş hafta hastaneye yatmadan kontrol edilir (kan sayımları)
Işınlanmadan 2-3 saat sonra kusma	Işınlanmadan 12-24 saat sonra, erken eritem veya anormal duyu hissi	1-2	8-15	Genel bir hastanede takip (veya 3 haftalık ayaktan takip sonrası gerekli olursa hastaneye yatırma)
Işınlanmadan 1-2 saat sonra kusma	Işınlanmadan 8-15 saat sonra erken eritem veya anormal duyu hissi	2-4	15-30	Hematoloji veya yanık bölümüne hastanın yatırılması
Bir saatten erken kusma veya hipotansiyon gibi diğer ağır semptomların olması	Işınlanmadan sonra ilk 3-6 saat içerisinde veya daha önce, deri ve mukozada ödem ile birlikte erken eritem	>4	>30	Hastanın iyi donanımlı bir hematoloji veya cerrahi bölümüne yatırılması ve daha sonra radyopatolojide uzmanlaşmış bir merkeze nakledilmesi

TVI: Tüm vücut ışınlanması, LI: Lokal ışınlanma

süresinin sonunda periferik kandan temizlenirler. Bu nedenle disentrik sayımı ile doz hesabı genellikle yakın zamanda (günler içerisinde, ~6 ay) iyonize radyasyona maruz kalmış kişilerde doz belirlenmesinde kullanılır ve günümüzde radyasyon kazalarında doz belirlenmesinde kullanılan en duyarlı ve özgül test olarak kabul edilir (2,3). Kullanım doz aralığı 0,2-5 Gy'dir. Akut tüm vücut ışınlanması ve lokal vücut ışınlanması paternleri ayırt edilebilir (Tablo 2).

Floresan *In Situ* Hibridizasyon Testi

Disentrik assayın dezavantajı oluşan hasarın hücre çoğalmasına izin vermemesi ve hücre bölünmeye girdiği sırada periferik kandan uzaklaştırılmasıdır. Floresan *in situ* hibridizasyon (FISH) tekniği ile kolaylıkla saptanan translokasyonlar ise daha kalıcıdır ve retrospektif dozimetri yapılmasına olanak sağlar (4). FISH metodu

23 farklı floresan işaretleyici ile tüm kromozomların işaretlenmesini sağlayarak translokasyonların çok daha duyarlı olarak saptanmasına olanak sağlamıştır (Şekil 2, 3) (5). FISH tekniğinin dezavantajı tetkikin pahalı olması ve analiz zamanının uzun olmasıdır. Bu nedenle çok sayıda kazazedinin olduğu durumlarda uygulanamaz.

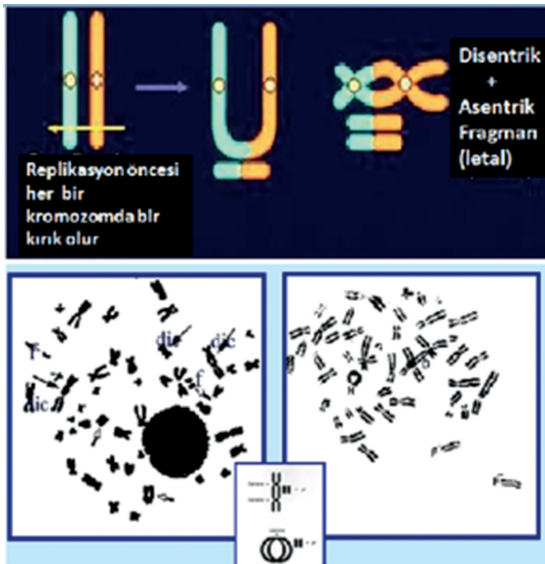
Mikronükleus Testi

Mikronükleus testi disentrik testine alternatif bir testtir. Mikronükleuslar hücre bölünmesi sırasında tüm kromozom veya asentrik kromozom fragmanı yeni hücre çekirdeğine entegre olamaz ise ortaya çıkar. Sitokinezis inhibe edilir ise ilk mitotik bölünme sonrasında iki nükleuslu hücre oluşur. Bu binükleer hücrelerde mikronükleus varlığı skorlanır (Şekil 4) (6,7). Mikronükleus testi disentrik testinden daha az teknik

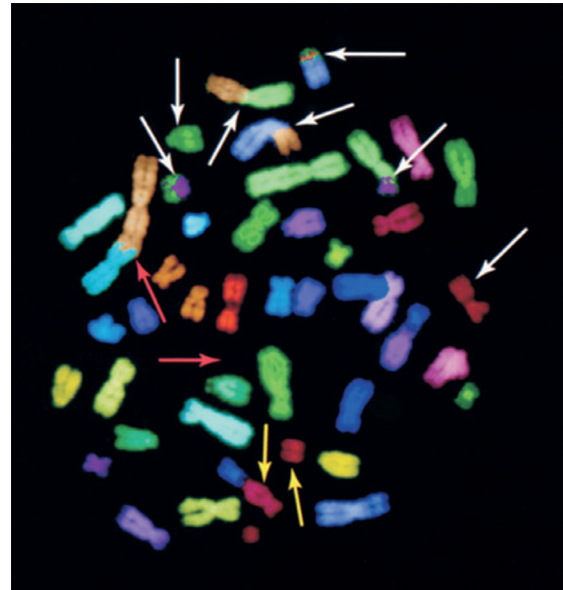
Tablo 2. Biyolojik dozimetri metotlarının karakteristik özellikleri

Metot	Çalışılan hücre	Işınlanmadan sonra optimal test periyodu	Güvenilir olarak saptayabildiği ışınlanma paterni	Uygulanabilirlik doz sınırları
Disentrikler	Lenfositler	Günler - haftalar	Akut tüm vücut/bölgesel vücut	0,2-5 Gy
Translokasyonlar	Lenfositler	Retrospektif	Akut/kronik tüm vücut	0,3-5 Gy
PCC	Lenfositler	Saatler - günler	Akut tüm vücut/bölgesel vücut	0,1-10 Gy
Mikronükleuslar	Lenfositler	Günler - haftalar	Akut tüm vücut	0,3-5 Gy
Kan hücre sayımları	Lenfositler, nötrofiller, plateletler	Günler - haftalar	Akut tüm vücut	0,5-10 Gy

