

T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ
PROJESİ)

BİYOMEDİKAL CİHAZ TEKNOLOJİLERİ

NÜKLEER TIP ÜNİTELERİ

ANKARA - 2008

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ - 1	3
1. NÜKLEER TIP ÜNİTELERİ	3
1.1. Nükleer Tıp Ünitesinin Yapısı	3
1.1.1. Görüntüleme (Kamera) Odaları	5
1.1.2. Radyofarmasi veya Sıcak Laboratuvar	6
1.1.3. Hastalara Radyofarmasötik Enjeksiyon Odası	11
1.1.4. Bekleme Odası ve Danışma	11
1.1.5. Yüksek Dozlu I-131 Almış Hastaların Gözetim Odası	11
1.1.6. Radioimmünassay Laboratuvarı (RIA) : Radyoaktif Serolojik Deney	16
1.1.7. Sayım Odaları	17
1.1.8. Tiroid Uptake Odası	17
1.1.9. İş İstasyonu(Rapor Odası)	17
1.1.10. Radyoaktif Atıkların Bekletildiği Yerler	17
1.2. Havalandırma	19
1.3. Yalıtım	20
UYGULAMA FAALİYETİ	23
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	24
ÖĞRENME FAALİYETİ - 2	27
2. GAMA KAMERA CİHAZLARI	27
2.1. Kullanım Amaçları	27
2.2. Yapısı ve Çalışması	28
2.2.1. Yapısı	28
2.2.2. Çalışması	28
2.3. Kurulum ve Kullanım Yeri Özellikleri	29
2.4. Gama Kamera Cihazları İçin Gerekli Tesisat ve Alt Yapı	29
2.5. Fiziki Ortamın Gama Kamera Cihazlarına Etkileri	29
2.6. Farklı Cihaz ve Malzemelerin, Gama Kameralarının Çalışmasına Etkileri	30
UYGULAMA FAALİYETİ	31
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	32
ÖĞRENME FAALİYETİ - 3	35
3. GAMA KAMERA CİHAZININ NAKLİ	35
3.1. Gama Kamera Sistemlerinin Parça ve Aparatları	35
3.2. Uygun Ambalajlama, Etiketleme Kuralları ve Taşıma Aparatları	37
3.3. Cihazı Taşımak İçin Kullanılan Malzeme ve Nakil Araçları	41
UYGULAMA FAALİYETİ	0
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	45
MODÜL DEĞERLENDİRME	47
CEVAP ANAHTARLARI	50
KAYNAKÇA	52

AÇIKLAMALAR

KOD	523EO0226
ALAN	Biyomedikal Cihaz Teknolojileri
DAL/MESLEK	Tıbbi Görüntüleme Sistemleri
MODÜLÜN ADI	Nükleer Tıp Üniteleri
MODÜLÜN TANIMI	Gerekli ortam sağlandığında teknik ve idari şartnameler, kurumsal yönetmelikler ve yönergeler, cihazın marka modelinin CE marking direktifleri (Directive 93/68/EEC), TS 4535 EN 60601-1 (Elektrikli Tıbbi Cihazlar Bölüm-1 Genel Güvenlik Kuralları), standartları dahilinde nükleer tıp cihazlarının kurulum hazırlıklarını yapabilmek ile ilgili bilgi ve becerilerin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖN KOŞUL	Biyomedikal alan ortak modüllerini başarmış olmak
YETERLİK	Standartlar dâhilinde nükleer tıp ünitelerinin kurulum hazırlığını yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında teknik ve idari şartnameler, kurumsal yönetmelikler ve yönergeler, cihazın marka modelinin CE marking direktifleri (Directive 93/68/EEC), TS 4535 EN 60601-1 (Elektrikli Tıbbi Cihazlar Bölüm-1 Genel Güvenlik Kuralları), standartları dahilinde nükleer tıp cihazlarının kurulum hazırlıklarını yapabileceksiniz. Amaçlar 1. Nükleer tıp cihazlarının kurulum alanlarının özelliklerini bilerek standartlara uygun olarak yalıtım kontrollerini yapabileceksiniz. 2. Nükleer tıp cihazlarının kullanım özelliklerine ve yapılarına göre servis el kitabındaki talimatlara uygun olarak yer ve tesisat kontrollerini yapabileceksiniz. 3. Nükleer tıp cihazlarından gama kameraların, servis el kitabına göre parçalarını taşıma aparatları ile güvenli taşınmasını sağlayabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Tıbbi görüntüleme sistemleri dal atölyesi, hastanelerin nükleer tıp servisleri, teknik servislerin nükleer tıp cihaz kurulumu- nakil birimleri Donanım: Şartnameler, yönetmelikler, yönergeler, servis el kitabı, metre, nemölçer, sıcaklıkölçer, ışıölçer, gürültü (parazit) ölçer, mekân planı.

**ÖLÇME VE
DEĞERLENDİRME**

- Her faaliyet sonrasında o faaliyetle ilgili değerlendirme soruları ile kendi kendinizi değerlendireceksiniz.
- Modül sonunda uygulanacak ölçme araçları ile modül uygulamalarında kazandığınız bilgi ve beceriler ölçülerek değerlendirilecektir.



GİRİŞ

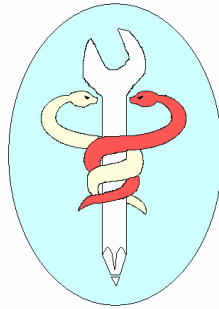
Sevgili Öğrenci,

Tıbbi görüntüleme sistemlerinde, nükleer tıp önemli bir yer tutar. Radyonüklid görüntüleme, tıpta radyoaktivitenin en önemli uygulama alanlarından biridir. Radyonüklid görüntülemenin amacı, bir hastaya intravenöz enjeksiyon yoluyla radyoaktif madde verildikten sonra vücut içerisinde bu radyoaktif madde ile işaretlenen organ ya da organlardaki dağılımının görüntüsünü elde etmektir. Görüntü, salınan gama ışınlarının alınması ve işlenmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu görüntünün oluşturulmasında kullanılan ünite gama kamera olarak adlandırılır.

Nükleer tıp ünitelerinin öncelikle yapısı hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Hangi alanlardan oluştuğu, çalışma ortamı, ne tür cihaz ve aletlerin bulunduğu, havalandırma ve yalıtımın nasıl yapıldığının bilinmesi gerekir. Yalıtım konusunda çok dikkatli olunmalıdır. Herhangi bir radyoaktif sızıntıda hastalar ve çalışanlar zarar görebilir. Kurulum yapılacak olan laboratuvar için TAEK tarafından gerekli izinler alınması gerekir. Gama kamerasının bulunduğu ortamda nelerin cihaza ve parçalarına zarar verebileceği dikkate alınarak ortamda ona göre gerekli önlemler alınmalıdır.

