

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

704559

KONVANSİYONEL X-IŞIN SİSTEMLERİNDE KALİTE
KONTROL UYGULAMALARININ STANDARDİSAZYONU

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Aykut ERDAMAR

104559

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2001

Her hakkı saklıdır

۲۳۳۵



Prof. Dr. Doğan Bor danışmanlığında, Aykut Erdamar tarafından hazırlanan bu çalışma 02/08/2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Doğan BOR
Üye : Yrd. Doç. Cemil B. EROL
Üye : Yrd. Doç. Ahmet TÜRKMEN



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Esmâ KILIÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KONVANSİYONEL X-IŞINI SİSTEMLERİNDE KALİTE KONTROL UYGULAMALARININ STANDARDİZASYONU

Aykut ERDAMAR

**Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman : Prof. Dr. Doğan BOR

Bu çalışmanın amacı, radyografik ve floroskopik x-ışın sistemlerinin rutin kalite kontrol ve kabul testlerinde kullanılan alternatif tekniklerin belirlenmesi ve standart yöntemlerin çıkartılmasıdır.

Kalite kontrolü yönünden olanakları farklı olan Radyoloji Bölümleri için referans bir kaynak hazırlanmıştır. Bu kapsamda, her bir yöntemle ait teori verilmiş ve x-ışın sisteminin teknik parametreleri her bir yöntem ile ölçülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyodiagnostik Bölümünde ve Başkent Hastanesi Radyoloji Bölümünde yedi adet radyografik, üç adet floroskopik olmak üzere toplam on adet sistemde testler gerçekleştirilmiştir.

2001, 159 sayfa

ANAHTAR KELİMELEER : X-ışını, radyografi, floroskopi, standardizasyon, kalite kontrol, kabul testi, dozimetre, hasta dozu

ABSTRACT

Masters Thesis

STANDARDIZATION OF THE QUALITY CONTROL APPLICATIONS FOR CONVENTIONAL X-RAY SYSTEMS

Aykut ERDAMAR

**Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Engineering Physics**

Supervisor : Prof. Dr. Doğan BOR

The purpose of this study is to determine the alternative techniques of routine quality control and acceptance tests of radiographic and fluoroscopic x-ray systems and, as well as derivation of standard methods.

Therefore a reference test book which will respond to the needs of Radiology Department of different resources is prepared. The related theory specific to each technique is given, and technical parameters of the x-ray systems have been measured and results of each techniques are compared.

Quality control and acceptance testing of seven radiographic and three fluoroscopic x-ray systems in Ankara University Medicine Faculty Radio Diagnosis Department and Baskent Hospital Radiology Department are carried out.

2001, 159 pages

Key Words : X-ray, fluoroscopy, radiographic, standardization, quality control, acceptance test, dosimeter , patient dose

TEŞEKKÜR

Bana araştırma olanağı sağlayan ve çalışmamın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Doğan BOR (Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi) 'a ve çalışmam sırasında benden yardım ve desteklerini esirgemeyen annem Sayın Müjgan ERDAMAR, babam Sayın İsmail ERDAMAR, kardeşim Sayın A.Koray ERDAMAR'a ve nişanlım Sayın Damla ERDOĞAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Aykut ERDAMAR
Ankara, Temmuz 2001

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Radyografik Sistemlerde Kalite Kontrol Uygulamaları.....	5
2.1.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı.....	5
2.1.2. Tüp çıkışı ve kararlılığı.....	5
2.1.3. Filtrasyon ve yarı değer kalınlığı.....	6
2.1.4. Işınlama zamanının ölçülmesi.....	6
2.1.4.1. Elektronik x-ışını zaman ölçeri.....	7
2.1.4.2. Döner tabla yöntemi.....	7
2.1.5. KVp testi.....	8
2.1.5.1. KVp'nin test kaseti ile ölçülmesi.....	9
2.1.5.2. Wisconsin KVp test kaseti.....	10
2.1.5.3. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü.....	13
2.1.6. X-ışını alanı uygunluk testi.....	14
2.1.7. Odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümleri.....	14
2.1.7.1. İnce delik kamerası ölçümleri.....	14
2.1.7.2. Yıldız desen ölçümleri.....	15
2.1.8. Diğer ayırma gücü ölçümleri.....	21
2.1.8.1. Çubuk desen aleti.....	21
2.1.9. Ekran-film temas testi.....	21
2.1.10. Ekran hızlarının homojenitesi.....	21
2.1.11. Grid ayar ölçümü.....	21
2.2. Floroskopi.....	22
2.2.1. Otomatik ışınlama kontrolü.....	23
2.3. Floroskopik Sistemlerde Kalite Kontrol Uygulamaları.....	23
2.3.1. Maksimum ışınlama hızı testi.....	23
2.3.2. Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi.....	24
2.3.3. Hasta giriş doz hızı ölçümü.....	24
2.3.4. Otomatik parlaklık kontrolü ve otomatik kazanç kontrolü.....	25
2.3.5. Yarı değer kalınlık testi.....	25
2.3.6. Kolimasyon.....	25

2.3.7. Yüksek ve alçak kontrast ayırma güçleri.....	25
2.3.7.1. Yüksek kontrast ayırma gücü	26
2.3.7.2. Alçak kontrast ayırma gücü.....	27
2.3.8. Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızı ölçümü	27
2.4. Film Banyosu Kalite Kontrolü	28
2.4.1. Sensitometrik teknikler	28
2.4.1.1. Işık sensitometresi	28
2.4.1.2. X-ışın sensitometresi	29
2.4.2. Karanlık oda.....	30
2.4.3. Film banyosu kalite kontrol işlemi	31
2.5. Radyasyon Ölçüm Sistemleri	32
2.5.1. İyon odalı dedektörler	33
2.5.2. İyon odası kalibrasyonu	34
2.5.3. İkinci derece standart dozimetrelerin özellikleri	34
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri	35
3.1.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusalılığı testi	35
3.1.1.1. Doğrusalılık testi için alternatif yöntem-alüminyum basamak.....	38
3.1.2. Tüp çıkışı ve kararlılığı testi	41
3.1.3. Filtrasyon ve yarı değer kalınlığı testi	44
3.1.4. Işınlama zamanının ölçülmesi	47
3.1.4.1. Elektronik x-ışını zaman ölçeri	47
3.1.4.2. Döner tabla yöntemi	49
3.1.5. KVp testi	52
3.1.5.1. KVp'nin test kaseti ile ölçülmesi	52
3.1.5.2. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü.....	56
3.1.6. X-ışını alanı uygunluk testi	58
3.1.7. Odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümleri.....	62
3.1.7.1. İnce delik kamerası ölçümleri	62
3.1.7.2. Yıldız desen ölçümleri	67
3.1.7.3. Çubuk desen aleti	70
3.1.8. Ekran-film temas testi	73
3.1.9. Ekran hızlarının homojenitesi	75
3.1.10. Grid ayar ölçümü	77
3.1.11. Fazla yük kontrolü.....	80
3.2. Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri.....	83
3.2.1. Maksimum ışınlama hızı testi.....	83
3.2.2. Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi.....	86
3.2.3. Hasta giriş doz hızı ölçümü	88
3.2.4. Otomatik parlaklık kontrolü ve otomatik kazanç kontrolü	90

3.2.4.1. Otomatik parlaklık kontrolü	91
3.2.4.2. Otomatik kazanç kontrolü	92
3.2.5. Yarı değer kalınlık testi	94
3.2.6. Kolimasyon	97
3.2.7. Yüksek ve alçak kontrast ayırma güçleri.....	100
3.2.7.1. Yüksek kontrast ayırma gücü ölçümü	100
3.2.7.2. Alçak kontrast ayırma gücü ölçümü	102
3.2.8. Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızı ölçümü.....	104
3.3. Film Banyosu Kalite Kontrol Testleri	106
3.3.1. Karanlık oda ışık kaçağı testi	106
3.3.2. Film banyosu günlük kalite kontrol testi	108
3.4. İyon Odası Kalibrasyonu.....	110
3.4.1. Kalibrasyon şartları	110
3.4.2. Kalibrasyon yöntemi	111
3.4.3. Eşzamanlı kalibrasyon metodu.....	112
3.4.4. Sıralı kalibrasyon metodu.....	113
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	114
4.1. Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri Bulguları.....	115
4.2. Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri Bulguları	125
4.3. Film Banyosu Kalite Kontrol Testleri Bulguları	129
4.4. İyon Odası Kalibrasyonu Bulguları.....	130
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	134
KAYNAKLAR	141
EKLER	144
EK 1	145
EK 2	146
EK 3	149
EK 4	150
EK 5	151
EK 6	154
EK 7	158
ÖZGEÇMİŞ	159

SİMGELER DİZİNİ

CsI	Sezyum iyodür
çç	Çizgi çifti
D_{T+S}	Taban+sis yoğunluk değeri
D_{YF}	Yoğunluk farkı değeri
D_{OY}	Orta yoğunluk değeri
F	Odak nokta boyutu
GG	Görüntü Güçlendirici
GGGFH	Görüntü Güçlendirici Giriş Fosfor
HVL	Işınlama Hızı
M	Yarı değer kalınlığı
M_p	Büyütme faktörü
mA	İnce delik kamerasının büyütme faktörü
mAs	Miliamper
MIH	Miliampersaniye
kV	Maksimum Işınlama Hızı
kVp	Kilovoltaj
ODM	Kilovoltaj tepe değeri
OIK	Odak Dedektör Mesafesi
OKK	Otomatik Işınlama Kontrolü
OPK	Otomatik Kazanç Kontrolü
OY	Otomatik Parlaklık Kontrolü
PEP	Optik Yoğunluk
R	Hasta eşdeğeri fantom
SSDL	Ayırma gücü
s	İkinci derece standart dozimetre laboratuvarı
	Işınlama zamanı (T)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Görüntü kalitesini etkileyen faktörler (Bor vd 1996)2
Şekil 1.2.	Kalite kontrol uygulamalarının görüntü kalitesine etkisi. Kalite kontrol uygulamalarından önceki (a) ve sonraki (b) görüntü kalitesi (Gray et al. 1983)3
Şekil 2.1.	Işınlama zamanı testinde (a) tek faz sistemler için, (b) üç faz sistemler için meydana gelen karamalar (Gray et al. 1983)8
Şekil 2.2.	Döner tabla testinde, bazı tablolarda ışınlama sonunda noktalar üst üste gelir (Gray et al. 1983)8
Şekil 2.3.	Yoğunlukları farklı iki maddenin kütle soğurma katsayılarının enerjiye göre davranışları.....9
Şekil 2.4.	KVp test kasetinin şematik gösterimi 11
Şekil 2.5.	KVp test kaseti kalibrasyon grafiği 12
Şekil 2.6.	KVp'nin elektronik sistem ile ölçümünün şematik gösterimi..... 13
Şekil 2.7.	Farklı odak nokta dağılımları, (a) kenar bant dağılımı, (b) merkezi sivrilmiş dağılım 15
Şekil 2.8.	Yıldız desen test aleti 16
Şekil 2.9.	Yıldız desen testi sonucunda elde edilen görüntüler, (a) desen görüntüsünün kenarlarından merkeze doğru ilerledikçe her yönde bozulma var (Gray et al. 1983), (b) desenin görüntüsünde farklı yönlerde ve uzaklıklarda da bozulmalar olabilir 16
Şekil 2.10.	Görüntüde karanlık ve aydınlık kısımların 180° yer değiştirmesi görülmektedir, (b) üç görüntüde farklı şekillerdeki yer değiştirmeler görülmektedir 17
Şekil 2.11.	Yıldız desen testi için, (a) aralarında W genişliği bulunan iki kaynak ve (b) W genişliğindeki uniform kaynak yaklaşımları..... 18
Şekil 2.12.	Büyümüş görüntüdeki çizgi genişliği ve açı değerleri..... 19
Şekil 2.13.	Temel floroskopik bir sistemin gösterimi 22
Şekil 2.14.	Otomatik ışınlama kontrollü floroskopik bir sistemin şematik gösterimi 23
Şekil 2.15.	Işık sensitometresi 29

Şekil 2.16.	X-ışın sensitometresinin çalışma prensibi. Farklı keV değerlerinde alüminyum basamaktan geçen X-ışın spektrumu yukarıda görülmektedir.....	30
Şekil 2.17.	Banyo sıcaklığı ve süresi filmin hız, kontrast ve taban+sis seviyelerini etkiler.....	32
Şekil 2.18.	Genel olarak radyasyon ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.19.	Elektrotlar arasında meydana gelen iyon akımının R direnci üzerinde elektrometre ile ölçülmesi.....	34
Şekil 3.1.	Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testi ölçüm geometrisi.....	35
Şekil 3.2.	Alüminyum basamak ile yapılan doğrusallık testi için ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	39
Şekil 3.3.	80 kVp ve 100, 200, 400 mAs değerlerinde elde edilen alüminyum basamak görüntüleri (Gray et al. 1983).....	40
Şekil 3.4.	Tüp çıkışı testinin, (a) t(sn)-mR, (b) KVp2-mR ve (c) mA-mR grafikleri.....	43
Şekil 3.5.	Yarı değer kalınlık testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	44
Şekil 3.6.	HVL değerinin grafikten belirlenmesi.....	46
Şekil 3.7.	Elektronik zaman ölçer ile ışınlama zamanı testinin ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	48
Şekil 3.8.	Döner tabla yöntemi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	50
Şekil 3.9.	Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanı belirlenirken kullanılan özel iletke (Gray et al. 1983).....	51
Şekil 3.10.	KVp testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983) Şekil 3.11. KVp test kaseti (Gray et al. 1983).....	53
Şekil 3.12.	KVp test kasetinin ışınlanması ile filmde meydana gelen kararmalar (Gray et al. 1983).....	54
Şekil 3.13.	X-ışın alanı uygunluk testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	59
Şekil 3.14.	(a) Soldaki görüntü masa üzerinde, sağdaki ise Buki'deki filmlerin görüntüsüdür. Heriki görüntüde de test sonuçları kabul sınırlarındadır, (b) aşağıdaki görüntülerde ise soltarafındaki masa üzerindeki filmde kolimasyon hatası gözlenirken, sağdaki Buki'deki filmde ise kasetin tam olarak merkezlenmediği görülmektedir (Gray et al. 1983).....	60

Şekil 3.15.	Yukarıdaki görüntüde filmin köşeleri ile x-ışın alanının köşelerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen merkezleme hatası görülmektedir (Gray et al. 1983)	61
Şekil 3.16.	İnce delik kamerası (Gray et al. 1983)	63
Şekil 3.17.	İnce delik kamerası ile odak nokta boyut ve ayırma gücü testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983).....	64
Şekil 3.18.	(a) Banyo edilen ekstiremite filmindeki ince delik görüntüsünün kesiti. 1,0 ve 2,0 mmodak nokta boyutlarında (a) dış filminde, (b) ekstiremite filmindeki odak nokta görüntüleri (Gray et al. 1983'den değiştirilerek alınmıştır)	65
Şekil 3.19.	Yıldız desen testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983) ...	68
Şekil 3.20.	Yukarıdaki yıldız desen görüntüsünde, anot-katot eksenine dik ve paralel yönlerde görüntünün kaybolmaya başladığı kısımlar görülmektedir (Gray et al. 1983)	68
Şekil 3.21.	Çubuk desen test aletinin görüntüsü	71
Şekil 3.22.	Ekran-film temas testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)	73
Şekil 3.23.	Test sonucunda elde edilen (a) kabul sınırlarında olan, (b) hatalı olan görüntüler (Gray et al. 1983).....	74
Şekil 3.24.	Ekran hızlarının homojenitesi testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)	76
Şekil 3.25.	Grid ayar test aleti	78
Şekil 3.26.	Grid ayar testi ölçüm geometrisi	78
Şekil 3.27.	X-ışınının doğru olarak merkezlenmesi ile elde edilen görüntü. Merkezdeki deliğin maksimumyoğunluğa sahip olduğu ve diğer deliklerin yoğunluklarının simetrik olarak azaldığı görülmektedir (odak nokta-film mesafesi = 100 cm)	79
Şekil 3.28.	Doğru olarak merkezlenme sağlanmayan görüntü. Maksimum yoğunluk merkezden sola doğru kaymıştır. ...	79
Şekil 3.29.	Işınlama grafiği (Gray et al. 1983'den değiştirilerek alınmıştır)	81
Şekil 3.30.	MIH testinde floroskopik modda ışınlama yapılarak x-ışın demeti tam olarak iyon odası boyutunda kolime edilmektedir (Gray et al. 1983).....	84
Şekil 3.31	Maksimum ışınlama hızı ölçüm geometrisi, (a) masa altı tüplü sistemler, (b) masa üstü tüplü sistemler, (c) C-kollu sistemler için (Gray et al. 1983)	85
Şekil 3.32	Floroskopik doz çıkış değeri testi ölçüm geometrisi	87

Şekil 3.33	Hasta giriş doz hızı testi ölçüm geometrisi.....	89
Şekil 3.34	Yarı değer kalınlık testi (a) masa üstü tüplü, (b) masa altı tüplü sistemler için ölçüm geometrisi. Görüldüğü gibi odak nokta ve GŞ arasındaki toplam alüminyum sürekli sabit kalmaktadır	95
Şekil 3.35.	Masa üstü tüplü sistemler için ölçüm geometrisi.....	98
Şekil 3.36.	Masa altı tüplü sistemler için ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)	98
Şekil 3.37.	(a) Test sonucunda elde edilen florskopik görüntü alanı. Her iki eksende kenarlara olan mesafenin eşit olması gerekirken, X-ışın alanı tam olarak merkezlenmediği için anot-katot ekseninin sol tarafında meydana gelen hata görülmektedir. GG'deki görüntü alanının, (a) florskopik, (b) film görüntüsü (Gray et al. 1983)	99
Şekil 3.38.	Yüksek kontrast ayırma gücü testi, (a) masa altı, (b) masa üstü tüplü sistemler için ölçüm geometrisi	101
Şekil 3.39.	Alçak kontrast ayırma gücü ayırma gücü testi ölçüm geometrisi	103
Şekil 3.40.	GGGFIH testi ölçüm geometrisi	105
Şekil 4.1.	Tüp çıkışı testinin, (a) t(sn)-mR, (b) kVp2-mR ve (c) mA-mR grafikleri	116
Şekil 4.2.	Yarı değer kalınlığının grafik ile belirlenmesi.....	117
Şekil 4.3.	Işınlama zamanı testinde elde edilen döner tabla görüntüsü.....	118
Şekil 4.4.	İnce delik kamerası testi sonucunda elde edilen odak noktanın büyütülmüş görüntüsü.....	120
Şekil 4.5.	Yıldız desen testinde elde edilen desen görüntüsü	121
Şekil 4.6.	Çubuk desen testinde elde edilen görüntü	122
Şekil 4.7.	X-ışın alanı uygunluk ve demet ayar testi sonucunda elde edilen yukarıdaki görüntüde kolimasyon ve merkezleme hataları görülmektedir	123
Şekil 4.8.	HVL değerinin grafik ile bulunması.....	126
Şekil 4.9.	Günlük banyo kalite kontrol testi sonuçları.....	129
Şekil 4.10.	Rad-Check iyon odasının standart iyon odasına göre davranışı (25-90 kV aralığında)	131
Şekil 4.11.	Rad-Check iyon odası için elde edilen kalibrasyon grafiği	132
Şekil 4.12.	Nero iyon odası için elde edilen kalibrasyon grafiği	133

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Tekrarlanabilirlik ve doğrusallık testi için muhtemel ışınlama faktörleri.....	36
Çizelge 3.2.	Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testi ölçüm geometrisi.....	38
Çizelge 3.3.	Tüp çıkışı testi KK çizelgesi.....	42
Çizelge 3.4.	Beklenen Işınlama Değerleri (Anonymous 1988).....	43
Çizelge 3.5.	HVL testi KK çizelgesi.....	45
Çizelge 3.6.	Tam dalga doğrultmalı, 1φ X-ışını sistemi için, toplam fitrasyon ve HVL değerleri.....	47
Çizelge 3.7.	3 φ X-ışını sistemi için, toplam fitrasyon ve HVL değerleri.....	47
Çizelge 3.8.	Işınlama zamanı testi KK çizelgesi (Elektronik x-ışın zaman ölçeri ile).....	49
Çizelge 3.9.	Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanı testi KK çizelgesi.....	51
Çizelge 3.10.	Döner tabla yöntemi için kabul sınırları (Anonymous 1978).....	51
Çizelge 3.11.	Tipik mA faktörleri.....	53
Çizelge 3.12.	KVp değeri test kaseti ile aşağıdaki örnekteki gibi belirlenebilir.....	54
Çizelge 3.13.	KVp test kaseti ile ölçümü için KK çizelgesi.....	55
Çizelge 3.14.	KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü KK çizelgesi.....	56
Çizelge 3.15.	Ek filtrasyon değerleri.....	57
Çizelge 3.16.	X-ışını alanı uygunluk testi KK çizelgesi.....	61
Çizelge 3.17.	Farklı boyuttaki odak noktaları için büyütme faktörleri.....	63
Çizelge 3.18.	İnce delik kamerası ile odak nokta ölçümü KK çizelgesi.....	66
Çizelge 3.19.	İnce delik kamerası testi için kabul sınırları.....	66
Çizelge 3.20.	Nominal odak nokta boyutu, büyütme ve desen açısı arasındaki ilişki.....	67
Çizelge 3.21.	Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü KK çizelgesi.....	70
Çizelge 3.22.	Çubuk desen testi için kabul sınırları.....	72
Çizelge 3.23.	Çubuk desen odak nokta boyut ve ayırma gücü testi KK çizelgesi.....	72

Çizelge 3.24.	Ekran-film temas testi KK çizelgesi	75
Çizelge 3.25.	Ekran hızlarının homojenitesi testi KK çizelgesi.....	77
Çizelge 3.26.	Grid ayar ölçümü testi KK çizelgesi.....	79
Çizelge 3.27.	Işınlama zamanı ve mA değerinin belirlenmesi	81
Çizelge 3.28.	Fazla yük devresi kontrolü testi KK çizelgesi	82
Çizelge 3.29.	Maksimum ışınlama hızı testi KK çizelgesi.....	84
Çizelge 3.30	Floroskopik doz çıkış değeri testi KK çizelgesi	87
Çizelge 3.31	Hasta giriş doz hızı testi.....	89
Çizelge 3.32	Bazı uluslar arası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen maksimum hasta giriş doz.....	90
Çizelge 3.33	Otomatik parlaklık kontrolü testi KK çizelgesi	91
Çizelge 3.34	Otomatik kazanç kontrol testi KK çizelgesi	93
Çizelge 3.35	Yarı değer kalınlık testi KK çizelgesi.....	96
Çizelge 3.36.	Demet ve kolimatör ayar testi KK çizelgesi	100
Çizelge 3.37.	Yüksek kontrast ayırma gücü testi KK çizelgesi	101
Çizelge 3.38.	Kabul sınırları (Not: 50 mesh = 2 çç/mm).....	102
Çizelge 3.39.	Alçak kontrast ayırma gücü ayırma gücü testi KK çizelgesi	103
Çizelge 3.40.	GGGIFH testi KK çizelgesi.....	105
Çizelge 3.41.	Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızları için kabul sınırları.....	106
Çizelge 3.42.	Karanlık oda ışık kaçağı testi KK çizelgesi	108
Çizelge 3.43.	Kalibrasyon işlemi için tavsiye edilen ışınlama faktörleri	111
Çizelge 4.1.	Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testi sonuçları	115
Çizelge 4.2.	Tüp çıkışı testi sonuçları.....	116
Çizelge 4.3.	Demet yarı kalınlık değeri testi sonuçları	117
Çizelge 4.4.	Elektronik zaman ölçer ile ışınlama zamanının ölçülmesi test sonuçları.....	118
Çizelge 4.5.	Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanının ölçülmesi test sonuçları.....	118
Çizelge 4.6.	Elektronik kVp ölçer ile kVp testi sonuçları.....	119
Çizelge 4.7.	Test kaseti ile kVp testi sonuçları.....	119
Çizelge 4.8.	İnce delik kamerası ile odak nokta ölçümü test sonuçları	120
Çizelge 4.9.	Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü test sonuçları	121
Çizelge 4.10.	Çubuk desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü test sonuçları.....	122

Çizelge 4.11.	X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi sonuçları	123
Çizelge 4.12.	Ekran-film temas testi sonuçları	124
Çizelge 4.13.	Ekran hızlarının homojenitesi testi sonuçları	124
Çizelge 4.14.	Grid ayar ölçümü test sonuçları	124
Çizelge 4.15.	Maksimum ışınlama hızı testi sonuçları	125
Çizelge 4.16.	Hasta giriş doz hızı ölçümü	125
Çizelge 4.17.	Floroskopik doz çıkış değeri test sonuçları	126
Çizelge 4.18.	Otomatik parlaklık kontrolü testi sonuçları	126
Çizelge 4.19.	Demet yarı kalınlık testi sonuçları	127
Çizelge 4.20.	X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi sonuçları	127
Çizelge 4.21.	Yüksek kontrast ayırma gücü testi sonuçları	128
Çizelge 4.22.	Alçak kontrast ayırma gücü testi sonuçları	128
Çizelge 4.23.	GGGFIH test sonuçları	128
Çizelge 4.24.	Karanlık oda ışık kaçağı testi sonuçları	129
Çizelge 4.25.	Aşağıda standart iyon odası, Rad-Check ve kalibrasyon dedektöründen okunan değerler verilmiştir. Herhangi bir sürede standart iyon odası ve Rad-Check'den elde edilen ışınlama değerleri kalibrasyon dedektörü sonucuna bölünmüştür. Yani okumalar kalibrasyon dedektörüne göre normalize edilerek iyon odalarının birbirlerine göre davranışları belirlenmiştir	131
Çizelge 4.26.	Referans değerlere göre Rad-Check ve Nero ölçümleri. Referans değer-1, 60 cm'de ÇNAEM tarafından kullanılan değerdir. Deney 100 cm'ye göre yapıldığı için bu sonuçlar ters kare kanunu kullanılarak düzeltilmiştir	131
Çizelge 4.27.	Rad-Check ve Nero için belirlenen kalibrasyon faktörleri	132
Çizelge 5.1.	Radyografik sistemlerde yapılan kalite kontrol testlerinin toplu sonuçları	134
Çizelge 5.2.	Testlerin toplu sonuçlarında verilen hataların genel açıklamaları	135
Çizelge 5.3.	Karanlık oda ışık kaçağı testi sonuçları	138

1. GİRİŞ

Diagnostik radyoloji hastalıkların teşhisinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Radyografik uygulamalarda insan anatomisi ile ilgili bilgiler, x-ışınları kullanılarak bir film üzerinde elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir (Gray *et al.* 1983). Sürekli x-ışını kullanılarak yapılan teşhis amaçlı floroskopik ya da anjiyografik uygulamalarda ise, damarsal yapı (v.b.) gibi dinamik bilgiler bir televizyon ekranı ile görüntülenir (Gray *et al.* 1983, Martin 1998).

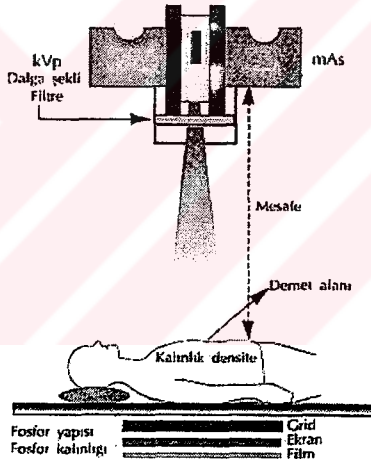
Tüm bu çalışmalarda amaç, teşhisin en az hata ile yapılmasının sağlanması ve optimum görüntü kalitesinin minimum hasta dozunda elde edilmesidir (Martin 1999). Fakat, x-ışınlarının kullanıldığı görüntüleme sistemlerinde genel olarak görüntü kalitesini hasta dozunu arttırmadan yükseltmek mümkün değildir. Diğer taraftan, hasta dozunu arttıran en önemli faktörlerden bir tanesi tekrar çalışmalarıdır. Görüntü kalitesinin yeterli olmaması durumunda radyologlar, teşhisin hatalı olmaması için çalışmanın tekrarını istemekte ve sonuçta hasta gereksiz yere fazla radyasyona maruz kalmaktadır (Bor vd 1996).

Günümüzde yapılan çalışmalarda, diagnostik radyoloji tetkiklerinin, insan yapımı radyasyon kaynakları içerisinde toplum dozuna en fazla katkıyı oluşturdukları belirtilmektedir (Bor vd 1996). Yapılan tetkike bağlı olarak, hasta dozları birkaç miliröntgen'den 5-10 miliröntgen seviyelerine kadar değişmektedir. Bazı floroskopik çalışmalarda ise, hasta dozunun 50-100 röntgen seviyelerine ulaştığı belirtilmektedir (Martin 1995). Literatürde diagnostik radyoloji tetkiklerindeki hasta dozlarının insan sağlığını direkt olarak etkilemeyeceği belirtilmektedir (Bor vd 1996). Bununla birlikte, insanın kalan ömrü boyunca ne kadar doza maruz kalacağı önceden bilinemeyeceği için, her bir tetkikte hasta dozunun minimum olması sağlanmalıdır.

X-ışınlarının kullanıldığı tüm görüntüleme sistemlerinde, görüntü kalitesini direkt ve dolaylı olarak etkileyen bir çok parametre vardır (Bor vd 1996, Martin 1999) (şekil 1.1.). Sistemin doğal sınırlamalarıyla birlikte (örneğin, odak nokta boyutu gibi), teknisyenler tarafından gerçekleştirilen teknik ayarlamalar (kVp, mA seçimi, film-banyo işlem sürecinin doğruluğu, hastaların pozisyonlama hataları gibi) görüntü kalitesini etkiler.

Diagnostik radyolojide görüntü kalitesini etkileyen en önemli faktör ise, x-ışın sisteminin performansidir (Anonymous 1974, Anonymous 1991,

Weaver *et al.* 1975) . Bu tür sistemlerin spesifikasyonları üretici firmalar tarafından belirtilmiştir. Sistemde zaman içerisinde kullanım koşullarına bağlı olarak, kolimatör ayarlarının bozulması, gridin hatalı çalışması gibi mekaniksel arızaların yanında, jeneratörde ışınlama parametrelerinin kalibrasyonlarının bozulması ya da diğer elektronik problemler meydana gelebilir. Sistemde meydana gelebilecek bu tür problemler, hasta dozlarının artmasına, düzensiz hasta dağılımı ve randevu sisteminin çalışmamasına yol açmakla birlikte, doktorlar ve çalışanlar açısından da önemli bir iş gücü kaybına neden olmaktadır. Ayrıca, bu tür sistemlerin oldukça yüksek olan servis maliyetleri de hastane bütçelerine önemli miktarlarda mali yük getirmektedir (Nelson *et al.* 1977). Bu tür problemlerin olumsuz sonuçlarının ortadan kaldırılması ya da en alt düzeye indirilmesi, x-ışın sistemlerinin periyodik olarak “Kalite Kontrol Testleri” nin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Bu testler Ek 1’deki tabloda gösterildiği gibi belirli aralıklarla yapılırlar.

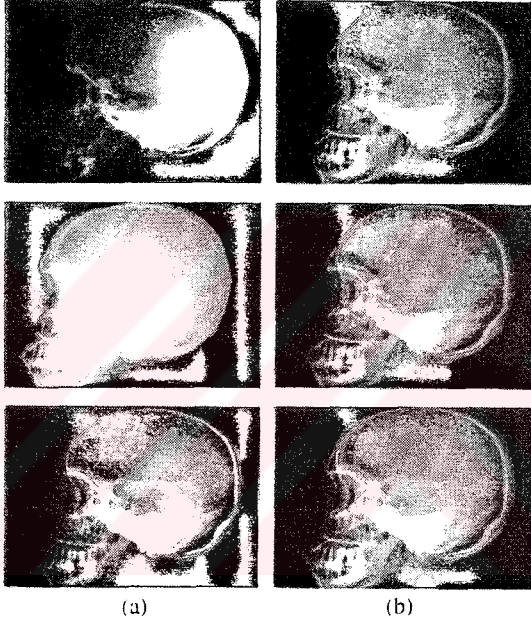


Şekil 1. 1. Görüntü kalitesini etkileyen faktörler (Bor vd 1996)

X-ışın sisteminin bir diğer önemli kontrolü ise, “Kabul Testi” dir. Bu testin amacı, yeni kurulan bir sistemin firma tarafından önerilen teknik spesifikasyonlarının kontrol edilmesidir. Birçok uluslararası kuruluş kabul testinde uygulanması gereken ölçüm yöntemlerini saptamışlardır (Anonymous 1978, Anonymous 1980, Anonymous 1988, Anonymous 1997). Üretici firma ve kullanıcının bu standart yöntemleri kullanması gerekmektedir. Kabul testlerinin bir diğer önemli amacı ise, rutin kalite

kontrol ölçümlerinde referans alınacak sonuçların elde edilmesidir. Yeni olmayan bir cihaza uygulanacak kabul testleri ile rutin kalite kontrolü için referans değerler elde edilmelidir.

Kalite kontrol uygulamalarının gerçekleştirilmesi ve periyodik aralıklarla sistem spesifikasyonlarının sürekli olarak sabit tutulması ile görüntü kalitesi artacak (şekil 1.2.). sonuçta, tekrar çalışmalarının sayısı dolayısıyla hasta dozları azalacaktır (Martin 1999) .



Şekil 1.2. Kalite kontrol uygulamalarının görüntü kalitesine etkisi. Kalite kontrol uygulamalarından önceki (a) ve sonraki (b) görüntü kalitesi (Gray et al. 1983)

Çalışma kapsamında, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İbn-i Sina Hastanesi, Radyodiagnostik Bölümünde bulunan radyografik ve floroskopik x-ışın sistemlerinin, karanlık oda ve otomatik banyo sistemleri ile Başkent Hastanesi Radyoloji Bölümündeki floroskopik sistemlerin kalite kontrol uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda, hem uluslar arası kuruluşlar tarafından önerilen standart yöntemler hem de alternatif yöntemler kullanılmıştır. Radyografik ve floroskopik x-ışın sistemleri için yapılan testler aşağıda belirtilmektedir.

Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri

- 1- Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusalılığı Testi
- 2- Tüp Çıkışı ve Kararlılığı Testi
- 3- Filtrasyon ve Yarı Değer Kalınlığı Testi
- 4- Işınlama Zamanının Ölçülmesi
- 5- KVp testi
- 6- X-ışını Alanı Uygunluk Testi
- 7- Odak Nokta Boyut ve Ayırma Gücü Ölçümleri
- 8- Ekran-Film Temas Testi
- 9- Ekran Hızlarının Homojenitesi
- 10- Grid Ayar Ölçümü
- 11- Fazla Yük Kontrolü

Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri

- 1- Maksimum Işınlama Hızı Testi
- 2- Floroskopik Doz Çıkış Değerinin ölçülmesi
- 3- Hasta Giriş Doz Hızı Ölçümü
- 4- Otomatik Parlaklık Kontrolü (OPK) ve Otomatik Kazanç Kontrolü (OKK)
- 5- Yarı Değer Kalınlık Testi
- 6- Kolimasyon
- 7- Yüksek ve Alçak Kontrast Ayırma Güçleri
- 8- Görüntü Güçlendirici Giriş Fosfor Işınlama Hızı Ölçümü

Karanlık Oda ve Film Banyosu Kalite Kontrol Testleri

Kalite kontrol testlerinde kullanılan ölçüm sistemlerinin doğruluğu ve güvenilirliği çok önemlidir (Wagner *et al.* 1992). Özellikle hasta dozlarının ve sistemlerinin doz çıkışlarının ölçülmesinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyonlarının düzenli olarak yapılması gereklidir (Robertson *et al.* 1992). Bu nedenle, çalışma süresince kullanılan iyon odalarının (Rad-Check ve Nero) kalibrasyonları TAEK Küçük Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde bulunan ikinci derece standart dozimetre laboratuvarında (DeFreitas *et al.* 1992) yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Radyografik Sistemlerde Kalite Kontrol Uygulamaları

2.1.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı

Bir X-ışını tüpünün çıkışı, kVp, mA ve ışınlama zamanı ile değişir. Normal şartlarda tüp çıkışının, zaman içerisinde istatistiksel dalgalanmalar dışında değişmemesi gerekir. Tüp çıkışını en iyi şekilde belirleyebilmek için mR/mAs ölçümleri kullanılır (Gray *et al.* 1983). mR/mAs, tüpe uygulanan mAs başına elde edilen ışınlamadır. Havada ya da fantom altında ölçülebilir.

mR/mAs değerinin belirlenmesi, bir X-ışını sisteminin ışınlama kararlılığının hızlı bir şekilde kontrol edilmesini sağlar. Bununla birlikte, mR/mAs sonucu tek başına kVp, mA ya da zaman kalibrasyonlarında meydana gelen değişikliklere ait spesifik bilgi vermez. Işınlama zamanı ve kVp kalibrasyonunun test edilmesi için ölçüm yöntemleri vardır. Fakat, bir jeneratörün mA kalibrasyonu için basit ve doğru bir yol yoktur (Anonymous 1974). Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testinde, bir X-ışını sisteminin aynı ışınlama geometrisi ve ışınlama şartlarında (kVp, mA ve ışınlama süresi) birbirine yakın ışınlamalar verip vermediği kontrol edilir.

Genellikle klinik çalışmalarda, muhtemel hasta hareketi nedeniyle ışınlama zamanının azaltılması (örneğin küçük çocuklarda), ve orantılı olarak mA değerinin artırılması gerekebilir. Aynı mAs değeri seçilmesine rağmen, tüp çıkışında kalibrasyon problemi nedeniyle farklılıklar olabilir ve elde edilen film (radyograf) yeterli görüntü kalitesine sahip olmayabilir. Doğrusallık testinde, mA ve ışınlama süresinin sonuçta aynı mAs'ı veren farklı kombinasyonlarında elde edilecek ışınlamalar karşılaştırılır (100 mA-0,4 s, 200 mA-0,2 s, 100 mA-0,1 s gibi).

2.1.2. Tüp çıkışı ve kararlılığı

Bir X-ışını tüpü ve jeneratörünün performansını değerlendirmek için kullanılan en önemli parametrelerden biri tüp çıkışının ölçülmesidir. Işınlamanın jeneratör parametreleri ile nasıl değiştiği bu test ile saptanır. Tüp çıkışının kararlılığı klinik çalışmalarda çok önemlidir (Gray *et al.* 1983). Tüp

çıkışının kararlı olması, uygulanan tetkikin, aynı ışınlama faktörlerinde yenilenmesini, dolayısıyla tekrarlanabilir radyografik sonuçlar elde edilmesini sağlar.

2.1.3. Filtrasyon ve yarı değer kalınlığı

HVL (yarı değer kalınlığı), sabit bir kVp ve mAs değerinde, ışınlamanın ilk değerini yarı değerine kadar azaltmak için gerekli olan alüminyum kalınlığıdır ve mm-Al olarak ifade edilir. HVL'nin ölçülmesi, x-ışını demetinin kalitesinin saptanabilmesi için önemlidir. Ayrıca, tüp filtrasyonunda belirlenmesi mümkün olur.

Diagnostik çalışmalarda X-ışını sisteminin filtrasyonu çok önemlidir. Filtrasyonun düşük olması durumunda, X-ışını demetindeki düşük enerjili ışınların büyük bir kısmı hasta tarafından soğurulacak ve filme ulaşmayacaktır. Bunun sonucunda da hasta dozu artar (Oresegun 1999). Toplam filtrasyondaki artış, yüksek enerjili X-ışınlarını fazla etkilemez, fakat demeteki düşük enerjili X-ışınlarının daha fazla soğurulmasına neden olur. Yarı değer kalınlığının artırılması, hasta giriş dozu ve hasta giriş-çıkış ışınlama değerinin azalmasını sağlar. Örneğin, yarı değer kalınlığının 2 mm'den 3 mm'ye artırılması sonucunda, hasta giriş dozu 600 mR'den 390 mR'e düşmektedir. Yani hasta dozunda % 35'lik bir azalma söz konusudur. Bununla birlikte, radyografik görüntüde yeterli kontrastın oluşmasını sağlayan düşük enerjili X-ışınlarını soğurulması, kontrastın azalmasına neden olur. Filtrasyonun artırılması, aynı zamanda tüp çıkışını azaltacağından, belirli X-ışın şiddetlerinin elde edilebilmesi için, mAs değerinin artırılması gerekecektir. Bu durumda, ışınlama süreleri uzayacak ve sonuçta görüntü, muhtemel hasta hareketinden etkilenecektir (Gray *et al.* 1983).

2.1.4. Işınlama zamanının ölçülmesi

Bir X-ışını tetkikinde, ışınlama geometrisi kurulduktan sonra, kVp optimum görüntü kontrastını verecek şekilde seçilir. Daha sonra tüp akımı ve ışınlama zamanı gerekli X-ışını şiddetinin elde edilmesi için ayarlanır. Genelde, hasta hareketi nedeniyle görüntüde meydana gelebilecek bulanıklığı ortadan kaldırmak için maksimum mA ve minimum ışınlama zamanı kullanılır. Bu nedenle, her ışınlama sonunda kaliteli radyograflar elde etmek için, X-ışını jeneratöründe seçilen ışınlama zamanı, doğru ve

tekrarlanabilir olmalıdır. Işınlama zamanı ölçümü, rutin KK uygulamalarında elektronik X-ışını zaman ölçeri ve döner tabla sistemi olmak üzere iki ayrı yöntem kullanılarak gerçekleştirilir (Anonymous 1978). Bir X-ışını dedektörünün osiloskoba bağlanmasıyla tüm dalga şekli incelenebilir. Ancak bu yöntem diğerlerine göre daha karmaşıktır.

2.1.4.1. Elektronik x-ışını zaman ölçeri

Zaman ölçerin çalışma prensibi, ışınlama başlangıcının katı hal diyotları ile dedekte edilmesinden sonra, bir osilatörden çıkan mantık pulslarının ışınlama sonuna kadar sayılması esasına dayanır. Işınlama süresine göre, osilatör çıkışının verdiği mantık pulslarının süreleri seçilebilir (0,1 ya da 1 ms gibi). Sadece darbelerin sayılması isteniyorsa (tek faz sistemlerde olduğu gibi), bu durumda osilatör çıkışı yerine dedektör çıkışındaki pulslar sayılır.

2.1.4.2. Döner tabla yöntemi

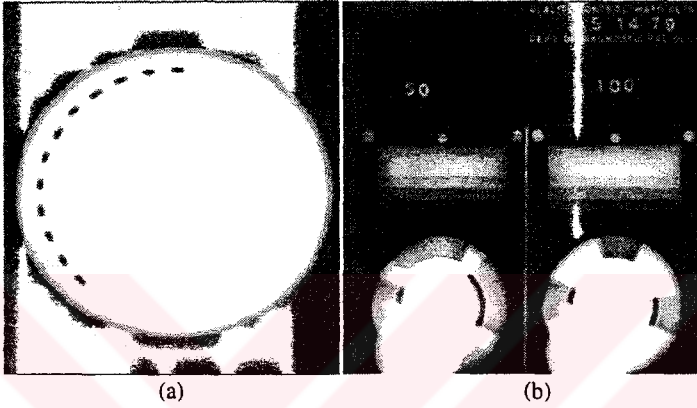
Döner tabla test aleti, üzerinde bir yarık ya da delik bulunan metal bir diskdir. Kaset üzerine yerleştirilen disk döndürülürken tek faz, tam dalga doğrultmalı bir sistem ile ışınlanırsa, banyo edilen filmin üzerinde her biri 1/100 s'deki darbelere karşı gelen siyah noktalar meydana gelir (şekil 2.1.a). Oluşan bu noktaların sayılması ile ışınlama süresi ölçülür. Örneğin, tam dalga sistemde 200 milisaniyelik bir ışınlama süresinde 20 nokta sayılmalıdır. Üç faz ve sabit potansiyel sistemlerde tablanın dönüş hızı bilinmelidir. Bu nedenle, bu tablalar motor kontrollüdür ve filmde meydana gelen kararırma siyah bir yay görüntüsündedir (şekil 2.1.b). Işınlama süresi, bu yay karşı gelen açının ölçülmesi ve tablanın saniyedeki dönme sayısından (rps) belirlenir.

$$\text{Ölçülen ışınlama zamanı} = \frac{\text{Yayın ölçülen açısı}}{360 * rps} \quad (2.1)$$

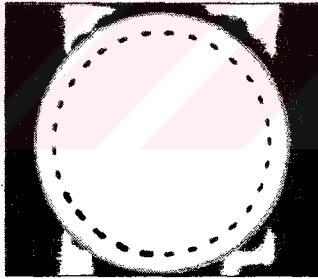
Ancak, daha kolay bir yöntem özel bir iletkenin kullanılmasıdır. Bu iletken üzerinde, yay uzunluklarına karşı gelen ışınlama süreleri direkt olarak işaretlenmiştir ve bir hesaplama gerektirmez.

Bazı tablalarda birden fazla delik vardır ve ışınlama sonucunda noktalar üst üste biner. Bu durumda, çift ışınlamanın başladığı noktadan, diğerinin sonuna kadar noktalar sayılır ya da yay ölçülür (şekil 2.2.).

Üç faz sistemlerde yarığın genişliği ölçülen açıdan çıkarılmalıdır. Yani, ölçülen değer 20° ve yarığın genişliği 2° 'ye karşı geliyorsa, gerçek değer 18° olacaktır. Ayrıca, yayın kararmasının homojen olması, ışınlanmanın da süre boyunca sabit olduğunu gösterir.



Şekil 2.1. Işınlama zamanı testinde (a) tek faz sistemler için, (b) üç faz sistemler için meydana gelen kararmalar (Gray *et al.* 1983)



Şekil 2.2. Döner tabla testinde, bazı tablalarda ışınlama sonunda noktalar üst üste gelir (Gray *et al.* 1983)

2.1.5. KVp testi

Diagnostik radyolojide kVp, kontrastı direk olarak etkilediği için çok önemlidir. Klinik çalışmalarda, radyolog tarafından istenilen görüntü kalitesindeki en önemli faktör kontrasttır. Bu nedenle, kullanılan X-ışını

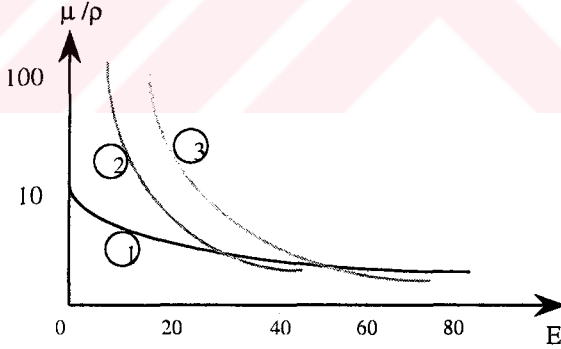
sisteminin kVp kalibrasyonu çok iyi olmalıdır ve periyodik olarak kontrol edilmelidir (Heggie *et al.* 1985, Gray *et al.* 1983).

