



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ ÇEKİMLERİNDE HASTA DOZUNU
AZALTMAK İÇİN KULLANILAN BİZMUT KORUYUCULARIN
DNA HASARI ÜZERİNE ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

HAZIRLAYAN

Dr. YAVUZ YILDIZ

TEZ DANIŞMANI

YRD. DOÇ. DR. OZAN KARATAĞ

Çanakkale/2013

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ ÇEKİMLERİNDE HASTA DOZUNU
AZALTMAK İÇİN KULLANILAN BİZMUT KORUYUCULARIN
DNA HASARI ÜZERİNE ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

HAZIRLAYAN

Dr. YAVUZ YILDIZ

TEZ DANIŞMANI

YRD. DOÇ. DR. OZAN KARATAĞ

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

Radyoloji uzmanlık çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23.08.2013

TEZ KONU BAŞLIĞI

Bilgisayarlı tomografi çekimlerinde hasta dozunu azaltmak için kullanılan Bizmut koruyucuların DNA hasarı üzerine etkisi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. OZAN KARATAĞ

Tez Jürisi Üyeleri:

Adı Soyadı

İmzası

Yrd. Doç. Dr. OZAN KARATAĞ



Yrd. Doç. Dr. Gürhan ADAM

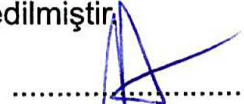


Yrd. Doç. Dr. Yusuf Ziya TAN



ONAY:

Bu tez Anabilim/Bilim Dalı Akademik Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Fakülte Yönetim Kurulunun 12.08.2013 tarih ve 12013/33 sayılı kararıyla kabul edilmiştir.



Dekan

Prof. Dr. Huseyin ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince saygı ve sevgi çerçevesinde, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda desteğini gördüğüm, tez çalışmalarımın büyük bir titizlikle yürütülmesini sağlayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ozan KARATAĞ' a en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlık eğitimimin başlangıcından itibaren bana radyoloji ile ilgili ilk bilgileri öğreten, daha iyi bir eğitim almamız için içtenlik ve özveri ile bıkmadan usanmadan bilgi ve tecrübelerini bana aktaran, saygıdeğer hocam Uzm. Dr. Şule KOŞAR' a teşekkürü bir borç bilirim.

Bölümümüze geldikten sonra biz asistanların ufkunu açan Prof. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR hocama en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlığımın ilerleyen yıllarında beraber çalışma fırsatı bulduğum, Radyoloji A.D öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Betül KIZILDAĞ, Yrd. Doç.Dr. Gürhan ADAM, Yrd. Doç. Dr. Fatma UYSAL, Yrd. Doç. Dr. Mustafa REŞORLU hocalarıma değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaştıkları için teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bana değerli vakitlerini ayıran Prof. Dr. Öztürk ÖZDEMİR, Prof. Dr. Fatma SILAN, Doç. Dr. Dilek ÜLKER ÇAKIR hocalarıma ve pek kıymetli kardeşim Dr. Funda KIRTAY TÜTÜNCÜLER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında bana yardımlarını esirgemeyen radyoloji teknisyeni Gökhan TOPÇU, hastanemiz gece amirleri Burhan VAR ve Ahmet CELEB' e teşekkür ederim.

Ve tabii ki kıymetli eşim Dr. Deniz YILDIZ ve minik kızım Defne olmasa bu tez bitmezdi. İkinizi de çok seviyorum. İyi ki varsınız...

Dr. Yavuz YILDIZ

ÖZET

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ ÇEKİMLERİNDE HASTA DOZUNU AZALTMAK İÇİN KULLANILAN BİZMUT KORUYUCULARIN DNA HASARI ÜZERİNE ETKİSİ

GİRİŞ VE AMAÇ: Bizmut koruyucular özellikle Bilgisayarlı Tomografi çekimlerinde hastanın aldığı dozu azaltan, diyagnostik görüntü kalitesini etkilemeyen koruyucu yöntemlerden birisidir. Yurt dışında özellikle pediatrik hastaların çekimlerinde daha yoğun olarak kullanılan bu yöntem ne yazık ki ülkemizde yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmada amaç bizmut koruyucuların DNA hasarını azaltıcı etkilerinin var olup olmadığının araştırılmasıdır.

YÖNTEM: Çalışmada toplam 30 adet deney hayvanı kullanıldı. Deney hayvanlarının bir kısmı hiç X-ışınına maruz bırakılmadı; bir kısmı hiçbir koruyucu yöntem kullanılmadan X-ışınına maruz bırakıldı; bir kısmı ise bizmut koruyucu ile korunarak X-ışınına maruz bırakıldı. X-ışını üreten modalite olarak BT kullanıldı ve her deney hayvanına aynı miktarda doz verilebilmesi için, en yüksek dozu verebileceğimiz, ince kesit maksillofasial BT protokolü tercih edildi. Çekim esnasında maruz kalınan doz ölçümleri TLD dozimetrelerle her grup için ayrı ayrı yapıldı. BT sonrasında deney hayvanlarının kanları alınıp hayvanlar sakrifiye edildi. Üç grup deney hayvanının kanındaki 8-OHdG düzeylerine ve kemik iliğindeki mikronükleus sıklığına bakılarak bizmut koruyucuların hücresel düzeyde DNA hasarını önlemede etkisinin olup olmadığı araştırıldı. İstatistiksel yöntem olarak, elde edilen mikronükleus sonuçları ki-kare testi ile ve 8-OHdG sonuçları Kruskal Wallis testi ile değerlendirildi.

BULGULAR: Gruplar arası mikronükleus oluşumu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu ($p < 0.05$). Oksidatif DNA hasar belirteci olan 8-OHdG değerleri açısından istatistiksel olarak gruplar arasında anlamlı fark bulunmadı ($p = 0.612$).

TARTIŞMA VE SONUÇ: Bizmut koruyucuların radyasyon dozu azaltıcı etkisi ve DNA hasarı üzerindeki azaltıcı etkisi mikronükleus testi ile doğrulanmıştır. Bizmut koruyucular dahil diğer tüm radyasyon azaltıcı yöntemlerin hücresel düzeyde değerlendirilip, BT çekim protokollerinin özellikle seçilmiş gruplarda buna göre dizayn edilmesi, doz azaltıcı yöntemlerin daha iyi öğrenilerek yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bizmut koruyucular, Radyasyon dozu, DNA hasarı, 8-Hidroksi -2'- Deoksiguanozin, Mikronükleus testi

SUMMARY

THE EFFECT OF BISMUTH SHIELDS ON DNA DAMAGE, USED FOR REDUCING PATIENT DOSE AT COMPUTED TOMOGRAPHY

INTRODUCTION AND OBJECTIVE: Bismuth shields are protective instruments which reduce patients' dose especially at computed tomography imaging without any negative effect on image quality. These instruments are mostly preferred for radiologic imaging of pediatric patients in other countries. However, bismuth shields have not been used widely in our country. This study aimed to research the effect of bismuth shields on DNA damage.

METHOD: In this study a total number of 30 rats were used. The rats were divided into three groups. Group 1 was not exposed to X-ray. Group 2 was exposed to X-ray with bismuth protection. Group 3 was exposed to X-ray without bismuth protection. Computed tomography was used as X-ray source. Thin slice maxillofacial CT protocol was preferred. The exposed doses were measured by TLD dosimeters. Following CT, the blood samples of the rats were taken and then animals were sacrificed. To assess the protective effect of bismuth shields, blood levels of 8-OHdG and amount of micronucleus in bone marrow of each animal group were evaluated. For statistical calculation, blood levels of 8-OHdG were evaluated with Kruskal Wallis test and number of micronucleus in bone marrow were evaluated with qui-square test.

RESULTS: Regarding micronucleus numbers, there was statistically significant difference between three rat groups ($p < 0.05$). There was no statistically significant difference for 8-OHdG levels ($p = 0.612$).

DISCUSSION AND CONCLUSION: The effect of bismuth shields on reducing radiation dose and DNA damage is confirmed with micronucleus test. Bismuth shields and all other available radiation reducing methods should be evaluated at cellular level and computed tomography scanning protocols should be designed in regard of this.

Key words: Bismuth shields, radiation dose, DNA damage, 8-Hydroxi - 2'- Deoxyguanozin, Mikronucleus test

İÇİNDEKİLER

İç kapak	ii
Kabul-onay sayfası	iii
Teşekkür	iv
Özet ve anahtar sözcükler	v
Summary ve key words	vii
İçindekiler	ix
Kısaltmalar ve simgeler dizini	xii
Şekiller dizini	xv
Tablolar dizini	xvi
Giriş ve Amaç	1
Genel Bilgiler	3
2.1. Radyasyon	3
2.2. Radyasyon Birimleri	3
2.3. Radyasyon Türleri	5
2.3.1. Partiküler (Korpusküler) Radyasyon	6
2.3.1.1. Alfa (α) Partikülü	6
2.3.1.2. Beta (β) Partikülü	6
2.3.1.3. Nötron (n)	7
2.3.2. Elektromanyetik Radyasyon	7
2.3.2.1. X-Işınları	10
2.3.2.1.1. X-Işınlarının Bulunuşu ve Tarihçesi	10

2.3.2.1.2. X-ışınlarının Elde Edilişi	11
2.3.2.1.3. X-ışının özellikleri	12
2.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	14
2.4.1. İyonizan Işınlardan Dokulara Enerji Aktarımı	15
2.4.2. Radyasyonun Hücre Üzerine Etkileri	16
2.4.2.1. Fiziksel (Elektriksel) Olay	16
2.4.2.2. Fizikokimyasal Olay	16
2.4.2.3. Kimyasal Olay	17
2.4.2.4. Biyolojik Olay	17
2.4.3. Radyasyonun Erken Dönem Etkileri	18
2.4.4. Radyasyonun Geç Dönem Etkileri	22
2.4.5. Radyasyonun Bazı Organ ve Dokulara Etkisi	24
2.4.5.1. Deri, Saç ve Kıllar	24
2.4.5.2. Göz Merceği	24
2.4.5.3. Üreme Organları	25
2.4.5.4. Akciğerler	25
2.4.5.5. Sindirim Borusu	25
2.4.5.6. İdrar Yolları ve Mesane	26
2.4.5.7. Kemik Yapılar	26
2.4.5.8. Hematopoetik Sistem	26
2.5. İyonizan Radyasyon ve Karsinogenezis	27
2.6. İyonizan Radyasyonun In-Utero Etkileri	29

2.7. İyonizan Radyasyonun Medikal Amaçlı Kullanımından	
Kaynaklanan riskler	31
2.8. Tanısal Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Doz Miktarları	34
2.9. Diyagnostik BT ve Radyasyon riski	39
2.10. ALARA Prensi	43
2.11. Bizmut koruyucular	43
2.12. (8-OHdG) 8 Hidroksi 2 Deoksi Guanozin	45
2.13. Mikronükleus Testi	46
2.13.1. Mikronükleus Testinin Kullanım Alanları	47
3. MATERYAL ve YÖNTEM	48
3.1. Kontrol Grubu	48
3.2. X-Ray ve Bizmut Grubu	48
3.3. X-Ray Grubu	48
3.4. Kullanılan Maddeler ve Aletler	49
3.5. İstatiksel değerlendirme	55
BULGULAR	56
TARTIŞMA ve SONUÇ	61
KAYNAKLAR	75

KISALTMALAR VE SİMGELER

LET	:lineer enerji transferi
BT	:Bilgisayarlı tomografi
BEIR VII	:Biological effects of ionizing radiation
FDA	:food an drug administration
R	:Röntgen
SI	:Uluslararası Birim Sistemi
Ci	:Curie
Bq	:Becquerel
Rad	:Rad
Gy	:Gray
mGy	:miligray
cGy	:santigray
Rem	:rem
SV	:Sievert
mSv	:Milisievert
Hz	:Hertz
KHz	:kilohertz
MHZ	:megahertz
A^o	:Angstrom
ICRP	:Radyolojik Korunmada Uluslararası Komisyon

UNSCEAR	:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
NRPB	:National Radiological Protection Board
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
PA	:posteroanterior
ÇKBT	:çok kesitli BT
kVp	:kilovoltaj
mAs	:miliampersaniye
CTDIvol	:BT doz indeksi
ALARA	:As Low As Reasonably Achievable
ATCM	:otomatik tüp current modulation
TLD	:Termoluminescent dozometre
FOV	:field of view
8-OH dG	:8 Hidroksi 2 Deoksi Guanozin
ROT	:reaktif oksijen türevleri
OH	:hidroksil
HLPC	:High-performance liquid chromatography
LC/ECD	:elektrokimyasal deteksiyonla kombine yüksek performanslı sıvı kromatografisi
LC/MS	:tandem kütle spektrometresi
GCMS	:Gas chromatography–mass spectrometry
MN	:mikronükleus
HUMN	:human mikronukleus projeleri

ELISA	:Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay
AB	:Anafaz köprüsü,
BN	:Çift nükleuslu hücre,
MN	:Mikronükleus, NB:Nükleer tomurcuk,
AMN	:Ataçlı Mikronükleus
N-AMN	:Ataçsız mikronukleus

ŞEKİLLER

Şekil 1: Radyasyon türleri.....	5
Şekil 2: Elektromanyetik spektrum.....	9
Şekil 3: Bizmut koruyucu kullanılmış bir toraks BT kesiti.....	44
Şekil 4: Araştırmada kullanılan dozimetreler ve Bizmut koruyucu.....	51
Şekil 5: Çalışma sırasında ratların Bizmut koruyucu altındaki görüntüleri.....	52
Şekil 6: Bizmut koruyucu kullanmadan X ışını verilen ratlardan görüntüler.....	53
Şekil 7: Bizmut koruyucu kullanılan ratlardan görüntüler.....	54
Şekil 8: Rat gruplarının maruz kaldığı kümülatif doz	56
Şekil 9: Rat gruplarındaki normal ve anormal hücre sayıları.....	57
Şekil 10: Rat gruplarında saptanan ayrıntılı mikronukleus hasarı grafiği.....	58
Şekil 11: 8 OH d G değerlerinin gruplar arası dağılımı.....	60

TABLULAR

Tablo 1. Radyasyon ile ilgili Eski ve Yeni Birimler ile Birbirlerine Dönüşümleri..	4
Tablo 2. İnsanlar Üzerinde Ani Tüm Vücut Işınlamalarının Dozlara Göre Etkileri	21
Tablo 3. Radyolojik Tetkiklerin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskleri.....	33
Tablo 4. Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozu Değerleri, PA Akciğer Grafisiyle Sayısal ve Yeryüzü Doğal Radyasyonu İle Süresel Eşdeğerliği.....	37
Tablo 5. Beş Yaşındaki Bir Çocuğun Uygun Parametrelerle Elde Olunan Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalacağı Ortalama Radyasyon Doz Miktarları ve Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği.....	38
Tablo 6. Rat gruplarına verilen radyasyon dozu; Grup 1'e ışılama yapılmazken, Grup 2'ye bizmut koruyucu ile ışılama yapılmış ve Grup 3'e korumasız ışılama yapılmıştır. Kümülatif doz miliGray cinsinden tabloda gösterilmiştir.....	56
Tablo 7. Rat gruplarında saptanan toplam mikronukleus hasarı.....	57
Tablo 8. Rat gruplarında saptanan toplam mikronukleus hasarının yüzde değeri.....	57
Tablo 9. Rat gruplarında saptanan ayrıntılı mikronukleus hasarı; X-ray uygulamasına maruz bırakılan deney grubunda tespit ettiğimiz hücre yapıları. AB: Anafaz köprüsü, BN: Çift nükleuslu hücre, MN: Mikronükleus, NB: Nükleer tomurcuk, AMN: Ataçlı Mikronükleus, N-AMN: Ataçsız mikronukleus.....	58
Tablo 10. 8 OhdG'in rat kan değerleri.....	59
Tablo 11. Rat kanlarında 8 OHdG değerleri Kruskal Wallis testi sonuç Tablosu.....	60

I.GİRİŞ VE AMAÇ:

Tüm canlılar, yaşamları boyunca doğal radyasyona maruz kalırlar. Yerkabuğunda bulunan ve kozmik ışıklardan gelen milyarlarca partikül - foton solunum ve sindirim yoluyla her gün vücudumuzdan geçmektedir. Buna ilave olarak, büyük bölümü tıbbi kaynaklı olmak üzere doğal radyasyonun % 15' i kadar insan yapımı radyasyona maruz kalmaktayız. Her ne kadar yüksek doz radyasyonun etkileri atom bombaları, radyasyon kazaları ve radyoterapiden elde edilen deneyimler ile iyi bir şekilde anlaşılmış olsa da, düşük doz radyasyonun etkileri uzun bir süredir yoğun olarak araştırılmış ve halen araştırılmaya devam edilen bir konudur. Yaşadığımız dünyada doğal olarak bulunan ve bilimsel destekli teknolojilerin katkısıyla yapay olarak da üretilen radyasyonları iki sınıfta değerlendirmek gereklidir. Elektromanyetik spektrum incelenecek olursa bu sınıflandırmanın iyonize ve iyonize olmayan ışınlar olarak değerlendirilmesi daha doğrudur. Her iki tür radyasyonun da, maruz kalınan süre ve doz ilişkisi değerlendirildiğinde, aşırı etkileşimin, biyolojik veya diğer sistemlerde hasarların oluşmasına neden olacağı açıktır. Olaya etkileşim açısından bakılması durumunda, iyonize radyasyonların daha tehlikeli olduğu kolaylıkla anlaşılmaktadır. İyonizasyon, ışınların geçtikleri ortamlarda iyonlar oluşmasına neden olmaları olarak tanımlanabilir. İyonlara ayrışma ise olayın gerçekleştiği ortam açısından önemli reaksiyon veya reaksiyon zincirlerine neden olabilir ki bu genelde olumsuz sonuçlar doğurur (1). İyonize ışınlar, canlılarda moleküler ve hücresel düzeylerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik çeşitli değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler maruz kalınan iyonize radyasyonun çeşidine, doz miktarına ve maruz kalım süresine göre geçici veya kalıcı değişiklikler olabilirler. İyonize ışınlar olarak tanımlanan X ve γ ışınlarının yanı sıra alfa ve beta parçacıkları da iyonizasyona yol açarlar. X ve γ ışınları, alfa, beta parçacıkları ve nötronlar gibi iyonize radyasyonlar, içinden geçtikleri hücrelerde önce moleküler düzeyde değişikliğe neden olurlar. Hücre içerisindeki molekülleri ve atomları iyonize ederler. Fazla enerjilerini bu moleküllere aktararak temel seviyeye inmeye çalışırlar. İyonize radyasyonların gittikleri yol boyunca birim uzaklık başına neden oldukları enerji salınımlarına lineer enerji

transferi (LET) denilir. LET iyonize radyasyonun yükü ve hznn fonksiyonu olarak da kabul edilir. İyonize radyasyonun yükü artp, hz azaldıkça LET artar. Örneğin alfa parçacığının hz düşük, yükü ise pozitifdir. Beta parçacığının ise hz yüksek, yükü negatifdir. Bu nedenle alfa parçacığının LET'i beta parçacığından daha yüksektir. Genel olarak LET arttıkça radyasyonun öldürücü (letal) etkileri de artar (2). İyonize radyasyonun kullanıldığı radyolojik görüntüleme modalitelerinin son yıllardaki kullanımının artışı ve düşük dozlu radyasyonun DNA üzerinde bilinen etkileri bilim adamlarn tıbbi radyasyona maruziyetin ileride doğurabileceği sonuçlar üzerinde düşünmeye sevk etmiştir. Bilgisayarlı tomografi (BT) teknolojisindeki son on yıllardaki hızlı gelişim ve bunun klinik uygulamaları belirgin olarak artırmıştır. Bu dönemde, tüm dünyadaki radyolojik incelemelerin %5'ini, ve tüm medikal radyasyon maruziyetinin üçte birini BT oluşturmaktadır (3). BT kullanımı devamlı olarak artarken, tüm işlemlerin %15'ini ve hastanelerde tüm tanısal radyasyon dozunun %75'ini BT oluşturur (4). BT'nin geç hastalarda ve iyi huylu hastalıklarda dahi çok yaygın kullanılabilmesi, rutin tanısal incelemeler sırasında mümkün olan en az dozun uygulanmasının insan sağlığı açısından ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. 1990'lı yılların ortasında FDA (Food and Drug Administration) yaşam boyunca maruz kalınan radyasyon dozunu hesaplamaya yönelik bir metod sundu ve 2005 yılında Amerikan Ulusal Bilim Akademisi BEIR VII adlı raporunda herhangi bir düzeydeki iyonize radyasyonun kanserojen etkisinin olabileceğini rapor etti (5,6). Tüm bu veriler ışığında BT çekilen hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunu azaltmak için belirli yöntemler geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacak bu yöntemlerden biri de bizmut koruyuculardır. Biz alışmamızda bizmut koruyucuların DNA hasarn önleyici etkisi olup olmadığını araştırmak için ratlar üzerinde deneysel bir çalışma planladık. X ışn maruziyeti sonrası ratların kemik iliğinden ve kanlarından örnekler alıp DNA hasarn ve hasar miktarını, gruplar arası farklılık olup olmadığını değerlendirdik.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyasyon

Radyasyon kelimesi genel olarak ışık yaymak anlamına gelir. Aynı zamanda madde içinde soğurulan ve transfer edilen bir enerjidir. Bir başka deyişle radyasyon enerjinin boşlukta yayılabilen bir çeşididir. Enerjinin kimyasal, elektrik, yerçekimi, ısı, manyetik, nükleer, ses, ışık gibi çeşitli türleri vardır. Radyasyon bu graplardan ışık enerjisi altında gruplandırılmıştır (7-9). Işık enerjisi fotonların hareketi sonucu oluşur. Elektromanyetik dalgaların ışık spektrumu ışık enerjisini gösterir. Işık enerjisine örnek olarak radyo dalgaları (AM, FM, TV), mikrodalgalar, X-ışınları gösterilebilir (8).

2.2. Radyasyon Birimleri

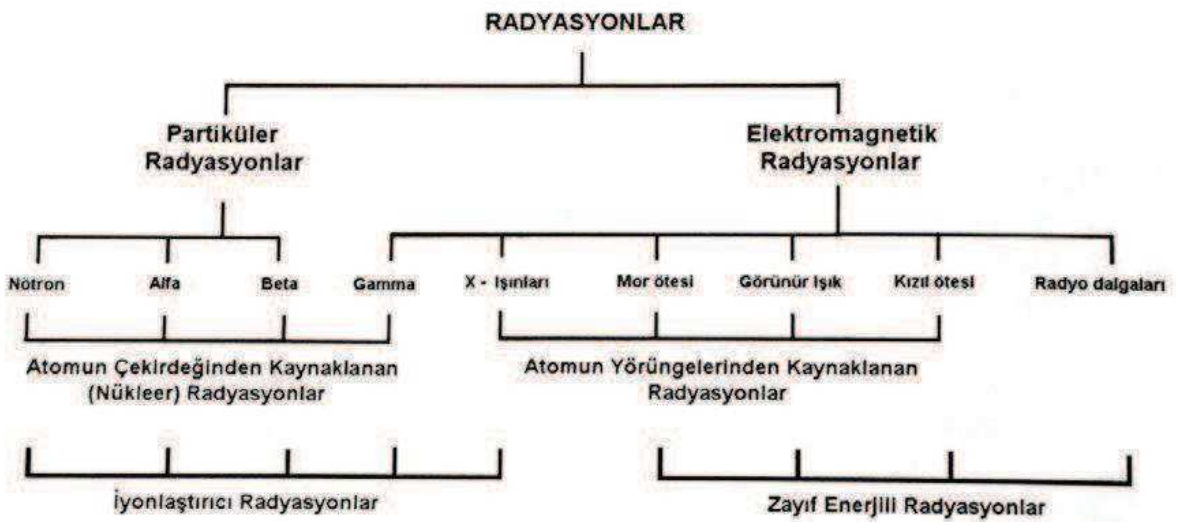
İyonlaştırıcı radyasyonların tanı ve tedavide kullanılmaya başlanması ile radyasyon ölçüm değerlerine ihtiyaç duyulmuş, radyasyon ile ilgili sınırlayıcı birimler geliştirilmiştir. Bu birimlerden ilk olarak 1928 yılında Röntgen (R) tanımlanmış, ardından diğerleri gelmiştir. Yakın bir geçmişe kadar kullanılan geleneksel radyasyon birimleri, 1986 yılından itibaren değişikliğe uğramıştır. Bu tarihten geçerli olmak üzere Uluslararası Birim Sistemi (SI) kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel ve yeni SI birimleri Tablo 1'de verilmiştir (8).

Tablo 1. Radyasyon ile İlgili Eski ve Yeni Birimler ile Birbirlerine Dönüşümleri

Fiziki Büyüklük	Eski Birimi/Sembolü	Yeni Birimi/Sembolü	Dönüşüm Değerleri
Radyoaktivite Şiddet Birimi	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq 1 Bq = 2.7×10^{-11} Ci
Işınlama Birimi	Röntgen (R)	Coloumb/kilogram (C/kg)	1 R = 2.58×10^{-4} C/kg 1 C/kg = 3876 R
Soğurulan Doz Birimi	Rad (rad)	Gray (Gy)	1 Rad = 0.01 Gy 1 Gy = 100 Rad 1 Gy = 100 cGy
Biyolojik Doz Birimi	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 Rem = 0.01 Sv 1 Sv = 100 Rem 1 Sv = 1000 mSv
Radyasyon Şiddeti Birimi	Röntgen / Saat (R/s)	Gray / Saniye (Gy/sn)	1 R/s = 2.425 Gy/sn 1 μ Gy/sn = 0.4124 R/s

2.3. Radyasyon Türleri

1897'de Rutherford bazı ışınların diğerlerinden daha penetran olduklarının farkına varmış, penetranlık derecelerine göre radyasyonların farklı enerjili ve birden fazla cinsli olabileceğini söylemiştir. 1899 yılında ise değişik araştırmacılar, 1897 yılında Thomson'un keşfettiği katot korpüskülleri ile hemen hemen aynı elektriksel yüklü ve manyetik alanda saptırılabilen ışınlar tespit etmişlerdir (8). Radyasyon maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atomlarla veya moleküllerle çarpışır. Eğer radyasyon fotonu yeterli enerjiye sahipse çarptığı atomdan en az bir elektronu koparır. Böylece en az bir elektronunu kaybeden atom iyonlaşır. İşte bunu gerçekleştirebilecek enerjiye sahip radyasyonlar, içerisinden geçtikleri ortamlarda iyonlar meydana getirdiklerinden iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılır ve radyasyon ailesinin yüksek enerjili grubunu oluştururlar. İyonlaşma yaratma yeteneğinden yoksun radyasyonlar ise zayıf enerjili radyasyonlar grubunda sınıflandırılır (7,8). Günümüzde radyasyon, radyoaktif maddelerin çıkardığı ışınların tümüne birden verilen isim olup; partiküler radyasyon ve elektromanyetik radyasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (7,8). Şekil 1'de radyasyon türleri ve enerji düzeyleri belirtilmiştir (8).



Şekil 1: Radyasyon türleri

2.3.1. Partiküler (Korpusküler) Radyasyon

Alfa (α), Beta (β) ışınları, elektron (e^-), pozitron (e^+) ve nötron (n) bu tür radyasyona örnektir (8).

