

# Radyasyonların İnsanlar Üzerine Genel Tesirleri

Yazan:  
Gürcan YÜLEK  
Fizik Y. Müh.  
AEK

## 1. Giriş :

Radyasyonların canlı organizmalar üzerindeki temel tesirleri hücrelerin tahrip olunması şeklindedir. Radyasyonların hücreleri ne şekilde tahrip ettiği tam olarak bilinmemekle beraber, radyasyonların her çeşit madde üzerindeki başlıca tesiri maddenin atomlarının iyonlaştırılması, olduğuna göre canlı hücreler üzerindeki tesirinde de bu olayın önemli bir faktör olduğuna inanılmaktadır.

İyonizasyon olayının hücreleri ne şekilde tahrip ettiğini izah eden başlıca 2 teori vardır. Her iki teori de çok sayıda hücre iyonizasyona maruz kaldığı halde bundan çok az sayıda hücrenin zarar gördüğünü izaha çalışır. Bu teorilerden birincisi TANGET (hedef) teorisidir. Bu teoriye göre hücre çekirdeğinin içinde veya çok yakınında, radyasyona karşı hassas olan ve tanget denen küçük bir hassas hacmin varlığı kabul edilmektedir. Teoriye göre hücrenin radyasyondan ciddi bir tesir görmesi iyonizasyonun bu küçük hacim içerisinde meydana gelmesiyle mümkün olacaktır. Bu hacmin dışında meydana gelen radyasyon tesirsiz olarak kabul edilmektedir. Radyasyon etkisi sonucunda; organik maddelerdeki kimyasal değişimler, virüslerin ataletlerini, gen mutasyonlarını ve bakteri hücrelerinin yok edilmesi (koloni teşkilinin önlenmesi) ni açıklamada bu teori başarıyla kullanılmıştır, ikinci teori ise : KİMYASAL, TEORİ olup hedef teorisinin aşağıdaki kabule göre genişletilmiş şeklidir. Radyasyon etkilenen sadece doğrudan doğruya çarpmalar neticesinde olmayıp, aynı zamanda eriyikler içinde ışınlanmayla hasil olan ara kimyasal ürünlerle etkilenmek sonucu da meydana gelebilir. Çeşitli deneyler, iyonlayıcı radyasyonların hasil ettikleri artı ve eksi su iyonlarının sırasıyla ( $H_2O \rightarrow K^{++} OH^-$ ); OH radikaline ve H atomlarına çözüştüğünü göstermiştir. Ortamda erimiş oksijenin mevcudiyeti halinde kuvvetli bir oksitleyici olan  $H_2O_2$  meydana gelir. . Biyolojik ortamda  $H_2O_2$  bulunması ise, protein moleküllerinin terkiibini değiştirmede kimyasal olarak etkin olabilir.

Yani her iki teori de bazı olayların izahında faydalı olmaktadır.

## RADYASYONA REAKSİYONLARINA TESÜT EDEN FAKTÖRLER

Bir insan X ışını veya radyoaktif izotoplardan gelen radyasyona maruz kaldığı zaman meydana gelen tesirler, radyasyonun çeşitline, miktarına, hızına vücudun radyasyona maruz kalan bölgesine ve bu bölgenin büyüklüğüne, v.s. bağlıdır.

### Radyasyon çeşiti ve miktarı:

Beta ışınları dokunun 1 kaç mm. den fazla kalınlığını delip geçemezler. Halbuki bazı gamma ışınları vücudu delip geçebilir. Bundan dolayı vücudun dışında Beta ışını neşreden bir kaynak derinin radyasyona maruz kalan kısmında yalnız lokal tesirler hasil edecektir. Halbuki gamma ışını neşreden bir kaynak iç organları ve bütün vücudu etkileyecektir. insanlara verildiğinde hiç bir araz meydana getirmeyen en büyük doza maksimum müsaade edilir doz denir. (Milletlerarası Atom Enerjisi Komisyonuna göre maksimum müsaade edilen doz senede 5 Rem'dir). Sağlık fiziği kurallarının gayesi, radyasyonla çalışan insanların çalışma şartlarını bu müsaade edilen dozun altında doz alacak şekilde ayarlamaktır. Bununla beraber bu seviyenin üzerindeki dozlara maruz kalındığında ne gibi tesirlerin meydana gelebileceğinin araştırılması arzu edilir. Vücut üzerinde hiç bir tesir hasil etmeyen küçük dozlar vardır. Biraz daha büyük dozlar için, sonradan tam iyileşmenin meydana geldiği görülebilir derecede değişiklikler olacaktır. Vücuda çok büyük miktarda radyasyon verildiğinde, olay ölümle neticelenecektir.