Gama kamera sisteminin parçalarını ve aparatlarını güvenli taşıyabilmek için uygun ambalajlama ve etiketleme çok önemlidir. Ambalajlamada nelere dikkat edilmesi gerektiği ve taşınma sırasında cihaz ile parçalarının zarar görmemesi için hangi aparat ve etiketlerin kullanılacağı bilinmelidir. Nakil sırasında mesafeye göre araç seçimi yapılmalı ve sandıklara konulan parçaların yüklenmesi ve boşaltılması sırasında gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu modül, gerekli ortam sağlandığında teknik ve idari şartnameler, kurumsal yönetmelikler ve yönergeler, cihazın marka modelinin CE direktifleri TS 4535 EN 60601-1 standartları dâhilinde nükleer tıp cihazlarının kurulum hazırlıklarını yapabilme bilgi ve becerisini vermeyi amaçlamaktadır.



ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Nükleer tıp cihazlarının kurulum alanlarının özelliklerini bilerek standartlara uygun olarak yalıtım kontrollerini yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Nükleer tıp cihazlarının kurulum alanları hakkında bilgi toplayınız. Bu bilgilere firmalardan, üniversitelerden ve çevrenizdeki hastanelerden ulaşabilirsiniz.
- Yalıtım kontrolleri yapılırken nelere dikkat edilmesi gerektiğini araştırınız.

1. NÜKLEER TIP ÜNİTELERİ

1.1. Nükleer Tıp Ünitesinin Yapısı

Nükleer tıp ünitesinin bölümlerinin güvenli etkin ve ekonomik işlevi açısından yerleşiminin planlı yapılması gereklidir.

Yerleşim planlamasında hasta potansiyeli en belirleyici etkindir. Orta büyüklük olarak tanımlanan 600 yataklı bir hastane içinde kurulacak bir nükleer tıp bölümünün tanımlanmasını yapabiliriz.

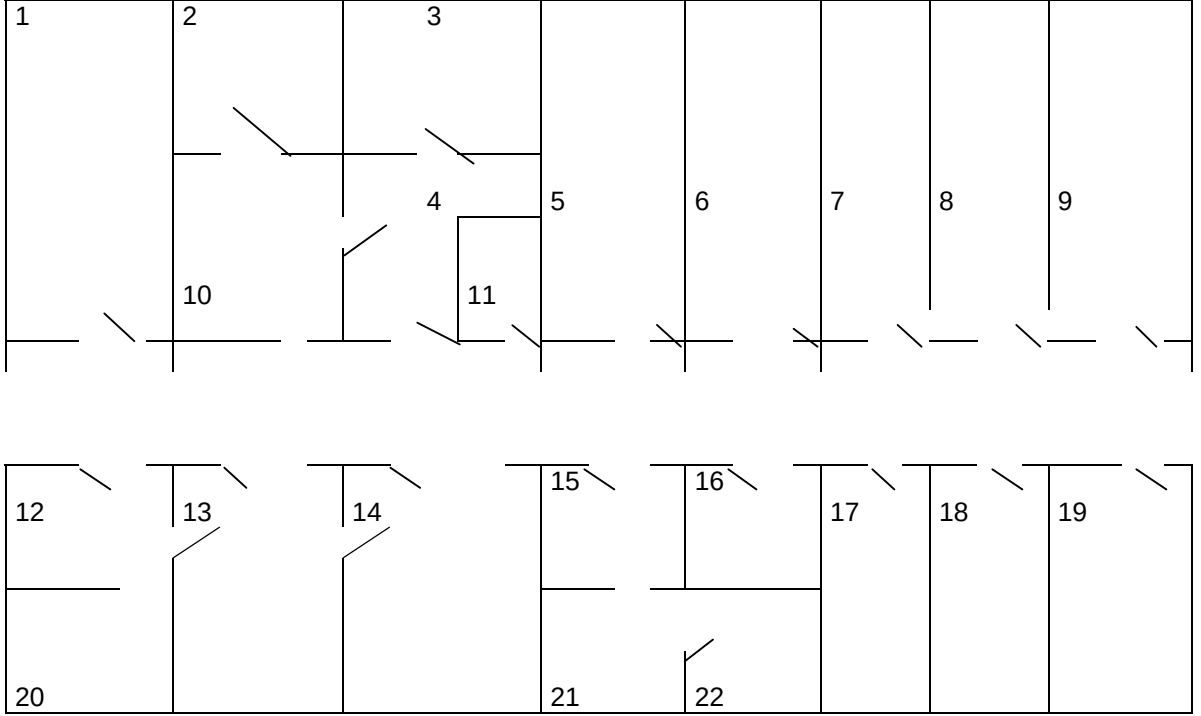
Ölçeksiz olarak sadece yerleşim planını gösterir nükleer tıp bölümünün temel dizaynı Şekil 1.1’de verilmiştir.

Nükleer tıp bölümü, radyasyon düzeyi olasılığına göre üçe ayrılır:

Soğuk alanlar

Bu alanlar, halka açık alanlar olup hasta refakatçileri ve ziyaretçiler serbestçe dolaşabilirler. Radyoaktif madde içeren materyal ya da kaynak veya radyoaktif madde almış olan hastalar bu alanlarda dolaşamaz. Bu alanlarda bekleme salonu, danışma ve çeşitli ofisler bulunur.

Bu alanlarda yıllık birikmiş doz 100 miliRem’den fazla olmamalıdır. Hekim odaları, fizikçi, şef teknisyen ve kontrol odalarını kapsayan bu alanlarının bulunduğu bölümlerde herhangi bir radyoaktif madde hazırlanması, depolanması ve uygulanması yapılmaz. Bu alanlarda ışınlama dozu seviyesinin background seviyesinde tutulmasına özen gösterilir.



Şekil 1.1: Bir nükleer tıp bölümünün temel dizaynı.

(Soğuk alanlar solda ve girişe yakın, ılık ve sıcak alanlar sağdadır. 1.Bekleme salonu, 2.Hekim odası, 3.Hekim odası, 4.Sekreter, 5.Konferans salonu, 6.Akciğer görüntüleme, 7.Kalp görüntüleme, 8.Böbrek görüntüleme, 9.Diğer görüntüleme, 10.Resepsiyon, 11.Tuvalet, 12.Gamma sayıcı, 13.Radyoassay, 14.Tiroid uptake, 15.Kontrol, 16.Karanlık oda, 17.Ana bilgisayar, 18.Atık depolama, 19.Sıcak oda, 20.Bilgisayar, 21.Şef teknisyen, 22.Fizikçi odası)

Ilık alanlar

Genellikle mikroküri-miliküri seviyesinde radyoaktivite içeren alanlardır. Örneğin tiroid uptake uygulama odası, radyoassay laboratuvarı (her test tüpünde 10-100 nanoküri aktivite), sayım odaları bu sınıflamada düşük seviyeli radyasyon içerdiklerinden ılık alanlar grubuna girerler.

Bu alanlarda günlük kullanımda miliküri seviyesinde radyoaktivite bulundurulabilir. Örneğin görüntüleme odaları yüksek seviyeli ılık alanlar grubuna girer. Bu alanlarda bir uygulamada genellikle 0,3 miliküri – 30 miliküri aktivite miktarları ile çalışılır.