Tüp voltajının ölçülmesinde farklı yöntemler vardır. En doğru ancak, aynı zamanda en karmaşık olanı, bir voltaj bölücüsünün kullanılmasıdır. Bu sistem, yüksek voltaj jeneratöründen, X-ışın tüpüne giden kablolarla takıldığı için, rutin kalite kontrol uygulamalarında kullanılmaz. Kvp'nin test edilmesinde kullanılan en hızlı yöntem, elektronik kVp ölçerlerdir. Çok daha ucuz ve kolay bir yöntem ise test kasetlerinin kullanılmasıdır. Kvp test kasetleri , kVp'nin 1 ya da 2 kV doğrulukla kontrol edilmesini sağlayabilir.

2.1.5.1. Kvp'nin test kaseti ile ölçülmesi

Günümüzde kVp test kaseti bir çok kişi tarafından kullanılmaktadır. Bu kasetin işlevi açıklamadan önce, kVp'nin bu yöntemle ölçülmesinin genel prensipleri aşağıdaki gibi verilebilir.

Şekil 2.3.'de iki farklı maddenin kütle soğurma katsayılarının enerjiye göre davranışları gösterilmektedir. X-ışınlarının soğurulması maddelerden bir tanesinde (alüminyum ya da bakır gibi) enerji ile hızlı bir değişim gösterirken, diğerinde (polietilen gibi düşük z numaralı) daha azdır.



Şekil 2.3. Yoğunlukları farklı iki maddenin kütle soğurma katsayılarının enerjiye göre davranışları

Bu iki eğri (1 ve 2 nolu) belirli bir enerjide kesişirler. Yani, belirli bir kalınlıktaki bakır ile polietilen, aynı X-ışını enerjisinde (örneğin 35 keV'de) eşit soğurma özelliği gösterirler. İlkine göre daha kalın bir bakır tabakanın

polietilen ile eşit soğurma özelliği daha yüksek bir enerjidedir (1 ve 3 nolu eğri). Sonuçta, farklı kalınlıklarda bakır tabakalar kullanılarak, sabit kalınlıkta bir polietilen ile bir çok enerjide eşit soğurma sağlanabilir.

X-ışını demetinin enerjisi spektrumun dalga şekline, filtrasyona ve kVp'sine bağlıdır. Belirgin bir dalga şekli (1ϕ ya da 3ϕ) dikkate alınarak ve demet sıkı bir şekilde filtre edilerek, enerjinin kVp ile orantılı olması sağlanabilir. Yani bu durumda şekildeki enerji skalası kVp'yi temsil edecektir.

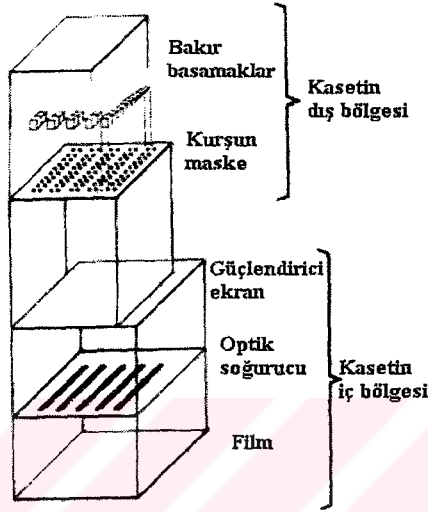
KVp test kasetlerinde, bir referans kalınlık ve onun yanında genelde bakırdan yapılmış farklı kalınlıklarda bir basamak vardır. X-ışınlarının geldiği ön kısma yerleştirilen kalın bir filtre ile X-ışını demeti sıkı bir şekilde filtre edilerek, demet enerjisinin filtreye bağlılığı en aza indirilir. Sistemin en altına ise bir kaset yerleştirilir. Yapılan ışınlama sonucunda elde edilen filmde, referans kısma karşı gelen bölgede homojen bir optik yoğunluk, basamaklı kısmın altında ise, basamak kalınlığına bağlı olarak gittikçe artan bir optik yoğunluk görülecektir. İki taraf arasında belirli bir kalınlığın altındaki bölgede, optik yoğunluklar bir enerji değeri için birbirine eşit olacaktır. Bu eşit soğurma noktasının hangi kVp'ye karşı geldiği ise, önceden elde edilmiş bir kalibrasyon eğrisi ile saptanır. Kalibrasyonda, kVp değeri çok iyi bilinen bir jeneratörle sistem ışınlanır ve hangi basamakları hangi kVp'lere karşı geldiği tespit edilir. Temel ilkesi bu şekilde olan bir çok test kaseti vardır.

2.1.5.2. Wisconsin kVp test kaseti

Wisconsin test kasetinde, bir film üzerinde beş farklı kVp'nin test edilmesi, kasetteki beş farklı bölgenin ayrı ayrı ışınlanması ile mümkündür. Kasetin en dış kısmında kalın bir bakır filtre vardır. Bu filtre ile demetin sıkı bir şekilde filtrasyonu yapılır ve demet enerjisinin kVp ile orantılı olması sağlanır¹. Filtrenin altında kurşun bir tabaka vardır ve beş ölçüm bölgesi bu tabakada birer sütun olarak ayrılmıştır. Her sütunda her biri on delikten oluşmuş iki sıra vardır. İlk sıranın altına bakır basamak, her bir deliğin altına farklı bir kalınlık karşı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha önce açıklandığı gibi, bu basamakların her biri farklı kVp'lerin ölçümünde kullanılır. Kurşun tabakanın altında ise güçlendirici ekran, onun hemen

¹ Bu bakırın kalınlığı (1,6 mm), insan vücudunun vereceği soğurmaya eşdeğer bir soğurma olacak şekilde seçilmiştir.

altına ise optik soğurucu yerleştirilmiştir. X-ışın filmi ise kasetin en altındadır (şekil 2.4.).



Şekil 2.4. KVp test kasetinin şematik gösterimi

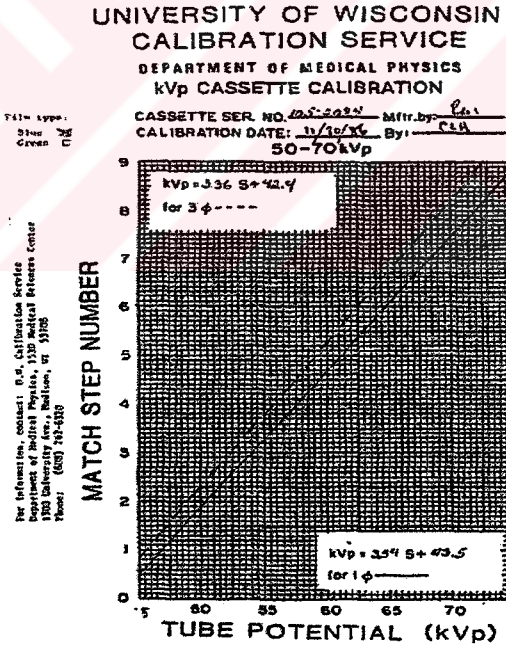
Optik soğurucunun üzerinde beş tane gri tonda şerit vardır. Bu şeritlerin her biri kurşun tabakadaki ikinci sıra deliklerin tam altına gelmektedir. Buna göre, bakır soğurucudan filtre edilerek geçen X-ışınları her bir ölçüm bölgesinde (her bir ışınlamada beş kısımdan birinin kullanıldığına dikkat edilmelidir) bir kısmı bakır basamakta farklı miktarlarda soğurulur ve her bir basamağın altındaki delikten geçerek güçlendirici ekranda durdurulurlar. Burada oluşan ışık fotonları optik soğurucudan homojen olarak geçerek, film üzerinde farklı ışınlama bölgeleri meydana getirir. Kurşun tabaka üzerine gelen X-ışınlarının bir kısmı da, ikinci sıra deliklerden geçecek ve ekranda durdurulacaktır. Bu deliklerin altında herhangi bir soğurucu basamak olmadığı için, ekranda her bir noktada oluşan ışık miktarı aynıdır. Ancak ekrandan çıkan bu ışık gri şeritte soğurularak filme ulaşır, gri şerit ile filme uygun miktarda ışık gönderilmesi sağlanır.

Sonuçta, film üzerinde iki sıradaki on deliğin görüntüsü çıkar. İlk sırada, X-ışınları bakır basamakta farklı soğuruldukları için, deliklerin görüntüsü farklı optik yoğunluklardadır. İkinci sıra deliklerin görüntüsü ise homojendir. İkinci sırada elde edilen deliklerin homojen optik yoğunluğu, ilk sıradaki farklı optik yoğunluklardaki delik görüntülerinden bir tanesi ile aynı olacaktır. Bu uyuma noktası ise kVp'nin ölçülmesinde kullanılacaktır.

(Gray *et al.* 1983). Dikkat edileceği gibi, bir önceki kısımda sözü edilen tek kalınlıktaki referans madde yerine, burada optik soğurucu üzerindeki gri tondaki şerit yer almaktadır. Yani, X-ışın soğurulmalarının karşılaştırılmaları, güçlendirici ekranda oluşturdukları ışık fotonlarının film üzerinde meydana getirdikleri optik yoğunluk farkları ile yapılır.

Film üzerindeki delik görüntülerinin yeterli kontrastta olabilmesi için, optik soğurucuda ki gri tondaki şeridin iyi oluşturulması ve kullanılan filmin ekran ile uyuşması gerekmektedir.

Her bir ölçüm kısmı için, belirli bir kVp'de uyuşma noktasının hangi basamakta olacağı ise kasetin kalibrasyonu ile belirlenir. KVp kalibrasyonu hatasız olan ya da verdiği kVp'ler kesinlikle bilinen (aynı anda voltaj bölücüsünün kullanılmasıyla) bir X-ışın sisteminde test kaseti ışınlanarak, her bir kVp için optik yoğunluğu homojen kısımla aynı olan basamak numaraları belirlenebilir. Böylelikle, şekil 2.5.'de görülen kalibrasyon eğrileri, farklı fazdaki sistemler için her bir kasete göre hazırlanır.



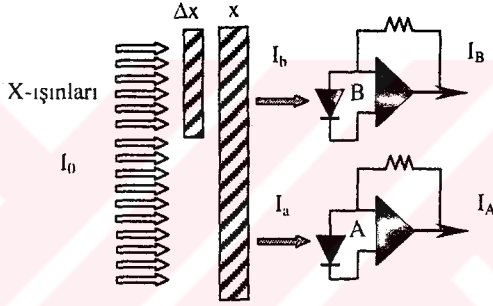
Şekil 2.5. KVp test kaseti kalibrasyon grafiği

2.1.5.3. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü

Elektronik sistemler ile KVp'nin, X-ışınlarının direkt olarak ölçülmesiyle saptanması mümkün olur. Kullanılan yöntem, X-ışın spektrumunun oldukça fazla filtre edilen kısmından, doğrusal soğurma katsayısının ölçülmesi esasına dayanır (Cruvinel *et al.* 1983). Doğrusal soğurma katsayısı (μ) ve KVp arasındaki ilişki aşağıdaki şekildedir.

$$\mu = C_1 (kVp)^{-C_2} \quad (2.2)$$

Şekil 2.6.'da genelde kullanılan ölçüm sisteminin şeması verilmektedir. Gelen X-ışın demeti (I_0), iki farklı kalınlıktan geçirilir.



Şekil 2.6. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümünün şematik gösterimi

$I_B = I_0 e^{-\mu(x+\Delta x)}$ ve $I_A = I_0 e^{-\mu \Delta x}$ olup, buradan $I_B = I_A e^{-\mu \Delta x}$ bulunur. A ve B dedektörlerinin çıkışlarının oranı ise;

$$r = \frac{I_B}{I_A} = C e^{-\mu \Delta x} \quad (2.3)$$

C iki dedektörün çıkışları ile ilgili bir sabit olup, eğer dedektörler aynı enerji cevabında ise sabit bir değerdedir. (2.2) ve (2.3) ifadeleri r-kVp ilişkisinin çözülebilmesi için kullanılabilir. Ancak, x ve Δx 'in belirli kalınlıklarında ve sınırlı KVp değerleri için bu ilişki deneysel olarak belirlenebilir. Bu amaçla, kalibrasyon sırasında voltaj bölücüsü kullanılır ve bölücüden okunan voltaj tepe değerleri (KVp) ve iki dedektörün çıkışları, aşağıdaki denklemlerde ki a ve b tamsayılarının hesaplanmasında kullanılır.

$$\ln(kVp) = ar + b \quad (2.4)$$

Daha sonra bu katsayılar normal çalışma esnasında kVp'lerin test edilmesinde kullanılırlar.

2.1.6. X-ışını alanı uygunluk testi

X-ışınlarının sadece incelenecek sahaya yönlendirilmesi çok önemlidir. İyi bir kolimasyon ile hastanın gereksiz yere ışınlanmaması sağlanır. Ayrıca, saçılan ışın miktarı da azaldığı için görüntüdeki kontrast artar. Merkezi ışının görüntü düzlemine dik olmaması, görüntü kalitesini bozan önemli noktalardan bir tanesidir (Gray *et al.* 1983).

2.1.7. Odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümleri

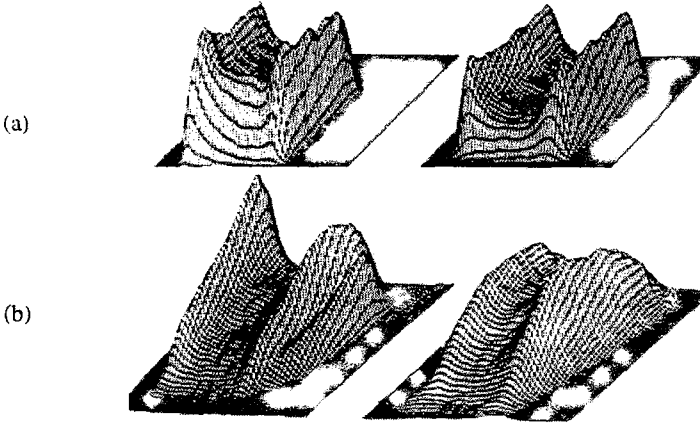
Bir X-ışını tüpünün kabul testi sırasındaki önemli ölçümlerden bir tanesi de, odak noktasının boyutunun ölçülmesidir (Anonymou 1978). Toleransları aşan boyutlardaki odak noktaları görüntü kalitesini bozarlar. Diğer taraftan, belirttiklerinden daha küçük odak noktaları, tüpün kullanım süresini azaltırlar.

2.1.7.1. İnce delik kamerası ölçümleri

Odak noktasının fiziksel boyutunun ölçülmesinde, aynı zamanda noktanın şiddet dağılımının da elde edildiği "İnce delik" (pin hole) tekniği kullanılır. Rezolüsyon desenleri ise, odak noktasının çözümüleme kapasitesinin belirlenmesinde kullanılır. Uluslararası kuruluşlar (örneğin NEMA-National Electrical Manufacturer Association), 0,3 mm'den küçük odak noktalarının boyutlarının rezolüsyon desenleri, daha büyüklerinin ise ince delik tekniği ile ölçülmesini önermektedirler.

Bir ince delik görüntüsü üzerinde, optik yoğunluğun bir eksen boyunca değişimi, odak noktasının şiddet dağılımını verir (Weaver *et al.* 1975). Genelde üç tip dağılım vardır (şekil 2.7.a,b);

- 1- Kenar bant dağılımı
- 2- Homojen dağılım (Radyasyon şiddeti odak nokta boyunca homojendir)
- 3- Merkezi sivrilmiş dağılım



Şekil 2.7. Farklı odak nokta dağılımları, (a) kenar bant dağılımı, (b) merkezi sivrilmiş dağılım

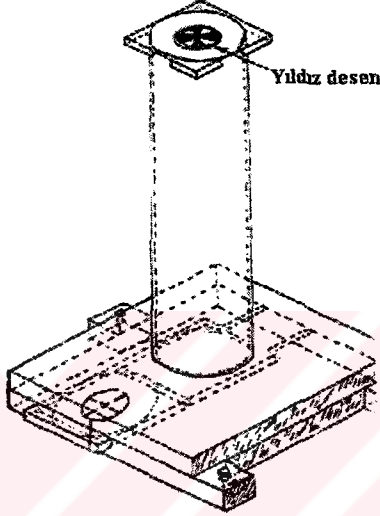
Dağılımın tipi odak noktasının ayırma gücünü etkiler. Genelde, kenar bant dağılımı gösteren odak noktalarında ayırma gücü en kötü, merkezde dağılım gösterenlerde en iyidir. Şiddet dağılımının şekli, objedeki kenarların görüntüdeki keskinliklerini belirler.

Tüpe uygulanan kVp ve mA'e göre odak nokta boyutu değişmektedir. Odak noktası boyutu, tüp akımı ile direkt orantılı olarak artar. Ayrıca odak nokta boyutu artan kVp ile az miktar azalır. Örneğin, 40 kVp 100 mA'de 2,0 mm olan odak nokta boyutu, 40 kVp 300 mA'de 2,3 mm, 60 kVp 400 mA'de 1,7 mm olur. Odak nokta boyutu ile ilgili bir diğer önemli nokta, ölçümlerin merkezi X-ışınında yapılmasıdır. Merkezi ışıdan uzaklaştıkça boy da değişir. Odak boyutu anot tarafında çok daha kısadır.

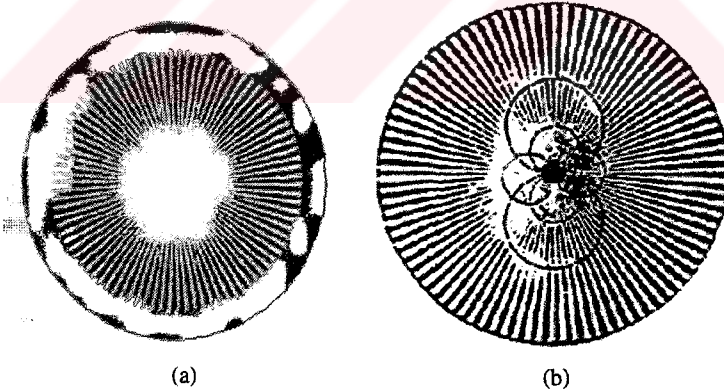
2.1.7.2. Yıldız desen ölçümleri

0,3 mm'den daha küçük odak noktalarının boyutlarının İnce Delik (pin-hole) kamera ile ölçümleri zor olduğundan, şekil 2.8.'de görülen yıldız desenli fantomlar kullanılır (Gray *et al.* 1983). Görüldüğü gibi, merkeze yaklaştıkça çizgi çiftleri arasındaki mesafe azalmaktadır. Görüntü üzerinde merkeze doğru yaklaştıkça, çizgi çiftlerinin görüntüsünün kayıp olduğu (ayırma gücünün bozulduğu) bir bölge ile karşılaşılır (şekil 2.9.a,b).

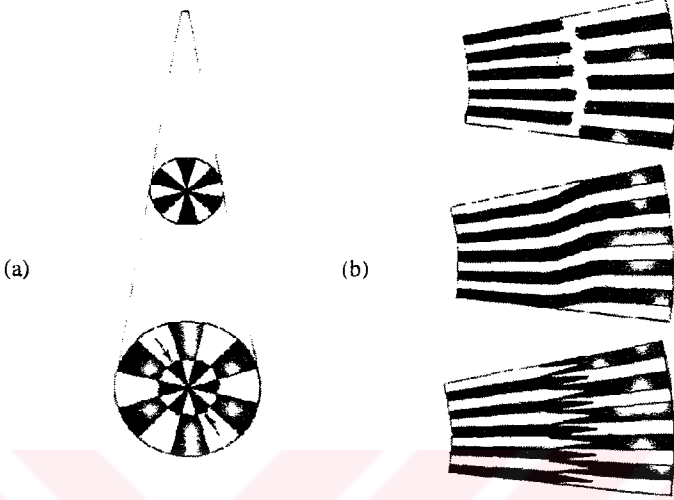
Bu bölgeden tekrar merkeze doğru gidilirse ayırma gücünün yeniden düzeldiği görülür. Ancak, bulanık bölgenin dış ve iç kısmında görüntünün karanlık ve aydınlık kısımları 180° yer değiştirmiştir (şekil 2.10.a,b). Bu görüntüden odak nokta boyutunun nasıl hesaplandığı aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.8. Yıldız desen test aleti



Şekil 2.9. Yıldız desen testi sonucunda elde edilen görüntüler, (a) desen görüntüsünün kenarlarından merkeze doğru ilerledikçe her yönde bozulma var (Gray *et al.* 1983), (b) desenin görüntüsünde farklı yönlerde ve uzaklıklarda da bozulmalar olabilir



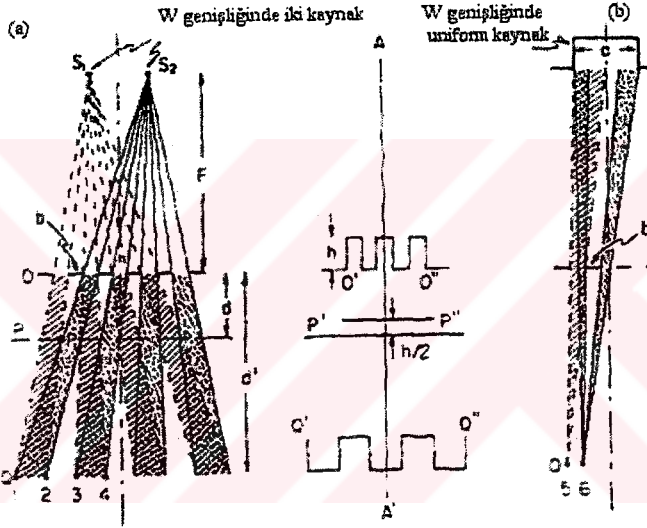
Şekil 2.10. Görüntüde karanlık ve aydınlık kısımların 180° yer değiştirmesi görülmektedir, (b) üç görüntüde farklı şekillerdeki yer değiştirmeler görülmektedir

Aralarında w uzaklığı bulunan S_1 ve S_2 kaynaklarının eşit miktarda X-ışını saldığı varsayılsın (S_1 ve S_2 belirli bir boyuttaki odak noktasının iki ucu olarak kabul edilebilir). "O" düzlemine yerleştirilen test aletinin odak noktası ile arasındaki mesafe F olsun (şekil 2.11.a). Eğer bir film bu test aletinin tam altına yerleştirilirse, filmi ışınlayan şiddet dağılımı, h genişliğindeki kare dalga şeklindedir ($O'-O''$). Bu durumda filmin üzerindeki her nokta ya iki kaynağı aynı anda görür ya da hiçbirini görmez. Eğer film 'P' düzlemine kaydırılacak olursa, filmin ışınlandığı desen $P'-P''$ de ki gibi olup, genişliği $h/2$ 'dir. Bu durumda, film üzerindeki noktalar sadece kaynaklardan birisini görecektir, hiç bir zaman bir noktadan iki kaynak birden görüntülenemeyecektir. Filmin Q düzlemine indirilmesiyle, gene film üzerindeki bazı noktalar iki kaynağı birden görürlerken, bazıları ikisini birden görmez. Örneğin, Q_1 ve Q_2 arasında film üzerindeki her nokta iki kaynağı birden görürken, Q_2 ve Q_3 arasında hiç bir kaynak görülmez. Bu düzlemdeki şiddet dağılımı $Q'-Q''$ 'de gösterilmektedir. Ancak, desenin şekli $O'-O''$ düzleminde görülen desene göre, AA' eksenine dikkate alınırsa, 180° farklıdır. Yani $O'-O''$ de ki bir tepe, $Q'-Q''$ de bir minimumdur. Bu

davranış yıldız desende gördüğümüzün aynısıdır. Şimdi basit geometrik bağıntılar ile W mesafesi, yani odak nokta boyutu bulunacaktır.

S_1, S_2 ve P_1 noktalarından geçen büyük üçgen ve bu üçgen içindeki b tabanlı ve köşesi P_1 olan diğer küçük üçgen arasındaki benzerliklerden aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{W}{b} = \frac{(F + d)}{d} \quad (2.5)$$



Şekil 2.11. Yıldız desen testi için. (a) aralarında W genişliği bulunan iki kaynak ve (b) W genişliğindeki uniform kaynak yaklaşımları

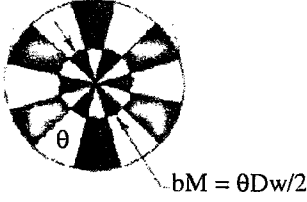
Film O düzleminde d kadar alt tarafa yerleştirildiğinde ise, test aletinin film üzerindeki büyütme faktörü (M) aşağıda verilmiştir;

$$M = \frac{(F + d)}{F} \quad (2.6)$$

Yıldız desenin büyütme faktörü M ile ince delik kameranın ki M_p ($M_p = d / F$) karıştırılmamalıdır. M_p ile M arasında $M_p = (M - 1)$ ilişkisi mevcuttur. (2.5.) denklemini buna göre yeniden yazarsak;

$$W = \left(\frac{b(F+d)}{d} \right) \frac{F}{F} = \left(\frac{b(F+d)}{F} \right) \frac{F}{d} = \frac{bM}{M_P} \quad (2.7)$$

bM , test aletinin film üzerindeki büyümüş görüntüsündeki bir çizgisinin genişliğidir. Bu da, $\theta Dw/2$ 'ye eşittir (şekil 2.12.). Dw , anat-katot ekseninde, görüntüdeki çizgilerin kaybolduğu noktalar arasındaki mesafedir.



Şekil 2.12. Büyümüş görüntüdeki çizgi genişliği ve açı değerleri

Buradan, iki ucu kaynak kabul edilen odak noktasının genişliği aşağıdaki şekilde bulunur;

$$W = \frac{\theta D_w}{2} \left(\frac{l}{M-1} \right) \quad (2.8)$$

Şimdi ise odak noktasının tamamen homojen kaynak kabul edildiği diğer alternatifi dikkate alalım. Şekil 2.11.b'de, W' genişliğinde uniform bir kaynak görülmektedir. Burada test aletinin altındaki filmin kaynağı ilk olarak göremediği yer Q düzlemidir. Q_5 noktası, kaynağın sol yarısını görürken, Q_6 noktası sağ ve sol tarafların yalnızca yarısını görmektedir. Aynı şekilde benzer üçgenlerden aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\frac{W^l}{2b} = \frac{(F+d^l)}{d^l} = \frac{(F+d^l)}{F} \frac{F}{d^l} = \frac{M}{M_P} \quad (2.9)$$

$$W^l = \frac{2bM}{M_P} = \theta D_w \left(\frac{l}{M_P} \right)$$

$$W^l = \theta D_w \left(\frac{l}{M-1} \right) \quad (2.10)$$

Örneğin, test aletinin görüntüsü 73 mm, gerçek boyutu 45 mm ise, $M = 73 / 45 = 1,62$ olarak bulunur. Anot-katod eksenine paralel ve dik olarak, film üzerinden ölçülen görüntünün kaybolduğu noktalar arasındaki mesafeler; $D_w = 46$ mm, $D_l = 49$ mm ise, 2° lik test aleti için;

$$2^\circ = 2\pi/180 = 0,035 \text{ radyan}$$

İki kaynak yaklaşımı için;

$$W = \frac{\theta D_w}{2} \left(\frac{1}{M-1} \right) = \left(\frac{0,035 * 46}{2} \right) \left(\frac{1}{1,62-1} \right) = 1,3 \text{ mm}$$

Tek kaynak yaklaşımı için;

$$W' = \theta D_w \left(\frac{1}{M-1} \right) = \left(\frac{0,035 * 46}{2} \right) \left(\frac{1}{1,62-1} \right) = 2,6 \text{ mm}$$

Gerçek kaynak boyutu, bu iki uç nokta arasında, bir boyutta, genelde büyüğe daha yakın bir değerdedir. Diğer eksendeki odak nokta boyutu için, (2.10.) denkleminde W' yerine L ve Dw yerine D₁ alınarak;

$$L = \frac{\theta D_l}{2} \left(\frac{1}{M-1} \right) = (0,035 * 49) / 0,62 = 2,8 \text{ mm}$$

Yıldız desen ile odak nokta boyut ölçümleri, odak noktasının iki özelliğinden etkilenir;

- 1- Odak nokta boyutu
- 2- Odak nokta şiddet dağılımı

Yıldız desenle ölçülen odak nokta boyutu, odağın şiddet dağılımına bağlıdır. Örneğin, ince delik kamerası ile 1,0 mm ölçülmüş boyut yıldız desenle; homojen şiddet dağılımı için 1,0 mm, kenar dağılımlı şiddet için 2,0 mm ve merkezi sivrilmiş dağılım için 0,5 mm ölçülebilir.

Farklı odak nokta boyutlarına göre değişik açıda yıldız desenler yapılmıştır. 2° lik desen nominal boyutu 0,05 cm'ye kadar olan odak noktaları, $1,5^\circ$ lik desen daha küçük nominal boyuttaki odak nokta ölçümlerinde kullanılır.

2.1.8. Diğer ayırma gücü ölçümleri

Odak nokta boyutunun ayırma gücünün ve boyutunun saptanmasında çubuklu desenlerde kullanılmaktadır . Bu desenlerin görüntülerinden ayırma gücünün görsel olarak saptanmasına çalışılır. Gözle ayırt edilebilen en fazla çizgi çifti (çç) sayısı belirlenir ve daha sonra odak nokta boyutu bulunur. Ancak, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha az kullanışlıdır.

2.1.8.1. Çubuk desen aleti

Çubuk deseni, görsel olarak odak noktanın çözme gücünün belirlenmesinde kullanılır. Alet 15 cm yüksekliğinde plastik bir silindirin üst tabanına yerleştirilmiş 11 grup çizgi çifti içerir. Her grup 6 çizgiye sahiptir ve bunlardan üçü yakın grupların sağında yer alır. Gruplar 0,6 çç/mm den 3,35 çç/mm'ye kadar değişir. Filmin ve ilgili çizelgenin incelenmesi ile ayırma gücüne karşılık odak nokta boyutunu belirlenir. Ayrıca, nominal odak nokta boyutu belirlenebilir.

2.1.9. Ekran-film temas testi

Hasta incelemelerinde, kullanılan kasetler yeni ya da eski olsun, ekran-film temas testi rutin olarak yapılmalıdır. Özellikle yoğun kullanım esnasında, çeşitli faktörlerden dolayı kasetler fiziksel hasarlar görebilir. Bu durumda, ekran-film teması yeteri kadar sağlanamaz. Ekran ile film teması ne kadar iyi olursa, elde edilecek radyografların görüntü kalitesi o kadar yüksek olur.

2.1.10. Ekran hızlarının homojenitesi

Radyoloji bölümlerinde değişik tipte ekran ve kaset bulunabilir. Farklı dalga boyunda salınımları olan ekranların ışınlama faktörleri aynı değildir. Bu ekranların kullanım esnasında birbirine karışması, tekrar çalışmalarına neden olacağı için, hasta dozu gereksiz yere artacaktır. Bu durumda, belirli ekran-film kombinasyonlarının, hangi X-ışını sistemleri ile kullanılacağı saptanmalı ve ayırım renk kodları ile yapılmalıdır.

2.1.11. Grid ayar ölçümü

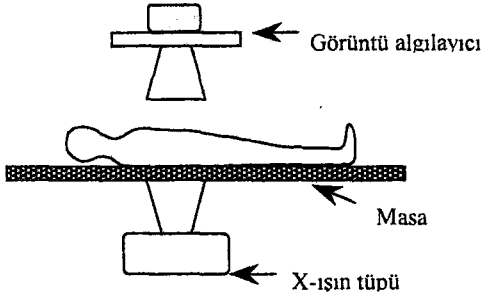
Hatalı bir grid-tüp mesafesi veya odağı ters yerleştirilmiş olan bir grid, ışınlanan bir filmde kenarlardaki optik yoğunluğun azalmasından anlaşılabilir. Ancak gridin yan (lateral) olarak merkezlenmesinin arızası

anlaşılamaz. Bu durumda film boyunca densite azalması homojen olarak ortaya çıkar. Sonuçta ise radyasyon miktarının artması ve kontrastın bozulması ortaya çıkar.

2.2. Floroskopi

Floroskopi, X-ışınlarının flüoresans bir madde ile etkileşmesi sonucu, maddenin görünür bölgede ışık salması prensibine dayanır. Radyografik sistemlerden farklı olarak, hastadan geçen X-ışını fotonları flüoresans bir ekranda görünür ışık fotonlarına dönüştürülür. Flüoresans ekranların ışık verimleri oldukça düşüktür; örneğin çinko-kadmiyum sülfid ekran kullanıldığında oldukça zayıf sarı-yeşil ışık elde edilir. Bu nedenle, radyologlar tetkikleri karanlıkta ve gözün karanlık adaptasyonu sağlandıktan sonra yapmak zorundadırlar. Karanlık oda floroskopisi olarak bilinen bu sistemler, floroskopik görüntüleme için kullanılan ilk sistemlerdir. Çalışma şartlarının zor olması, yüksek hasta dozları ve özellikle görüntü parlaklığı ve kalitesinin tetkikler için yeterli olmaması gibi problemler 1940'lerden sonra GG (Görüntü Güçlendirici) 'nin geliştirilmesi ile ortadan kaldırılmıştır. Günümüzde kullanılan sistemler ise, gün ışığında kullanılan, spot film TV kayıt ve görüntüleme özelliklerine sahiptir (Gray *et al.* 1983).

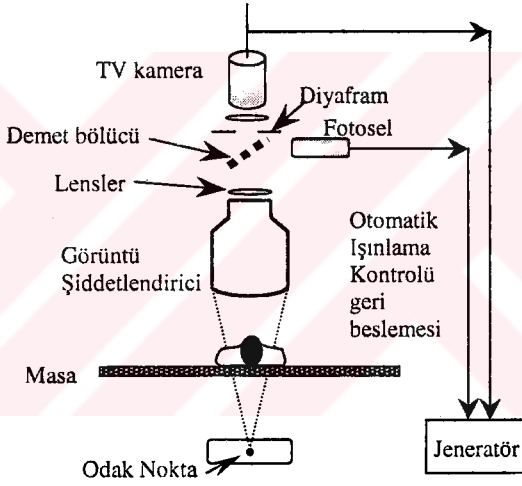
Floroskopi dinamik radyografi olarak tanımlanabilir. Örneğin, bir organın hareketleri, kan akış hızı gibi dinamik olaylar sürekli görüntü olarak ya da birbirini izleyen filmler şeklinde gözlenebilir. Bir floroskopik sistem genel olarak X-ışını tüpü ve görüntü algılayıcıdan meydana gelir (şekil 2.13.). Günümüzde kullanılan modern sistemlerde görüntü algılayıcı olarak kullanılan GG ile çeşitli kamera sistemleri kullanılır.



Şekil 2.13. Temel floroskopik bir sistemin gösterimi

2.2.1. Otomatik ışınlama kontrolü

Bir floroskopik sistemin ışınlama parametrelerini, ışınlama bölgesinin özelliklerine göre otomatik olarak ayarlayan sisteme OİK (Otomatik Işınlama Kontrolü) denir. Işınlamanın başlamasıyla ışınlanma bölgesinin kalınlık ve yoğunluğuna bağlı olarak, monitörde belirli bir görüntü parlaklığı sağlanır. Işınlanan sahanın farklı kalınlık ya da yoğunluktaki bölgeye kaydırılması durumunda, geri besleme devresi devreye girer ve jeneratöre iletilen bilgi ile tüp çıkışında gerekli ayarlama yapılarak ışınlama parametrelerinin (kVp, mA) monitörde aynı parlaklığı vermesi sağlanır. Bu durumda, görüntünün parlaklığı hasta kalınlığından ve yapısından etkilenmeyecektir (Anonymous 1988). OİK'li bir sistemin genel yapısı şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Otomatik ışınlama kontrollü floroskopik bir sistemin şematik gösterimi

2.3. Floroskopik Sistemlerde Kalite Kontrol Uygulamaları

2.3.1. Maksimum ışınlama hızı testi

MIH (maksimum ışınlama hızı) iki durumda önemlidir. Eğer MIH kontrolü çok düşük bir doz hızına ayarlı ise, bazı tetkiklerde (örneğin şişman

hastalardaki AP tetkikleri ya da genel olarak lateral-yan tetkikler) görüntünün oluşabilmesi için gerekli olan ışın miktarı GG'ye ulaşmayabilir. Tersine, MIH çok yüksek ayarlı ise, hasta ve çalışanlar gereksiz yere yüksek dozda radyasyona maruz kalacaklardır (özellikle lateral tetkiklerde) (Gray *et al.* 1983).

2.3.2. Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi

Floroskopik doz çıkış ölçümleri, x-ışın tüpünün şartları, filtrasyon değişimi ve cihazın kalibrasyonu hakkında bilgi verir. Düşük doz değerlerinin anlamı kVp ya da mA parametrelerinin birinin olması gerekenden düşük olduğu anlamına gelir. Başka bir durum ise, tüpün eskimesinden dolayı tüp filtrasyonunun zamanla artmasıdır. Doz çıkışındaki yüksek değerler ise, x-ışın jeneratörünün mA ve/veya kVp kalibrasyonunun hatalı olduğunu belirtir. Aynı zamanda, tüp filtrasyonunun azaltılması da doz değerlerini artırır (Anonymous 2001).

2.3.3. Hasta giriş doz hızı ölçümü

Optimum floroskopik görüntü kalitesini edebilmek için, görüntü güçlendirici ve hastaya gelen radyasyon miktarının belirli bir değerde olması gerekir. Düşük radyasyon seviyelerinde görüntüdeki gürültü artacak, diğer taraftan yüksek seviyelerde hasta dozu gereksiz yere çoğalacaktır. Radyologlar görüntüdeki gürültü nedeniyle ışınlama hızının artırılmasını istemekte ve sonuç olarak hasta giriş doz hızları maksimum ışınlama hızına yaklaşmaktadır. Teknik faktörler ve video sistemi uygun olarak ayarlanarak floroskopik görüntülerin kalitesi optimum yapılmalı ve tüm hastalar için uygun ışınlama hızlarında görüntü kalitesinin devamlılığı sağlanmalıdır. Bazı kalın hastalarda maksimum ışınlama hızı geçilmeden uygun görüntü elde edilemediğinden hasta ve çalışanlar yüksek dozda radyasyona maruz kalabilmektedirler (Martin 1995).

Minimum ışınlama seviyesinde optimum görüntü kalitesinin elde edilebilmesi için kVp, mA, video kazancı ve optik apertür aralığının dikkatli bir şekilde ayarlanması gereklidir. Örneğin, hastaya ulaşacak ışınlama seviyesi video kazancı ve/veya optik aralığın artırılması ile azaltılabilir, ancak sonuçta görüntüdeki gürültü artacaktır. Diğer bir alternatif, kamera kazancı maksimum değere arttırılırken, optik aralığın daha bir orta değerde tutulmasıdır. Bu durumda, görüntüde gene gürültü olacak ancak, gürültü

kaynağı videonun elektronik gürültüsü olacaktır. Fakat video kazancı maksimum yapıldığı zaman, otomatik kazanç kontrolü ışınlamanın artırılması gerektiği bir anda (örneğin hastanın yan pozisyonun incelenmeye başlanması) yeteri kadar işlev görmeyecektir.

2.3.4. Otomatik parlaklık kontrolü ve otomatik kazanç kontrolü

Hasta kalınlığının ışınlama esnasında değişmesi durumunda, görüntüleme ünitesinde (TV monitörü ya da cine kamera gibi) sabit kalitede görüntü kalitesinin elde edilebilmesi için radyasyon miktarını otomatik olarak ayarlayan sistemlere OPK (Otomatik Parlaklık Kontrolü) denir. OPK doz ayarlamasını jeneratördeki ışınlama şartlarını (kVp, mA ya da ikisi birden) değiştirerek, OKK (Otomatik Kazanç Kontrolü) ise TV kameranın video sinyal genliğini değiştirir (Gray *et al.* 1983). Otomatik kazanç kontrolü, TV monitöründe elde edilen görüntüde sabit bir parlaklık elde etmek için gelen video sinyalinin genliğinin değişimini kontrol eder ve genelde OPK'nün dinamik aralığını genişletmesinde yararlıdır.

2.3.5. Yarı değer kalınlık testi

Eğer HVL ölçümü yapılacak sistemde kVp sabit bir değere ayarlanabiliyorsa radyografik sistemlere benzer olarak HVL ölçülebilir. Ancak bir çok sistemde OPK'nün olması nedeniyle, demet önündeki kalınlık ile kVp değiştiğinden HVL'de değişir. Bu durumda GG ile odak nokta arasındaki toplam filtre sabit yapılmalıdır.

2.3.6. Kolimasyon

Floroskopik bir X-ışın sisteminde kolimatörün X-ışın demetini seçilen X-ışın sahası ya da görüntü alıcıya sınırlaması çok önemlidir. Aynı zamanda, merkezi ışığın dikliği tetkiklerin doğruluğunu direkt olarak etkiler. Merkezi ışının dik olmaması, odak noktaya ve GG'ye göre yanlış pozisyonlama, TV monitörü veya fotospot kamerada merkezleme hatası gibi sorunlara neden olabilir.

2.3.7. Yüksek ve alçak kontrast ayırma güçleri

Floroskopik görüntü kalitesini etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar, odak nokta boyutu, görüntü geometrisi (kaynak-obje ve kaynak-GG mesafeleri), optik sistemin kalitesi ve ayarı, GG ve TV monitörünün kalitesidir.

Floroskopik sistemin ayırma gücü yüksek kontrast ve alçak kontrast objeler için ayrı ayrı belirlenir.

2.3.7.1. Yüksek kontrast ayırma gücü

Yüksek kontrast ayırma gücünü etkileyen parametreler:

Görüntü Güçlendirici: Giriş fosforu CsI'den yapılmış GG'de uzaysal ayırma gücü 4-5 çç/mm olup, bu değer floroskopi sisteminin ayırma gücünün üstündedir ve sınırlayıcı bir faktör değildir.

GG'nin giriş fosforunun aktif boyutunu belirleyen elektronik büyütme (23 cm, 15 cm gibi) faktörü ayırma gücünü etkiler. Sabit bir görüntü matrisi için büyütme faktörü arttıkça ayırma gücü iyileşir. Yani, 23 cm'de ayırma gücü 0,7 çç/mm ölçülmüş ise bu değer 15 ve 11 cm modları için 1.1 ve 1.5 çç/mm olacaktır.

Geometrik Büyütme: Floroskopik çalışmalarda obje ile GG arasında bir mesafe olduğundan her zaman bir miktar geometrik büyütme vardır. GG'nin giriş fosforuna yansıtılan görüntü büyütülmüştür. Dolayısıyla, sistem ayırma gücü, geometrik ayırma faktörü ile aynı oranda artar, ancak hasta dozu artmış ve görüş alanı azalmıştır. Belirli bir noktadan sonra büyütme faktörünün daha fazla artırılması (örneğin objenin odak noktasına daha fazla yakınlaştırılması), odak nokta boyutunun artan yarı gölge etkisiyle ayırma gücünün bozulmasına neden olur.

Odak Nokta Boyutu: Homojen intensite dağılımındaki bir odak noktanın ayırma gücü sınırı, F odak noktasının ölçülen boyutu, M geometrik büyütme olmak üzere aşağıdaki şekilde verilir.

$$R = \frac{M}{F(M - 1)} \quad (2.11)$$

TV Kamera Zinciri: TV kameranın dikey yöndeki ayırma gücü, elektron demetinin dikey yöndeki boyut ve odaklanmasına, TV kamera lensinin optik odaklanmasına, aktif tarama çizgi sayısına ve Kell faktörüne bağlıdır. Yatay yöndeki ayırma gücü ise bant genişliğine bağlıdır.

Dikey yöndeki ayırma gücü, S TV kamera çizgilerinin nominal sayısı (525 ya da 1049 gibi), a görüntü oluşumunda kullanılan aktif tarama çizgilerinin kesri, k Kell faktörü ($\approx 0,7$), M geometrik büyütme ve D GG'nin kullanılan çapı olmak üzere aşağıdaki şekilde verilir.

$$R = \frac{SakM}{2D} \quad (2.12)$$

2.3.7.2. Alçak kontrast ayırma gücü

Alçak kontrast ayırma gücünü belirleyen en önemli parametre saçılan radyasyondur. Objeye kontrastının sistem gürültü sınırına yaklaşması ile ayırt edilebilmeleri zorlaşır. Kullanıcının kontrolünde olan parametreler;

Geometrik büyütme: Odak noktasının koyduğu sınırlar içerisinde, geometrik büyütme düşük kontrastla ayırma gücünü artırır.

Demet kalitesi: KVP'nin kullanılan kontrast maddeye bağlı olarak ayırma gücünü artırır.

Giriş fosfor ışınlama hızı: Genelde TV kameranın verdiği elektronik gürültü ve kuantum gürültüsü görüntüyü etkiler. Işınlama hızının belirli bir değerinin üzerinde ise gürültü sadece TV kamera kaynaklıdır.

2.3.8. Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızı ölçümü

Sistemdeki radyasyon seviyesinin ayarı, farklı görüş alanları, ışınlama modları (floroskopi, cine) ve ilave filtrasyonlar GG'nin giriş fosforundaki doz miktarına göre yapılır. Bu nedenle, floroskopik sistemin giriş fosforundaki ışınlama hızının saptanması, tüm sistemin etkin hassasiyeti ile ilgili daha geniş bilgi verir.

2.4. Film Banyosu Kalite Kontrolü

2.4.1. Sensitometrik teknikler

Fotografik filmin hız, kontrast ve taban+sis seviyesi gibi özellikleri filmin karakteristik eğrisinden çıkarılmaktadır. Bu eğrinin her sefer aynı doğrulukta elde edilebilmesi için ışınlama faktörlerinin sabit ve ışınlanan fosforun özelliklerine uygun olması gerekmektedir (Bor 1988). Film ya da film-ekran kombinasyonunun geniş bir aralıkta ışınlandığı sensitometrik tekniklerin en önemli uygulamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Film karakteristik eğrisinin elde edilmesi ve farklı özellikteki filmlerin karşılaştırılmasında,
- 2- Banyo işleminin kalite kontrolünün yapılmasında,
- 3- Film-ekran kombinasyonlarının hassasiyet ölçümlerinde.