Tedavi dozları için 100lerce hatta 1000lerce Rad'lık radyasyon kullanılır. Fakat teşhis vasıtası olarak kullanılan radyasyonda nadiren bir kaç yüz milirad'a çıkarılır, (bir misal olarak); Eğer bir insanın göğüs filmi çekilirse ciğer ve kas dokusu 0,01 ile 0,1 Rad arasında bir doz alınır. Aynı bölgede floroskopik olarak yapılan incelemede alınan doz 100 defa daha büyük yani bir kaç Rad olacaktır.

### Verme hızı:

Verilen radyasyon dozuna bağlı olarak meydana gelen hasarın derecesi, dozun verilme hızına

bağlıdır. Yaşayan dokular, hasara uğrayan kısmı derhal onarmaya yönelirler. Genel olarak, bir doz, bir saat veya bir dakika gibi kısa bir zaman yahut bir kaç saat veya bir kaç gün gibi uzun zaman aralığında verilirse, bu hasil olacak reaksiyonun derecesinde kesin bir düşüş, yapacaktır. Eğer bu doz, 1 sene bigi uzun bir zamanda alınmış, ise hiç bir reaksiyon meydana gelmeyecek veya çok küçük bir reaksiyon meydana gelecektir ki bu meydana gelen çok küçük hasar kolaylıkla tam olarak iyileşecektir.

#### **Radyasyona, maruz kalan saba ve bu sahannı büyüklüğü :**

Radyasyonların insanlar üzerine tesirleri lokal veya slstemlk olarak karakterize edilebilir; birincisi, vücudun yalnız küçük bir kısmı radyasyona maruz kaldığında; öteki, radyasyona maruz kalan kısım çok büyük olduğunda meydana gelir. Sistenuk tesirler büyük alanların radyasyona maruz kalmasından'da olabilir. Meselâ, karın ve omurga üzerinde şiddetli radyasyon tedavisi yapılan hastalarda sistemik tesirler görülür. Çeşitli tesirleri ileride izah etmek üzere, önce yukarıda zikredilen faktörlere göre bazı genel hususları izah edelim.

Radyasyona maruz kain saha, yeri ve büyüklüğü bakımından mühimdir. Eğer yalnız çok küçük bir bölge radyasyona tabi tutuluyor ise mevziî ve genel tesirler büyük bir bölgenin radyasyona maruz tutulmasından doğacak tesirlerden çok daha az belirtirler verir. Derinin sınırlandırılmış  $1 \text{ eni}^2$  sine verildiğinde hafifçe yanmalar meydana getirebilecek bir dozu  $100 \text{ cm}^*$  lik bir alana verdiğimiz de kuvvetli erithemler hatta kabarmalar meydana gelecektir. Kalça üzerinde bir alana oldukça büyük dozlar verildiğinde mevziî deri reaksiyonları meydana gelecektir. Fakat sistemik hastalıklara sebebiyet veremeyecektir. Aynı büyüklükteki doz kârın üzerinde aynı büyüklükteki bir alana verildiğinde, akut kusma ve bulantılara ve diğer radyasyon hastalıklarının belirmesine sebep olabilir.' Dkunun alanı küçüldükçe dozun artması gerekir. (Genel olarak), gerekli doz binlerce doz olmasına rağmen oldukça geniş bir yüzeye verilen 1500 r lik doz 49 senelik bir kuluçka periyodunda deri kanseri yapmaktadır.

Aynı dozlardaki radyasyona maruz kalan farklı insanların radyasyona karşı gösterdikleri tesirler hayli değişiktin Bu farklılık insanların güneş ışınları veya alkole karşı gösterdikleri reaksiyonlardaki farklılık gibidir. Bu doğuştan olan biyolojik farklılıktır. Genel olarak, fertlerin hassasiyetini önceden haber vermek imkânı yoktur. Biz ancak, insanlar üzerinde muayyen reaksiyonları hasil eden ortalama bir dozdan bahsedebiliriz.