Sıcak alanlar

Sıcak alanlar birkaç yüz mikroküriden, birkaç yüz miliküriye kadar aktivite içerir. Örneğin radyofarmasi laboratuvarları, aktivite depolama odaları bu sınıflamaya girer. Sıcak

laboratuvarlarda radyofarmasötikler hazırlanır, kalite kontrol testleri yapılır. Sıcak laboratuvar olarak bilinen radyoaktif maddeleri bekletme ve hazırlama odaları genellikle laboratuvarın köşe bir yerinde bulunur. radyoaktif maddeleri bekletme odaları ise, hastane dışına yakın ya da hastane dışında olmalıdır.

Nükleer tıp alanları, fonksiyonları itibariyle aşağıdaki şekilde adlandırılabilir:

- Görüntüleme odaları
- Radyofarmasi veya sıcak laboratuvar
- Hastalara radyofarmasötik enjeksiyon odası
- Bekleme odası ve danışma
- Yüksek dozlu I-131 almış hastaların gözetim odası
- Radyoimmunoassay laboratuvarı (RIA)
- Sayım odaları
- Tiroid uptake odası
- İş İstasyonu (rapor odası)
- Radyoaktif atıkların bekletildiği yerler

1.1.1. Görüntüleme (Kamera) Odaları

Bu alanların bakımından, hasta giriş çıkışlarının ve ziyaretçilerin kontrolünden ilgili tekniker sorumludur. Gama kameralar ile diğer görüntüleme cihazlarının kalite kontrolü ve kalibrasyonu ile nükleer tıp bölümünün radyoaktivite seviyelerinin denetiminden ilgili nükleer tıp fizikçisi sorumludur.

1.1.1.1. Eğitim Hastaneleri İçin

Bulunması gerekli olan aletler

- Gama kamera (NEMA standartlarına uygun SPECT sistemi)
- Kolimatörler (LEAP, Pinhole, LEHR ve HEPH kolimatör)
- Flood ve bar fantom, SPECT performans fantom
- Kurşun paravan (en az 2 mm) veya hasta ile çalışan arasında kurşun bölmeli 2 mm kurşuna eş değer kalınlıkta camlı oda
- Kurşun önlük
- Akciğer ventilasyon sistemi
- Tiroid iyot uptake cihazı
- Film banyo makinesi veya yazıcı
- Klima ve havalandırma sistemi
- Acil müdahale seti
- Efor sistemi (treadmill bandı veya ergometri)
- Defibrilatör
- Trigger aleti
- İnfüzyon pompası (farmakolojik stres testi yapılıyorsa)

Tercihe bağlı aletler

- Orta enerji paralel delikli kolimatör (In-111 ve Ga-67 çalışmaları yapılacaksa zorunlu)

- Gama probe
- Kuyu tipi beta sayacı
- PET sistemi

1.1.1.2. Eğitim Vermeyen Devlet Hastaneleri İçin

- Gamma kamera (NEMA standartlarına uygun olmalıdır ve SPECT yapılabilmesi)
- Kolimatörler (LEHR ve Pinhole kolimatör)
- Flood fantom ve bar fantom, SPECT performans fantom
- Kurşun paravan (en az 2mm)
- Kurşun önlük
- Film banyo makinesi veya yazıcı
- Klima ve havalandırma sistemi
- Efor sistemi (Treadmill bandı veya ergometri) “Miyokard perfüzyon sintigrafisi çalışması yapılacaksa”
- Defibrilatör
- Acil müdahale seti

1.1.1.3. Özel Laboratuvarlar

- Gama kamera (NEMA standartlarına uygun Planar sistem olabilir, SPECT sistemi önerilir)
- Kolimatörler (LEHR ve Pinhole kolimatör) “Tiroid sintigrafisi çekiliyorsa, In-111 ve Ga-67 çalışmaları yapılacaksa HEPH ve MEPH kolimatör”
- Flood ve bar fantom, SPECT performans fantomu
- Kurşun paravan (en az 2mm)
- Kurşun önlük
- Film banyo makinesi veya yazıcı
- Klima ve havalandırma sistemi
- Efor sistemi (Treadmill bandı veya ergometri) “Miyokard perfüzyon sintigrafisi çalışması yapılacaksa”
- Defibrilatör
- Acil müdahale seti

1.1.2. Radyofarmasi veya Sıcak Laboratuvar

Sıcak oda, radyofarmasötiklerin hazırlandığı yer olup güçlü karbon filtreli çeker ocak ve laminar flow kabini bulunmalıdır. Çalışma bankoları, lavabo ve dekontaminasyon için duş olmalıdır (Şekil 1.2). Ancak, bazı hastanelerde birden fazla radyofarmasi odası vardır.

Radyofarmasötiklerin üretimi ve otolog(kişinin kendi kanından alınmış kök hücrelerin kişiye geri verilmesi) bağlı radyofarmasötiklerin üretimi radyofarmasi laboratuvarında yapılır. Nükleer tıp ünitesindeki sıcak odada kullanıma hazır radyofarmasötikler bulunur. Bu laboratuvar yüksek miktarda radyoaktivite içerir. Radyofarmasötik jeneratörlerin kabulü, kullanılacak tüm radyoaktif maddelerin depolanması, jeneratörlerin süzülmesi(sağım),

raduyofarmasötik preparatlarının hazırlanması ve kalite kontrollerinin yapılması, burada yapılan tüm işlemlerin kayıtlarının tutulması burada yapılmaktadır.

1.1.2.1. Bulunması Zorunlu Aletler

- Çalışma kabini (modülü)
 - Paslanmaz çelik çalışma yüzeyi bulunacak.
 - Aspiratör ve karbon fitreli çeker ocak bulunacak.
 - İyi bir aydınlatma sistemi bulunacak.
 - Kırılmalı tipi geçmeli standart duvar tipi kurşun (5 cm kalınlıkta) tuğladan oluşacak.
 - Çalışma kabini alt modülü: paslanmaz çelikten yapılmış olacak.
 - L tipinde yapılmış olacak.
 - Kurşun camlı göğüs zırhı bulunacak.
- Kurşun zırhlı çöp kutusu (en az 2 mm)
- Şırınga için kurşun koruyucu zırh (farklı volümlerde)
- Kurşun korumalı enjektör kabı (en az 3 mm). Radyofarmasi/sıcak odada işaretlenen kitlerin kurşun korunmalarının üstüne kitin adı, hazırlanış saati, aktivitesi ve hacmi yazılmalıdır. Bu vialler (küçük şişe) kapakları kilitlenebilen kurşun kaplar içinde saklanmalıdır.
- Doz kalibratörü
 - İyon odası prensibi ile çalışmalı.
 - Molibden-99, Teknesyum-99m, İyot- 131, Galyum-67, İndium-111, Talyum-201, Stronsiyum-89 ve Kobalt-57, Kobalt-58 ölçümü yapabilmeli.
 - Curie ve Becquerel cinsinden ölçüm yapabilmeli.
 - Aktiviteyi etiket olarak yazdırabilmeli.
 - Programı background düzeltmesi, sıfırlama ve belli sınırlar arasında ayarlama yapabilmeli.
- Kalibratör referans kaynak seti
 - 5 miliCi Co-57
 - 200 mikroCi Cs-137
 - 250 mikroCi Ba-133 (tercihe bağlı)
- Survey meter
 - İyon odası Geiger Müller bölgesinde çalışmalı.
 - Pille çalışabilmeli.
 - Elle taşınabilir olmalı (Taban ve çalışma alanlarının kontaminasyon kontrolleri için).
 - 0-1 R/saat arasında ölçüm yapabilmeli.
 - 1.0 mikroCi Cs-137 kontrol kaynağı ve kontrol kaynak tutucusu ile birlikte (tercihe bağlı)