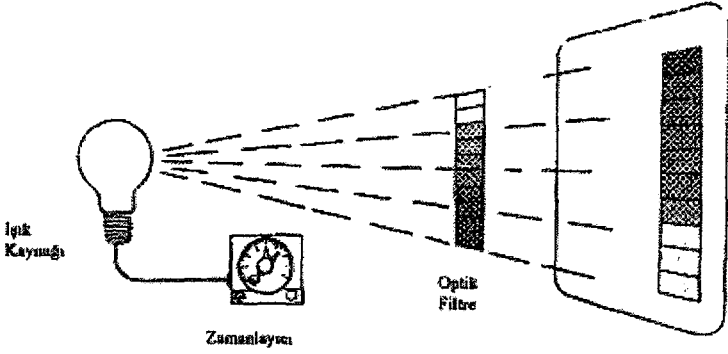
Film üzerindeki optik yoğunluklar ise bir densitometre cihazı ile okunur. Monokromatik bir kaynaktan salınan ışıl, filmi geçtikten sonra bir ışık algılayıcısına (foto detektör gibi) ulaşır, gelen ve geçirilen şiddetlerin oranlarından optik yoğunluklar ölçülür.

Işık ve X-ışın sensitometresi olmak üzere başlıca iki tane sensitometrik yöntem vardır.

2.4.1.1. Işık sensitometresi

Bu yöntemde filmin ışınlanması belirli bir dalga boyundaki ışık ile gerçekleştirilir ve bu amaçla kullanılan sisteme sensitometre denir (şekil 2.15.). Genelde ekranlar tarafından salınan ışık ile aynı dalga boyunda bir ışık (spektrumun mavi ya da yeşil bölgesinde) kullanılır, aksi takdirde karakteristik film üzerinde yapılacak hız ve kontrast ölçümleri gerçeği yansıtmayacaktır. Sensitometrenin çalışma prensibi son derece basittir: Bir ışık kaynağından salınan ışık fotonları bir dizi optik filtrelerden geçtikten sonra film üzerine ulaşırlar. Kaynağın verdiği ışık miktarı bir zamanlayıcı ile kontrol edilerek ışık şiddetinin her sefer aynı miktarda olması sağlanır. Bir çok sensitometrede farklı dalga boylarında ışık spektrumunun elde edilmesi mümkündür. Film üzerinde farklı ışınlamalar oluşturacak optik filtrede 11 ya da 21 basamak vardır ve her bir basamak bir öncekine göre iki

kat daha fazla ışık soğurur. Sonuçta banyo edilen film üzerinde farklı kararmalarda basamaklar elde edilir.



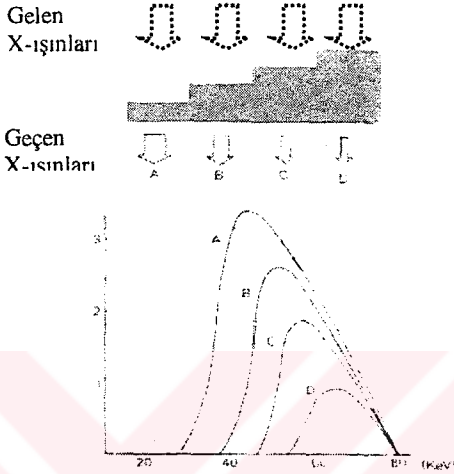
Şekil 2.15. Işık sensitometresi

2.4.1.2. X-ışın sensitometresi

X-ışınları kullanılarak filmin sensitometrik amaçta ışınlanmasında kullanılan bir yöntem alüminyumdan yapılmış bir basamağın film üzerine konularak ışınlanmasıdır. Böylelikle filmin farklı basamak kalınlıkları altında kalan kısımlarında ki ışınlamalar da farklı olacaktır (şekil 2.16.). Ancak, X-ışın şiddetindeki azalış, sadece basamak kalınlığına bağlı olmayıp, demet kalitesi de artan soğurucu kalınlığı ile değişmektedir. Kalınlık arttıkça demette daha fazla düşük enerjide foton soğurulacak ve demetin ortalama enerjisi artacaktır. Sensitometrenin esası, filmin farklı şiddetlerdeki fotonlarla ışınlanmasıdır. Foton soğurulmasında demet enerjisinin de değişmesinden ortaya çıkacak şiddet farklılığı hatalara neden olacaktır. X-ışınlarının fosforda soğurulmaları, demetin kalitesine bağlı olduğundan film-ekran kombinasyonlarının sensitometrik testlerinin bu teknik ile yapılması doğru değildir. Sadece film için bu tekniğin kullanılmasında ise ölçülen kontrast, kVp'ye ve saçılan ışın miktarına bağlı olacaktır.

X-ışın sensitometresinin uygulandığı diğer yöntemler de film üzerindeki farklı kararmalar, her seferinde ışınlama zamanının değiştirilmesi veya farklı tüp-film mesafelerinin kullanılması ile elde edilebilir. Ancak, tüp

çıkışında bir ışınlamadan diğerine ortaya çıkacak farklılıklar önemli bir problem oluşturur.



Şekil 2.16. X-ışın sensitometresinin çalışma prensibi. Farklı keV değerlerinde alüminyum basamaktan geçen X-ışın spektrumu yukarıda görülmektedir

2.4.2. Karanlık oda

Sensitometre çalışmaları, filmlerin kasete yerleştirilmeleri ve banyo işlemleri gün ışığına karşı tamamen yalıtılmış olmaları gereken karanlık odalarda yapılır. Bu odanın yeteri kadar büyüklükte olması ve uygun bir emniyet ışığı ile aydınlatılması gerekir. Günümüzde kullanılan filmler kırmızı ışığa karşı hassas değildirler. Bu nedenle, karanlık odaların aydınlatılması düşük güçte kırmızı ışık veren lambalar ile sağlanır. Güvenlik ışığının kırmızı olmasına dikkat edilmeli, beyaz bir lamba kesinlikle kırmızı kağıt ile kaplanmamalıdır.

Karanlık odadaki ışık kaçakları odada en az 10 dakika kaldıktan sonra çok daha belirgin bir şekilde tespit edilir. Zira gözün karanlığa adaptasyonu hemen olmamaktadır. Işınlanmış bir film ışınlanmamışa göre çok daha hassastır (yedi kat kadar).

Diğer önemli bir husus filmlerin muhafaza edilmeleridir. Genelde depolama yerinin sıcaklığı 10-21 °C arasında olması ve nem oranının ise %40-60'dan fazla olmamasına gerekmemektedir. Buzdolabında saklanan filmler kullanmadan 24 saat önce dışarı çıkartılmalıdır.

2.4.3. Film banyosu kalite kontrol işlemi

Film üzerindeki gizli görüntünün görünür hale getirilmesi, banyo işlemi ile gerçekleşir. Görüntüleme zincirinin en son aşamasında olabilecek en ufak bir hata, tüm çalışmanın tekrarını gerektirmekte ya da hatalı tetkike neden olmaktadır. Film ve banyo solüsyonu üreticileri 1.banyo sıcaklığı ile süresi, tazeleme miktarları gibi kesinlikle uyulması gereken faktörleri belirtirler.

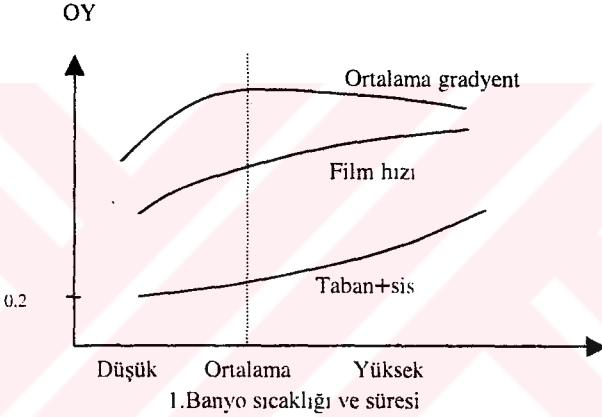
Banyo kalite kontrolünde tüm değişkenlerin aynı zamanda test edilmesi amaçlanır ve en iyi yöntem sensitometrik tekniklerin kullanılmasıdır (Hourdakis 2000). Sensitometre ile ışınlanmış filmdeki tüm basamaklara ait yoğunlukların her sefer okunarak film eğrisinin çizilmesi pratik değildir. Bu nedenle taban+sis seviyesi, orta ve yüksek optik yoğunlukların elde edileceği basamaklara ait yoğunluklar okunur (0.25, 1.0 ve 2.0 değerlerine yakın okumalar tercih edilmelidir). Bu çalışma her gün yapılarak aynı basamakların verdiği okumalar Ek 3'deki KK çizelgelerine işlenir. İlk grafik YF (yoğunluk farkı)'nın değişimini vermektedir ve yüksek ile düşük yoğunluklar arasındaki farktır ($D_{min} + 0.25$ ile $D_{min} + 2.0$ değerlerine karşı gelen 9 ve 13 numaralı basamak okumalarının farkı). Bu değer aynı zamanda film kontrastını göstermektedir. İkinci grafik OY (orta yoğunluk) davranışını göstermektedir (örneğin $D_{min} + 1.0$ değerini verecek 10 numaralı basamak okuması). Son grafik ise D_{min} , yani T+S (taban+sis) değerlerinin zamanla değişimini vermektedir (Bor 1988).

Banyo kalite kontrol grafiklerinin zamana bağlı olarak incelenmesi banyo ile ilgili problemlerin daha başlangıçta, görüntüye etki etmeden saptanmasını sağlar. Böylelikle banyo sorunundan kaynaklanacak tekrar çalışmalarının önüne geçilmiş olur. Örneğin üç parametrede zamana bağlı ani artış 1.banyo sıcaklığındaki bir yükselme ya da ışık kaçığının habercisi olur. Yoğunluk farkı ve orta yoğunluktaki yavaş azalış tazelemenin yetersiz, yavaş artış ise tazelemenin gereğinden fazla olmasını gösterir.

Bazen kullanılacak filme ait optimum 1.banyo sıcaklığı bilinmeyebilir. Bu durumda farklı 1.banyo sıcaklıklarında sensitometrik ölçümler yapılmalı ve

bu üç parametrenin sıcaklığa karşı davranışı şekil 2.17.'deki gibi çizilmelidir. Kontrastın maksimum ve taban+sis seviyesinin 0,20 OY değerinin altında kaldığı ortak bir sıcaklık en uygun değer olacaktır.

Film banyo işleminde karşılaşılan problemlerin en önemlisi 1.banyo sıcaklığının hatalı ayarlanması ve/veya zaman içerisinde sabit kalmamasıdır. Tolere edilebilir sıcaklık oynamalarının 0,1 °C maksimum değer olduğuna dikkat edilirse sorunun ciddiliği daha iyi anlaşılır. Bir başka parametre tazelemenin yetersiz olmasıdır. Bir çok kullanıcı ekonomik nedenlerle 1. ve 2.banyonun tazeleme miktarını en aza indirirler. Sonuçta aynı ışınlama parametreleri kullanılmasına rağmen, görüntü kalitesi zamanla bozulacaktır (Haus 1993).

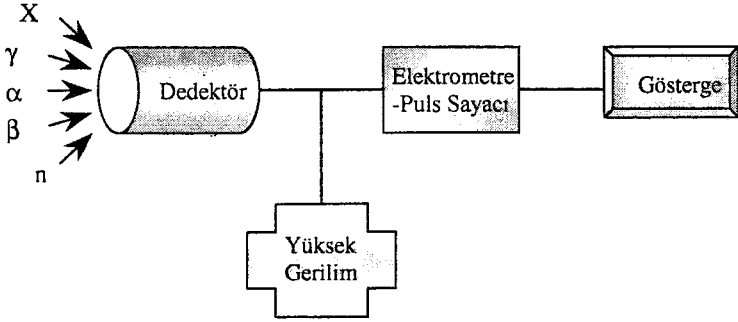


Şekil 2.17. Banyo sıcaklığı ve süresi filmin hız, kontrast ve taban+sis seviyelerini etkiler

2.5. Radyasyon Ölçüm Sistemleri

Radyasyon ölçüm sistemlerinin çalışma prensibi, radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu maddenin mikro yapısındaki iyonlanma ve uyarılma özelliklerine dayanmaktadır. Ölçüm sistemleri, etkileşimleri ölçme ve gösterme özellikleri bakımında farklılıklar gösterirler. Aşağıda genel olarak bir radyasyon ölçüm sisteminin şematik gösterimi yer almaktadır (şekil 2.18.).

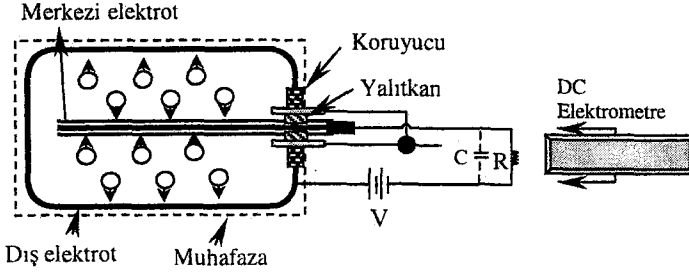
Görüldüğü gibi radyasyon dedektör kısmında algılanarak küçük bir elektrik akımı ya da gerilim pulsu şeklinde sayaca ulaşır. Bilgi sayacıta işlendikten sonra ise göstergeye iletilir (Cruvinel *et al.* 1996).



Şekil 2.18. Genel olarak radyasyon ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi

2.5.1. İyon odalı dedektörler

Ölçüm sistemleri dedektör yapısına göre farklılık gösterirler. Radyolojide en yoğun olarak kullanılan ölçüm sistemi "İyon Odalı" dedektörlerdir (DeWerd *et al.* 1999). Çalışma prensibi, radyasyonun gaz ortam içerisinde meydana getirdiği iyonların toplanması ilkesine dayanır. Dedektörde bir muhafaza içerisinde merkezi elektrot (toplayıcı) ve dış elektrot mevcuttur. Bu iki elektrot arasına uygulanan potansiyel farkı ile iki elektrot arasında bir elektrik alan meydana gelir. Bu elektrik alan yardımıyla dedektörde meydana gelen negatif iyonlar merkezdeki elektroda, pozitif iyonlar ise dış elektrotta toplanırlar. Sonuçta iki elektrot arasında küçük bir elektrik akımı meydana gelir. Ölçüm sistemine bağlı olarak bu akım ya doğrudan ya da elektrik pulsları şeklinde algılanır. İyon odalı dedektörlerde, gaz ortam genellikle atmosfer basıncında hava ile doludur. Gaz ortamı hava olan iyon odaları en çok X ve γ ışınlarının ölçülmesinde kullanılır. Işınlama değeri (exposure), X ya da γ ışınlarının meydana getirdiği iyonların toplam yük miktarının (iyonizasyon yükü), yükün toplandığı hacimdeki havanın kütesine bölümüdür. Gerekli koşullar sağlandığı zaman, hava dolu iyon odalarında iyonizasyon yükü, ışınlama değerini (Röntgen,C/kg vb.), dedektörden geçen iyon akımı da ışınlama hızını (Röntgen/dak) vermektedir (Wagner *et al.* 1992). Şekil 2.19.'da iyonların elektrotlarda toplanmaları ve iyonizasyon miktarını temsil eden iyon akımının ölçülmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Elektrotlar arasında meydana gelen iyon akımının R direnci üzerinde elektrometre ile ölçülmesi.

2.5.2. İyon odası kalibrasyonu

Bir iyon odasının standart bir kaynak ya da ölçüm aletine (iyon odası) göre rölatif kalibrasyonu, bu iyon odası ile yapılacak ölçümlerin doğru ve güvenilir olması açısından çok önemlidir. Kalibrasyon işlemi, bir iyon odasının elektronik devresinde ayarlama yaparak ya da rölatif bir kalibrasyon bağıntısı (grafığı) ile standart bir kaynak veya iyon odasına göre ayarlanmasıdır. Standart kaynak ya da iyon odası, “SSDL” (İkinci Derece Standart Dozimetre Laboratuvarlarında) kullanılır (De Freitas and Drexler 1983, Cotterill *et al.* 1992). SSDL standartları ise “Birinci Derece Standart Laboratuvarları” tarafından belirlenir. Böylelikle yapılan kalibrasyon işlemi belirli bir standarda göre yapılmış olur.

2.5.3. İkinci derece standart dozimetrelerin özellikleri

Diagnostik radyolojide kullanılan iyon odalarının kalibrasyonu için kullanılan ikinci derece standart iyon odaları (dozimetreler) için kesin olarak belirlenen bir özellik ya da tanımlama bulunmamaktadır. Bununla birlikte, ideal bir standart iyon odası farklı enerji bölgelerinde, düzgün bir enerji cevabına (uniform response) sahip olmalıdır (Yani enerji bağımlılığı düzgün olmalıdır). Buradaki enerji cevabının anlamı, ölçü aletinden okunan değerlerin hava kermasının değere oranı olarak belirlenmiştir (Robertson *et al.* 1983).

İyon odasının kalibrasyonun doğruluğu, kalibrasyon işlemi aşamalarında yapılacak herhangi bir interpolasyondan etkilenebilir. Buna göre, 25-35 kV arasında yapılan iki ayrı kalibrasyon arasındaki farklılık %2’den büyük, 50-120 kV arasında ise % 5’den fazla olmamalıdır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri

3.1.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusalığı testi

Amaç:

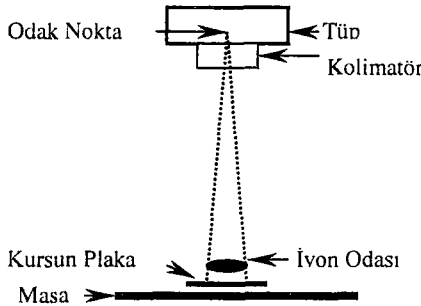
- 1- Işınlamanın tekrarlanabilme testinde, aynı kVp, mA ve ışınlama süreleri kullanılarak, birbirini izleyen ışınlamalarda sonuçların tekrarlanma doğruluğu ölçülecektir.
- 2- Işınlamanın doğrusalığı testinde, farklı mA ve ışınlama sürelerinin, aynı mAs değerlerindeki ışınlamaları karşılaştırılacaktır.

Gerekli araçlar:

- 1- İyon odası (35 cc)
- 2- 30x30 kurşun plaka

Ölçüm yöntemi:

- 1- Kurşun plaka X-ışını tüpünün altına gelecek şekilde masaya konur ve üzerine iyon odası yerleştirilir (şekil 3.1.). Böylece, saçılan ışınların etkisi azaltılmış olur.
- 2- X-ışını demetinin merkezi, iyon odasının merkezine gelecek şekilde ayarlanır. Kolimatör yardımıyla ışık alanı iyon odası boyutunda kolime edilir.



Şekil 3.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusalığı testi ölçüm geometrisi

- 3- Odak nokta-dedektör mesafesi 100 cm olarak ayarlanır.
- 4- Işınlama 60 kVp'de, dört farklı mA ve ışınlama zamanı kombinasyonunda aynı mAs değerini verecek şekilde yapılır. Örnek ışınlama faktörleri ve ölçüm sonuçları çizelge 3.1.'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Tekrarlanabilirlik ve doğrusallık testi için muhtemel ışınlama faktörleri

40 mAs		60 kVp mR	80 kVp mR				100 kVp mR
mA	Zaman(sn)		1.İşinlama	2.İşinlama	3.İşinlama	Ortalama	
100	0,4	8,0	30,0	30,2	28,9	29,7	67
200	0,2	6,9	31,1	31,5	31,8	31,6	65
400	0,1	7,2	27,2	32,0	30,6	29,9	60
800	0,05	7,0	34,0	34,1	34,3	34,1	62

- 5- 60 kVp'de yapılan işlem, 100 kVp ve aynı mA ve ışınlama zamanı kombinasyonlarında tekrar edilerek ölçüm sonuçları kaydedilir.
- 6- 80 kVp'de ayarlanan mA ve zaman kombinasyonlarında, tekrarlanabilirliği belirlemek için, birbirini izleyen üç ışınlama yapılır. Aynı mAs değerine karşı gelen farklı mA ve zaman kombinasyonlarında elde edilen üç ölçümün ortalaması belirlenir.
- 7- Tekrarlanabilme 80 kVp'de her mA-zaman kombinasyonu için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\%T = \frac{(mR_{maks} - mR_{min})/2}{mR_{ort}} * 100$$

(3.1)

Örneğin; 400 mA'de 0.1 sn için;

$$\frac{(32,0 - 27,2)/2}{29,9} * 100 = \%8,0$$

- 8- 80 kV'de her mA-zaman kombinasyonunda, ölçülen üç değerın ortalaması mAs değerine bölünerek mR/mAs değerleri bulunur. Örneğin, 80 kVp, 100 mA ve 0.4 sn için; $29,7 \text{ mR}/40 \text{ mAs} = 0,74 \text{ mR/mAs}$
- 9- 80 kVp'de her mA-zaman kombinasyonunun mR/mAs değerleri belirlenerek ortalaması bulunur. $(0,74+0,79+0,75+0,85)/4=0,78 \text{ mR/mAs}$
- 10- Doğrusallık her kVp durumu için aşağıdaki formülle hesaplanır. Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.2.).

$$\%D = \frac{((mR/mAs)_{maks} - (mR/mAs)_{min})/2}{(mR/mAs)_{ort}} * 100 \quad (3.2)$$

Örneğin; 80 kVp için; $\frac{(0,85 - 0,74)/2}{0,78} * 100 = \%7,1$

Problem ve güçlükler:

- 1- Kısa bir zaman aralığında çok sayıda ışınlama yapılıyorsa, tüpün ısınıp ısınmadığı kontrol edilmelidir.
- 2- Saçılan ışınların azaltılması ve ölçüm sonuçlarını en az miktarda etkilemesi için, iyon odasının altına kurşun plaka yerleştirilmelidir. Çünkü masanın yapısında saçılmaya neden olan etkenler (masanın yapıldığı malzeme, grid v.s.) vardır.
- 3- İşlemler çok titiz bir şekilde yapılmalıdır. Sürekli olarak alınan ölçümler sırasında, dedektörün pozisyonu, kolimasyon ayarı, odak noktası-dedektör mesafesi gibi parametreler mutlaka sabit kalmalıdır.
- 4- Odak noktası-dedektör mesafesi belirlenirken, cihazın mesafe ayarlayıcısı kullanılmadan metre ile ölçüm yapılmalıdır. Mesafe ayarlayıcı bozuk ya da yanlış çalışıyor olabilir.
- 5- Ölçümler sırasında ışınlama faktörlerinin değiştirilmesi gerektiğinde, sistemin konsolundan seçim yaparken, parametrelerde ani ve çok farklı değişiklikler yapılmamalıdır. İstenen değerlere küçük aralıklar ile geçilmelidir.
- 6- Test protokolü dikkatli bir şekilde takip edilmelidir.
- 7- KK amaçlı ölçümlerde kalem tipi dozimetre kullanılmamalıdır.
- 8- Eğer sistem ilk defa kullanılıyorsa, bu testten önce kVp ölçümleri yapılmalıdır. Eğer sistemin kVp kalibrasyonu kabul sınırları dışında ise, mR/mAs ölçümleri doğru olarak elde edilemez.

Kabul sınırları:

- 1- Tekrarlanabilirlik $\pm\% 5$, doğrusalık $\pm\%10$ sınırları içerisinde olmalıdır.
- 2- Uygulamanın yapıldığı birimdeki her sistemde, 80 kVp'de ölçülen mR/mAs değerleri, tüm sistemler için $\pm\%10$ sınırları içerisinde olmalıdır. Burada karşılaştırma yapılırken, sistemlerdeki jeneratör tiplerinin aynı olmasına dikkat edilmelidir (tek faz-tam dalga, üç faz-6 ya da 12 puls v.s. gibi).

Çizelge 3.2. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testi KK çizelgesi

Işınlamanın Tekrarlanabilme ve Doğrusallığı Testi						
Kurum:			Tarih:			
Kullanılan Cihaz:			Oda No:			
Jenaratör Markası:			Tüp Markası:			
Voltaj Özelliği:			Odak Nokta:			
Odak-dedektör Mesafesi:			Küçük: Büyük:			
kVp						
mA						
S						
mAs						
mR1						
mR2						
mR3						
mR _{ort}						
(mR/mAs)						
(mR/mAs) _{maks}						
(mR/mAs) _{min}						
(mR/mAs) _{ort}						
%T						
%L						

Düzeltilme işlemi:

Yapılan testlerin sonuçları kabul sınırları dışında ise, jeneratörün kalibrasyonunun yapılması için servis mühendisi çağırılmalıdır.

3.1.1.1. Doğrusallık testi için alternatif yöntem-alüminyum basamak

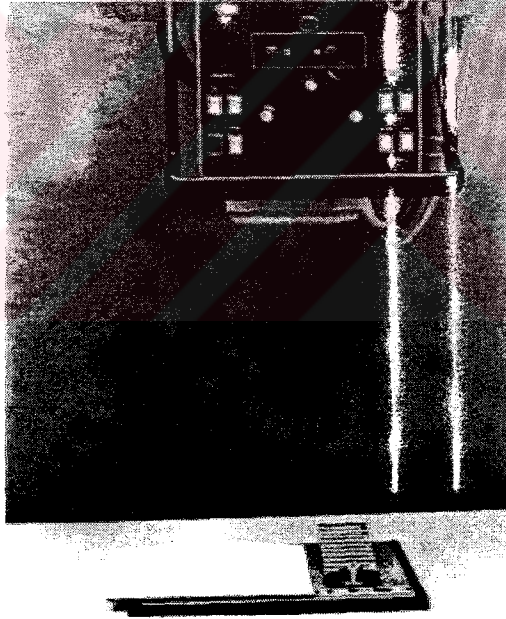
Gerekli araçlar:

- 1- Alüminyum basamak
- 2- Kaset ve film
- 3- Densitometre
- 4- Kurşun plakalar

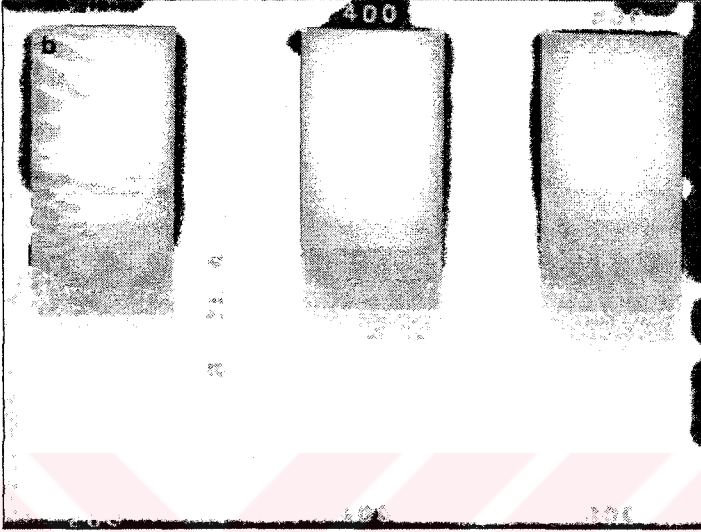
Ölçüm yöntemi:

- 1- X-ışını tüpü maksimum yüksekliğe ayarlanır.

- 2- Kasete film konularak, uzun kenarı anot-katot eksenine paralel olacak şekilde masa üzerine yerleştirilir. Heel etkisini azaltmak için, alüminyum basamağın, uzun kenarı kasetin kısa kenarına paralel olmalıdır (şekil 3.2.).
- 3- Kasetin açıkta kalan kısımları kurşun plakalar ile kapatılır. Böylece tek bir kasete üç ya da dört ışınlama yapılabilir.
- 4- Aynı kasetin farklı bölgelerine, sabit bir kVp'de, aynı mAs değerini verecek şekilde, dört farklı mA-zaman kombinasyonunda ışınlama yapılır. Örneğin, 80 kVp, 100 mA-0,4 sn, 200 mA-0,2 sn, 400 mA-0,1 sn ve 800 mA-0,05 sn. Seçilen mA-zaman kombinasyonları sistemin performansına göre belirlenebilir.
- 5- Banyo edilen filmdeki alüminyum basamak görüntülerinden biri referans olarak seçilir. Referans görüntüde her basamak densitometre ile ölçülerek optik yoğunluğu 1,0 ya da en yakın olan basamak belirlenir. Diğer görüntülerde aynı basamağın yoğunlukları ölçülerek kaydedilir (şekil 3.3.).



Şekil 3.2. Alüminyum basamak ile yapılan doğrusallık testi için ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)



Şekil 3.3. 80 kVp ve 100, 200, 400 mAs değerlerinde elde edilen alüminyum basamak görüntüleri (Gray *et al.* 1983)

Problem ve güçlükler:

- 1- Ölçüm basamaklarının doğru bir şekilde uygulanmaması test sonuçlarının yanlış olmasına neden olabilir.
- 2- Mümkünse tüm ışınlamalar aynı kasete yapılmalıdır. Eğer birden fazla kaset kullanılacaksa, banyo işlemi sırasında meydana gelebilecek yoğunluk farklılıklarını ortadan kaldırmak için test kısa bir sürede yapılmalıdır.
- 3- KVp meydana gelebilecek küçük dalgalanmalar banyo edilen filmdeki yoğunlukları etkileyebilir. Bu nedenle test rutin olarak tekrarlanmalıdır.

Kabul sınırları:

Sistemin her seferinde aynı ışınlamaları vermesi, her basamak görüntüsünde aynı numaralı basamakların eşit optik yoğunlukta olmaları ile anlaşılır. Karşılaştırma yapılan basamaklar arasındaki yoğunluk farklılıkları $\pm \%25$ sınırları içerisinde olması durumunda, ışınlamanın doğrusalığı kabul sınırları içerisinde.

Düzeltilme işlemi

Test sonucu kabul sınırları dışında kalıyorsa, ışınlama zamanı, mA ve kVp kalibrasyonun kontrolü için servis mühendisi çağırılmalıdır.

3.1.2. Tüp çıkışı ve kararlılığı testi

Amaç: Bir X-ışın sisteminin çıkışının kararlılığı ve ışınlama şartları ile değişimini belirlemek.

Gerekli araçlar:

1- İyon odası (35 cc)

Ölçüm yöntemi:

- 1- Odak noktası-dedektör mesafesi 100 cm'ye ayarlanır.
- 2- X-ışını demeti iyon odası boyutunda kolime edilir.
- 3- Genel tüp çıkışı kararlılığını belirlemek için, aynı ışınlama faktörlerinde (80 kVp, 200 mA, 0.1 sn) üç kez ışınlama yapılır.
- 4- kVp değişimi;
 - 4.1- Sabit mA ve zaman değerleri için (örneğin 200 mA, 0.1 sn), 60-120 kVp arasında, belirli kVp değerlerinde ışınlamalar yapılır. Tüp çıkışları mR olarak ölçülür.
 - 4.2- mR (mR/mAs)- kV^2 grafiği çizilir.
- 5- mA değişimi;
 - 5.1- Sabit kVp ve zaman değerleri için (örneğin 80 kVp, 0.1 sn), uygun mA aralıklarında ölçüm alınır.
 - 5.2- mR- mA grafiği çizilir.
- 6- Işınlama zamanı değişimi;
 - 6.1- Sabit kVp ve mA değerleri için (örneğin 80 kVp, 200 mA), ışınlama zamanının belirli değerlerinde (örneğin 0,01-2,0 sn aralığında) ölçüm alınır.
 - 6.2- mR- t grafiği çizilir.
- 7- Sonuçlar KK çizelgesine (çizelge 3.3.) kaydedilir.

Çizelge 3.3. Tüp çıkışı testi KK çizelgesi

Tüp çıkışı testi												
Kurum:						Tarih:						
Kullanılan Cihaz:						Oda No:						
Jenaratör Markası:						Tüp Markası:						
Voltaj özelliği:						Odak nokta:						
Genel tüp çıkışı: 80 kVp, 200 mA, 0.1 s						Küçük:						
mR: ₁ ₂ ₃ mR _{ort} :.....						Büyük:						
kVp-mR mA sn			mA-mR ... KV sn				s- mRkVpmA					
kV	mR ₁	mR ₂	mR _{ort}	mA	mR ₁	mR ₂	mR _{ort}	s	mR ₁	mR ₂	mR _{ort}	

Problem ve güçlükler:

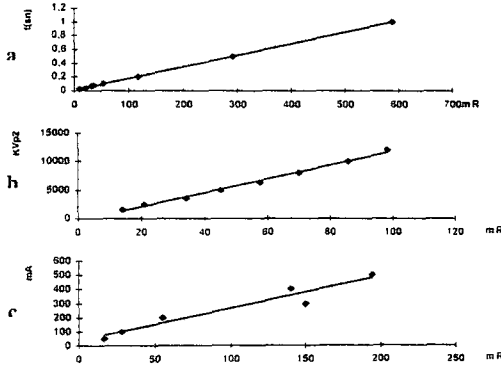
Tüp çıkışında problem olması durumunda, önce kVp ve ışınlama süresinin kalibrasyonları test edilmelidir. mA direk olarak ölçülmesi mümkün değildir. Eğer her iki parametrenin kalibrasyonunda problem yoksa, o zaman mA kalibrasyonuna bakmak gerekir.

Kabul sınırları:

mR-kV², mR-t ve mR-mA grafikleri doğrusal olmalıdır (şekil 3.4.a,b,c).

Bazı uluslararası kuruluşlar yaptıkları çok sayıda ölçümler sonucunda, belirli bir X-ışın demet kalitesi ve geometrisi için tüp çıkışlarını vermektedirler. Örneğin, belirli bir filtrasyon ve odak-dedetör mesafesi için, bazı kVp değerlerinde tek faz ve tam dalga sistemler için, elde edilebilecek tüp çıkışları mR/mAs olarak çizelge 3.4.'deki gibi verilmektedir.

Bu çizelgenin önemi, bir X-ışını sisteminde aynı parametrelerde elde edilecek ışınlama sonuçlarının karşılaştırılabileceği standart değerleri kapsamasıdır. Kaba bir ölçükle, eğer ölçüm sonucu çizelge değerlerine ± %50 uyuyorsa, tüp çıkışı kabul sınırları içerisinde denilebilir.



Şekil 3.4. Tüp çıkışı testinin, (a) t(sn)-mR, (b) KVp²-mR ve (c) mA-mR grafikleri

Çizelge 3.4. Beklenen Işınlama Değerleri¹ (Anonymous 1988)

İyon odası-odak mesafesi = 61 cm; Toplam filtrasyon = 2,5 mm-Al				
KVp	1φ, yarım ya da tam dalga		3φ 6 ya da 12 darbe, sabit potansiyel jeneratörler, orta frekans birimleri	
	MR/mAs	(1000/kg) ⁺	mR/mAs	(1000/kg) ⁺
60	8	(2,1)	12	(3,1)
80	14	(3,6)	21	(5,3)
100	22	(5,5)	32	(8,1)
125	35	(9)	48	(12)
150	52	(13)	68	(17)
C ve n sabitleri				
N	2,1	2,1	1,9	1,9
C	0,0014 ⁺	0,00035 ⁺⁺	0,005 ⁺	0,0013 ⁺⁺
1000/kg = (μC/kg)/mAs, ⁺ mR/(mAskVp ²), ⁺⁺ 1000/(kgkVp ²)				

¹ Bir X-ışın sisteminde ışınlama değerleri, filtrasyon doğru olarak belirlendikten sonra, klinik uygulamalarda rutin olarak kullanılan tüp akımı ve bir kaç kVp değerinde ölçülebilir. İyon odası-odak nokta mesafesi 61 cm olmalıdır. Çalışma 60, 80 ve 100 kVp'de yapılmalıdır. Eğer sistem yalnızca AEC (otomatik ışınlama kontrolü) modunda çalışıyorsa, AEC dedektörleri önüne uygun soğurucular yerleştirilerek gerekli mAs değeri ayarlanabilir. Çizelge.1'de beklenen ışınlama değerleri mR/mAs verilmektedir. En sağdaki sütun, üç faz ve sabit potansiyel jeneratörleri kapsar. Tüm ışınlama değerleri, 61 cm odak nokta-dedektör mesafesi ve 2,5 mm-Al toplam filtrasyon değeri içindir. Her sütundaki ışınlama değerleri, matematiksel olarak temsil edilebilir; Tüp çıkışı = C x kVpⁿ. Denklemdeki C ve n sabitleri çizelge.1'de verilmektedir. Eğer toplam filtrasyon 2,5 mm-Al değerinden fazla ise, çizelgedeki değerler belirli oranda azalır. Örneğin, 80 kVp'de, her yarım mm-Al filtrasyon artışında, tek ya da üç faz sistemlerde, çizelgedeki değerler % 10-15 oranında azalır. Ölçülen değerler, çizelgedeki değerlerden %40-50 oranında farklılık gösteriyorsa, jeneratörün kVp, mA ve zaman kalibrasyonlarının yapılması gereklidir. Bununla birlikte, jeneratörün daha önceki kalibrasyonu ve ışınlama değerleri göz önünde tutulmalıdır. Çünkü çizelgedeki değerler sisteme uygulanabilir olmayabilir. Çizelgedeki değerler, farklı mAs seçeneklerinde, sabit mR/mAs değerleri vermeyen kapasitör boşalma sistemleri gibi sistemler için geçerli değildir.

3.1.3. Filtrasyon ve yarı değer kalınlığı testi

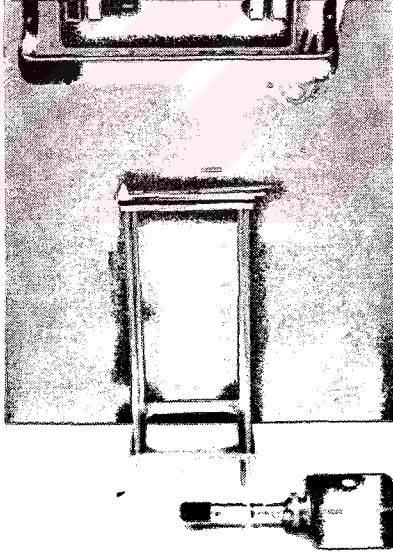
Amaç: Bilinen bir kV'da yarı değer kalınlığını ölçerek toplam filtrasyonu belirlemek.

Gerekli araçlar:

- 1- X-ışını sistemi
- 2- İyon odası (35 cc)
- 3- 5 adet alüminyum plaka (150x150x1 mm, % 99 saflıkta)
- 4- Kurşun plaka

Ölçüm yöntemi:

- 1- X-ışını tüpü, odak noktası-dedektör mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanır (şekil 3.5.).
- 2- X-ışını demeti iyon odası boyutunda kolime edilir. Saçılmayı azaltmak için, kurşun plaka iyon odasının altına yerleştirilir.



Şekil 3.5. Yarı değer kalınlık testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

- 3- X-ışını sistemi belirli bir voltaj değerine ayarlanır (örneğin 80 kVp). mAs değeri 70-100 mR ışınlama değeri verecek şekilde ya da 80 kVp 0.1 sn'de ve mA, maksimum seçenek değerinin $\frac{3}{4}$ ' ünü verecek şekilde (örneğin, mA seçeneği maksimum 600 mA ise 450 mA) ayarlanır.
- 4- Alüminyum plakalar kolimatör çıkışına (bir destek kullanılarak ya da yapıştırılarak), demet sınırları içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmelidir. Ölçüm geometrisi bozulmadan, alüminyum plakalar sırasıyla üst üste konularak, 0, 1, 2, 3, 4, ve 5 mm alüminyum kalınlıkları için ışınlama değerleri sırasıyla ölçülür. Her kalınlık değeri için üç kez ölçüm alınarak, ortalama değer çizelgeye kaydedilir (çizelge 3.5.).
- 5- Elde edilen ortalama ışınlamalar (mR), mAs değerine bölünerek, mR/mAs değerleri bulunur.
- 6- Bu sonuçlar, yarı logaritmik grafik kağıdına mR/mAs-mmAl olarak çizilir.
- 7- Grafikten, hiç bir filtrasyonun bulunmadığı durumda elde edilen ışınlama değerinin yarıya düştüğü nokta bulunarak yarı değer kalınlığı belirlenir (şekil 3.6.).

Çizelge 3.5. HVL testi KK çizelgesi

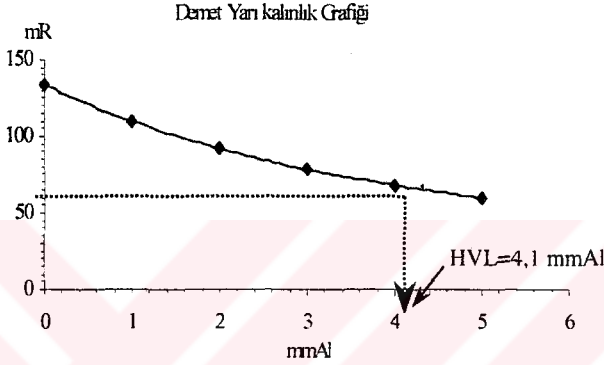
Demet Yarı Kalınlık Değeri						
Kuruluş:				Tarih:		
Kullanılan Cihaz:				Oda No:		
Jeneratör Markası:				Tüp Markası:		
Voltaj Özelliği:				Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi:				Küçük: Büyük:		
KVp : mA : T :						
	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
mR ₁						
mR ₂						
mR ₃						
mR _{ort}						
mR _{ort} /mAs						

Problem ve güçlükler:

- 1- İyon odası tam olarak X-ışın alanı içerisinde olmalıdır. Eğer sistemin kolimatör ayarları bilinmiyorsa, HVL testi kolimatör ayar testinden

sonra yapılmalıdır. Aynı zamanda, iyon odasının üzerine yerleştirilen alüminyum plakalar iyon odasını tam olarak kaplamalıdır.

- 2- Alüminyum tabaka kalınlığı değiştirilirken, çalışma geometrisi ve ışınlama şartları mutlaka sabit kalmalıdır.
- 3- HVL ölçümünden önce mutlaka kVp testi yapılmalı ve kVp kalibrasyonun kabul sınırları içerisinde olup olmadığı belirlenmelidir.



Şekil 3.6. HVL değerinin grafikten belirlenmesi.

- 4- HVL ölçümü için 1100 tipinde (% 99 saflıkta) alüminyum plaka kullanılmalıdır. En doğru sonuçları elde etmek için, alüminyum plakalar tüp ile iyon odasının tam ortasına ya da kolimatör çıkışına yerleştirilmelidir. X-ışını demeti kesinlikle alüminyum plaka içerisinde kalmalıdır.

Kabul sınırları

Minimum HVL değerleri, 1 ϕ ve 3 ϕ sistemler için çizelge 3.6. ve çizelge 3.7.'de, farklı kVp değerlerinde verilmiştir (Anonymous 1988). Bir X-ışını sistemi için HVL ölçümünün 80 kVp'de yapılması yeterlidir.

Düzeltilme işlemi:

Yapılan HVL testi sonucunda, gerekli minimum değerler elde edilemiyorsa, tüp-kolimatör sistemine ek filtrasyon işlemi yapılmalıdır. Ek filtrasyon işleminden sonra sistemin HVL'si yeniden belirlenmelidir.

Çizelge 3.6. Tam dalga doğrultmalı, 1φ X-ışını sistemi için, toplam filtrasyon ve HVL değerleri

Toplam filtrasyon mmAl	KVp									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
HVL										
0,5	0,36	0,47	0,58	0,67	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16
1,0	0,55	0,78	0,95	1,08	1,21	1,33	1,46	1,58	1,70	1,82
1,5	0,78	1,04	1,25	1,42	1,59	1,75	1,90	2,08	2,25	2,42
2,0	0,92	1,22	1,49	1,70	1,90	2,10	2,28	2,48	2,70	2,90
2,5	1,02	1,38	1,69	1,95	2,16	2,37	2,58	2,82	3,06	3,30
3,0	-	1,49	1,87	2,16	2,40	2,62	2,86	3,12	3,38	3,65
3,5	-	1,58	2,00	2,34	2,60	2,86	3,12	3,40	3,68	3,95

Çizelge 3.7. 3φ X-ışını sistemi için, toplam filtrasyon ve HVL değerleri.

Toplam filtrasyon mmAl	KVp								
	60	70	80	90	100	110	120	130	140
HVL									
2,5	2,2	2,4	2,7	3,1	3,3	3,6	4,0	-	-
3,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	5,0
3,5	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	-	-

3.1.4. Işınlama zamanının ölçülmesi

Amaç: Bir X-ışını sisteminde, seçilen ışınlama zamanı ile tüp çıkışındaki ışınlama zamanının uygunluğunun test edilmesi.

3.1.4.1. Elektronik x-ışını zaman ölçeri

Gerekli Araçlar:

- 1- Elektronik X-ışını zaman ölçeri
- 2- Kurşun plaka

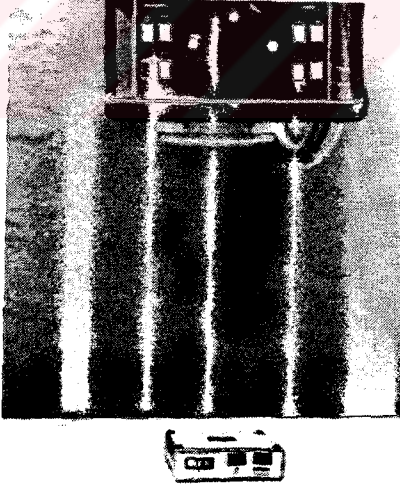
Ölçüm yöntemi:

- 1- X-ışını tüpü, odak noktası-masa üstü mesafesi 75 cm olacak şekilde ayarlanır. Zaman ölçer masanın üzerine yerleştirilir ve X-ışını demeti

zaman ölçer boyutunda kolime edilir (şekil 3.7.). Saçılmayı azaltmak için zaman ölçerin altına kurşun plaka konur.