#### **Gizli perlyod (latent periyod) kuluçka) :**

Radyasyon hasarları, radyasyonun verilme süresi bittiğinde hemen görülemez. Hiçbir belirti görülmeden önce, birkaç saatten bir kaç haftaya kadar değişen bir zaman aralığı vardır ki buna (latent) gizli periyod denir, ilk reaksiyon müşahade edildikten sonra, belirtiler devri başlar, veya ilk görülen reaksiyon kendi kendine yok olur. Bunlar kaybolabldikleri gibi, seneler sonra gecikmiş veya ertelenmiş reaksiyonlar olarak ortaya çıkabilirler. Hakikatte eğer küçük dozlar uzun bir süre verilmeğe devam edilirse, reaksiyonlar hiç beklenmedik bir anda meydana çıkabilir. Meselâ, lösemi 20.000 insanda bir kendiliğinden görünmesine rağmen, ömür ilğin 500 r lik bir radyasyon dozuna maruz kalması bu ihtimali 6 senelik bir kuluçka devrinden sonra bu ihtimali 4 misline çıkarmaktadır. Kuluçka periyotları bir kaç saatten 50 yıl kadar değişebilir.

#### **Doz Birimi :**

Radyasyona maruz kalan organizmanın veya maddenin ne miktar radyasyon aldığını ölçmek için kullanılan birime doz birimi denir. Radyasyona maruz kalan bir organ aldığı doz bu organa gelen aktif parçaların sebep olduğu iyonizasyon esasına dayanır. Buna göre eskiden beri kullanılan birim röntgendir.

1) RÖNTGEN, 1 esu luk yükü olan X veya yişininin 0,001293 gr (Icc) havada husule ettiği iyonizasyondur. Havanın 1 gramında 87 erglik enerji meydana gelmesine de 1 röntgen diyoruz, 1 röntgen dokuda ise 97 erglik/gr bir enerji meydana getiriyor.

2) Absorbsiyon doz birimi Rad'dır. 1 gram lık maddede 100 erglik enerji absorbsiyonu hasil eden radyasyon dozuna, (RAD) denir.

3) Biyolojik tesirlilik birimi Rem'dir. Ran'ın bir faktörle çarpımı rem'i verir Bu RBE faktörleri;

X, y, elektron ve 30 Kev daha yüksek enerjili f lar için - 1

10 Mev'in üstünde hızlı n° ve p için - 10

Tabii olarak vukuu bulan a lar için - 10

Ağır fisyon mahsullerinde - 20'dir.

Bu değerler enerjiye göre de değişir, doku ne olursa olsun aynıdır. Relatif biyolojik tesirlilik RBE;

$RBE_{rem} = \langle RBZE \rangle_{faktor} \times \circ_r \cdot d X$  ve y lar için faktör bir olduğundan  $rem = rad =$  röntgen dir.

REP - röntgene muadil olan fizikî birimdir, 1 rep, yumuşak dokudan geçince 93 erg/gr enerji absorbsiyonu yapar.

### Radyasyon Hastalıkları :

Akut ve kronik şekilde vukuu bulur. Vücudun büyük bir kısmı radyasyona maruz kaldıktan sonra pek çok patalojik belirtiler hasil olur. Belirtiler daha önceleri röntgen hastalığı olarak izah edilmiştir. Tipik radyasyon hastalıklarının ilk belirtileri, Hiroşima ve Nagazaki'ye ilk atom bombasının patlatılmasıyla görülmeğe bağlandı. Bu hastalıklar ya bütün vücudun 100 rem'in üzerindeki bir radyasyona bir defaya mahsus olmak üzere maruz kalmasıyla hızlı hastalıklar (akut radyasyon syndromu) veya küçük radyasyonlara seneler boyu *maruz* kalmakla gelişen kronik hastalıklar olarak görülür. Dıştan gelen radyoaktif radyasyonların sebep olduğu radyasyon hastalıkları, genel olarak X veya  $\gamma$  ışını ile nötronlara maruz kalmaktan olur.  $p$  ve  $\alpha$  ışınları ancak sindirim ve solunum yoluyla dahile alındığında tehlikeler yaratır.