- Cep dozimetresi
 - Digital olmalı.
 - Toplam radyasyon ışınlamasını 1 R kadar gösterebilmelidir.
- Radyoaktif kontaminasyon temizlik sıvısı
- Kurşun folyo 0,76 mm' lik (tercihe bağlı)
- Santrfüj (lökosit, eritrosit vb hücre işaretleme çalışması yapılan eğitim hastaneleri için)
- Laminar flow sitometri (lökosit, eritrosit vb hücre işaretleme çalışması yapılan eğitim hastaneleri için)

1.1.2.1.1. Çalışma Modülleri

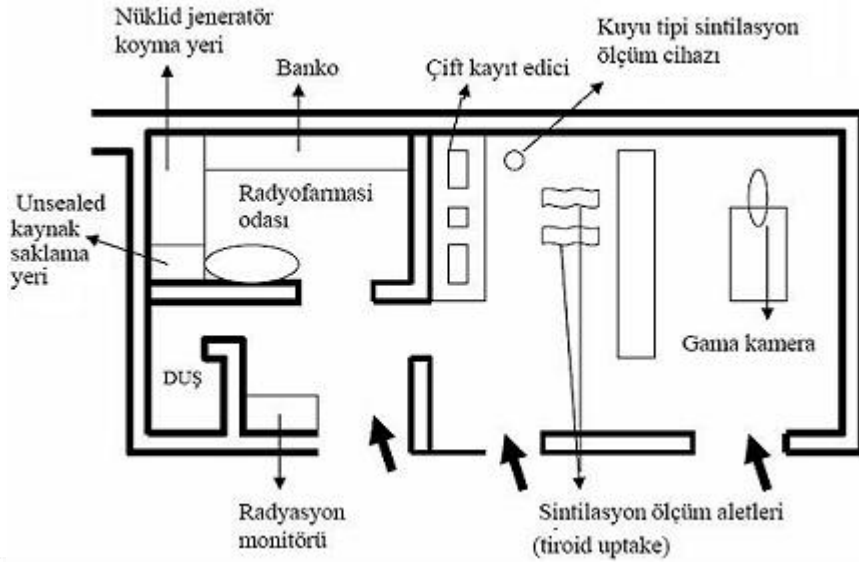
Üç tip çalışma modülü vardır:

- Glove box: Uçucu olmayan radyofarmasötiklerin düşük aktiviteleri için kullanılabilir. Bunlar sıklıkla alfa ve beta yayıcılar için kullanılır. Gerekirse kurşun zırhlama yapılır. Daima eldiven ile çalışılır; eldivenler kullanıldıktan sonra atılmalı ve yıkayıp tekrar giyilmemelidir. Radyoaktif maddeyi tutmak için maşa, pens, şişe açacağı gibi aletler “sealed” kaynaklarla çalışırken önerilir. Özellikle yüksek aktiviteli kaynakların tutulmasında önemlidir. Kurşun bloklar, eldiven ve tutucu aletlerin kullanılması kadar sıcak odada uyulması gereken kuralları vardır. Bunlar: “Sigara içilmez.”, “Hiçbir şey yenilip – içilmez..” “Çalışma alanları temiz-düzenli olmalıdır.” “Düzenli kontaminasyon testleri yapılmalıdır.” Radyoaktif maddeler vialden ağız pipeti yolu ile çekilmez, çünkü kaza ile radyoaktif madde yutulabilir. Sıcak odada çalışan kişiler laboratuvarında kıyafet değiştirmeli, hastanede giydikleri kıyafet ayrı olmalıdır. Bu, çevreye bulaşma olasılığını en aza indirir.
- Slit box, class I “air contained” glove box: Bir veya daha fazla çalışma alanı içerir. Kullanılmadıkları zaman aşağı inen kapak ile kapatılır ve hava girişi küçük filtreler aracılığı ile önlenir. Böylece ünite kullanılmadığı zaman hava akımı sürerken kontaminasyon en aza iner. Bu slitler neopren zırh eldiveni ve taşıyıcılarla ağızlaştırılmış “slide”lar da taşıyabilir. Bu “class I” tipi kapalı ünite ön paneli değiştirilerek “sealed class III” tipine dönüştürülebilir.
- Sealed class III tipi: Kılıflı kapalı sistemdir. Hava akımını sağlamak için iç havalandırma sistemi vardır. Yüksek etkinlikte partiküler hava filtreleri aracılığı ile hava desteği ve temizlenmesi sağlanır.

1.1.2.2. Bulundurulması Tercihe Bağlı Aletler

- Enjeksiyon standı (Radyonüklid enjeksiyonu için yüksekliği ayarlanabilen saydam plastikten yapılmış, kol desteği birimi 180 derece dönebilecek şekilde, taşınabilir.)
- Kurşun camlı gözlük

- Radyasyona dirençli eldiven (7,5 ve 8,5 numara)
- Kurşun folyo 0,76 mm' lik (yeni kurulacak ünite için gerekli)
- Alan monitörü (Zorunlu olmasa da kuvvetle tavsiye edilir. Laboratuvar kapısına yakın yerleştirilmeli ve sabit olmalıdır. Bu monitör, odadan ayrılmadan önce kıyafet ve ellerin kontrolü için kullanılır. Üzeri şeffaf plastik kaplı olmalı ve alarm sesi açık olmalıdır. Monitör ellenmemelidir, çünkü kişi kontamine olmuşsa monitörü de kontamine edecektir.)



Şekil 1. 2: Dünya Sağlık Örgütü'nün önerisine göre düzenlenmiş tanısal amaçlı küçük bir nükleer tıp ünitesi ve sıcak oda planı

Kurşun koruyucu zırh ve enjektör kabından başka, sıcak odadaki diğer kurşun kaleler çalışma modülü içinde ve bankolar üzerine kurşun bloklarla oluşturulabilir. İçleri, kolay dekontaminasyon için çelik veya laminat ile kaplanır. Kurşun camlı L-tipi zırhlar, radyofarmasötik hazırlarken lensi korumak ve yüze sıçramaları önlemek için gereklidir.

1.1.2.3. Radyofarmasi Bölümlerinde Uyulması Gereken Prensipler

Radyofarmasi laboratuvarları nükleer tıp birimi içinde denetimli alanlar olup radyasyon dozimetrisi kullanılması zorunludur ve radyasyon konusunda eğitilmiş kişilerin girmesine izin verilir. Bu alanlarda çalışma sırasında uyulması gereken kurallar bir yönerge ile tanımlanmalıdır (Tablo 1.1).