- 2- Bir çok zaman ölçer üç faz ve sabit potansiyel sistemlerde ışınlama süresini direkt olarak verir; bu durumda, ışınlama süresinin uzunluğuna göre tüm skalanın ayarı yapılmalıdır (0-2 ya da 0-20 s gibi). Tek faz sistemlerde ise, eğer sonuçlar darbe sayısı olarak veriliyorsa, zaman ölçer tek faza göre ayarlanmalıdır. Yarım dalga sistemlerde 50 darbe 1s. tam dalga sistemlerde 100 darbe 1 saniyeye eşdeğerdir (Ek 4).
- 3- Jeneratörde, 80 kVp'de, 0.5 s'den küçük zamanlar test edilecekse 300 mA, 0.5 s'den büyük zamanlar test edilecekse 100 mA seçilir.
- 4- Bu ışınlama şartlarında, ölçümler en çok kullanılan ışınlama zamanlarında (0.005, 0.015, 0.35, 1.0 gibi) tekrarlanarak sonuçlar kayıt edilir.
- 5- Her ışınlama seçimi için üç kez ölçüm alınarak ortalaması ($t_{ort} = (t_1+t_2+t_3)/3$) KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.8.).
- 6- Elde edilen her zaman ölçümünün ortalamaya değere oranı (t_i/t_{ort}) bulunarak çizelgeye kaydedilir. Bu tekrarlama oranınının 0.95-1.05 arasında olması gerekir
- 7- Daha sonra her bir zaman seçeneği için doğruluk aşağıdaki gibi bulunur. Burada t_i , jeneratörde seçilen zaman değeridir.

$$\text{Doğruluk} = \% \Delta t = (t_{ort}-t_i)/t_i * 100 \quad (3.3)$$



Şekil 3.7. Elektronik zaman ölçer ile ışınlama zamanı testinin ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)

Çizelge 3.8. Işınlama zamanı testi KK çizelgesi (Elektronik x-ışın zaman ölçeri ile)

Işınlama Zamanı Testi									
Kuruluş:					Tarih:				
Kullanılan Cihaz:					Oda No:				
Jeneratör Markası:					Tüp Markası:				
Voltaj Özelliği:					Odak Nokta:				
Odak-dedektör Mesafesi:					Küçük:		Büyük:		
Kurulan	Ölçülen Zaman				Tekrarlanma			Doğruluk	
t_i	t_1	t_2	t_3	t_{ort}	t_1/t_{ort}	t_2/t_{ort}	t_3/t_{ort}	$t = (t_{ort} - t_i)/t_i$	

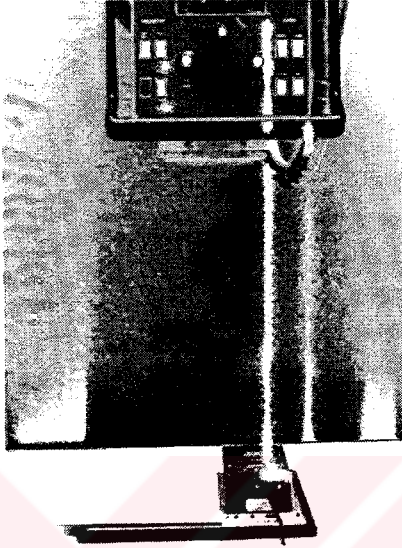
3.1.4.2. Döner tabla yöntemi

Gerekli Araçlar:

- 1- Döner Tabla
- 2- X-ışını kaseti ve filmi
- 3- Farklı boyutlarda kurşun plakalar

Ölçüm yöntemi:

- 1- X-ışını tüpü, odak noktası-masa üstü mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanır.
- 2- Masanın üzerine 24x30 kaset-film yerleştirilerek, döner tablanın uzun ve kısa eksenleri, kasetin uzun ve kısa eksenlerine paralel olacak şekilde ayarlanır (şekil 3.8.). Kasetin açık kalan kısımları kurşun plakalar ile kapatılır. Böylece 4 ayrı ışınlama yapılabilir.
- 3- X-ışını demeti döner tabla boyutlarında kolime edilir.
- 4- 80 kVp'de, dört farklı ışınlama aşağıdaki değerler için yapılır.
Tek faz sistemler için:
0,2 s ve 50 mA, 0,1 s ve 100 mA, 0,05 s ve 200 mA, 0,025 s ve 400 mA
Üç faz sistemler için:
0,1s ve 100 mA, 0,05 s ve 200 mA, 0,025 s ve 400 mA, 0,015 s ve 600 mA

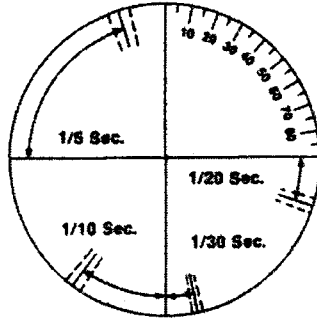


Şekil 3.8. Döner tabla yöntemi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

- 5- Tek faz ve tam dalga doğrultma sistemlerde, film üzerinde meydana gelen 100 çizgi 1s'ye karşılık gelir. Yarım dalga doğrultma sistemlerde ise, 50 çizgi 1 s'ye karşılık gelir. Örneğin, tam-dalga doğrultmalı bir sistemde $10 \text{ çizgi}/100=0.10$ s'ye karşı gelirken, yarım-dalga doğrultmalı bir sistemde $5 \text{ çizgi}/50=0.10$ s'ye karşı gelir.
- 6- Üç faz sistemlerde, film üzerinde meydana kararmaların kaç s'ye karşı geldiği özel bir iletke ile belirlenir . Bu ölçüm aletinin üzerinde filmde meydana gelen yay şeklindeki kararmaya göre ışınlama süresinin belirlenmesini sağlayan kısımlar vardır (şekil 3.9.) .
- 7- Ölçüm sonuçları KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.9.).

Kabul sınırları:

Elektronik zaman ölçer ile yapılan zaman ölçümünde tekrarlanabilirliğin %5 sınırları içerisinde olması gerekir. Doğruluk ise, 10 ms'den büyük zaman değerlerinde %5, 10 ms'den küçük zaman değerlerinde ise %20 kabul edilir. Döner tabla ile yapılan ışınlama zamanı testi için kabul sınırları çizelge 3.10.'da verilmektedir.



Şekil 3.9. Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanı belirlenirken kullanılan özel iletke (Gray *et al.* 1983)

Çizelge 3.9. Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanı testi KK çizelgesi

Işınlama Zamanı Testi (Döner Tabla Yöntemi)				
Kurum :			Oda No:	
Cihaz Tipi :			Tarih:	
Jeneratör Markası :			Tüp Markası :	
Voltaj özelliği :			Odak Nokta	
kVp:	mA:		Küçük:	Büyük:
Kurulan zaman	Tek faz sistem		Üç faz sistem	
	Filmdeki çizgi sayısı	Ölçülen zaman	Filmdeki yay değeri	Ölçülen zaman

Çizelge 3.10. Döner tabla yöntemi için kabul sınırları (Anonymous 1978)

Kabul Sınırları		
1 ϕ	1/100'den 1/10 s'ye kadar	Darbelerin tam sayımı okunmalıdır
	1/10'den 1/5 s'ye kadar	± 1 darbe
	1/4'den 1/2 s'ye kadar	± 2 darbe
	1/2 s'den büyük	$\pm \%5$
3 ϕ	10 ms'den küçük	± 1 ms
	10 ms'den 50 ms'ye kadar	± 2 ms
	50 ms'den 100 ms'ye kadar	± 4 ms
	100 ms ve üstü	$\pm \% 5$

Düzeltilme işlemi

Test sonuçları kabul sınırları dışında ise, servis mühendisi çağırılarak, sistemin ışınlama zamanı kalibrasyonu yaptırılmalıdır.

3.1.5. KVp testi

Amaç: Bir X-ışını sisteminde kurulan kVp değerinin ölçülmesi.

3.1.5.1. KVp'nin test kaseti ile ölçülmesi

Gerekli araçlar:

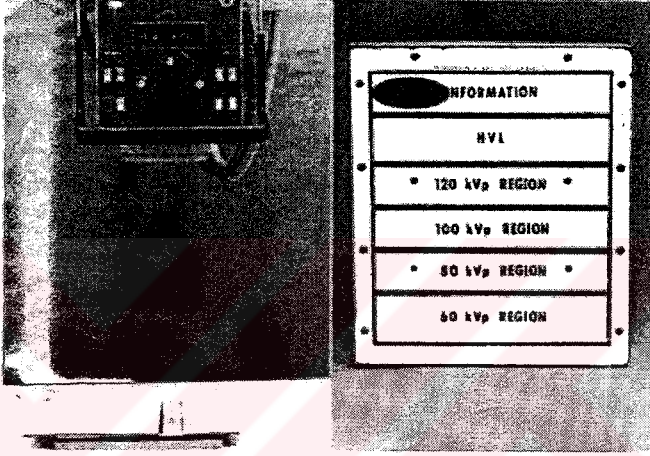
- 1- KVp test kaseti
- 2- 20x25 Mavi ışığa hassas film
- 3- 10x23 ve 23x23 boyutlarında iki adet kurşun plaka
- 4- Densitometre

Ölçüm yöntemi:

- 1- Odak noktası-masa üstü mesafesi 90 cm olacak şekilde ayarlanır.
- 2- Bu mesafeye karşı gelen uygun mAs değeri tablodan bulunur.
- 3- Test kasetine film konulur ve masanın üzerine kasetin uzun eksenini tüpün anot-katot eksenine paralel olacak şekilde yerleştirilir (şekil 3.10.).
- 4- Test kaseti üzerinde, test edilecek kVp değerine karşı gelen bölgeye (şekil 3.11.) X-ışını demeti kolime edilir. X-ışını demeti kasete merkezlenmelidir. Kasetin açıkta kalan diğer kısımları uygun kurşun plakalar ile örtülmelidir. Aynı zamanda, kasetin metal olan kenar kısımları, ışınlama sırasında ortaya çıkacak saçılmayı engellemek için kurşun plaka ile örtülmelidir. Bu yerleştirmede ışınlanacak aralık, tüpün anot-katot eksenine dik olacaktır.
- 5- Test kaseti, üzerindeki farklı ölçüm bölgeleri (60, 80, 100 ve 120 kVp) uygun kVp değerleri kullanılarak sırayla ışınlanır. Her ışınlamada, yukarıda belirtildiği gibi, açıkta kalan bölgeler mutlaka kurşun plakalar ile kapatılmalıdır.
- 6- Her bölge için ışınlama yaparken, gerekli ışınlama zamanı ayarlaması yapılarak (mA değiştirilmez), film üzerinde meydana gelecek delik

görüntülerine ait kararmaların 1,0 optik yoğunlukta olması sağlanmalıdır. Bu yoğunluk değeri 0,5-1,5 optik yoğunluk aralığında olabilir, fakat bu sınırları aşmamalıdır.

- 7- Eğer birden fazla mA seçeneğinde test tekrar edilecekse, kurşun harfler kullanılarak, mA değerinin elde edilen film üzerinde görülmesi sağlanmalıdır. Aşağıda, çizelge 3.11.'de 100 cm odak noktası-masa üstü mesafesi için tipik mA faktörleri verilmiştir.



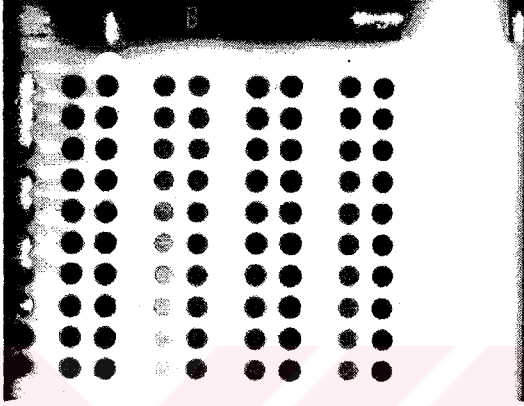
Şekil 3.10. KVp testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983) Şekil 3.11. KVp test kaseti (Gray *et al.* 1983)

- 8- Banyo edilen film üzerinde, tüm bölgeler ışınlanmış ise, beş çift halinde 10 sıra delik görüntüsü oluşur (şekil 3.12.). Densitometre kullanılarak, sağ ve sol sütunlardaki görüntülerin yoğunlukları belirlenir ve karşılaştırılır. Genel olarak, sağ sütundaki yoğunluklar aynıdır ve referans yoğunlukları meydana getirir. Sol sütunda ise, değişen yoğunluktaki görüntüler meydana gelecektir.

Çizelge 3.11. Tipik mA faktörleri

Kaset Bölgesi KVp	mAs – Kodak XL film		
	Ayarlanan kVp	Tek Faz Sistem	Üç Faz Sistem
50-70	60	250	150
70-90	80	80	50
90-110	100	40	25
110-130	120	60	20
130-150	140	25	15

- 9- Her kVp bölgesi için, optik yoğunlukları aynı olan görüntüler belirlendikten sonra, bu görüntülere karşı gelen basamak numarasına göre, test kaseti kalibrasyon eğrisi kullanılarak kVp belirlenir.



Şekil 3.12. KVp test kasetinin ışınlanması ile filmde meydana gelen kararmalar (Gray et al. 1983)

- 10- Eğer, görüntü çiftleri arasında tam bir uyuşma bulunamazsa, interpolasyon yapılır. Örneğin uyuşma, A ve B basamakları arasında ise (örneğin, A beşinci, B altıncı basamak olsun) ve R referans, K komşu sütunu belirtiyor olsun. Sırasıyla, R(A), R(B), K(A), K(B), referans sütundaki A ve B basamaklarının kararması ile, komşu sütundaki A ve B basamaklarının kararması ise, bu durumda; $R(AB) = R(A) + R(B)/2$ ile temsil edildiğinde, uyuşmanın olduğu basamak; Basamak no. = $A + (K(A) - R(AB)) / (K(A) - K(B))$ olarak bulunur. Çizelge 3.12.'de bir örnek verilmiştir.

Çizelge 3.12. KVp değeri test kaseti ile aşağıdaki örnekteki gibi belirlenebilir

Uyuşma	Basamak No	K Basamağı yoğunluğu	Referans Basamak Yoğunluğu
A	5	$K(A) = 1.10$	$R(A) = 1.05$
B	6	$K(B) = 1.03$	$R(B) = 1.05$

$$R(AB) = 1.05$$

$$\text{Uyuşan Basamak} = 5 + 1.10 - 1.05 / 1.10 - 1.03 = 5.7$$

Böylece, her kVp bölgesi için, yoğunlukları birbirine uyan basamaklar bulunduktan sonra, üretici firma tarafından verilmiş olan kalibrasyon eğrileri kullanılır (Ek 5). Kalibrasyon eğrisi, her test kaseti için ayrıdır ve sistemden sisteme farklılık gösterir. Elde edilen değere göre, Şekil.4'deki kalibrasyon eğrisinde, uygun basamak numarası belirlenir ve kVp eksenine paralel bir çizgi çizilerek, jeneratörün tek ya da üç faz olmasına göre doğruların kesim noktası bulunur. Bu noktadan kVp eksenine çizilen dikmeden bulunan kVp değeri, gerçek X-ışını kilo voltajını verecektir. Yukarıdaki örnek için, bulunacak değer, yaklaşık olarak 60 kVp'dir.

- 11- Elde edilen tüm sonuçlar, KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.13.).
- 12- Kvp ölçümü, jeneratörde normalde kullanılan minimum, orta ve maksimum değerlerde tekrar edilebilir. Tam bir kalibrasyon için, 10 kVp aralığı ile, bütün kVp seçenekleri için, yılda bir kere kontrol edilmelidir. Bazı kVp değerlerinde ölçümler farklı mA'ler kullanılarak tekrar edilmelidir.

Çizelge 3.13. Kvp test kaseti ile ölçümü için KK çizelgesi

Kvp'nin test kaseti ile ölçülmesi					
Kurum:			Tarih:		Oda no:
Cihaz tipi:			Odak nokta Küçük:..... Büyük:.....		
Odak-film mesafesi:			Test kaseti modeli:		
Kurulan kVp	Basamak no	Komşu basamak yoğunluğu (K)	Referans basamak yoğunluğu R(A),R(B)	R(AB)	Uyuşan basamak
		K(A)=	R(A)=		
		K(B)=	R(B)=		
		K(A)=	R(A)=		
		K(B)=	R(B)=		

Problem ve güçlükler:

- 1- Yarı değer kalınlığı, her zaman kVp kontrolü yapıldıktan sonra ölçülmelidir.
- 2- Kvp'deki değişimin en büyük nedeni kalibrasyondur. Bazı jeneratörlerin kalibrasyonları, uzun süre bozulmadan kalabilir.
- 3- Kvp'nin radyografik kontrasta etkisi, kabul sınırları içerisinde kontrol edilmelidir.
- 4- Kvp'deki değişimin diğer önemli bir nedeni, şehir geriliminin düşmesi ve bunun sonucunda elektriksel bileşenlerin arızalanmasıdır.

- 5- Bazı jeneratörlerde, yüksek mA seçeneklerinde, kVp 5-8 kV düşük olabilir. Bunun nedeni, mA kompensasyonunun iyi olmamasıdır. Bu nedenle, aynı kVp'nin farklı mA değerlerinde test edilmesi gerekir.

3.1.5.2. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü

Gerekli araçlar:

Elektronik kVp ölçer

Ölçüm yöntemi:

- 1- Kaynak-cihaz mesafesi ve mAs ayarlaması test edilecek KVp değerine göre grafikte verilmiştir. Genel olarak, ışınlama şartları test cihazının kullanım kılavuzunda mevcuttur (Ek 6). Ayrıca 20-100 mAs değerleri arasında değişik odak noktası-masa üstü mesafelerine karşı gelen KVp değerleri de Ek 4'de verilmiştir
- 2- Işınlama şartları belirlendikten sonra, ışınlama yapılarak sonuçlar kVp metreden okunur ve KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.14.).

Çizelge 3.14. KVp'nin elektronik sistem ile ölçümü KK çizelgesi

KVp Testi						
Kuruluş:			Tarih:			
Kullanılan Cihaz:			Oda No:			
Jeneratör Markası:			Tüp Markası:			
Voltaj Özelliği:			Odak Nokta:		Küçük:	Büyük:
Odak-dedektör Mesafesi:						
Klinik Uygulamalardaki Değişik KVp Değerleri						
MA						
T(sn)						
Odak						
Odak-Cihaz						
Kurulan KVp						
Ölçülen Kvp						
KVp-mA ilişkisi						
Kurulan KVp						
Ölçülen Kvp						
mA						
T(sn)						

Problem ve güçlükler:

KVp metrenin hassasiyeti, 95 kV'nin üzerinde çok artar ve test cihazının ölçüm yapabilmesi için gerekli olan mAs miktarı alçak mesafelerde çok azalır. mA veya mesafe ayarlamalarına rağmen sonuç alınamayabilir. Bu durumda, sonuçlara bir hata payı girmesi kabul edilerek, ilave filtrasyon kullanılır. Böylelikle, yoğun x-ışın şiddeti düşürülmüş olur. Ek filtrasyon değerleri çizelge 3.15'de verilmektedir;

Çizelge 3.15. Ek filtrasyon değerleri

KVp	Ölçüm aletinin %/ mmAl artışı
65	0,34
80	0,40
100	0,40
120	0,45

Filtrasyon, $F = (\% / \text{mmAl}) \times (\text{Tüp filtrasyonu} - 1 \text{ mmAl})$ olarak verilmektedir. Tüp filtrasyonundaki artış nedeniyle, sonucun düzeltilmesi için, ölçüm aletindeki değer $\% \pm 5$ kadar azaltılır.

Bir X-ışını jeneratöründe mA'in değişmesi kVp'nin değişmesine neden olabilir. Ancak, sistemin elektroniği bu değişikliği engelleyecek biçimde tasarlanmıştır. Fakat, jeneratörün bu düzeltmeyi hangi doğrulukta yaptığı kontrol edilmelidir. Bunun için, ölçülecek kVp ve test edilecek maksimum mA belirlenir. Daha sonra, ışınlama eğrisinden bu kVp'ye karşı gelen minimum mAs değeri elde edilecek şekilde mesafe seçilir. Daha sonra ışınlamalar, mA azaltılıp zaman artırılarak mAs'ın mümkün olduğu kadar sabit kalacağı değerlerde tekrarlanır ve jeneratörün mA'deki değişmeleri hangi doğrulukta düzelttiği görülebilir.

Kabul sınırları:

Tam olarak, kalibrasyonu yapılmış bir sistemde (jeneratörde), ± 2 kVp' kadar olan değişimler kabul edilebilir. ± 5 kVp'den fazla olan değişikliklerde üretici firmaya haber verilerek, jeneratörün kalibrasyonu yaptırılmalıdır.

Düzeltilme işlemi:

KVp kalibrasyonun kabul sınırları dışında olması durumunda, üretici firma ya da sistem mühendisi tarafından jeneratörün kalibrasyonun yeniden yapılması gereklidir.

3.1.6. X-ışını alanı uygunluk testi

Amaç:

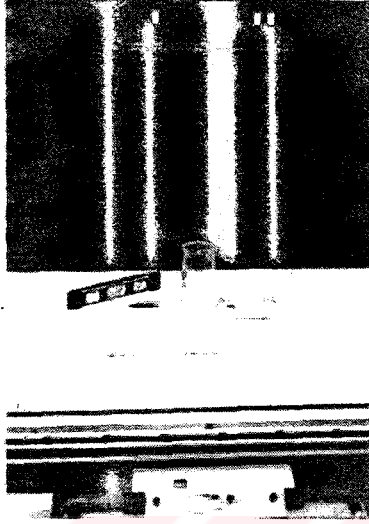
X-ışını ve ışık alanlarının birbirini ile uyumu, merkezi ışının masaya dikliği, X-ışını alanının merkezlenme ayarlarının ölçülmesidir. Ayrıca, kolimatör ışık alan boyutunu nümerik olarak gösteren ve X-ışını alanını otomatik olarak kaset boyuna ayarlayan otomatik demet sınırlayıcılarda test edilir.

Gerekli araçlar: .

- 1- Kolimatör test aleti
- 2- Demet ayar aleti
- 3- Su terazisi
- 4- Metre
- 5- 24x30 boyutunda kaset ve film
- 6- 20x25 boyutunda kaset ve film

Ölçüm yöntemi:

- 1- Odak nokta-masa üstü mesafesi 100 cm'ye ayarlanır. X-ışını demetinin masaya dik gelmesi için, su terazisi kullanılarak gerekli ayarlamalar yapılmalıdır.
- 2- Kolimatör ve demet ayar aletleri masa üzerine konulan 24x30 kaset üzerine yerleştirilip, merkezlenmelidir. Demet ayar aleti, kolimatör test aletinin tam merkezine yerleştirilmelidir (şekil 3.13.).
- 3- Işık alanının merkezi, demet ayar aletinin tam merkezine gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Bu ayarın doğru yapılıp yapılmadığı, demet ayar aletinin üstünde bulunan küçük çelik bilyenin gölgesinin, aletin tabanında bulunan çelik bilyenin üzerinde olup almamasından anlaşılabilir.
- 4- Kolimatör ayarı, ışık alanı ile kolimatör test aleti üzerindeki dikdörtgen alanın sınırları çakışacak şekilde yapılır. 3'de belirtildiği gibi, merkezi ışının ayarlanmasından sonra, ışık alanı ile test aleti üzerindeki alanda uyumsuzluk varsa, bu kısımlar kurşun harfler ya da madeni para ile belirlenmelidir. Aynı şekilde, anot-katot ekseni kurşun harfler ya da madeni para ile belirlenmelidir.



Şekil 3.13. X-ışın alanı uygunluk testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

- 5- Bu ölçüm düzeneğinde, banyo edilecek film, 1,0 optik yoğunluğa sahip olacak şekilde ışınlanır (Sistemin tüp çıkış performansına bağlı olarak, 60-65 kVp, 5-10 mAs şartlarında ışınlama yapılabilir.). Işınlama sonrasında test düzeneği kesinlikle bozulmamalıdır.
- 6- Çalışmanın ikinci kısmında, Buki'deki kaset test edilecektir. Bunun için, 20x25 boyutundaki kaset Buki'ye takılmalı ve merkezlenmelidir.
- 7- Eğer sistemde otomatik demet sınırlama kontrolü varsa, sistemin kaseti Buki'ye yerleştirmesi beklenmelidir. Eğer sistem manuel kolimasyona sahip ise, kolimatör üzerindeki saha göstergesi kullanılarak film boyutu ayarlanmalıdır.
- 8- Her iki kaset aynı şartlarda yeniden ışınlanır. Daha sonra her iki kaset banyo edilir.
- 9- Masa üzerindeki, iki kere ışınlanmış film (şekil 3.14.) aşağıdaki bilgileri verir;
 - 9.1- X-ışını dikliği: 100 cm odak noktası-masa üstü mesafesi için, 0,15 cm çapındaki iki çelik bilyenin film üzerindeki görüntülerinin çakışması, merkezi ışının tam olarak ayarlandığını gösterir. Bu durumda, masa üzerine gelen merkezi ışının dikliği, 0,5°'dir. Eğer üstteki bilyenin görüntüsü ilk daireyi kesiyorsa 1,5° , ikinci daireyi kesiyorsa merkezi ışın dikliğinin sapması 3°'dir.
 - 9.2- X-ışını-Işık alanı uygunluğu: Film üzerinde karamış olan X-ışını alanı bölgesi, kolimatör test aleti üzerindeki dikdörtgenin görüntüsü ile

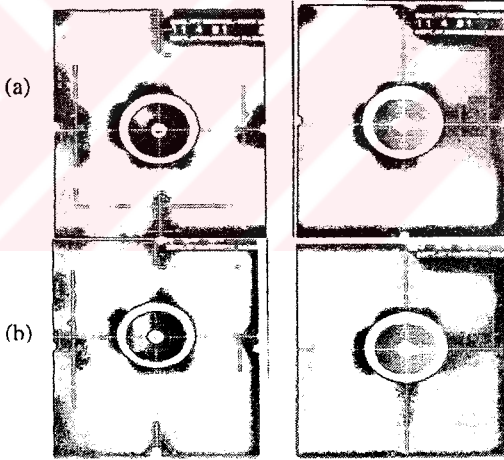
çakışıyorsa, kolimatör ayarı hatasızdır. Eğer görüntü dikdörtgen alanın kenarlarının, dışında oluşursa, kolimatör ayarı bozuk demektir.

9.3- Merkezleme Hatası: Banyo edilen filmde, X-ışın görüntüsünün merkezi ile film merkezi, odak noktası-masa üstü mesafesinin % 2'i kadar içinde olmalıdır. Görüntü merkezini bulmak için, film düzleminde filmin köşeleri kalem ile çizilerek birleştirilir. Daha sonra, x-ışını alanının film üzerindeki görüntüsünün köşeleri birleştirilir. Eğer bu iki kesişme noktası üst üste geliyorsa ayarlama hatası yoktur. Muhtemel bir merkezleme hatası örneği şekil 3.15.'de görülmektedir.

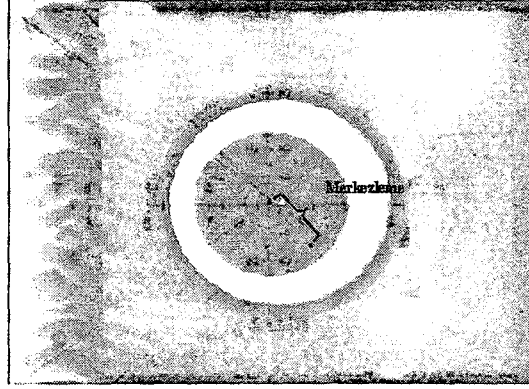
10- Bir kere ışınlanan Buki'deki film aşağıdaki bilgileri verir;

Buki'nin merkezlenmesi, otomatik ve manuel kolimasyonun karşılaştırılması ile yapılabilir. Otomatik sistemdeki ayarlama hatası veya X-ışını alanı boyut göstericisinin doğruluğu, iki filmin aynı anda incelenmesiyle anlaşılır. Buki ve masa üzerindeki filmlerin alan farklılıkları ölçülmelidir. Merkezleme kenarlara olan uzaklıkların ölçülmesi ile belirlenebilir.

11- Aynı test farklı odak noktası- masa üstü mesafelerinde tekrarlanmalıdır.sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.16.).



Şekil 3.14. (a) Soldaki görüntü masa üzerinde, sağdaki ise Buki'deki filmlerin görüntüsüdür. Heriki görüntüde de test sonuçları kabul sınırlarındadır. (b) aşağıdaki görüntülerde ise soltarafdaki masa üzerindeki filmde kolimasyon hatası gözlenirken, sağdaki Buki'deki filmde ise kasetin tam olarak merkezlenmediği görülmektedir (Gray *et al.* 1983)



Şekil 3.15. Yukarıdaki görüntüde filmin köşeleri ile x-ışın alanının köşelerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen merkezleme hatası görülmektedir (Gray et al. 1983)

Çizelge 3.16. X-ışını alanı uygunluk testi KK çizelgesi

X-ışını alanı uygunluk testi			
Kuruluş:		Tarih:	
Kullanılan Cihaz:		Oda No:	
Jeneratör Markası:		Tüp Markası:	
Voltaj Özelliği:		Odak Nokta:	
Odak-dedektör Mesafesi:		Küçük:	Büyük:
Kolimasyon		Demet ayarlaması	X-ışını- Film Ayarı
KVp		Sapma Açısı	Merkez Farkı
Mas			
Odak mesafesi		Tolerans	Tolerans % OM
OM(%)			
(A-C) _I			
(A-C) _{II}			
Maks.Sapma			

Kabul sınırları

Kolimاتور ayarı ve merkezleme hatası için kabul sınırı, odak nokta- masa üstü mesafesinin % 2'sinden büyük olmamalıdır. Işının dikliği için sınır 1.5 derecedir.

Örneğin, X-ışını alanın kenarı ile dikdörtgen sınırı arasında 2 cm hata varsa, 100 cm odak noktası-masa üstü mesafesi için hata miktarı %2'dir.

Problem ve güçlükler:

- 1- Bazı kolimatörlerin ışık alanlarının kenarları bulanık bir şekilde görülür. Bu durumda ışık alanını tam olarak ayarlamak zorlaşacağı için, çalışılan odanın ışıkları kapatılmalıdır.
- 2- Masa üzerinde ve Buki'de ışınlanan filmlerin yoğunluklarını ayarlamak zor olabilir. Buki'deki film, gerek masanın yapısı gerekse grid nedeniyle masa üzerindeki filme göre daha az ışınlanır. Bu nedenle, Buki'de ışınlanan filmin kasetindeki ekran daha hızlı bir ekran seçilebilir.

Düzeltilme işlemi:

Kabul sınırları dışında kalan durumlarda, ışık alanı-X-ışın alanı, X-ışını yönelimi ve dikliği servis mühendisi tarafından yeniden ayarlanmalıdır.

3.1.7. Odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümleri

Amaç:

Odak nokta boyut ve ayırma gücünün kabul sınırları içerisinde olup olmadığını belirlemek ve sistemin spesifikasyonları ile karşılaştırmak.

3.1.7.1. İnce delik kamerası ölçümleri

Gerekli araçlar:

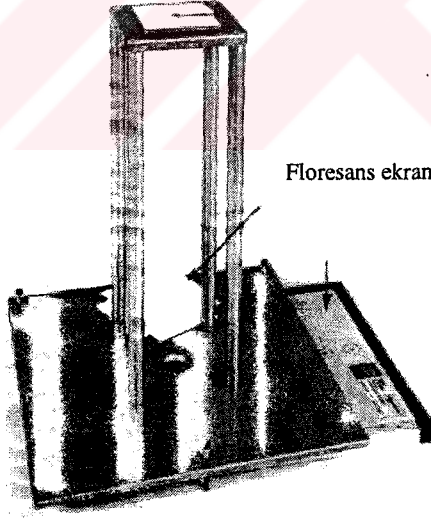
- 1- İnce delik kamera test aleti, (şekil 3.16., uygun boyutlu ince delik ile)
- 2- Dış filmi
- 3- Küçük floresans ekran (gerekli ise)
- 4- Büyütücü lens
- 5- Su terazisi

Ölçüm yöntemi

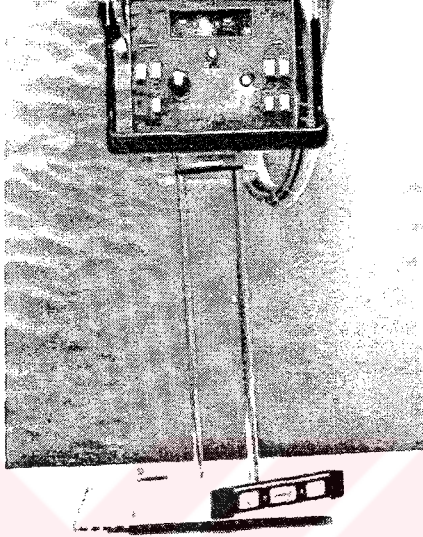
- 1- İnce delik kamera masa üstünde tüpün altına gelecek şekilde yerleştirilir. İnce delik ile yanlardaki iki delik anot-katot eksenine hizalanır. Kameranın ayakları maksimum noktaya kadar uzatılır. Tüp kameraya mümkün olduğu kadar yaklaştırılır (şekil 3.17.).
- 2- Masa üstü ve test düzeneğinin dikliği su terazisi kullanılarak kontrol edilir. Kameranın tam olarak dik olmasına çok dikkat edilmelidir.
- 3- Işık alanı ile ince delik merkezlenmelidir. İnce delik-film ve odak nokta-film uzaklıkları uygun büyütme faktörünü sağlayacak şekilde ayarlanır. 2,5 mm ya da daha küçük odak noktaları için büyütme faktörü 2 olmalıdır. Çizelge 3.17.'de farklı boyuttaki odak noktaları için M değerleri (büyütme faktörleri) verilmektedir. Uzatılmış kamera yüksekliği 60 cm olduğundan, odak nokta-ince delik mesafesi 30 cm olmalıdır.

Çizelge 3.17. Farklı boyuttaki odak noktaları için büyütme faktörleri

Nominal odak nokta boyutu, f (mm)	M
$0.3 < f < 1.2$	2
$1.2 < f \leq 2.5$	2
$2.5 < f$	1



Şekil 3.16. İnce delik kamerası (Gray et al. 1983)

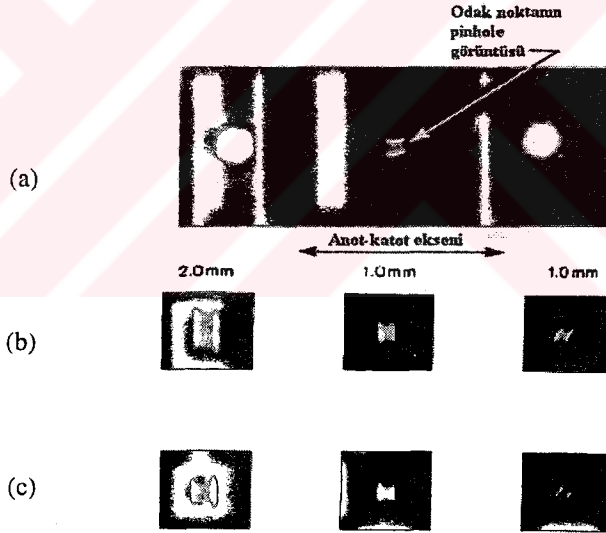


Şekil 3.17. İnce delik kamerası ile odak nokta boyut ve ayırma gücü testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

- 4- X-ışın odasının ışıkları kapatılarak, 75 kVp, 50 mA ve 2 sn ya da floroskopik modda ışınlama yapılarak, ince deliğin kamera tabanındaki, fosfor üzerindeki görüntüsünün, çapraz (merkez) işarete merkezlendiği görülmelidir. Eğer merkezlenme sağlanmamışsa, tüp ya da masa hareket ettirilerek merkezlenme sağlanmalıdır.
- 5- Kamera hareket ettirilmeden tüp kaldırılmalı ve kameraya uygun ince delik takılmalıdır. Odak nokta boyutuna göre kullanılacak ince delik boyutları aşağıda verilmiştir.
 - a)- 1 mm'den küçük odak noktalar için 0.03 mm
 - b)- 1 mm'den 2,5 mm'ye kadar olan odak noktalar için 0.075 mm
 - c)- 2,5 mm'den büyük odak noktalar için 0.1 mm
- 6- 85 kVp, 0.1 sn'de, maksimum mA seçeneğinin yarı değerinde dış filmi ya da mamografi kaset kullanılarak ışınlama yapılmalıdır. Yoğunluğun az olması durumunda ışınlama zamanı artırılmalıdır.
- 7- İnce deliğinin iki kenarında bulunan deliklerin film üzerindeki görüntülerinden büyütme faktörü tam olarak hesaplanabilir. Deliklerin arasındaki uzaklık 1,27 cm'dir. Görüntüdeki mesafede ölçülerek, büyütme faktörü aşağıdaki gibi bulunur.

$$M = \left(\frac{\text{ölçülen mesafe (cm)}}{1,27} \right) - 1 \quad (3.4)$$

- 8- Banyo edilen filmdeki odak nokta görüntüsünün optik yoğunluğu 0,8-1,2 arasında olmalıdır.
- 9- İstenilen kalitede görüntü elde edildikten sonra (şekil 3.18.a,b,c), odak nokta boyutu aşağıdaki gibi ölçülür.
- a)- 0,1 mm bölmeli büyütücü lens kullanılarak, odak nokta görüntüsünün anot-katod eksenine paralel ve dik boyutları (F_{boy} , F_{en}) ölçülür.
- b)- Elde edilen ölçümler büyütme faktörüne bölünür.
- c)- Tüpün anot-katod eksenine paralel yöndeki odak nokta boyutu 0.7 ile çarpılmalıdır. Böylelikle, merkezde sivrilmiş şiddet dağılımı olan odak nokta uzunluğunun, aynı ayırma gücündeki homojen şiddet dağılımındaki uzaklığa çevrilmiş olur.
- 10- Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.18.).



Şekil 3.18. (a) Banyo edilen ekstiremite filmdeki ince delik görüntüsünün kesiti. 1,0 ve 2,0 mm odak nokta boyutlarında (a) diş filmde, (b) ekstiremite filmdeki odak nokta görüntüleri (Gray *et al.* 1983'den değiştirilerek alınmıştır)

Problem ve güçlükler:

- 1- Anot-katod eksenine uygun olarak, ince delik ve X-ışını demetinin yanlış hizalanması ölçümleri değiştirebilir.
- 2- Odak nokta boyutu mA ve kVp ile değişebilir. Bu nedenle, ölçümlerin yapıldığı şartlar belirtilmelidir.
- 3- Kameranın eskimiş ya da hasar görmüş olmasından dolayı, kamera ayakları uzatıldığı zaman kameranın üst kısmı alt kısmı ile tam olarak çakışmayabilir. Böyle bir durumda, test yapılmadan önce kamera düzeltilmelidir.

Çizelge 3.18. İnce delik kamerası ile odak nokta ölçümü KK çizelgesi

Kurum :		Oda no :
Cihaz tipi :		Tarih :
Tüp Markası :		Jeneratör :
Kullanılan film :		Voltaj özelliği :
KVp(maks):	mA(maks):	Odak nokta:
Odak- ince delik mesafesi :		Küçük: Büyük:
İnce delik-film mesafesi :	Küçük odak	Büyük odak
KVp		
MA		
T		
Delik		
Yoğunluk		
(ölçülen mesafe/1,27)-1		
Fen		
Fboy		
Fen/M		
Fboy/M		
Fboy*0,7		
FenxFboy		

Kabul sınırları

Odak nokta boyutu için kabul sınırları, çizelge 3.19.'da verilmektedir.

Çizelge 3.19. İnce delik kamerası testi için kabul sınırları

Odak noktanın nominal boyutu (mm)	Tolerans (% artış olarak)
>0,8	50
0,8 – 1,5	40
>1,5	30

3.1.7.2. Yıldız desen ölçümleri

Gerekli araçlar:

- 1- Yıldız Desen Test Aleti
- 2- Ekran-film, ekstremite kaseti, 20x25 cm
- 3- Kurşun harfler, A, C
- 4- Su terazisi

Ölçüm yöntemi

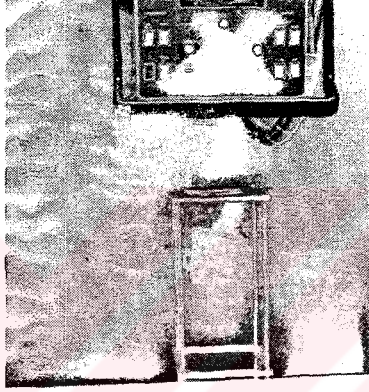
- 1- Kaset masa üzerine konularak, desenin yerleştirileceği destek kasetin üzerine yerleştirilir. Yıldız desen kolimatörün altına gelecek şekilde desteğe yerleştirilir (şekil 3.19.).
- 2- Ölçüm geometrisi, tüpün anot-katot ekseni, masa düzlemi ve yıldız desen birbirine paralel olacak şekilde ayarlanır.
- 3- Odak nokta-film mesafesi 60 cm olacak şekilde ayarlanmış ise, destek yüksekliği 30 cm olduğundan, odak nokta-desen mesafesi de 30 cm olacaktır. X-ışını alanı test aleti boyutunda kolime edilir. Görüntüde elde edilecek büyütme faktörü, kullanılan desenin açısına ve nominal odak nokta boyutuna bağlıdır. Bu ilişki çizelge 3.20.'de verilmektedir. Büyütmenin doğru seçilmesi ile görüntüdeki ilk bulanıklık çapı desen çapının yarısında olacaktır, yani ilk bulanıklığın başladığı nokta desenin fiziksel boyutu tarafından kesilmeyecektir.
- 4- Anot-katot eksenini belirleyecek işaret kaset üzerine konulmalıdır.
- 5- Masa altı tüpleri için, desen kolimatöre yapılandırılmalıdır.
- 6- 75 kVp'de, maksimum mA seçeneğinin yarı değerinde ve 0,1 sn için ışınlama yapılır.

Çizelge 3.20. Nominal odak nokta boyutu, büyütme ve desen açısı arasındaki ilişki

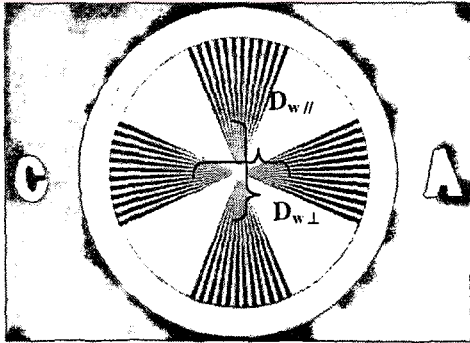
Nominal odak nokta boyutu (mm)	Büyütme	Açı
$1,0 < f < 1,5$	1,8	2,0
$0,5 < f < 1,0$	2,0	1,5
$0,4 < f < 0,8$	2,0	1,0
$0,3 < f < 0,4$	4,0	1,0
$F < 0,3$	8,0	1,0

- 7- Elde edilen radyografdan yıldız desen görüntüsünün çapı ölçülür. Eğer $M=2$ olacaksa, ölçülen boyut 45 mm'lik desen için yaklaşık 90 ± 2 mm olmalıdır.

- 8- Yıldız desen test aletinin görüntüsünün dış kenarından başlayarak, anot-katot eksenine aynı doğrultuda görüntünün merkezine doğru ilerlenir. Görüntüdeki çizgilerin ilk olarak gözden kayıp olduğu noktaların merkezden uzaklıkları her iki eksen boyunca ölçülmelidir (şekil 3.20.).
- 9- Anot-katot eksenine ve bu eksene 90 derece dik eksene ölçülen genişliklere göre odak nokta boyutu aşağıdaki gibi hesaplanır. 2 derecelik yıldız desen için odak nokta boyutu:



Şekil 3.19. Yıldız desen testi ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)



Şekil 3.20. Yukarıdaki yıldız desen görüntüsünde, anot-katot eksenine dik ve paralel yönlere görüntünün kaybolmaya başladığı kısımlar görülmektedir (Gray et al. 1983)

$$F = \frac{\text{Bulanık alan çapı}}{28,65 \left(\frac{\text{Yıldız desen görüntü çapı}}{45 \text{ mm}} - 1 \right)} \quad (3.5)$$

1.5 derecelik yıldız desen için odak nokta boyutu:

$$F = \frac{\text{Bulanık alan çapı}}{38,2 \left(\frac{\text{Yıldız desen görüntü çapı}}{45 \text{ mm}} - 1 \right)} \quad (3.6)$$

Örneğin, 1.5 derecelik yıldız desen için, bulanık bölgeler arasındaki uzaklık 15 mm ise odak nokta boyutu;

$$\frac{15 \text{ mm}}{38,2 \left(\frac{90 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} - 1 \right)} = 0,39 \text{ mm}$$

Odak nokta boyutunu veren ifadenin kullanılmasıyla, mm'de çizgi çifti olarak (çç/mm), odak noktasının ayırma gücü belirli bir yarıçap (r) için bulunur. Aşağıdaki (3.7) ifadesinden (3.8) elde edilebilir.

$$R (\text{çç/mm}) = \frac{90}{\theta} \pi r \quad (3.7)$$

$$R (\text{çç/mm}) = \frac{1}{(m-1)F} \quad (3.8)$$

Bu son ifade, bir odak noktasının boyut ve görüntüdeki büyütmede ayırma gücü arasındaki ilişkiyi vermektedir. Örneğin, bir ekran-film kombinasyonun ya da belirli bir odak nokta boyutu için maksimum büyütme faktörünün optimum seçiminde kullanılır.

10- Test büyük ve küçük odak noktaları için yapılmalıdır.

11- Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.21.).

Problem ve güçlükler:

Bulanıklık çapı ölçülürken, görüntünün dış kısmından merkeze doğru yaklaşırken karşılaşılan ilk bulanıklık dikkate alınmalıdır.

Çizelge 3.21. Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü KK çizelgesi

Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü		
Kurum:		Tarih:
Jeneratör Markası:		Oda No:
Tüp Markası:		Odak Nokta: Küçük: Büyük:
Odak film mesafesi:		Film-desen mesafesi:
Desen model no:		Desen açısı:
	Küçük odak	Büyük odak
KVp		
MA		
Işınlama zamanı (s)		
M		
$D_{(A-C)_I}$ (cm)		
$D_{(A-C)II}$ (cm)		
Odak nokta boyutu \perp		
Odak nokta boyutu $ $		
$R_{(A-C)_I}$ (çç/mm)		
$R_{(A-C)II}$ (çç/mm)		

Kabul sınırları:

NEMA nominal boyutu 0.3 mm ya da daha küçük odak nokta ölçümlerinin yıldız desen ile yapılmasını belirtmiştir. Ölçülen boyut nominal boyuttan %50 büyük olabilir. Yani, 0.3 mm olan odak nokta yıldız desen ile 0.45 mm olarak ölçülebilir.