2.3.1.1. Alfa (α) Partikülü

Yüklü taneciklerden olan α -ışınları, 1899 yılında Rutherford tarafından keşfedilmiş olmakla birlikte gerçek yapılarının anlaşılması, bulunuşlarından yaklaşık on yıl sonra, Rutherford ve Royd adlı araştırmacıların ortak çalışmalarıyla mümkün olmuştur (8). Bu çalışmalar neticesinde α -ışınlarının aslında yaydıkları radyasyon bakımından He atomunun çekirdeğine eşit olduğu görülmüştür. Çekirdek bağlanma enerjisi oldukça kararlı olan ve bu nedenle tek bir parçacıkmiş gibi değerlendirilen He atomunun çekirdeği 2 proton ve 2 nötrondan oluşur ve pozitif yüklüdür (7,8,10). Hızları ortalama 16.000 km/sn, çekirdekten fırlatıldıklarında enerjileri 9 MeV kadardır. Alfa partikülleri doğal radyoaktif maddelerden salınabileceği gibi yapay radyoaktif maddelerden de salınabilirler. α partiküllerinin havada ve diğer maddeler içinde aldığı yollar kısadır. Bu parçacıklar ince kağıt tabakalar tarafından bile durdurulabilir. Hidrojenden dört kat daha ağırdır ve bu ağırlıkları nedeniyle penetrasyonları azdır. Ancak yüksek derecede iyonlaştırıcı özelliğe sahip oldukları için tehlikeli ışınlardır. Vücutta deri tarafından tutulurken herhangi bir şekilde solunum ve sindirim sistemlerine girdiklerinde zararlı etkileri çok daha büyüktür (8).

2.3.1.2. Beta (β) Partikülü

Radyoaktif maddeler tarafından salınan diğer bir partiküler radyasyon türü olan β -ışınları, genelde negatif yüklü olup proton ve nötron ihtiva etmezler. Kütleleri elektron kütlesine eşittir. Bu nedenle β -partikülü pratik olarak bir elektrondur. Çekirdekten nötron fazlalığı nedeniyle salındığında, klasik negatif yüke sahip olan ve negatron adı ile de anılan β -ışınları; çekirdekteki proton fazlalığı

nedeniyle gelişirse pozitif yüklü de olabilirler. Pozitif yüklü β -parçacıklarına ise pozitron adı verilir ve β^+ veya e^+ ile gösterilir. β -ışınları, α -ışınlarına göre hem daha hızlı hem de daha penetrandır (8). Hızları 120.000-299.000 km/sn, enerjileri ise 0.01-5 MeV arasında değişmektedir. Havadaki yol uzunlukları 70-80 cm civarındadır (7,8).

2.3.1.3. Nötron (η)

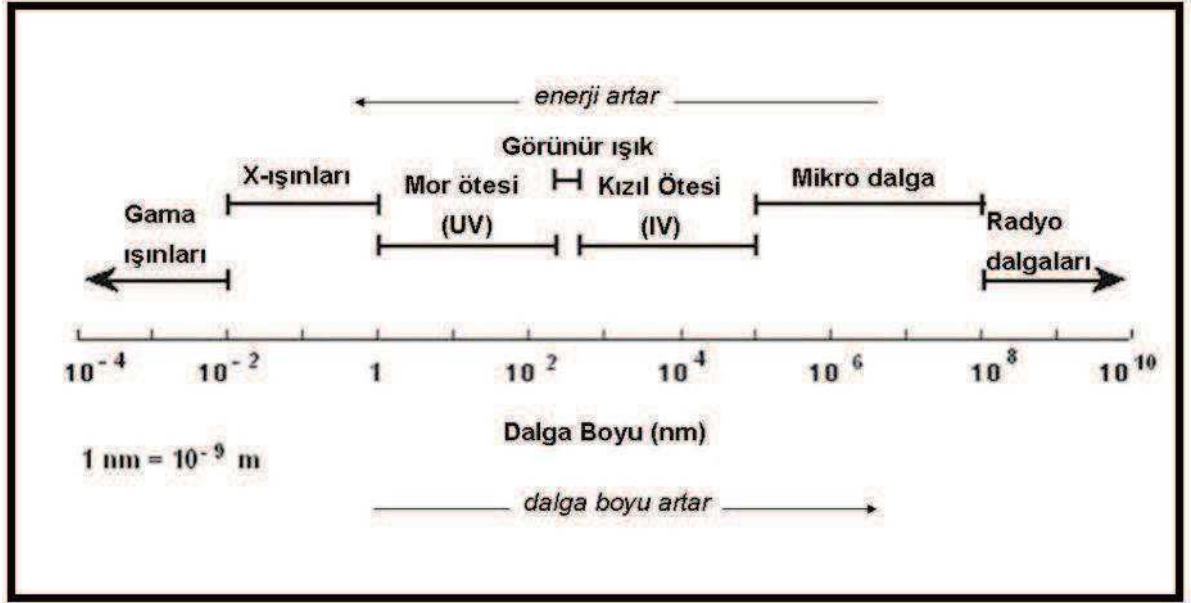
Doğal radyoaktif maddelerin bazıları, kendiliğinden parçalanmaları sonucunda α , β , γ -ışınlarından başka, az da olsa elektriksel yükü bulunmayan ve kütleleri protonlara yakın nötron çıkardıkları gözlenmektedir. Çekirdeklerin bu türden parçalanmalarına spontan fisyon adı verilmektedir. Çekirdeğin yapısında yer alan nötronların, hafif elementlerin α -ışınları ile bombardıman edilmesiyle gelişen reaksiyon sonucu oluştuğu, 1932 yılında James Chadwick tarafından bulunmuştur. Nötronların enerjisi 0.03-12 MeV arasında değişmekte olup enerjilerine göre yavaş, epitermik, hızlı ve çok hızlı olmak üzere 4 gruba ayrılabilir. Yüksüz olmaları nedeniyle oldukça gericidirler. Kurşun, demir, beton gibi maddelerden geçebilirler. Çekirdeğin yapısında yer aldıklarında ömürleri açısından bir sınırlama bulunmayan nötronların serbest halde bulduklarında yarılanma ömürleri yaklaşık 11.7 dakikadır (8).

2.3.2. Elektromanyetik Radyasyon

Hava, boşluk veya madde gibi ortamlarda bir tür enerji yayılımı olan elektromanyetik radyasyon, manyetik ve elektriksel olmak üzere iki vektörel yöne sahip sinüzoidal bir dalga şeklindedir. Elektromanyetik dalgaların (radyasyonun) temellerinin anlaşılması frekans, dalga boyu, ışık hızı ve enerjiyi bilinmesini içermektedir. Bir saniyedeki oluş miktarı dalganın frekansıdır (Frekans = 1 saniye / Bir döngünün süresi). Örneğin, bir tam dalga saniyenin onda birinde oluşmuşsa, frekans saniyede 10 döngüdür. Bir saniyedeki döngü sayısına Hertz (Hz) adı verilir. Örnekteki frekans 10 Hz'dir. Bir Hz düşük bir frekans olup günlük pratikte ifade edilmesi istenen değerler genellikle kilohertz

(1 KHz = 1000 Hz) veya megahertz (1 MHz =1.000.000 Hz) kavramları ile ifade edilmektedir. Yayılmaları sırasında belirli bir ortama ihtiyaç göstermeyen ve yolları üzerinde bir cisme çarpmadıkları sürece enerjilerinden bir şey kaybetmeyen elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılımları esnasında aynı hıza sahiptir. Modern ölçümlerle bu hızın 299.792 km/sn olduğu saptanmıştır. Ancak kullanımda kolaylık sağlaması bakımından küsuratlı sayı tam sayıya tamamlanarak 300.000 km/sn olarak ifade edilmektedir. Bu hız günlük pratikte ışık hızı olarak bilinmekle, herhangi bir frekanstaki elektromanyetik radyasyon boşlukta yayıldığı için doğrusu elektromanyetik radyasyonun yayılım hızı şeklinde adlandırılmalıdır. Elektromanyetik radyasyonlarda hız sabit olduğu için: *Dalga boyu = ışık hızı / frekans* Formülünden yola çıkılarak değişik radyasyonların dalga boyları belirlenebilir. Elektromanyetik radyasyonlar yolları üzerinde bir cisimle çarpıştıklarında ise enerji transferi gerçekleşir ve çarpışma sonrası ikinci bir elektromanyetik dalga oluştuğunda, ikinci dalganın enerjisi birinciye göre farklılık gösterir. Elektromanyetik dalgalar (radyasyonlar) sürekli bir akış içerisinde değil kesintili bir şekilde elektromanyetik paketler şeklinde yayılırlar. Bu özellik, tek düze gibi görünen radyasyonun gerçekte çok sayıda dalga paketlerinden meydana geldiğini gösterir. İşte bu dalga paketlerine foton veya kuantum adı verilir. Ortama elektromanyetik radyasyon salındığında, her birinde belirli miktarda enerji taşıyan çok sayıda foton veya kuantum yayılır. Frekans ve dalga boyunun yanında elektromanyetik radyasyonun tanımlanması enerjisi ekmeden tamamlanamaz. Fotonların enerjisi, 1913 yılında Planck tarafından keşfedilmiş ve adına kuantum teorisi adı verilen bir bağıntı ile tespit edilmiştir. Planck araştırmaları sonucunda enerji ile radyasyonun frekansı arasında direkt bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu bağıntıda: $E = h \cdot \nu$ Eşitliği söz konusudur. Burada E = Enerji (eV), h = sabit, Planck sabiti (6.627×10^{-34} joule saniye) ν =Frekans olarak belirtilmektedir. Bütün elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip olmakla beraber frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektruma sahiptirler. J. C. Maxwell tarafından tanımlanan ve elektromanyetik spektrum olarak adlandırılan bu dizilimde dalga boyu en yüksekten en düşüğe, ya da enerji seviyesi en düşükten en yükseğe doğru; elektrik dalgaları > Radyo dalgaları > Mikrodalgalar > Kızıl ötesi

(infrared) > Görülebilir ışık > Mor ötesi (ultraviyole) > X-ışınları > γ -ışınları yer almaktadır. Şekil 2'de elektromanyetik spektrum gösterilmektedir.



Şekil 2: Elektromanyetik spektrum

Spektrum içinde γ -ışınları, atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyasyona örnek teşkil ederken, elektromanyetik spektrumun X-ışını ile kızılötesi ışık bölümleri arasında kalan ışınlar, atomun yörüngelerinden kaynaklanan radyasyonlara örnektir. X ve γ -ışınları, iyonlaştırıcı radyasyon oluştururken, spektrumdaki diğer dalgalar iyonlaşma yeteneğinden yoksun zayıf enerjili radyasyon etkisi yaratırlar. γ -ışınları genel olarak X-ışınlarına benzemekle beraber X-ışınlarından daha girici özelliktedir (7,8).

2.3.2.1. X-Işınları

İyonizan radyasyon içeren tanısal radyolojik tetkiklerin temelini X-ışınları oluşturmaktadır (7-9).

2.3.2.1.1. X-Işınlarının Bulunuşu ve Tarihçesi

Günümüz görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan ve Tıp Bilimi'nde yeni bir çağ açan X-ışınları, 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir (7,8,11). Röntgen, bir Crookes tüpünü indüksiyon bobinine bağlayarak, tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde, tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platin siyanür kristallerinde bir takım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; bu tür pırıltılara neden olan ışınlara, o ana kadar bilinmemesinden dolayı X-ışınları adını vermiştir. Tüpten yüksek gerilimli akım geçirildiğinde karşısındaki ekranda parıldamalar oluşturan ışınların değişik cisimleri, farklı derecelerde geçebildiği, kurşun plaklar tarafından ise tutulduğunu gözleyen Röntgen, eliyle tuttuğu kurşun levhaların ekrandaki gölgesini incelerken kendi parmak kemiklerinin gölgelerini de fark etti. Bu olay üzerine, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine eşinin elini yerleştirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünün görüntüsünü elde etmiştir. Röntgen, tespitlerini ve bu yöntemle elde ettiği görüntüleri ilk olarak 28 Aralık 1895'te Würzburg Fiziksel Tıp Derneği'nde sunmuş, bu buluşla birlikte aynı yıl içinde günümüzdekilerle kıyaslanamayacak ölçüde basit ilk röntgen cihazları imal edilmeye başlanmıştır. 1901 yılında ilk kez verilmeye başlanan Nobel Fizik Ödülüne de layık görülen W. C. Röntgen 1923 yılında 78 yaşında ölmüştür (7,8,11). Röntgen'in X-ışınlarını keşfi, bilim çevresinde çok büyük yankılar uyandırırken yeni gelişmelere de önderlik etmiştir. Bu buluştan çok kısa bir zaman sonra H. Antonie Becquerel X-ışınları üzerinde çalışırken Uranyumun radyoaktifliğini; Curie'ler ise Radyum elementini keşfederek Radyoloji adında yeni bir bilimin doğuşunu gerçekleştirmişlerdir (8,9). X-ışınları ile ilgili ülkemizdeki ilk uygulamalar tıp dışı kişiler tarafından

gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde X-ışınlarını ilk üreten kişinin Galatasaray Lisesi fizik ve matematik öğretmeni Mösyö Izuar olduğu bildirilmektedir (8,11). Mösyö Izuar, cüzdanı içindeki metal paraları X-ışınları kullanarak görüntülemiş, ayrıca 11 yaşındaki oğlunun el grafisini de elde etmeyi başarmıştır. Kaynaklarda, hemen hemen aynı sıralarda, fotoğrafçı Halit Bey'in benzer bir usul ile kurşun kalem içindeki kurşun kırıklarını görüntülediği de ifade edilmektedir. Ülkemizde X-ışınlarının tıp kökenli kişilerce kullanılması ise 1896 yılına dayanmaktadır. Mülkiye-i Tıbbiye (Askeri Tıp Mektebi)'den yeni mezun olmuş bir doktor olan Yüzbaşı Esad Feyzi; asistanı olduğu fizik bölümünde, Crookes tüpü ve Ruhmkoff bobini kullanarak, arkadaşları ile birlikte gerçekleştirdiği deneylerle ilk radyografileri elde etmiştir (8,11). Esat Feyzi'nin çalışmaları sonucunda Dünya Tıp Tarihinde ilk kez ateşli silah yaralanmasına maruz kalmış yaralı askerlerdeki kurşunlar, çekilen radyografiler ile tespit edilmiştir (8).

2.3.2.1.2. X-ışınlarının Elde Edilişi

Radyografide ve radyoterapide kullanılan X-ışınları, havası boşaltılmış bir tüp içinde, yüksek gerilim altında ısıtılan katottan çıkan elektron demetinin hızlandırılarak anoda çarptırılması ile elde edilmektedir. Katottan fırlatılan elektronlar anoda çarptıklarında birden bire dururlar ve kinetik enerjileri başka enerji şekillerine dönüşür. Enerjinin korunması prensibine göre, röntgen cihazlarında gerçekleşen değişim ile bu enerjinin %99.8'i ısıya dönüşürken sadece %0.2'si hedef anot materyalinin atomları ile etkileşime girerek frenleme ve karakteristik radyasyon şeklinde tanımlanan X-ışınını oluşturmaktadır. Karakteristik radyasyon tanısal radyolojide kullanılan X-ışınlarının %15-30'unu oluşturur. Değişik atomların elektron enerji seviyelerinin farklılığından ötürü elementlerin karakteristik radyasyonları farklılık göstermektedir. Örneğin Hidrojen atomunun K elektron yörüngesinin enerjisi 13.6 eV'tur. Bu değer Tungsten 20 için 70 keV'tur. Buna göre hidrojen ile kıyaslandığında tungstenin K yörüngesinden bir elektron koparmak için çok daha fazla enerji gerekmektedir. Yaklaşık 70 keV enerji düzeyindeki X-ışınları büyük ölçüde karakteristik radyasyon ile elde edilmektedir. Benzer şekilde aynı tür atomların

değişik elektron yörüngelerinden koparılan elektronlara göre de X-ışını enerjisi değişebilir. Örneğin elektronlar K yerine N yörüngesinden ayrılmışsa meydana gelen X-ışını enerjisi daha düşük olacaktır. Ancak etkileşim daha dış yörüngelerdeki elektronlarla gerçekleşirse sadece ısı enerjisi ortaya çıkacak, X-ışını elde edilemeyecektir (7,8,11).

2.3.2.1.3. X-ışının özellikleri

1. X-ışını elektromanyetik bir dalgadır.
2. X-ışınlarının dalga boyu $0.04-1000 \text{ \AA}$ (Angstrom) arasında değişmekle birlikte tanınan alanda kullanılanları 0.5 \AA dalga boyundadır. İnsan gözü $3800-7800 \text{ \AA}$ arasındaki dalga boyundaki ışığı seçebildiğinden X-ışınları gözle görülmezler.
3. X-ışını elektromanyetik bir dalga olduğundan boşluktaki hızı 300.000 km/sn ile ışık hızına eşittir.
4. Elde edildikleri enerji düzeyleri farklı olduğundan aynı demet içinde farklı dalga boyunda X-ışınları bulunabilmektedir. Bu nedenle X-ışını heterojen bir ışın demeti şeklinde ve polikromatik özelliktedir.
5. X-ışını partikülsüz dalga ışıması olduğundan ağırlığı yoktur.
6. X-ışını elektriksel bir yüke sahip olmadığından manyetik alanda sapmaz.
7. X-ışınlarının şiddeti mesafeye bağlı olarak azalır. Bu azalım, ters kare kanunu olarak adlandırılmakta ve "noktasal bir kaynaktan çıkan X-ışını yoğunluğu (şiddeti) mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır" şeklinde ifade edilmektedir.
8. X-ışını, geçtiği ortamda iyonizasyona neden olur. Röntgen incelemelerinin yapıldığı bir odadaki dengeli gaz atomlarından oluşan hava, X-ışınının iyonlaştırıcı etkisi ile negatif ve pozitif yüklü iyonlara dönüşmektedir. Bu gazlardan oksijen (O_2) radyasyon ile iyonize olarak ozon (O_3) gazına dönüşmektedir. Tahriş edici özelliğinden dolayı O_3 gazı mutlaka ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Gazlarda ve havadaki iyonizan etkilerinden dolayı röntgenolojik incelemelerin sıkça yapıldığı odalarda özellikle de zemine

yakın bölgelerde yeterli havalandırma temin edilmelidir. X-ışınının iyonizan etkisinden faydalanılmak sureti ile radyasyon miktarını ölçmede kullanılan dozimetreler geliştirilmiştir.

9. X-ışını fotografik etkiye sahip olup görülebilen ışık gibi gümüş tuzlarının kararmasına yol açar. Bu etki tanısal radyolojinin temel kavramlarından birini teşkil eden röntgen filmlerinin çekimini sağlamaktadır. X-ışınının bu etkisi sayesinde röntgen filmlerinde latent imaj meydana gelmekte ve latent imaj, içinde değişik kimyasal maddelerin bulunduğu banyolarda, görülebilen imajlara dönüştürülmektedir.
10. X-ışınları, üzerlerine düştüğü bazı maddelerde ışınlama süresince parıltı meydana getirmektedir. Buna X-ışınlarının floresans özelliği adı verilmektedir. X-ışınının bu özelliği sayesinde hem floreskopik incelemelerin yapılabilmesi hem de ranforsatörlerin (fosfor tabaka - ekran) kullanıma girmesi sağlanmıştır.
11. Maddeden geçişi sırasında X-ışınının bir kısmı soğurulur (absorpsiyon özelliği), bir kısmı saçılıma uğrar. Saçılıma uğrayan kısmı sekonder radyasyon adı ile etkileşime devam eder.
12. X-ışını biyolojik etkilere sahip olup canlı hücrelerde, kromozomların yapısındaki DNA molekülünde, genetik mutasyon veya ölümle sonuçlanabilecek önemli hasarlar meydana getirebilir. Vücutta radyasyona en duyarlı hücreler üreme ve hematopoetik sistem hücreleri olup mutlak korunmaları zorunludur. Buna karşın çok güçlü X-ışınlarının canlı hücreleri yok etme özelliğinden de faydalanılmakta ve radyoterapide kullanılmaktadır.
13. X-ışını kimyasal etkiye sahiptir. X-ışınına maruz kalan maddenin kimyasal yapısında bazı değişiklikler oluşur. Yapısında değişiklik oluşan maddelerden en önemlisi, canlı vücudunun da büyük kısmında bulunan sudur. Suda iyonlaşma sonucunda serbest radikaller meydana gelir. X-ışınının kimyasal etkisi ile bazı madensel tuzlar renk değişikliği gösterir. Örneğin röntgen tüpünde, anodun karşısına rastlayan camdaki eser miktardaki manganez, uzun süre kullanım sonucu permanganata dönüşerek menekşe rengi alır (7,8). X-ışınının 9, 10 ve 11. maddelerde belirtilen fotografik, floresans ve

absorpsiyon özellikleri, tanısal radyolojide kullanılmasını sağlayan temel özelliklerini oluşturmaktadır (7-11).

2.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Günümüzde maruz kaldığımız radyasyonun en önemli kaynağı doğal radyasyon olup (%82) bunun da en büyük yüzdesini radon gazı oluşturmaktadır. Kozmik ve yerküreden kaynaklanan radyasyonlar %8'lik dilimleri, internal radyasyon ise %11'lik oranı kapsamaktadır. İnsan yapısı radyasyonlar sınıfına giren tanısal amaçlı X-ışınları %11, nükleer tıp uygulamaları %4, tüketim ürünleri ise sadece %3 'lük bölümü oluşturmaktadır. Mesleki radyasyonlar (%0.3), nükleer yakıt döngüsü (%0.1), nükleer patlamalardan (%0.3) ve çeşitli nedenlerden kaynaklanan (%0.1) radyasyonlar diğerlerini oluşturmakta olup tüm radyasyon maruziyeti içinde kapsamı % 1' den azdır. Radyasyonun zararlı etkileri, X-ışınlarının tıbbi amaçlı kullanılmaya başlamasından kısa bir süre sonra belirtilmeye başlanmış, X-ışınlarına bağlı ilk kanser vakası da 1902 yılında rapor edilmiştir. X-ışınları dışında; Uranyum, Polonyum ve Radyum gibi radyoaktif maddelerin bulunması, bu türden radyoaktif maddeleri kullanan sanayi kollarında çalışan işçilerde ortaya çıkan ve geçmeyen el ve vücut yaraları cilt kanserleri ve hematopoetik sistem bozuklukları, esrarlı ölüm vakaları radyasyonla uğraşanların ya da radyasyona maruz kalanların büyük risk altında olduklarını göstermiştir (8). Alfa ışını yayan, torotrast kontrast maddesi anjiyografi için kullanıldığında, karaciğer kanserleri; atom bombası sonrasında lösemi ve solid kanser türlerinde artış; spondilit nedeniyle radyoterapi uygulananlarda lösemi sıklığında artış; tinea kapitis veya aberran timus nedeniyle ışınlanan çocuklarda gelişen tiroid kanserleri; postpartum mastit nedeniyle meme ışınlanması sonrası oluşan meme kanserleri; tüberküloz tedavisi için iatrojenik pnömotoraks yapılan hastalarda tekrarlanan akciğer floroskopileri sonrası akciğer kanseri gelişimi; serviks kanseri nedeniyle radyoterapiden 10 yıl sonrası görülen rektum ve mesane kanserleri; Hodgkin lenfoması nedeniyle ışınlamalarda lösemide %1 artış olması radyasyon ile kanser arasındaki ilişkiyi göstermektedir (12). Değişik kaynaklardan yayılan iyonizan radyasyonun insan

sağlığına bu kadar ciddi zararlar oluşturabileceğinin anlaşılması üzerine radyasyondan korunmak amacıyla Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi oluşturulmuştur. 1928 yılında faaliyete geçen bu komite, 1950 yılında Radyolojik Korunmada Uluslararası Komisyon (ICRP) adı altında yeniden şekillendirilerek günümüze kadar gelmiştir. Bu komisyonun yaptığı çalışmalar sonucunda teşhis ve tedavi amaçlı radyasyonun deterministik (doza bağlı etkiler) ve sitokastik (genetik-kanserojen etkiler) etkilere yol açtığı, bu türden zararlı etkilerin oluşması için kısa veya uzun süreli bir latent periyod geçmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca radyasyonun, vücudun her doku veya organı üzerinde farklı etkiler yarattığı ve radyasyonun zararlı etkilerinin vücudun tümü veya bir bölümünün ışınlanmasına göre de değişkenlik gösterdiği ifade edilmiştir (7,8,9).

2.4.1. İyonizan Işınlardan Dokulara Enerji Aktarımı

İyonizan ışınlar geçtikleri dokulara enerji aktarırlar. Biyolojik etkileri aktardıkları enerji ile orantılıdır. Bu aktarıma linear enerji transferi (LET) adı verilir (9,13). LET, ışının dokuya geçişi sırasında maddenin birim mesafesinin absorbe ettiği enerji miktarını ($\text{keV}/\mu\text{m}$) gösterir. Fotonlar maddeye başlıca açığa çıkardıkları fotoelektronlar yoluyla enerji transfer ederler. Dokuda açığa çıkan bir fotoelektron yüzlerce iyon çifti oluşturabilir. LET, partikül yüklerinin karesi ile doğru ve partiküllerin kinetik enerjileri ile ters orantılıdır. Nötron, proton, alfa partikülleri ve ağır iyonlar yüksek-LET radyasyonudur ($3\text{-}200 \text{ keV}/\mu\text{m}$); fotonlar (gama ışınları dahil) elektronlar ve pozitronlar düşük-LET radyasyonludurlar ($0.2\text{-}3.0 \text{ keV}/\mu\text{m}$). Yüksek LET radyasyonları düşük olanlardan daha fazla biyolojik hasar meydana getirir. Radyasyonun biyolojik hasarı söz konusu olduğunda hem absorbe olan total enerji miktarı (doz) hem de ışının biyolojik hasar oluşturma etkinliği (LET) göz önüne alınmalıdır. Radyobiologlar farklı tipte radyasyonların biyolojik hasar oluşturma etkisini mukayese edebilmek için görece biyolojik etkinlik terimini kullanırlar. Görece biyolojik etkinlik, düşük-LET için 1'e yakın ($1 \text{ keV}/\mu\text{m}$), LET değeri 100 ($\text{keV}/\mu\text{m}$) olan bir radyasyonda ise en

fazladır. Yüksek-LET radyasyonları X-ışınlarına göre 3-8 kat yüksek görece biyolojik etkinlik değerine sahiptir (9).

2.4.2. Radyasyonun Hücre Üzerine Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon, enerjisini canlı hücre ve dokulara aktararak hücre etkileşiminden biyolojik hasarların görülmesine dek birbirini takip eden fiziksel (elektriksel), fiziko-kimyasal, kimyasal ve biyolojik olayları başlatır (7,8,13,14).