Genel Prensipler	
1	“Unsealed” radyoaktif ürünlerin kullanımında tüm personel iyi eğitilmiş olmalıdır.
2	Çalışma işlemleri alandaki kontaminasyonu en aza indirmeye yönelik olmalıdır.
3	Çalışma alanına yenilip içilebilecek hiç bir şey sokulmamalı, buzdolabında depolanmamalı, sigara paketi açılmamalıdır.
4	Bez mendil kullanımı yasaktır, kağıt havlu kullanılmalıdır.
5	Derideki herhangi bir kesik veya çizik laboratuvara girmeden önce suya dayanıklı yapışkan bantlar ile kapatılmalıdır.
6	Duvarlar, taban ve tavan ve odadaki tüm donanım kontaminasyonu mümkün olduğu kadar düşük düzeyde tutmak için yeterli sıklıkta temizlenmelidir.
7	Uygulanacak radyoaktif solüsyonların adı, kimyasal formu ve verilme tarihi ve zamanı açık olarak yazılmalıdır. “miliCurie” ve “mikroCurie” deyimleri hataları önlemek için açık yazılmalı kısaltma kullanılmamalıdır.
8	Eğer radyoaktif iyodun herhangi bir formu veya 185 MBq (5 miliCi) den fazla Tc-99m uygulanacaksa hastanın radyasyon dozunu azaltmak için tiroit bezini bloke eden ajan verilmelidir.
9	Radyoaktif gazlar veya aerosoller uygulandığı zaman exhale (ortamın dışına transfer) edilen hava doğrudan binanın dışına iletilmelidir.

Tablo 1.1: Radyofarmasi laboratuvar ve bölümlerinde uyulması gereken genel prensipler

1.1.2.4. Radyofarmasi Odasında Radyasyon Güvenliği

Radyoizotoplarla çalışırken aşağıdaki genel güvenlik önlemleri alınmalıdır.

- Radyoaktif madde ile çalışırken eldiven giyilir. Laboratuvar kıyafetleri, tek kullanımlık eldiven galoş ve koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Laboratuvardan ayrılırken kıyafetler çıkarılır.
- Eldivenler sık değiştirilir.
- Radyoaktif madde taşıyıcı kaplar üzerine radyofarmasötik adı ve aktivite miktarı yazılmalıdır.
- Radyoizotoplarla çalışırken yemek, içmek yasaktır.
- Madde hazırlarken yutma riskini azaltmak için pipet veya absorban materyal kullanılır.
- Buharlaşma ve gaz salma özelliği olan maddeler havalanması yeterli ortamda tutulmalı ve taşınmalıdır.
- Radyoaktif atıklar uygun ortamda saklanmalıdır.
- Çalışma tamamlandıktan sonra çalışan personelin ve çalışma ortamının radyasyon ölçümleri alınmalı ve gerekirse dekontaminasyon işlemi yapılmalıdır.

- Önemli düzeyde bulaşma saptanırsa nükleer tıp uzmanı ve radyasyon güvenlik birimi bilgilendirilmelidir.

1.1.3. Hastalara Radyofarmasötik Enjeksiyon Odası

Hasta enjeksiyon odasında asgari aşağıdaki, aletler bulunmalıdır. Enjeksiyon odası, yeterli büyüklükte olmalıdır. Zorunlu olmamakla birlikte, radyonüklid enjeksiyonu için yüksekliği ayarlanabilen saydam plastikten yapılmış, kol desteği birimi 180 derece dönebilecek şekilde, taşınabilir enjeksiyon standının bulunması, enjeksiyon yapan personele çalışma kolaylığı sağlayacaktır.

- Oksijen tüpü
- Radyoaktif madde atık kabı
- Hasta muayene yatağı
- Çelik taşıyıcı (radyoaktif tedavi ve PET çalışmalarında gerekli)

1.1.4. Bekleme Odası ve Danışma

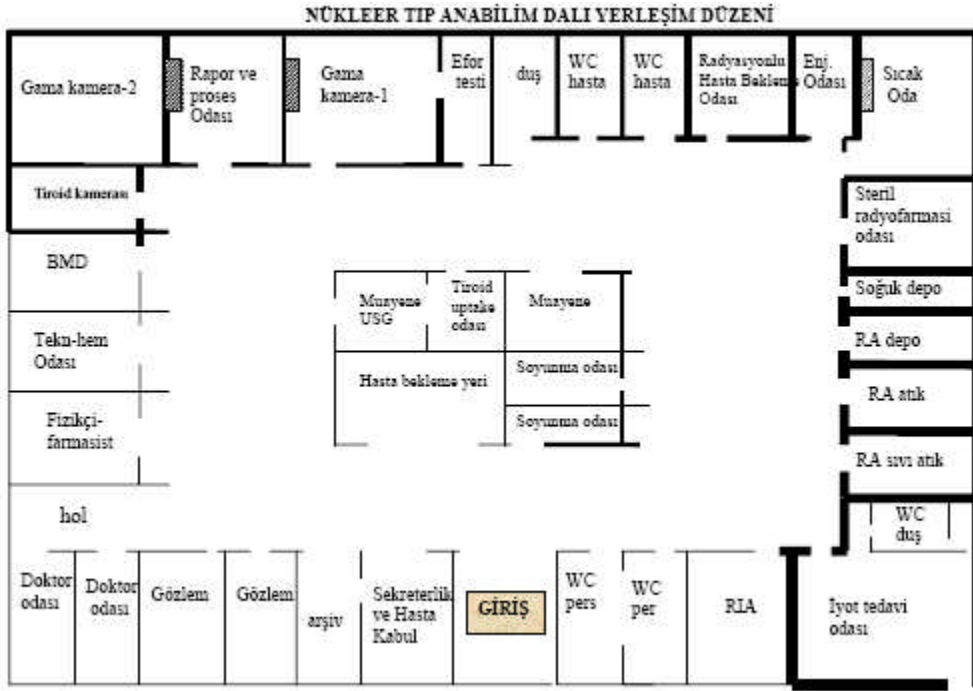
Danışma hastaların giriş çıkışlarına yakındır. Hasta ilk müracaatını danışmaya yapar. Danışma, hastanın isteğini kontrol odasına bildirir. Böylece nükleer tıp prosedürü başlamış olur. Danışma görevlisi hastayı alır, ya tedavi polikliniğine ya da görüntüleme alanına götürür. Bu alanlarda hiçbir şekilde radyoaktif madde bulundurulmaz. Işınlama dozu seviyesi 2 miliRöntgen/saat'ten fazla olmamalıdır.

1.1.5. Yüksek Dozlu I-131 Almış Hastaların Gözetim Odası

Yüksek doz I-131 uygulaması için özel donanımlı oda gereklidir. 800 MBq'in üstünde I-131 radyoaktif maddesi verilen hastalar vücuttaki radyoaktivite miktarı, 600 MBq'in ve hastadan 1 metre uzaktaki doz hızı, 30 mikroSievert/saat'in altına düşünceye kadar Kurum tarafından sıvı atık sistemi ve oda projesi uygun bulunan izolasyonlu ayrı bir odada bekletildikten ve hastanın özel koşulları değerlendirildikten sonra diğer kişilerle temasları ve radyasyon korunması ile ilgili alınacak önlemler sözlü ve yazılı talimatlar şeklinde imza karşılığı verilmek şartıyla taburcu edilir. Bazı Avrupa ülkelerinde ayaktan doz limiti 1100 MBq'dir.