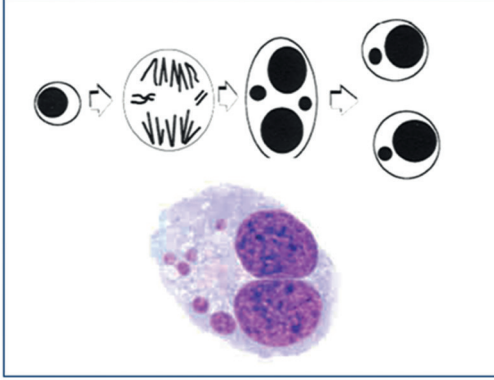
PCC: Prematüre kromozom kondensasyonu



Şekil 2. Disentrik kromozom oluşumu ve metafazda durdurulan lenfositlerde radyasyona bağlı oluşmuş disentrik kromozomların sayımı



Şekil 3. Translokasyonların floresan *in situ* hibridizasyon tekniği ile saptanması



Şekil 4. Bölünen hücrelerde radyasyona bağlı oluşan asentrik fragmanların mikronükleus olarak çekirdek dışında kalması

beceri ve analiz için daha az zaman gerektirir. Ancak translokasyonlarda olduğu gibi radyasyondan başka nedenler ile de oluşabilir ve duyarlılık ve özgülüğü düşüktür (8). Ancak yine de çok sayıda kazazedinin olduğu durumlarda uygulaması kolaydır (9).

Prematür Kromozom Kondensasyon Testi

Lenfosit stimülasyonu gerektiren önceki tekniklerin limitasyonu, 5 Gy ve üzerinde radyasyon dozu almış bireylerin lenfositlerinin mitoza girmesinde gecikme olması veya hiç mitoza girmemeleridir. Bu durum olduğundan düşük hesaplanmasına neden olur. Bununla birlikte insana lenfositleri Çin Hamster Over hücreleri ile birleştirilirler ise prematüre kondensasyona zorlanırlar (10). Bu test kromozomal aberasyonların hasar görmüş hücre mitoza girmeden saptanmasını sağlayarak hayatı tehdit eden yüksek radyasyon dozlarının hesaplanmasını sağlar. Bu teknik aynı zamanda kısmi vücut ışınlanmasını sağlamada da başarılıdır (Tablo 2) (11).

Elektron Paramanyetik Rezonans, Elektron Spin Rezonans

Bu teknik radyasyon sonrası oluşan çiftleşmemiş elektron çiftlerini saptar. Oluşan çiftleşmemiş elektron sayısı absorbe edilen doz ile orantılıdır. Ancak yaşam süreleri sıvı ortamlarda çok kısadır (nanosaniye). Diş, kemik, tırnak ve saçta daha uzun ömürlüdürler. Teknik ilk olarak 1968 yılında tanıtılmış (12) ve eski Sovyetler Birliği'nde ve Japonya'da dökülen dişlerden retrospektif dozimetrik analizlerde kullanılmıştır.

Sonuç

Görüldüğü gibi tek başına hiç bir tetkik kitlesel ışınlanmalarda yönetimi de içeren tüm potansiyel

ışınlanma senaryolarında erken tıbbi tedavinin başlanması için doz hesaplanmasında yeterli güvenceyi verememektedir. Bu durumda klinik dozimetri dahil, her tetkikin avantaj ve dezavantajları bilinerek multiparametrik biyodozimetri stratejileri kullanılmalıdır.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. International Atomic Energy Agency, Safety Report Series No. 2. Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. 1998, IAEA, Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P040_scr.pdf
2. Bender, MA, Awa, AA, Brooks AL, et al. Current status of cytogenetic procedures to detect and quantify previous exposures to radiation. *Mutat Res* 1988;196:103-159.
3. Voisin P, Barquinerio F, Blakely B, et al. Towards a standardization of biological dosimetry by cytogenetics. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 2002;48:501-504.
4. Pinkel D, Gray JW, Trask B, van den Engh G, Fuscoe J, van Dekken H. Cytogenetic analysis by in situ hybridization with fluorescently labeled nucleic acid probes. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 1986;51:151-157.
5. Szeles A, Joussineau S, Lewensohn R, Lagercrantz S, Larsson C. Evaluation of spectral karyotyping (SKY) in biodosimetry for the triage situation following gamma irradiation. *Int J Radiat Biol* 2006;82:87-96.
6. Fenech M, Morley AA. Cytokinesis-block micronucleus method in human lymphocytes: effect of in vivo ageing and low dose X-irradiation. *Mutat Res* 1986;161:193-198.
7. Fenech M, Crott J, Turner J, Brown S. Necrosis, apoptosis, cytostasis and DNA damage in human lymphocytes measured simultaneously within the cytokinesis-block micronucleus assay: description of the method and results for hydrogen peroxide. *Mutagenesis* 1999;14:605-612.
8. Thierens H, Vral A, de Ridder, L. Biological dosimetry using the micronucleus assay for lymphocytes: interindividual differences in dose response. *Health Phys* 1991;61:623-630.
9. Thierens H, De Ruyck K, Vral A, et al. Cytogenetic biodosimetry of an accidental exposure of a radiological worker using multiple assays. *Radiat Prot Dosimetry* 2005;113:408-14.
10. Johnson RT, Rao PN. Mammalian cell fusion: induction of premature chromosome condensation in interphase nuclei. *Nature* 1970;226:717-722.
11. Darroudi F, Fomina J, Meijers M, Natarajan AT. Kinetics of the formation of chromosome aberrations in X-irradiated human lymphocytes, using PCC and FISH. *Mutat Res* 1998;404:55-65.
12. Brady JM, Aarestad NO, Swartz HM. In vivo dosimetry by electron spin resonance spectroscopy. *Health Phys* 1968;15:43-47.