0.3 mm'den büyük odak noktalar için ise, kabul testi amaçlı ölçümlerin ince delik kamera ile yapılması gerektiği NEMA tarafından belirtilmiştir. Bununla birlikte, bazı üretici firmalar 0.3 mm'den büyük odak noktaları için yıldız desen testini kabul etmektedir (Gray *et al.* 1983).

Düzeltilme işlemi:

Olması gereken boyuttan çok daha büyük olan odak noktalar için yapılacak bir düzeltme işlemi yoktur. Gerekli ise ölçümler tekrarlanarak testin doğruluğu görülmelidir. Eğer odak noktası kabul limitlerine göre çok farklı bir boyutta ise tüpün değiştirilmesi tavsiye edilir.

3.1.7.3. Çubuk desen aleti

Gerekli araçlar

- 1- Çubuk desen
- 2- Dış filmi ya da ekransız film (zarf içerisinde)

Ölçüm yöntemi

- 1- Odak nokta ile test aletinin en üst noktası arasındaki mesafe 45 cm olarak ayarlanmalıdır.X-ışını demeti test aleti boyunda kolime edilmelidir.
- 2- Daha sonra diş filmi ya da ekransız film (zarf içerisinde) plastik silindirin altına yerleştirilir. Diş filminin (ya da ekransız film) kullanılmasının nedeni görüntüde meydana gelebilecek bulanıklığı engellemektir.
- 3- Küçük odak nokta seçiminde, 50-60 kVp ve 3-5 mAs ışınlama parametrelerinde film ışınlanır. Işınlama büyük odak nokta için de tekrarlanmalıdır.
- 4- Desenden filme olan uzaklık 15 cm'dir. Odak noktadan desene uzaklığın 45 cm olmasına dikkat edilmelidir. Yani, odak-desen uzaklığı , desen-film uzaklığının 3 katı olmalıdır.
- 5- Banyo edilen filmdeki desen görüntüsü incelenerek ayırt edilebilen grup sayısı belirlenir (şekil 3.21.). Test için verilen çizelgede (çizelge 3.22.) bu gruba karşı gelen değer odak noktanın boyutu mevcuttur. Sonuçlar KK çizelgesine yazılmalıdır (çizelge 3.23.).



Şekil 3.21. Çubuk desen test aletinin görüntüsü

Problem ve güçlükler

Çubuk desen ile yapılan ayırma gücü testi görsel olarak değerlendirildiği için, insan gözünün ayırma gücü ve testi yapan kişiye direkt olarak bağlıdır. Bu nedenle, görüntüler incelenirken mutlaka ışıklı kutu kullanılmalı ve görüntü farklı mesafelerden incelenmelidir.

Kabul sınırları

Test için kabul sınırları çizelge 3.22.'de verilmiştir. Desen görüntüsünde her bir çizgi grubunda, yatay ve dikey 3 adet çizgi bulunmaktadır. Yatay ve

dikey çizgiler tamamen gözleniyorsa, odak noktanın ayırma gücü bu gruba karşı gelir. Eğer 2 yada 4 çizgi görünüyor ya da görüntü tamamen bulanıksa odak noktanın bu grubu çözümlenmediği kabul edilir.

Çizelge 3.22. Çubuk desen testi için kabul sınırları

Grup	çç/mm	Çap(mm) ⁿ	Nominal boyut	Gerçek boyut
1	0,6	6,67	2,0	2,60x3,64
2	0,7	5,71	2,0	2,60x3,64
3	0,85	4,71	2,0	2,60x3,64
4	1,0	4,00	2,0	2,60x3,64
5	1,15	3,48	1,8	2,34x3,28
6	1,4	2,86	1,5	1,95x2,73
7	1,7	2,35	1,3	1,50x2,18
8	2,0	2,00	1,0	1,40x1,96
9	2,5	1,60	0,8	1,12x1,57
10	2,8	1,43	0,6	0,90x1,26
11	3,35	1,19	0,5	0,75x1,05

Genel olarak küçük odak nokta küçük grupları, büyük odak nokta ise daha büyük grupları ayırabilir. Çizelge 3.22.'de ayırt edilebilen çizgi gruplarına karşı gelen odak noktalarının nominal ve gerçek boyutları yer almaktadır. Örneğin, nominal boyutu 2 mm olan bir odak nokta en fazla 4, 1,5 mm olan 6 , 1,3 mm olan 7, 1,0mm olan 8, 0,8 mm olan 9 grubu 0,6mm 10 ve 0,5 mm ve daha küçük odak noktalar ise tüm grupları ayırabilir.

Çizelge 3.23. Çubuk desen odak nokta boyut ve ayırma gücü testi KK çizelgesi

Odak Nokta Boyut ve Ayırma Gücü Testi		
Kuruluş:	Tarih:	
Kullanılan Cihaz: Çubuk Desen	Oda No:	
Jeneratör Markası:	Tüp Markası:	
Voltaj Özelliği:	Odak Nokta:	
Odak-dedektör Mesafesi:	Küçük:	Büyük:
Test aleti modeli:	Odak-desen mesafesi:	Film-desen mesafesi:
	Küçük odak	Büyük odak
KVp		
MA		
T (s)		
Büyütme Faktörü		
Grup No		
Çizgi-çifti/mm		
Odak nokta boyutu		

3.1.8. Ekran-film temas testi

Amaç:

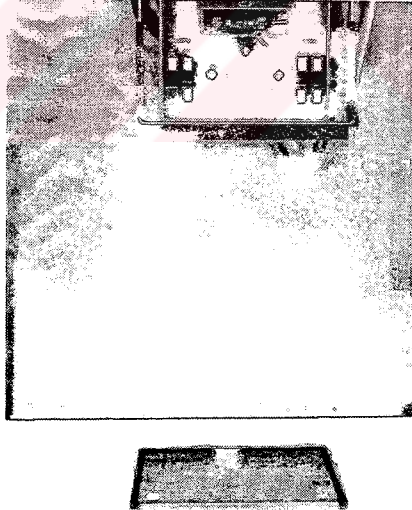
Kullanılan kasetlerdeki ekran-film temasını yeterli olup olmadığını belirlemek.

Gerekli araçlar:

- 1- Densitometre
- 2- Ekran-film teması test aleti (38x46 cm), ızgara teli görünümünde olup, teller arasındaki mesafe 3 mm'dir.

Ölçüm yöntemi:

- 1- Test aleti kaset üzerine yerleştirilir (şekil 3.22.).
- 2- X-ışını demeti kaset boyutunda kolime edilir.
- 3- Kaset kurşun harfler ve numaralar ile anot-katot eksenini belirlenir.
- 4- 70 kVp, 2 mAs ve odak nokta-masa üstü mesafesi 100 cm olacak şekilde ışınlama yapılır. banyo edilen filmde test aletinin görüntüsü elde edilir. Filmin yoğunluğunun, 1,5-2,0 optik yoğunlukta olması gereklidir.



Şekil 3.22. Ekran-film temas testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

- 5- Film ışıklı kutuda, aydınlatması çok az olan bir odada 2 metre uzaklıktan incelenmelidir. Temasın zayıf olduğu alanlar, temasın iyi olduğu alanlara göre daha karanlık görülür (şekil 3.23.).
- 6- Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.24.).

Problem ve güçlükler:

Film tutulurken ve kasete yerleştirilirken zarar görebileceğinden dikkat edilmelidir. Gerekirse eldiven kullanılmalıdır.

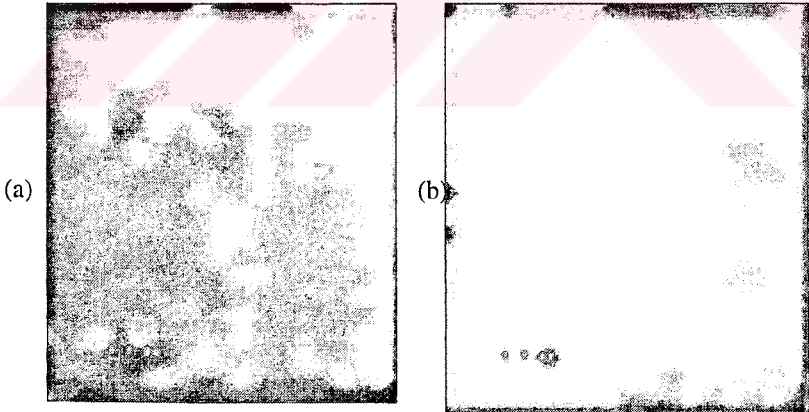
Yeni doldurulmuş bir kasetteki film-ekran teması oldukça zayıftır. Bunun nedeni, film ile ekran arasına sıkışan havadır. Bu nedenle, film kasete yerleştirildikten sonra, karanlık odada 15 dakika bekletilmelidir.

Kabul sınırları:

Temasın çok kötü olduğu alanlar için düzeltme işlemi yapılmalıdır.

Düzeltilme işlemi:

Kasetin eğilen kısımları varsa tamir edilmelidir. Kenar ve köşelerdeki temas problemi için, kasetin kapanmasını sağlayan kilit mekanizması kontrol edilmelidir. Gerekli ise ekranlar değiştirilmelidir. Tüm bu işlemler sonucunda iyi bir ekran-film teması sağlanamıyorsa kaset kullanılmamalıdır.



Şekil 3.23. Test sonucunda elde edilen (a) kabul sınırlarında olan. (b) hatalı olan görüntüler (Gray *et al.* 1983)

Çizelge 3.24. Ekran-film temas testi KK çizelgesi

Ekran-Film Temas Testi							
Kurum:				Tarih:			
Cihaz tipi:				Oda no:			
Odak-film mesafesi:				Odak nokta Küçük:..... Büyük:.....			
Işınlama şartları			Kaset no	Kaset tipi	Film tipi	Sonuç	Yorum
kVp	mA	s					

3.1.9. Ekran hızlarının homojenitesi

Amaç:

Bölümde kullanılan farklı ekran ve kaset tiplerinin, ışınlama faktörleri değiştirilmeden kullanılmasını sağlamak.

Gerekli araçlar:

Densitometre

Ölçüm yöntemi:

- 1- Tüm kaset ve ekran tipleri belirlenerek ayrılır. Kasetlerin mekaniksel olarak sağlam ve çalışır durumda olup olmadığı kontrol edilir. Aynı şekilde, ekranların kirli, eskimeden dolayı sararmış, çizik ya da yırtık olup olmadığı kontrol edilir.
- 2- Rutin olarak kullanılan bir kaset ve ekran kombinasyonu referans olarak seçilir. Bunun yanında hızları saptanacak üç adet kaset-ekran kombinasyonu seçilir.
- 3- Kasetlerin hepsine aynı kutudan film konulur. Gerekli ise film kesilebilir.
- 4- Dört kaset, köşeleri birbirine değecek şekilde masa üstüne yerleştirilir (şekil 3.24.).
- 5- Kasetler kurşun harfler ya da numaralar ile işaretlenir.
- 6- X-ışını demeti kasetlerin köşelerinin kesiştiği noktaya merkezlenir.

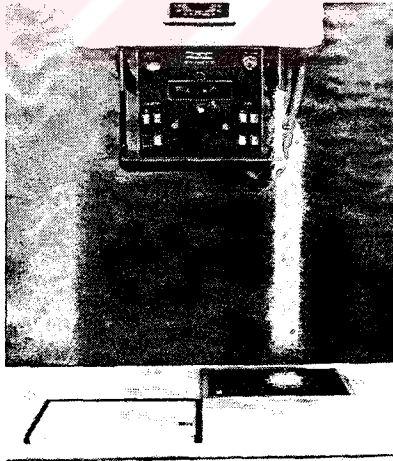
- 7- Referans olarak seçilen kasetteki filmde, banyo yapıldıktan sonra 1,0 optik yoğunluk elde edilecek şekilde ışılama yapılır (yaklaşık olarak, 70 kVp, 100 mA, 1/60 sn ne 100 cm odak nokta-masa üstü mesafesinde).
- 8- Filmlerin köşelerinin birleştiği noktaya yakın bir bölgeden filmlerin yoğunlukları ölçülerek kaydedilir. Dört film içinde ölçüm yapılan bölge, kesişme noktasına aynı uzaklıkta olmalıdır.
- 9- Ölçülen değerler KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.25.).

Problem ve güçlükler:

X-ışını filminin hızı, eskiliğine, saklama koşullarına ve diğer etkenlere göre, kutudan kutuya \pm %10 değişebilir. Bu nedenle, mutlaka aynı kutudan film kullanılmalıdır. Anot-katot eksenini boyunca, Heel etkisinden dolayı filmlerde yoğunluk farkları meydana geleceğinden, yapılan yoğunluk ölçümleri mümkün olduğu kadar kasetlerin kesiştiği noktaya yakın ve aynı uzaklıkta yapılmalıdır. Test kaset-ekran hız bilgisinin sadece bir kVp değerinde belirlenmesini sağlar. Bu nedenle, test rutin olarak kullanılan bir kVp değeri seçilmelidir.

Kabul sınırları

Referans kaset haricindeki diğer kasetlerdeki filmlerin yoğunlukları, referans kasetteki filmin yoğunluğuna göre \pm % 5 sınırları içerisinde olmalıdır.



Şekil 3.24. Ekran hızlarının homojenitesi testi ölçüm geometrisi (Gray *et al.* 1983)

Çizelge 3.25. Ekran hızlarının homojenitesi testi KK çizelgesi

Ekran hızlarının homojenitesi testi			
Kurum:		Tarih:	
Jeneratör Markası:		Oda No:	
Tüp Markası:		Odak Nokta:	Küçük: Büyük:
Kaset no	Optik yoğunluk	Yoğunluk farkı (%)	Yorum
Kaset1			
Kaset2			
Kaset3			
Kaset4			

3.1.10. Grid ayar ölçümü

Amaç:

Sistemin grid ayarının X-ışınının merkezi ile ayar içinde olup olmadığının test edilmesi.

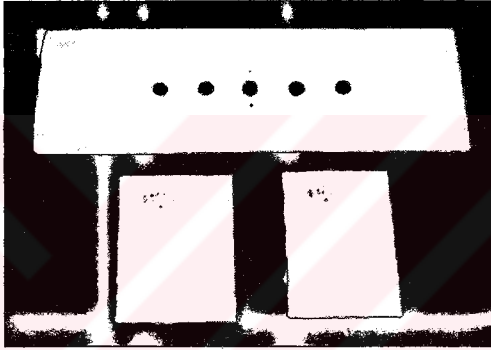
Gerekli araçlar:

- 1- Grid ayar test aleti (şekil 3.25.).
- 2- Densitometre
- 3- Kaset ve film

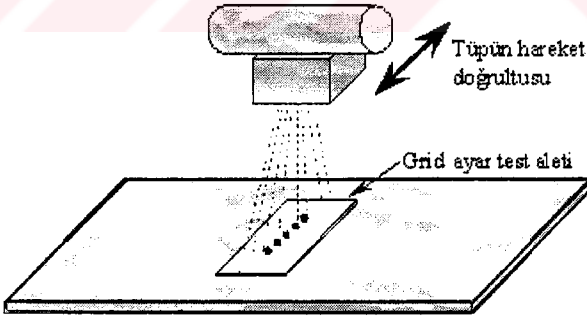
Ölçüm yöntemi:

- 1- X-ışını tüpü kullanılan gridin odak noktasına uygun mesafeye getirilmelidir. Grid test aletinin uzun eksenini tüpün uzun eksenine veya grid çizgilerine dik olacak şekilde masa üzerine konur. Işık alanı kullanılarak, grid ayar aletinin ortasındaki delik merkezlenmelidir. Üç tane ufak işaret deliği masanın ön tarafına gelmelidir (şekil 3.26.).
- 2- X-ışını alanının test aletinin eninden biraz küçük olacak şekilde kare olarak kolime edilmelidir. Merkezi ve üç işaret deliği dışındaki tüm delikler kursun plaka ile kapatılmalıdır.
- 3- Buki'ye 20x25 veya daha büyük boyuttaki kaset yerleştirilir ve yaklaşık olarak 60 kVp ve 2-4 mAs şartlarında ışınlama yapılır.
- 4- Banyo edilen filmdeki yoğunluğun 1,0 – 2,0 optik yoğunlukta olması gerekir. Gerekirse uygun yoğunluk için bakır plakalar kullanılabilir.

- 5- Işınlamalar her seferinde tüp yana (lateral) hareket ettirilerek, her bir delik için tekrarlanmalıdır. Her ışınlamada, delik merkezlenmeli ve ışılanan deliğin dışındakiler kurşun ile kapatılmalıdır.
- 6- Banyo edilen filmde delik görüntülerinde ölçülen optik yoğunluklardan maksimum değer merkezi deliğe karşılık gelende olmalıdır. Merkezi deliğinin simetrisindeki deliklerin yoğunlukları aynı ya da çok yakın değerlerde olmalıdır (şekil 3.27.). Merkezdeki deliğin yoğunluğunun maksimum olmaması (şekil 3.28.) veya yoğunluk azalmasının simetrik olmaması durumunda gride ayar yapılmalıdır.
- 7- Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.26).



Şekil 3.25. Grid ayar test aleti



Şekil 3.26. Grid ayar testi ölçüm geometrisi



Şekil 3.27. X-ışınının doğru olarak merkezlenmesi ile elde edilen görüntü. Merkezdeki deliğin maksimumyoğunluğa sahip olduğu ve diğer deliklerin yoğunluklarının simetrik olarak azaldığı görülmektedir (odak nokta-film mesafesi = 100 cm)



Şekil 3.28. Doğru olarak merkezlenme sağlanmayan görüntü. Maksimum yoğunluk merkezden sola doğru kaymıştır.

Çizelge 3.26. Grid ayar ölçümü testi KK çizelgesi

Grid ayar ölçümü testi			
Kurum:		Tarih:	
Jeneratör Markası:		Oda No:	
Tüp Markası:		Odak Nokta:	Küçük: Büyük:
Delik no	Optik yoğunluk	Yorum	
Merkez-sol 2			
Merkez-sol 1			
Merkez			
Merkez-sağ 1			
Merkez-sağ 2			

Problem ve güçlükler:

Gridin yanlış hizalanmasının bir çok nedeni olabilir. Örneğin, tüpü tutan ve grid ile birlikte yan olarak hareketi sağlayan mekanizmanın yanlış ayarlanması, grid hareketinin tekrarlanabilme doğruluğu, grid pozisyonu ve yapısı önemli faktörlerdir.

Gridin hareket edip etmediğinden tam olarak emin olmak için basit bir test yapılabilir. Bunun için gridin altına bir kaset yerleştirilerek ışınlama yapılır. Eğer, banyo edilen filmde grid çizgileri oluşuyorsa, grid hareket etmiyordur ve/veya aşağıdaki durumlar meydana gelmiş olabilir.

- 1- Eğer jeneratör masa üstü ışınlamaya ayarlanmış ise, ışınlama sırasında grid hareket etmez. Jeneratör gridli ışınlamaya ayarlanarak, grid hareketi tekrar kontrol edilmelidir.
- 2- Gridin karşılıklı hareketi bozuk ya da çalışmıyor olabilir. Bunun nedeni, ışınlama başladığı zaman gridin bir kısmının hareketinin geç başlaması olabilir.
- 3- Işınlama zamanı çok küçük olduğu zaman, gridin efektif olarak hareketi sağlanamaz. Bu durumda, aynı mAs değerini verecek şekilde süre arttırılmalı ve mA azaltılmalıdır.

Kabul sınırları

Test aletinin tam ortasındaki deliğin film üzerindeki optik yoğunluğu maksimum olmalıdır ve iki taraftaki diğer deliklerin yoğunlukları simetrik olarak azalmalıdır. Gridin yanlış hizalanmasındaki maksimum tolerans + 1,27 cm kadardır.

Düzeltilme işlemi

Test sonuçları kabul sınırları dışında olan gridler, servis mühendisi çağırılarak bakım yaptırılmalı ya da değiştirilmelidir.

3.1.11. Fazla yük kontrolü

Amaç:

X-ışını jeneratörünün fazla yük-koruma devresinin, maksimum ışınlama şartlarına, tüpün ışınlama grafiği sınırlarının % 80'ine izin verip vermediğinin belirlenmesi.

Gerekli araçlar:

Belirli bir tüp için tek ışınlama grafiği

Ölçüm yöntemi:

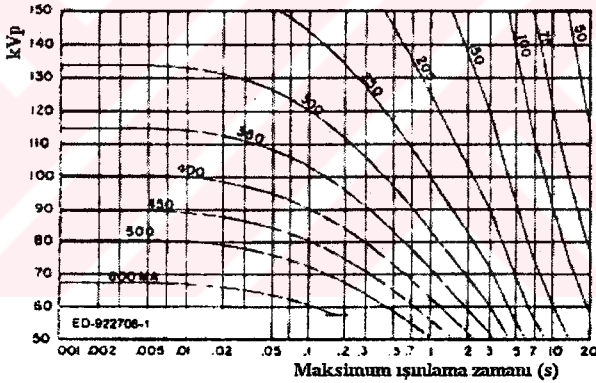
- 1- Kullanılan tüp için, ışınlama grafiğinden (şekil 3.29.) uygun odak nokta boyutu, jeneratör tipi ve anot dönme hızı seçilir. Örneğin, 0,6 mm odak nokta, 3φ-tam dalga jeneratör ve 180 Hz dönme frekansı gibi.

- 2- Jeneratör kontrollerine uygun olarak, kontrol ünitesinden ışınlama faktörleri seçilir. İlk önce 100 kVp'de küçük odak nokta ve yüksek anot dönme hızı dikkate alınmalıdır.
- 3- Işınlama grafiğinden, 100 kVp'de, ışınlama zamanının maksimum değerinin % 80'ni ayarlanabilen her mA değeri için belirlenir. Çizelge 3.27.'de bir örnek verilmiştir.

Çizelge 3.27. Işınlama zamanı ve mA değerinin belirlenmesi

mA	Işınlama zamanı (s)	Işınlama zamanının % 80'i
400	0,01	0,008
300	0,40	0,32
200	2,20	1,76

- 4- Jeneratör konsolundan, belirlenen % 80'lik ışınlama zamanı kombinasyonlarından bir tanesinde zaman ayarlanarak, fazla yük lambasının ikaz verip vermediği incelenir.



Şekil 3.29. Işınlama grafiği (Gray et al. 1983'den değiştirilerek alınmıştır)

- 5- Eğer jeneratör fazla yük ikazı vermezse, ışınlama zamanı overload ikazı verilene kadar artırılır. Bu işlem esnasında kesinlikle ışınlama yapılmamalıdır.
- 6- Eğer tüpün koruma devresi 4. Basamakta fazla yük ikazı verirse, her bir mA seçeneğinde ışınlama zamanı basamak basamak azaltılarak, fazla yük devresinin ayarlandığı ya da çalıştığı nokta belirlenir.
- 7- İşlem büyük odak nokta için uygun ışınlama grafiği kullanılarak tekrarlanır.

8- Sonuçlar KK izelgesine kaydedilir (izelge 3.28.).

Problem ve güçlükler

- 1- Eger jeneratörde mA kontrolü sürekli ise yani basamaklar şeklinde artmıyorsa, her bir odak nokta için, elde edilebilen maksimum mA değerinin $\frac{1}{2}$ ve $\frac{1}{4}$ 'nde overload devresi kontrol edilir.
- 2- Fazla yük devresi, seri ışınlamalar ile meydana gelebilecek aşırı ısınmaya karşı sistemi korumaz.

Çizelge 3.28. Fazla yük devresi kontrolü testi KK izelgesi

Fazla yük devresi kontrolü								
Kurum:					Tarih:			
Jeneratör Markası:					Oda No:			
Tp Markası:					Anot dntş hızı:			
KV _p ^{maks} :					Odak Nokta:			
mA _{maks} :					Kk:		Büyük:	
Odak nokta	KV _p	MA	Anot hızı	T _{maks}	T _{alarm}	%80 T	T / T _{maks}	

Kabul sınırları

Fazla yük koruma devresi, ışınlama grafiğinden belirlenen ışınlama faktörlerinin % 80 değerinde devreye girerek ikaz vermelidir. Bu değerlerden ± 10 'luk sapmalar da kabul sınırları içerisindedir.

Düzeltme işlemi

- 1- Sistem ışınlama grafiğindeki değerlerin çok üzerinde ikaz vermiyorsa fazla yük devresi alışmıyor demektir. Bu durumda sistem kullanılmamalı ve servis mühendisi çağırılmalıdır.
- 2- X-ışını tüpü değiştirildiği zaman fazla yük devresi yeniden kontrol edilmelidir.

3.2. Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri

3.2.1. Maksimum ışınlama hızı testi

Amaç:

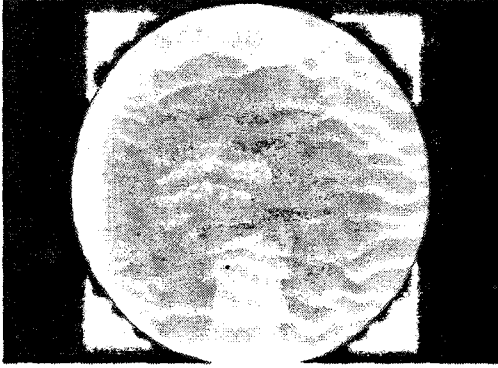
- 1- Farklı tetkiklerdeki farklı hasta kalınlıkları için, en uygun ışınlama hızının sağlanması.
- 2- Floroskopik tetkiklerdeki hasta dozunun azaltılması.

Gerekli araçlar:

- 1- İyon odası
- 2- 3,2 mm Pb plaka veya 4 mmAl + 1 mm Pb plaka
- 3- İyon odası için destek

Ölçüm yöntemi

- 1- Floroskopik X-ışın sistemi OPK (Otomatik Parlaklık Kontrolü) moduna ayarlanır.
- 2- İyon odası hassas kısmı tüpe gelecek şekilde masa üzerine yerleştirilir. Floroskopik modda ışınlama yapılarak iyon odasının tam olarak X-ışını alanı içerisinde olması sağlanır (şekil 3.30.). Işın alanı iyon odası boyutunda kolime edilmelidir (şekil 3.31.a,b,c).
- 3- Ölçümler sırasında iyon odası ışınlama hızı (rate) modunda olmalıdır.
- 4- Kurşun plaka iyon odasının üzerine yerleştirilerek ışınlama yapılır. OPK'nün tam olarak dengelenmesi için ışınlama yeteri kadar uzun tutulmalıdır. X-ışını demetinin kurşun plakada azalma uğrayarak GG'ye ulaşması gerektiği için, demetin boyutu kurşun plakanın boyutundan büyük olmamalıdır (ışınlama süresince monitörde herhangi bir ışın alanı görülmemelidir).
- 5- İyon odasından okunan ışınlama hızı KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.29.).
- 6- Manual modda mA ve kVp seçenekleri maksimuma ayarlanır.
- 7- Işınlama aynı koşullarda tekrarlanarak ışınlama hızı KK çizelgesine kaydedilir.
- 8- Masa üstü ve C-tipi sistemlerde iyon odasının hassas kısmı tüpe gelecek şekilde, masadan 30 cm yukarıya yerleştirilmelidir (gerekirse bir destek kullanılabilir). Kurşun plaka, iyon odasının tam altına gelecek şekilde masa üzerine yerleştirilir. Gerekirse bir destek kullanılmalıdır.



Şekil 3.30. MİH testinde floroskopik modda ışınlama yapılarak x-ışın demeti tam olarak iyon odası boyutunda kolime edilmelidir (Gray *et al.* 1983)

Problem ve güçlükler

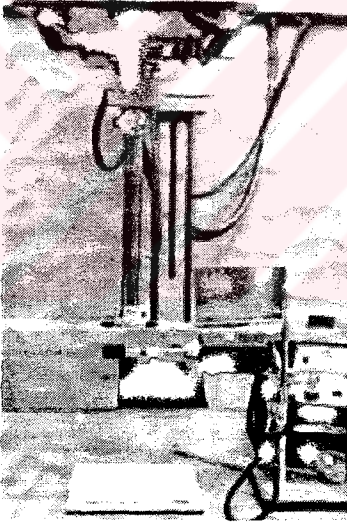
- 1- Anot açısı 12°'den küçük tüplerde iyon odasının pozisyonuna çok dikkat edilmelidir. Çünkü Hell etkisinden dolayı ışınlama hızı %30 ya da daha fazla değişebilir.
- 2- Çalışma tüpün lateral pozisyonunda tekrarlanmalıdır. Böylelikle, masa etkisi olmadan maksimum hasta dozu belirlenir.
- 3- Test GG'nin tüm görüş alanları ve ışınlama modları (manuel, otomatik puls gibi) için tekrarlanmalıdır.

Çizelge 3.29. Maksimum ışınlama hızı testi KK çizelgesi

Maksimum ışınlama hızı testi						
Kurum:			Tarih:			
Masa-GG mesafesi :			Oda No:			
Odak-GG mesafesi :			Soğurucu :mm Grid :.....			
İyon odası-GG mesafesi :			KVp aralığı :			
GG Modu	Otomatik			Manuel		
	kVp	mA	R/dak	kVp	mA	R/dak
Normal ()						
Mag1 ()						
Mag2 ()						



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.31 Maksimum ışınlama hızı ölçüm geometrisi. (a) masa altı tüplü sistemler, (b) masa üstü tüplü sistemler, (c) C-kollu sistemler için (Gray *et al.* 1983)

Kabul sınırları

Maksimum floroskopik ışınlama hızı, manuel (OPK'nün olmadığı durumda) modda 5 R/dak ($1,29 \times 10^{-3}$ C/kg.dak), otomatik ışınlama modunda ise 10 R/dak'ı geçmemelidir. Yüksek ışınlama hızı opsiyonu olan sistemlerde bu sınır 20 R/dak'dan ($5,15 \times 10^{-3}$ C/kg.dak) fazla olmamalıdır.

Düzeltilme işlemi

Ölçüm sonuçları kabul sınırları dışında ise servis mühendisi çağırılarak gerekli kalibrasyon yaptırılmalıdır. Daha sonra test aynı şartlarda tekrar edilerek ölçümlerin kabul sınırları içerisinde olup olmadığı kontrol edilmelidir.

3.2.2. Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi

Amaç

Floroskopik doz çıkış değerlerinin belirlenmesi.

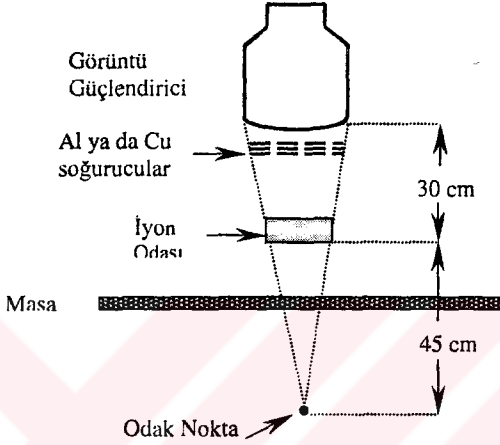
Gerekli araçlar

- 1- İyon odası
- 2- Yeterli miktarda alüminyum ve/veya bakır soğurucu

Ölçüm yöntemi

- 1- GG-odak mesafesi 75 cm'ye ayarlanır. İyon odası masanın üstüne konularak, odak nokta 45 cm uzakta pozisyonlanır (eğer masa hareketli değil ise iyon odası için bir destek kullanılmalıdır). Bu durumda, iyon odası-GG mesafesi 30 cm olmalıdır (şekil 3.32.).
- 2- Sistem OPK moduna ayarlanır ve yaklaşık 100 kVp ışınlama vermesi için yeterli miktarda alüminyum ya da bakır soğurucu (yaklaşık olarak 5 mm Al ya da 3 mm Cu) GG'nin hemen altına yerleştirilir. Floroskopik modda ışınlama yapılarak uygun soğurucu miktarı belirlenir.
- 3- Işınlama yapılarak x-ışın demeti iyon odası boyutunda kolime edilir.

- 4- Daha sonra ışınlama yapılarak, iyon odasından okunan floroskopik ışınlama hızı ile birlikte kVp ve mA değerleri KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.30.).
- 5- Floroskopik doz çıkış değeri, ölçülen ışınlama hızının tüp akımına bölünmesi ile ifade edilir ($[R/mA-dakika]$).



Şekil 3.32 Floroskopik doz çıkış değeri testi ölçüm geometrisi

Kabul sınırları

Odak noktadan 45 cm uzaklıkta, minimal olarak filtrelenmiş x-ışın demeti için (100 kVp tüp potansiyelinde) beklenen doz çıkış değerleri 2,0-3,0 R/mA-dak arasında olmalıdır.

Çizelge 3.30 Floroskopik doz çıkış değeri testi KK çizelgesi

Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi								
Kurum:				Tarih:				
Masa-GG mesafesi :				Oda No:				
Odak-GG mesafesi :				Soğurucu :mm Grid :				
İyon odası-GG mesafesi :				KVp aralığı :				
GG Modu	Otomatik				Manuel			
	kVp	mA	R/dak	(R/dak)/mA	kVp	mA	R/dak	(R/dak)/mA
Normal ()								
Mag(1) ()								
Mag(2) ()								

3.2.3. Hasta giriş doz hızı ölçümü

Amaç:

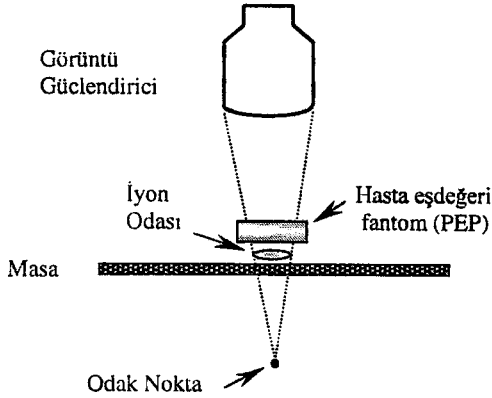
Makul olan en düşük seviyedeki ışınlama hızının belirlenmesi ve optimum görüntü kalitesinde en düşük hasta dozunu elde etmek için bu ışınlama hızı değerinin saptanması.

Gerekli araçlar

- 1- İyon odası
- 2- Farklı hasta kalınlıklarına eşdeğer fantom tipleri ve kalınlıkları aşağıda verilmiştir.
 - i. Çocuk hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 10 cm akrilik plastik, 10 cm su ya da 2,5 cm alüminyum.
 - ii. Zayıf bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 20 cm akrilik plastik, 20 cm su ya da 5 cm alüminyum.
 - iii. Şişman bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 30 cm akrilik plastik, 30 cm su ya da 7,5 cm alüminyum.

Ölçüm yöntemi:

- 1- İyon odası, fantomun pozisyonu, kVp ve mA ayarlamaları, kolimasyon kontrolleri, gerektiğinde testin aynı şartlarda tekrarlanabilmesi için dikkatli bir şekilde ayarlanmalı ve şartlar not edilmelidir.
- 2- X-ışını demeti iyon odası boyutunda kolime edilmelidir.
- 3- Gerekirse bir destek kullanılarak fantom iyon odasının üzerine yerleştirilir. Fantomun en üst noktası ile iyon odası arasındaki mesafe 15 cm olmalıdır (şekil 3.33.).
- 4- İyon odası ışınlama hızı (rate) modunda olmalıdır.
- 5- Fantom ve iyon odası tam olarak pozisyonlandıktan sonra ışınlama yapılır. İyon odasından okunan değer dengeye ulaşıncaya kadar ışınlamaya devam edilmelidir.
- 6- Işınlama hızı okunarak KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.31.). Işınlama sırasında kVp ve mA değerlerinin kaydedilmesi, standart ışınlama hızında daha sonra meydana gelecek değişikliklerin değerlendirilmesi açısından önemlidir.
- 7- Grid çıkartılarak ölçüm tekrarlanmalıdır. Aynı zamanda, ölçüm GG'nin bütün büyütme modlarında da tekrarlanmalıdır.



Şekil 3.33 Hasta giriş doz hızı testi ölçüm geometrisi

- 8- Masa üstü ya da C-tipi sistemlerde, odak-dedektör mesafesinin sabit kalmasına çok dikkat edilmelidir.

Çizelge 3.31 Hasta giriş doz hızı testi

Hasta giriş doz hızı ölçümü				
Kurum:			Tarih:	
Masa-GG mesafesi :			Oda No:	
Odak-GG mesafesi :			Soğurucu : mm	
İyon odası-GG mesafesi :			Grid :	
KVp aralığı :			OPK : (Manuel,otomatik)	
Doz hızı	GG Modu	KVp	mA	Işınlama hızı (R/dak)
	Normal ()			
	Mag(1) ()			
	Mag(2) ()			

Problem ve güçlükler

- 1- İşlemin yanlış ya da yetersiz bir şekilde yapılması, hatalı test sonuçlarına neden olur. Bu nedenle prosedür çok dikkatli ve doğru bir şekilde yapılmalıdır.
- 2- Anot açısı 12° 'den küçük olan sistemlerde, Heel etkisi nedeniyle iyon odası pozisyonuna çok dikkat edilmelidir.

Kabul sınırları

İşnlama hızı sistem yaşı, kVp, filtrasyon gibi faktörlerden etkilenir. Yeni floroskopik sistemlerde, işlem grid olmadan 20-22 cm hasta kalınlığına eşdeğer fantom ile iyon odasının masadan 35 cm yükseklikte, beklenen işnlama hızları 2-3 R/dak (15 cm modda) ve 1,5-2,5 R/dak (13 cm modda) civarındadır. İşlem grid ile yapılırsa, işnlama hızları 1,5-2 kat artacaktır (grid azalım oranına ve materyalin aralığına bağlı olarak).

Uluslar arası bazı kuruluşlarca tavsiye edilen floro esnasında hasta giriş doz hızı değerleri (çizelge 3.32.).

Çizelge 3.32 Bazı uluslar arası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen maksimum hasta giriş doz hızı değerleri

Kuruluş	Mod	Doz Hızı R/dak	Doz mGy/dak
IAEA	Normal	2,5	25
	Yüksek	10	100
HMSO	Herhangi bir mod	10	-
FDA	Normal	5	50
UK	Herhangi bir mod	10	100 ¹
AAPM	Normal	5	65

Düzeltilme işlemi

Kabul sınırları dışında kalan durumlarda, yeterli görüntü kalitesinin oluşması için gereken minimum işnlama hızı servis mühendisi tarafından ayarlanmalıdır.

3.2.4. Otomatik parlaklık kontrolü ve otomatik kazanç kontrolü

Amaç

Otomatik işnlama ve video kazanç kontrollerinin tam ve doğru olarak çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi.(Not: Tüm floroskopik sistemlerde hem işnlama hem de kazanç kontrolü olmayabilir)

¹ 50 mGy/dak değerini aşmamalıdır.

3.2.4.1. Otomatik parlaklık kontrolü

Gerekli araçlar

- 1- İyon odası
- 2- İyon odası için destek sistemi
- 3- Farklı hasta kalınlıklarına eşdeğer fantom tipleri ve kalınlıkları aşağıda verilmiştir.
 - i- Çocuk hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 10 cm plastik ya da 1,5 mm bakır.
 - ii- Zayıf bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 20 cm plastik ya da 2,5 mm bakır.
 - iii- Şişman bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 30 cm plastik ya da 3,5 mm bakır.

Ölçüm yöntemi

- 1- Hasta giriş doz hızı testindeki ölçüm geometrisi aynı şekilde kurulur. X-ışın alanı, destek yüksekliği ve iyon odasının pozisyonuna dikkat edilmelidir. Kontroller otomatik moda ayarlanmalıdır.
- 2- Işınlama başlatılarak, otomatik ışınlama sistemi dengeye gelene kadar (ekrandaki görüntü parlaklığı sabit olana kadar) ışınlamaya devam edilir. Işınlama değeri kaydedilir.
- 3- Fantom kalınlığının yarısı kaldırılarak ölçüm tekrar edilir. Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.33.).

Çizelge 3.33 Otomatik parlaklık kontrolü testi KK çizelgesi

Otomatik parlaklık kontrolü testi	
Kurum:	Tarih:
Masa-GG mesafesi :	Oda No:
Odak-GG mesafesi :	Soğurucu :mm Grid :.....
Fantom tipi ve kalınlığı	Parlaklık (kabul/red)

Problem ve güçlükler

- 1- Doğru ve kullanışlı bilgiler elde edebilmek için ölçüm geometrisi ve test prosedürüne dikkat edilmelidir.
- 2- Otomatik ışınlama kontrolü, bazı sistemlerde kVp, bazıları mA, bazılarında ise hem kVp hem de mA ile değişir. Bu nedenle, teste

başlamadan önce kullanılacak sistemin hangi otomatik ışınlama kontrollerinde çalıştığı bilinmelidir.

- 3- Farklı modeldeki otomatik ışınlama kontrollü sistemlerin test sonuçları karşılaştırılmamalıdır.

Kabul sınırları

Yarı fantom kalınlığında elde edilen ışınlama hızı, tüm fantomda elde edilen değer yarısı kadar olmalıdır.

Düzeltilme işlemi

Eğer OPK doğru olarak çalışmıyorsa servis mühendisi çağrılarak ayar yaptırılmalıdır.

3.2.4.2. Otomatik kazanç kontrolü

Gerekli araçlar

Farklı hasta kalınlıklarına eşdeğer fantom tipleri ve kalınlıkları aşağıda verilmiştir.

- i. Çocuk hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 10 cm akrilik plastik, 10 cm su ya da 2,5 cm alüminyum.
- ii. Zayıf bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 20 cm akrilik plastik, 20 cm su ya da 5 cm alüminyum.
- iii. Şişman bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer olarak; 30 cm akrilik plastik, 30 cm su ya da 7,5 cm alüminyum.

Ölçüm yöntemi

- 1- Fantom, fantom desteği ve iyon odası masanın üzerine, hasta giriş doz hızı testindeki gibi masa üzerine yerleştirilir.
- 2- Kullanılan fantom kalınlığının yarısı çıkartılır. Örneğin, zayıf bir yetişkin hasta kalınlığına eşdeğer fantom kullanılıyorsa, plastik fantomun 10 cm'lik kısmı, alüminyum fantomun ise 2,5 cm'lik kısmı çıkartılır.
- 3- Otomatik parlaklık kontrollü sistemlerde kullanılan ışınlama faktörleri ile mA, kVp ve ışınlama hızı karşılaştırılır.
- 4- İyon odasının görüntüsü kullanılarak, görüntü parlaklığı ve kalitesi dikkatlice incelenmeli, gerekirse notlar alınmalıdır.

- 5- Kullanılan fantom tipine göre 2,5 cm kalınlığında plastik tabaka ya da 2 mm alüminyum plaka eklenir.
- 6- Görüntü parlaklığı ve kalitesi dikkatlice incelenir. (Not: Görüntüdeki gürültü, video genliğinin artırılması, dolayısıyla elektronik gürültünün artmasından ve kuantum mottle'dan dolayı artacaktır.)
- 7- Eğer parlaklık değişmezse, 2,5 cm kalınlığında plastik ya da 2 mm alüminyum plaka eklenerek, görüntü parlaklığı ve kalitesi tekrar dikkatlice incelenir. Bu işleme TV'deki görüntü kararına kadar devam edilir. Eğer fantomun tüm kalınlığının kullanılmasına rağmen, parlaklık değişmediyse işlem durdurulur ve OKK sisteminin fonksiyonlarının çok iyi çalıştığı farz edilir (kabul edilir).
- 8- İşlemden kullanılan mA, kVp ve ışınlama hızı değerleri kaydedilir. Aynı zamanda, kullanılan fantom tipi ve kalınlıkları da KK çizelgesine kaydedilmelidir (çizelge 3.34.).

Çizelge 3.34 Otomatik kazanç kontrol testi KK çizelgesi

Otomatik kazanç kontrolü testi	
Kurum:	Tarih:
Masa-GG mesafesi :	Oda No:
Odak-GG mesafesi :	Soğurucu :mm Grid :.....
Fantom tipi ve kalınlığı	Parlaklık (kabul/red)

Problem ve güçlükler

- 1- Manuel kontroller ayarlanırken dikkat edilmelidir. Eğer mA, kVp ve ışınlama hızı doğru olarak ayarlanmaz ise, yanlış sonuçlar elde edilebilir.
- 2- OKK'li sistemin fonksiyonları hakkında karar vermeden önce, sistemin özellikleri ve çalışması tam olarak öğrenilmelidir. Aynı zamanda, sistemin nasıl dizayn edildiğinin öğrenilmesi de, sistemden en iyi performansın elde edilmesi açısından önemlidir.
- 3- Test nicel bir test olmasına rağmen otomatik kazanç kontrolünün çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesine olanak sağlar.

Kabul sınırları

Otomatik kazanç kontrolünün periyodik ölçümlerde benzer olarak çalışması beklenir. Aynı firmanın, aynı model ve tipteki bir başka bir sistemi ile aynı performansta çalışması beklenir.

Düzeltilme işlemi

Eğer OKK sisteminin doğru olarak çalışmadığı düşünülüyorsa, servis mühendisi çağırılarak sistem kontrol ettirilmelidir.

3.2.5. Yarı değer kalınlık testi

Amaç: Bilinen bir kV'da yarı değer kalınlığını ölçerek toplam filtrasyonu belirlemek.

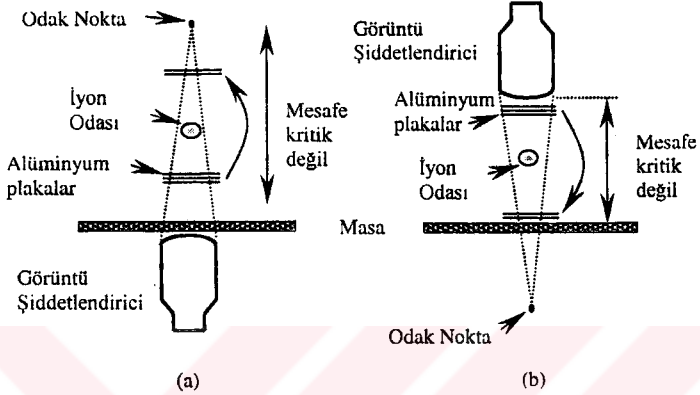
Ölçüm yöntemi-1

- 1- Sistem OPK çalışmayacak şekilde manuel moda ayarlanır.
- 2- Odak nokta-iyon odası mesafesi 100 cm olmalıdır. İyon odası bir destek ile GŞ ile odak noktasının tam ortasına yerleştirilir. İyon odasının hassas kısmı tüp tarafına gelmelidir. Floroskopi yapılarak X-ışını demeti iyon odası boyutunda kolime edilir (şekil 3.34.a).
- 3- Alüminyum plakalar (150x150x1 mm, 1100 alaşım) iyon odasının tam altına gelecek şekilde masa üzerine yerleştirilir ve tekrar floroskopi yapılarak demetin alüminyum plakalar tarafından tam olarak söğurulmesi sağlanır.
- 4- Sistem radyografik ışınlama modunda, 80 kVp'ye ayarlanır. mA ve zaman değerleri 0 mmAl kalınlığı için iyon odasında 300 mR doz okunacak şekilde ayarlanmalıdır (örneğin 200-400 mA ve zaman değeri 50 ms'den büyük olmalıdır).
- 5- Radyografik sistemlerde olduğu gibi 0 mmAl'den 5 mmAl'a kadar her 1 mmAl kalınlığı için üç ölçüm alınarak sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir.