1.1.5.1. İyot Tedavi Odası

Özel zırhlanmış tedavi odaları brakiterapide gerekir, ancak radyoaktif iyot tedavisinde özellikle doz uygulandıktan sonra ilk 2 gün iyodun idrarla atılmasından kaynaklanan bulaşma tehlikesi göz önüne alınmalıdır. Bunun için, hastane içinde uygun tedavi odası yapılmalıdır. Nükleer tıp bölümünde odaların yerleşimi yüksek aktiviteden düşük aktiviteye doğrudur. Yüksek aktiviteli hasta odaları koridorun bir bölgesinde düşük aktiviteli hasta odaları ise diğer tarafında toplanır (Şekil 1.3). 150 miliCi I-131 aktivitesi için kurşun zırhlı tek yataklı oda (lar) bulunmalıdır.

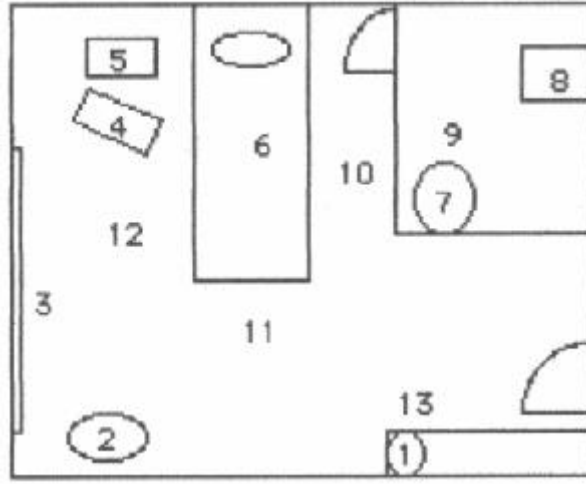


Şekil 1.3: Bir üniversite hastanesinde nükleer tıp anabilim dalı örnek yerleşim düzeni

1.1.5.1.1. Yeni Yapılacak İyot Tedavi Odası

Yeni yapılacak bir iyot tedavi odasının aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması gerekir.

- Tavan ve taban ile çalışma ortamlarını gören duvarlarda 1 cm'lik kurşun kaplama olmalıdır.
- Hastaya acil müdahale gerektiren durumlar için oksijen, aspiratör sistemi ile elektrik girişi olmalıdır.
- Uçucu I-131 radyoaktif maddesinin temizlenmesi için karbon filtreli ve alçak basınç oluşturan havalandırma sistemi olmalıdır.
- Sıvı ve katı atıklar ayrı taşıma sistemi ile radyoaktif atık deposuna girmelidir.
- Özel yapılmış radyoaktif sıvı ve katı atık bekletme deposu olmalıdır. Katı ve sıvı atıkların uzaklaştırılması ve yok edilmesi ile ilgili hususlar TAEK tarafından yayınlanan 02.09.2004 / 25571 sayılı Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik'le belirlenmiştir .



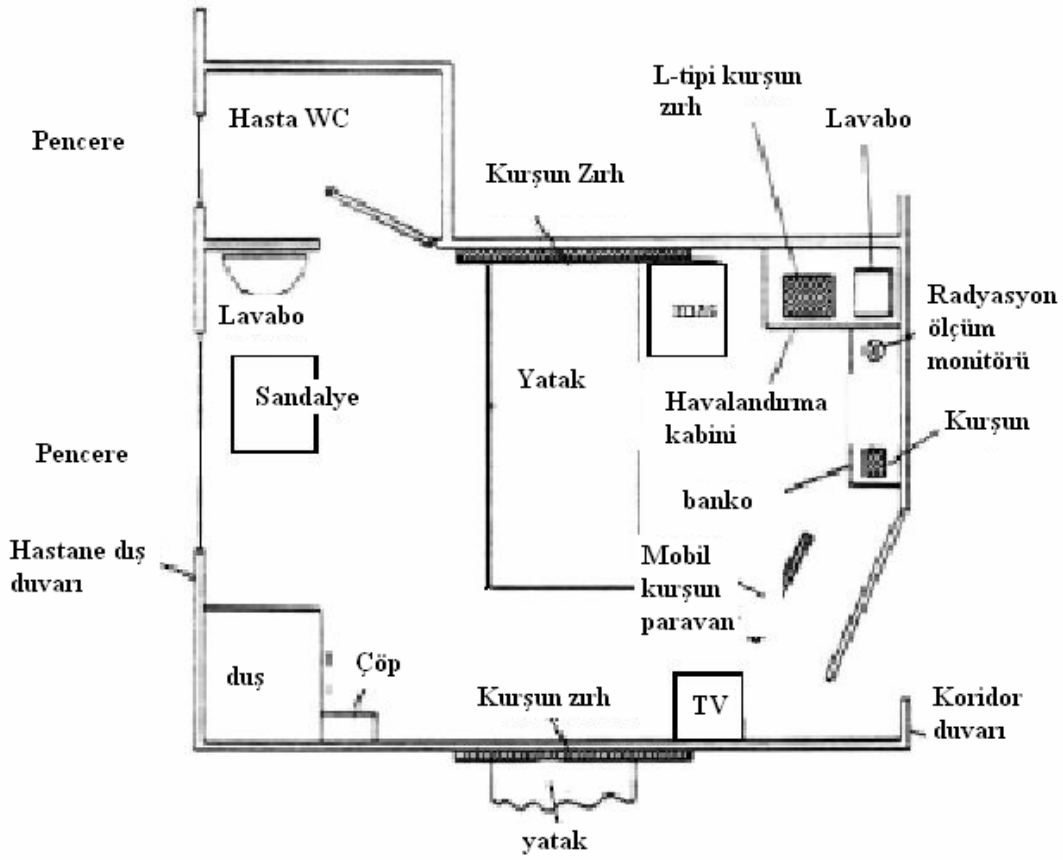
1. Alüminyum soyunma dolabı
2. Koltuk
3. Pencere (kurşun panjurlu)
4. Televizyon
5. Komidin ve telefon
6. Yatak
7. Tuvalet
8. Duş
9. Lavabo
10. Kurşun paravan

Şekil 1.4 : Yeni yapılacak iyot tedavi odası örneği

1.1.5.1.2. Varolan Bir Odanın İyot Tedavi Odasına Dönüştürülmesi

İdeal bir nükleer tıp tedavi birimi oluşturmak özellikle eski hastane binalarında zordur; hatta olanaksızdır. Eski hastanelerdeki odaların radyoaktif tedavi odasına dönüştürülmesi için yapılması zorunlu bazı düzeltmeler vardır (Şekil 1.4 ve Şekil 1.5). Örneğin;

- Hasta odasında tuvalet bulunmalıdır. Bu tuvaleti hastane çalışanları ve diğer hastalar kullanamaz.
- Pencereleer genel kullanım alanlarına açılmamalıdır.
- Odada, hava temizleme özelliği olan ve alçak basınç oluşturan havalandırma sistemi bulunmalıdır. Buharlaşan iyot-131'in yaydığı radyasyon korunmadan başka, hasta rahatı için de gereklidir.
- İyot-131 tedavisi için hazırlanan bazı odalar yeterli korumaya sahip olamayacaktır. Yatağın altı, duvar tarafı ve odanın doğrudan yatak üzerine denk gelen tavanına kurşun zırh eklenebilir.
- Hareketli kurşun paravan koridorda ışınlamayı azaltmak için yatak ve kapı arasına yerleştirilebilir.
- Odanın tabanı, en azından yatağın bulunduğu alan, hastadan olabilecek bulaşmayı önlemek için tek kullanımlık örtü ile kaplanır.
- Oda kapısında radyasyon alanı işareti bulunmalıdır.