2.4.2.1. Fiziksel (Elektriksel) Olay

Etkileşim, 10^{-3} ile 10^{-13} sn gibi çok kısa bir zaman süreci içinde gerçekleşir. Fiziksel (elektriksel) etkileşimde, radyasyon enerjisinin hücreye aktarılması söz konusudur. Enerji aktarımı sonucu hücrede uyarılma ve radyasyonun çarptığı atomlarda iyonlaşma meydana gelir. Örneğin; İyonize radyasyon su molekülü ile karşılaştığında: $\text{Radyasyon} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$ Bir elektron ve bir iyon oluşur. Meydana gelen elektron yeniden su molekülü ile etkileştiğinde: $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$ Bir başka iyon ortaya çıkar (7,8,13).

2.4.2.2. Fizikokimyasal Olay

Fiziksel olayın gerçekleştiği süre kadar devam eden bu periyotta, fiziksel olay ile ortaya çıkan primer ürünler hücre içerisinde moleküler parçalanmaya etken olan sekonder ürünlerin (radikaller) gelişmesine yol açarlar. Gelişen bu radikaller oldukça aktif durumdadır. Bir önceki evrede ortaya çıkan iyonlar kararlı olmadıklarından fiziko-kimyasal olay evresinde aşağıdaki değişimlere uğrarlar: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{O}^- \rightarrow \text{H} + \text{OH}^-$ Sonuçta hücre içerisinde sekonder ürünlerin gelişimine yol açacak H ve OH aktif radikalleri oluşur (7,8,13).

2.4.2.3. Kimyasal Olay

Hücre içerisinde meydana gelen aktif radikaller saniyeler veya saatler ile ifade edilebilecek süreçlerde hem kendi aralarında, hem de önceden etkileşime girmemiş moleküller arasında kimyasal reaksiyonlara girerek biyomoleküler bozukluklara neden olurlar. Örneğin: Radikallerin birbirleri ile olan etkileşimi neticesinde, $OH + OH \rightarrow H_2O_2$ oluşan hidrojen peroksit oldukça reaktiftir (7,8).

2.4.2.4. Biyolojik Olay

Radyasyon, yukarıda tarif edilen bir dizi olay ve sonucunda gelişen radikallerin etkisi ile biyolojik moleküllerde hasara yol açabileceği gibi enerjisini direkt olarak hedef biyolojik moleküle ileterek de zarar verebilir. İşte radyasyonun, direkt olarak hedef moleküle etki ederek oluşturduğu hasarlara radyasyonun doğrudan (direkt) etkisi, yukarıda sözü edilen bir dizi biyolojik olay sonucunda gelişen radikaller aracılığı ile oluşturduğu etkiye radyasyonun dolaylı (indirekt) etkisi adı verilir (7,8,13). Radyasyonun hücrede oluşturduğu etkiler ve biyolojik değişiklikler saniyeler ile ifade edilen süreden 20-30 yıla varan zaman aralığında gelişebilir. Bu etkiler; hücresel hareketlerde yavaşlama veya durma, büyümede gecikme veya durma, hücresel metabolizmada ve hücrenin bölünmesinde (mitoz çoğalmasında) anormalliklerdir. İnsan vücudundaki dokuların radyasyondan etkilenimleri farklı olup, radyasyona karşı duyarlılıkları bakımından dokuları, radyosensitif (duyarlı), radyoresponsif (radyasyona cevap verebilen) ve radyorezistif (dirençli) olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Genellikle çoğalma yeteneği yüksek hücrelerde radyasyona duyarlılık fazladır. Anne karnındaki bebek, gelişme ve çoğalma fazında radyasyona en hassas dönemindedir. İnsanda da özellikle kan hücreleri, lenf dokusu, üreme hücreleri, saç ve kıl hücreleri gibi devamlı çoğalan ve yenilenen dokular radyasyona en duyarlı kısımlardır. Sindirim sistemi epiteli, deri gibi dokular radyasyona cevap verebilirken; kas, kemik ve sinir dokuları ise radyasyona karşı dirençli vücut dokularına örnektir (7,8). Radyasyonun biyolojik dokular üzerindeki etkileri somatik (bedensel) ve genetik etkiler olmak üzere başlıca 2 gruba ayrılmaktadır.

Biyolojik etkiler, radyasyona maruz kalan kişide, hayatı boyunca ortaya çıkabilecek gözlenebilir bir etki meydana getiriyorsa buna radyasyonun somatik ya da bedensel etkileri adı verilmektedir. Somatik etkiler radyasyonun erken ve geç dönem etkileri olmak üzere kendi içinde de ikiye ayrılmaktadır. Somatik geç dönem etkiler ile genetik etkiler birlikte sitokastik etkiler olarak adlandırılır (7,8,9).

2.4.3. Radyasyonun Erken Dönem Etkileri

Belirtileri, radyasyon alımını takip eden günler hatta saatler içerisinde ortaya çıkan etkilerdir. Radyasyonun akut dönem etkileri olarak da adlandırılabilir. Bunlar arasında en erken tanımlananlar kanın şekilli elemanları ile üreme hücrelerinde görülen ve radyasyon alımını takip eden saatler içerisinde ortaya çıkan değişikliklerdir. Işınlamanın erken etkisi olarak, kanın şekilli elemanlarından lökositlerde azalma tespit edilirken, periferik yaymada lenfositlerde oranca artış, granüositlerde ise azalma dikkati çekmektedir. Ancak bu tür bir hematolojik depresyonun saptanabilmesi için asgari 25 rem (0.25 Sv) tüm vücut ışınlanması gerekmektedir. Eritrositlerdeki azalma ise lökositlere oranla daha sonra ortaya çıkmakta ve tespit edildiğinde radyasyon hasarının daha ağır olduğunu kanıtlamaktadır. Uzun zaman zarfında, sindire sindire alınan küçük dozlardaki radyasyon, insanda kısa dönemde belirgin bir rahatsızlık tablosu veya hastalık belirtisi yaratmazken ani ve yüksek doz ışınlama sonrasında alınan radyasyon, ışınlanan vücut parçası ile ilişkili olarak bir dizi rahatsızlık ve hatta ölümlü sonuçlanan tablolar doğurmaktadır. Ani doz kavramı Türkiye Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde bir kişinin 50 mSv (5 rem) den fazla ani bir vücut dozu alması şeklinde tanımlanmaktadır. Hafif radyasyon hasarı olarak da nitelendirilen bu düzeydeki doz alınımının radyasyon güvenliği ulusal merkezine bildirilmesi zorunludur. Vücudun bütün olarak, yüksek dozlarda radyasyona maruz kalması, kişiden kişiye değişen biyolojik değişikliklere yol açmakla birlikte, maruz kalınan total tüm vücut doz miktarları ve gelişebilecek etkiler aşağıda belirtilmiştir: 0.25 Sv (25 rem)'e kadar alınan ani tüm vücut dozu ışınlanmasında radyasyon, klinik bir etki oluşturmadığı

gibi, ne bu dozu alan kişi ne de o kişiyi muayene eden hekim tarafından fark edilir. 0.25-0.5 Sv (25-50 rem) dozda kan tablosunda geçici, hafif değişiklikler görülebilir. 0.5-1 Sv (50-100 rem) ani doz alımında, kişi hiçbir Şey hissetmeyebilir ya da hafif mide bulantısı ve kusma görülebilir. Radyasyona maruz kalan kişi, bir Şey hissetmese de yapılan kan sayımında lökositlerin sayısında azalma ve oranında değişme saptanır. Böyle bir durumda genellikle tıbbi tedaviye ihtiyaç yoktur. Kan tablosundaki bu değişim daha sonra düzelir. Ancak bir önlem olarak radyasyona maruz kalan kişi bir kaç gün de olsa gözlem altında tutulmalı ve kişinin radyasyon ile ilgili ęalıřmaları, yaşam boyu alınan doz dikkate alınarak yeniden düzenlenmelidir. 0.5-1 Sv'lık ani tüm vücut ışınlamasına maruz kalmış kişilerin yaşam sürelerinde kısalma olasılığı vardır. 1-2 Sv (100-200 rem) 1 Sv'in üzeri dozlarda ise kişi, almış olduğu radyasyonun bünyesinde yarattığı rahatsızlıkları hissetmeye başlar. 1-2 Sv ani vücut dozuna maruz kalan kişi hafif derecede radyasyon hastası olarak kabul edilir. Hafif derecede radyasyon hastalığında kişi, radyasyona maruz kaldığı ilk gün içinde başlayan ve bir süre devam eden mide bulantısı, kusma, iştahsızlık ve halsizlik belirtileri gösterir. 1.4 Sv üzerindeki dozlarda ciltte eritem oluşabilir. 2 Sv'e kadar olan ışınlama dozlarında orta derecede lökopeni görülür. Hematopoetik dokular dışında, yukarıda tanımlanan Őikayet ve değişiklikler genellikle bir kaç hafta içerisinde kendiliğinden iyileşerek kaybolur. Bu grup hastalara semptomatik tedavi yanı sıra psikoterapik yaklaşım da yararlı olacaktır. 2-3 Sv (200-300 rem) ani tüm vücut dozu alımında, bu dozu alan kişi, orta derecede radyasyon hastasıdır. Yukarıda sayılan bir dizi rahatsızlıklar, hem daha ağır hem de daha uzun süreli olarak görülürken bunlara ilave olarak boğaz yanması, ishal, kilo kaybı, solukluk, ciltte kırmızı lekeler ortaya ęıkar. Bu tür bulgular tıbbi tedaviye ihtiyaç gösterir ve iyileşmeleri için yaklaşık 3 aylık bir süre gerektirir. 2-3 Sv'lık bir ışınlama dozuna maruz kalan kişide ęok düşük bir olasılıkla da olsa (%0-10) 2 aylık bir süreç içerisinde ölüm görülebilmektedir. 3-6 Sv (300-600 rem)'lik tüm vücut dozuna maruz kalan kişi ağır radyasyon hastasıdır. Ağır radyasyon hastası kişide, radyasyona maruz kalınmasını takip eden ilk saat içerisinde, yukarıda sayılan bir dizi rahatsızlıklar daha Őiddetli ve uzun süreli olarak seyrederken, bu rahatsızlıklara ilaveten yüksek ateş, ciltte morarma ve yanıklar,

mukozalarda kanayan yaralar, saç ve kıllarda dökülme, aşırı kilo kaybı görülür. Tedavide, ileri lökopeniye, purpura ve kanamaya karşı kan nakli, enfeksiyona karşı antibiyotik uygulaması yapılmalıdır. Etkin bir tıbbi tedaviye rağmen olguların yarısında 2 ay içinde içerisinde ölüm kaçınılmazdır. Sağ kalanların ise iyileşmesi uzun zaman almaktadır. 6-10 Sv (600-1000 rem) tüm vücut dozu almış bir kişide kan yapıcı organlar, sindirim sistemi, çok kısa süre içerisinde (yaklaşık yarım saat içinde) büyük hasara uğrar. İleri lökopeni, kanama, purpuralar; enfeksiyon, ateş, ağır ishal ve kramplar, uyuşukluk söz konusudur. Elektrolit dengesinin sağlanması dışında pek yapılacak bir şey de yoktur. Kemik iliği nakli düşünülebilir. Ancak olguların tümüne yakını (%80- 100) 2-8 hafta içinde kaybedilir. 10-15 Sv (1000-1500 rem) tüm vücut ışınlamalarda, ışınlamaya maruz kalan kişiler için yapılacak hiçbir şey olmadığı gibi kurtuluş ümidi de hemen hiç yok gibidir. Gastrointestinal sistem harap olduğundan fonksiyon yapamaz. Hastalar iki gün içinde kaybedilirler. 20 Sv ve üzeri (2000 rem)'nde ölüm kesindir. 50 Sv (5000 rem)'in üzerindeki dozlarda santral sinir sistemi, solunum ve kan dolaşımı gibi hayati vücut fonksiyonlarını kontrol edemez. Her şey çok hızlı geliştiğinden, yapılacak hiçbir şey yoktur. Olgunun tıbbi olarak sadece rahatı sağlanabilir. Ölüm saatler içinde gerçekleşir (7,8,13). (Tablo 2).

Tablo 2. İnsanlar Üzerinde Ani Tüm Vücut Işınlamalarının Dozlara Göre Etkileri

Doz	Görülen Klinik ve Laboratuvar Değişiklikler
0,25 Sv (25 rem)	Klinik ve laboratuvar değişiklik görülmez
0,25-0,5 Sv (25-50 rem)	Kan tablosunda geçici, hafif değişiklikler
0,5-1 Sv (50-100 rem)	Hafif mide bulantısı, kusma Kan sayımında lökositlerde azalma ve oranında değişme Yaşam sürelerinde kısalma olasılığı
1-2 Sv (100-200 rem)	Hafif derecede radyasyon hastası İlk gün başlayan ve bir süre devam eden mide bulantısı, kusma, iştahsızlık ve halsizlik Ciltte eritem, orta derecede lökopeni
2-3 Sv. (200-300 rem)	Orta derecede radyasyon hastası Yukarıdaki etkiler daha ağır ve daha uzun sürelidir Boğaz yanması, ishal, kilo kaybı, solukluk, ciltte kırmızı lekeler %0-10 oranında 2 ay içinde ölüm
3-6 Sv (300-600 rem)	Ağır radyasyon hastası Saatler içinde ek olarak yüksek ateş, ciltte morarma ve yanıklar, mukozalarda kanayan yaralar, saç ve kıllarda dökülme, aşırı kilo kaybı %50 oranında 2 ay içinde ölüm
6-10 Sv (600-1000 rem)	Kan yapıcı organlar ve sindirim sisteminde dakikalar içinde büyük hasar %80-100 oranında 2-8 hafta içinde ölüm
10-15 Sv (1000-1500 rem)	Gastrointestinal sistem fonksiyon dışı kalır 2 gün içinde ölüm
20 Sv ve üzeri (2000 rem)	Santral sinir sistemi, solunum ve kan dolaşımı fonksiyon dışı kalır. Saatler içinde ölüm

2.4.4. Radyasyonun Geç Dönem Etkileri

Radyasyonun geç dönem ya da gecikmiş etkileri, ışınlamadan aylar hatta yıllar sonra ortaya çıkan ve çoğu kez ölümcül olan bir dizi hastalık ve etkiyi kapsamaktadır. Uzun süreli ve az miktarlarda daimi radyasyona maruz kalınması da benzer etkileri ortaya çıkarabilmektedir. Radyasyonun geç etkilerinin başında kısırlık ve katarakt gelmektedir. Radyasyonun deterministik etkilerinden olan kısırlık ve katarakt, canlı dokulardaki hücre ölümü sonucunda ortaya çıkmaktadır. Radyasyonun deterministik etkilerinin gelişiminde, maruz kalınan radyasyon miktarı önemli olup alınan doz arttıkça oluşacak hücre hasarı da bununla paralel olarak artmaktadır. Yaklaşık 15 yıl ve üzerinde devamlı olarak radyasyona maruz kalanlarda ve korunma şartlarını yerine getirmeyenlerde katarakt riski oldukça yüksektir. Tüm çalışma hayatı boyunca, yavaş yavaş ve tolere edile edile alınacak 15 Sv (1500 rem)'lik ışınlama dozu katarakt oluşturmazken, 2 Sv (200 rem)'lik ani radyasyon dozu, 5 yıla kadar varan latent bir periyod sonrasında katarakta yol açar. Bir ışınlama sırasında maruz kalınan 0.25 Sv'in altındaki dozlar, üreme hücrelerinde tespit edilebilir bir değişiklik yaratmazken, 1 Sv (100 rem)'lik ani doz erkekte sperm, kadında ise yumurta üretimini geriye dönüşümlü olarak yavaşlatmaktadır. 4 Sv (400 rem) ve üzeri dozlardaki ışınlamalarda ise kısırlık mutlaklıdır. Radyasyonun gecikmiş dönem etkileri arasında doğal yaşam süresinin kısalması, kromozom aberasyonları ve kalıtsal etkiler, kan yapıcı organlarda depresyon etkisi ile gelişen lösemi başta olmak üzere tiroid, meme, gastrointestinal sistem ve akciğer gibi birçok organda artan kanser riski gelmektedir. Bu türden sonuçlar radyasyonun sitokastik etkileri olarak ifade edilmekte, görülme olasılığı soğurulan doz ile artarken, şiddeti dozdan bağımsız olarak gerçekleşmektedir. Sitokastik etkiler düşük seviyeli ışınlamalarda bile görülebilen radyasyon hasarı olarak ifade edilmektedir. Belirtilen sonuçların ortaya çıkması bakımından mutlak güvenli sayılabilecek bir eşik dozu bulunmamakta ve hücrelerin deformasyonunu takip eden belirli bir latent periyod sonrasında kanser ve kalıtsal hasarların oluşma riski gündeme gelmektedir. Bu latent periyod, örneğin lösemi için 2-10 yıl, solid tümörler için ise 10-40 yıl olarak bildirilmektedir.

Radyasyonun canlı dokular üzerindeki etkileri, sadece o canlının yaşamı sırasında ortaya çıkan bulgular ve değişikliklerle sınırlı olmayıp radyasyona maruz kalan kişinin gelecekteki nesillerinde de görülmektedir. Normal yaşam boyunca da görülebilecek kromozom ve gen yapılarındaki bu doğal kimyasal değişiklikler, iyonlaştırıcı ışınların etkisi ile daha hızla gerçekleşmektedir. Kromozomlarda çeşitli nedenlerle ortaya çıkan kimyasal ve yapısal değişiklikleri ifade eden ve adına mutasyon denilen bu olay cinsiyet hücrelerinde olduğu gibi somatik hücrelerde de gerçekleşebilir. Ancak cinsiyet hücrelerindeki mutasyonlar, somatik hücrelerdeki mutasyonlarda olduğu gibi ferdi kalmayıp kendisinden sonra gelen nesillere aktarılacağından önemi daha da büyüktür. Radyasyonun genetik etkileri üzerine ilk araştırma, 1927 yılında Müler tarafından, meyve sinekleri üzerindeki deneylerle gerçekleştirilmiş, iyonlaştırıcı radyasyonun, genetik karakterlerde değişiklikler yarattığı kanıtlanmıştır. Radyasyonun memeli canlılardaki genetik etkilerine yönelik çalışmalar ise fareler üzerinde yoğunlaşmıştır. Konu ile ilgili hayvanlar üzerinde gerçekleştirilen bu deneylerden elde edilen sonuçlar insanların iyonizan radyasyona maruz kalması durumunda gelişmesi beklenen genetik etkiler; zeka düzeyinde azalma, yaşam kalitesinde bozulmalar ve nüfus azalması şeklindedir. Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler neticesinde radyasyona maruz kalmanın yaşlanmayı hızlandırarak doğal yaşam süresini kısalttığı kanıtlanmıştır. Konu ile ilgili genişletilmiş çalışmalarda, deney farelerinde saptanan bu türden değişikliklerin insanlar için de geçerli olduğu doğrulanmıştır. Zaten ikinci dünya savaşı sonuna damgasını vuran atom bombası ve bu bombanın tesirinde kalan insanlarda gözlenen değişiklikler de böyle bir etkinin var olduğunu düşündürmekteydi. İnsan ömrünün kısalmasına neden olan radyasyonun belirli bir eşik dozundan bahsedilmemekle birlikte; hayvan deneylerinden çıkan sonuçların insanlara uyarlanması sonrasında, maruz kalınan her 1 röntgenlik ışınlamanın hayatı 1 gün, alınan her 1 rem'lik dozun ise hayatı yaklaşık 10 gün kısalttığı bildirilmektedir. Sonuç olarak, radyasyonun geç dönem etkilerine yol açacak eşik doz sınırı verilememesine rağmen sitokastik etkilerin, alınan radyasyon miktarı ile orantılı bir şekilde artacağı varsayılmaktadır. Alınan doz

ne kadar düşük seviyede tutulursa, radyasyonun kötü etkilerinin ortaya çıkma olasılığı da o derecede azaltılmış olacaktır (8).

2.4.5. Radyasyonun Bazı Organ ve Dokulara Etkisi

2.4.5.1. Deri, Saç ve Kıllar

Vücuttaki saç ve kılların radyasyonun etkisi ile dökülmesinin derecesi, maruz kalınan radyasyonun şiddeti ile doğru orantılı olup radyasyonun tatbikinden yaklaşık 1-3 hafta sonra görülmeye başlar. Deri, kan ve üreme hücrelerine oranla radyasyona daha dirençli olmakla birlikte, küçük dozlarda bile kızarıklık şeklinde klinik belirtiler verebilir: Bir Gy'lik doz sonrasında, geçici bir süre için, uzun süreli veya daha yüksek dozlarla etkileşime bağlı olarak saçlarda dökülme, epilasyon, deskuamasyon, kalıcı eritem, cildin daha derin tabakalarının etkilenmesine bağlı olarak ülserasyon ve nekrozlar ve sonunda deri kanserleri gelişebilmektedir. Lokal olarak alınan 300-600 rem'lik dozlarda (3-6 Sv), dökülen kıl ve tüylerin yeniden büyümesi için 2-3 ay gerekirken; 1000-2000 rem'lik lokal dozlarda bu süre 6-8 aya uzamaktadır. 3000-6000 rem'lik lokal dozlar ise kalıcı epilasyona neden olabilmektedir (7,8).

2.4.5.2. Göz Merceği

Göz merceği, birçok doku ve organın aksine hücre yenilenmesi ve çoğalması göstermediğinden radyasyondan etkilenimi çok önemlidir. Daha çok nötronların hasarından etkilenen göz merceği için, maruz kalmasına müsaade edilen maksimum radyasyon dozu, diğer organlar için belirtilen dozların %30'u düzeyinde tutulmaktadır. Radyasyonun göz merceği üzerine en önemli gecikmiş etkisi katarakt oluşumudur. Özellikle non-televize floroskopik çalışmalarda gözlerin ve göz merceğinin korunmasına yönelik kurşun camlı gözlüklerin takılması gerekmektedir (7,8).

2.4.5.3. Üreme Organları

Radyasyona en duyarlı organlar üreme organları ve bunların hücreleridir. Bu hücreler içinde de ışınlanmaya en hassas olanı spermatogoniumlardır. Üreme hücrelerinde fonksiyonel değişikliğe neden olabilecek asgari dozlar kadınlarda, erkeklere oranla daha yüksektir. Bir Sv (100 rem) ani radyasyon dozu erkekte sperm, kadında ise yumurta üretimini yavaşlatmakta olup 0,25 Sv ani doz absorpsiyonundan itibaren üreme hücrelerindeki saatler içinde gerçekleşen değişiklikler laboratuvar bazında tespit edilebilmektedir. Bu ışınlama dozlarında oluşan değişiklikler, genellikle kısa bir süre içerisinde normale dönerken 4 Sv (400 rem) ve üzerindeki dozlarda kısırlık mutlakdır. Gebelikte radyasyona en hassas dönem, hamileliğin 18-48. günleri arasındadır. Düşük dozların, ovumun döllenenmesini takip eden ancak uterusu implantasyonundan önceki periyotta (18.günden önce) alınması, fetüsün oluşmasını engelleyerek abortusa sebep olabilmektedir (7,8).

2.4.5.4. Akciğerler

Akciğer dokusu, radyasyondan direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde etkilenmektedir. Direkt yolla etkilenim; alveol ve bunları besleyen hücrelerin, dışarıdan gönderilen iyonizan ışınlar ile tahrip edilmesi sonucunda oluşur. İndirekt yol ise, havadan radyoaktif toz veya buharın inhalasyonu sonucudur. Direkt yolla etkilenime göre sonuçları çok daha ciddi olan bu şekil etkilenimde; çözünebilir radyoaktif parçacıklar alveol duvarından geçtikten sonra kana karışarak dolaşıma geçmekte ve vücudun diğer organlarında hasar oluşturmakta iken, çözünemeyen radyoaktif parçacıklar akciğer neoplazmlarına zemin hazırlar (7,8).

2.4.5.5. Sindirim Borusu

İyonizan radyasyonun etkisi sonucunda sindirim borusunda hücre yenilenmesi durmakta, sekresyonlar azalmakta veya kaybolmaktadır. Yüksek doz

ışınlamalarda, intestinal mukozada destrüksiyon, ülserasyonlar, kanama görülebilir (7,8).

2.4.5.6. İdrar Yolları ve Mesane

Radyasyon, gastrointestinal traktüste olduğu gibi, idrar yolları ve mesanede de mukozal hasar yaratarak idrar akımında zorluk, kanama, böbrek fonksiyonlarında bozulmaya yol açar (7,8).

2.4.5.7. Kemik Yapılar

Özellikle çocukluk döneminde kemik iliğindeki hematopoetik aktivitenin varlığına bağlı olarak kemik yapılar radyasyondan fazlasıyla etkilenmektedir. Alınan radyasyon dozuna bağlı olarak büyümede yavaşlama veya durma; 10 Gy'in üzeri lokal ışınlamalar neticesinde osteonekroz ve fraktürler gelişebilir. Bazı izotopların kemik dokusu içinde toplanmasına bağlı, uzun vadede tümör oluşumu da görülebilir (7,8).

2.4.5.8. Hematopoetik Sistem

Vücudumuzda dolaşan kanın %45'ini oluşturan şekilli elemanlar, lökosit, eritrosit ve trombositlerdir. Lökositler de kendi içinde lenfosit, granülosit ve monositler olarak özelleşmişlerdir. Kanın geriye kalan kısmı plazmadan ibarettir. Lökositler, kanın şekilli elemanları içinde radyasyona en duyarlı olanıdır. Beyaz kan hücreleri içinde de lenfositlerin duyarlılığı en fazladır. Radyasyonun erken dönem etkilerinin başında lenfositlerin sayısında artma görülürken granülositlerin sayısında azalma saptanır. Lenfositler ve dolayısı ile beyaz kan hücrelerinde azalma, vücut direncini azaltarak enfeksiyon gelişimine zemin hazırlar. Trombositler, radyasyona, lökositlere göre nispeten daha dayanıklı olmakla beraber yüksek doz ışınlamalarda, hem hücrelerinin harap olması hem de kemik iliğinde yapımlarının baskılanmasına bağlı olarak 2 hafta içinde azalır. Trombositlerdeki bu azalma kanın pıhtılaşmasında gecikmeye yol açar.

Radyasyona karşı en dayanıklı kabul edilen kan hücreleri eritrositlerdir. Eritrosit sayısında azalma, ancak yüksek dozlardaki ışınlamalar neticesinde gelişir ki bu durum klinik tablonun ciddi olduğunu gösterir. Eritrosit sayısındaki azalma, anemi olarak nitelendirilir ve solukluk, halsizlik, taşikardi ve dispneye neden olur. Plazma, direkt radyasyon etkilerine oldukça dayanıklıdır. Dalak ve lenf bezleri de radyasyona hassas kabul edilen organlardır (7,8).