### Akut Radyasyon Hastalıkları :

Akut radyasyon hastalıkları kısa süreli yani radyasyona maruz kalmadan sonra bir kaç ay içerisinde ortaya çıkan tesirlerdir. Bununla beraber tesirleri uzun bir süre devam edebilir.

0-25 rem - görülebilir bir hasar yok. 25 - 50 rem - kanda değişmeler olmasına rağmen ciddi bir hasar yok.

50 -100 rem - kusma, bulantı, halsizlik, kanda farkedilebilir değişiklikler, normal hayat süresinin kısılması.

100 - 200 rem - 24 saat içinde mide bulantısı, kusma, 1 haftalık latent periyodunu müteakip saçların dökülmesi, irradye edilen insanlardan çok azının 2-6 hafta içinde muhtemel ölümü, iyileşme olabilir.

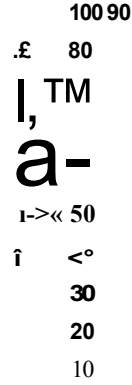
200 - 400 rem - 1 - 2 saat içinde bulantı, kusma, 1 haftalık latent periyodundan sonra saçların dökülmesi, iştahsızlık, zayıflama, ateş, ishal, ağız boğazın iltihaplanması, burun kanaması ve irradye edilenlerden % 50 sinin ölümü.

400 - 600 rem - 1 - 2 saat içinde bulantı, kusma, bir iki gün sonra zayıflama ve büyük bir ihtimalle ışınlanan fertlerin hepsinin ölümü.

Belli bir tesirden zarar gören insanların yüzdesi ile doz arasında bir grafik çizildiğinde elde edilecek eğri başlangıçta yavaş yavaş sonra hızla artacak ve nihayet düzlenecektir. Bu cins eğrilere S eğrileri veya sigmoid eğrileri adı verilir. Şekil : 1 de bu eğri gösterilmiştir.

Teacrübeye katılanların % 50 sinin reaksiyon göstereceği doza «yüzde elli öldürücü doz» denli ve LD<sub>w</sub> (leda doz) gösterilir.

insanlar için LD<sub>50</sub> nin itimat edilen değerleri 200 rem ile 400 rem arasında değişmektedir.



Şekil • 1 — Radyasyon dozu ile tesir görenlerin sayısı arasındaki bağıntıyı gösteren Sigmoid (S) eğrisi.

### Kronik Radyasyon Hastalıkları :

Daha alçak seviyede gerek bir kere gerek tekrar olunan ışınlanmalar halinde hemen görülen bir tesir olmamakla beraber bir kaç yıl veya daha uzun yıllar sonra ortaya çıkan uzun süreli tesirlerdir.

### Radyasyonun Biyolojik Etkileri (Tek bir hücre grupları üzerindeki tesirleri).

Radyasyonların etkileri somatik (bedeni) ve genetik olmak üzere ikiye ayrılır. Bedeni etkiler, kanve kemik iliği gibi hücrelerin tahrip edilmesiyle ilgilidir. Genetik etkiler, genetik karakterleri ardı sıra gelen nesillere yayan gonadları meydana getiren hücrelerin tahrip edilmesiyle ilgilidir.

insan vücudunda, kemik, adale, cild v.s. gibi dokuları meydana getiren çok çeşitli hücreler bulunmaktadır. Bu özel hücreler farklılaşmış hücreler olup, genel olarak artık hücre bölünmesinin olmayacağı bir safhaya gelmişlerdir. Bir de bölünme yoluyla çoğalan hücreler vardır. Bu bölünme yoluyla çoğalmaya mitoz, bölünebilen hücrelere de mitotik hücre denir.

Değişik tip farklılaşmış hücrelerin radyasyona karşı gösterdiği hassasiyet farklı olmakla beraber farklılaşmış hücrelerle, mitotik hücreler arasındaki enbüyük fark mitotik hücrelerin radyasyona karşı çok hassas olmalarıdır. Çok küçük radyasyonlar dahi mitoz olayını geciktirebilir. Bir hücre kolonisi incelenip, belli bir andaki bölünen hücrelerin sayısı tayin edilecek olursa, bu sayının irradyasyondan sonra hızla azaldığı sonra yavaş yavaş normale döndüğü ve daha sonra normalin üzerine çıkarak normal seviyeye geleceği görülecektir. (Şekil - 2). Nor-

mal seviyenin üzerine çıkma irradyasyon sırasında bölünmesi geciktirilmiş, hücrelerden ileri gelmektedir.