Ölçüm yöntemi-2

- 1- Sistem OPK'nde çalışacak şekilde ayarlanır. GG ile odak nokta arasındaki mesafe maksimum yapılmalıdır. İyon odası bir destek ile GG

ile odak nokta noktanın tam ortasına yerleştirilir. İyon odasının hassas kısmı tüp tarafına gelmelidir (Tüpün masa olduğu sistemlerde iyon odası odak nokta ile masanın ortasında olmalıdır). Floroskopi yapılarak X-ışını demeti iyon odası boyutunda kolime edilir (şekil 3.34.b).



Şekil 3.34 Yarı değer kalınlık testi (a) masa üstü tüplü, (b) masa altı tüplü sistemler için ölçüm geometrisi. Görüldüğü gibi odak nokta ve GŞ arasındaki toplam alüminyum sürekli sabit kalmaktadır

- 2- Sistemin 80 kVp ışınlama verebilmesi için 4-5 mm alüminyum iyon odasının hassas olmayan tarafına, GG'nin hemen altına yerleştirilir. Gerekirse yeterli kalınlıkta bakır soğurucu yerleştirilebilir. KVp'nin ince ayarı GG-odak nokta mesafesi değiştirilerek yapılabilir (77-83 kVp aralığı uygundur).
- 3- İyon odası ışınlama hızı (exposure rate) moduna ayarlanarak ışınlama yapılır ve ışınlama hızı KK çizelgesine (çizelge 3.35.) kaydedilir. Bu değer 0 mmAl'a karşı gelen değerdir.
- 4- 1 mm kalınlığındaki ilk alüminyum plaka, GG'nin altından kaldırılarak iyon odasının altına (masa üstüne) konur ve ışınlama hızı ölçülür.
- 5- Işınlamalara her seferinde bir alüminyum plakanın, GG'nin altından alınarak iyon odasının altına konulmasıyla devam edilir. Böylece, iyon odasına gelen ışınlama her seferinde düşürülmekte, ancak demet ile GG arasındaki toplam filtrasyon sabit kalmaktadır.
- 6- HVL interpolasyon ile bulunarak literatürde verilen değerler ile karşılaştırılmalıdır.
- 7- HVL'nin maksimum kVp'de saptanması için, 2.basamakta kullanılan bakır soğurucular yerine kurşun kullanılarak sistemin maksimum kVp'de ışınlama yapması sağlanır. HVL benzer şekilde ölçülür.

Problem ve güçlükler

- 1- İyon odası tam olarak kolime edilmelidir. Kolimatör ışığı kullanılarak ya da floroskopi yapılarak alüminyum plakaların da X-ışın alanı içinde kaldığından emin olunmalıdır.
- 2- Alüminyum plakalar yer değiştirilirken ölçüm geometrisinin bozulmamasına özen gösterilmelidir.
- 3- Kullanılan alüminyum plakaların 1100 alaşım olması gereklidir.

Çizelge 3.35 Yarı değer kalınlık testi KK çizelgesi

Demet Yarı Kalınlık Testi (HVL)	
GG-odak nokta mesafesi:	
Bakır plaka kalınlığı:	
Ayarlı kVp:	
Ölçülen kVp:	
Ölçülen mA:	
mm-Al	Işınlama Hızı (mR/dak)
0	
1	
2	
3	
4	
5	

Kabul sınırları

Radyografik X-ışın sistemlerinde için verilen, çizelge 3.6. ve çizelge 3.7.'deki kabul sınırları, floroskopik X-ışın sistemleri için de geçerlidir.

Düzeltilme işlemi

Eğer sistemin HVL değeri kabul sınırları dışında kalıyorsa sisteme ek filtrasyon yapılarak toplam filtrasyon değeri artırılmalıdır.

3.2.6. Kolimasyon

Amaç:

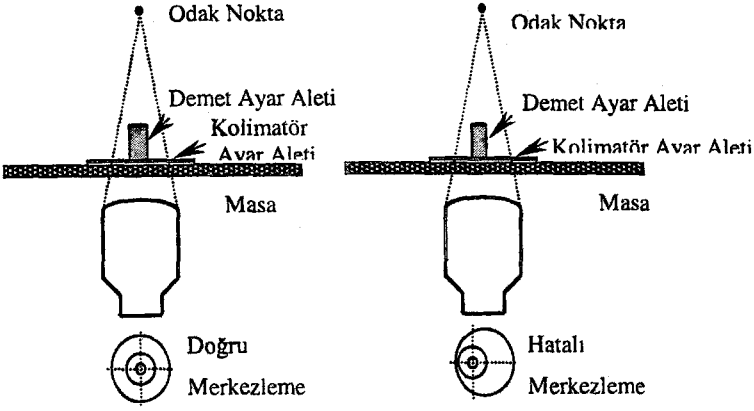
X-ışın ve ışık alanlarının uyumluluğu, merkezi ışının dikliği, X-ışını alanının merkezlenme ayarlarının test edilmesi.

Gerekli araçlar:

- 1- Kolimatör test aleti
- 2- Demet ayar aleti
- 3- Su terazisi
- 4- Alüminyum soğurucu (1,25 cm kalınlığında)
- 5- 24x30 boyutunda kaset ve film

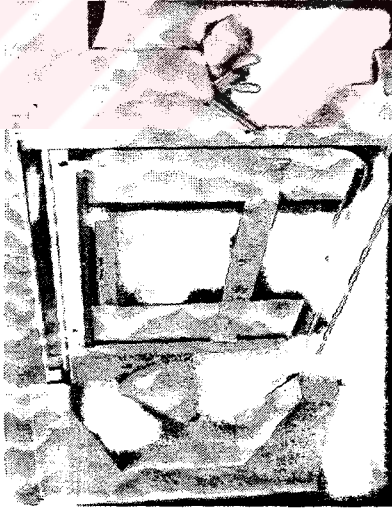
Ölçüm yöntemi

- 1- Floroskopik sistem minimum kaynak-GG mesafesine ayarlanmalıdır.
- 2- Demet ayar aleti kolimatör ayar aletinin tam merkezine gelecek şekilde masa üzerine yerleştirilmelidir (şekil 3.35.). masa altı tüplü sistemler için ölçüm geometrisi şekil 3.36.'da görülmektedir.
- 3- Su terazisi yardımıyla test aleti, GG ve X-ışın tüpünün tam olarak dikliği kontrol edilmelidir.
- 4- Alüminyum soğurucu kullanılarak sistemin 80 Kvp'de ışınlama yapması sağlanır (1,25 cm kalınlığında alüminyum soğurucu yeterlidir).
- 5- Floroskopik modda ışınlama yapılarak TV monitöründen demet ayar aletinin alt ve üst tabanındaki bilyelerin görüntüdeki yerleri, merkezi ışının dikliği incelenir ve KK çizelgesine kaydedilir.
- 6- Kolimatör deseninin cm skalası monitörden izlenerek her bir eksen için görüntü alanının kenarına olan mesafe saptanmalıdır. Eğer X-ışın alanı merkezlenmiş ise bu mesafeler eşit olmalıdır (şekil 3.37.a).
- 7- X-ışın alanının tümünün GG tarafından kesilmesi gerekir. Görüntü güçlendiricinin giriş fosforu üzerine karton kasette bir film konulup floro kolimatörleri sonuna kadar açıldıktan sonra 80 kVp , 100 mAs'de film ışınlanır. Bu işlem TV monitörü ile görsel olarak da yapılabilir (şekil 3.37.b,c).



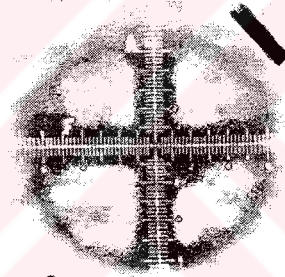
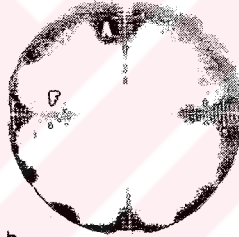
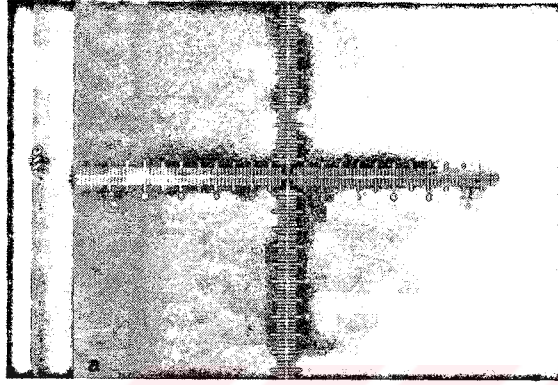
Şekil 3.35. Masa üstü tüplü sistemler için ölçüm geometrisi

8- Işınlanan film kolimatör test aletinin görüntüsünü verecektir, masa üzerindeki gerçek alan büyüklüğünün boyutu, kolimatör görüntüsünün her eksenini boyunca ki skaladan elde edilebilir. Gerçek ve görüntülenmiş alan boyutları arasındaki fark kolimasyon hatasıdır.



Şekil 3.36. Masa altı tüplü sistemler için ölçüm geometrisi (Gray et al. 1983)

- 9- Çalışma GG'nin tüm çalışma modlarında tekrarlanmalıdır. Tüm sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.36.).



Şekil 3.37. (a) Test sonucunda elde edilen florskopik görüntü alanı. Her iki eksende kenarlara olan mesafenin eşit olması gerekirken, X-ışın alanı tam olarak merkezlenmediği için anot-katot ekseninin sol tarafında meydana gelen hata görülmektedir. GG'deki görüntü alanının. (a) florskopik, (b) film görüntüsü (Gray *et al.* 1983)

Kabul sınırları

Test aletinin altındaki ve üstündeki biyeler çakışıyorsa merkezleme hatası yoktur. Eğer biyelerden biri görüntüdeki ilk çember içinde ise hata $1,5^\circ$ ikinci çember içinde kalıyorsa 3° dir. Merkezleme hatası maksimum $1,5^\circ$ 'dir. Kolimasyon hatası ise odak nokta-GG mesafesinin % 2'sinden fazla olamaz. Eğer X-ışın tüpü masada 45 cm aşağıda ve görüntü şiddetlendirici masadan 30 cm yukarıda ise, izin verilen hata bir yönde 2,26 cm'dir.

Çizelge 3.36. Demet ve kolimatör ayar testi KK çizelgesi

X-ışını alanı uygunluk, demet ayar testi							
Kurum:				Tarih:			
Kullanılan Cihaz:				Oda No:			
Jeneratör Markası:				Tüp Markası:			
Voltaj Özelliği:				Odak Nokta:			
Odak-dedektör Mesafesi:				Küçük:		Büyük:	
Kolimasyon		Demet ayarlaması		X-ışını ve Film Ayarı		Buki ayarlaması	
KVp		Sapma Açısı		Merkez Farkı		Masa-Buki (A-C) _I	
Mas							
Odak mesafesi							
OM(%)		Tolerans		Tolerans % OM		Masa-Buki (A-C) _{II}	
(A-C) _I							
(A-C) _{II}							
Maks.Sapma							

3.2.7. Yüksek ve alçak kontrast ayırma güçleri

3.2.7.1. Yüksek kontrast ayırma gücü ölçümü

Amaç

Yüksek obje kontrasttaki objelerin ayırt edilebilmeleri test edilir.

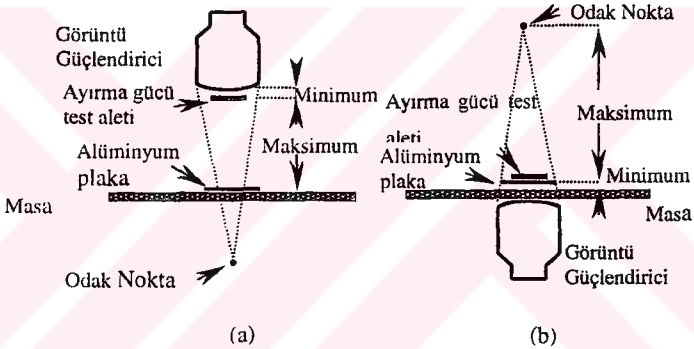
Gerekli araçlar

- 1- Yüksek kontrast ayırma gücü test deseni (0,1 mm kalınlığında, 0,6-5,0 çizgi çifti/mm aralığında yüksek kontrast deseni)
- 2- Alüminyum soğurucu (1 cm kalınlığında ya da hasta eşdeğeri fantomun yarısı kullanılabilir)

Ölçüm yöntemi

- 1- GG ile tüp arasındaki mesafe maksimuma ayarlanmalıdır.
- 2- Mümkünse grid kaldırılmalıdır. Böylelikle, ayırma gücü deseni ile grid arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkabilecek "moire etkisi" minimum olacaktır.

- 3- Test deseni tüpün masa altında olduğu sistemlerde GG'nin üzerine, masa üstünde olduğu sistemlerde masa üzerine yerleştirilir (şekil 3.38.).
- 4- Ayırma gücü sadece "raster" çizgilerine paralel yönde ölçülmelidir. Dik yöndeki ölçümlerde desen çizgileri ile TV kamera tarama çizgileri üst üste geleceğinde ölçüm zorlaşır. Diğer bir uygulama, test deseninin televizyon tarama çizgilerine 45° açı ile yerleştirilmesidir.
- 5- Otomatik kazanç kontrolünün işlevi için, masa üzerine 1 mm alüminyum kalınlığında filtre yerleştirilir.
- 6- Floro modunda mümkün olan en düşük kVp (50 kVp) ve mA'de, sadece fantom desenin gözlenebileceği şekilde kolime edilerek ışınlama yapılır.
- 7- Çalışma farklı geometrik magnifikasyon ve GG çalışma modlarında tekrar edilmelidir. Çalışma PEP fantom kullanılarak da tekrar edilebilir. Test sonuçları KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.37.).



Şekil 3.38. Yüksek kontrast ayırma gücü testi, (a) masa altı, (b) masa üstü tüplü sistemler için ölçüm geometrisi

Çizelge 3.37. Yüksek kontrast ayırma gücü testi KK çizelgesi

Yüksek Kontrast Ayırma Gücü Testi				
Fantom Tipi:				
Soğurucu:				
GG-Masa mesafesi:				
Grid:				
GG Modu	KVp	mA	Ayırt edilen kısım	çç/mm
Normal				
Mag1				
Mag2				

Kabul sınırları

Sonuçlar görüntülerin GG ve monitörden elde edilmesine göre çizelge 3.38.'deki kabul değerlerine göre irdelenebilir.

Çizelge 3.38. Kabul sınırları (Not: 50 mesh = 2 çç/mm)

Görüntü birimi	Minimum Ayırma Gücü M (Mesh-çç/inch)			
	23 cm GG modu		23 cm GG modu	
	Merkez	Kenar	Merkez	Kenar
Standart kalite GG	30 (1,25 çç/mm)	20 (0,8 çç/mm)	40 (1,6 çç/mm)	24-30 (1-1,2 çç/mm)
Yüksek kalite GG	40	30	50	30-40
Standart TV mon.	20-24	20	30-35	24-30

3.2.7.2. Alçak kontrast ayırma gücü ölçümü

Amaç

Sistem ayırma gücünün üzerindeki büyük boyuttaki ancak düşük kontrasttaki objelerin ayırma gücü ölçülür. Küçük boyutlardaki objeler için eşik kontrastı, daha büyük obje boyutlarına göre daha fazladır. Uzaysal ayırma gücünün sınırlı bir etki yaratmayacağı boyuttaki bir obje için, görüntü içerisinde tam olarak ayırt edilen yüzde kontrast ölçülecektir.

Gerekli araçlar

- 1- Alçak kontrast ayırma gücü test deseni (çapları 1,5, 3,1, 4,7, 6,3 mm olan iki seri halinde deliklerin olduğu 0.8 mm kalınlığında Al plaka, 18x18cm).
- 2- 0.15 mm kalınlığında kurşun plaka
- 3- 2 tane 2 cm kalınlığında 18x18 cm Al plaka (PEP fantom)

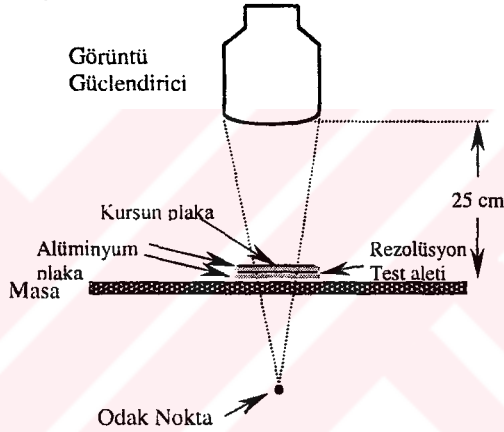
Ölçüm yöntemi

- 1- Delikli fantom iki Al ve kurşun plakanın arasına yerleştirilerek, GG-odak mesafesinin ortasına (masa üstüne) yerleştirilir. Görüntü şiddetlendiricinin masadan mesafesi 25 cm olmalıdır (şekil 3.39.).
- 2- Görüntü 85-90 KVp de fantoma kolime edilir.

- 3- TV monitörden ayırt edilen en küçük delik saptanır. Her iki alüminyum plakanın kullanılması durumunda delikler ile etrafındaki ortam arasındaki kontrast %2, tek alüminyum plaka kullanma durumunda %4'tür.
- 4- Ölçüm parametreleri ve ayırt edilen delik sayıları KK çizelgesine (çizelge 3.39.) kaydedilir.

Kabul sınırları

%2 kontrast durumunda tüm sistemlerde en büyük 2 delik net, 3.1 mm çapındaki delik ise sınırda görülebilmelidir. Daha iyi sistemlerde daha küçük deliklerde ayırt edilebilir.



Şekil 3.39. Alçak kontrast ayırma gücü ayırma gücü testi ölçüm geometrisi

Çizelge 3.39. Alçak kontrast ayırma gücü ayırma gücü testi KK çizelgesi

Alçak Kontrast Rezölüsyon Testi			
Fantom :		GG-masa mesafesi	
Soğurucu :		GG giriş doz değeri	
GG modu	kVp	mA	Ayırt edilen delik çapı
Normal			
Mag 1			
Mag 2			

3.2.8. Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızı ölçümü

Amaç:

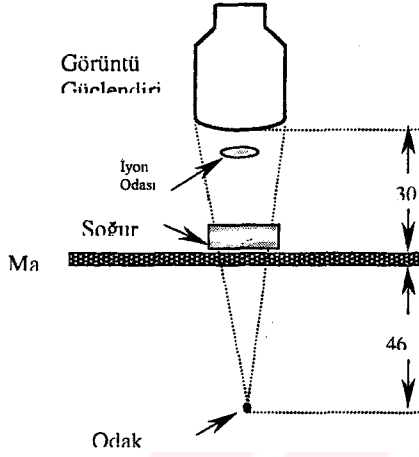
GGGFIH (Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızı)'nın belirlenmesi.

Gerekli Araçlar

- 1- İnce ve yassı tipte iyon odası (1,0 mR/dak. kadar alçak doz hızlarını ölçülebilmelidir)
- 2- Sistemin 80 kVp'de sürekli ışınlama yapmasını sağlayacak soğurucu olarak 2,5 mm bakır (OPK ile farklı kVp'lerde doz ölçümü yapılacaksa 10 cm x 10 cm x 0,5 mm kalınlığında 10 adet bakır plaka uygundur)

Ölçüm yöntemi

- 1- İyon odası mümkün olduğu kadar GG yüzeyine yakın olmalı, aksi takdirde okumalar ters kare kanununa göre düzeltilmelidir. İyon odasının ışınlama hızı modu seçilmelidir. Soğurucu, tüp kolimatörünün üzerine yerleştirilmelidir.
- 2- Grid kaldırılmalıdır. Gridin kaldırılmadığı durumlarda sonuçlar gridin soğurmasına karşı düzeltilmelidir (Bu faktörün belirlenmesi gerekir, tipik değerler 1,3-1,8 arasındadır).
- 3- GG maksimum yüksekliğe kaldırılmalıdır (şekil 3.40.).
- 4- X-ışın alanı GG'nin aktif sahasına ayarlanmalıdır.
- 5- Ölçümler genelde 80 ± 5 kVp'de yapılmalıdır. Otomatik ışınlama kontrollü sistemlerde voltaj değeri 2,5 mm bakır soğurucu kullanılarak mA ve darbe genişliği ile ayarlanmaya çalışılmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda istenilen kVp değerinin kurulması soğurucu kalınlığının artırılıp azaltılması ile gerçekleştirilir.
- 6- GG'nin fosfor ışınlama hızları $\mu\text{R/sn}$ (veya mR/dakika) olarak floroskopik modda ölçülmelidir. Sayısal anjiyografi ya da sine sistemlerde ölçümler ayrıca bu modlarda tekrarlanmalı ve $\mu\text{R/frame}$ olarak belirtilmelidir.
- 7- Test GG'nin tüm görüş alanları için tekrarlamalıdır. Sonuçlar KK çizelgesine kaydedilir (çizelge 3.40.).



Şekil 3.40. GGGFIH testi ölçüm geometrisi

Çizelge 3.40. GGGFIH testi KK çizelgesi

GG giriş fosfor ışınlama hızı (GGGFIH)						
Kurum:			Tarih:			
Masa-GG mesafesi :			Oda No:			
Odak-GG mesafesi :			Soğurucu :mm			
İyon odası-GG mesafesi :			Grid :			
KVp aralığı :			OPK : (Manuel,otomatik)			
Doz hızı	GG Modu	KVp	mA	mR/dak	μ R/frame	Karşılaştırma
	Normal ()					
	Mag(1) ()					
	Mag(2) ()					
	Normal ()					
	Mag(1) ()					
	Mag(2) ()					

Kabul sınırları

GGGFHI için kabul sınırları çizelge 3.41.'de verilmektedir (Anonymous 1991).

Cizelge 3.41. Görüntü güçlendirici giriş fosfor ışınlama hızları için kabul sınırları

Görüntüleme birimi	GG Modu	Sınır Değerleri	Işınlama Modu
Floroskopi μR/frame	23 cm	8-20	-
	15 cm	15-40	-
Puls tipi ¹ μR/sn	23 cm	25-50	Normal mod
		50-100	Yüksek ışınlama modu
	15 cm	60-100	Normal mod
		120-180	Yüksek ışınlama modu

3.3. Film Banyosu Kalite Kontrol Testleri

3.3.1. Karanlık oda ışık kaçağı testi

Amaç

Karanlık odada güvenlik lambası ya da diğer ışık kaynakları nedeniyle meydana gelebilecek ışık kaçaklarının belirlenmesi.

Gerekli araçlar

- 1- Sensitometre
- 2- Densitometre
- 3- X-ışın filmi (rutin olarak kullanılan ve açılmamış bir kutudan film kullanılmalıdır)
- 4- Işık geçirmeyen kağıt (plastik v.b. opak maddeler de kullanılabilir)

¹ AAPM (No.70) 23 cm görüş alanı. sürekli floroskopi ya da 30 puls/sn puls tipi floroskopi için. standart ya da orta doz modlarında bu değer 75-100 μR/sn olarak önerilmektedir. GG giriş fosforundaki doz değerleri, görüş alanı ve puls hızı ile aşağıdaki gibi değişir;

$$GGGFH \propto (1 / \text{Görüş alanı}) \text{ ya da } \propto (1/\text{Giriş alan çapı})$$

Eğer sistemde “standart”, “orta” gibi doz hızı ayarları floroskopik ışınlamalar için varsa, bu kontroller başlangıçtaki GGGFIH değerini yarıya indirir ya da iki kat artırır. Eğer sistemde floroskopik puls hızı değiştirilebiliyorsa (her radyasyon pulsü için sabit bir ışınlama değeri olmak üzere);

$$GGGFH \propto \text{puls hızı}$$

Bazı sistemlerde puls hızı artırıldıkça, floroskopi boyunca her puls için ışınlama artırılır (görüntü seviyesini 30 puls/sn ye göre düşük puls hızlarında sabit tutmak için). Bu durumda;

$$GGGFH \propto 1 / (\text{puls hızı})^{1/2}$$

Ölçüm yöntemi

- 1- Karanlık oda ışık kaçağı testi yapılmadan önce, karanlık odadaki tüm ışıklar kapatılmalı ve gözün karanlığa adaptasyonu için yeteri kadar beklenmelidir (yaklaşık 5-15 dakika).
- 2- Bu esnada ışık kaynakları haricinde ölçüm aletleri, banyo sistemi ya da saat gibi cihazların da indikatör ya da gösterge lambalarının kapalı olmasına dikkat edilmelidir.
- 3- Göz adaptasyonu tamamen sağlandıktan sonra odada ışık kaçağı olup olmadığı görsel olarak incelenir. Özellikle kapı kısımlarına dikkat edilmelidir. Işık kaçağı tespit edilmesi durumunda, ışık kaçağına neden olan faktörler engellenmeli ve aynı işlemler tekrarlanmalıdır.
- 4- Eğer ışık kaçağı tespit edilmemişse daha önce açılmamış bir kutusundan bir adet film alınır ve sensitometre ile iki kenarı da ışınlanır. Eğer filmin iki yüzü de hassas ise (çift emülsiyonlu), aynı yüzün iki farklı kenarı ışınlanmalıdır.
- 5- Daha sonra bir kenar ışık geçirmeyen kağıt ya da bir nesne ile kapatılır ve diğer kenar olası ışık kaçaklarına maruz bırakılır. Olası ışık kaçaklarının filme etmesi için 2 dakika bu şekilde beklenir.
- 6- Banyo edilen filmlerde her iki kenardaki görüntülerde aynı numaralı basamakların optik yoğunluklarının ölçülerek KK çizelgesine işlenir (çizelge 3.42.).

Problem ve güçlükler

Test yapılamadan önce mutlaka gözün karanlık adaptasyonu sağlanmalıdır. Zira, göz adaptasyonu sağlanmadan test yapıldığında, belirlenemeyen ışık kaçakları nedeniyle filmin açıkta kalan kısmındaki yoğunluk çok fazla olacaktır.

Karanlık odada kullanılan güvenlik lambasının teste başlamadan önce kontrol edilmesi gereklidir. Zira, etrafına kırmızı kağıt v.b. cisimler sarılan lambalar test sonuçlarının kabul sınırları dışında çıkmasına neden olacaktır.

Kabul sınırları

Açık ve kapalı kenarlardaki aynı numaralı basamakların optik yoğunluk farkları birbirinden en fazla + 0,02 OY kadar farklı olmalıdır. Odanın ışık kaçağının daha fazla olması durumunda ışığa maruz bırakılan kısımda optik yoğunluklar daha fazla ölçülecektir.

Çizelge 3.42. Karanlık oda ışık kaçağı testi KK çizelgesi

Karanlık Oda Işık Kaçağı Testi			
Kurum		Kullanılan Film	
Basamak numarası	OY (Kapalı kenar)	OY (Açık kenar)	Yoğunluk farkı
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Düzeltilme işlemi

Karanlık odanın ışık kaçağının kabul sınırları dışında olması durumunda gerekli önlemler alınarak odanın ışık kaçakları ortadan kaldırılmalıdır.

3.3.2. Film banyosu günlük kalite kontrol testi

Amaç

Diagnostik radyolojide filmin görüntü kalitesine direkt olarak etki eden banyo parametrelerinin (1.banyo sıcaklığı, düzensiz tazeleme gibi) günlük olarak kontrol edilmesi ve bu parametrelerde meydana gelebilecek ani değişikliklerin görüntü kalitesi ve tekrar çalışmalarına etkisini engellemek.

Gerekli araçlar

1- Sensitometre

- 2- Densitometre
- 3- Hassas termometre (0,1 °C bölmeli)
- 4- X-ışın filmi

Ölçüm yöntemi

- 1- Günlük kalite kontrol testi yapılırken film ve banyo sisteminin üretici firması tarafından tavsiye edilen banyo şartlarına (kimyasal tazeleme miktarları, banyo sıcaklıkları ve süresi gibi) dikkat edilmelidir.
- 2- Banyo şartları sağlandıktan sonra, karanlık odada rutin olarak kullanılan filmin iki kenarı da sensitometre ile ışınlanır. Eğer film çift emülsiyonlu ise, filmin farklı yüzlerdeki kenarları ışınlanmalıdır. 30 dakika beklendikten sonra film banyo edilir.
- 3- Densitometrenin 'sıfır' ayarı yapılarak filmdeki basamak şeklindeki görüntüde T+S seviyesi, OY ve yüksek optik yoğunlukların elde edileceği basamaklara ait yoğunluklar okunur (0,25, 1.0 ve 2.0 değerlerine yakın okumalar tercih edilmelidir). Örneğin, YF'nın değişimini veren $D_{min} + 0,25$ ile $D_{min} + 2,0$ değerlerine karşı gelen 9 ve 13 numaralı basamaklar ile OY değeri olan $D_{min} + 1,0$ değerini verecek 10 numaralı basamak seçilebilir. Aynı zamanda D_{min} , yani T+S değerleri de 1.basamaktan ölçülebilir.
- 4- Çalışma gün içerisinde sabah, öğle ve öğleden sonra olmak üzere üç kez tekrarlanmalıdır ve okunan değerler banyo KK çizelgelerine işlenmelidir.
- 5- Çalışma sırasında her filmin banyosundan önce termometre ile 1.banyo sıcaklığı ölçülerek not edilmelidir. Ölçümde kesinlikle cıvalı termometre kullanılmamalıdır.

Problem ve güçlükler

- 1- Banyo sıcaklığı ölçülürken her seferinde developer tankının aynı bölgesinden ölçüm yapılmalıdır.
- 2- Test yalnızca sensitometre kullanılarak yapılmalıdır. Alüminyum basamağın ışınlanması ile elde edilecek basamak görüntüsü banyo günlük kalite kontrol testi için uygun değildir. Çünkü X-ışın jeneratörünün tüp çıkış tekrarlanabilirliği yeterli olmayacaktır.
- 3- Kullanılan filmin her seferinde aynı tip ve boyutlarda olmasına dikkat edilmelidir. Testin başlangıcında yeni bir kutu film açılmalı, film kutusunun saklama koşullarına dikkat edilerek test boyunca aynı film kullanılmalıdır. Eğer kullanılacak film buzdolabı gibi soğutucularda

saklanıyorsa, kullanılmadan 24 saat önce karanlık odada bulundurularak, sıcaklık ve nem şartlarının dengelenmesi sağlanır.

Kabul sınırları

Kabul sınırları OY ve YF için $\pm 0,10$, T+S için $\pm 0,05$ 'dir. 1.banyo sıcaklık değişimi için ise kabul sınırı $\pm 0,1$ °C'dir.

Düzeltilme işlemi

Ölçüm sonuçlarının kabul sınırları dışında elde edilmesi durumunda aşağıdaki banyo parametreleri kontrol edilmelidir.

- Developer (1.banyo) sıcaklığı
- Kimyasal tazeleme oranları
- Su akış miktarı ve sıcaklığı
- Solüsyonların dolaşımı
- Filtreler
- Filmelerin 1. ve 2.banyo arasındaki geçiş hızı

Bu parametrelerdeki ani değişim ve hatalı değerler mümkünse düzeltilmeli, aksi takdirde üretici firma ile görüşülmelidir. Örneğin, banyo işlem süresi ayarlanarak ölçümler kontrol edilebilir.

3.4. İyon Odası Kalibrasyonu

3.4.1. Kalibrasyon şartları

Ölçümler havada ve saçılmanın minimum olacağı bir ortamda yapılmalı ve kalibrasyon faktörleri hava kerması özelliklerini içermelidir. Hava kerma oranı diagnostik radyolojide kullanılan tipik değerlerde olmalıdır. X-ışın tüpü tungsten hedef maddeli olmalıdır. Bununla birlikte mamografi için kullanılacak dozimetrelerin kalibrasyonunda, molibdenyum hedef maddeli tüp kullanılabilir.

Çizelge 3.43.'de standart demet için HVL değerleri ve tavsiye edilen faktörler verilmektedir. Bu değerler için jeneratörün voltaj dalgalanma (ripple) yüzdesi %10'dan fazla olmamalıdır ve HVL için gerekli değerleri ayarlamak için tüp voltajında ayarlama yapılması gerekebilir.

Çizelge 3.43. Kalibrasyon işlemi için tavsiye edilen ışınlama faktörleri

KV	HVL	Ek Filtre
26	0,35	0,4
34	0,54	0,52
44	0,9	0,75
50	1,2	1
75	2,1	1,6
90	3,3	2,5

3.4.2. Kalibrasyon yöntemi

Genel olarak standart ölçüm aletlerinin kalibrasyonları çizelge 3.43.'de tavsiye edilen değerlerde yapılır. Bu nedenle, kalibrasyonu yapılacak iyon odası için kalibrasyon şartları standart dozimetrenin kalibrasyon şartları ile aynı olmalıdır (Robertson, J. *et al.* 1992).

Ölçümler hava ortamında ve mümkün olduğu kadar az saçılma olacak şekilde yapılmalıdır. Eğer ek filtrasyon kullanılacaksa, filtreleme işlemi mümkün olduğu kadar tüp çıkışına yakın yapılmalıdır. İyon odasının odak noktaya uzaklığı 60 cm olacak şekilde ayarlanmalıdır. Eşzamanlı olarak yapılan kalibrasyon işleminde, genelde standart iyon odası ile kalibrasyonu yapılan iyon odasının boyutları ve şekilleri aynı ya da birbirine yakın olmalıdır. Sıralı olarak yapılan kalibrasyon işleminde ise, tüp çıkışında meydana gelebilecek değişiklikleri engellemek için üçüncü bir iyon odası kullanılmalıdır. Kullanılacak bu iyon odasına "Kalibrasyon dedektörü" (monitoring chamber) denir ve tüpün hemen çıkışında yer alır.

İyon odaları kalibrasyon işlemine başlamadan önce, sıcaklık dengesinin sağlanması için ölçüm yapılacak odada yeteri kadar bekletilmelidir. Eğer iyon odalarından biri 1 atmosfer basınçta göre ayarlanmış ise, basınç ve sıcaklık düzeltmelerinin yapılması gereklidir. Düzeltilecek sıcaklık $T(^{\circ}\text{C})$, basınç $P(\text{kPa})$ ve referans sıcaklık T_R ve basınç 101,325 kPa olmak üzere aşağıdaki düzeltme faktörü (3.9) ölçüm ile çarpılır (Robertson, J. *et al.* 1992).

$$\frac{(T + 273,15)}{(T_R + 273,15)} \frac{101,325}{P} \quad (3.9)$$

Radyolojide ölçüm amaçlı kullanılan iyon odaları, performanslarına bağlı olarak yılda bir kez kalibre edilmelidir.

3.4.3. Eşzamanlı kalibrasyon metodu

Standart iyon odası ile kalibrasyonu yapılacak iyon odasının merkezleri, demet merkezi eksenini ile eşit uzaklıkta olacak şekilde tüpün altına yerleştirilir. İyon odaları saçılmadan etkilenmeyecek (ya da saçılma olmayacak) kadar birbirinden ayrılmalıdır. Bununla birlikte, ölçüm sonuçlarının demet homojenitesindeki bozulmadan etkilenmemesi için mesafe çok fazla olmamalıdır. İyon odaları yerleştirilirken, demetin merkezi eksenindeki hava kerması oranı ile iyon odalarının herhangi bir bölgesindeki hava kerması oranı arasında %5'den fazla fark olmamasına dikkat edilmelidir. Kalibrasyon işlemi aşağıda belirtildiği şekilde tamamlanır.

- 1- Öncelikle sistemin HVL'si belirlenir. Eğer belirli bir HVL değeri isteniyorsa, tüp voltajı ya da filtrasyon ayarlanarak istenilen HVL değeri elde edilebilir.
- 2- İyon odaları yukarıda belirtildiği gibi pozisyonlanarak üç kez sırayla ölçüm alınır. Eğer gerekli ise sıcaklık ve basınç düzeltmeleri yapılır. Sırasıyla S_1, S_2 ve S_3 standart iyon odasından, C_1, C_2 ve C_3 'de kalibrasyonu yapılacak iyon odasından okunan değerler olmak üzere;
 $R_1 = 1/3 (S_1/C_1 + S_2/C_2 + S_3/C_3)$ değeri hesaplanır.
 $S_1/C_1, S_2/C_2, S_3/C_3$ değerleri için maksimum hata payı $\pm \% 2$ 'dir.
- 3- İyon odalarının yerleri değiştirilerek aynı işlem tekrarlanır. Sırasıyla S_4, S_5 ve S_6 standart iyon odasından, C_4, C_5 ve C_6 'de kalibrasyonu yapılan iyon odasından okunan değerler olmak üzere;
 $R_2 = 1/3 (S_4/C_4 + S_5/C_5 + S_6/C_6)$ değeri hesaplanır.
Aynı şekilde, $S_4/C_4, S_5/C_5, S_6/C_6$ değerleri için maksimum hata payı $\pm \% 2$ 'dir. R_1 ve R_2 değerleri arasındaki farklılık $\pm \% 10$ 'dan fazla olmamalıdır.
- 4- Kalibrasyon faktörü N_C aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$N_C = N_S \sqrt{R_1 R_2} \quad (3.10)$$

Burada N_S standart iyon odasının kalibrasyon faktörüdür. Eğer standart dozimetrenin kalibrasyonundaki HVL ile kalibrasyon işlemi esnasında kullanılan X-ışın demetinin HVL'si farklı ise, N_S 'i elde etmek için interpolasyon yapılır.

3.4.4. Sıralı kalibrasyon metodu

Bu kez standart iyon odası ile kalibrasyonu yapılacak iyon odasının merkezleri ile X-ışın demeti merkezi eksenü üst üste gelecek şekilde ölçüm geometrisi ayarlanmalıdır. Yani standart iyon odası ve kalibrasyonu yapılan iyon odası aynı yere, sırayla yerleştirilerek ölçüm alınır. Bir kalibrasyon dedektörü tüpün hemen çıkışına yerleştirilir (bazı sistemlerde kolimatör içinde olabilir). Kalibrasyon dedektörünün kullanılmasının amacı, tüp çıkışındaki değişiklikler nedeni ile ölçümlerde meydana gelebilecek farklılıkları ortadan kaldırmaktır. X-ışın alanı iyon odası boyutunda kolime edilmelidir. Demetin merkezi eksenindeki hava kerması oranı ile iyon odalarının herhangi bir bölgesindeki hava kerması oranı arasında %5'den fazla fark olmamalıdır. Kalibrasyon işlemi aşağıda belirtildiği şekilde tamamlanır.

- 1- Kalibrasyon dedektörü tüp çıkışına en yakın pozisyona yerleştirilir.
- 2- HVL değeri belirlenir.
- 3- Standart iyon odası yukarıda belirtildiği gibi pozisyonlanarak, üç kez ışınlama yapılır. Sırasıyla K_1^S , K_2^S , K_3^S kalibrasyon dedektöründen, S_1 , S_2 , S_3 standart iyon odasından okunan değerlerdir. Buna göre, S_1/K_1^S , S_2/K_2^S , S_3/K_3^S değerleri arasındaki fark $\pm \% 2$ 'den fazla olmamalıdır.
- 4- Standart iyon odası kaldırılarak, kalibrasyonu yapılacak iyon odası merkezleri aynı olacak şekilde yerleştirilir. Aynı şekilde 3'er kez ölçüm alınır. Yine sırasıyla, K_1^C , K_2^C , K_3^C kalibrasyon dedektöründen, C_1 , C_2 , C_3 standart iyon odasından okunan değerler olmak üzere, C_1/K_1^C , C_2/K_2^C , C_3/K_3^C değerleri arasındaki fark $\pm \% 2$ 'den fazla olmamalıdır.
- 5- Kalibrasyon faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_C = N_S \left(\frac{S_1/M_1^S + S_2/M_2^S + S_3/M_3^S}{C_1/M_1^C + C_2/M_2^C + C_3/M_3^C} \right) \quad (3.11)$$

N_S standart iyon odasının kalibrasyon faktörüdür. Aynı şekilde, standart dozimetrenin kalibrasyonundaki HVL ile kalibrasyon işlemi esnasında kullanılan X-ışın demetinin HVL'si farklı ise, N_S 'i elde etmek için interpolasyon yapılır.

Bu metotlar dışında hangi metotla kalibrasyon yapılırsa yapılsın, elde edilen kalibrasyon faktörünün standart dedektöre göre $\pm \% 10$ 'dan farklı olmaması gereklidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İbn-i Sina Hastanesi Radyodiagnostik Bölümünde bulunan Radyografik ve floroskopik X-ışın sistemleri, karanlık oda ve bu odalardaki otomatik banyo sistemleri ile Başkent Üniversitesi Hastanesi Radyoloji Bölümündeki floroskopik x-ışın sistemlerinin kalite kontrol uygulamalarının sonuçları yer almaktadır.

Öncelikle, ölçümü yapılacak her bir parametre için standart KK çizelgeleri hazırlanmıştır. Bu çizelgelerde, testin yapıldığı kurum, tarih gibi genel bilgilerin yanında jeneratör markası, voltaj özellikleri gibi kullanılan sisteme ait bilgiler yer almaktadır. Testler sonucunda elde edilen bulguların bu çizelgelere kaydedilmesi ise, meydana gelebilecek karışıklık ve hataları engellemekle birlikte daha sonra yapılacak testlerde sisteme ait bilgiler vermesi yönünden de önemlidir.

İbn-i Sina Hastanesi Radyodiagnostik Bölümünde, toplam dört adet jeneratör ve bunlara bağlı yedi adet tüpün tüm kalite kontrol testleri yapılmıştır. Örnek olabilmesi için, hataların saptandığı bir tüpe ait sonuçlar (Oda No-6, Tüp-1) verilmiştir. Yine aynı kurumda bulunan bir adet floroskopik x-ışın sistemi ile Başkent Hastanesi Radyoloji Bölümünde bulunana iki adet floroskopik x-ışın sisteminin kalite kontrol testleri yapılmıştır. Aynı şekilde bir sisteme ait test bulguları çizelgeler halinde verilmiştir.

Bununla birlikte, İbn-i Sina Hastanesi Radyodiagnostik Bölümünde yapılan çalışmaların başlangıcında karanlık oda ışık kaçağı testi yapılmıştır. Çalışmalar süresince de otomatik banyo sistemlerinin rutin kalite kontrol testleri yapılmıştır.

Tüp doz çıkışlarının, sistemlerin performanslarının belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. Dolayısıyla, ölçümlerin doğru ve güvenilir olması gerekmektedir. Bu nedenle, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezindeki SSDL'de "İkinci Derece Standart Dozimetre Laboratuvarı", çalışmalar sırasında doz ve voltaj ölçümünde kullanılan iyon odalarının kalibrasyonları yapılmıştır.

4.1. Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri Bulguları

Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testinde, aynı geometri ve ışınlama şartlarında (80 kVp, 100 mA, 0,1 s), birbiri ardına alınan üç ışınlamanın verdiği doz değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Işınlamanın doğrusallığı testinde ise, mA ve ışınlama sürelerinin aynı mAs değerini veren farklı kombinasyonlarında elde edilen doz değerleri karşılaştırılmaktadır (çizelge 4.1.).Tüp doz çıkışı testinde , tüpten 100 cm uzaklıktaki doz okumaları, her ışınlama parametresinin değişen değerleri için ölçülmüştür. Buna göre, 80 kVp 200 mA'de farklı ışınlama zamanlarındaki doz değerleri, 80 KVp, 0,1 s'de farklı mA'lerde doz değerleri ve 200 mA, 0,1 s'de farklı kVp'lerdeki dozlar ölçülmüştür (çizelge 4.2.). Ölçüm değerlerine göre, t(sn)-mR, mA-mR ve kV²-mR grafikleri çizilerek tüp çıkışının karakteristiği gözlenmiştir (şekil 4.1.).

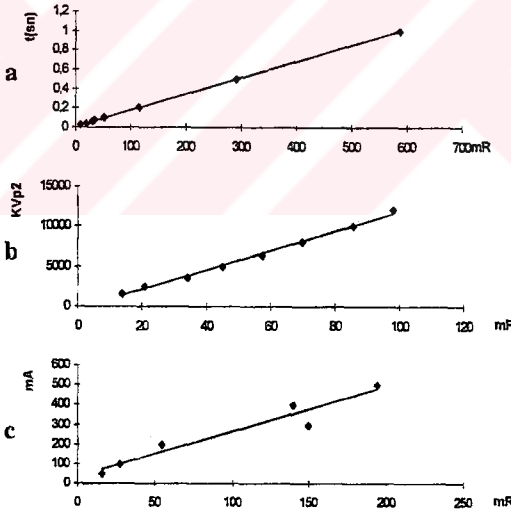
Yarı değer kalınlık testinde, X-ışını demet şiddetini yarıya düşüren kalınlık (HVL), mm-Al cinsinden saptanmıştır. 80 kVp'de sırasıyla, 1, 2, 3, 4, 5 mm kalınlığındaki alüminyum plakalar demet önüne yerleştirilip, doz değeri her kalınlık için ve ayrıca hiç bir kalınlık olmadan ölçülmüştür (çizelge 4.3.). Bu değerlere göre çizilen mR-mmAl grafiğinden HVL değeri belirlenmiştir (şekil 4.2.).