Radyolojik/Nükleer Acillerde Hastane Hazırlığı ve Acil Durum Müdahale Ekibi Organizasyonu

Hospital Preparation in the Radiological/Nuclear Urgents and Organization of the Emergency Response Team

Mustafa Özdeş Emer

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

Öz

Radyoaktif materyaller günümüz toplumunun ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bilinçli ve kontrol altında kullanıldığında radyasyon, eşsiz özellikleri ile enerji, endüstri ve sağlık başta olmak üzere birçok alanda yarar sağlamaktadır. Kullanım alanı arttıkça radyasyona bağlı kazaların da oluşma olasılığı artmaktadır. Bu nedenle sağlık kuruluşlarında radyolojik/nükleer acil durumlara müdahale edebilecek ekiplerin yetiştirilmesi ve bu sağlık kuruluşlarının fiziki yapısının müdahaleye uygun hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu derlemede, radyolojik/nükleer kazaya uğrayan bireylerin ilk müdahalelerinin ardından götürüldükleri sağlık kuruluşlarındaki hastane hazırlığının ve acil durum müdahale ekibi organizasyonunun nasıl yapılacağı açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon acil alanı, kontaminasyon, dekontaminasyon

Abstract

Radioactive materials have become an integral part of today's society. When used consciously and under control, many areas especially in energy, industry and health, benefit from radiation due to its unique properties. As the area of use increases, the likelihood of radiation-related accidents increases. For this reason, it is becoming increasingly important to train teams that can intervene in radiological/nuclear emergency situations in health institutions and to adapt the physical structure of these health institutions to the intervention. In this review, we tried to explain, how the hospital preparation should be done in the health facilities where the individuals exposed to radiological/nuclear accidents are transferred after the first interventions and how the emergency response team should be organized.

Keywords: Radiation emergency area, contamination, decontamination

Giriş

Radyasyon ve radyoaktif materyaller günümüz modern toplumunun ve sanayinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Radyasyon eşsiz özellikleri ile enerji, endüstri ve sağlık başta olmak üzere birçok alanda yarar sağlamaktadır. Bu kullanım alanlarının bazıları şunlardır: Hassas saat üretimi, sterilizasyon, DNA sekanslaması, uçaklarda metal yorgunluğunun belirlenmesi ve büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretimi. Radyoaktif materyallerin uygulama alanları o kadar genişlemiştir ki bu materyaller olmaksızın modern yaşam düşünülemez.

Bu teknolojinin nimetlerinden faydalandığımız gibi bu materyallerin üretimi, kullanımı ve atıkların saklanması sürecinde de gerekli emniyeti sağlamak zorundayız. Emniyet tedbirleri gerektiği gibi alınmaz ise radyasyon kazalarının oluşması kaçınılmaz olacaktır.

Radyasyon Kazalarına Müdahale Edecek Hastanelerde Genel Hazırlık

Hastaneler hizmet verdikleri çevredeki riski düzenli olarak değerlendirmeli ve belirlediği riske uygun olarak gerekli personel ve ekipmanı hazır bulundurmalıdır.

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Mustafa Özdeş Emer, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: ozdesemer@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-5729-0406

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

Ancak tüm hastanelerde asgari bir hazırlık seviyesi gereklidir. Hastanelerin itfaiye, emniyet güçleri ve ilgili devlet kurumları ile işbirliği yapmaları gerekeceğinden bu birimler ile belli bir seviyede ilişki oluşturulması faydalı olacaktır. Unutulmamalıdır ki kazalara ilk müdahaleyi gerçekleştiren ekipler olaya gerekli şekilde müdahale ederlerse dekontaminasyon büyük ölçüde olay yerinde tamamlanabilir (1,2).

Hastaneye radyasyon kazazedesi getirileceği konusunda bir ihbar geldiğinde planlı bir faaliyet başlatılmalıdır. Telefonu yanıtlayan kişi aşağıdaki konularda olabildiğince çok bilgi almaya çalışmalıdır:

- Yaralı sayısı,
- Her yaralının tıbbi durumu ve yaralanma şekli,
- Kazazedelerin radyasyon yönünden taranıp taranmadığı,
- Kazazedenin radyolojik durumu (ışınlanmış mı?, kontamine mi?),
- Kontaminasyona neden olan materyal,
- Hastaneye tahmini varış zamanı.

Kontaminasyon konusunda şüphe varsa aksi ispat edilene kadar kazazede kontamine kabul edilmelidir. Eğer hastanenin bu tip olaylar için özel bir girişi var ise ambulans personeli bu konuda uyarılır. Eğer ihbar acil müdahale ekipleri dışında birinden gelmişse radyasyona müdahale edecek ekibe alarm vermeden ve hazırlıklara başlamadan önce istenecek telefon numarası olayı doğrulamak için geri aranır.

Eğer bir hastane ışınlanma veya kontaminasyona maruz kalmış kişilere müdahale edecekse böyle bir durum için hazırlık yapılmalıdır. Öncelikle bir tedavi alanı belirlenmelidir. Bu alan herkes tarafından bilinmeli ve hastanenin tüm servislerine kolayca ulaşılabilen bir yer olmalıdır. Tedavi ünitesi hayatı tehdit eden yaralılara müdahale edilebilecek olanaklara sahip bir yer olmalıdır. Genellikle acil servisin bir bölümünün "radyasyon acil alanı" (RAA) olarak ayrılması ihtiyacı karşılayacaktır. Bazı merkezler bu amaçla morg bölümünü ayırmışlardır. Ancak ortam hasta ve yakınları için uygun olmadığı gibi müdahale için gerekli ekipman bu bölümde bulunmayabilir. Ayrıca bu durumlarda medya hastaların bulunduğu yer nedeniyle yanlış bir takım çıkarımlar da yapılabilir (1).

İdeal olarak RAA'nın acil servisten ayrı bir girişi olmalıdır. Böylece diğer hastaların giriş-çıkışı engellenmemiş olur. Ancak, bu mutlak bir gereksinim değildir. RAA'ya ulaşım hastalara müdahale edecek personelle sınırlı tutulmalıdır. RAA, kontamine alan gibi düşünülmelidir. Bu alana giren herkes sanki septik bir olguya müdahale ediyormuş gibi koruyucu

elbiseler giymelidir. Tüm vücut kontaminasyon taraması yapılmadan hiç kimse RAA'yı terk etmemelidir. Tüm vücut taraması her seferinde 10-15 dakika alacağından bu alana gereksiz giriş çıkışlar engellenmelidir. Personel, hastaya müdahale tamamlanana dek bu alanda kalmalıdır (1,3,4).