Şekil 1.5: Var olan bir odanın iyot tedavi odasına dönüştürülmesi

Var olan bir oda iyot tedavi odasına dönüştürüldüğü zaman, tedavi odası radyoaktif maddenin hazırlandığı ve saklandığı laboratuvarından uzakta bulunabilir. Radyoaktif kaynağın tedavi odasına iletilmesinde asansör gibi halka açık alanların kullanılması gerekebilir. Bu durumda, iyot tedavi odası içinde kurşun kaplı ve havalandırması iyi olan kilitli dolap oluşturulur ve radyoaktif madde ve radyoaktif atıklar burada saklanır (Şekil 1.5).

1.1.5.2. Yüksek Doz I-131 Tedavisi Sırasında Radyasyon Güvenliği

Radyonüklid tedavi uygulanması durumunda hemşire ve hastanın radyasyon güvenliği açısından dikkat edilmesi gereken kurallar aşağıda verilmiştir.

1.1.5.2.1. Hemşirenin Korunması

Radyoaktif iyot tedavisi sırasında hemşire hem hastadan hem de kendisinin iyot-131 ile temasından dolayı radyasyona maruz kalabilir.

- Hemşirenin hasta bakımı için harcayacağı zaman radyasyondan ışınlama riskini azaltmak için sınırlandırılmalıdır.

- Radyonüklid uygulanıp radyasyon maruziyeti dozu ölçülür ölçülmez sorumlu personel (radyasyon korunma görevlisi) ziyaretçilere sınırlamalar ve özel hemşirelik işlemleri için gerekli radyasyon işaretlerini koymalıdır.
- Hamile hemşireler radyoaktif tedavi alan olguların bakımından sorumlu olmamalıdır.
- Özel bakım hemşiresi radyasyon güvenlik sorumlusu tarafından onaylanmadıkça ayda birden fazla radyoaktif hasta ile ilgilenmemelidir.
- I-131 uygulanan hasta tükürük salgısı ile yemek tabağına bulaş yapabilir. Kullandığı malzeme birkaç gün için ayrılmalı veya tek kullanımlık malzeme kullanılmalıdır.
- Yatak örtüleri, kullanılan malzemeler nükleer tıp personeline toplanmalı ve radyasyon dozu izlenmelidir.
- Hastaya acil müdahale gerektiği durumda hemen nükleer tıp hekimine haber verilmelidir.
- Ölçüm için idrar toplanması gerektiğinde, özel kap sağlanmalı ve hasta çoğunlukla sabit olmadığı için bu kabı yanında bulundurulmalıdır. Eğer hemşirenin idrar örneği alması gerekirse eldiven giymelidir. Eldivenler çıkarılmadan mutlaka yıkanmalı ve eldiven çıkarıldıktan sonra eller tekrar yıkanmalıdır.
- I-131 uygulanan hasta kusarsa ve uygulamadan sonra ilk 48 saat içinde inkontinans(idrarını tutamaz hâle gelmesi) olursa, aşırı terlerse yatak örtülerinde ve hatta oda tabanında bulaş olabilir. Bu gibi acil durumda radyasyon güvenlik sorumlusuna dekontaminasyon işlemi sırasında bulunması için hemen haber verilmelidir. Bulaşı önlemek için oda içinde ve hasta müdahalesi sırasında eldiven , önlük, galoş vb. kullanılmalı; kullanılan malzeme ile genel alanlarda dolaşılmalıdır.

1.1.5.2.2. Hastanın Korunması

“Unsealed” radyoaktif kaynaklar ile tedavide uyulması gereken kurallar radyasyon ile ilgili birimler tarafından tanımlanmıştır.

- En önemli kural tedavi ve tanı için doğru radyoaktif maddenin uygulanmasıdır.
- “Unsealed” radyoaktif kaynak tedavisi uygulanan olgular genel serviste bulunmamalıdır.
- Radyofarmasötik kalite kontrolü önemlidir. Tedavide kullanılan radyofarmasötikler genelde üretici firma tarafından kalite kontrolleri yapılarak hastaneye ulaştırılır.
- Uygulama anında hasta üzerine bulaşma olmamasına dikkat edilmelidir. Kapsül formunda iyot-131 ile dökülme riski yoktur. Eğer sıvı formda iyot –131 içirilirse veya intravenöz uygulanacaksa önlem alınmalıdır.
- Radyoaktif tedavi uygulanan hastaların tuvalet ve banyosu diğer hastalardan ayrı olmalıdır.
- Oda, çalışanlar için koruyucu örtü ile kaplanmalıdır.
- Oda hazırlığı ve temizliğinde uyulması gerekli kurallar radyasyon güvenlik komitesi, radyasyondan korunma sorumlusu ve sorumlu klinik hemşiresi

- gözetiminde belirlenmelidir. Bu kurallar tüm klinik hemşireleri ve temizlik elemanlarına anlatılmalıdır.
- İyot içirilmeden önce 6 saat ve sonrasında 2 saat oral beslenme yasaklanır.
 - Nükleer tıp personeli hastanın radyasyon doz miktarını iyot içirildikten 24 saat sonra kontrol etmeli ve ne zaman hastaneden çıkarılabileceğini saptamalıdır.
 - Tuvalet kullanıldıktan sonra 2-3 kez bol su dökülmelidir.
 - Tek kullanımlık malzeme kullanılmasına dikkat edilmelidir.
 - Eğer yüksek aktivite uygulandı ise, acil olmayan hemşirelik hizmetleri hastadaki aktivite azalana dek ertelenmelidir. Enjeksiyondan sonraki ilk 2 gün kontamine yatak örtüsü, çarşaf, havlu vb. hasta malzemeleri ile temastan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
 - Radyoaktif tedavi alan olguların bulunduğu odalarda ve yataklarda radyasyon uyarı işareti bulunmalıdır. Radyoaktif kaynağın adı, aktivite miktarı, uygulama tarih ve saati, uygun hemşirelik hizmetleri hasta yatağındaki tabelada yazılmalıdır.
 - Hamile personel iyot tedavi odasında görevlendirilmemelidir.
 - Kontamine hasta materyallerinin (çarşaf, kıyafet, tuvalet temizliği vb.) uzaklaştırılması sırasında koruyucu önlük, eldiven ve galoş giyilmesi zorunludur.
 - Bulaşmayı mümkün olduğunca azaltmak ve çalışanları radyasyondan korumak için servis ve oda yeterli sıklıkta temizlenmelidir.
 - Nükleer tıp radyasyon görevlisi hasta çıkarılıp “temiz” raporu verdikten sonra yardımcı personel odanın temizlenmesi için odaya girebilir.