Çizelge 4.1. Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusallığı testi sonuçları

Işınlamanın Tekrarlanabilme ve Doğrusallığı Testi						
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi				Tarih: 15.04.1999		
Kullanılan Cihaz: İyon odası				Oda No: 6		
Jeneratör Markası: Picker				Tüp Markası: Picker		
Voltaj Özelliği: tek faz, tam dalga doğrultma				Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm				Küçük: 1,0		Büyük: 2,0
KVp	60			80		
mA	100	200	400	100	200	400
s	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1
mAs	40	40	40	40	40	40
mR1	50	50	59	97	88	105
mR2	52	52	59	92	89	108
mR3	50	53	58	95	88	106
mR _{ort}	50,7	51,7	58,7	94,7	88,3	106,3
(mR/mAs)	1,25	1,30	1,48	2,38	2,20	2,65
(mR/mAs) _{maks}	1,30	1,33	1,48	2,43	2,23	2,70
(mR/mAs) _{min}	1,25	1,25	1,45	2,30	2,20	2,63
(mR/mAs) _{ort}	1,27	1,29	1,47	2,37	2,21	2,66
%T	1,97	2,90	0,85	2,64	0,57	1,41
%L	7,5			9,3		

Çizelge 4.2. Tüp çıkışı testi sonuçları

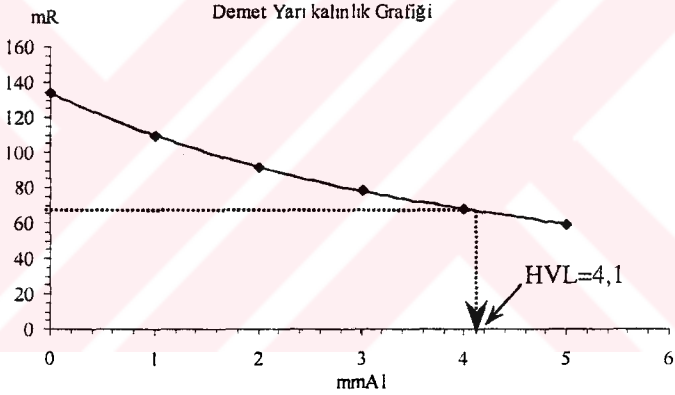
Tüp Çıkışı Testi											
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi						Tarih: 14.04.1999					
Kullanılan Cihaz: İyon odası						Oda No: 6					
Jeneratör Markası: Picker						Tüp Markası: Picker					
Voltaj Özelliği: Tek faz, tam dalga doğrultma						Odak Nokta: Küçük: 1,0 Büyük: 2,0					
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm											
Genel Tüp Çıkışı: 80 kVp, 200 mA, 0,1 sn mR: 56 ₁ 56 ₂ 56 ₃ mR _{ort} : 56											
kp-mR 200 mA 0,1 sn				mA-mR 80 kVp 0,1 sn				s-mR 80 kVp 200 mA			
kV	mR	mR	mR _{ort}	mA	mR	mR	mR _{ort}	s	mR	mR	mR
40	15	13	14	50	16	16	16	0,02	10	8	9
50	21	21	21	100	29	27	28	0,04	21	19	20
60	34	34	34	200	55	55	55	0,06	31	32	31,5
70	45	45	45	300	151	149	150	0,08	33	35	34
80	57	58	57,5	400	140	140	140	0,1	53	51	52
90	70	70	70	500	194	194	194	0,2	118	116	117
100	86	85	85,5					0,5	291	289	290
110	99	97	98					1,0	578	597	587,5



Şekil 4.1. Tüp çıkışı testinin, (a) t (sn)-mR, (b) kVp^2 -mR ve (c) mA-mR grafikleri .

Çizelge 4.3. Demet yarı kalınlık değeri testi sonuçları

Demet Yarı Kalınlık Değeri						
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi				Tarih: 15.04.1999		
Kullanılan Cihaz: İyon odası				Oda No: 6		
Jeneratör Markası: Picker				Tüp Markası: Picker		
Voltaj Özelliği: Tek faz,tam dalga doğrultma				Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm				Küçük:1,0 Büyük: 2,0		
KV _p : 80, mA : 200, T: 0.1 s						
	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
mR ₁	57	40	32	27	22	19
mR ₂	55	42	32	27	22	19
mR ₃	55	41	32	28	22	19
mR _{ort}	55,7	41	32	27,3	22	19
mR _{ort} /mAs	2,8	2,1	1,6	1,4	1,1	1,0



Şekil 4.2. Yarı değer kalınlığının grafik ile belirlenmesi

Işınlama zamanı testinde hem döner tabla yöntemi hem de elektronik zaman ölçer kullanılmıştır. Elektronik zaman ölçer ile yapılan ölçümlerde, jeneratörde ayarlanan ışınlama süreleri 0,1-1,0 s arasındadır. Sonuçlar tekrarlanma ve doğruluk olarak değerlendirilmiştir (çizelge 4.4.). Döner tabla yönteminde ise, ışınlama sonucu elde edilen filmdeki görüntüler (şekil 4.3.) sistemin tek faz (yarım veya tam dalga doğrultmalı) ya da üç faz olmasına göre değerlendirilmiştir (çizelge 4.5.).

Çizelge 4.4. Elektronik zaman ölçer ile ışınlama zamanının ölçülmesi test sonuçları

Işınlama Zamanı Testi								
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi					Tarih: 15.04.1999			
Kullanılan Cihaz: Elektronik zaman ölçer					Oda No: 6			
Jeneratör Markası: Picker					Tüp Markası: Picker			
Voltaj Özelliği: Tek faz tam dalga doğrultma					Odak Nokta:			
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm					Küçük: 1,0 Büyük: 2,0			
Kurulan	Ölçülen Zaman				Tekrarlanma			Doğruluk
	t_1	t_2	t_3	t_{ort}	t_1/t_{ort}	t_2/t_{ort}	t_3/t_{ort}	
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	%0
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	1	1	%0
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1	1	1	%0
0,4	0,39	0,39	0,39	0,39	1	1	1	-%2,5
0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	1	1	1	-%4,0
0,7	0,68	0,68	0,68	0,68	1	1	1	-%2,9
1,0	0,98	0,98	0,98	0,98	1	1	1	-%2,0



Şekil 4.3. Işınlama zamanı testinde elde edilen döner tabla görüntüsü

Çizelge 4.5. Döner tabla yöntemi ile ışınlama zamanının ölçülmesi test sonuçları

Işınlama Zamanı Testi (Döner Tabla Yöntemi)				
Kurum : İbn-i Sina Hastanesi			Oda No:6 (Tüp-1)	
Cihaz Tipi : Döner tabla			Tarih:14.04.1999	
Jeneratör Markası : Picker			Tüp Markası : Picker	
Voltaj özelliği : Tek faz , tam dalga			Odak Nokta	
kVp: 60 mA: 200			Küçük:1,0 Büyük:2,0	
Kurulan zaman	Tek faz sistem		Üç faz sistem	
	Filmdeki çizgi sayısı	Ölçülen zaman	Filmdeki yay değeri	Ölçülen zaman
0,1	10	0,1	36°	0,1
0,2	20	0,2	72°	0,2
0,3	30	0,3	108°	0,3
0,4	40	0,4	144°	0,4
0,5	50	0,5	180°	0,5
1,0	100	1,0	360°	1,0

KVp testi, tüpe uygulanan yüksek voltajın ölçülmesinde bir çok yöntem olup, KVp test kasetleri ve elektronik sistemler gibi basit yöntemler dışında, KV'nin jeneratörden ölçülmesini gerçekleştiren voltaj bölücülerinin kullanıldığı daha ileri teknikler vardır. Burada, tüpe uygulanan KVp değerleri elektronik KVp metre (çizelge 4.6.) ve test kaseti ile (çizelge 4.7.) ölçülmüştür. Ayrıca, KV'nin, farklı tüp akımlarındaki davranışı da saptanmıştır.

Çizelge 4.6. Elektronik KVp ölçer ile KVp testi sonuçları

KVp Testi						
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi				Tarih: 16.04.1999		
Kullanılan Cihaz: Elektronik KVp Metre				Oda No: 6		
Jeneratör Markası: Picker				Tüp Markası: Picker		
Voltaj Özelliği: Tek faz, tam dalga doğrultma				Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm				Küçük: 1,0 Büyük: 2,0		
Klinik Uygulamalardaki Değişik KVp Değerleri						
MA	500	400	300	200	50	50
T(sn)	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3
Odak	B	B	B	B	K	K
Odak-Cihaz	45 cm	45 cm	45 cm	90 cm	90 cm	90 cm
Kurulan KVp	50	60	70	80	90	100
Ölçülen Kvp	69,9	75,7	72,2	88,2	95,3	109,4
KVp-mA İlişkisi						
Kurulan KVp	60		60		60	
Ölçülen Kvp	76,5		66,1		71,9	
MA	500		300		200	
T(sn)	0,5		1,0		2,0	

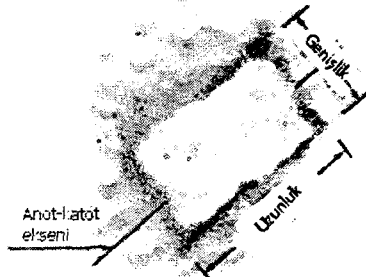
Çizelge 4.7. Test kaseti ile KVp testi sonuçları

KVp'nin test kaseti ile ölçülmesi						
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi			Tarih: 20.04.1999		Oda no: 6	
Cihaz tipi: Test kaseti			Odak nokta		Küçük: 1,0 Büyük: 2,0	
Odak-film mesafesi: 90 cm			Test kaseti modeli:			
Kurulan KVp	Basamak no	Komşu basamak yoğunluğu (K)	Referans basamak yoğunluğu R(A),R(B)	R(AB)	Uyuşan basamak	Ölçülen KVp
60	5	K(A)=1,10	R(A)=1,05	1,05	5,7	62
	6	K(B)=1,03	R(B)=1,05			
70	8	K(A)=1,26	R(A)=1,24	1,24	8,3	71
	9	K(B)=1,20	R(B)=1,24			
80	3	K(A)=1,01	R(A)=0,96	0,97	3,6	79
	4	K(B)=0,95	R(B)=0,98			

Odak noktasının hem boyutlarının (İnce delik kamerası) hem de ayırma gücünün (yıldız ve çubuk desen) ölçüldüğü testler yapılmıştır. Yine ayırma gücü ölçümünde kullanılan çubuk desen testi alternatif yöntem olarak gerçekleştirilmiştir. İnce delik kamerası ile yapılan test sonucunda elde edilen odak noktasının büyütülmüş görüntüsü şekil 4.4.'de, test sonuçları ise çizelge 4.8.'de verilmiştir. Aynı şekilde, yıldız desen ve çubuk desen ile yapılan test sonucunda elde edilen görüntüler sırasıyla, şekil 4.5. ve şekil 4.6'da, test sonuçları ise çizelge 4.9. ve çizelge 4.10'da yer almaktadır.

Çizelge 4.8. İnce delik kamerası ile odak nokta ölçümü test sonuçları

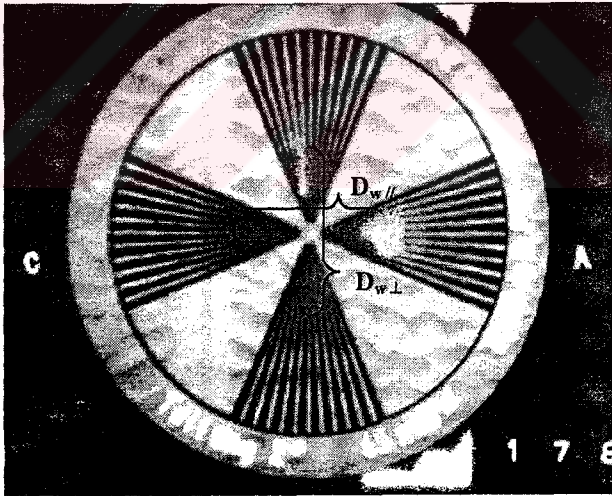
Kurum : İbn-i Sina Hastanesi		Oda no : 6
Cihaz tipi : Radyografik		Tarih : 20.04.1999
Tüp Markası : Picker		Jeneratör : Picker
Kullanılan film : Diş filmi		Voltaj özelliği : 1φ
KVp(maks): 120 kVp	mA(maks): 600 mA	Odak nokta:
Odak- ince delik mesafesi :	30 cm	Küçük: 1,0 cm
İnce delik-film mesafesi :	60 cm	Büyük: 2,0 cm
	Küçük odak	Büyük odak
KVp	85	85
MA	300	300
T(s)	0,1	0,1
Delik	0,075 mm	0,075 mm
Yoğunluk	1,2 OY	1,15 OY
(ölçülen mesafe/1,27)-1	2	2
Fen	1,05 cm	20,2 cm
Fboy	1,4 cm	2,8 cm
Fen/M	0,5	1,01
Fboy/M	0,7	1,4
Fboy*0,7	0,98 cm	1,96 cm
FenxFboy	1,05*0,98	20,2*1,96



Şekil 4.4. İnce delik kamerası testi sonucunda elde edilen odak noktasının büyütülmüş görüntüsü

Çizelge 4.9. Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü test sonuçları

Yıldız desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü ölçümü		
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi	Tarih: 20.04.1999	
Jeneratör Markası: Picker	Oda No: 6	
Tüp Markası: Picker	Odak Nokta: Küçük: 1,0	Büyük: 2,0
Odak film mesafesi: 60 cm	Film-desen mesafesi: 30 cm	
Desen model no: Wisconsin 07-510	Desen açısı: 2°	
	Küçük odak	Büyük odak
KVp	75	75
mA	300	300
Işınlama zamanı (s)	0,1	0,1
M	2	2
$D_{(A-C)I}$ (cm)	3,2	6,5
$D_{(A-C)II}$ (cm)	3,4	6,7
Odak nokta boyutu I	0,84 cm	1,7 cm
Odak nokta boyutu II	0,9 cm	1,75 cm
$R_{(A-C)I}$ (çç/mm)	1,19	0,58
$R_{(A-C)II}$ (çç/mm)	1,11	0,57



Şekil 4.5. Yıldız desen testinde elde edilen desen görüntüsü

Çizelge 4.10. Çubuk desen ile odak nokta boyut ve ayırma gücü test sonuçları

Odak Nokta Boyut ve Ayırma gücü Testi			
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi		Tarih: 09.04.1999	
Kullanılan Cihaz: Bar Desen		Oda No: 6	
Jeneratör Markası: Picker		Tüp Markası: Picker	
Voltaj Özelliği: Tek faz, tam dalga doğrultma		Odak Nokta:	
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm		Küçük: 1,0 Büyük: 2,0	
Model:	Odak-desen mesafesi:	Film-desen mesafesi:	Büyütme faktörü:
	Küçük odak	Büyük odak	
KVp	55	50	
MA	50	300	
T (s)	0,05	0,01	
Büyütme Faktörü	3	3	
Grup No	8	5	
Çizgi-çifti/mm	2,0	1,15	
Odak nokta boyutu	1,40x1,96	2,34x3,28	

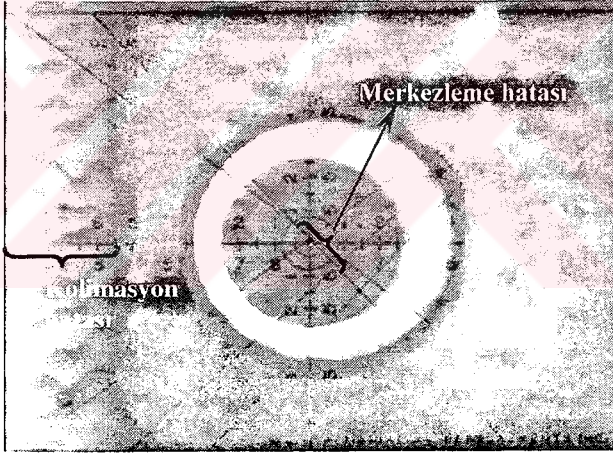


Şekil 4.6. Çubuk desen testinde elde edilen görüntü

X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testinde testinde, x-ışın demetindeki kolimasyon hataları, merkezleme hataları ve demet geometrisi tüm tüpler için demet ayar ve kolimatör aletleri kullanılarak test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen görüntü şekil 4.7.'de, test sonuçları ise çizelge 4.11'de yer almaktadır.

Çizelge 4.11. X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi sonuçları

X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi					
Kuruluş: İbn-i Sina Hastanesi			Tarih: 09.04.1999		
Kullanılan Cihaz: Demet ayar aleti			Oda No: 6		
Jeneratör Markası: Picker			Tüp Markası: Picker		
Voltaj Özelliği: Tek faz, tam dalga			Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm			Küçük: 1.0 Büyük: 2.0		
Kolimasyon		Demet ayarlaması		X-ışını- Film Ayarı	
KVp	60	Sapma Açısı	0,5°	Merkez Farkı	2,3
Mas	2				
Odak mesafesi	100 cm				
OM(%)	%2	Tolerans	1,5°	Tolerans % OM	%2
(A-C) _L	2,5 cm				
(A-C) _M	4 cm				
Maks.Sapma	2 cm				



Şekil 4.7. X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi sonucunda elde edilen yukarıdaki görüntüde kolimasyon ve merkezeleme hataları görülmektedir

Ekran film temas testinde, bölümde bulunan toplam 110 adet kasetin ekran-film temas testleri yapılmıştır. Örnek olarak, bir adet kasete ait test sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir (çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. Ekran-film temas testi sonuçları

Ekran-film temas testi							
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi				Tarih: 15.04.1999			
Cihaz tipi: Ekran-film temas testi aleti				Oda no: 6			
Odak-film mesafesi: 100 cm				Odak nokta Küçük: 1,0 Büyük: 2,0			
Işınlama şartları			Kaset no	Kaset tipi	Film tipi	Sonuç	Yorum
KVp	mA	T(s)					
70	200	0,1	1	X-omatic	Mavi	Hata yok	Uygun
70	200	0,1	2	X-omatic	Mavi	Hata yok	Uygun
70	200	0,1	3	X-omatic	Mavi	Hata yok	Uygun
70	200	0,1	4	Lanex	Mavi	Hata yok	Uygun
70	200	0,1	5	Lanex	Mavi	Hata yok	Uygun

Ekran hızlarının homojenitesi testinde, bölümde bulunan iki farklı kaset ve dört farklı ekran tipindeki kasetlerin testleri yapılmıştır (çizelge 4.13.).

Çizelge 4.13. Ekran hızlarının homojenitesi testi sonuçlar

Ekran hızlarının homojenitesi testi			
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi		Tarih: 12.04.1999	
Jenaratör Markası: Picker		Oda No: 6	
Tüp Markası: Picker		Odak Nokta: Küçük: 1,0 Büyük: 2,0	
Kaset no	Optik yoğunluk	Yoğunluk farkı (%)	Yorum
Kaset1	1,02	%2	Uygun
Kaset2	0,01	%1	Uygun
Kaset3	1,00	%0	Uygun
Kaset4	1,03	%3	Uygun

Grid ayar ölçümü, grid ayar test aleti kullanılarak yapılmış ve test sonuçları çizelge 4.14.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Grid ayar ölçümü test sonuçları

Grid ayar ölçümü testi		
Kurum: İbn-i Sina Hastanesi		Tarih: 16.04.1999
Jenaratör Markası: Picker		Oda No: 6
Tüp Markası: Picker		Odak Nokta: Küçük: 1,0 Büyük: 2,0
Delik no	Optik yoğunluk	Yorum
Merkez-sol 2	0,68	Uygun
Merkez-sol 1	1,13	Uygun
Merkez	1,52	Uygun
Merkez-sağ 1	1,17	Uygun
Merkez-sağ 2	0,70	Uygun

4.2. Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri Bulguları

Maksimum ışınlama hızı testinde, 3,2 mm kurşun soğurucu kullanılarak (Anonymous 2001), ışınlama hızının maksimum değeri ile birlikte, ışınlama parametreleri de belirlenmiştir (çizelge 4.15.). Çalışma tüm GG modlarında tekrarlanmıştır. Kullanılan sistemlerde OPK olmaması ve floroskopik ışınlama modunda manuel ayarlama yapılamaması nedeniyle, sonuçlar yalnızca otomatik ışınlama şartlarında verilmiştir.

Çizelge 4.15. Maksimum ışınlama hızı testi sonuçları

Maksimum ışınlama hızı testi						
Kurum: Başkent Hastanesi				Tarih: 04.10.2000		
Masa-GG mesafesi : 10				Oda No: 1		
Odak-GG mesafesi : 105				Soğurucu :3,2 mm Pb Grid :var		
İyon odası-GG mesafesi : 90 cm				KVp aralığı : 40-120 kV		
GG Modu	Otomatik			Manuel		
	kVp	mA	R/dak	kVp	mA	R/dak
Normal	109	4,1	0,3	-	-	-
Mag(1)	112	4,1	0,6	-	-	-
Mag(2)	113	4,3	1,0	-	-	-

Hasta giriş doz hızı ölçümleri, literatürde verilen farklı hasta tipi ve kalınlıklarına karşı gelen fantomlar (Anonymous 2001) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. çalışma GG'nin tüm modlarında tekrarlanmıştır (çizelge 4.16.).

Çizelge 4.16. Hasta giriş doz hızı ölçümü

Hasta giriş doz hızı ölçümü			
Kurum: Başkent Hastanesi		Tarih: 04.10.2000	
Masa-GG mesafesi : 10		Oda No: 1	
Odak-GG mesafesi : 105		Soğurucu : 2,5 mm Al	
İyon odası-GG mesafesi : 90 cm		Grid : var	
KVp aralığı : 40-120		OPK : otomatik	
GG Modu	KVp	mA	İşnlama hızı (R/dak)
Normal	72	1,2	0,9
Mag(1)	78	1,5	1,2
Mag(2)	84	2	1,4

Hasta giriş doz dızı ölçümüne benzer olarak ve aynı fontomlar kullanılarak floroskopik doz çıkış değerleri belirlenmiştir (çizelge 4.17.).

Çizelge 4.17. Floroskopik doz çıkış değeri test sonuçları

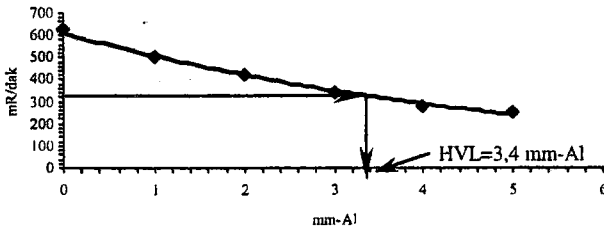
Floroskopik doz çıkış değerinin ölçülmesi								
Kurum: Başkent Hastanesi					Tarih: 04.10.2000			
Masa-GG mesafesi : 10					Oda No: 1			
Odak-GG mesafesi : 105					Soğurucu :mm Grid			
İyon odası-GG mesafesi :					KVp aralığı : 40-120			
GG Modu	Otomatik				Manuel			
	kVp	mA	R/dak	(R/dak)/mA	kVp	mA	R/dak	(R/dak)/mA
Normal	75	1,2	0,03	0,025	-	-	-	-
Mag(1)	78,5	1,5	0,06	0,04	-	-	-	-
Mag(2)	85	1,9	0,10	0,052	-	-	-	-

Otomatik parlaklık kontrolü testi yine literatürde belirtilen fantom tipleri (Anonymous 2001) kullanılarak tüm sistemler için gerçekleştirilmiş ve bir sisteme ait test sonuçları aşağıda verilmiştir (çizelge 4.18.). Aynı sistemlerde otomatik kazanç kontrolü olmadığı için bu teste ait sonuçlar verilmemektedir.

Çizelge 4.18. Otomatik parlaklık kontrolü testi sonuçları

Otomatik parlaklık kontrolü testi	
Kurum: Başkent Hastanesi	Tarih: 04.10.2000
Masa-GG mesafesi : 10 cm	Oda No: 1
Odak-GG mesafesi : 115 cm	Soğurucu : - Grid : var
Fantom tipi ve kalınlığı	Parlaklık (kabul/red)
2,5 cm alüminyum	Kabul
2,5 cm alüminyum	Kabul

HVL grafiği



Şekil 4.8. HVL değerinin grafik ile bulunması

Radyografik sistemlere benzer olarak, floroskopik sistemlerin HVL değerleri belirlenmiş ve test sonuçları çizelge 4.19.'da verilmiştir. HVL değerinin grafik ile bulunması da şekil 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Demet yarı kalınlık testi sonuçları

Demet yarı kalınlık testi	
Kuruluş: Başkent Hastanesi	Tarih: 04.10.2000
GG-odak nokta mesafesi: 100 cm	Soğurucu kalınlığı: 4 mm Al
Ayarlanan kVp:	75
Ölçülen kVp:	77,2
Ölçülen mA:	1,5
mm-Al	Işınlama Hızı (mR/dak)
0	630
1	500
2	420
3	340
4	280
5	250

X-ışını alanı uygunluk testinde, x-ışın demetindeki kolimasyon, merkezleme hataları floroskopik modda ışınlama yapılarak ve tv monitörü ile görüntüler incelenerek belirlenmiştir (çizelge 4.20.).

Çizelge 4.20. X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi sonuçları

X-ışını alanı uygunluk ve demet ayar testi					
Kuruluş: Başkent Hastanesi			Tarih: 04.10.2000		
Kullanılan Cihaz: Demet ayar aleti			Oda No: 1		
Jeneratör Markası: Siemens-Siregraph CF			Tüp Markası: Siemens		
			Odak Nokta:		
Odak-dedektör Mesafesi: 100 cm			Küçük: 1,0	Büyük: 2,0	
Kolimasyon		Demet ayarlaması		X-ışını- Film Ayarı	
KVp	75	Sapma Açısı	0,5°	Merkez Farkı	0
mA	1,6				
Odak mesafesi	100 cm				
OM(%)	%2	Tolerans	1,5°	Tolerans % OM	%2
(A-C) ₁	0 cm				
(A-C) _{II}	0 cm				
Maks.Sapma	2 cm				

Yüksek kontrast ayırma gücü, GG'nin tüm modalarında test edilmiş ve sonuçlar çizelge 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Yüksek kontrast ayırma gücü testi sonuçları

Yüksek kontrast ayırma gücü testi			
Kurum: Başkent Hastanesi		Tarih: 04.10.2000	
Fantom Tipi:		Yüksek kontrast ayırma gücü test aleti	
Soğurucu:		1 cm alüminyum	
GG-Masa mesafesi:		10 cm	GG-odak mesafesi: 115 cm
Grid:		Var	
GG Modu	KVp	mA	Ayrt edilen kısım (çç/mm)
Normal	76	1,3	20
Mag1	82	1,8	24
Mag2	90	2,3	35

Aynı şekilde alçak kontrast ayırma gücü ölçümleri, tüm GG modlarında yapılmıştır (çizelge 4.22.).

Çizelge 4.22. Alçak kontrast ayırma gücü testi sonuçları

Alçak kontrast ayırma gücü testi			
Kurum: Başkent Hastanesi		Tarih: 04.10.2000	
Fantom : Alçak kontrast ayırma gücü test aleti		GG-odak mesafesi: 115 cm	
Soğurucu : 1 cm Al		GG giriş doz değeri: 0,03 R/dak	
GG modu	kVp	mA	Ayrt edilen delik çapı
Normal	78	1,4	2 delik net
Mag 1	84	1,9	3 delik net
Mag 2	92	2,5	3 net – 4 bulanık

GGGFIH, literatürde belirtilen soğurucu kalınlıkları (Anonymous 2001) kullanılarak GG'nin tüm modlarında ölçülmüştür (çizelge 4.23.).

Çizelge 4.23. GGGFIH test sonuçları

GG giriş fosfor ışınlama hızı (GGGFIH)			
Kurum: Başkent Hastanesi		Tarih: 04.10.2000	
Masa-GG mesafesi : 10 cm		Oda No: 1	
Odak-GG mesafesi : 115 cm		Soğurucu : 1 cm Al	
İyon odası-GG mesafesi : masa üstünde		Grid : var	
KVp aralığı : 40-120		OPK : otomatik	
GG Modu	KVp	mA	Işınlama hızı (R/dak)
Normal	74	1,2	0,03
Mag(1)	79	1,5	0,06
Mag(2)	86	2	0,10

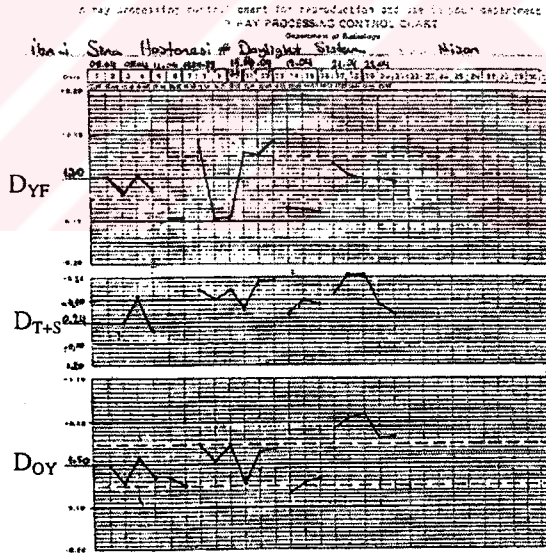
4.3. Film Banyosu Kalite Kontrol Testleri Bulguları

Çalışmaların başlangıcında karanlık oda ışık kaçağı testi yapılarak muhtemel ışık kaçakları belirlenmiştir (çizelge 4.24.).

Çizelge 4.24. Karanlık oda ışık kaçağı testi sonuçları

Basamak Numarası	Işığa kapalı taraf (OY)	Işığa açık taraf (OY)
1	0,25	0,33
8	0,51	0,89
11	1,44	1,94

Daha sonra, günlük banyo kalite kontrol testi için gün içerisinde üç kez ışık sensitometresi ile aynı tip filmler ışınlanarak ölçümler alınmıştır. Filmlerin OY değerleri densitometre ile okunmuş ve D_{T+S} , D_{OY} , D_{YF} değerleri saptanarak kalite kontrol çizelgesine işlenmiştir (şekil 4.9.). Ayrıca, developer sıcaklığı her sefer ölçülmüştür. Muhtemel banyo problemlerinin görüntülere olan etkisinin anlaşılabilmesi için bu kontroller her çalışma gününde üç ayrı sefer gerçekleştirilmiştir.



4.4. İyon Odası Kalibrasyonu Bulguları

Victoreen firması tarafından üretilen, Rad-Check ve Nero-6000 iyon odalarının, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Bölümü, İkinci Derece Standart Dozimetre Laboratuvarında (SSDL), NE Technology Farmer iyon odası ile belirlenen standart değerlere göre, rölatif kalibrasyonları yapılmıştır.

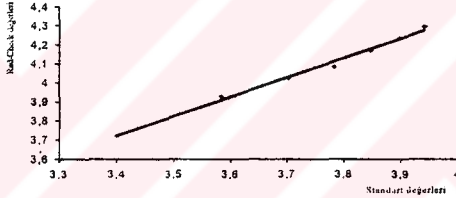
Yapılan kalibrasyon çalışmasının ilk aşamasında, kalibre edilecek iyon odasının, kalibrasyona uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla, tek bir ek filtre kullanarak standart iyon odasının verdiği okumalarla, kalibre edilecek iyon odasının verdiği okumalar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken, ışınlama süresinin tam olarak ayarlanamaması ve sistemden kaynaklanan gerilim oynaması gibi hataların ortadan kaldırılması için, “Kalibrasyon Dedektörü” kullanılmıştır. Kalibrasyon dedektörü tüpün çıkışında yer alır. Kalibrasyon dedektörü kullanılmasının amacı, tüp çıkışında meydana gelebilecek farklılıkların ölçüm sonuçlarını etkilemesini engellemektir. Bunun için, iyon odalarından elde edilen okumalar, kalibrasyon dedektörünün verdiği değere oranlanarak, oluşabilecek tüm farklılıklar ortadan kaldırılmıştır (çizelge 4.25.). Böylece, kalibre edilecek olan iyon odasının, standart iyon odasına göre davranışı görülmüştür.

İyon odalarının birbirlerine göre davranışları doğrusal olduğundan dolayı, birinci derece standart dozimetre laboratuvarının, standart iyon odasına vermiş olduğu kalibrasyon faktörlerini kullanarak, farklı HVL değerlerinde, iyon odaları için kalibrasyon faktörleri bulunabilir.

İyon odalarının birbirlerine göre davranışlarının doğrusal olduğu belirlendikten sonra (şekil 4.10.), kalibrasyonu yapılacak iyon odası ile, standart dozimetre laboratuvarında kullanılan belirli kV, HVL ve ek filtre değerlerinde ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerde kaynak-iyon odası mesafesi 100 cm olarak alınmıştır. Bunun nedeni, iyon odasının genelde klinik ölçümlerde 100 cm için kullanılmasıdır. Daha sonra standart iyon odasının 60 cm kaynak-iyon odası mesafesi için belirli olan değerleri ters kare kanunu kullanılarak 100 cm’ye sabitlemiş ve Rad-Check ve Nero dedektörlerinin ölçüm sonuçları ile birlikte aşağıdaki çizelgede verilmiştir (çizelge 4.26.). Daha sonra, 100 cm’de referans değerler Rad-Check ve Nero ile ölçülen değerlere oranlanarak HVL değerlerine karşılık kalibrasyon faktörleri belirlenmiştir (çizelge 4.27.).

Çizelge 4.25. Aşağıda standart iyon odası, Rad-Check ve kalibrasyon dedektöründen okunan değerler verilmiştir. Herhangi bir sürede standart iyon odası ve Rad-Check'den elde edilen ışınlama değerleri kalibrasyon dedektörü sonucuna bölünmüştür. Yani okumalar kalibrasyon dedektörüne göre normalize edilerek iyon odalarının birbirlerine göre davranışları belirlenmiştir

kV	Standart iyon odası için			Rad-Check için		
	Farmer ¹ Okuma	KD ² Okuma	Farmer/KD (R/dak)	Rad-Check	KD Okuma	Rad-C/KD (R/dak)
30	9,49	2,789	3,4	1,745	0,469	3,721
40	7,03	1,961	3,583	1,692	0,431	3,926
50	7,32	1,978	3,702	1,852	0,46	4,026
60	8,11	2,145	3,782	1,748	0,428	4,084
70	7,4	1,924	3,846	1,798	0,431	4,172
80	8,37	2,148	3,897	1,592	0,376	4,234
90	12,1	3,07	3,941	1,636	0,381	4,294



Şekil 4.10. Rad-Check iyon odasının standart iyon odasına göre davranışı (25-90 kV aralığında)

Çizelge 4.26. Referans değerlere göre Rad-Check ve Nero ölçümleri. Referans değer-1, 60 cm'de ÇNAEM tarafından kullanılan değerdir. Deney 100 cm'ye göre yapıldığı için bu sonuçlar ters kare kanunu kullanılarak düzeltilmiştir.

KV	HVL	Ek Filtre	Referans Değer-1 R/dak. (60 cm)	Referans Değer-2 R/dak. (100 cm) ³	Rad-Check R/dak.(100 cm)	Nero R/dak.(100 cm)	Nero kV ⁴
26	0,35	0,4	17,6	6,34	5,45	5,15	34,2
34	0,54	0,52	20,4	7,34	7,02	6,5	46
44	0,9	0,75	21,4	7,7	—	7,28	56,2
50	1,2	1	19,92	7,17	7,63	7,08	66,6
75	2,1	1,6	25,34	9,12	10,13	9,39	99
90	3,3	2,5	23,85	8,59	9,65	9	121,8

¹ Standart iyon odası

² Kalibrasyon dedektörü

³ Ters kare kanunu ile bulunan değerler

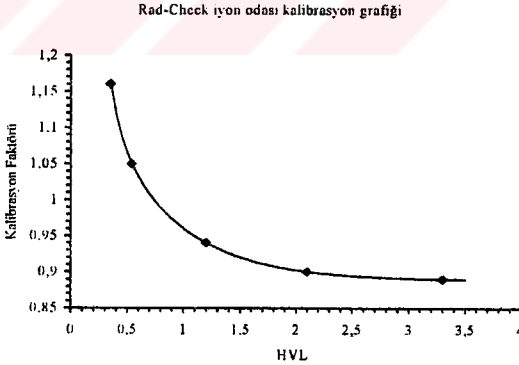
⁴ Nero ile ölçülen kV değeri

Çizelge 4.27. Rad-Check ve Nero için belirlenen kalibrasyon faktörleri

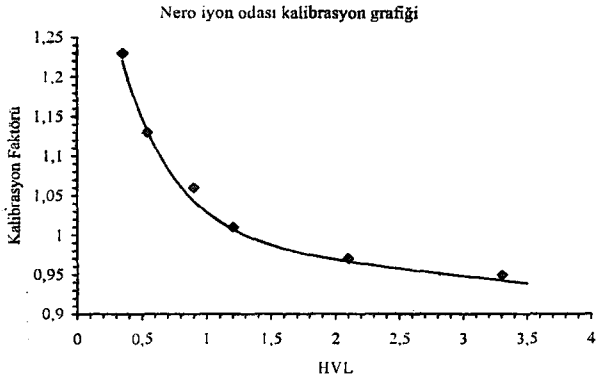
KV	HVL	Ek Filtre	Rad-Check Kalibrasyon Faktörü	Nero Kalibrasyon Faktörü
26	0,35	0,4	1,16	1,23
34	0,54	0,52	1,05	1,13
44	0,9	0,75	-	1,06
50	1,2	1	0,94	1,01
75	2,1	1,6	0,9	0,97
90	3,3	2,5	0,89	0,95

Çizelge.4.27.'deki Rad-Check ve Nero iyon odalarının kalibrasyon faktörlerinin, HVL değerlerine karşı çizilen grafikleri sırasıyla şekil 4.11. ve şekil 4.12'de verilmiştir.

Yapılan tüm çalışmalarda, kaynak-iyon odası mesafesi, diklik ve geometri şartları standart dozimetre laboratuvarındaki çok hassas ölçüm sistemleri (lazer ışıklı ölçüm sistemi) ile ayarlanmıştır (Ek 7). Çalışmalarda şehir gerilimi nedeniyle meydana gelebilecek oynamalar için gerilim stabilazörü kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Rad-Check iyon odası için elde edilen kalibrasyon grafiği



Şekil 4.12. Nero iyon odası için elde edilen kalibrasyon grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Radyografik ve floreskopik x-ışın sistemlerinde yapılan kalite kontrol testlerinin sonuçları bir önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde ise elde edilen test sonuçlarının değerlendirilmesi yer almaktadır.

Radyografik sistemlerde yapılan testlerde elde edilen sonuçlar, her bir sistem için değerlendirilmiştir. Değerlendirme her bir test için, sonucun kabul sınırlarında olup olmadığı şeklindedir. Toplu sonuçlar çizelge 5.1’de verilmektedir. Kabul sınırları dışında olan sonuçlar “hata” olarak belirtilmiş ve çizelge 5.2’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Radyografik sistemlerde yapılan kalite kontrol testlerinin toplu sonuçları

Yapılan Testler	Oda5	Oda 6		Oda 12		Oda 13	
	Tüp 1	Tüp 1	Tüp 2	Tüp 1	Tüp 2	Tüp 1	Tüp 2
Tüp çıkışı							
kV-mR	KS	KS	KS	Hata1	KS	KS	KS
mA-mR	Hata1	Hata1	Hata1	KS	KS	KS	Hata1
t-mR	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Tekrarlanabilme	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Doğrusallık	Hata 2	KS	KS	KS	KS	KS	KS
HVL	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Işınlama zamanı	Hata 3	KS	KS	KS	KS	KS	KS
KVp testi							
KV p uygunluk	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Doğruluk	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
mA ile değişiklik	KS	KS	Hata4	KS	KS	KS	KS
Zaman ile değişiklik	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
MAS ile değişiklik	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
X-ışın Kolimasyonu	Hata 5	Hata 5	Hata 5	KS	KS	KS	KS
X ışını alanı diklik testi	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
X-ışın merkezleme farkı	KS	Hata 6	Hata 6	KS	KS	KS	KS
Odak nokta testleri	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Fazla yük kontrolü	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
Grid ayar ölçümü	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS

Tüm ışınlama parametrelerinin sabit tutulması durumunda istatistiksel dalgalanmalar dışında bir x-ışın tüpünün benzer doz değerlerini vermesi beklenmelidir. Bu özellik tekrarlanabilirlik testi ile gerçekleştirilir. Aynı özellikte sistemlerde de (örneğin üç faz 6 darbe) aynı demet kalitelerinde (örneğin, 80 kVp, 2.5 mm-Al HVL, 60 cm odak-dedektör mesafesi), tüp doz çıkışlarının yine birbirine yakın olması beklenmektedir. Literatürlerde verilen değerlere göre, ortalama değerlerden en fazla %40 sapma öngörülmektedir (Anonymous 1991). Bir radyoloji bölümünde bir sistemden diğerine doz çıkışlarının farklılık göstermesi, tetkiklerin sadece belirli cihazlarda birikmesine ve tekrar çalışmalarına neden olmaktadır.

Çizelge 5.2. Testlerin toplu sonuçlarında verilen hataların genel açıklamaları

Hata No	Oda No-5, Tüp-1
Hata 1	mA-mR'de, 100 mA'de %34 ve 500 mA'de %74 sapma
Hata 2	60 kVp, 40 mAs için %28 ve 80 kVp, 40 mAs için de %45 sapma
Hata 3	0,08 s'de %12 hata
Hata 5	Anot-katod eksenine dik yönde 2 cm sapma
	Oda No-6, Tüp-1
Hata 1	mA-mR'de, 300 mA'de %46, 400 mA'de %24 ve 500 mA'de %32 sapma
Hata 4	kVp'nin mA ile değişiminde %10 hata (8 kVp)
Hata 5	Anot-katod eksenine dik ve paralel yönlerde ışın alanında 2,5 ve 4 cm sapma
Hata 6	2,3 cm merkezleme hatası
	Oda No-6, Tüp-2
Hata 1	mA-mR'de, 300 mA'de %60 ve 500 mA'de %17 sapma
Hata 5	Anot-katod eksenine dik ve paralel yönlerde ışın alanında 3 cm sapma
Hata 6	2,3 cm merkezleme hatası
	Oda No-12, Tüp-1
Hata 1	kVp ² -mR'de 40 kVp'de %87 sapma
	Oda No-13, Tüp-2
Hata 1	mA-mR'de 400 mA'de %27 sapma

Tüp akımı (mA) ve ışınlama sürelerinin farklı kombinasyonları seçilerek tüp çıkışında aynı mAs değeri elde edilebilir. Örneğin hasta hareketi nedeniyle bir tetkik (özellikle küçük çocuklarda), daha kısa ışınlama süresi ile daha büyük tüp akımının seçilmesiyle aynı mAs değerinde tekrarlanabilir.

Sistem doz çıkışının bu şartlarda da değişmemesi, yani doğrusallığı gerekmektedir.

Tekrarlanabilme ve doğrusallık testlerinde sonuçların aşağıdaki ifadelerle bulunurlar. Kabul sınırları tekrarlanabilme için %5, doğrusallık için ise % 10'dur.

$$\%T = \frac{(mR_{maks} - mR_{min})/2}{mR_{ort}} * 100 \quad (5.1)$$

$$\%D = \frac{((mR / mAs)_{maks} - (mR / mAs)_{min})/2}{(mR / mAs)_{ort}} * 100 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi, tekrarlanabilme tüm sistemlerde kabul sınırları içerisinde olup doğrusallık problemi sadece bir tüpte ortaya çıkmıştır.

Tüp doz çıkış testi sistem kalibrasyonunun kontrolünde çok önemlidir. Jeneratör kVp değeri ve ışınlama süreleri ayrı ayrı test edilebilir. Ancak, tüp akımının kontrolü mümkün değildir. Her bir ışınlama parametresinin (diğer ikisi sabit tutulurken) değişen değerlerinde tüp çıkışının ölçülmesi ile mA kalibrasyonu anlaşılabilir. Bu test, ışınlama şartlarının çok geniş bir aralığında sistemlerin karşılaştırılmasına da olanak verir. KVp²-mR, mA-mR, ve t-mR davranışlarının doğrusal olması beklenmektedir. Çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi, dört sistemde mA-mR davranışı, bir sistemde de kVp-mR davranışı kabul sınırlarının dışındadır.

Demet kalitesine etki eden bir diğer faktör tüp yarı kalınlık değeridir. Minimum tüp filtrasyon değerleri uluslar arası kuruluşlar tarafından önerilmiştir (Anonymous 1991). Buna göre, 51-70 kVp arasında ve 70 kVp üzerinde olan sistemlerde minimum değerler sırasıyla 1,5 ve 2,5 mm-Al'dan düşük olamaz. Zira bu durumda çok düşük enerjili X-ışın fotonları hasta girişinde soğurulacaklarından, hasta dozunda önemli artışlar ortaya çıkacaktır. Tüp yaşının artmasıyla buharlaşan tungstenin, tüp camının iç yüzeyinde oluşturduğu tabaka HVL değerini artırıcı bir etki yapar. Ölçülen sistemlerin tümünde HVL değerleri kabul sınırları içerisinde bulunmuştur.

Bir X-ışın sistemindeki en önemli parametrelerden bir tanesi radyografik görüntünün kontrastını belirleyen tüp kilovoltajıdır. Ayrıca, hasta dozu da

bu parametre ile değişir. KVp'deki çok küçük dalgalanmalar filme ulaşan foton sayısını önemli ölçüde etkilemektedir. Literatürde verilen değerlere göre, kVp'nin kurulan değerleri ile ölçülen değerleri arasındaki en fazla fark 4 kVp olmalıdır (Anonymous 1978, Anonymous 1991). Çalışmalarda elektronik kVp metre kullanılmış ve bu sistemin doğruluğu ise test kasetleri (Wisconsin kVp Test Cassette) ve NERO sistemi ile rölatif olarak ölçülmüştür. Çizelge 5.1.'den görüldüğü gibi biri hariç tüm sistemlerde ölçülen ve kurulan değerler arasındaki farklar kabul sınırları içerisindedir.

Işınlama süresi hem elektronik sistemlerde hem de basit döner tabla tekniği ile ölçülmüştür. Kurulan her değerde arka arkaya c okuma yapılmıştır. Her değerin ölçümlerinin ortalamasından ve kurulan değerden sapmaları bulunmuştur. Işınlama doğruluğu 10 ms'den küçük ve büyük işınlama sürelerinde %20 ve %5'in içersinde olmalıdır (Anonymous 1991). Çizelge.5.1.'de görüldüğü gibi bir sistem dışında sonuçlar kabul sınırları içerisindedir.

X-işınlarının tp içerisinde oluştuğu odak noktasının boyutunun bilinmesi hem görüntülerdeki ayırma gücü hem de tüpe uygulanacak akım değerini yönünden önem taşır. Küçük odak noktası yüksek ayırma gücünün arandığı tetkiklerde tercih edilmektedir, ancak bu durumda tüpe uygulanacak akım sınırlıdır. Film üzerinde istenen kalitede görüntü elde edilebilmesi için yeterli foton sayısının olması gerektiğinden bazı uygulamalarda (rneğin Őıřman hastalarda) daha fazla akım gerekeceğinden büyük odak noktası kullanma zorunluluğu ortaya çıkar. Boyut saptanmasında kullanılan yöntem ince delik kamerasının kullanılmasıdır. Bu çalışmada, odak nokta boyutları ince delik kamerası yöntemi ile belirlenmiştir. Yıldız ve çubuk desen ayırma gücü fantomları kullanılması ile odak noktasının ayırma gücü belirlenmiştir ve odak nokta boyutları ayırma gücü sonuçlarından bulunmuştur. Nominal değerlere göre %50 toleransın tanındığı bu testlerde alınan tüm sonuçlar kabul sınırları içerisindedir.