RAA dışında bir bölge tampon bölge olarak belirlenir. Bu zonda radyasyon kazasına müdahale için lazım olabilecek her türlü özel ekipmanın bulunacağı bir dolap olmalıdır. Bu tampon bölgeye giriş çıkış bu alanda görevlendirilecek bir hemşire ya da personelle sınırlandırılır. Bu alanda potansiyel olarak kontamine bir bölge olarak kabul edilir. Tampon bölgede görevli hemşire diğer acil servis görevlileri ile iletişimi sağlar ve seyyar röntgen, sıvı, cihaz veya ilaç gibi ihtiyaç duyulabilecek diğer malzemeleri RAA'ya iletir. Bu hemşire aynı zamanda hastaya yapılan işlemleri, varsa kontaminasyon düzeyleri ve yapılan dekontaminasyon işlemlerinin kaydını tutabilir. Gereksiz kontaminasyon olasılığını önlemek için bu alan personel ve diğer insan trafiğine kapatılmalıdır (3,4).

Eğer zaman kalırsa RAA ve tampon bölgede zemin koruyucu materyal ile kaplanmalıdır. Bu amaçla su geçirmeyen kalın plastik malzeme veya kalın kağıt kullanılabilir. Malzemenin zemine bantlanması uygun olacaktır (Resim 1). Zemini kaplamak zorunlu değildir ancak, daha sonra temizlik yapmayı kolaylaştırır. Geleneksel olarak RAA "sarı", tampon bölge "yeşil" renk malzeme ile kaplanır. Plastik çöp torbaları zemini kaplamak için kullanılmamalıdır. Kaygan olduklarından kazalara neden olabilir. Benzer şekilde çarşaf veya diğer kumaş malzemeler kolayca katlandığından hareketi güçleştirir. Ayrıca kumaş malzeme dekontaminasyonu güçleştiren bir materyaldir ve başka alanlara ayakkabılar yoluyla radyoaktif materyalin taşınmasına sebep olabilirler (3,4).

Hastaya müdahale edecek olan personelin kontaminasyon olasılığından korunması gereklidir. Bunun için çift kat standart cerrahi önlük ve eldiven giyilmesi



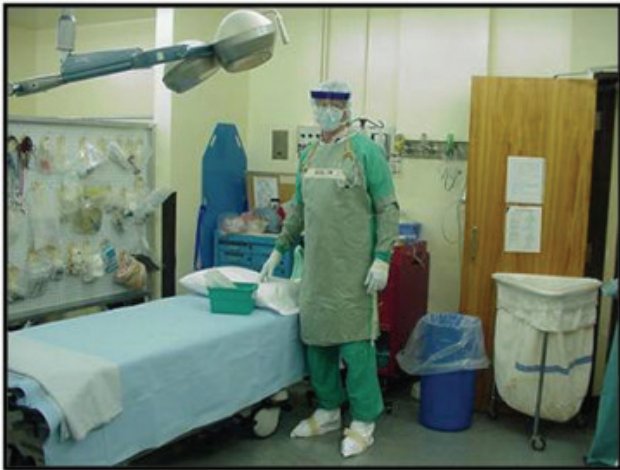
Resim 1. Radyasyon acil alanının zemininin koruyucu materyal ile kaplanması

yeterli olacaktır. Çift kat giyilmesi dıştaki katın kontamine olduğunda kolayca çıkartılabilmesi amacıyla. Üst üste giyinmek eğer havalandırma yeterli değilse çalışmayı güçleştirebilir. Ayakkabıları kontaminasyondan korumak için ayaklara plastik galoş giyilmelidir ve hem bilek kısmından hem de orta kesiminden bantlanmalıdır (Resim 2, 3).

RAA'ya giren her personele dozimetre verilmelidir. Bu kural normalde dozimetre takan nükleer tıp-radyoloji teknisyeni ve nükleer tıp-radyoloji hekimi gibi personeli de kapsar. Dozimetrenin amacı hastaya müdahale sırasında personelin maruz kaldığı radyasyon dozunun ölçümüdür. En içe gövde kısmına bir termoluminesan (TLD) dozimetre takılmalıdır. İstenirse eldivenlerin altına bir yüzük TLD dozimetre de takılır. TLD, alınan resmi radyasyon dozunu belirlemeye yarar. En dışa takılacak bir kalem dozimetre ile her hangi bir zamanda personelin maruz kaldığı doz okunabilir. Ancak kalem dozimetreler vibrasyon ve darbelere karşı hassas olduğundan kesin ışınlanma dozunu belirlemede doğru bilgi vermeyebilirler (1,4).



Resim 2. Radyasyon acil alanı personelinin uygun giyinme şekli



Resim 3. Radyasyon acil alanı personelinin uygun giyinme şekli

İlk Müdahale İçin Gerekli Personel

Her durumda yerinde bir müdahale için uygun ve eğitilmiş personel gereklidir. Radyasyon acil müdahale ekibi olarak tanımlanabilecek bu ekipte yer alan herkes hastanenin radyasyon acili planlarını bilmeli ve yapılan tatbikatlara katılmalıdır. Bu grupta yer alan bazı alt gruplar için (dekontaminasyon, triyaj ve radyolojik monitörizasyon ekipleri gibi) tatbikat sıklığı artırılabilir. Değişen personel de aynı eğitimden geçirilerek ekibe uyumu sağlanır. Bu eğitimlere yaralıları olay yerinden hastaneye taşıyan acil tıp teknisyenleri ve personeli de dahil edilmelidir. Çünkü bu personel hastanenin önceden uyarılması ve radyasyon yaralılarının uygun transportu konusunda önemli görevler üstlenir (2). Aşağıda radyasyon acil müdahale ekibi görev ve fonksiyonları tablo halinde sunulmuştur (Tablo 1).

Ekipte görev alacak personelden bazılarının işlevlerini daha detaylı inceleyelim.