2.5. İyonizan Radyasyon ve Karsinogenezis

İyonizan radyasyon, hücre içi moleküllerde ve genetik materyal olan kromozomlarda (DNA) kimyasal bağların kopmasına neden olmaktadır (15). Mutasyon olarak adlandırılan bu genetik hasarlar hücre tarafından tamir edilemez ise, hücreyi ölüme götüren süreci başlatan metabolik değişiklikler meydana gelir. Bu etki nedeniyle iyonizan radyasyonlar, devamlı hücre çoğalması ile kendini gösteren kanser hastalarının tedavisinde kullanılmaktadır. Ancak, sağlam doku hücrelerindeki genetik hasar hücrenin ölümüyle sonuçlanmazsa yıllar sonra kansere neden olabilmektedir. Radyasyon karsinogenezisi, onkojen, süpresör gen ve/veya hücre tamiri enzimlerinin yapılmasından sorumlu gen bölgelerinde oluşan mutasyonlar ile başlatılır (inisiyasyon). Diğer hücre içi ve/veya hücre dışı faktörler (antiapoptotik protein yapımı, büyüme faktörleri, vücudun bağışıklık sistemi yetersizlikleri, vs.) bu klonojen hücrelerin hızla çoğalmasına yol açar (promosyon). Aynı hücrelerin proteaz-kollejenaz gibi enzimleri üretmeye başlaması ve kontak inhibisyonun ortadan kalkmasıyla, invazyon-metastaz yapan habis tümörler ortaya çıkar (progresyon) (12,16-18). Radyasyona bağlı kromozom değişiklikleri üzerine yapılan in vitro deneylerde, kromozomlarda oluşan delesyon ve translokasyonların nokta mutasyonlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Biyolojik olarak en önemli lezyonlar olan çift kromozom kırıklarının tamiri daha yüksek oranda mutasyona neden olmaktadır. Geç dönemlerde dahi, ardışık mutasyonlar ve kromozomal yeni düzenlemeler heterozigotluk kaybına, gen amplifikasyonu ile onkojen aktivasyonuna ve/veya süpresör gen delesyonuna yol açabilir (papiller tiroid kanseri, miyeloid lösemi, bazal hücreli nevüs

karsinoma sendromu, Li-Fraumeni sendromu). Bir Gy'lik doz ile 100 bin hücrede 1-10 arasında spesifik gen mutasyonu görülmektedir. Çift kromozom kırıkları, yüksek lineer enerji transfer (LET) değeri olan ışınlar (α -ışını, proton, nötron) ile daha olasıdır (12,16,17). Radyasyonun biyolojik etkileri incelendiğinde, kanser oluşumunda aşağıdaki faktörler ön plana çıkmaktadır.

a) Absorbe edilen toplam eşdeğer doz (ışın türüne bağlı olarak kalite faktörü, yani rölatif biyolojik etkinlik ve doz hızı hesaplamalarda dikkate alınır).

b) Hangi yaşta maruz kalındığı (genç yaş riski artıran bir faktördür).

c) Maruz kalmadan sonra geçen zaman.

d) Cinsiyet (radyasyona bağlı meme, gastrointestinal sistem, tiroid kanseri riski kadınlarda yüksek iken, diğer solid tümörler ve lösemi erkeklerde daha sık görülmektedir). Solid tümörlerde doza bağlı olarak lineer bir artış gözlenirken, lösemi için dozun karesine bağlı bir artış söz konusudur. Bunun yanı sıra bazı organlarda (kemik iliği, tiroid, meme, akciğer) radyasyona bağlı kanser gelişme riski diğerlerine göre daha yüksektir. Kanser oluşması için eşik bir doz değeri bulunmamakta, olasılık dozla birlikte artmaktadır (sitokastik özellik). Latent süre kanser tipine göre değişmektedir. Lösemiler radyasyona maruz kalımdan 2 yıl sonra belirmeye başlar, 4-8 yıl arasında en yüksek orana ulaşır ve daha sonra risk normale döner. Solid tümörlerde ise 10 yıla kadar bir artış görülmezken, 20 yıla doğru olasılık gittikçe artar ve latent süre 45 yıldan uzun olabilir (12). Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri üretmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv'lik (düşük LET değerli) akut doza maruz kalmış her yaşta ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için, kanserden dolayı ölüm riskinin erkeklerde %9, kadınlarda %13 olduğu öne sürülmektedir. Kronik ışınlanmalar için bu tahminler, %50 oranında azaltılabilmektedir. Işınlanan çocuklar için kanser riski, tüm yaşlarda ışınlananlar için yapılan tahminlerin iki katıdır. Lösemi için yaşam boyu risk tahminleri daha az değişkendir. 1 Sv'lik akut doz sonrası her iki cinsiyet için lösemiden dolayı ölüm riski %1 olarak alınabilmektedir. Akut dozlarda, 1 Sv'ten

0.1 Sv'e 10 katlık bir azalma riskte 20 katlık bir azalmaya neden olmaktadır (10,17,19). Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombası sonrası yaşayanlar arasından 80 bin kişi üzerinde yapılan istatistikler, lösemi olgularında iki kat artış olduğunu göstermiştir (12). Çocuklarda özel öneme sahip radyasyon kaynaklı bir kanser türü de tiroid bezi kanseridir. Işınlanma yaşının artmasıyla tiroid kanserine yakalanma riskinin azaldığına dair güçlü bulgular vardır ve 15 yaşın altındaki çocuklar için bu risk yetişkinlere göre çok daha fazladır. Çocuk grupları arasında, 0-5 yaşındakiler, 10-14 yaşındakilere göre 5 kat daha duyarlıdır (10,17,19). Atom bombasından hayatta kalanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, tiroid kanseri vakalarının, ışınlanma sırasında 10 yaş ve altındakilerde olduğu ve en yüksek riskin ışınlanmadan 15-29 yıl sonra görüldüğü, 40 yıl sonrasına kadar bile riskin yükselebileceği bilinmektedir. Çernobil kazasından önceki dönemlerde yapılan çalışma sonuçlarına dayanılarak, tiroid kanseri kuluçka döneminin ışınlanmadan 10 yıl sonra ortaya çıkması beklenirken, kaza sonrasında tiroid kanseri artışı kazadan en fazla etkilenen Beyaz Rusya, Rusya Federasyonu ve Ukrayna'da ilk 5 yıl içerisinde görülmüştür (19,20). Çernobil kazasından sonra Beyaz Rusya ve Ukrayna'da yaşayan insanlarda yapılan incelemelerde başta tiroid kanseri olmak üzere bir çok kanser insidansında yükselmeler görülmüştür (10,21,22-24). 1991-1992 yıllarında Beyaz Rusya'da tiroid kanserinin yıllık insidansı Çernobil kazasından önceki 10 yıllık döneme göre 62 kat artmıştır. Nikiforov ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalarda Çernobil Kazası sonrası çocuklarda radyasyonun neden olduğu karsinogenezin tiroid kanseri için 4 yıl gibi oldukça kısa bir latent periyotta açığa çıktığı belirtilmiştir (23,24).

2.6. İyonizan Radyasyonun In-Utero Etkileri

İyonizan radyasyonlar kansere yol açmanın dışında yaşam süresinin kısılmasına, fetüs ve embriyo üzerinde genetik etkilere, aplastik anemi ve katarakt gibi hastalıklara neden olabilir. Döllenmeden sonraki ilk dokuz gün içinde radyasyona maruz kalındığında, ya hep ya hiç kuralı geçerlidir. Buna göre ya düşük gerçekleşir ya da embriyo normal gelişimine devam eder.

Dokuzuncu gün ile altıncı hafta arasındaki organogenez aşamasında embriyo radyasyona en duyarlı dönemindedir ve malformasyonlar meydana gelebilir. Mikrosefali, zeka geriliği gibi serebral anomaliler 8-15. haftalar arasında, 10 cGy (santigray)'nin üzerindeki dozlarda görülmüştür. Göz ve iskelet anomalileri 20 cGy'i aşan dozlarda söz konusudur. Doz-etki ilişkisi hayvan deneyleri ile gösterilmiştir. Radyasyon, hamileliğin altıncı haftasından sonraki fetal dönemde daha çok gelişme geriliğine yol açmaktadır. Embriyonun radyasyona en duyarlı olduğu 10. günden 26. haftaya kadar olan sürede alınacak 0.1 Gy'in üzerindeki dozlarda, anomali olasılığını ortadan kaldırmak amacıyla terapötik abortus önerilmektedir. Hamileliğin son trimestrinde fetüsün alacağı 10 mGy (miligray)'lik bir doz, çocukluk çağı kanser riskini %40 oranında artırmaktadır. Doğum öncesi (in utero) ışına maruz kalanlarda çocukluk çağı tümörleri ve lösemide artış, ailesel genetik yatkınlık olanlar için (retinablastom geni, ataksi-telenjiektazi geni, defektif p53 geni taşıyanlarda) daha yüksektir. Gonadların ışına maruz kalması germ hücrelerinde genetik mutasyonlara yol açabilir; buna bağlı olarak doğumsal kromozom anomalilerinde artış gözlenebilir. On mSv'lik radyasyonun getireceği kromozom anomalilerindeki risk artışının, 1 milyon doğumda ortalama 200 (dağılım 60-1100) olacağı hesaplanmıştır. Normal doğumlarda rastlanan spontan mutasyon oranının 1 milyonda 107 bin (%10) oranında olduğu göz önüne alındığında, bu 10 mSv'lik radyasyonun meydana getirdiği risk artışı %1 oranında olmaktadır. Hiroşima ve Nagazaki verileri incelendiğinde, sağ kalan nüfusun kromozom hasarlarında normale göre artış görülmesine rağmen, patlamadan sonra gerçekleşen doğumlarda kaydedilen doğuştan anomali artışı, istatistiksel anlamlılık kazanacak büyüklüğe ulaşmamıştır. Bu veriler ışığında doğal olarak görülen spontan mutasyon oranını ikiye katlayacak dozun, insanlar için ortalama 1.56 Sv olduğu hesaplanmaktadır. Gebelik süresince embriyo veya fetüs için izin verilen doz limitleri ise 0.5 mSv/ay ve toplamda 2 mSv'tir (12).

2.7. İyonizan Radyasyonun Medikal Amaçlı Kullanımından Kaynaklanan Riskler

Radyoterapiye bağlı olarak %2-5 oranında kanser ortaya çıktığı bildirilmektedir. Bunlar arasında kemik, yumuşak doku, tiroid, meme, mide, akciğer, deri, merkezi sinir sistemi tümörleri ve daha az oranda da olsa lösemiler ön plandadır. Tüm vücut ışınlanması uygulananlarda (10-15 Gy) kanser riskinde sekiz kata varan artış gözlenmiştir (12). Yapılan çalışmalarda farklı hasta gruplarında çeşitli kanser türleri için 222 Sv'e kadar verilen radyoterapi dozlarına bağlı olarak hastalarda oldukça çeşitli ikincil kanserler geliştiği gösterilmiştir. Serviks kanseri için radyoterapi verilenlerde sekonder olarak uterus, over, kolon gibi komşu organ kanserleri yanında pankreas, böbrek, Non-hodgkin lenfoma, multipl myeloma ve lösemi gibi diğer ikincil kanserlerin de geliştiği görülmüştür. Hodgkin hastalığı için radyoterapi alanlarda akciğer, meme kanseri ve lösemi geliştiği gösterilmiştir. Meme kanseri nedeniyle radyoterapi alanlarda diğer memede de kanser gelişmiştir (25). Clemons ve arkadaşlarının çalışmasında meme dokusunun puberte ve 30 yaş arasında maruz kalınan radyasyona daha duyarlı olduğu ve bu çağlarda radyasyona maruz kalan meme dokusunda ortalama 15 yıl sonra kanser geliştiği görülmüştür. Bu çalışmada Hodgkin hastalığı nedeniyle çocukluk döneminde radyoterapi alanlarda radyoterapiye sekonder 30-40 yaş aralığı gibi erken yaşlarda meme kanseri görüldüğü bildirilmiştir (26). Daha düşük dozların kullanıldığı radyodiagnostik inceleme sonuçları üzerine yapılan araştırmalarda lösemi sıklığında artış olabileceği belirtilmektedir. Radyografi ve BT incelemeleri ile kemik iliğinin aldığı ortalama dozlar yetişkinlerde 0.75-1.14 mGy aralığında hesaplanmaktadır. Bunun yol açacağı kansere bağlı ölümlerdeki risk artışı en yüksek 1/17000 olarak tahmin edilmektedir. Bu risk, iş kazalarında meydana gelen ölümlerle aynı orandadır. Mammografi ile ortalama 0.2 cGy'lik (2 mSv) doz alınmaktadır. Erken tanı için mammografik tarama yapılması meme kanserlerindeki ölüm oranını azaltmıştır; ancak bunun 40 yaşlarından sonra 1-2 yıl aralıklarla uygulanması tavsiye edilmektedir. Doğurganlık çağındaki kadınlarda ortaya çıkabilecek bilinmeyen gebelik riski nedeniyle, pelvik ve

abdominal radyolojik incelemelerin mensturasyonun ilk 10 gününde yapılması; gonadların ışına maruz kaldığı bir inceleme veya tedavi sonrasında ise hamileliğin altı ay süreyle geciktirilmesi önerilmektedir (12). Yapılan çalışmalarda iyonizan radyasyon içeren radyolojik tetkiklere erişkinden daha ziyade çocukluk ve adölesan çağlarında maruz kalan hastalarda farklı kanser türleri için kanser gelişme riskinde anlamlı artışlar olduğu görülmektedir (25). Doody ve arkadaşlarının yaptığı kohort çalışmasında skolyoz nedeniyle geç çocukluk ve adölesan dönemlerinde tanısal radyolojik izlemler sonucu sık iyonizan radyasyona maruz kalan hastalarda meme kanserine bağlı mortalite riskinde önemli artışlar olduğu açığa çıkmıştır (27). Bu çalışmanın devamı niteliğinde olan Ronckers ve arkadaşlarının çalışmasında meme kanseri gelişimine katkı oluşturacak düşük doz iyonizan radyasyon eşik değeri 1-3 cGy (10-30 mSv) olarak saptanmıştır (28). Özellikle floroskopik tetkikler olmak üzere tüberküloz nedeniyle iyonizan radyasyon içeren radyolojik tetkiklerle izlenen çocuklarda meme kanseri riskinde anlamlı artış olduğu bildirilmiştir (29,30). National Radiological Protection Board (NRPB)'ın radyolojik koruma bülteni Eylül 2001 verilerine göre radyolojik tetkiklerin yaşam boyu kanser geliştirme riski Tablo 3 te sunulmaktadır (21).

Tablo 3. Radyolojik Tetkiklerin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskleri

Radyolojik Tetkik	Her Bir İncelemenin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riski
Akciğer grafisi Diş Grafisi Ekstremitte Grafisi	1 / 1.000.000 dan az
Kafa Grafisi	1 / 1.000.000 – 1 / 100.000 arası
Mammografi Kalça Grafisi Vertebra Grafisi Abdomen Grafisi Pelvis Grafisi Beyin BT Akciğer Sintigrafisi Böbrek sintigrafisi	1 / 100.000 – 1 / 10.000 arası
Intravenöz Piyelografi Özefagus Mide Duedonum Grafisi Kolon Grafisi Toraks BT Abdomen BT Kemik Sintigrafisi	1 / 1.000 – 1 / 10.000

2.8. Tanısal Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Doz Miktarları

UNSCEAR 2000 raporunda ülkelerin sağlık durumlarına göre yapılan sınıflamada, seviyeler arasında, toplumun tıbbi incelemelerden her yıl aldığı kişi başı ortalama efektif doz değerleri, seviye 1 ülkelerde 1.3 mSv iken, seviye 4 ülkelerde 0.02 mSv'dir. Dünya genelinde ise ortalama tıbbi incelemelerden alınan doz 0.4 mSv'dir. İyonizan ışın kullanan tanısal işlemler insan eliyle oluşturulan tıbbi radyasyonun en önemli kaynağıdır. ABD'de yılda yaklaşık 250 milyon X-ışını içeren tanısal radyolojik tetkik ve 8 milyon nükleer tıp incelemesi yapılmaktadır (25). Dünyada en yaygın uygulanan radyolojik tetkik akciğer grafisi olup tüm radyolojik uygulamaların %41'ini oluşturmaktadır. Posteroanterior (PA) ve lateral grafiden oluşan iki yönlü akciğer grafisinde cihazın voltaj değeri, analog ya da dijital sistem olmasına göre maruz kalınan efektif doz değerleri 0.06-0.25 mSv arasında değişim göstermektedir. İki yönlü akciğer grafisinde, PA grafi bu dozun yaklaşık %25'ini, lateral grafi ise yaklaşık %75'ini içerir (31). BT ise tüm radyolojik tetkiklerin %5'ini oluştururken kişi başına düşen yıllık doz miktarına %34 katkı sağlar (19,21). Medikal maruziyette en büyük pay BT'nindir. Görece dozu yüksektir ve son zamanlarda gittikçe kullanımı artmaktadır (9,32-34). 1980'den bu yana pediatrik BT incelemelerinde tahminen %800'lük bir artış olmuştur (35). İngiltere'de 1990 yılında radyolojik işlemlerin sadece %4'ü BT olduğu halde alınan dozun %40'ı BT kaynaklıdır. ABD'de 2000 yılında bu oran %10 olduğu halde alınan ışın dozunun yaklaşık %65'i BT'den kaynaklanmaktadır (19,34). BT'den alınan doz miktarı çok kesitli BT (ÇKBT) ile daha da artacaktır (4,15,32-33). BT'de radyasyon dozunun dağılımı radyografidekinden belirgin şekilde farklıdır. Işın çok iyi sınırlandırılmıştır, ışının geçtiği doku hacmi radyografiden daha azdır. Işının geçtiği doku 360° her yönden ışınlandığı için doz her tarafta eşittir, radyografide ise gittikçe azalır. BT görüntüleri için yüksek sinyal gürültü oranına ihtiyaç duyulur, doz yüksektir. Örneğin bir PA grafisinde ekspozur değerleri 120 kVp (kilovoltaj) - 5 mAs (miliampersaniye), ise BT'de 120 kVp - 200 mAs'dır. Normalde insanın eni kalınlığından fazladır. Aynı mAs değeri kullanıldığında ince yerlerde sinyal gürültü oranı yüksek, kalın yerlerde düşük olur. Ölçüm 360°

yapıldığından düşük sinyalin gürültüsü tüm görüntü üzerine oturur. Bunu önlemek için gantrinin (tüp ve dedektör sistemini içeren kısım) birkaç dönüşünden sonra kalın yerlerde otomatik olarak mAs artırılır, ince yerlerde düşürülerek sinyal gürültü oranı yüksek tutulur. BT aygıtlarında doz profili aksiyel kesit boyunca her yerde eşit değildir, yüzeyde derinden daha fazla olabilir. Kranial BT'de yüzey/merkez oranı 1/1 iken bu değer gövdede 2/1 dir. BT'de kesitin dışındaki dokular da ışınlandığından kesit sayısı arttıkça doz da artar. Bir toraks BT tetkikinde maruz kalınan efektif doz miktarı cihazın türü, uygulama parametreleri, kesit sayısı, kesit kalınlığı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak 3- 27 mSv arasında değişiklik gösterebilir (36). Tipik bir kranial BT incelemesinde (120 kVp, 300 mAs) hastanın en yüksek doz alan herhangi bir bölgesinin aldığı miktar 40 mGy (40 mSv)'dir. Abdomende ise 120 kVp, 250 mAs değerlerinde bu miktar 20 mGy'dir. BT-fluoroskopide, fluoroskopi süresi ve seçilen tekniğe bağlı olarak yüksek deri dozu alınabilir. BT-fluoroskopide 20 mAs kullanılır. Bu normal kesitte verilen dozun 1/10'udur. Lensin aldığı doz 40 mGy'dir. Bu değer katarakt dozunun (2 Gy) çok altındadır. Deri dozu 20-40 mGy olup eritem seviyesinin çok altındadır. Fetüs doğrudan ekspozel olursa 120 kVp-250 mAs değerlerinde embriyo dozu 15 mGy'dir. Embriyo, doğrudan ışın geçen bölgeden 8 cm uzakta ise bu dozun en çok %10'unu alır (9). Temel radyasyon riski kanser indüksiyonudur. Hastadaki kanser riski, doza ve ışınlanan organların ışına duyarlılıklarına bağlıdır ve en iyi etkin doz ölçütleri ile belirlenir. BT'deki etkin dozlar radyografinin çok üstündedir. Teknik değiştirilmeden uygulandığında çocukların aldığı etkin doz yetişkinlere göre kranial BT'de 4 kat, abdomen BT'de 2 kat daha fazladır. Bunun nedeni dozun birim kütleye yüklenen enerji olması ve çocuk yapılarının küçük olmasıdır. Pediatrik olgularda düşük doz BT yapılmalıdır (9). Hastanın etkin dozu ve riski hastaya yüklenen total enerji miktarı ile artar. Dolayısı ile tüp akımı ve tarama zamanı ile artar. Kesit sayısı arttıkça alınan doz artar. Kontrastlı ve kontrastsız inceleme birlikte yapıldığında doz 2 kat artar. Çoklu faz çalışmalarında (dinamik çalışma) ise faz sayısı kadar doz artımı olur. ÇKBT'de hasta dozu, ışınlama değerleri ve kesit kalınlığı x kesit sayısı aynı kalmak koşulu ile Helikal BT'dekine eşittir (9). ÇKBT'de aralıksız taramayla yapılan incelemede maruz kalınan doz, tek kesitli

BT ile yapılan kesitsel inceleme ile karşılaştırıldığında bir pelvik incelemede yaklaşık %69 daha fazladır (34). Avrupa komisyonu - Radyasyondan Korunma 118 - Görüntüleme Kılavuzu 2008 Güncelleme Raporunda (European Commission. Radiation Protection 118 Update Mars 2008 Referral Guidelines For Images) 2000'li yıllarda radyolojik tetkiklerde ve nükleer tıp çalışmalarında maruz kalınan efektif dozlar mSv birimiyle belirtilmiştir. Aynı zamanda bu raporda bir PA akciğer grafisiyle diğer radyolojik tetkiklerin sayısal oranlaması yapılarak diğer tetkiklerin kaç PA akciğer grafisine eşdeğer olduğu sunulmuştur. Yine bu raporda yeryüzünün yıllık doğal radyasyon miktarı 2.2 mSv baz alınarak radyolojik tetkiklerin yıllık doğal radyasyon miktarı ile süre olarak kıyaslaması yapılmıştır. Bu veriler Tablo 4'te sunulmuştur (37).

Tablo 4. Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozu Değerleri, PA Akciğer Grafisiyle Sayısal ve Yeryüzü Doğal Radyasyonu İle Süresel Eşdeğerliği

Radyolojik Tetkik	Tipik Efektif Doz (mSv)	Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği	Yeryüzü Doğal Radyasyonu ile Süresel Eşdeğerliği
PA Akciğer Grafisi	0.02	1	3 gün
Ekstremiteler ve Eklem Grafisi	0.01	0.5	1.5 gün
Kafa Grafisi	0.06	3	9 gün
Torakal Vertebra Grafisi	0.7	35	4 ay
Lomber Vertebra Grafisi	1.0	50	5 ay
Kalça Grafisi	0.4	20	2 ay
Pelvis Grafisi	0.7	35	4 ay
Abdomen Grafisi	0.7	35	4 ay
IVP	2.4	120	14 ay
Baryumlu Özefagus Yutma Grafisi	1.5	75	8 ay
Baryumlu Mide Grafisi	2.6	130	15 ay
Baryumlu İnce Barsak Pasaj Takip Grafisi	3	150	16 ay
Baryumlu Kolon Grafisi	7.2	360	3.2 yıl
Beyin BT	2.0	100	10 ay
Toraks BT	8	400	3.6 yıl
Abdomen veya Pelvis BT	10	500	4.5 yıl
Akciğer Ventilasyonu (Xe-133)	0.3	15	7 hafta
Akciğer Perfüzyonu (Tc-99m)	1	50	6 ay
Böbrek (Tc-99m)	1	50	6 ay
Troid (Tc-99m)	1	50	6 ay
Kemik (Tc-99m)	4	200	1.8 yıl
Dinamik Kardiyak (Tc-99m)	6	300	2.7 yıl

Çocuklarda tarama alanı ve vücut/kitle indeksleri daha küçük olduğu için radyolojik tetkikler uygulanırken tetkik parametreleri ayarlanarak doz azaltılmasına gidilmelidir. Beş yaşındaki bir çocuğun uygun parametrelerle elde olunan radyolojik tetkiklerde maruz kalacağı ortalama efektif doz miktarları Tablo 5' te sunulmuştur (38).

Tablo 5. Beş Yaşındaki Bir Çocuğun Uygun Parametrelerle Elde Olunan Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalacağı Ortalama Radyasyon Doz Miktarları ve Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği

Radyolojik Tetkik	Doz (mSv)	Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği
3 Yönlü Eklem Grafisi	0.0015	0.07
2 Yönlü Akciğer Grafisi	0.02	1.0
Abdomen Grafisi	0.05	2.5
Floroskopik Sistogram	0.33	16.0
Beyin BT	4.0	200.0
Toraks BT	3.0	150.0
Abdomen BT	5.0	250.0
Tc-99m2 Radyonüklid Sistogram	0.18	9.0
Tc-99m Kemik Sintigrafisi	6.2	310.0
FDG PET Tarama	15.3	765.0

2.9.Diyagnostik BT ve Radyasyon riski

Bütün Dünya genelinde BT tetkiklerine ihtiyaç giderek artmakta ve bunun sonucunda insanlarda radyasyon maruziyeti de orantılı olarak artmaktadır. Hastanelerde yapılan görüntüleme çalışmalarında insanların aldığı radyasyonun büyük kısmı BT'den kaynaklanmaktadır. Tüm radyolojik tetkiklerin %13'ünün BT olmasına rağmen alınan radyasyonun %70'den fazlasının bu tetkikten kaynaklandığı saptanmıştır (39). Son 20 yıl içinde ABD ve İngiltere'de BT kullanımının sırası ile 20 kat ve 12 kat arttığı bildirilmiştir (40). Bu nedenle klinisyen ve radyologların bu teknolojinin doğurduğu radyasyon ve önlemler konusunda yeterli bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Tıbbın diğer birçok dallarında olduğu gibi BT kullanımının yararları dışında bazı sakıncaları da bulunmaktadır. BT uygulamalarının başlıca sakıncaları arasında, BT ile insidental veya benign bir lezyonun saptanması durumunda gereksiz girişimsel yöntemlere ihtiyaç duyulması ve bunun da ek riskler doğurması, oldukça yüksek X-ışını nedeniyle insanlarda kanser oluşma riskini artırması sayılabilir.

BT tekniğinde radyasyonun doku içindeki yayılımı konvansiyonel radyografik tekniğe göre çok farklıdır ve geniş bir alanda daha yoğun dağılım gösterir. BT de yeni geliştirilen teknolojiler sonucunda röntgen tüp endüstrisinde de ilerleme kaydedilmiş ve sonuç olarak daha iyi görüntüleme sağlanmakla birlikte uygulanan radyasyon dozları da yükselmiştir. Buna karşın yeni BT teknolojisinde radyasyon absorpsiyon dozu eski BT teknolojilerine göre %40 daha fazladır. BT tetkiklerinde giriş dozlarının ölçümü oldukça zordur ve kVp, mAs, kesit alma eğimi (Pitch), filtrasyon, kesit kalınlığı ve diğer bazı değişkenlere bağlı olarak çok geniş yelpazede farklılıklar gösterir. Doz konusunda değerlendirme yaparken gerçek dozlar ile efektif dozların anlamlarının iyi anlaşılması gereklidir. Gerçek doz, ışınlanan alandaki dokunun 1 gramında ortaya çıkan enerji miktarıdır. Efektif doz ise risk konusunda tahmine dayalı olarak türetilmiş yapay bir değerdir (41).