Hastanın gereksiz yere fazladan işınlanması ve artan saçılan işın miktarı ile görüntü kalitesinin bozulmasındaki en önemli nedenlerden bir tanesi, x-işın alanı ile bu alanı göstermek amacıyla kullanılan ışık alanının uyumsuzluğu, yani kolimasyon hatasıdır. Bu alanlar arasındaki maksimum sapma odak-film mesafesinin % 2'sinden fazla olmamalıdır (Anonymous 1991). Merkezi işının görüntü düzlemine dikliği ve kaset ile ayarı, aynı Şekilde test edilmesi gereken önemli parametrelerdir. Ölçülen sistemlerde, en fazla kolimasyon problemi ile karşılaşılmıştır (c sistemde). Benzer Şekilde, iki tüpte x-işın alanı ile kaset merkezlerinin sapması kabul sınırları dışındadır.

Klinik çalışmalarda (genelde ekstremite çalışmalarında) yüksek ayırma gücü istendiğinden, film kasetinin organ ile direk temasının sağlandığı ve gridin kullanılmadığı masa üstü çekimleri tercih edilmektedir. Ancak hasta kalınlığının artmasına paralel olarak artan saçılan ışın miktarı kontrastın azalmasına ve görüntü kalitesinin bozulmasına neden olur. Grid kullanımı ile saçılan ışınların filme ulaşması engellenir. Bunun için sistemin grid ayarının x-ışınının merkezi ile ayar içinde olması gereklidir. Yapılan testlerde tüm sistemlerin grid ayarları kabul sınırlarının içerisinde.

X-ışın jeneratörlerinde maksimum ışınlama şartlarına, sistemin korunmasını sağlayan fazla yük koruma devresi vardır. Yapılan testlerde tüm sistemlerin fazla yük koruma devrelerinin doğru olarak çalıştığı görülmüştür.

Tüm kasetler için ekran-film temas testi gerçekleştirilmiş, genelde kasetlerin yeni olması nedeniyle önemli sayıda hatalı kasete rastlanmamıştır.

Bir radyoloji bölümünde, rutin kontrolün en fazla önem taşıdığı sistemlerden bir tanesi de film- banyo sistemidir. Tekrar çalışmalarını en fazla arttıran nedenlerin başında banyo performansının değişmesi gelir. 1.banyo sıcaklığındaki artışlar (gün içersinde 2°C den fazla sapmalar ölçülmüştür), tazelemenin yeterli olmaması ve film ışık kaçakları en çok karşılaşılan problemlerdir.

Bölümde bulunan karanlık odanın ışık kaçak testi yapılmıştır. Aşağıda aynı basamaklar arasındaki optik yoğunluk farklılıkları gösterilmektedir (çizelge 5.3.).

Çizelge 5.3.Karanlık oda ışık kaçağı testi sonuçları

Basamak Numarası	Işığa kapalı taraf (OY)	Işığa açık taraf (OY)
1	0,25	0,33
8	0,51	0,89
11	1,44	1,94

Yukarıdaki değerlerden de görüleceği gibi, karanlık odada önemli ölçüde ışık kaçağı tespit edilmiştir. Çalışmalara karanlık oda tamamen ışığa karşı korunduktan sonra devam edilmiştir. Böylece, karanlık odadaki ışık

kaçakları nedeniyle oluşabilecek hatalar ya da tekrar çalışmaları engellenmiştir.

Tüm çalışma süresince banyonun günlük kalite kontrolü testi yapılmıştır. Sonuçların kabul sınırları dışına çıkmasında, 1.banyo sıcaklığındaki zamana bağlı oynamalar, tazelemenin yeterli olmaması ve filmlerdeki ışık kaçakları en önemli nedenlerdir. 1.banyo sıcaklığının 2° artması ile optik yoğunluk 0,20 artmaktadır. Bu farklılığın tekrar çalışmalarına neden olacağı şüphesizdir.

Floroskopik sistemlerde yapılan testlerde değerlendirme yine her bir test için, sonucun kabul sınırlarında olup olmadığı şeklindedir. Tüm testlerin sonuçları 4.bölümde verilmiştir.

Maksimum ışınlama hızı, şişman hastalardaki AP tetkikleri ya da genel olarak lateral-yan tetkikler gibi hasta kalınlığının normalden fazla olduğu tetkiklerde, görüntünün oluşabilmesi için gerekli olan ışın miktarının GG'ye ulaşabilmesi için yeterli miktarda olmalıdır. Bununla birlikte çok yüksek doz hızlarında hasta gereksiz yere radyasyona maruz kalacaklardır. Yapılan testler sonucunda ölçülen ışınlama hızları literatürlerdeki değerler (Anonymous 1988, Martin 1995) ile uyum içerisinde.

GG ve hastaya gelen ışın miktarının belirli bir değerde olması optimum floroskopik görüntü kalitesinin elde edilmesini sağlar. Düşük radyasyon seviyelerinde ise, görüntüdeki gürültü artar, dolayısıyla çalışmanın tekrarı gerekeceği için hasta dozu gereksiz yere artar. Yapılan testler sonucunda elde edilen değerler literatürde verilen hasta giriş doz hızı değerlerinin sınırları içerisinde (Martin 1998, Anonymous 2001).

Floroskopik doz çıkış ölçümleri, x-ışın tüpünün ışınlama parametreleri, sistemin kalibrasyonu hakkında bilgi verir. Ölçülecek düşük doz değerlerinin anlamı ise, jeneratörde kVp ya da mA parametrelerinin ayarlamalarında bir problem olması anlamına gelir. Bu durumun başka bir nedeni de, tüpün eskimesinden dolayı tüp filtrasyonunun zamanla artması olabilir. Doz çıkışındaki yüksek değerler ise, jeneratörünün mA ve/veya kVp kalibrasyonun hatalı olduğunu belirtir. Yapılan testler sonucu elde edilen değerler literatürde verilen değerler içerisinde (Anonymous 2001).

Klinik uygulamalarda, hasta kalınlığının ışınlama esnasında sürekli olarak sabit kalması pratikte mümkün değildir. Bu nedenle, görüntüleme ünitesinde optimum görüntü kalitesinin elde edilebilmesi için OPK

sisteminin hatasız çalışması çok önemlidir. Yapılan tüm testlerde, her bir sistemin OPK'nın doğru olarak çalıştığı belirlenmiştir. Kullanılan sistemlerde otomatik kazanç kontrolü olmaması nedeniyle bu test yapılamamıştır.

Floroskopik sistemlerde, x-ışın demetinin seçilen x-ışın alanı ve GG'ye sınırlanması çok önemlidir. Floroskopik tetkikler dinamik bilgileri içerdiği için, kalimasyon hataları, merkezi ışının dik olmaması gibi problemler, odak noktaya ve GG'ye göre yanlış pozisyonlama, TV monitörü veya fotospot kamerada merkezleme hatası gibi sorunlara neden olabilir. Bunun sonucu ise yapılan tetkikin hatalı olmasıdır. Yapılan testlerde, tüm sistemlerin x-ışın ve ışık alanı uyumluluğu, merkezi ışın dikliği literatürde belirtilen kabul sınırları (Anonymous 1991, Gray *et al.* 1983) içerisindeydir.

Odak nokta boyutu, görüntü geometrisi (kaynak-obje ve kaynak-GG mesafeleri), optik sistemin kalitesi ve ayarı, GG ve TV monitörünün kalitesi gibi faktörler floroskopik görüntü kalitesini etkiler. Aynı zamanda, sistemin ayırma gücünde bu faktörlerden direkt olarak etkilenir. Floroskopik sistemin ayırma gücü yüksek kontrast ve alçak kontrast objeler için ayrı ayrı belirlenir. Alçak kontrast ayırma gücünü belirleyen en önemli parametre saçılan radyasyondur. Objeye kontrastının sistem gürültü sınırına yaklaşması ile ayırt edilebilmeleri zorlaşır. Yüksek kontrast ve alçak kontrast ayırma güçleri için yapılan testlerde değerler literatürde verilen kabul sınırları (Anonymous 2001, Gray *et al.* 1983) içerisindeydir.

Hasta dozlarının ve sistemlerinin doz çıkışlarının ölçülmesinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyonlarının düzenli olarak yapılması çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Bu nedenle, çalışma süresince kullanılan iyon odalarının (Victoreen marka Rad-Check ve Nero 6000A) kalibrasyonları TAEK Küçük Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde bulunan ikinci derece standart dozimetre laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, her iki iyon odasının, standart dozimetre laboratuvarı standartına göre kalibrasyon faktörleri ve grafikleri elde edilmiştir. Rad-Check iyon odası için yapılan ölçümlerde, 44 kV için (HVL = 0,9 mm-Al) ölçüm alınmamış ve kalibrasyon faktörü hesaplanmamıştır. Rad-Check iyon odasının kalibrasyon grafiğinden 0,9 mmAl HVL değeri için kalibrasyon faktörü belirlenmiştir. Aynı şartlarda 44 kV'da ölçüm alınarak kalibrasyon faktörü ile çarpıldığında % 99 doğrulukta sonuç elde edilmiştir. Böylece, elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğruluğu kontrol edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonymous. 1974. Measurement of diagnostic x-ray tubes. NEMA standard publication number XR5-1974. National Electrical Manufacturer Association, New York.
- Anonymous. 1978. Basic quality control in diagnostic radiology (Report No:4). AAPM (American Association of Physicists in Medicine), 50, New York.
- Anonymous. 1980. American national standard methods for the sensitometry of medical x-ray screen-film processing systems (Draft No.7). American National Standard Institute, 2;43, New York.
- Anonymous. 1981. Quality assurance in diagnostic radiology DHHS publication. American College of Radiology, 81, Washington, D.C.
- Anonymous. 1981. Radiographic film processing. U.S. Department of Health and Human Services, 89, Maryland.
- Anonymous. 1988. Performance evaluations and quality assurance in digital subtraction angiography (Report No:15). AAPM (American Association of Physicists in Medicine), 35, New York.
- Anonymous. 1988. Protocols for the radiation safety surveys of diagnostic radiological equipment (Report No:25). AAPM (American Association of Physicists in Medicine), 55, New York.
- Anonymous. 1988. Quality assurance for diagnostic imaging equipment (Report No:99). National Council on Radiation Protection and Measurements, 85, Maryland, USA.
- Anonymous. 1991. Standardized methods for measuring diagnostic x-ray exposures (Report No:31). AAPM (American Association of Physicists in Medicine), 50, New York.
- Anonymous. 1997. Recommended standards for the routine performance testing of diagnostic x-ray imaging system. IPeM (The Institute of Physics and Engineering in Medicine), Report No:77, 60, England.
- Anonymous. 1999. Assurance of quality in the diagnostic x-ray department. British Institute of Radiology Report, England.
- Anonymous. 2001. Cardiac catheterization equipment performance. (Report No:70). AAPM (American Association of Physicists in Medicine), 71, New York.
- Bor, D. 1988. Medikal radyolojide film seçimi. Doğa TU Tıp ve Ecz. D., 12(3) ; 214-225.

- Bor, D., Buyan, G., Meriç, N. 1996. Tanısal radyolojide radyasyondan korunmada yeni kavramlar (1.bölüm). Tanısal ve Girişimsel Radyoloji, 2(1); A5-A9.
- Bor, D., Buyan, G., Meriç, N. 1996. Tanısal radyolojide radyasyondan korunmada yeni kavramlar (2.bölüm). Tanısal ve Girişimsel Radyoloji, 2(2); A5-A9.
- Cotterill, A.D., Fitzgerald, M., Ritchie, D., Clarke, R., Miles, R. 1992. Design and development of x-ray metrology laboratory. Radiation Protection Dosimetry, 43(114); 103-106.
- Cruvinel, P.E., Mascarenhas, S., Cameron, J. 1990. A portable electronic system for radiation dosimetry using electrets. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A287; 580-582.
- De Freitas, L.C., Drexler, G. 1992. The role of secondary standard dosimetry laboratories in diagnostic radiology. Radiation Protection Dosimetry, 43(114); 99-102.
- DeWerd, L.A., Wagnes, L.K. 1999. Characteristic of radiation detectors for diagnostic radiology. Applied Radiation and Isotopes, 50; 125-136.
- Gray, J.E., Winkler, N.T., Stears, J., Frank, E.D. 1983. Quality control in diagnostic imaging. An Aspen Publication, 249, Minnesota.
- Haus, A.G. 1993. Film processing in medical imaging. Medical Physics Publishing, 268, Wisconsin.
- Heggie, J.C.P., Petty, R.J. 1985. Quality assurance protocols for diagnostic x-ray equipment: Part .1, General radiographic units. Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine, 8(1); 32-41.
- Hourdakis, C.J. 2000. A pilot study on the quality control of film processing in medical radiology laboratories in Greece. European Journal of Radiology, 3; 24-31.
- Martin, C.J. 1995. Measurement of patient entrance surface dose rates for fluoroscopic x-ray units. Phys. Med. Biol., 40; 823-834.
- Martin, C.J. 1998. Protocol for measurement of patient entrance surface dose rates for fluoroscopic x-ray equipment. The British Journal of Radiology, 71; 1283-1287.
- Martin, C.J. 1999. Balancing patient dose and image quality. Applied Radiation and Isotopes, 50; 1-19.
- Martin, C.J. 1999. Measurement of image quality in diagnostic radiology. Applied Radiation and Isotopes, 50; 21-38.
- McLean, D., Collins, L., Robinson, J. 1987. Quality assurance in diagnostic radiology. Westmead.
- Nelson, R.E., Barnes, G.T., Witten, D.M. 1977. Economic analysis of a

- comprehensive quality assurance program. *Radiol. Technol.*, 49; 129-134.
- Oresegun, M. 1999. Radiation protection and quality assurance in diagnostic radiology. *Applied Radiation and Isotopes*, 50; 271-276.
- Robertson, J., Holubinka, M.R., Jones, A.P., Moretti, C.J., Rawlings, D.J., Roberts, P.J., Wall, B.F. 1992. Calibration of dosimeters used in diagnostic radiology. *Scope*, 1(4), 44-48.
- Wagner, L.K., Fontela, D.P., Kimme-Smith, C., Rothenberg, L.N., Shepard, J., Bonee, J.M. 1992. Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters. Report of AAPM Diagnostic X-Ray Imaging Task Group No:6 *Med.Phys.*, 19 ; 231-241.
- Weaver, K.E., Wagner, R.F., Goodenough, E.J. 1975. Performance considerations of x-ray tube focal spots. *Proceeding of the Society of Photo Optical Instrumentation Engineers*, 56; 150-158.

EK 1 Kalite kontrol testlerinin periyodik olarak tekrarlanma süreleri

Radyografik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri	Tekrarlanma süresi
Işınlamanın tekrarlanabilme ve doğrusalığı Testi	1-2 ay
Tüp Çıkışı ve Kararlılığı Testi	1-2 ay
Filtrasyon ve Yarı Değer Kalınlığı Testi	1-2 ay
Işınlama Zamanının Ölçülmesi	1-2 yıl
KVp testi	1-2 yıl
X-ışını Alanı Uygunluk Testi	1-2 ay
Odak Nokta Boyut ve Ayırma Gücü Ölçümleri	1-2 ay
Ekran-Film Temas Testi	Gerektiğinde
Ekran Hızlarının Homojenitesi	Gerektiğinde
Grid Ayar Ölçümü	Gerektiğinde
Fazla Yük Kontrolü	Gerektiğinde
Floroskopik X-ışın Sistemlerinde Kalite Kontrol Testleri	
Maksimum Işınlama Hızı Testi	12 ay
Floroskopik Doz Çıkış Değerinin ölçülmesi	12 ay
Hasta Giriş Doz Hızı Ölçümü	12 ay
Otomatik Parlaklık Kontrolü (OPK) ve Otomatik Kazanç Kontrolü (OKK)	1-2 ay
Yarı Değer Kalınlık Testi	1-2 ay
Kolimasyon	12 ay
Yüksek ve Alçak Kontrast Ayırma Güçleri	12 ay
Görüntü Güçlendirici Giriş Fosfor Işınlama Hızı Ölçümü	12 ay
Karanlık Oda ve Film Banyosu Kalite Kontrolü	
Karanlık oda ışık kaçağı testi	12 ay
Film banyosu kalite kontrol testi	1-7 gün
Banyo sıcaklığı ve tazeleme oranları	1-7 gün

EK 2 Victoreen Model 6000A NERO

Cihazın Genel Tanımı

Radyolojide X-ışını parametreleri görüntü kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu parametrelerin doğru ve hızlı bir şekilde ölçülmesi, KK uygulamaları için oldukça önemlidir. Victoreen Model 6000A NERO ile, kVp, efektif kVp, ışınlama zamanı, ışınlama değeri ve ışınlama hızı sayısal değer olarak ölçülebilir. Aynı zamanda, alüminyum soğurucular kullanılarak HVL ölçümü de yapılabilir.

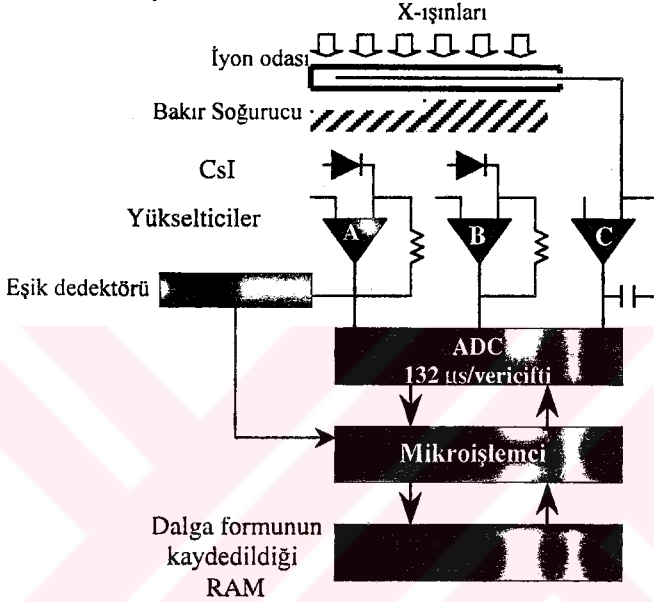
Cihazın İşleyişi

Nero'nun basit şematik bir gösterimi aşağıda verilmektedir. Dedektör; iyon odası, bakır soğurucu, CsI fotodiyot dedektörleri ve sinyal yükselteçlerinden (A, B, C) oluşmaktadır. X-ışınları iyon odasından geçerek, bakır soğurucu çok büyük bir oranda soğurur. Bakır filtreden geçerek A yükselteci üzerine gelen ışın miktarı kV'un fonksiyonudur ve toplam kV değerinin % 0,5-% 2'si arasında değişir. A ve B yükselteçleri arasındaki diferansiyel (değişken) filtrasyon oranı ise % 20 ile % 60 arasındadır ($B/A = 0,2 - 0,6$). Her biri belirli bir kVp bölgesinde olan beş farklı filtre vardır. Fotodiyot dedektörleri saçılmaya karşı çok iyi bir şekilde korunmuştur. Bu nedenle, yalnızca bakır filtreden geçen X-ışınlarına maruz kalır. KVp'nin belirlenmesindeki harici filtrasyonun etkisi yaklaşık olarak 0,3 mmAl'dir.

Işınlama başladığı zaman, A yükselteci üzerindeki voltaj değeri belirli bir eşik değerini aştığı zaman, eşik (threshold) dedektörü mikroişlemciyi uyarır. A ve B yükselteçlerinden çıkan analog değerler, dijital (sayısal) değerlere çevrilerek kaydedilir ve mikroişlemcide işlenmeye başlanır. Bu işlem her veri çifti başına 132 μ s frekansı ile gerçekleşir. A ve B yükselteç çıkışları 1 μ s içerisinde eşzamanlı olarak çalışan bir örnekle-tut (sampling-and-hold) hafızasına aktarılır. Buradaki veriler, veri çifti şeklinde ADC'ye (Analog to Digital Convertor) aktarılır. ADC bu veri çiftlerini, örnekleme frekansını kullanarak (132 μ s/veri çifti) sayısal değerlere çevirir. Verilerin bu şekilde toplanması, A yükseltecinden gelen sinyalin, eşik karşılaştıcısının değeri olan 20 ms'ye eşit olmasına kadar devam eder. Bundan sonra, iyon odasının çıkış değeri C yükselteci üzerinde okunarak kaydedilir. Veri çözümlenme işlemi böylece devam eder.

Kalibrasyon ve Çözümleme

Nero dedektörünün kalibrasyonu, tek faz, tam dalga bir X-ışını sisteminde yapılmıştır. Işınlama faktörleri, voltaj bölücü ve iyon odası kullanılarak kontrol edilmiştir.



Victoreen Model 6000A NERO'nun şematik gösterimi

Tüp potansiyeli

Işınlama sırasındaki veri işlemi, Nero ve voltaj bölücü için aşağıda tanımlanmaktadır. Voltaj bölücünden gelen voltajın tepe değeri (kVp) ile A ve B yükselteçlerinin tepe oranı (r), a ve b sabitler olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\ln kVp = ar / b$$

burada her bir filtre ayarı için, $r(n)$ ve $r(\text{Eff})$ bağımsız oranları için iki denklem vardır. $r(n)$ yükselteçlerin anlık oranlarıdır.

$$r(n) = B(n) / A(n)$$

Burada n, A yükseltecinin dalga formundaki n'inci tepedir ve veri kazancının frekans örnekleme ile anlık olarak belirlenir. Voltaj bölücünün kVp değerleri ve r(n) kullanılarak, anlık katsayılar yukarıdaki denklem ile her bir filtre ayarındaki kVp bölgesinde hesaplanır.

r(Eff) niceliği, A ve B yükselteçlerinin birleştirilmiş dalga formlarının oranıdır. Bu oran kVp test kasetindeki yoğunlukların oranına benzer.

$$r(\text{Eff}) = B / A$$

Bölücünün kVp değerleri ve r(Eff) kullanılarak, efektif katsayılar hesaplanır. Bu efektif katsayılar, tek faz sistemlerde kVp'nin efektif değerinin belirlenmesinde kullanılır.

Işınlama zamanı

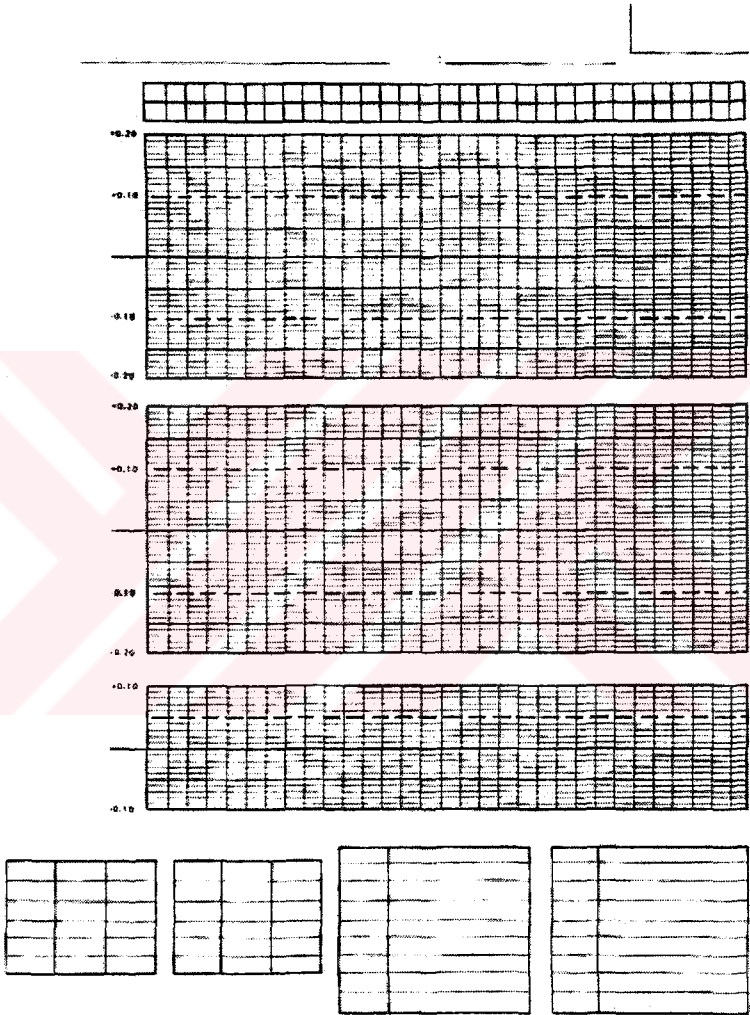
Işınlama zamanı iki şekilde belirlenir. Üç faz istemlerde, tepe değerinin % 75'lik kısmı arasındadır. Tek faz sistemlerde ise, birincil transformatördeki dalga şeklinin başladığı ve bittiği noktalar arasındadır. Nero'da üç faz zamanı A yükseltecinde kaydedilen dalga formundan hesaplanır. Burada yüksek enerjili X-ışını dalga formunda, % 15'lik tepe şiddeti % 75'lik tepe değerine ulaşır. Tek faz sistemlerde, zaman belirlenmesindeki farklılığı ayarlamak için 4 ms eklenmelidir.

Tüp çıkışı ve rölatif mAs

Kalibrasyon işlemi sırasında, kalibrasyon dedektörü verilerine karşı dedektörün iyon odası verilerinin grafiği çizilir (Bakınız, İyon odası kalibrasyonu). Bu veriler, kV ve iyon odası kalibrasyon faktörlerini içerir. Bu kalibrasyon eğrisi, Nero'nun hafızasında saklanır ve ışınlama değerleri hesaplanırken kullanılır.

Işınlama değeri (mR), kVp'nin doğrusal olmayan, mAs'ın ise doğrusal bir fonksiyonudur. Eğer, mR ve kVp değerleri aynı zamanda ölçülürse, mAs'ın bazı rölatif formlarını hesaplamak, sıralı ışınlamalar içinde teorik olarak mümkündür. Fakat, mAs'ın kesin olarak belirlenmesi mümkün değildir. Çünkü, filtrasyon, mesafe, dalga formu ve hedef madde gibi bir çok değişken tüpün çıkışını etkiler. Bununla birlikte, bu değişkenler seri ışınlamalar sırasında, yaklaşık olarak sabit alınabilir. Bu da rölatif mAs değerinin, özel bir mA ve zaman ayarında normalize olarak belirlenmesini sağlar.

EK 3 Günlük banyo kalite kontrol testinde kullanılan KK çizelgesi



EK 4 Elektronik Zaman Ölçer

Elektronik zaman ölçer (Victoreen, model 07-457), direkt olarak X-ışını demetinden hızlı ve doğru bir şekilde ışınlama süresini ölçer. Taşınabilir ve pil ile çalışan bir cihazdır. Cihazda katı hal radyasyon dedektörü kullanılmıştır. 0,5"lik sıvı (likit) kristal ekrana sahiptir ve her ışınlama sonrası ölçülen zaman ekranda otomatik olarak gösterilir.

Kullanılacak X-ışını sisteminin tipine göre, üç farklı ölçme modu vardır. Tek faz sistemlerde puls modunda, üç faz sistemlerde iki farklı zaman modunda (0-2 s ve 0-20 s) çalışır. Maksimum ölçme sınırı 19,999 s'dir. Cihazın zaman modunda çalışması için kuartz kristal kullanılmıştır. Işınlama süresinin ölçme aralığı aşması ya da pilin bitmesi durumunda gerekli uyarı mesajı ekranda görülmektedir.

Aynı zamanda, harici dedektör bağlantısı ile, demetin dalga formu osiloskop ekranında gözlenebilir. Cihazın genel özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Darbe aralığı	0-19,999 darbe aralığı
Zaman aralığı	0-1,9999 ve 0-19,999 zaman aralığı
Dedektör tipi	Katı hal dedektörü
Doğruluk	Darbe modunda ± 1 sayım, Zaman modunda $\pm 0,1$ ya da ± 1 ms
Gerekli ışınlama faktörleri	$ODM \leq 30$ inch, $mA \geq 100$, $kVp \geq 80$
Gösterici özellikleri	4 ½ digit, sıvı kristal, 0,5 inch
İkazlar	Darbe modu-sağdaki ondalık nokta Zaman modu-soldaki ondalık nokta Sınır aşımı-sol sütun yanıp söner Zayıf pil-sağ sütun yanıp söner Otomatik sıfırlama- LED yanıp söner
Kontroller	Açma/kapama anahtarı Mod seçim anahtarı 0-2 s ve 0-20 s zaman modu ve darbe modu
Bağlantı	Demet dalga formunun, harici bir dedektör ile osiloskopta gözlenebilmesi için BNC koaksial konektör
Pil özelliği	9 V, Alkali
Pil ömrü	Sürekli kullanım ile 100 ssat
Boyutlar (Y x G x D)	64mm x 152mm x 159 mm
Ağırlık	600 g (1,3 lbs)

EK 5 KVp'nin test kaseti ile ölçülmesinde kullanılan Victoreen marka test kasetlerine ait orijinal kalibrasyon grafikleri (Victoreen, test kaseti manuelinden alınmıştır). Grafikler sırasıyla 50-70, 70-90 ve 90-110 kVp aralıkları için yer almaktadır.

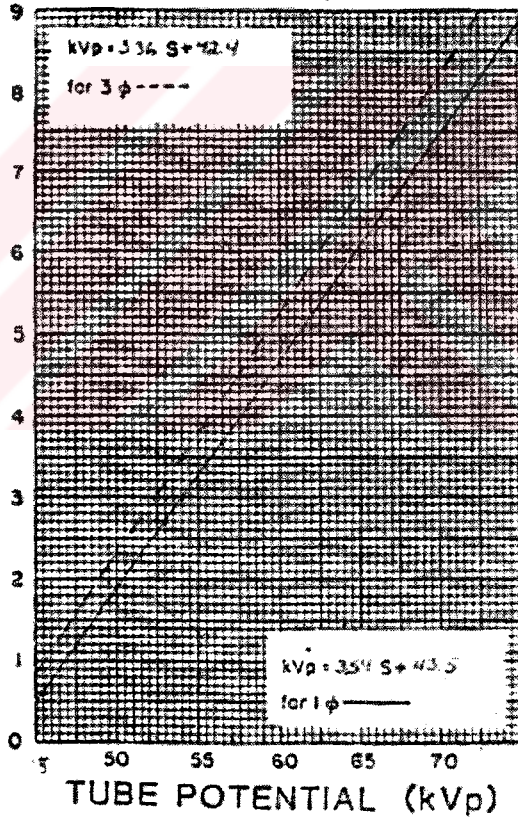
UNIVERSITY OF WISCONSIN CALIBRATION SERVICE

DEPARTMENT OF MEDICAL PHYSICS
kVp CASSETTE CALIBRATION

FIG. Type: _____
Date: _____
Room:

CASSETTE SER. NO. MS-2024 Mfr. by: Vict
CALIBRATION DATE: 11/20/76 By: CEH
50-70 kVp

MATCH STEP NUMBER



For information, contact: U.W. Calibration Service
Department of Medical Physics, 1380 Medical Science Center
1100 University Ave., Madison, WI 53706
Phone: (608) 262-6329

UNIVERSITY OF WISCONSIN CALIBRATION SERVICE

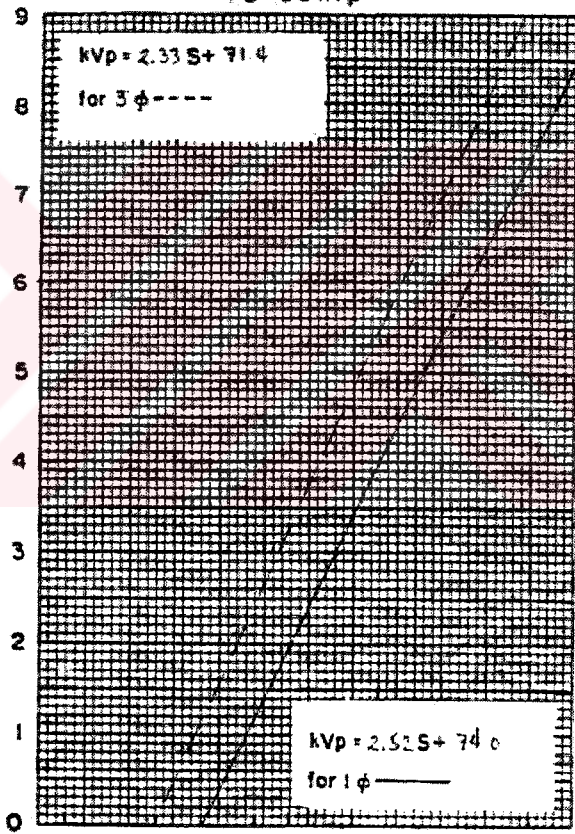
DEPARTMENT OF MEDICAL PHYSICS
kVp CASSETTE CALIBRATION

CASSETTE SER. NO. 105-2084 Mfr. by: CAI
CALIBRATION DATE: 11/20/86 By: CLH
70-90 kVp

35ae X
Green

For information, contact: Dr. J. J. ...
Department of Medical Physics, 1530 Medical Sciences Center
1300 University Ave., Madison, WI 53706
Phone: (608) 262-6329

MATCH STEP NUMBER



TUBE POTENTIAL (kVp)

UNIVERSITY OF WISCONSIN CALIBRATION SERVICE

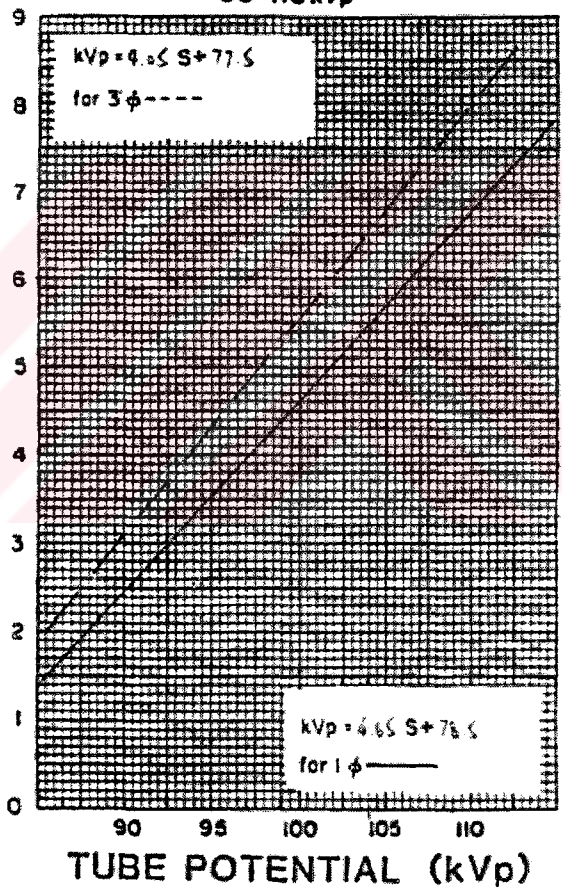
DEPARTMENT OF MEDICAL PHYSICS
kVp CASSETTE CALIBRATION

File Types:
Blue
Green

CASSETTE SER. NO. 105-2034 Mfr. by: Pes
CALIBRATION DATE: 11/20/36 By: CLH
90-110 kVp

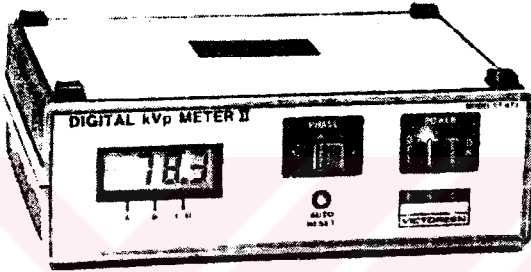
For information, contact: U.W. Calibration Service
 Department of Medical Physics, 1310 Medical Sciences Center
 1100 University Ave., Madison, WI 53706
 Phone: (608) 262-6373

MATCH STEP NUMBER



EK 6 Elektronik KVp Metre

Model 07-473 kVp metre, x-ışını sistemine herhangi bir bağlantı yapılmadan direkt olarak demetten efektif voltajın tepe değerini ölçer. Taşınabilir ve pil ile çalışan bir cihazdır. Tungsten anotlu tüplerde kullanılır. Yapısında iki adet, değişken olarak filtrelenmiş dedektör vardır ve bu dedektörler 60-120 kVp arasında kalibre edilmiştir. Cihazın genel özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.



Victoreen marka, model 07-473 kVp Metre

KVp metrenin genel özellikleri

Ölçme aralığı	60-120 kVp
Doğruluk	± 3 kV ya da $\pm\% 3$ (Tungsten hedef maddeli, 4 mmAl eşdeğeri filtrasyon için)
Tekrarlanabilme	± 1 kV ya da $\pm\% 1$
Filtrasyon etkisi	kVp aralığının üzerinde ve 8 mmAl ek filtrasyonda $\% 3$ 'den az
Kalibrasyon sıklığı	Bir yıl
Pil özelliği ve ömrü	9 V Alkali, 75 saat
Gösterici özellikleri	3 ½ Digit LCD, ½ inch yükseklik
Kontroller	Açma/kapama anahtarı, faz seçim anahtarı
Bağlantı	Dalga formu çıkışı için BNC konnektör
Boyutlar (Y x G x D)	64 mm x 203 mm x 152 mm
Ağırlık	950 g (2,1 lbs)
Çalışma koşulları	+18 °C - +40°C aralığı ve maksimum $\% 90$ nem
Saklama koşulları	-18 °C - +55 °C

Ön Panel

Cihazın ön kısmında sıvı kristal ekran, açma/kapama ve faz seçim anahtarları ve LED (Cihaz otomatik olarak sıfırlama yaptığı zaman yanar ve söner) vardır.

Ekranın hemen alt kısmında A, B, C ve D harfleri vardır. Çalışma faktörlerine göre, cihazın doğru çalışmaması durumunda, harflerin hizasında ekranda noktalar yanıp sönmeye başlar. Bu uyarı mesajları her bir harf için farklı anlam taşır. Eğer A ya da B noktalarından birisi yanıp söniyorsa, uygulanan kVp değeri 60-120 kVp sınırları dışındadır. A için kVp değeri düşük, B için ise yüksektir. C ve D harfleri için uyarı kısmı aynı yerdedir. Ekranda bir değer varken bu noktanın verdiği ikaz C'ye aittir ve bu ikaz, demet şiddetinin çok fazla olduğu anlamına gelir. Ekranda herhangi bir değer yoksa (0,00) ise nokta, D'ye ait ikazı verir ve demet şiddetinin yeterli olmadığı anlamına gelir.

Dalga şekli seçim anahtarı, ölçüm yapılacak sisteme göre, 1φ ya da 3φ olarak ayarlanmalıdır. Floroskopi ölçümleri 3φ modunda yapılmalıdır.

Işınlama Parametreleri

Işınlama şartları ve ölçüm geometrisine göre, odak nokta-dedektör mesafesi (ODM) doğru bir şekilde ayarlanmalıdır. Eğer, 20-100 mAs aralığı, çalışma için yeterli ise aşağıdaki şartların korunmasına özen gösterilmelidir.

<u>kVp</u>	<u>ODM (cm)</u>
60-75	45
70-90	90
85-120	180

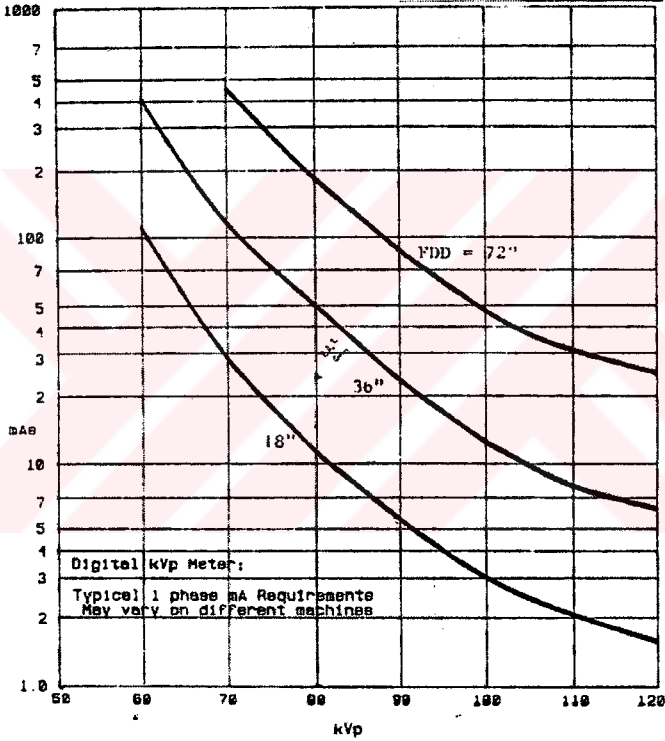
ODM, yalnızca gerekli olan mAs değerini etkiler. Kvp'nin ölçüm doğruluğuna bir etkisi yoktur.

Çalışma geometrisi ve ışınlama faktörlerinin farklı olması durumunda, aşağıda verilen, belirli kVp'ler, minimum mAs değerleri ve farklı ODM'leri için verilen eğriler kullanılmalıdır.

Ölçüm yapılacak kVp değerine göre, şekildeki eğrilerden ODM ve mAs değerleri belirlenir. Eğriler tek faz sistemler içindir. Üç faz sistemlerde ölçüm yapılacaksa, çalışma şartları için belirlenen mAs değerinin % 70'ne

ayarlanması gereklidir. Örneğin; tek faz sistemde, 70 kVp ölçümü için ODM=45 cm, mAs=30 olmalıdır. Eğer, ölçüm geometrisindeki ODM bu üç değerden farklı ise, uygun olan bir eğri seçilerek, kullanılan mesafe bu eğriye ait olan mesafeye oranlanır ve eğrinin mAs değeri bu oran ile çarpılarak minimum mAs değeri belirlenir. Örneğin;

90 kVp için, ODM=76 cm ise, aynı kVp değerinde 91 cm'lik eğri için minimum mAs=25 olduğundan, 76 cm için minimum mAs=25*(76/91)=17,4 olmalıdır.



Minimum ışınlama faktörleri

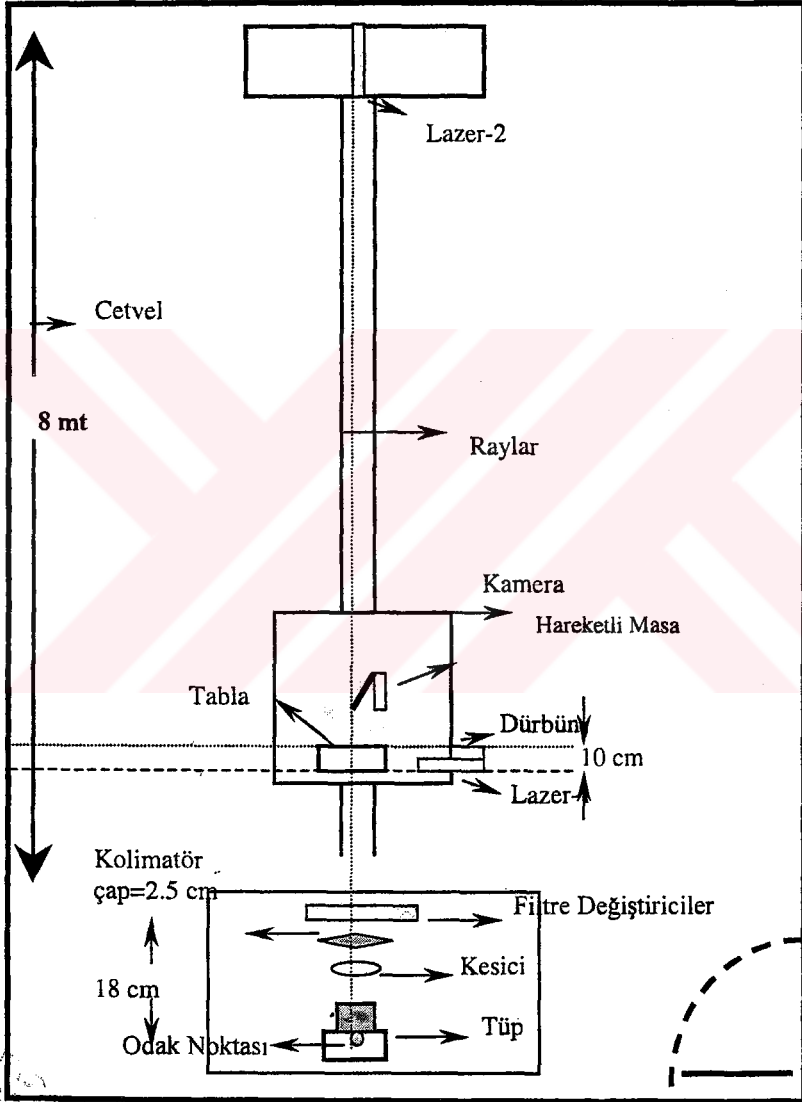
Aynı zamanda, bir ölçüm farklı eğriler kullanılarak ta yapılabilir. Örneğin, 70 kVp için, 45 cm'de 30 mAs gerekli iken , aynı kVp değeri 90 cm'de 120 mAs kullanılarak da ölçülebilir.

Ölçüm için gerekli olan şartlar aşağıdaki faktörler ile değişir.

- 1- Dedektörün hassasiyeti
- 2- Tüp filtrasyonu
- 3- Dalga formu
- 4- ODM
- 5- X-ışını sisteminin mAs ayarlama hataları

Örneğin, ilave filtrasyonun 8 mm-Al artırılması durumunda, mAs değerlerindeki artış yüzdeleri, 60 kVp'de %90, 85 kVp'de %65, 120 kVp'de %45 olmalıdır. Eğer ayarlanan değere göre yanlış ölçüm alınıyorsa, zaman iki kat artırılmalı ya da ODM %30 azaltılmalıdır.

EK 7 Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Bölümü, İkinci Derece Standart Dozimetre Laboratuvarında kullanılan çalışma düzeniği



ÖZGEÇMİŞ

Ankara'da 1977 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1994 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünden 1998 yılında Fizik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Eylül 1998 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, Şubat 2000 tarihinden bu yana Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.