Acil servis hemşiresi: Hemşireler acil hastaların birçoğuna müdahalede en önemli görevi üstlenirler. Yaraları temizler ve hekimin müdahalesine hazır hale getirirler. Acil servis hemşireleri kontamine olduğundan şüphe duyulan bölgelerden örnekler alma ve nihai dekontaminasyonu gerçekleştirmekten sorumludur. Kazanın boyutuna göre RAA'da her zaman 1 veya 2 hemşire bulundurulmalıdır.

Acil tıp uzmanı: Acil tıp hekimleri kazazedelere müdahale etmeye alışkındır. Acil tıp hekiminin görevi hastayı tıbbi olarak stabilize etmektir. Dekontaminasyon işlemi hasta stabilize olduktan sonra gerçekleştirilir. Acil tıbbi müdahale daima radyasyon dekontaminasyonu işleminden önceliklidir. Acil tıp hekimi hasta stabilize olup hayati tehlike ortadan kalkana kadar RAA'da kalır.

Travma cerrahisi: Bazen kazazedenin stabilize olması için cerrahi müdahale gerekli olur. Bu müdahale cerrah veya travma cerrahisi tarafından gerçekleştirilir. Yine bu cerrahi müdahaleler dekontaminasyon işleminden önce yapılır. Travma cerrahisi de kendisine gerek kalmayana kadar RAA'da kalır. Travma cerrahisi tedaviyi üstlenmişse acil tıp hekimi bu alandan ayrılabilir.

Nükleer tıp teknisyeni veya radyasyon teknisyeni: Hasta hayati tehlikeyi atlatıp stabilize olduğunda varsa kontaminasyon alanları belirlenmelidir. Bu işlem nükleer tıp teknisyeni veya radyasyon teknisyeni (radyasyon güvenlik sorumlusu) tarafından gerçekleştirilir. Bu personel hastaya müdahale sırasında bu alanda beklemelidir. Hasta geldiğinde kontamine olan alanlar biliniyor ise teknisyen hastaya müdahale eden diğer personele müdahale sonrası kontamine eldiven ve

önlüğünü değiştirmesini hatırlatır. Hiçbir durumda bu teknisyen hastaya başlangıçta yapılacak tıbbi müdahaleyi önlemez veya geciktirmez.

Güvenlik personeli: Güvenlik personelinin bulunması iki nedenle önemlidir. İlki hastanın mahremiyetidir. Hastanın sadece ismi, acil servise kabul edildiği saat ve genel durumu açıklanabilir. Bunlar dışında açıklanacak her bilgi hasta haklarının çiğnenmesidir. İkincisi, eğer insanlar potansiyel olarak bu alana sürekli girer çıkarsa kontaminasyonun yayılma olasılığı çok yüksek olacaktır. Güvenlik personeli bu alana giriş-çıkışı kontrol ederek kontaminasyonun yayılması ve izin verilmeyen bilginin sızdırılmasını önler.

Halkla ilişkiler: Çoğu zaman radyoaktif kazalar pek ilgi çekmez ve medyada yer bulmaz ancak bazen olay herkesin gözleri önünde gerçekleşebilir. Bu durumda

hastanenin basınla ilişki kurmak üzere bu konuda deneyimli birisini görevlendirmesi gerekir.

İleri Bakım ve Tedavi İçin Gerekli Personel

Cerrah: Kazaların çoğunda belli ölçüde travma da olaya eşlik ettiğinden genellikle bir travma cerrahına gerek duyulur. Bu personel erken dönemde ya da daha sonra çağrılmış olabilir. Yara, yanık ve travmanın diğer komplikasyonlarına bu personel müdahale ettiğinden ve müdahalenin her döneminde ihtiyaç duyulabileceğinden cerrahlar kontaminasyon kontrolü konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

Radyasyon teknisyeni: Eğer kontaminasyon varsa buna bağlı oluşacak ışınlanmanın tespiti için ışınlanma süresi, kaynağa olan mesafe, varsa zırhlama ve aktivite miktarı bilinmelidir. Dozimetreler okunarak radyasyonun komplikasyonları için hazırlıklı olunur. Kontaminasyon varsa izotopu belirlemek için gerekli analizler yapılmalıdır. İzotop belirlenirse uygun dekontaminasyon tedavisine de başlanabilir.

Nükleer tıp ve/veya radyoterapi uzmanı: Radyasyon kazalarının yönetiminde bu uzmanların ikisi de fayda sağlayacaktır. Nükleer tıp uzmanları internal olarak radyonüklid uygulanmış hastalarla uğraşmak konusunda deneyimlidir. Farklı izotopların internal kontaminasyonunda tedavi uygulayabilirler. Radyoterapi uzmanları da yüksek dozda eksternal ışınlamaya maruz kalan hastalar konusunda deneyimlidir. Bu uzmanların bilgi ve deneyimleri yüksek doz ışınlamaya maruz kalan hastalarda erken ve geç etkileri belirlemede faydalı olacaktır.

Onkoloji/hematoloji uzmanı: Radyasyon kazazedeleri uzun vadede kanser açısından yüksek risk grubunda yer alırlar ancak onkoloji/hematoloji uzmanı erken dönemde başka nedenlerle faydalı olacaktır. Onkoloji/hematoloji uzmanı immünsüprese hastaların tedavisi konusunda deneyimlidir. Eğer lökopeni belirgin ise koruyucu izolasyon gerekebilir. Letal doza yakın doza maruz kalan hastalarda kemik iliği nakli de bir tedavi alternatifi olabilir.

Dahiliye uzmanı: Ciddi yaralanması olan hastaların uzun süreler boyunca hospitalize edilmesi gerekebilir. Eğer cerrahi gerekmiyor ise hastanın genel tedavisini koordine etmek için dahiliye uzmanına gerek duyulabilir. Yüksek dozda radyasyona maruz kalan hastalarda sıvı elektrolit dengesi bozulabilir. Uygun şekilde tedavi edilmezse hasta kaybedilebilir. Uzun süreli hospitalizasyona bağlı enfeksiyon ve diğer komplikasyonlar da tedavi gerektirebilir.