Bugün BT tetkiki sırasında radyasyon miktarının azaltılmasında düşük mA tekniği en sık olarak uygulanan yöntemdir. Buna ilave olarak uygulanan diğer

yöntemler yüksek eğimli tarama (High pitch) ve düşük tepe kV teknikleridir. Daha az oranlarda kullanılan 1-Uygulama sırasında kalın kolimasyon 2- Tüp akımının otomatik modülasyonu ve 3- z -aks kapsama alanını daraltma yöntemleri ile radyasyon oranları daha da aşağıya çekilebilir.

BT tetkiklerinde radyasyon dozları tanımı için BT doz indeksi (CTDI_{VOL}) terimi kullanılmaktadır. Bu birim kesit dokusuna verilen ışının kesit yüzeyi ve altındaki radyasyon dağılımı konusundaki değerlendirmelerde kullanılır ve tanımlama konusunda başlıca sayısal değerdir. Bu değer, genellikle kesiti alınan dokunun merkezinde, yüzey dozu olarak ve 1 cm'den daha yüzeyde olmayan derinliklerde alınan ölçümleri ifade eder. Bunun dışında BT tetkiki sırasında verilen X-ışınının doku içindeki değişkenlikleri yani çevreden merkeze yayılırken oluşan doz farklılıklarının kapsamı değerlendirilirken "Ağırlıklı CTDI" veya "CTDI-w" birimi kullanılır. Bu değer birbiri ardı sıra kesit hacimlerinde dokuların aldığı ortalama dozu ifade eder. BT kesit aralıklarında boşluklar veya dozlarda katlanmalar oluştuğunda bunlar CTDI-w terimi yerine "CTDI-Hacmi" veya (CTDI- CTDI_{VOL}) şeklinde belirtilir ve birim kesit hacmi içindeki ortalama radyasyon dozunu gösterir. CTDI_{VOL} birimi miligrey (mGy) olarak ifade edilir. "CTDI vol" terimi kesit serilerinde alınan ortalama doza ait ölçü indeks değeridir (41).

BT sistemlerinde radyasyon ile ilgili parametreler 1- Kesit geometrisi 2- X- ışın tütünün akım ve voltajı 3- Işın sınırlayıcılar (Kolimasyon) 4- Masa hız ve kesit alma eğimi (Pitch) 5- Masa çemberi (Gantry) nin dönüş süresi 6- Kesit alma uzunluğu ve 7- Işın koruma (Shielding) gibi çeşitli etkenlere bağlıdır. Uygulayıcı bu parametrelerin birçoğunu kontrol edebilir ve görevli teknisyen görüntü kalitesini uygun şekilde düzenleme olanağına sahiptir. Tüp akımının azaltılması, radyasyon dozunu düşürmek için en kestirme yöntemdir. Örneğin tüp akımında %50 azalma ile radyasyon miktarı yarı yarıya azalır. Tüp akımının azaltılması ile görüntü kalitesinde özellikle pediatrik olgularda belirgin bir bozulma olmayacağı da gösterilmiştir. Ancak tüp akımında azaltılma konusunda dikkatli olunmalıdır. Zira tüp akımının azaltılması, görüntü parazitinin artışına ve tanıda güçlüğüne yol açabilir. Otomatik Tüp Akım Azaltma tekniği (Tube Current Modulation) radyasyon dozunu düşüren yeni bir

teknolojik buluştur. Bu tekniğin teorisi, ışın gönderimi sırasında kuantum parazitine göre tüp akımının ayarlanmasıdır. Tüp akımının hasta vücut anatomisine göre ayarlanması ile görüntüde arzu edilen parazit oranı sabitlebilir ve doz etkinliği artırılabilir. Otomatik tüp akım ayarı için bugün 2 yöntem vardır. Bunlar 1- z- aks modülasyonu ve 2- Anguler (x veya y aks) modülasyonudur. Her iki yöntem de birbirini tamamlayıcı etkinlik gösterirler, z- aks modülasyonunda tüp akımı, görüntüleme verisinde kullanıcının seçtiği kuantum parazit derecesini sabitleme için ayarlanır. Elde olunan son görüntüde kullanıcının arzu ettiği parazit düzeyi ayarlanır. Diğer bir anlatım şekli ile bu teknik klasik röntgen aygıtlarında uygulanan “Otomatik Ekspozur Tekniği” nin BT deki karşılığıdır (42-47).

“Z-aks modülasyon tekniği” hasta anatomisi ve boyutu ile ilişkili olmaksızın tüm görüntülerin benzer parazit ile oluşturulması esasına dayanır, z- aks ayarlanması ile donanımlı aygıtlarda, sabit tüp akım yöntemli sistemlere oranla doz azaltılmasının daha yüksek olacağı umulur. Zira küçük hastalarda veya ufak organ BT tetkiklerinde tüp akımı otomatik olarak azaltılır, z-aks modülasyonu son yıllarda çok algılayıcı BT sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Anguler modülasyon, z- modülasyona göre konu açısından farklılık gösterir. Bu uygulama sırasında tüp akımı, vücutta çeşitli açılardan gelen ışınların radyasyon miktarı en az olacak şekilde ayarlanır. Yöntemde tüp akımı tüm görüntüdeki parazit miktarını örnek alır ve buna göre otomatik olarak düzenlenir. Vücudun ön-arka çapı lateral vücut genişliğine oranla çok dar olduğu için ön - arka görüntüleme X-ışın miktarı çok daha düşük dozlu ve görüntü paraziti de az olur.

Eski sistemlerde tetkik öncesi temel görüntü üzerinde anguler modülasyon gerekirken son yıllarda çıkan aygıtlarda bu ayarlama otomatik olarak yapılmaktadır. Bu teknikle görüntü paraziti belirgin bozulma olmaksızın radyasyon oranı %25 kadar düşürülebilmektedir (48-53).

Son araştırmalar sonucu helikal (spiral) BT aygıtlarında yapılan pediatrik tetkiklerde anguler modülasyon uygulaması ile, tetkik edilen organlara göre %10-60 kadar oranlarda düşük radyasyonlu görüntülemeye olanak sağlandığı

bildirilmiştir. İdeal BT tekniğinde sistem hem z - aks hem de anguler modülasyon uygulayabilmelidir. Keza cihaz üzerinde hasta ağırlığı ve enine genişliği gibi basit ölçümler esas alınarak tüp akım ayarının seçilebileceği manuel tekniklere de yer verilmelidir. BT’de güncel temel doz düşürme yöntemleri şöyle özetlenebilir:

- kVp sabit tutulurken mAs düşürülür.
- mAs sabit tutulurken kVp düşürülür.
- kVp 120- 140’a yükseltilirken mAs en az %50 düşürülür.
- BT’nin kesit eğimi (Pitch) azaltılır (41).

BT tetkiklerinde radyasyonu azaltma konusunda önemli diğer bir etken kesit sayısıdır. Sadece incelenmesi gereken bölgenin tetkiki için klinisyen ile yakın bağlantı kurulmalı ve tetkik edilecek alan dışına radyasyon verilmemelidir. Keza helikal (Spiral) BT aygıtlarında doku kesitleri, tüpün hasta etrafında türbişon şeklinde dönüşü ile elde olunur. Bu dönüş sırasında ilerleme eğimi (Pitch) fazla olursa tetkik daha kısa sürede biteceği ve doku kalınlıkları fazla olacağı için hastanın alacağı radyasyon da o kadar az olur. Böyle spiral BT sistemlerinde ışın sınırlayıcılar, masa hareketi ve ilerleme eğimi (Pitch) birbirleri ile ilişkili parametrelerdir ve görüntü kalitesine etki yaparlar. Tüp akımı sabit iken yüksek dönüş eğimi, ışın sınırlayıcı (Kolimasyon) ve kısa süreli masa hareketi radyasyon miktarını azaltıcı etki yaparlar. Ancak “Efektif mAs” ayarı ile işlerlik gösteren (mAs / ilerleme eğimi) BT sistemlerinde radyasyon sakıncasını ortadan kaldırmıştır. Bu tür sistemlerde ilerleme eğimi değişikliği radyasyon dozunda bir farklılığa neden olmaz. Keza çok algılayıcı modern BT sistemlerinde ilerleme eğimi değiştiğinde görüntü netliğini korumak için tüp akımı otomatik olarak ayarlanabilir. (41)

BT teknolojisinde tetkik alanı içinde gözler, meme ve gonadlar gibi radyasyona duyarlı organların korunması, özellikle çocuk ve gençlerde önem taşır. Tetkik alanı dışında kalan tiroid, meme gibi organların kurşunlu koruyucularla örtülerek korunması büyük yarar sağlar. Beaconsfield ve arkadaşlarının çalışmalarında, kranial BT tetkiki dışında kalan tiroid ve memenin korunması

sonucu bu organların sırasıyla %45 ve %76 kadar daha az radyasyon aldıkları gözlenmiştir. Bu nedenle tetkik sırasında eksternal koruma ile komşu organların bu yöntemle korunmasının yararlı olacağı düşünülmüştür (41).

2.10.ALARA Prensibi

Alara prensibi her bir BT çekiminin hasta için bireysel olarak değerlendirilmiş olması, gerekçeleri klinisyen ve radyolog tarafından belirlenmiş olmasını öngörür (54). Alara (As Low As Reasonably Achievable, ALARA) prensibi olarak bilinen tıpta radyasyondan korunma için yol gösterici ilkeler şunlardır:

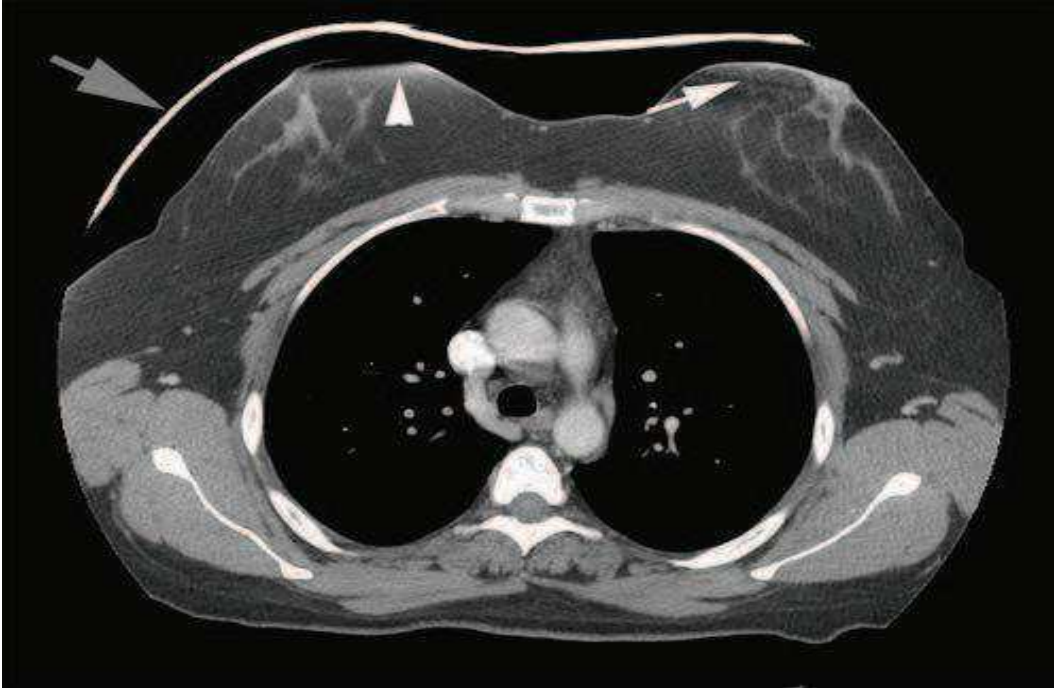
1. Justifikasyon: Işınlanan kişilere veya topluma, radyasyondan kaynaklanacak hasarları dengeleyecek net bir yarar sağlamayan hiçbir ışınlamaya izin verilmemelidir.
2. Optimizasyon: Uygulanması kaçınılmaz ışınlanmalarda bireysel dozun büyüklüğü ve ışınlanan kişilerin sayıları, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak mümkün olan en düşük etkin dozun alınması başarılmalıdır.
3. Limitasyon: Mesleki maruziyeti olan bireyler (radyolog ve teknikerler) için ulaşılmış sınırlar mevcuttur, ancak tıbbi gereklilik hali için bir limit mümkün olamayacağından, medikal uygulamalarda, öncelikli tanı ve tedavinin amacına ulaşır sınırdan doz esas alınmalıdır (55,56).

2.11. Bizmut koruyucular

Meme, tiroid bezi ve göz gibi yüzeysel radyosensitif organlarda radyasyona maruziyeti azaltmak için bizmut koruyucu bir teknik olarak önerilmiştir (57). Fix miliamper tekniklerle karşılaştırıldığında %29'dan %57'ye kadar uzanan önemli derecede radyasyon dozu azalması bildirilmiştir (57-58). Bizmut koruyucu, bizmut emdirilmiş latex yapraklardan oluşur ve helikal BT taraması sırasında radyosensitif dokuların üzerine yerleştirilir. X-ışını tüpü ve radyosensitif organ arasında foton atenüasyonu yapmak üzere serilir ve radyasyona maruziyeti azaltır. Radyosensitif organlara diğer projeksiyonlardan gelen radyasyon

maruziyetini azaltmaz. Örneğin meme koruyucular glanduler dokuya anterior-posterior projeksiyonda gelen ışını azaltır ancak posterior-anterior ışını azaltmaz (48)..Az sayıda çalışma bizmut koruyucunun doz koruyuculuğunu ATCM algoritmalarının etkinliği ile karşılaştırmıştır veya değerlendirmiştir (59,60).

Miliamper değerlerini hesaplamak için Topogram kullanan ATCM sistemleri için, koruyucuların hastaların topogram ve helikal tarama arasında yerleştirilmesi tavsiye edilir (61). Bizmut koruyucuların görüntü kalitesini etkilediği, özellikle görüntü kirliliği ve piksel gürültü artışına neden olduğu ile ilgili tartışmalar çıkmıştır (60). Bazı yazarlar artefaktı azaltmak için cilt ve kalkan arasında 1 cm boşluk kullanılmasını teklif etmiştir (62,63). Şekil 3'te bizmut koruyucu kullanılarak çekilen toraks BT kesiti görülmektedir.



Şekil 3. Bizmut koruyucu kullanılmış bir toraks BT kesiti

2.12. (8-OHdG) 8 Hidroksi 2 Deoksi Guanozin

Sağlıklı bireylerde normal metabolizma sonucunda oluşan reaktif oksijen türevleri (ROT), vücudun antioksidatif savunma sistemi tarafından etkisiz hale getirilir. Sağlıklı organizmada, oksijen radikalleri ile antioksidatif savunma sistemi arasında bir denge vardır. Bu dengenin, radikallerin lehine bozulmasıyla ortaya çıkan duruma oksidatif stres denir (64). Kanser, aterosklerozis, alzheimer hastalığı, artrit ve diyabeti kapsayan birçok hastalık ve yaşlanma; protein, lipid, karbonhidrat, DNA gibi biyolojik maddeler üzerinde, oksidatif stresin yarattığı bozukluklarla ilişkilidir. Biyolojik maddelerdeki oksidatif stresin çoğunluğu DNA baz oksidasyonu olup, bu hastalıkların başlamasında ve ilerlemesinde rolü olduğu kabul edilmiştir (65). Süperoksit radikalleri ve hidrojen peroksit oluşumunda, metal iyon bağımlı hidroksil (OH) radikalleri yer almaktadır. İyonize radyasyon ve hücre sel su arasındaki etkileşim neticesinde OH radikalleri ve diğer serbest radikaller oluşur (66). Hidroksil radikalleri gibi serbest radikallerin, DNA'da oluşturduğu oksidatif hasar; baz ve şeker hasarına, zincir kırıklarına ve DNA protein çapraz bağlanması gibi çoklu bozuklukları içeren değişikliklere neden olur. Pürinden üretilmiş hasarlı yapı 8-hidroksiadenin (8-OH-Ade) olup DNA'daki adeninin C-8 pozisyonuna hidroksil radikallerinin eklenmesiyle ve oksidatif C8-OH ekleme radikallerinin devamıyla oluşmaktadır. Bu içerik, deneysel koşullar altında in vitro ve in vivo olarak serbest radikallerin DNA hasarındaki tanımlandığı başlıca üründür (67). Birçok farklı oksidatif hasar ürününün tanımlanmasına rağmen guanin türevi hasarı olan 8- OH Gua ve ona bağlı deoksinükleosid 8-OHdG birçok çalışmaya konu olmuştur (68). 8-OHdG'nin idrar seviyeleri, DNA'nın endojenik oksidatif hasarının önemli belirtecidir (69).

İnsanda 8-OHdG'in ölçümü için HPLC-ECD, GCMS, LC-MS ve immunokimyasal yöntemler önerilmiştir . LC/ECD (elektrokimyasal deteksiyonla kombine yüksek performanslı sıvı kromatografisi) ve LC/MS/MS (tandem kütle spektrometresi) 8 OHdG ölçümünde kullanılan başlıca metoddur (70).

2.13. Mikronükleus

Mikronükleuslar (MN) hücrenin mitoz bölünmesi sırasında ortaya çıkan, esas çekirdeğe dahil olmayan, tam kromozom veya asentrik kromozom fragmanlarından köken alan oluşumlardır. MN sayısındaki artış, çeşitli ajanların hücrelerde oluşturduğu sayısal ve yapısal kromozom düzensizliklerinin indirekt göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Anöploidiyi uyaran ajanlar, sentromer bölünme hatalarına ve iç iplikçiklerinde fonksiyon bozukluklarına yol açarak; klastojenler ise kromozom kırıkları oluşturarak MN oluşumuna katkıda bulunmaktadır (71-74). Günümüzde, hızlı endüstrileşmeye bağlı olarak çevresel kirliliğin giderek artmasıyla, canlılar daha fazla fiziksel ve kimyasal ajana maruz kalmakta dolayısıyla güçlü toksik, mutajenik, karsinojenik ve teratojenik faktörlerin olumsuz etkilerini tespit etme ve önlemler alma ihtiyacı kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle, MN testi sitogenetik harabiyetin tespitinde, kromozom analizine göre kolay uygulanabilmesi, daha fazla sayıda hücre sayılması ve istatistiksel yönden daha anlamlı sonuçlar elde edilmesi avantajı sağlamasıyla yaygın kullanım alanı bulan bir teknik olmuştur (75-84). Mikronucleus kriterlerini Fenech ve arkadaşları "HUMN projeleri" kapsamında ortaya koymuşlardır (85-90).

- HUMN projeleri kurallarına göre mikroçekirdek;

1. Çapı normal çekirdeğin 1/3-1/16 oranında olmalı.
2. Oval , yuvarlak yapıda olmalı.
3. Refraktif olmamalı , diğer artefaktlardan kolaylıkla ayırdedilebilmeli.
4. Ana çekirdekten;
 - a. Ayrı
 - b. Bitişik
 - c. Yakın-Bitişik yapıda olabilir.
5. Ana çekirdek üzerine overlap yapmamalı.
6. Sınırları belli ve kesin olmalı.
7. Ana çekirdek ile aynı boya yoğunluğunda olmalı (bazen daha yoğun olabilir).

- HUMN projeleri kurallarına göre çift nükleuslu hücre (binucleated cell)

kriterleri ise;

1. İki çekirdek yapısı (monocytoplasmic)
2. İki çekirdek ve kesin sınırlandırılmış iki farklı membran.
3. Çekirdekler eşit büyüklükte olmalılar.
4. Ayrı veya bitişik olabilirler.
5. Overlap yapmamalılar.
6. Membranları kesin ayırıcı özellikte olmalı.
7. Farklı boyama yoğunluğunda olmamalıdır.

2.13.1. Mikronükleus Testinin Kullanım Alanları

1980'den sonra deney hayvanlarında gerçekleştirilen kontrollü çalışmalarda kimyasal ve fiziksel ajanların sebep olduğu sitogenetik harabiyetin güvenilir bir göstergesi olarak kullanılan MN çalışmalarının sayısı çok hızlı bir şekilde artmıştır. MN testi sigara, pestisid ve parazitik enfeksiyonlar gibi çevresel ve mesleki etkileri değerlendirebilmek için kolaylıkla kullanılmaktadır (91).

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kontrol Grubu: Toplam 10 adet rat kullanıldı ve bu gruptaki deneklere X-ışını verilmedi.

3.2. X-Ray ve Bizmut Grubu: Toplam 10 adet rat kullanıldı. Bu gruptaki deneklere Toshiba Astenion 4 kesitli BT cihazı kullanılarak 120 kilovolt (Kv), 100 miliamper (mA) değerleri kullanılarak kesit kalınlıkları 3 mm olan aksiyel kesitler alındı. Gantry rotasyon süresi 0.75 sn, field of view (FOV) yaklaşık 15 cm olarak ayarlandı . Bu değerler ratın boyutlarına uygun inceleme parametreleriydi. İşlem esnasında ratlar Bizmut Koruyucu ile korundu. Bizmut Koruyucu altına yerleştirilen Termolusent dozimetre (TLD) ile maruz kalınan doz ölçüldü (Şekil 4 ve 5).

3.3. X-Ray Grubu: Toplam 10 adet rat kullanıldı. Bu gruptaki deneklere Toshiba Astenion 4 kesitli BT cihazı kullanılarak 120 kilovolt (Kv), 100 miliamper (mA) değerleri kullanılarak kesit kalınlıkları 3 mm olan aksiyel kesitler alındı. Gantry rotasyon süresi 0.75 sn, field of view (FOV) yaklaşık 15 cm olarak ayarlandı . Bu değerler ratın boyutlarına uygun inceleme parametreleriydi. İşlem esnasında Bizmut Koruyucu kullanılmadı ve TLD dozimetre ile maruz kalınan doz ölçüldü.

Proje kapsamındaki deneysel çalışmalara Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulundan onay alındıktan sonra başlandı. Bu çalışmada Saki Yenili Deney Hayvanları Laboratuvarından temin edilen 200-250 gr ağırlığındaki 30 adet rat (Whistar Albino rat) kullanıldı. Deney hayvanları, standart barınma koşullarında (12 saat aydınlık / 12 saat karanlık, %50 bağıl nem, 24⁰C oda sıcaklığı) standart fare yemi ve su ile beslenerek barındırıldı. Deneyin amacına uygun olarak hayvanlar üç gruba ayrıldı. İlk grup hiçbir şekilde X-ışınına maruz bırakılmazken, ikinci grup Bizmut koruyucu ile korunarak X-ışınına maruz bırakıldı (Şekil 6) . Üçüncü grup ise hiçbir koruma yöntemi kullanılmadan X-ışınına maruz bırakıldı (Şekil 7). X-ışını üreten modalite olarak BT cihazı kullanıldı. BT çekimi sırasında hareketsiz kalabilmeleri için ratlara çekim öncesinde intraperitoneal ketamin ve ksilazin

uygulandı. Bunun dışında deneysel işlemlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında hayvanlarda ağrı, acı, huzursuzluk yaratabilecek her türlü uygulamadan kaçınıldı.

X-ışınına maruziyetten 72 saat sonra denekler eterle uyutulup batin ve toraks diseksiyonu yapıldı. İntrakardiyak ponksiyonla her bir deney hayvanından 10 cc kan alındı. Daha sonra hayvanlar servikal dislokasyon yolu ile sakrifiye edildi. Femur diseksiyonu yapıldı. Femur kemikleri çıkarıldı. Deri ve kas dokusu gazlı bez yardımı ile temizlendi. Kemiğin proksimal ucu ilik kanalı görülecek şekilde dikkatlice kesildi.

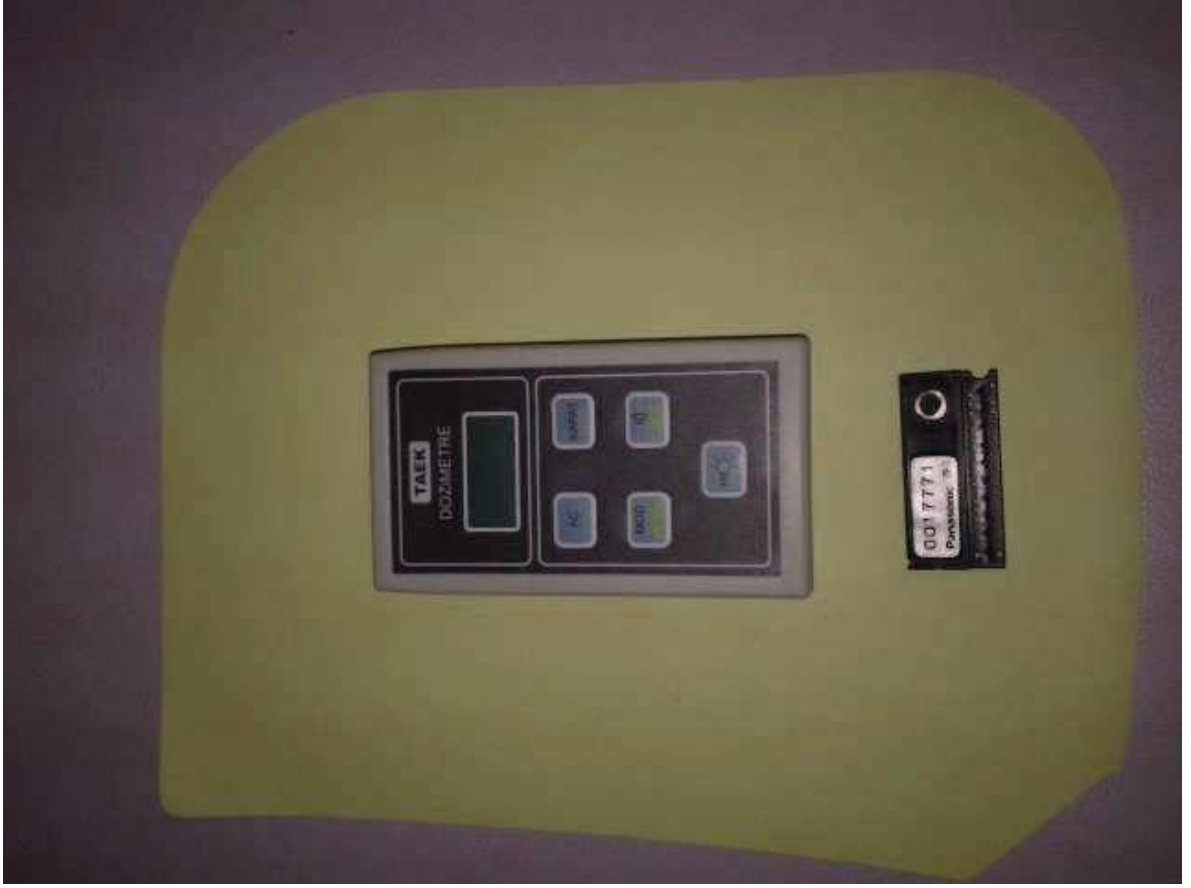
Temizlenip etiketlenmiş lam üzerine kemik iliği ince uçlu bir fırça kullanılarak direkt fırça yayması yöntemiyle yayma yapıldı. Her lam için yayma işlemi yapılmadan fırça Hanks solüsyonu ile yıkandı. Bu yöntemle her denek için 10 adet preparat hazırlandı. Hazırlanan preparatlar laboratuvar koşullarında açık havada bir gün bekletildikten sonra boyama işlemine tabi tutuldu. Preparatlar dikey olarak şalelerde boyandı. Fosfat tamponu kullanılarak hazırlanan Giemsa boya içinde 10 dakika bekletilerek boyandı. Distile su ile yıkandı. Preparatların arkası filtre kağıdı ile kurutuldu. Kontrol ve deney grubundaki her preparat ışık mikroskobu (ZEISS Axioskop 2 plus) kullanılarak 100X immersiyon objektifinde (final büyütme:X1000) değerlendirildi. Değerlendirilen preparatların CCD kamera kullanılarak resimleri çekildi.