Işınlama zamanı

->-Zaman

Şekil: 2 — Radyasyonun mitos üzerine tesiri.

Daha büyük dozlar, mitozun tekrar bağlanmasına veya bir takım dejenere hücrelerin meydana gelmesine sebep olacaktır. Dejenere hücreler bölünmeğe başlamadan veya bağlar başlamaz ölürlür. Radyasyon dozu çok büyük olmadıkça hücre bölünmesine devam edecek kadar normal hücre kalacak ve böylece tamir olayı meydana gelecektir.

Genel görünüşü yukarıda izah edildiği gibi olan radyasyonun somatik etkilerini radyasyona karşı hassas olan organlar için tek tek izah edelim.

Lenf ve kan yapan dokular :

Lenfatik dokular oldukça radyosensiflik sistemler arasındadır. Kan içine geçen lenfositlerden bir kısmı (lokosit) beyaz kan yuvalarına dönüştürülür. Bazı hallerde çok küçük radyasyon dozlarında dahi lenfosit sayısı geçici olarak düşer, yüksek dozlardan sonra lenfatik doku aktifliğini kayıplar ve periferik kanda lenfosit sayısı aniden düşer. Lenfosit sayısının düşmesi meritebe ve müddeti alınan radyasyonun dozuna bağlıdır.

Kırmızı yuvaların ve lökositlerin yapıldığı kemik iliği radyasyona karşı çok hassastır. Bilhassa zarara maruz kalanlar henüz yapılmak üzere olan kan hücreleridir. Yani radyasyona karşı hassasiyetin en büyük olduğu an, kan hücrelerinin gelişmesinin en erken olduğu andır. Küçük radyasyon dozlarından sonra genç kırmızı ve beyaz hücrelerde hafif, bir çoğalma görülür. Fakat büyük dozların ilik üzerine yıkıcı tesirleri gözlenir, ilik dokusunda tam bir tahribat başlar. Lökositlerin ve eritrositlerin şekillenmemesi ilik irradiye edildikten ilk bir iki hafta sonra tekrar faaliyet başlar. Faaliyete geçme zamanı direkt olarak radyasyon dozu ile değişir. Olay süresince beyaz hücrelerin yapımının iyileşmesi hasara uğramış eritrositlerden daha çabuktur.

Periferik kanda radyasyon reaksiyonları radyasyonun dozuna, radyasyonun nevine, de-

gik korpüskular elementin hayat aralığına, hassasiyetine, yenilenme gücüne, ve organizmanın o anda bulunduğu duruma bağlıdır. Kısa bir süre radyasyona maruz kalmadan sonra hemen lökositosis (kandaki lökosit sayısının artması) hasıl olur. Ondan sonra derecesi ve süresi maruz kalınan radyasyonun dozuna ve radyasyona maruz kalma süresine bağlı olarak toplam lökosit sayısı azalmağa başlar. Lenfosit sayısındaki düşüş, ilk belirtilerendir. Neutrophil (segment) sayısının azalması karakteristiktir ve neutropenia'dan kurtulma iyileşmeğe delâlet eder. Eozinofil sayısı yalnız çok yüksek dozlardan sonra düşer. Retliculocytes'lerde (genç eritrositler) azalır ve hemen iyileşme belirtileri gösterir. Kırmızı yuvaların (eritrosit) sayısı irradiye edildikten sonra çok yavaş olarak düşer. Anemi belirtileri çok yüksek doz aldıktan sonra 2-4 hafta geçmeden görülmez. Şiddetli radyasyonlardan sonra bu anemi, aplastik anemiye (kemik iliği faaliyetinin kısa bir süre durması) döner.

İrradyasyondan sonra kan - platlet'in (şekilli hücreler) sayısı da azalır. Platletlerin radyosensivitesi eritrositlerden daha büyüktür. Platletlerin noksanlığı kanamalara sebep olur. Kan planetlerinin normalleşmesi çok yavaştır. Monositler, eozinofiller gibi davranır ve sayılarının artması iyileşmenin bir delilidir. Radyasyonla çalışacak işçilerde, işe başlamadan kan tahlili yapılmalı ve lökositleri (4000-12000), eritrositleri (3,5 - 6,5 milyon) dışında olanlar alınmamalıdır.