Tablo 1. Radyasyon acil müdahale ekibi, görev ve fonksiyonları

Radyasyon acil müdahale ekibi	
Personelin görevi	Fonksiyonu
Ekip koordinatörü	Yönetir, önerilerde bulunur, koordine eder
Acil tıp uzmanı	Acil tanı ve tedaviyi üstlenir. Aynı zamanda ekip koordinatörü veya triyaj sorumlusu olarak görev yapabilir
Triyaj (ayırma) görevlisi	Hasta triyajını gerçekleştirir
Hemşire	Hekime tıbbi işlemlerde, örnek toplanmasında, radyolojik monitörizasyonda ve dekontaminasyonda yardım eder. Hastanın ihtiyaçlarını belirler ve gerekli yardımı yapar
Tıbbi kayıt görevlisi	Tıbbi ve radyolojik verileri kaydeder
Radyasyon güvenlik sorumlusu	Kontaminasyon kontrolü ve monitörizasyon işlemlerini gözetir
Radyasyon güvenlik görevlisi	Hasta ve alanı monitörize eder, kontaminasyon kontrolü ile ilgili önerilerde bulunur, radyasyon ekipmanını çalışır halde tutar
Halkla ilişkiler	Basına kaza ile ilgili bilgi verir
Hastane yönetimi temsilcisi	Hastane hazırlıklarını koordine eder
Güvenlik görevlisi	Radyasyon acil alanına giriş çıkışı denetler
Temizlik görevlisi	Radyasyon acil alanının hazırlanmasını sağlar
Laboratuvar teknisyeni	Biyolojik örneklerin rutin analizlerini gerçekleştirir

Hukuk danışmanı: Radyasyon kazalarında hukuki sonuçlar da doğabilir. Hastane ve personelin bu duruma hazırlıklı olması şüphesiz gerekli materyal ve dokümantasyonun uygun biçimde hazırlanmasına olanak sağlayacaktır.

Acil Durum Müdahale Ekibinin (ADME) Hazırlığı

Koruyucu giysiler: Koruyucu giysilerin amacı çıplak derinin ve personelin giysilerinin kontaminasyondan korunmasıdır. Ekip üyeleri cerrahi giysiler (önlük, maske, kep, göz koruyucu ve eldiven) giymelidir. Su geçirmez galoş veya ayakkabı kılıfı kullanılır. Tüm açık yerler ve kat bölümleri bantlanır. Bantların uç kısmı gerektiğinde kolayca çıkarılabilmesi için katlanır. Eldiven çift kat giyilmelidir. İlk kat eldiven cerrahi önlük kolu altına sokularak bantlanır. İkinci kat eldiven gerektiğinde kolayca çıkartılabilmeli ve değiştirilmelidir. Her ekip üyesine dağıtılacak dozimetre cerrahi önlük dışına boyun bölgesi civarına takılır. Eğer mevcutsa başka tip bir dozimetre de cerrahi önlük altına giyilir. Dekontaminasyon için sıvı kullanan her ekip üyesi ayrıca su geçirmez dış önlük kullanmalıdır.

Bu koruyucu giysiler alfa ve bazı beta partiküllerini etkin şekilde durdurur ancak gama ışınları için faydaları yoktur. Gama ışınlarının çoğunu durduramayan kurşun önlükler yalancı bir güven hissi yaratacağından tavsiye edilmez.

Tedavi alanının kontaminasyon kontrolü için hazırlanması: Tedavi odası, mümkünse dış girişe yakın bir yerde hazırlanmalıdır. Ziyaretçi ve hastalar bu alandan çıkartılır. Kazazedeye acil müdahalede kullanılmayacak olan ekipman ya bu alandan çıkartılır ya da üzeri örtülür. Birkaç adet büyük plastik çöp kovasına ihtiyaç duyulacaktır.

Tedavi masası birkaç kat su geçirmez disposibl örtü ile örtülür. Her ölçüde plastik çöp poşeti bulundurulmalıdır.

Radyasyon monitörizasyonunda kullanılacak cihazların pilleri ve çalışıp çalışmadıkları kontrol edilir. Yine geri plan aktivitesi hastalar gelmeden önce belirlenir ve kaydedilir. Ekip hastayı ambulansın yanında teslim almak üzere hazırlanır.

Zeminin kaplanması: Kahverengi ambalaj kağıdı ambulans bölgesinden tedavi odasına kadar bir yol oluşturacak şekilde serilir. Zemini kaplamak için kullanılan materyal ne olursa olsun yere bantla güzelce sabitlenmelidir. Bu yol daha sonra yetkisiz girişleri önlemek üzere güvenlik ipleri ile ayrılır. Dekontaminasyon odası ve tedavi alanı da vakit kalırsa aynı materyal ile

kaplanır. Bu önlem sonradan yapılacak temizliği çok kolaylaştıracaktır. Dekontaminasyon odasının eşiği kontamine ve temiz bölge sınırını belirleyecek şekilde kalın bir bantla görünür şekilde işaretlenir.

Havalandırmanın kontrolü: Ayrılan bölümün havalandırmasının diğer alanlardan ayrı bir havalandırması olması tercih edilir. Ya da bu alandaki havanın filtre edilmeksizin başka bölümlere geçişi engellenmelidir. Kontaminantın havada asılı kalma ve ventilasyon sistemine geçme olasılığı çok düşüktür.

Hasta Kabulü

Kabul öncesi iletişim: Hastane hazırlığında genellikle en sık gözden kaçırılan konu kazaya ilk müdahaleyi yapan ekiple hastaneye kabul öncesi iletişimdir. Acil servisteki ekiple hasta ve yaralanma şekilleri hakkında iletişim kurulur. Acil müdahale yapan personel solunum, nabız, kan basıncı, deri rengi, pupilla refleksi ve diğer belirti ve bulgular konusunda bilgi sahibidir. Ancak ortalama bir personel radyasyon verilerinin değerlendirilmesi konusunda yeterince bilgi sahibi değildir. Olay yerindeki radyasyon teknisyeni tarafından yapılacak "ellerde 10,000 ve kafa derisinde 2,000 DPM kontaminasyon" şeklinde bir tanımlama hastaya müdahale eden personelde tereddüt ve korku yaratabilir. Eğer hastane radyoaktif materyal kullanan tesis yakınında ise hem acil müdahaleyi yapan ekibin hem de hastane personelinin radyasyon dilini anlaması bir zorunluluktur. Tatbikatlar hazırlığın önemli bir parçasıdır ve radyasyonu kullanan tesis, acil müdahale ekibi ve acil servis ekibinin katılımı ile en az yılda bir kez gerçekleştirilmelidir.