Deney hayvanlarından alınan kan örnekleri santrifüje edildi. 8 OH-dG değerleri ise Medsantek'ten edinilen bir ELISA kiti kullanılarak tespit edildi. 8 OH-dG değerleri ng/ml olarak ölçüldü. Deney esnasında 13 numaralı rat kardiyak arrest oldu. Alınan kan örneği pıhtılı olduğu için 8 OH-dG değeri ölçülemedi.

3.4. Kullanılan Maddeler ve Aletler

1. Hanks' Balanced Salts (Sigma)
2. Diseksiyon takımı
3. İnsülin iğnesi

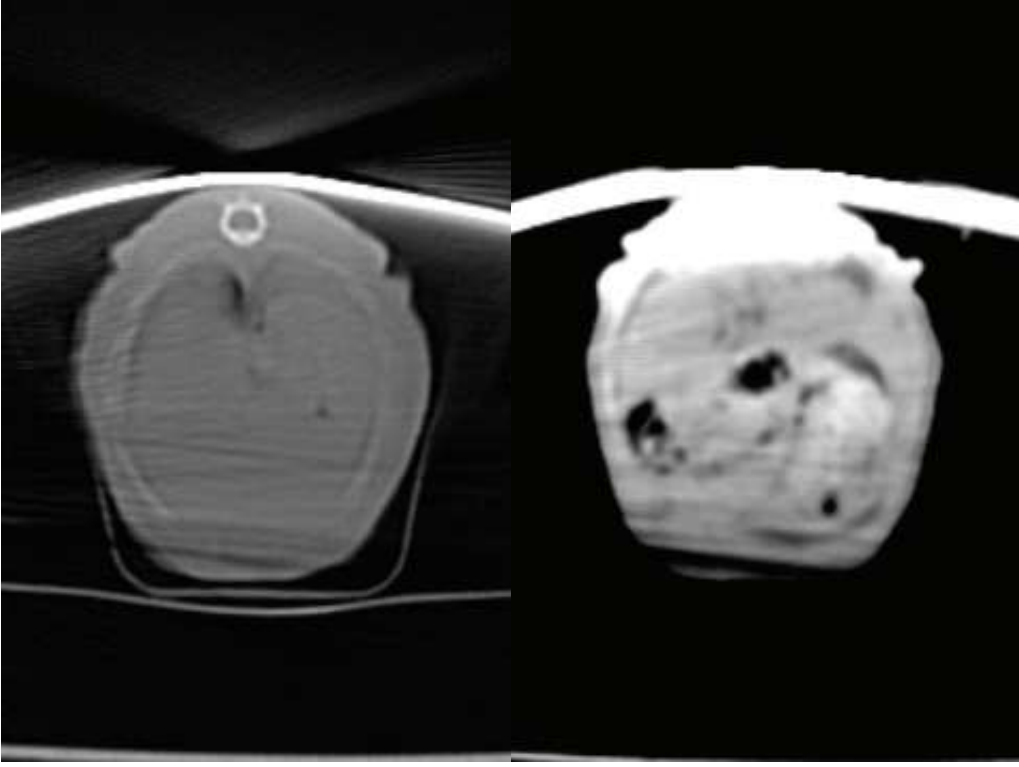
4. BT (X-Ray) cihazı (Toshiba)
5. Bizmut Koruyucu (Cone Instruments)
6. Lam
7. Mikroskop Axioskop 2 Plus (Zeiss)
8. Giemsa (Sigma)
9. Etanol (Sigma)
10. Metanol (Sigma)
11. Santrifüj cihazı (Sanyo)
12. Asetik asit (Sigma)
13. TLD Dozimetre (Panasonic)
14. Biyokimya tüpleri
15. 8OHdG kiti



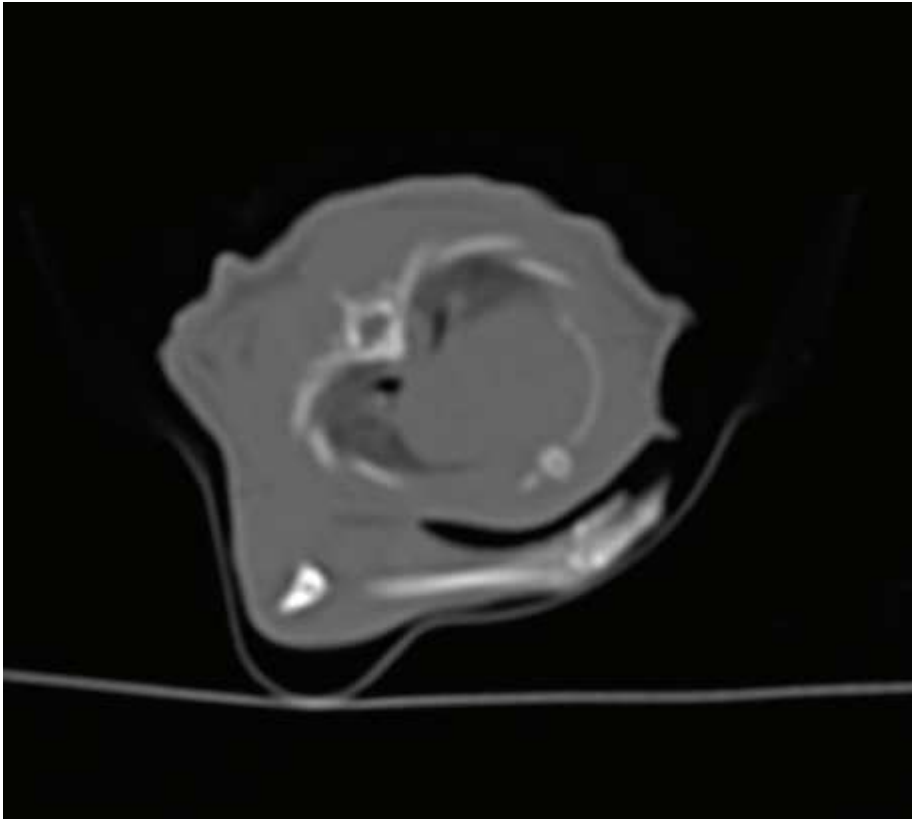
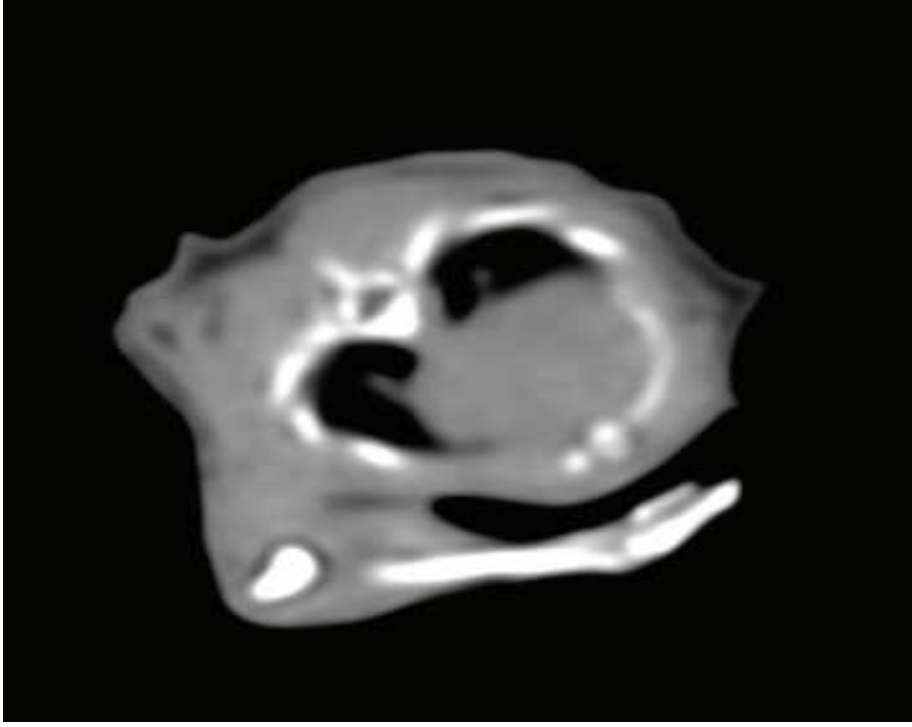
Şekil 4. Araştırmada kullanılan dozimetreler ve Bizmut koruyucu



Şekil 5. Çalışma sırasında ratların Bizmut koruyucu altındaki görüntüleri



Şekil 6. Bizmut koruyucu kullanılan ratlardan elde edilen BT görüntüleri.



Şekil 7. Bizmut koruyucu kullanılmadan X-ışını verilen ratlardan elde edilen BT görüntüleri

3.5.İstatiksel değerlendirme

MN testi sonuçları ki-kare testi ile değerlendirildi. Anlamlılık sınırı $P<0.05$ değeri altı olarak kabul edildi. 8 OH dG sonuçları ise Kruskal Wallis testi ile gruplar arasında değerlendirildi ve anlamlılık sınırı $P<0.05$ değeri altı olarak kabul edildi.

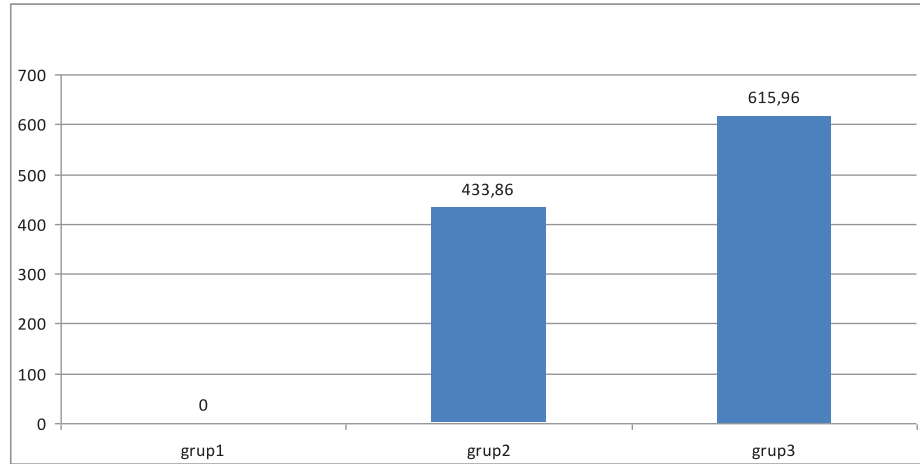
BULGULAR

10'arlı 3 gruba ayrılan ratlarla yapılan araştırmada, kontrol grubu; Grup 1, X-ray grubu + Bizmut grubu; Grup 2 ve sadece X-ray grubu; Grup 3 olarak adlandırılmıştır.

Grup 1 hiçbir şekilde X-ışınına maruz bırakılmadı. Grup 2'nin dozimetri ölçümlerinde, incelemede esnasında ratların maruz kaldığı kümülatif doz ortalama 433,86 miligray (mGy) olarak hesaplandı. Grup 3 ise inceleme esnasında ortalama 615,96 miligray (mGy) doza maruz kaldı (Tablo 6, şekil 8)

Tablo 6. Rat gruplarına verilen radyasyon dozu; Grup 1'e ışınlama yapılmazken, Grup 2'ye bizmut koruyucu ile ışınlama yapılmış e Grup 3'e korumasız ışınlama yapılmıştır. Kümülatif doz miliGray cinsinden tabloda gösterilmiştir.

Grup1	Grup2	Grup3
0	433,86 mGy	615,96 mGy



şekil 8: Rat gruplarının maruz kaldığı kümülatif doz

Tablo 7'da, X-ray uygulaması sonucunda rat kemikiliği retikülosit hücrelerinde oluşan anormal hücre sayıları ve bulunan normal hücre sayıları verilmiştir. Grup 1, Grup 2 ve Grup 3 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p < 0,0001$) (şekil 9).

Tablo 7. Rat gruplarında saptanan toplam mikronukleus hasarı

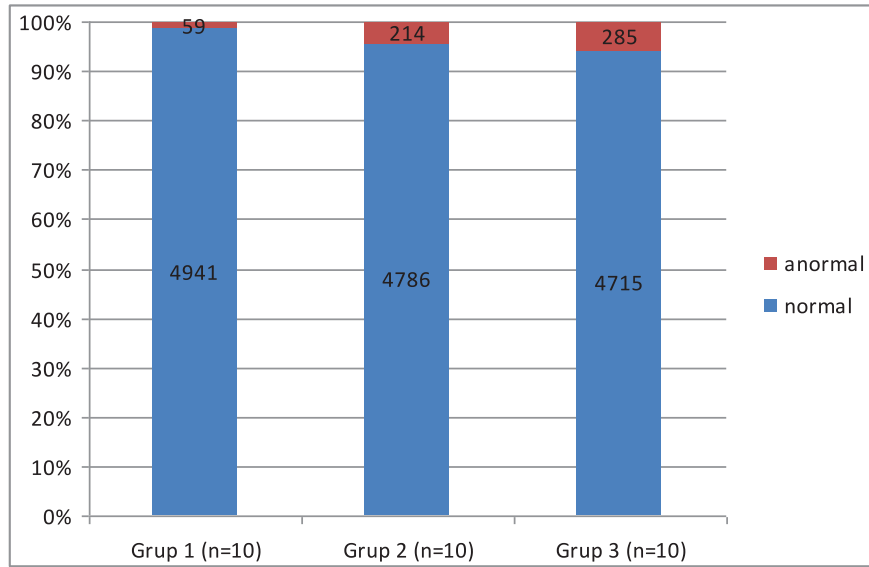
	Hücre Tipi		p	Ki-kare
	Normal	Anormal		
Grup 1	4941	59	<0.0001	149.17
Grup 2	4786	214		
Grup 3	4715	285		

*Pearson chi-square test

Tablo 8’de ise normal ve anormal hücre sayılarından elde edilen yüzde değerleri verilmiştir.

Tablo 8. Rat gruplarında saptanan toplam mikronukleus hasarının yüzde değeri

	grup1	grup2	grup3
normal	98,8	95,7	94,3
anormal	1,2	4,3	5,7

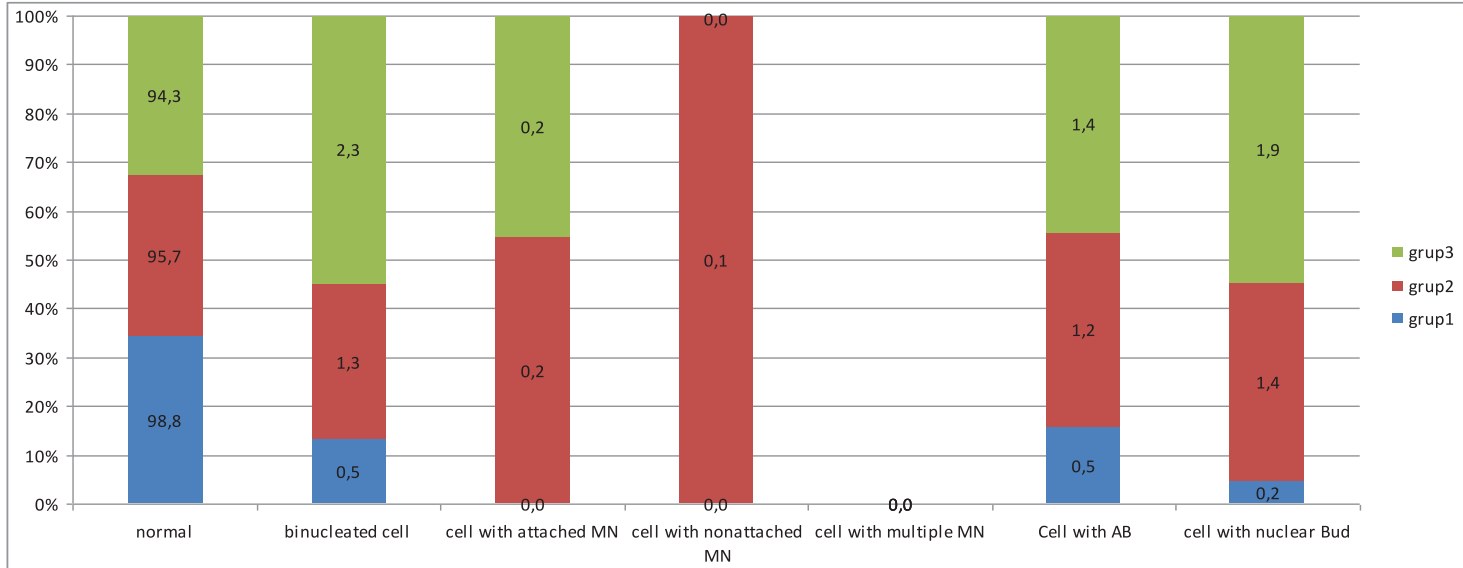


Şekil 9: Rat gruplarındaki normal ve anormal hücre sayıları

Tablo 9’da kontrol ve deney grubu hayvanlarının *in vivo* olarak tıbbi radyasyona maruz kalmasıyla tespit edilen hücre tipleri ve sayıları gösterilmektedir (Şekil 10).

Tablo 9. Rat gruplarında saptanan ayrıntılı mikronukleus hasarı; X-ray uygulamasına maruz bırakılan deney grubunda tespit ettiğimiz hücre yapıları. (**AB:** Anafaz köprüsü, **BN:** Çift nükleuslu hücre, **MN:** Mikronükleus, **NB:** Nükleer tomurcuk, **AMN:** Ataçlı Mikronükleus, **N-AMN:** Ataçsız mikronukleus)

	Normal	BN	AMN	N-AMN	BN	AB	NB
grup1	4941	27	0	0	0	24	8
grup2	4786	66	12	5	0	61	70
grup3	4715	113	10	0	0	68	94



Şekil 10. Rat gruplarında saptanan ayrıntılı mikronukleus hasarı grafiği

Tablo 10'da Oksidatif DNA hasarının önemli belirteci olan rat kanlarında 8 OHdG değerleri verilmiştir.

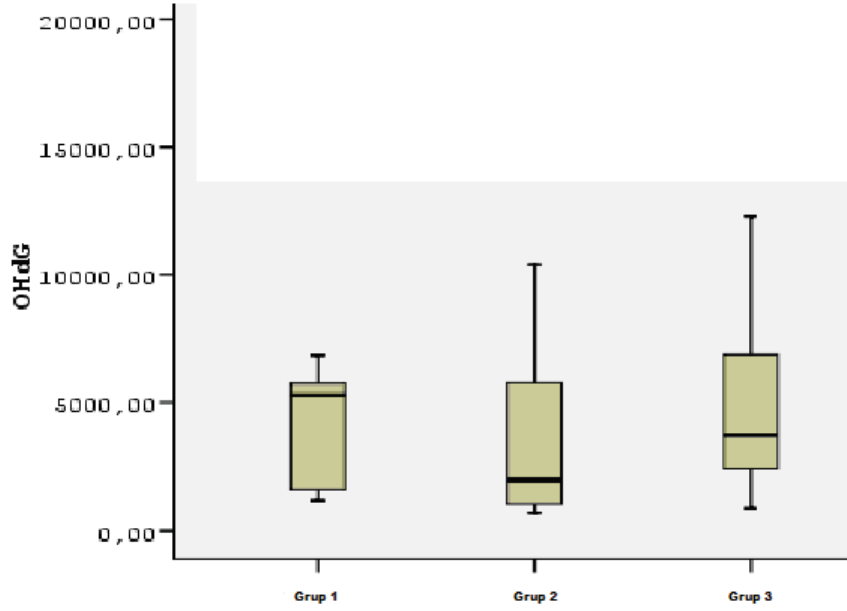
Tablo 10. 8 OhdG'in rat kan değerleri

RAT Numaraları	8 OH dG değerleri (ng/ml)	RAT 16	0,81
RAT 1 (Grup 1)	14,88	RAT17 (Grup 2)	0,68
RAT 2 (Grup 1)	31,94	RAT 18 (Grup 2)	1,96
RAT 3 (Grup 1)	5,16	RAT 19 (Grup 2)	6,8
RAT 4 (Grup 1)	1,6	RAT20 (Grup 3)	1,92
RAT 5 (Grup 1)	10,38	RAT 21 (Grup 3)	1,2
RAT 6 (Grup 1)	8	RAT 22 (Grup 3)	2,4
RAT 7 (Grup 1)	1,18	RAT 23 (Grup 3)	3,74
RAT 8 (Grup 1)	6,84	RAT 24 (Grup 3)	4,76
RAT 9 (Grup 1)	5,44	RAT 25 (Grup 3)	0,88
RAT 10 (Grup 1)	5,76	RAT 26 (Grup 3)	3,4
RAT 11 (Grup 2)	5,78	RAT 27 (Grup 3)	15,98
RAT 12 (Grup 2)	1,04	RAT 28 (Grup 3)	12,29
RAT 14 (Grup 2)	10,42	RAT 29 (Grup 3)	6,88
RAT 15 (Grup 2)	4,52	RAT 13	Çalışma dışı bırakıldı

Tablo 11'de, rat kanlarında 8 OhdG değerlerinin Kruskal Wallis testi ile gruplar arasında değerlendirmesi verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark görülmemiştir (şekil 11).

Tablo 11. Rat kanlarında 8 OHdG değerleri Kruskal Wallis testi sonuç tablosu

	Mean	Std sapma	Ortalama	Min	Max
Grup 1	4.3	2.4	5.3	1.18	6,84
Grup 2	3.8	3.4	1.9	0.68	10.42
Grup 3	5.7	5.2	3.7	0.9	16
Px					0,612



Şekil 11: 8 OH d G değerlerinin gruplar arası dağılımı

TARTIŞMA ve SONUÇ

Röntgen ışınlarının ilk keşfedildiği ve tıpta kullanıma başlandığı zamanlarda, bu ışınlarla uğraşanlarda ciddi birçok biyolojik etkiler meydana gelmiştir (92). Güvenlik sınırlarının altında bile olsa radyasyonun hangi insan üzerinde ne kadar olumsuz etki yaratabileceği henüz tam olarak anlaşılamamıştır (93). Radyasyon enerji transferi olup, hayatın her alanında radyasyona maruz kalınmaktadır. Maruz kalınan radyasyonun büyük çoğunluğunu doğal kaynaklı radyasyon oluşturur. Yapay radyasyon ise insan eliyle yaratılan ve kontrolü mümkün radyasyon grubudur. Yapay radyasyon kaynaklarının büyük kısmını tanısal ve tedavi amaçlı tıbbi kullanım oluşturmaktadır (7). X-ışının ve radyoaktivitenin keşfi ile yapay radyasyon 1800'lü yılların sonunda insan yaşantısına hızla girmeye başlamıştır. Xışının ve radyoaktivitenin radyolojik görüntüleme ile tedavide hızla ve artan şekilde kullanılmasıyla birlikte radyasyonun zararlı etkilerinin olduğu da görülmeye başlamıştır (9,10). Tıbbi ve endüstriyel uygulamalar, radyasyon kazaları ve Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanı sıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Bu çalışmaların başlamasını takip eden iki üç yıl içerisinde ise radyasyondan korunmak gerektiği artık yaygın bir şekilde anlaşılmıştır. 1920'lerin sonuna gelindiğinde, böcekler üzerinde yapılan araştırma sonuçları radyasyonun genetik bozukluklara da neden olduğunu açığa çıkarmıştır (8,10). Özellikle BT olmak üzere tanısal radyoloji tetkiklerinin çeşitliliğinde ve ulaşılabilirliğindeki artış ile iyonizan radyasyon içeren bu tetkiklerin isteminde ve uygulanmasında geçmişe oranla büyük artışlar olmaktadır (32). ABD'de uygulanan BT tetkik sayısı 1980'de yaklaşık 3.6 milyon iken 1998'de 33 milyona çıkmıştır (32). Radyolojik tetkik istemlerinin küçük bir kısmını oluşturan BT tetkiklerinde maruz kalınan doz diğer konvansiyonel röntgen tetkiklerine göre oldukça fazla olup, maruz kalınan yapay radyasyon dozunun da büyük kısmını oluşturmaktadır. Dünya genelinde uygulanan BT tetkikleri tıbbi kaynaklı radyasyonun yaklaşık %40-67'sini oluşturmaktadır. Yeni veriler ÇKBT kullanımının gittikçe artacağını ve bu durumun yeryüzü doğal radyasyonundan sonra hayattaki en büyük yapay

radasyon kaynağını oluşturacağını göstermektedir (34). Görüntüleme yöntemlerinde yaşanan hızlı değişimler hekimlerin bu yöntemleri tanıma, endikasyonlarını doğru tanımlama ve iyonizan radasyon içeriği ile olası riskleri hakkında yeterli bilgilendirilememesine yol açabilmektedir. Yapılan çalışmalarda pediatrik BT tetkiklerinin %25-40'ının uygun endikasyon oluşturmadığı görülmüştür (34,94). Dawson ve Punwani tiroidin radasyon hasarları acısından en önemli organ olduğunu ve radasyonun tiroid kanserlerinin en iyi bilinen nedenlerinden biri olduğunu ileri sürmektedirler (95). Erişkinlerde yapılan iyonize radasyon nedeniyle tiroid kanseri çalışmalarında çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Rusya Federasyonu'nda 1986-90 yılları arasında yapılan bir kohort çalışmasında temizlik işçileri arasında büyük insidans artışı görülmüştür (96).

Hurwitz ve arkadaşları 64 kesitli BT ile yaptıkları çalışmada düşük kilovolt (120 Kvp) ve otomatik doz kontrol sistemini kullanarak memede %27, akciğerlerde %47 doz azaltımı elde etmişlerdir. Bunlara ilave olarak Bizmut koruyucuları kullandığında ise doz memede %45 , akciğerlerde %55 oranında azalmıştır. Akciğerlerde bizmut koruyucuya bağlı imaj kalitesinde bozulmaya rastlamamışlardır (97).

Kalra ve arkadaşları 64 kesitli BT ile yaptıkları fantom çalışmasında Bizmut koruyucuların radasyon dozunu azaltmakla birlikte, imajlarda gürültü, streak artefaktlardaki artışın belirgin derecede olduğunu bildirmişlerdir (98).

Cattuzo ve arkadaşları 64 kesitli ve 8 kesitli BT cihazları ile hem fantom çalışması hem de 23 hasta üzerinde doz çalışması yapmışlardır. alışmaları sonucunda BT protokolleri arasında farklılık olmasına rağmen efektif doz ve organ dozunda %30-60 arasında doz azaltımı saptamışlardır. Bizmut ile korunan ve korunmayan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı sinyal gürültü oranına rastlamışlardır (99).