Deri reaksiyonları :

İyonize radyasyonların deriden geçerken hasıl edeceği reaksiyonlar bütün teferruatıyla incelenmiştir. Hassas dozölçümlerinin bulunmasından evvel, uzun bir süre X ışınlarının deride hasıl ettiği eritemlerin büyüklüğü, biyolojik doz-birim olarak kullanılmıştır.

Derinin belirli bir bölgesi, 100 Rad'lık bir radyasyona maruz kaldığı zaman, hemen veya daha sonra görülebilen bir tesir yoktur. Bundan bir kaç misli büyük bir doz bir kaç haftalık zaman içinde verilirse, irradyasyondan bir kaç gün sonra kızarmalar ve eritemler meydana gelir. Eğer doz 1000 Rad'ı geçmiyorsa kızarmalar güneş yanığına (esmerleşme) döner ve sonra kayıplar olur. Saç, sakal ve vücut kılları bir kaç yüz-lük radyasyondan sonra dökülür ve sonra tekrar çıkar 2000 - 3000 Rad'lık radyasyonda derinin rengi şiddetli olarak kızarmağa ve su toplamağa başlar. Derinin görünüşü 2. derece bir yanığa benzer. Deri kaşınır, yanar, yanar ve ızdırar verir, iki üç hafta sonra saç ve sakal geri çıkmamak üzere dökülür. Daha yüksek dozda deri sürekli olarak yaralı ve diğer deri hastalıklarına karşı zayıf kalacaktır. Deride derin ülserler ve

çıbanlar görülür, îyilegme çok yavaştır, iyilegmeden sonra deride yara izi geçmez. Deri, yağ ve ter bezleri, bu şiddetli radyasyonda tahrip edildiğinden kuru ve çatlaktır. Tırnaklar dıga doğru kıvrılır ve çatlar, îrradiye edilen deride en ilerlemiş safhada deri kanseri görülebilir. Eğer bir günde 1 kaç Rad'ük bir doz devamlı olarak bir kaç ay veya bir kaç sene verilirse deride eritemler görülemez. Fakat bu alçak şiddetli doz daha fazla devam ederse bir takım tesirler görülebilir. Bu gibi tesirler X ışınlarıyla uğraşan dikkatsiz, araştırmacı ve röntgen mütehasıslarının bilhassa ellerinde görülür.

#### **Mide ve Bağırsak Sistemi :**

İyonize radyasyonların küçük dozları, bağırsak hareketlerine ve enzime ifrazatını etkiler, halbuki büyük dozlar bağırsak mukozasının yaranmasına (ulserasyonuna) sebep olur. Bağırsağa ait bakteriler hasara uğramış bağırsak sistemini delerek geçer ve kan dolaşımına karışır, bütün vücuda baştan başa taşınır ve septik (mikroplu) durumlara sebep olur. Radyasyon hastalıklarına neticesinde, gastro - intestinal sistemde değişiklikler katidir. Tabiatıyla, mide yoluyla alınan radyoaktif maddelerin büyük miktarlarında direkt olarak îrradiye olmakla aynı şekilde bağırsak duvarlarında şiddetli zararlar yaparlar. Ağız yoluyla mideye alınan radyoaktif radyasyonlara bir misâl olmak üzere, mideye inen scandiyumun % 0,05 mideden kana karışır, % 99,05 kazuratla atılır. Kana geçeninin % 25 1 tekrar süzülür, îyot - 131'in hemen hepsi mide yoluyla kana ve troit bezine karışır, stronsiyumun % 40 kazuratla atılır, gerisi kana geçer.

#### **Kataraktın Meydana Gelişi :**

Radyasyona maruz kalış kataraktı meydana getirilebilir fakat bunun için göz merceğinin kısa bir süre bir kaç Rad'lık radyasyona veya uzun bir süre alçak seviyeli bir doza maruz kalması gerekir.