Her türlü tehlikeli madde içeren kazada olduğu gibi kontaminasyona neden olan söz konusu materyal, ışınlanma miktarı ve etkilenen vücut bölgelerinin bilinmesi çok faydalı olacaktır. Eğer kaza radyoaktif materyalin transportu sırasında olmuşsa içerik ve aktivite miktarı paket üzerinde açıkça yazılı olacaktır.

Kabul öncesi iletişim, önceden kararlaştırılmış ortak bir dil kullanılmalıdır. Olay mahallinde radyasyonu rad veya gray cinsinden belirlemek kolay değildir. Bunun yerine kontaminasyonu DPM (disintegration per minute) veya CPM (counts per minute) cinsinden ifade etmek daha kolaydır. Bu veriler konu hakkında bilgili kişilerce verilmelidir. Bilgi sadece kontaminasyon değil eğer biliniyorsa kazanın tipi, yer alan materyal ve etkilenen alanları da içerecek tarzda verilmelidir.

Ekipleler arası temiz transfer: Hasta, hastaneye ulaştığında ambulans/helikopter ve personel kontamine gibi düşünülmelidir. Hasta potansiyel olarak kontamine

ambulans sedyesi veya personeli tarafından doğrudan hastaneye sokulmamalıdır. Bu durumda kontaminasyon, durumdan habersiz diğer personel aracılığı ile hastane geneline hızla yayılabilir.

Bu problemin üstesinden gelmenin en kolay yöntemi ekipler arası temiz transfer gerçekleştirmektir. Böyle bir transfer gerçekleştirmek için gelen araç çevresinde potansiyel kontamine bir alan belirlenir. Ambulans bu bölgeye kadar yanaşır. Ambulans personeli bu bölgeyi terk etmemelidir. Ambulans personeli bu bölgenin sınırında hastane personelince karşılanır. Ambulans ve hastane sedyesi bu sınırdan yan yana getirilerek hasta temiz sedyeye alınarak hastaneye transportu gerçekleştirir. Helikopterler için de benzer bir işlem uygulanabilir. Helikopter pist halkasının içi kontamine alan olarak belirlenir ve bu çizgide transfer gerçekleştirilir.

Temiz transfer sayesinde hasta kontaminasyonun yayılacağı şüphesi olmaksızın acil servis veya ameliyathaneye alınabilir.

Acil durum müdahale ekibinin serbest bırakılması: Hastayı getiren ekip elemanları tecrübeli bir teknisyen tarafından kontaminasyon yönünden kontrol edilir. Bu işlem gerçekleşene kadar ekip elemanlarının yemek yemesi, sigara veya sıvı içmesine izin verilmez. Eğer kontaminasyon varsa bu yolla çok daha kolay tedavi edilebilen eksternal kontaminasyonun kontrol edilmesi daha güç bir durum olan internal kontaminasyona dönüşmesi kaçınılmaz olacaktır.

Ekibin tüm vücut taraması ve aracın içinin kontrolü rutin prosedüre uygun olarak gerçekleştirilir. Kontaminasyon olmadığı tespit edilirse veya kontaminasyon giderilirse ekibin ayrılmasına izin verilir.

Sonuç

Radyasyon ve radyoaktif materyaller günümüz modern toplumunun ve sanayinin vazgeçilmez bir parçası

haline gelmiştir. Bu nedenle onlarla birlikte yaşamayı öğrenmeliyiz. Radyasyon ve radyoaktif materyallerin git gide artan kullanımları onlar ile oluşabilecek kazaların da oluşma riskini arttırmaktadır.

Oluşabilecek radyasyon kazalarına müdahale multidisipliner bir yaklaşım olmalıdır. Olayın cereyan ettiği yerden kazazedenin alınarak sağlık kuruluşuna getirilmesi, orada her türlü müdahalesinin yapılarak taburcu edilmesine kadar olan tüm süreçlerde, radyasyon ve radyoaktivite konusunda bilinçli personellerin yetiştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bu tür kazazedelerin ilk müdahalelerinin yapılacağı sağlık kuruluşlarının da alt yapı olarak radyasyon kazalarına karşı hazır hale getirilmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla her sağlık kuruluşunda olası radyasyon kazalarına müdahale edecek bir ekibin (ADME) oluşturulması ve bu ekibe sürekli hizmet içi eğitim verilmesi, radyasyon kazasına uğrayan bir kazazedenin kendisine ve diğer görevli personele zarar verme riskini de en aza indirecektir.

Kaynaklar

1. Guidance for Radiation Accident Management. Radiation Emergency Assistance Center/Training Site (REAC/TS). <http://www.orau.gov/reacts/guidance.htm>.
2. Guidance for Prehospital Emergency Services. Radiation Emergency Assistance Center/Training Site (REAC/TS). <http://www.orau.gov/reacts/nuclear.htm>.
3. Hospital Triage in the First 24 Hours after a Nuclear or Radiological Disaster. Radiation Emergency Assistance Center/Training Site (REAC/TS). <http://www.orau.gov/reacts/triage.pdf>.
4. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiologic Emergency. IAEA Safety Standart Series.