Simmons G.R. ve arkadaşları skopi cihazı altında kardiyak kateterizasyon uygulanan 40 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada 20 hastada bizmut koruyucu kullanarak işlemi gerçekleştirmiş diğer 20 hastada ise koruyucu kullanmamıştır. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak hasta değil işlemi gerçekleştiren doktorun korunması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda bizmut ile korunan

grupta işlemi gerçekleştiren doktorun aldığı dozun %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (100).

Politi ve arkadaşları benzer planlanmış bir çalışmayı perkütan transradial koroner anjioplasti çekimlerinde uygulamış , Simmons ve arkadaşları ile benzer sonuçlar elde etmiştir (101).

Raissaki ve arkadaşları pediatrik beyin BT çekimlerinde radyasyon dozu azaltımı ve artefaktları değerlendirmek için 60 çocuk hasta üzerinde ve fantom üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada göz koruyucu bizmut örtüleri kullanmışlar, artefaktları değerlendirmek ve oluşabilecek artefaktları en aza indirmek için bizmut koruyucunun uygulama alanını optimize etmeyi amaçlamışlar. 60 çocuğun 56'sı bizmut koruyucuyu tolere etmiş ve çocuk hastaların %45'inde artefakta rastlanmamıştır. Yapılan fantom çalışmalarında ise bizmut koruyucu ile göz küresi arasında en az 8.8 mm boşluk olduğunda artefaktların izlenmediğine dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak göz koruması planlandığında bizmutun göz küresinden yaklaşık 1 cm uzağa yerleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (102).

D.J McLaughlin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise tiroid ve göz için kullanılan bizmut koruyucuların çekim sırasındaki gerekliliği ve ne oranda efektif olduğu tartışılmış, toraks ve beyin BT çekimine dahil edilen 40 hastanın aldığı radyasyon dozları termoluminesan dozimetrelerle hesaplanmış, hastaların yarısı bizmut ile korunmuş, diğer yarısı koruyucu olmadan çekime dahil edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde toraks çekimlerinde tiroid dokusuna direkt X-ışını geldiği için kullanılmasının gerekli olduğuna, beyin BT çekimlerinde ise gantry açısı nedeniyle göze direkt X-ışını gelmediğinden bizmut koruyucuların doz değerlerini yeteri kadar azaltmadığına dikkat çekilmiştir (103).

Gelejins ve arkadaşları bizmut koruyucuların göz lensi, beyin dokusu, tiroid dokusu, meme dokusu, ve akciğer dokusu üzerindeki doz azaltıcı etkilerini değerlendirmek için fantom çalışması planlamış, çalışma sonucunda göz lensinde %27, beyin dokusunda %1, tiroid dokusunda %26, meme dokusunda

%30, akciğer dokusunda ise %15 doz azaltımı olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak çalışma fantom çalışması olduğu için etkilenen organ dozları hakkında yeterli fikir vermemektedir. Diğer çalışmalar gibi bu çalışmada da beam hardening artefaktların fazla olduğu rapor edilmiş ve en çok artefaktın meme koruması sırasında olduğu belirtilmiştir (104).

Lee ve arkadaşları Otomatik expojur sistemi ve bizmut koruyucuları doz azaltma dereceleri ve imaj kaliteleri açısından kıyaslamış, çalışmalarının sonucu olarak her iki yöntemde de efektif olarak doz azaltımının sağlandığını rapor etmişlerdir. Otomatik doz kontrol sistemi ve bizmut koruyucuların kombine kullanımında ise tek tek kullanımdan daha fazla doz azaltımı olduğunu belirlemişlerdir. İmaj kaliteleri kıyaslandığında ise bizmut koruyucularda belirgin bir artefakt oluşumu gözlenen çalışmada, eğer koruyucu kullanılacaksa cilt ile arasındaki mesafenin en az 1 cm olması gerektiği belirtilmiştir (105).

Wang ve arkadaşları bizmut koruyucularla, organ bazlı tüp akım modülasyonu ile ve azaltılmış tüp akımı ile çekilen toraks BT incelemelerinde meme dokusu üzerindeki doz azaltımını kıyaslamalı değerlendirmişler, çalışma için dört ayrı boyutta fantom kullanmışlar her birine tanımlanan doz azaltıcı sistemler ile çekimler yapmışlar ve sonuçları doz azaltma derecesi ve imaj kalitesi açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde organ bazlı tüp akım modülasyonu ile bizmut koruyucuların meme üzerindeki doz azaltıcı etkisi benzer bulunmuştur. Ancak imaj kalitesi değerlendirildiğinde organ bazlı tüp akım modülasyon sistemlerinde belirgin artefakt görülmemesine rağmen aynı dozda bizmut koruyucularda belirgin artefakta rastlanmıştır. Tüp akımının azaltılması ile bizmut koruyucu kıyaslandığında meme üzerindeki doz azaltıcı etkinin ve imajlar üzerindeki gürültü derecesinin benzer olduğu bildirilmiştir. Bizmut koruyucu kullanımı sırasında görülen streak ve beam hardening artefaktların diğer yöntemlerde gözlenmediği vurgulanmıştır. İlave olarak sadece tüp akımı azaltıldığında meme hariç diğer dokularda da belirgin doz azaltımı olduğu vurgulanmıştır (106). Wang ve arkadaşları aynı çalışma stratejisi ile bu kez Beyin BT çekimlerinde göze alınan dozu değerlendirmişler ve benzer sonuçlar bulmuşlardır (107).

Colin G. Orton moderatörlüğünde Cynthia H. McCollough, Jia Wang, Robert G. Gould arasında geçen tartışmada bizmut koruyucuların kullanımı konusunda görüş ayrılığı dile getirilmiş, bayan McCollough ve bay Wang bizmut koruyucuların kullanımdan kalkması gerektiğini, bay Gould ise kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Kullanımdan kalkması gerektiğini savunan grup bizmut koruyucuların dezavantajlarını birkaç maddede sıralamışlardır. Bunlardan ilkinin özetlemek gerekirse bizmut koruyucular örtüldükleri vücut yüzeyine anteriordan gelen x ışınlarını tutup doz azaltımı oluştururlar . X ışını tüpü lateral ve posteriora doğru hareket ettiğinde üretilip vücudu geçen ve detektöre gitmesi gereken x ışınının bir miktarı bizmut koruyucunun posterior yüzü tarafından tutulur, detektöre yetişemez. Doz azalımı olmakla beraber bu sebepten oluşan imaj gürültüsü ALARA prensibine göre kabul edilemez. İkinci karşıt fikirde ise bizmut koruyucuların imaj kalitesinde bozulmaya yol açtığı ve Hounsfield Ünit değerlerinde bozulmaya yol açtığı öne sürülmüştür. Bizmut koruyucuların oluşturduğu streak ve beam hardening artefaktların sadece uygulama yüzeyi boyunca değil tüm görüntü boyunca oluşabileceği ve bunun kabul edilemez olduğu savunulmuştur. Basit bir şekilde tüp akımının azaltılması bile bizmut koruyucu ile benzer doz azaltımı yapıyorken bizmut kullanımının gereğinin tartışılabilirliği ön plana çıkmaktadır. Üçüncü savunulan dezavantajda ise bizmut koruyucuların otomatik doz kontrol sistemleri ile birlikte kullanıldığında istenmeyen ve potansiyel olarak öngörülemeyen doz ve görüntü kalite performansına yol açtığına değinilmiştir. Otomatik doz kontrol sistemlerinde X-ışını tüpü masadaki hastanın spesifik özelliklerine göre (doku kalınlığı vs..) konumlanıp doz ayarlaması yapar. Bunu çekimden önceki öncü görüntüler sayesinde oluşturur. Bizmut koruyucular öncü görüntü oluşmadan önce hasta üzerine konur ise hasta atenüasyonu daha fazla gözükeceğinden tüp akımı da buna bağlı artar ve daha fazla doz verilebilir, bu da bizmut koruyucuyu amacından uzaklaştırır. Eğer öncü görüntüden sonra bizmut koruyucu yerleştirilir ise (sıklıkla kullanılan yöntem) mevcut çekimden elde edilecek görüntü tatminkar olmayabilir.

Karşıt görüş olarak özellikle tiroid dokusu ve meme dokusunun diğer organlar ile kıyaslandığında daha radyosensitif organlar olduğu ve radyasyonun

sitokastik etkisine bağlı ilerleyen dönemlerde bu organlarda kanser gelişme riskinin fazla olması nedeniyle her ne şekilde olursa olsun korunması gerekliliğine değinilmiştir. Bizmut koruyucuların getirdiği mali yükün ise steril torbalarla tekrar tekrar kullanılarak azaltılabileceği vurgulanmıştır. Bizmut koruyucunun oluşturduğu imaj gürültüsü ve artefaktların ise yalnızca koruyucu komşuluğundaki 1-2 cm'lik aralıkta izlendiği diğer kesimlerde ise belirgin gürültü ve artefaktın olmadığı savunulmuş ve bu yüzden oluşan bu artefaktların kabul edilebilir olduğu söylenmiştir (108).

CP Short ve arkadaşları diyagnostik 4 sistem serebral anjiyografi esnasında bizmut koruyucular ve kurşun koruyucuların etkisini değerlendirdiği fantom çalışmasında bizmut koruyucu ve kurşun koruyucu kullanılan iki ayrı grubu kendi içinde alt gruplara ayırmış, ilk grupta bizmut koruyucu kullanılmadan ışınlanan 4 adet , anteriordan korunan tek taraflı koruyuculu 4 adet, anterior ve posteriordan korunan iki taraflı koruyuculu 4 adet fantom kullanmış, ikinci grupta kurşun koruyucu kullanan ve kullanmayan 4 er adet fantom kullanmış ve sonuçları değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda görüntü alanında daha fazla kaldığı için gözlerde doz değerleri yüksek bulunmuş bizmut ve kurşun koruyucu grupları kıyasladığında da kurşun koruyucunun doz azaltıcı etkisinin daha fazla olduğunu vurgulamıştır. Bu sonuç zaten beklenen bir sonuçtur (109).

Einstein J ve arkadaşlarının koroner BT anjiyografide bizmut koruyucuların doz ve imaj kalitesi üzerine yaptığı fantom çalışmasında meme üzerindeki dozda %46-57 arasında azalma tespit etmişler , buna karşın diğer çalışmalarda olduğu gibi bizmut koruyucunun sebep olduğu gürültü ve imaj kalitesindeki bozulmaya da dikkat çekmişlerdir (110).

Hein ve arkadaşları paranazal sinüs BT çekimlerinde bizmut koruyucuları 127 hasta üzerinde kullanmış, ortaya çıkan görüntülerde cildin 2 mm, 5 mm ve 9 mm derinliğindeki dansite değerlerini hesaplamış, çıkan sonuçlar ışığında paranazal sinüs BT çekimlerinde bizmut koruyuculara bağlı artefaktlar görülmekle birlikte diyagnostik kalitenin etkilenmediğini öne sürmüşlerdir (111).

Coursey ve arkadaşları pediatrik toraks çekimlerini temsilen yaptığı fantom çalışmasında 16 kesitli multidedektör BT cihazı ile ilk olarak herhangi bir koruma olmadan çekim yapmış, daha sonra bizmut koruyucu ile çekim yapmış, otomatik doz kontrol sistemi kullanarak çekimler yapmış ve sonuçları değerlendirmiştir. Otomatik doz kontrollü çekimler yaparken öncü görüntü almadan önce ve sonra iki ayrı çekim yapmıştır. Tüm bu çekimlerdeki doz azalım oranlarına baktığında öncü görüntü alındıktan sonra otomatik doz kontrol sistemi ile yapılan çekimin en fazla doz azaltıcı etkisi olduğunu savunmuştur (112).

Lai ve arkadaşları da benzer yöntemle bizmut koruyucu ve otomatik doz kontrol sistemlerini karşılaştırmışlar, sonuçları Coursey ve arkadaşları ile benzer bulmuşlardır (113).

Hohl ve arkadaşları bizmut koruyucuların meme ve tiroid dokusu üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri fantom çalışmalarında tiroid üzerinde %47 , meme dokusu üzerinde %32 oranında doz azaltımı saptamışlardır. Bizmut koruyucunun artefaktlarını azaltmak için koruyucu ile fantom dış yüzeyi arasına 1 cm kalınlığında pamuk örtü koymuşlar ve artefaktları minimuma indirmişlerdir (63).

Foley ve arkadaşlarının 64 kesitli BT altında standart ve düşük doz çekim protokolleri kullanarak bizmut ve baryumlu koruyucuların doz azaltıcı etkilerini karşılaştırdıkları fantom çalışmasında ise sonuçlar değerlendirildiğinde bizmut koruyucuların baryuma göre daha fazla doz azalttığı ancak artefakt oranının baryuma göre daha fazla olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak imaj kalitesi daha ön plana çıkarılmak istenirse baryumlu koruyucular da bizmuta alternatif olabilir denilmiştir (114).

Han ve arkadaşları serebral anevrizmaların endovasküler coil embolizasyonu sırasında bizmut koruyucuları kullanmışlar, hastanın sağ gözü, sol gözü ve tiroid dokusu üzerinde doz ölçümleri yapmış, sağ gözde %32.9, sol gözde %28.9, tiroid bezinde ise %68.1 oranında doz azalımına rastlamışlardır. Buna

bağlı olarak bu tür girişimsel prosedürlerde bizmut koruyucuların efektif olduğunu vurgulamışlardır (115).

Searves ve arkadaşları bizmut koruyucular ve otomatik doz akım modülasyonu birlikteliğini değerlendirdikleri çalışmada bizmutlu ve bizmutsuz, angular tüp akım modülasyonlu ve modülasyonsuz çekimlerde doz değerlerini hesaplamışlar, bizmut koruyucu ve angular tüp akım modülasyonu birlikteliğinde doz değerlerinde %85 azalma saptamışlardır. Ancak angular tüp akım modülasyonu kullanılırken bizmutun kullanılıp kullanılmamasının kalitatif olarak anlamlı değişiklik göstermediğini belirtmişlerdir. Bizmutun yaptığı artefaktlar da göz önüne alındığında, toraks çekimlerinde bizmut yerine miliamper değerlerinin azaltılmasının daha iyi sonuçlar verebileceğini vurgulamışlardır (116).

Kim YK ve arkadaşları Mart 2011 ve Temmuz 2011 arasında 80 kadın hastada yaptıkları çalışmada organ bazlı tüp akım modülasyonu ve bizmut koruyucuları radyasyon dozu ve imaj kalitesi açısından değerlendirmişlerdir. Çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek artefakt oranı, en yüksek gürültü oranı bizmut koruyucu ile çekim yapılan grupta olmasına rağmen görüntüleri değerlendiren radyologlar tarafından imaj kalitesi ve diyagnostik kalite açısından anlamlı fark saptanmamıştır. Ayrıca bizmut uygulanan tarafın zıttı tarafta gruplar arası artefakt açısından anlamlı fark görülmemiştir (117).

Coletti ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda bizmut koruyucuların radyasyon dozunu belirgin olarak azaltmış olduğunu göstermekle birlikte diğer çalışmalarda da var olan imaj kalitesindeki bozulama nedeniyle daha farklı alternatif çözümlerin doz azaltılmasında kullanılabileceği kanısına varmışlardır (118).

Gbelcova ve arkadaşları Slovakya popülasyonunda son on yılda BT çekimlerinde belirgin derecede artış görülmesi üzerine özellikle pediatrik hastalarda kullanılabileceğini düşünerek bizmut koruyucular ile ilgili çok merkezli fantom çalışması başlatmış, çıkan sonuçlara göre seçilen merkezlerden üçte ikisi bizmutun radyasyon dozunu anlamlı ölçüde azalttığını rapor etmişlerdir (119).

Yılmaz MH ve arkadaşları 16 kesitli BT altında yaşı 18'den büyük 50 kadın hasta üzerinde rutin toraks BT çekimlerinde meme dokusundaki doz değerlerini incelemişler, her hastanın bir memesini bizmut koruyucu ile örtmüşler diğer memesini ise direk X-ışınına maruz bırakmışlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde bizmutla korunan tarafta %40.53 oranında doz azalımına rastlamışlardır. İmaj kaliteleri değerlendirildiğinde ise her iki meme arasında anlamlı fark saptamamışlardır (120). Yılmaz ve arkadaşları benzer metod ile bu kez koroner kalsiyum skorlaması için çekilen kardiyak BT incelemesinde doz değerlerini ölçmüşler ve bizmutla korunan tarafta %37,12 oranında doz azatılımı saptamışlardır (121).

Literatür tarandığında yukarıda örnekleri bulunan daha birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Genel olarak bakıldığında mevcut bizmut koruyucuların piyasada satışa başlanıldığı süreden bu güne kadar geçen zamanda daha çok doz azaltıcı etkisinin olup olmadığı yönünde araştırmaları dikkati çekmektedir. Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü üzere bizmut koruyucuların çeşitli organlar üzerinde değişik yüzdelerde doz azaltıcı etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Bizmut koruyucularla daha radyosensitif organların korunması amaçlanmıştır. Bu yüzden piyasada göz, tiroid , meme ve gonad koruyucu formları bulunmaktadır.

Bizmut koruyucular ile yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak fantom deneyleri üzerinden planlanmıştır. Fantom üzerinde değişik organ lokalizasyonlarına farklı dozlar verilerek bizmut koruyucuların etkinliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda doz değerleri göz önüne alındığında belirli bir standart söz konusu değildir. Farklı klinikler kendi departmanlarındaki rutin BT protokolleri nasıl ise aynı doz değerlerini çalışmalarda kullanmışlardır. Bu yüzden her bir çalışmada farklı doz değerleri ve farklı doz azaltım oranları bulunmuştur. Tüm çalışmalarda farklı doz değerleri kullanılmasına rağmen, bizmut korumalı ve bizmut korumasız metoduyla yapılan bu çalışmaların kendi içerisinde belirli standartlar mevcuttur. Verilen dozun aynı olmasını sağlamak amacıyla kesit kalınlığı, miliamper, kilovolt değerleri ve benzeri değerler standardize edilerek çalışmanın doğruluğundan sapmaması sağlanmıştır. Biz de çalışmamızda gruplar arasında BT çekim protokolünde standart değerler kullandık . Çalışmamızdaki amaç DNA

hasarını ölçmek olduğu için oluşabilecek görüntü kalitesindeki değişiklikleri ikinci plana ittik. DNA hasarı oluşturmak ve gruplar arası hasar oranlarını karşılaştırmak için ince kesit kalınlığı, yüksek kilovolt ve miliamper düzeyleri sağlayan maksillofasiyal BT protokolünü tercih ettik.

Radyologlar açısından imaj kalitesindeki bozulma ve artefaktlar tanıya giden yolda önümüzde engel oluşturabileceği için mevcut çalışmalarda bizmut koruyucuların görüntü kalitesi üzerine etkisi de sıklıkla değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda bizmut koruyucuların streak ve beam hardening artefakt oluşturduğu, ayrıca imaj gürültüsünü arttırdığı ve tüm bunların sonucu olarak imaj kalitesini azalttığı rapor edilmiştir. Bu sebepten dolayı bizmutlu çekimlerde organ yüzeyi komşuluğuna uygulanan koruyucunun hemen altındaki bir lezyon gözden kaçabilir. Bu nedenle literatürde bazı çalışmalarda bizmut koruyucuların kullanılmaması gerektiği, bunun yerine diğer doz azaltıcı yöntemlerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bazı çalışmalarda ise bizmut koruyucularda görülen artefaktın sadece uygulanan yüzeyin 1 cm altına kadar olduğu diğer kesimlerde az miktarda görülse bile diyagnostik kaliteyi etkilemediği vurgulanmıştır. Buna bağlı olarak son yıllarda üretilen koruyucuların altında yaklaşık 1 cm kalınlığında koruyucuya yapışık sünger katman bulunmaktadır. Bu sayede koruyucunun artefakt oluşturma etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bizim çalışmamızda görüntü kalitesi ikinci planda olduğu için sünger katmanını ortadan kaldırdık. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da artefaktlar oluştu. Hatta diğer çalışmalardaki tablolar ve resimler değerlendirildiğinde bizim çalışmamızdaki artefaktlar daha belirgin ve fazlaydı. Hatta artefaktlar sadece cilt yüzeyinde kalmayıp uygulanan alanın posterioruna kadar uzanmıştı. Biz çalışmamızda bu sonucu zaten bekliyorduk. Çalışmamızda deney hayvanı olarak rat kullandık ve ratlar normal insanlar veya fantom deneylerinde kullanılan aparatlardan çok daha küçük ve doku kalınlığı daha az olduğu için artefaktlar deney hayvanının posterioruna kadar uzanmaktaydı.

Literatür incelendiğinde bizmut koruyucuların diğer doz azaltıcı yöntemler ile sıklıkla karşılaştırıldığı, tüm radyasyon azaltıcı yöntemlerin iyi ve kötü yönlerinin vurgulanarak birbirleriyle kıyaslandığı dikkati çekmektedir. Genel olarak birbiriyle karşılaştırılan yöntemler bizmut koruyucular, otomatik doz kontrol sistemleri, organ bazlı tüp akım modülasyonu, tüp akımını düşürmek suretiyle düşük dozda çekim protokolleridir. Bu yöntemler kendi aralarında kıyaslandığı gibi kombine kullanılan yöntemler de tek tek kullanılan doz azaltım yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Kıyaslanan kriterler göz önüne alındığında doz azaltım oranı, imaj kalitesi, artefakt oranı gibi hepsinde birbirinin benzeri kriterler değerlendirilmiş, daha öteye geçilememiştir. Çalışmalar bu bağlamda birbirinin hemen hemen aynısıdır. Aralarındaki fark kullanılan yöntemlerdir. Bazı çalışmalarda toraks BT çekimleri baz alınmış, bazı çalışmalarda koroner BT anjiyografi, serebral BT anjiyografi gibi daha yüksek doz verilen işlemler baz alınmış, bazı çalışmalarda ise modalite BT olarak seçilmemiş floroskopi radyasyon üreten modalite olarak kullanılmıştır. Çalışmalar birbirinden farklı gibi görünse de amaç ve sonuç benzerdir. Bu tarz kıyaslamalarda bazı çelişkiler ortaya çıkmaktadır. Örneğin bizmut koruyucu ile otomatik doz kontrol sistemi kıyaslandığında verilecek dozun standardizasyonu sorun yaratabilir. Bizmut koruyucu kullanırken organ yüzeyine verilen standart bir doz mevcuttur, koruyucu bu dozun bir kısmını tutacaktır ve böylece doz azalacaktır. Halbuki otomatik doz kontrol sistemlerinde dokunun kalınlığına bağlı olarak BT cihazının verdiği expoju otomatik olarak değişikliğe uğramaktadır. Örneğin torakoabdominal bir BT çekiminde toraksa ve batına verilen doz değerleri farklılık gösterecektir. Bu durumda her iki yöntemde maruz kalınan dozların ölçümü ve kıyaslanması sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Bu şekilde yapılan karşılaştırmalı değerlendirmeler imaj kalitesi açısından değerlendirildiğinde daha anlam yüklü olarak gözükmektedir. Bu açılarından değerlendirildiğinde bizim çalışmamızda aynı parametler ve aynı doz değerleri kullanıldığından ve doz azaltıcı yöntemler arasında kıyaslama yapılmadığından dolayı maruz kalınan doz ölçümü açısından sağlıklı veriler elde ettiğimizi düşünmekteyiz.

Kendi çalışmamız ile ilgili değerlendirmeye başlamadan önce çalışmamızın mevcut bilgiye ne kadar katkısı olabileceğini ve bundan sonra yapılacak

çalışmalara nasıl yön verebileceğini iyi değerlendirmek gerekir. Literatürdeki diğer çalışmalar konuyu doz azaltımı, imaj kalitesi gibi açılardan değerlendirmiş ve genellikle birbirine benzer sonuçlar etrafında birbirinin varyasyonları şeklinde değişik varsayımlar ortaya koymuşlardır. Tabii ki bu çeşitlilik içinde çok değerli sonuçlar elde edilmiş ve dünya genelinde özellikle pediatrik BT çekimlerinde hekimleri endikasyon koyarken ve çekimleri yaparken tekrar tekrar düşünmeye itmiştir. Bu anlamda hepsi birbirinden değerli ve bilime katkısı olan saygın çalışmalardır. Bizim çalışmamızda farklı olarak değerlendirdiğimiz konu X-ışınının DNA hasarı üzerine etkisidir. X-ışınının direkt etki ve iyonizan etki ile DNA hasarı yaptığı bilinen bir konudur. Biz çalışmada bizmut koruyucuların DNA hasarını önleyip önlemediğini araştırmak istedik ve bu yönde çalışmamızı planladık. Ratların kemik iliğinden yapılan mikronükleus testinde bizmutla korunan grupta anormal hücre sayısı 214 adet, bizmutla korunmayan grupta ise anormal hücre sayısı 285 adet olarak hesapladık ve istatistiksel olarak anlamlı bulduk. Ancak anormal hücre alt gruplarına bakacak olursak, hücre çekirdeğine ataçlı ve ataçsız mikronükleus sayılarında özellikle korunan gruptaki artış şüpheli uyandırıcı olarak değerlendirilmelidir. Bizim çalışmamızda her bir gruptan 5000'er adet hücre sayılmış ve havuz çalışması yapılmıştır. Bu yüzden hangi ratta ayrı ayrı hangi anormal hücrenin olduğunu bilemiyoruz. Her bir grubun toplam kaç tane anormal hücresi olduğunu değerlendirebiliyoruz. Bu sorun bizim çalışmamızın ana limitasyonu olarak değerlendirilmelidir. Ancak řu da akılda tutulmalıdır ki her insanın DNA hasar onarım mekanizmasının farklı olduğu gibi her bir ratın da DNA hasarına yanıtı farklı olabilir. Örnek vermek gerekirse korunan veya korunmayan gruptaki herhangi bir ratın anormal hücre değerleri aşırı derecede yüksek olabilir, bu onun kansere daha yatkın olduğunun göstergesidir. Ancak çalışmada bir grubun total olarak anormal hücre sayısını bildiğimizden ayrı ayrı net değerlendirme yapamadık. Tam da bu konu ile ilişkili olarak ratlardan aldığımız kandaki 8 OHdG değerlerine baktığımızda hiç X-ışını vermediğimiz kontrol grubunda dahi anormal yüksek değerlere rastladık. Kontrol grubundaki değerleri anormal çıkan ratları çalışma dışına almamıza rağmen istatistiksel olarak 8 OHdG değerlerinde gruplar arasında anlamlı fark bulamadık. Biz bu durumu ratlardaki genetik çeşitliliğe

bağlıyoruz. Çalışmamızda tek seferde doz verip 72 saat sonra örnekler aldık. Burada amacımız tek bir BT çekiminde dahi DNA hasarının oluşup oluşmayacağını görmek ve gruplar arasında DNA hasarı oranlarını değerlendirmektir. Belki X-ışını maruziyetini uzun döneme yaysaydık, örneğin birkaç hafta boyunca düzenli aralıklarda X-ışını verseydik, gruplar arasında mikronükleus ve 8 OH dG değerlerinde daha anlamlı sonuçlar elde edebilirdik. Yine de mikronükleus testinde elde edilen anormal hücre değerleri göz önüne alındığında çalışmamızın kısmen de olsa amacına ulaştığını düşünüyoruz. Doz azaltıcı etkisi daha önce yapılan çalışmalarda kanıtlanan bizmut koruyucuların DNA hasarını azaltıcı etkisi de olduğunu düşünüyoruz. 8 OH dG değerlerinin kontrol grubunda bile anormal bulunması nedeniyle bu parametrenin aslında bizim çalışmamıza tam da uygun olmadığını düşünmekteyiz. Bizim öngöremediğimiz DNA hasarı oluşturabilecek başka faktörlere sekonder 8 Oh dG değerlerinde anormal artışlar ve bunun sonucunda anormal değerler ortaya çıkmış olabilir.