#### **iskelet:**

İyonize radyasyonların bir neticesi olarak insanlarda ve tecrübe hayvanlarında kemik değişiklikleri gözlenmiştir. Gençlerde, büyüme ve kemikleşmenin durması (100 rem mertebesinde) ve bir kaç bin rem'lik dozdan sonra tam bir kemik nekrozu (çürüme) şeklinde gözlenmiştir. Bu kemik hasarlarının çoğu, yanlış bir radyoterapi tedavisi sonunda kemiklerde radyoaktif maddenin toplanması şeklinde görülmektedir. Her iki halde de, kemik tümörleri vak'asının artması müşahade edilmektedir. Bununla beraber bir in^ sanda radyoaktif maddelerin kemikte toplanmasından hasıl olan kemik tümörleri yalnızca radyumdandır. Genel olarak söylenebilir ki, kemik-

lerde toplanmış radyoizotoplar bilhassa kemiğin (epiphysess) büyümesini sağlayan kısımda yerleşmeğe mütemayildirler. Kötü tabiyatlı tümörlerin büyük bir ihtimalle uzun kemiklerin metap-sess'lerinde geliştikleri gösterilmiştir. Mide yoluyla alınan toprak alkali metallere Sr, Ca, Baryum, Ra ve Pu kemikte toplanır. Buna ait bir bilgi I. Cihan harbi sonunda radyumlu boya ile fosforlu saat ve aletleri boyayan genç kızların feci akibetinden gelmektedir. Bunlar fırçalarını sivriltmek için ağızlarına her alışlarında bir miktar Ra ağız yoluyla alınmakta idi. Bunların çoğu ölmüştür, ölmlyenler kontrol altındadır ve üzerlerinde deney yapılmaktadır.

Kemikte 0,1 mikro kürl radyumdan fazlası tehlikelidir. 0,4^c kemikte değışmeler, 1 ^c kemik kanseri yapar.

#### **Sinir dokusu :**

Sinir dokusunun radyasyona karşı çok hassas olmadığına dair genel bir inanış var ise, de son zamanlarda çok küçük dozların dahi sinir sistemi üzerine tesir ettiği anlaşılmıştır. Bu tesirler arasında kolay heyecanlanma ve şartlı refleksin sdeğışmeleri kayıtlı edilebilir.

300 - 400 r ile hayvanlar irradiye edildiğinde, irradiye edilen hayvanların elektroensefalogramlarında (beyin faaliyetinin tesblti) takriben 1 hafta bir sürelik değışiklikler kaydedilmiştir.

#### **Erken ihtiyarlama :**

Radyasyona maruz kalmadan dolayı vaktinden önce ihtiyarlamanın meydana geldiği hayvan üzerinde denenmiştir ve belli bir radyasyon dozunun belli bir hayvan türünün normal hayat süresinin belli bir kesri kadar azalttığı gösterilmiştir. Hayvanlar üzerinde bulunan bu sonuç insanlara extrople edilmesi, haftada takriben 1 rontgenlik ufak dozların uzun yıllar boyunca muntazam alınması insanın normal ömründen önemli bir kısalma olacağı fikrini ortaya koymaktadır. Son yapılan hesaplara göre insanlarda radyasyonlar tesiri ile normal hayat sürelerindeki kısalma, alınan her röntgen başına 1 gün olup, bir insan 18 yaşından 40 yaşına [D = (N —18)] kadar 22 senelik çalışma süresinde bütün vücudunda yılda 5 r den toplam 110 r'lik bir radyasyon dozu aldığı takdirde ömrü 110 gün kısalacaktır.

Gonadlara tesiri — (Sterilitenin meydana gelişi)

Radyasyonun en korkunç tesirlerinden biri steriliteyl hasıl etmesidir. Erkekler kadınlardan daha fazla (radyasyona karşı) hassastır. Erkeklerde 30 fem'e kadar alçak dozlarda, kadınlarda 30 rem'de fertillitede geçici değışiklikler olur. Sü-

rekli sterlite için erkeklerde takriben 600 rem kadınlarda 800 rem alınmış olması gerekir.

Hıza haftada bir kaç rad olan bir radyasyona uzun bir süre maruz kalmada üreme kabiliyetinde azalma beklenebilir. Şu noktaya dikkat etmelidir ki radyasyonun çok büyük dozlarında dahi impotence (cinsel iktidarsızlık) hasıl olmaz.