2017 Yazar Dizini - 2017 Author Index

Ahmet Ömer İkiz.....	121	Murat Fani Bozkurt.....	78
Ali Sevinç	103	Murat Tuncel	78
Alper Özgür Karaçalıoğlu	196	Mustafa Demir.....	5
Aslı Ayan	216	Mustafa Özdeş Emer	207,225
Bariş Zülfikarođlu	129	Neşe İlgin Karabacak.....	12,52,66
Bengül Günalp	184,221	Nuri Arslan.....	178
Berna Deđirmenci Polack.....	121	Nuriye Özlem Küçük	129
Bilge Volkan Salancı	78	Recep Bekiř	103,159
Birkan Birben	129	Seda Gülbahar	66
Çiğdem Soydal	129	Semra Dönmez	172
Elgin Özkan	129	Semra İnce.....	201,211
Emine Acar	103	Serdar Özbař	151
Engin Alagoz	189	Seyfettin Ilgan.....	151
Hamdullah Sözen.....	140	Tahir Gürler.....	113
Lebriz Uslu-Beşli	59	Tuğba Haciosmanođlu	166
Lütfiye Özlem Atay.....	1,22,52,59,66	Tülay Canda	89
Mahsun Özçelik	66	Uđuray Aydos.....	22,66
Mehmet Erdem	113	Ülkem Yararbař.....	113
Mesut Tez	129	Ümit Özgür Akdemir	12,22,52,59,66
Mine řencan Eren.....	159	Zeynep Gözde Özkan	140
Murat Argon	113		

2017 Konu Dizini - 2017 Subject Index

Akut dozimetri/Acute dosimetry	221	Mavi boya/Blue-dye	129
Akut radyasyon sendromu/Acute radiation syndrome ...	189	Meme kanseri/Breast cancer	103
Baş boyun kanseri/Head and neck cancer.....	121	Mikrometastaz/Micrometastasis.....	89
Bekçi lenf düğümü biyopsisi/Sentinel lymph node biopsy..	103	Moleküler görüntüleme/Molecular imaging	1
Bekçi lenf düğümü görüntülemesi/Sentinel lymph node imaging.....	103	Muti-parametrik görüntüleme/Mutiparametric imaging ...	1
Beyin neoplazileri/Brain neoplasms	52	Nanokoloid/Nanocolloid	78
Biyodozimetri göstergeleri/Biodosimetry indicators..	221	Nükleer acil/Nuclear emergency	196
Boyun diseksiyonu/Neck dissection	121	Nükleer kazalar/Nuclear accidents.....	184
Çocuk hastalıkları/Pediatric patients	59	Nörodejeneratif hastalıklar/Neurodegenerative diseases ..	52
Dedektör/Detector	172	Onkoloji/Oncology.....	22,66
Dekontaminasyon/Decontamination	211,225	Operasyon sırasında inceleme/Intraoperative examination.....	89
Dekorporasyon/Decorporation	207	Operasyon sonrası inceleme/Postoperative examination..	89
Deterministik etki/Deterministic effect.....	178,201	Papiller tiroid kanseri/Papillary thyroid cancer	151
Doz hesaplaması/Dose assessment.....	221	Patolojik N evrelemesi/Pathological N stage	89
Eksternal kontaminasyon/External contamination.....	211	Pediyatrik maligniteler/Pediatric malignancies.....	59
Elektron paramanyetik rezonans/Electron paramagnetic resonance	221	PET görüntüleme/PET imaging.....	1
Endometrium kanseri/Endometrium carcinoma.....	140	PET/BT/PET/CT.....	22,59,66
Epilepsi/Epilepsy.....	52	PET/MR görüntüleme/PET/MR imaging	1,5
Evrelendirme/Staging	151	PET/MR teknoloji/PET/MR technology.....	5
Fluorodeoksiglukoz F-18/Fluorodeoxyglucose F-18	52	PET/MR/PET/MR	5,22,66
Frozen/Frozen.....	89	PET/MRG/PET/MRI	59
Gama prob/Gamma probe	78,121,129	Pozitron emisyon tomografi/Positron emission tomography	12,52
Gastrointestinal kanserler/Gastrointestinal cancers ..	129	Prenatal ışınlama/Prenatal irradiation	216
İmmünohistokimya/Immunohistochemistry	89	Radyasyon/Radiation.....	166,172
İmprint/İmprint	89	Radyasyon acil alanı/Radiation emergency area	225
İnternal kontaminasyon/Internal contamination	207	Radyasyon dozimetri/Radiation dosimetry	159
İzole hücre metastazı/Solated cell metastasis.....	89	Radyasyon güvenliği/Radiation safety.....	159,184
Karsinogenez/Carcinogenesis	216	Radyasyon kaynakları/Sources of radiation.....	166
Klinik bulgular/Clinical findings	189	Radyasyon kazaları/Radiation accidents.....	184
Kontaminasyon/Contamination	225	Radyasyon kazası/Radiation accident.....	201,221
Lenfosintigrafi/Lymphoscintigraphy	113,121	Radyasyon maruziyeti/Radiation exposure	166
Lineer enerji transferi/Linear energy transfer	178	Radyasyon ölçümü/Radiation measurement	172
Lokal radyasyon yaralanması/Local radiation injury...201		Radyobiyoloji/Radiobiology	178
Malign melanom cerrahisi/Malign melanoma surgery ...	113	Radyasyonun geç etkileri/Late effects of radiation	216
Malign melanom/Malignant melanoma	113	Radyojik acil/Radiological emergency	196
Manyetik rezonans görüntüleme/Magnetic resonance imaging.....	12,52	Radyolojik kazalar/Radiologic accidents.....	184

2017 Konu Dizini - 2017 Subject Index

Radyolojik triyaj/Radiological triage.....	221	Sitokastik etki/Cytostatic effect.....	201
Sentinel lenf bezi biyopsisi/Sentinel lymph node biopsy ..	78	Solid tümörler/Solid tumours.....	216
Sentinel lenf düğümü biyopsisi/Sentinel lymph node biopsy	89	SPECT/BT/SPECT/CT.....	78
Sentinel lenf nodu biyopsisi/Sentinel lymph node biopsy 113,121,129,140,151,159		Şelasyon/Chelation.....	207
Serviks kanseri/Cervix carcinoma.....	140	Tanısal görüntüleme/Diagnostic imaging	12
Sitogenetik dozimetri/Cytogenetic dosimetry.....	221	Tedavi/Treatment	189
Sitokastik etki/Cytostatic effect.....	178	Triyaj/Triage.....	196
		Vulva kanseri/Vulva carcinoma	140