Diğer çalışmalarda bakılan parametreler değerlendirildiğinde bizim çalışmamızda bizmut ile koruduğumuz grupta yaklaşık %30 oranında radyasyon dozu azaltımına ulaştık. Bu sonuç literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında benzerlik göstermektedir. İmaj kalitesini değerlendirdiğimizde de literatürdeki birçok çalışma ile benzer şekilde çalışmamızda da bizmuta bağlı yoğun artefaktlar gözlemlendi.

Çalışmamızın sonucu olarak, bizmut koruyucuların BT çekimlerinde dozu azalttığını ve kemik iliğinde radyasyona bağlı DNA hasarı sonucu oluşan anormal hücrelerin sayısında da azalmaya neden olduğunu söyleyebiliriz. Biz çalışmamızın, ileride yapılacak hücre hasarı bazlı çalışmalara ışık tutar nitelikte olduğunu düşünüyoruz. Radyolojik incelemelerde bizim çalışmamızda kullandığımız bizmut koruyucular da dahil olmak üzere, diğer tüm X-ışını dozu azaltıcı yöntemlerin tek tek ya da kombine olarak kullanılması ile yapılacak DNA hasar tespiti çalışmalarının, hangi organa spesifik hangi doz azaltıcı yöntemin kullanılabilmesi konusunda belli standartlar belirleyebileceğini düşünüyoruz. Son söz olarak, tıbbın temel taşı olan "önce zarar verme" ilkesinden yola

ıkarak, Őu an için elimizdeki en güçlü tanısal yöntemlerden biri olan BT cihazlarının, insanoğluna en az zarar vererek en faydalı Şekilde kullanılması konusunda başta biz radyologlar olmak üzere, tüm hekimlerin ve sağlık personelinin son derece duyarlı ve bilgili olması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. DAŞDAĞ, S., ÇELİK, S. Lenfomalılarda total kan-eritrosit-plazma volümü tayini, D.O. Tıp Fakültesi Dergisi 14 (1-4): 119, 1987.
2. GÖRPE, A., CANTEZ, S. Pratik Nükleer Tıp İstanbul Tıp Fakültesi Vakfı, Nobel Tıp Kitabevi, 14-17, 1992.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly, Annex D: medical radiation exposures. New York: United Nations, 2000.
4. WIEST PW, LOCKEN JA, HEINTZ PH, METLER FA JR. CT scanning: a major source of radiation exposure. Semin Ultrasound CT MR 2002; 23:402-410.
5. KALRA MK, MAHER MM, RIZZO S, KANAREK D, SHEPARD JA. Radiation exposure from chest CT: issues and strategies. J Korean Med Sci 2004; 19:159-166.
6. GOLDING SJ, SHRIMPSON PC. RADIATION DOSE IN CT: are we meeting the challenge? Br J Radiol 2002; 75:1-4.
7. OYAR O. Radyolojide Temel Fizik Kavramlar. Nobel Tıp Kitabevleri 1998; 3-148.
8. OYAR O. Gülsoy UK. Tıbbi Görüntüleme Fiziği. Ankara Baskı Reklam 2003;5-600.
9. TUNCEL E. Klinik Radyoloji. Genişletilmiş 2. Baskı. Nobel&Güneş Tıp Kitabevleri. 2008; 3-105.
10. KÖKLÜ N. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve tıpta uygulama alanları. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Konya 2006.
11. KAYA T. Temel Radyoloji Tekniği. Güneş&Nobel Tıp Kitabevleri.1997;1-471.
12. UZAL C, ÇALOĞLU M. Kanser etyolojisinde iyonizan radyasyonun yeri. Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi. 2002; 19: 177-182.
13. KAYA A. İyonize radyasyonun biyolojik etkileri. Dicle Tıp Fakültesi Dergisi 2002;3:65-75.

14. IAEA. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiations and for Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series. No:115. IAEA CD-ROM Edition. 2003.
15. KARABULUT N. Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi: Genel ilkeler, teknik ve klinik uygulamalar. Anadolu Kardiyol Derg. 2008; 8: Özel Sayı 1; 29-37.
16. UNSCEAR 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1993. Report to the General Assembly. New York: United Nations;1993.
17. UNSCEAR 1994. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1994. Report to the General Assembly. New York: United Nations;1994.
18. ÖĞÜŞ C, KET S, ÖZDEMİR S. Toraksın radyolojik görüntülenmesinde radyasyon riski. Toraks dergisi. 2003;2:205-207.
19. UNSCEAR 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. New York: United Nations, 2000.
20. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çernobil Kazasının ülkeler üzerindeki etkileri. Çernobil Serisi No:5. 2. Basım 1997.
21. National Radiological Protection Board (NRPB) Radiological Protection Bulletin No: 231. Sept 2001 Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ: 2001.
22. NIKIFOROV Y, GNEPP DR, FAGIN JA. Thyroid lesions in children and adolescents after the Chernobly disaster: implications for the study of radiation tumorigenesis. J Clin Endocrinol Metab. 1996; 81: 9-14.
23. NIKIFOROV Y, GNEPP DR. Pediatric thyroid cancer after the Chernobly disaster. Pathomorphologic study of 84 cases (1991-1992) from the Republic of Belarus. Cancer 1994;15(74):748-66.
24. NIKIFOROV YE. Radiation-induced throid cancer: what we have learned from Chernobly. Endocr Pathol. 2006;17:307-17.
25. RON E. Cancer Risks From Medical Radiation. Health Phys. 2003;85(1):47-59.

26. CLEMONS M, LOIJENS L, GOSS P. Breast cancer risk following irradiation for Hodgkin's disease *Cancer Treat Rev.* 2000 Aug;26(4):291-302.
27. DOODY MM, LONSTEIN JE, STOVALL M. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine.* 2000 Aug 15;25(16):2052-63.
28. RONCKERS CM, DOODY MM, LONSTEIN JE. Multiple diagnostic X-rays for spine deformities and risk of breast cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2008 Mar;17(3):605-613.
29. BOICE JD JR, PRESTON DL, DAVIS FG. Frequent chest x-ray fluoroscopy and breast cancer incidence among tuberculosis patients in in Massachusetts *Radiat Res.* 1991;125:214-222.
30. HOWE GR, MCLAUGHLIN J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic-bomb survivors study *Radiat Res.* 1996;145:694-707.
31. DIEDERICH S, LENZEN H. Radiation Exposure Associated with Imaging of the Chest: Comparison of Different Radiographic and Computed Tomography Techniques. *Cancer.* 2000 Dec 1; 89(11 Suppl): 2457-60.
32. NICKOLOFF LE, Alderson PO. Radiation Exposures to Patients from CT: Reality, Public Perception, and Policy. *AJR* 2001;177:285–287.
33. DONNELLY LF. Reducing Radiation Dose Associated with Pediatric CT by Decreasing Unnecessary Examinations *AJR,* 2005;184:655–657.
34. FRUSH PD. Review of Radiation Issues for Computed Tomography. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI.* 2004;25(1):17-24.
35. GOSKE MJ, APPLGATE KE, BOYLAN J, ET AL. The 'Image Gently' campaign: increasing CT radiation dose awareness through a national education and awareness program. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 265-269.
36. LEE CL, HALMS AH, MONICO EP, BRINK JA, FORMEN HP. Diagnostic CT Scans: Assessment of Patient, Physician and Radiologist Awareness of Radiation Dose and Possible Risks. *Radiology* 23:393-398:2004.

37. European Commission. Radiation Protection 118 Update Mars 2008 Referral Guidelines For Images. Final Report to the European Commission for Grant Agreement SUBV99/134996; Luxembourg 2007.
38. BRODY AS, FRUSH DP, HUDA WALTER, BRENT RL Radiation risk to children from computed tomography. *Pediatrics* 2007;120:677- 682.
39. HALL EJ, BRENNER DJ. Cancer Risks from Diagnostic Radiology. *British Journal of Radiology*. 81: 362- 378; 2008.
40. BRENNER DJ, HALL EJ. Computed tomography- an increasing source of radiation exposure . *N Engl J Med* 2007;357:2277–84.
41. EĞİLMEZ E. *Tıpta Radyasyon ve Korunma Pelikan Kitabevi* 2009; 288-305
42. MCCOLLOUGH CH. Automatic exposure control in CT: are we done yet? *Radiology Dec*;2005 237(3): 755–756.
43. GIES M, KALENDER WA, WOLF H, SUESS C, MADSEN M. Dose reduction in CT by anatomically adapted tube current modulation: Simulation studies. *Medical Physics* 1999;26(11):2235–2247.
44. KALENDER WA, WOLF H, SUESS C. Dose reduction in CT by anatomically adapted tube current modulation: Phantom measurements. *Med Phys* 1999;26(11):2248–2253.
45. HAAGA JR, MİRALDI F, MACINTYRE W, LIPUMA JP, BRYAN PJ, WIESEN E. The effect of mAs variation upon computed tomography image quality as evaluated by in vivo and in vitro studies. *Radiology* 1981;138(2):449–454.
46. SCHMIDT, B., KALENDER, WA. A fast voxel-based Monte Carlo method for scanner- and patient-specific dose calculations in computed tomography. In: Guerra, AD., editor. *Physica Medica*. Vol. 18. Erlangen, Germany: European Journal of Medical Physics; 2002. p. 43-53.
47. MCCOLLOUGH CH, PRIMAK AN, BRAUN N, KOFLER J, YU L, CHRISTNER J. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am*. 2009 Jan;47(1):27-40.
48. GUNN ML, KOHR JR. State of the art: technologies for computed tomography dose reduction. *Emerg Radiol*. 2010 May;17(3):209-18.

49. LINTON OW, METTLER FA JR. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. *Am J Roentgenol* Aug;2003 181(2):321–329.
50. FDA. FDA public health notification: reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. *Pediatr Radiol* 2002;32:314–316.
51. KALRA MK, MAHER MM, TOTH TL ET AL Strategies for CT radiation dose optimization. *Radiology* 2004 230:619–628
52. KANAL KM, STEWART BK, KOLOKYTHAS O, SHUMAN WP Impact of operator-selected image noise index and reconstruction slice thickness on patient radiation dose in 64-MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 2007 189:219–225
53. ANGEL E, YAGHMAI N, JUDE CM ET AL Monte Carlo simulations to assess the effects of tube current modulation on breast dose for multidetector CT. *Phys Med Biol* 2009 54:497–512
54. American College of Radiology. The American College of Radiology Appropriateness Criteria. 2008
55. HAAGA JR. Radiation dose management: weighing risk versus benefit. *AJR Am J Roentgenol* Aug; 2001 177(2):289–291.
56. International Commission on Radiological Protection. Managing patient dose in computed tomography, ICRP Publication 87. *Ann ICRP* 2000;30(4):7–45.
57. HOPPER KD, KING SH, LOBELL ME, TENHAVE TR, WEAVER JS The breast: in-plane X-ray protection during diagnostic thoracic CT-shielding with bismuth radioprotective garments. *Radiology* 1997 205:853–858
58. FRICKE BL, DONNELLY LF, FRUSH DP ET AL In-plane bismuth breast shields for pediatric CT: effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data. *AJR Am J Roentgenol* 2003 180:407–411
59. LESWICK DA, HUNT MM, WEBSTER ST, FLADELAND DA Thyroid shields versus z-axis automatic tube current modulation for dose reduction at neck CT. *Radiology* 2008 249:572–580

60. VOLLMAR SV, KALENDER WA Reduction of dose to the female breast in thoracic CT: a comparison of standard-protocol, bismuthshielded, partial and tube-current-modulated CT examinations. *Eur Radiol* 2008 18:1674–1682
61. GUNN ML, KANAL KM, KOLOKYTHAS O, ANZAI Y. Radiation dose reduction using bismuth shielding on MDCT of the cervical spine. Does bismuth shielding with and without a cervical collar reduce dose? *J Comput Assist Tomogr.* 2009 Nov-Dec;33(6):987-90.
62. HUGGETT J. , MUKONOWESHURO W., LOADER R. A phantom-based evaluation of three commercially available patient organ shields for computed tomography X-ray examinations in diagnostic radiology. *Oxford Journals* 2012 Nov 155: 161-168
63. HOHL C, WILDBERGER JE, SUSS C ET AL Radiation dose reduction to breast and thyroid during MDCT: effectiveness of an in-plane bismuth shield. *Acta Radiol* 2006 47:562–567
64. KARACA Ş, GÜDER H : Dermatolojide Antioksidan Sistem. *Turk J Dermatol* 2009 , 3, 32-39.
65. MATSUFUJI H, OCHI H, SHIBAMOTO T Formation and inhibition of genotoxic malonaldehyde from DNA oxidation controlled with EDTA. *Food Chem Toxicol* 2006 , 44, 236-241.
66. DIZDAROĞLU M, GAJEWSKI E Selected-Ion Mass Spectrometry: Assays of Oxidative DNA Damage. *Method Enzymol* 1990 , 186, 530-544.
67. JARUGA P, RODRIGUEZ H, DIZDAROĞLU M : Measurement of 8-hydroxy-2'-deoxyadenosine in DNA by liquid chromatography/mass spectrometry. *Free Radical Biol Med* 2001 , 31, 336-344.
68. HATTORI Y, NISHIGORI C, TANAKA T, UCHIDA K, NIKAIDO O, OSAWA T, HIAI H, IMAMURA S, TOYOKUNI S 8- hydroxy-2'-deoxyguanosine is increased in epidermal cells of hairless mice after chronic ultraviolet B exposure. *J. Invest. Dermatol* 1996 , 107, 733-737.
69. LIN H, JENNER A, ONG C, HUANG S, WHITEMAN M, HALLIWELL B A high-throughput and sensitive methodology for the quantification of urinary 8-hydroxy- 2'-deoxyguanosine: measurement with gas chromatography-

- mass spectrometry after single solidphase extraction. *Biochem J* 2004 , 380, 541-548.
70. DIZDAROĞLU M, JARUGA P, RODRIGUEZ H Measurement of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in DNA by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry: comparison with measurement by gas chromatography-mass spectrometry. *Nucleic Acids Res* 2001 , 29,E12.
71. ZIJNO A, MARCON F, LEOPARDI P, SALVATORE G, CARERE A, CREBELLI R. An assessment of the in vivo clastogenicity of erythrosine. *Fd Chem Toxic* 1994;32:159-63.
72. FORD JH, SCHULTZ CJ, CORRELL AT. Chromosome elimination in micronuclei: A common of hypoploidy. *Am J Hum Genet* 1988;43:733-40.
73. VANDERKERKEN K, VANPARYS P, VERSCHAEVE M, VOLDERS K. The mouse bone marrow micronucleus assay can be used to distinguish aneugens from clastogens. *Mutagenesis* 1989;4:6- 11.
74. VANPARYS P, VERMEIREN F, SYSMANS M, TEMMERMAN R. The micronucleus assay as a test for the detection of aneugenic ctivity. *Mutat Res* 1990;244:95-103.
75. LABAY K, OULD-ELHKIM M, KLES V, GUFFROY M, POUL M, SANDERS P. Effects of griseofulvin in medium-term liver arcinogenesis assay and peripheral blood micronucleus test in at. *Teratog Carcinog Mutagen* 2001;21:441-51.
76. MAJER BJ, LAKY B, KNASMULLER S, KASSIE F. Use of the micronucleus assay with exfoliated epithelial cells as a biomarker for monitoring individuals at elevated risk of genetic damage and in chemoprevention trials. *Mutat Res* 2001;489:147-72.
77. PASTOR S, GUTIERREZ S, CREUS A, XAMENA N, PIPERAKIS S, ARCOS R. Cytogenetic analysis of Greek farmers using the micronucleus assay in peripheral lymphocytes and buccal clls. *Mutagenesis* 2001;16:539-45.
78. SCHWEIKL H, SCHMALZ G, SPRUSS T. The induction of micronuclei in vitro by unpolymerized resin monomers. *J Dent Res* 2001;80:1615-20.

79. HESSEL H, RADON K, PETHRAN A, MAISCH B, GROBMAIR S, SAUTTER I, ET AL. The genotoxic risk of hospital, pharmacy and medical personnel occupationally exposed to cytostatic drug evaluation by the micronucleus assay. *Mutat Res* 2001;497: 101-9.
80. GAREWAL HS, RAMSEY L, KAUGARS G, BOYLE J. Clinical experience with the micronucleus assay. *Cellular Biochem* 1993;17:206-12.
81. MALUF SW, ERDTMANN B. Genomic instability in Down syndrome and Fanconi anemia assessed by micronucleus analysis and single-cell gel electrophoresis. *Cancer Genet Cytogenet* 2001;124-5.
82. SCHNEIDER M, DIEMER K, ENGELHART K, ZANKL H, TROMMER WE, BIESALSKI HK. Protective effects of vitamins C and E on the number of micronuclei in lymphocytes in smokers and their role in ascorbate free radical formation in plasma. *Free Radic Res* 2001;34:209-19.
83. ROZGAJ R, KASUBA V. Chromosome aberrations and micronucleus frequency in anaesthesiology personnel. *Arh Hig Rada Toksikol* 2000;51:361-8.
84. NACCARATI A, MOLINU S, MANCUSO M, SICILIANO G, MIGLIORE L. Cytogenetic damage in peripheral lymphocytes of mitochondrial disease patients. *Neurol Sci* 2000;21:963-5
85. FENECH M., CHANG W.P., KRISCH VOLDERS M., HOLLAND N., BONNASSI S., ZEIGER E., HUMN Project:detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. *Mutat.Res.* 2003; 534 , 65-75.
86. AWA A.A., NAKANO M., OHTAKI K., KODOMA Y., LUCAS J., GRAY J., Factors that determine the vivo dose-response relationship in A-bomb survivors. *Journal of Radiation Research.* 1992; 33,206-14.
87. LLOYD D.C., EDWARD A.A., PROSSER J.S., CORP M.J., The dose response relationships obtained at consent irradiation times for the induction of chromosome aberrations in human lymphocytes by cobalt-60 gamma rays. *Radiation Environmental Biophysics.* 1984; 23, 179-189.
88. LAUGIER A., The century of radiotherapy in France. *Bull.Acad.Natl.Med.* 1996;180(1),143-60.

89. RITENOUR E.R. Health effects of low level radiation: Carcinogenesis, teratogenesis and mutagenesis. *Semin Nucl.Med.*, 16(2),106- 17,1986.
90. M.FENECH., The in vitro micronucleus technique. *Mutat Res.* 2000 Nov 20;455(1-2):81-95.
91. DEMİREL S., ZAMANI A., Mikronükleus tekniği ve kullanım alanları, *Genel Tıp Dergisi*, 12(3), 123-127, 2002.
92. SERHATLIOĞLU S, OZAN A T, GURSU F, GODEKMERDAN A, AYAR A, OĞUR E. İyonizan radyasyonun radyoloji çalışanlarının bağımsıklık duzeyleri ve kan biyokimyası uzerine etkileri. *Tanısıl ve Girişimsel Radyoloji* 2004; 10:97- 102.
93. DASDAĞ S. İyonlaştırıcı radyasyonlar ve kanser. *Dicle Tıp Dergisi* 2010; 37(2): 177-185
94. SLOVIS TL. The ALARA Concept in Pediatric CT: Myth or Reality? *Radiology* 2002; 223: 5–6.
95. DAWSON P, PUNWANI S. The thyroid dose burden in medical imaging A reexamination. *Eur J Radiol* 2009;69:74-9.
96. TEKBAS G. Goztepe Eğitim ve Arastırma Hastanesinde çalışan radyoloji teknisyenlerinde mesleki radyasyonun tiroid nodul prevalansına etkisinin normal populasyonla karşılaştırılması. *Uzmanlık Tezi. İstanbul: Goztepe Eğitim ve Arastırma Hastanesi, 2006.*)
97. HURWITZ LM, YOSHIZUMI TT, GOODMAN PC, NELSON RC, TONCHEVA G, NGUYEN GB, LOWRY C, ANDERSON-EVANS C. Radiation Dose Savings for Adult Pulmonary Embolus 64-MDCT Using Bismuth Breast Shields, Lower Peak Kilovoltage, and Automatic Tube Current Modulation. *AJR Am J Roentgenol.* 2009 Jan;192(1):244-53.
98. KALRA MK, DANG P, SINGH S, SAINI S, SHEPARD JA. In-Plane Shielding for CT: Effect of Off-Centering, Automatic Exposure Control and Shield-to-Surface Distance. *Korean J Radiol.* 2009 Mar-Apr;10(2):156-63.
99. CATUZZO P, AIMONETTO S, FANELLI G, MARCHISIO P, MELONI T, MISTRETTA L, PASQUINO M, RICHETTA E, TOFANI S. Dose reduction in multislice CT by means of bismuth shields: results of in vivo

- measurements and computed evaluation. *Radiol Med.* 2010 Feb;115(1):152-69.
100. SIMONS GR, ORRISON WW JR. Use of a Sterile, Disposable, Radiation-Absorbing Shield Reduces Occupational Exposure to Scatter Radiation During Pectoral Device Implantation. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2004 Jun;27(6 Pt 1):726-9.
101. POLITI L, BIONDI-ZOCCAI G, NOCETTI L, COSTI T, MONOPOLI D, ROSSI R, SGURA F, MODENA MG, SANGIORGI GM. Reduction of Scatter Radiation During Transradial Percutaneous Coronary Angiography: A Randomized Trial Using a Lead-free Radiation Shield. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2012 Jan 1;79(1):97-102.
102. RAISSAKI M, PERISINAKIS K, DAMILAKIS J, GOURTSOYIANNIS N. Eye-lens bismuth shielding in paediatric head CT: artefact evaluation and reduction. *Pediatr Radiol.* 2010 Nov;40(11):1748-54.
103. MCLAUGHLIN DJ, MOONEY RB. Dose reduction to radiosensitive tissues in CT. Do commercially available shields meet the users' needs? *Clin Radiol.* 2004 May;59(5):446-50.
104. GELEIJNS J, SALVADÓ ARTELLS M, VELDKAMP WJ, LÓPEZ TORTOSA M, CALZADO CANTERA A. Quantitative assessment of selective in-plane shielding of tissues in computed tomography through evaluation of absorbed dose and image quality. *Eur Radiol.* 2006 Oct;16(10):2334-40.
105. LEE K, LEE W, LEE J, LEE B, OH G. Dose reduction and image quality assessment in MDCT using AEC (D-DOM & Z-DOM) and in-plane bismuth shielding. *Radiat Prot Dosimetry.* 2010 Sep;141(2):162-7.
106. WANG J, DUAN X, CHRISTNER JA, LENG S, YU L, MCCOLLOUGH CH. Radiation dose reduction to the breast in thoracic CT: Comparison of bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and use of a globally decreased tube current. *Med Phys.* 2011 Nov;38(11):6084-92.
107. WANG J, DUAN X, CHRISTNER JA, LENG S, GRANT KL, MCCOLLOUGH CH. Bismuth Shielding, Organ-based Tube Current

- Modulation, and Global Reduction of Tube Current for Dose Reduction to the Eye at Head CT. *Radiology*. 2012 Jan;262(1):191-8.
108. MCCOLLOUGH CH, WANG J, GOULD RG, ORTON CG. The use of bismuth breast shields for CT should be discouraged. *Med Phys*. 2012 May;39(5):2321-4.
 109. SHORTT CP, MALONE L, THORNTON J, BRENNAN P, LEE MJ. Radiation protection to the eye and thyroid during diagnostic cerebral angiography: A phantom study. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2008 Aug;52(4):365-9.
 110. EINSTEIN AJ, ELLISTON CD, GROVES DW, CHENG B, WOLFF SD, PEARSON GD, ROBERT PETERS M, JOHNSON LL, BOKHARI S, JOHNSON GW, BHATIA K, POZNIAKOFF T, BRENNER DJ. Effect of Bismuth Breast Shielding on Radiation Dose and Image Quality in Coronary CT. *J Nucl Cardiol*. 2012 Feb;19(1):100-8.
 111. HEIN E, ROGALLA P, KLINGEBIEL R, HAMM B. Low-dose CT of the paranasal sinuses with eye lens protection: effect on image quality and radiation dose. *Eur Radiol*. 2002 Jul;12(7):1693-6. Epub 2002 Feb 2.
 112. COURSEY C, FRUSH DP, YOSHIZUMI T, TONCHEVA G, NGUYEN G, GREENBERG SB. Pediatric Chest MDCT Using Tube Current Modulation: Effect on Radiation Dose with Breast Shielding. *AJR Am J Roentgenol*. 2008 Jan;190(1):W54-61.
 113. NAN-KU LAIA, YING-LAN LIAOD, TUO-RONG CHENB, YU-SHENG TYANA,B, Hui-Yu Tsai. Real-time estimation of dose reduction for pediatric CT using bismuth shielding. *Radiation Measurements*. Volume 46, Issue 12, December 2011, Pages 2039–2043.
 114. FOLEY SJ, MCENTEE MF, RAINFORD LA. An evaluation of in-plane shields during thoracic CT. *Radiation Protection Dosimetry* (2013), pp. 1–12
 115. HAN SC, KWON SC. Radiation dose reduction to the critical organ with bismuth shielding during endovascular coil embolisation for cerebral aneurysms. *Radiation Protection Dosimetry* (2013), pp. 1–8

116. SERVAES S, ZHU X. The effects of bismuth breast shields in conjunction with automatic tube current modulation in CT imaging. *Pediatr Radiol*. 2013 May 23. [Epub ahead of print]
117. KIM YK, SUNG YM, CHOI JH, KIM EY, KIM HS. Reduced radiation exposure of the female breast during low-dose chest CT using organ-based tube current modulation and a bismuth shield: comparison of image quality and radiation dose. *AJR Am J Roentgenol*. 2013 Mar;200(3):537-44.
118. COLLETTI PM, MICHELI OA, LEE KH. To shield or not to shield: application of bismuth breast shields. *AJR Am J Roentgenol*. 2013 Mar;200(3):503-7.
119. GBELCOVA L, NIKODEMOVA D, HORVATHOVA M. Dose reduction using bismuth shielding during paediatric CT examinations in Slovakia. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011 Sep;147(1-2):160-3.
120. YILMAZ MH, ALBAYRAM S, YAŞAR D, OZER H, ADALETLİ I, SELÇUK D, AKMAN C, ALTUĞ A. Female breast radiation exposure during thorax multidetector computed tomography and the effectiveness of bismuth breast shield to reduce breast radiation dose. *J Comput Assist Tomogr*. 2007 Jan-Feb;31(1):138-42.
121. YILMAZ MH, YAŞAR D, ALBAYRAM S, ADALETLİ I, OZER H, OZBAYRAK M, MİHMANLI I, AKMAN C. Coronary calcium scoring with MDCT: the radiation dose to the breast and the effectiveness of bismuth breast shield. *Eur J Radiol*. 2007 Jan;61(1):139-43.