Hamilelikte radyasyona inanız kalma :

Hamile iken pelvis (kalça kemiği arasındaki boşluk) kanseri için tedavi gören kadınların normal görünüşlü çocuklar doğurduğuna dair pek çok kayıtlar olmasına rağmen, radyasyona (takriben bir kaç hafta içerisinde 1000 rad) maruz kalan hamile kadınların pek çoğu ya ölü ya da düşük yapmaktadır. Fetus (= cenin= ana rahmindeki yavru) üzerine muhtemel tesirler çocuğun bulunduğu gelişme • devresine bağlıdır. Küçük dozların, yumurtanın (=ovum), aşılmasından sonra, fakat uterusu (rahim) inmesinden önceki İlk on, onbir gün içinde ne gibi reaksiyonlar meydana getireceği hakkında çok az" şey bilinmektedir. Muhtemelen hasarın, gelişmekte' olan döllenmiş ovumun başarısızlığına ve organizma tarafından absorpsiyonuna sebebiyet verecektir. Hamilelik sırasında radyasyona karşı en hassas periyodun takriben 18. gün ile 48 gün arası olduğu zannedilmektedir. Bu 30 günlük periyotta takriben 40 rad'lık bir doza maruz kalış doğuştan anormalliklerin meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Bu periyodu takip eden günlerde, doğuştan anormallikler daha büyük dozlarla mümkündür (Radyasyona tabi tutulma süresinde bir organ veya sistem hızlı gelişmeye uğramasına bağlı olarak etkilenir). Gebeliğin sonlarında, herhangi belli bir dozdan zarar ihtimali çok küçüktür.

Genetik tehlikeler :

Radyasyonun hasıl ettiği tehlikeler hakkında çok şey yazılmış olmasına rağmen, gelecek nesillerde hasıl edeceği zararlar hakkında araştırmalar son zamanlarda başlamıştır. Bu mesele, radyasyon ile profesyonel olarak çalışan ve nüfusun çok 'cüzi bir kısmını teşkil eden insanlar için açıklanmış olduğundan büyük bir endişe kaynağı değildir.

Gonadların (üreme hücreleri = testis - ovaries) radyasyona tabi tutulması genler üzerinde değişiklikler yapabilir. Genel olarak insan hücrelerinde 48 kromozom vardır ve her kromozomda binlerce gen vardır. Halbuki üreme hücrelerinde 24 kromozon bulunmaktadır. Döllenmiş yumurtada 24 annede, 24 babada olmak üzere gene 48 gen bulunacaktır, işte bu kromozomlarda genlerin dizilişi ve gen yapılan ana ve babadan yavruya özellikler getirir. Değişiklikler üreme yoluyla gelecek nesillere geçecektir. Yukarıda görülen bütün ferdi ve somatik (vücudu) tesirlere kıyasla, genetik bazı değişiklikleri hasıl edecek radyasyon dozu için belli bir alt sınır belirtilememiştir. Radyasyonun dozu arttıkça genlerdeki mutasyon sayısındaki armalar da beklenir ve onlardan bazıları yavruya geçecektir. Bununla beraber radyasyon bu tip değişiklikleri hasıl etmek için tek sebep olmaktan uzaktır, daha pek çok sebepler neticesi mutasyonlar meydana gelir. Radyasyonla meydana gelen mutasyonlar tıpkı kendiliğinden meydana gelen mutasyon gibi olur.

Herhangi bir miktar radyasyonun insan ırkları üzerine irsi tesiri, bir veya bir kaç insana bağlı değildir. Bir insanın, bir annesi, babası, 2 büyük babası, 2 büyükannesi, 4 tane annesinden, 4 tane babasından büyük anne ve büyükbabası vardır ve bu böylece devam eder. Anadan veya babadan gen alışvevlişi esnasında alınan gen % 50 olduğundan aşikâr olarak mutasyon bir kaç nesil sonra çabucak hafifliyecektir. Bundan başka soyda bir kaç insan çok fazla mutasyontaşıyorsa veya bir çok fazla insan az mutasyon taşıyorsa son durum aynı olacaktır.

#### REFERANSLAR:

1. Medical Adendum, Safety Series No : 3
2. Safe Handling of Radioisotopes in Medical Practice by Quimby E.H.
3. Radyoizotopların Klinikte Kullanılması S. Artungal
4. Dr. Selahattin A. Gökselin. Sağlık Fiziği Notları
5. Safe Handling of Radioisotopen Health Physics Adendum Safety Series. 1960