1.1.6. Radioimmünassay Laboratuvarı (RIA) : Radyoaktif Serolojik Deney

İn-vitro tıbbi tanı metotlarından birisidir. Prensip olarak, ELİSA'nın(Anti-HIV “human immunodeficiency virus=insan bağışıklık yetmezlik virüsü” testi:kanda HIV antikorlu olup olmadığının tespiti için) aynısıdır. Yine bilinen bir antijen kullanılarak antikor tayini, ya da bilinen bir antikor kullanılarak antijen tayini yapılır. Yalnız burada antijen-antikor birleşmesinde, enzim aktivitesi yerine radyoaktif madde ile işaretli antiglobulin kullanılır ve radyoaktivite ölçümü yapılarak, sonuç tayini yapılır. Güvenilirlik, genelde ELİSA ile eş değerdir.

RIA’da, ELİSA gibi birçok alana uygulanabilmektedir. Ancak son zamanlarda, radyoaktivite nedeniyle, mümkün olduğu kadar RIA’dan uzaklaşma meyli güçlenmektedir. Bununla birlikte, güvenilirliğinin yüksek olması ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması yüzünden, hâlen yaygın sayılabilecek kullanım alanına sahiptir.

Başlıca, hepatit antijen ya da antikorları aranabilir. Hormon tayinlerinde hâlen başlıca yöntemdir. İlaç düzeyleri tayininde sık kullanılmaktadır.

Kullanılan radyoaktif maddelerin doz düzeyi çok düşük olduğundan, ekstra güvenlik önlemi alınmasına gerek yoktur.

Kan alımı bu odada yapılır. Hastalardan alınan kan örnekleri bu oda içinde in-vitro sayım için hazırlanır (santrifüj, serum ayırma ve pipetaj). Bu odalarda kanı alınan hastalar daha sonra nükleer tıp tetkiklerinin yapılması amacıyla görüntüleme alanına alınırlar. Hastalara radyofarmasötik enjeksiyonu, bazı merkezlerde bu odada kontrollü olarak yapılırken bazı merkezlerde görüntüleme odalarında, bazı merkezlerde de ayrı-özel enjeksiyon odasında yapılmaktadır.

1.1.7. Sayım Odaları

Radyoassay laboratuvarında sayıma hazır hâle getirilen kan örnekleri sayım odasındaki gama sayıcıda sayılır. Sonuçları otomatik olarak bilgisayara transfer edilir. Burada data işlenmesi yapılır, sonuçlar rapor hâline getirilir. Sayım odasındaki uygulamanın her kademesinde oda içinde bulunan gama sayıcısı, inkübatörler, buzdolapları, pipetler, ... vs. tüm aletlerin çalışmasından ve kalite güvenliğinden görevli tekniker sorumludur. Sonuçlar bu bölümle ilgili klinisyen tarafından alınarak değerlendirilir.

1.1.8. Tiroid Uptake Odası

Tiroid uptake, tiroit fonksiyonunu ölçen bir testtir. Tiroid bezi fizyolojisinde ilk adım iyod tutulum testidir. Bu test nükleer tıpta hasta başına her uygulamada 1-10 mikroküri radyoaktif iyod-131 kullanılarak yapılır. Hasta radyoiyodu içtikten sonra 2 ve 24. saatlerde ölçüm için çağırılır. Ölçümler probe tipi sintilatör gama sayıcı ile eksternal olarak yapılır. Görevli tekniker sonuçları özel bir kağıda kayıt eder. Değerlendirme için hekime gönderir.

1.1.9. İş İstasyonu(Rapor Odası)

Çekimi tamamlanmış hastaların görüntülerinin değerlendirildiği odadır. Bu odanın, çalışma-okuma şartlarını kolaylaştırıcı özellikte olması gerekmektedir. Uzman sayısı ile uyumlu olarak, yeterli bilgisayar ve yardımcı alet bakımından donanımlı olmalıdır.

1.1.10. Radyoaktif Atıkların Bekletildiği Yerler

1.1.10.1. Radyoaktif Atıkların Saklama ve Yok Edilmesi

- İğne, şırınga, vial, eldiven gibi radyoaktif madde ile bulaşmış materyal plastik torba ile kaplı çöp toplama kabında izole edilmeli ve diğer çöplerden ayrı imha edilmelidir.
- Bu kaplar üzerinde, DİKKAT! RADYOAKTİF MADDE uyarısı bulunmalıdır.
- Tüm tıbbi tanısal radyonüklidler kısmen kısa yarı ömürlüdür ve “düşük-düzey” atıklar olarak adlandırılır. Atık materyaldeki aktivite miktarı birkaç mikroCi’den birkaç yüz miliCi’ ye kadar (kullanılmış Molibden/Tc-99m jeneratörlerinde) değişebilir. Bu materyalin saklanması ile ilgili en basit yöntem kurşunlu odalarda depolanması ve geri-plan aktivite düzeyine ulaşana dek yıkılmaya bırakılmasıdır. Jeneratör hariç radyoaktif atıklar aktivite düzeyi geri-plan aktivite düzeyine indiği zaman standart atık olarak yok edilebilir.
- Radyoaktif atık deposunun kapısı kilitli olmalıdır.

- Kapıda uyarı işareti bulunmalıdır.
- Uygun zırlama yapılmalıdır. Zırlama sürekli depolama alanında < 2 miliSv/ saat ve geçici depolama alanında 1 metre uzaklıkta < 20 miliSv/ saat olacak şekilde yapılmalıdır.
- Radyoaktif atıkların kayıtları düzenli tutulmalıdır. Radyoaktif atıklar kuru atıklar (eldiven, gazlı bez, vb.), kesici-delici atıklar (iğne, bisturi ucu, lanset vb.), sıvı atıklar (hasta sekresyonlarını içeren sıvılar vb.) ve hayvan cesetleri diye gruplandırılır. Bunlar ayrı kaplarda saklanır ve imha edilir.
- Geri-plan aktivitesine ulaşmak için radyoaktif madde ile bulaşmış atıkların en az 10 yarı ömür bekletilmesi gerekir. Pratikte atıklar, “kısa” ve “uzun” yarı ömürlü olanlar diye ayrılır. Kısa yarı ömürlü olanlar ^{99m}Tc ve ürünleridir. Daha uzun yarı ömürlü maddeler ²⁰¹Tl, ¹¹¹In, ⁶⁷Ga’dır. ¹³³Xe ve ¹²⁷Xe de kısmen uzun yarı ömre sahiptir (sırası ile, 5.2 ve 36.4 gün). Kapalı solunum sistemlerindeki kömür yakalayıcılar önemli miktarda Xenon içerir ve uzun süre bekletilmelidir.

¹³¹I gibi uzun yaşam süreli bulaşmalar depolama için gereken süreyi iki katına çıkarabilir. Radyoaktif atık depolanırken miktarı ve tarih yazılmalıdır. En az 10 yarı ömür geçtikten sonra aktivite geri-plan aktivite düzeyine gelir. Eğer saptanan aktivite geri-plan aktivite değerinin üzerinde değilse atıklar o zaman normal atık olarak kabul edilir.

^{99m}Tc için 10 yarı ömürlük süre 60 saattir. Bu zaman içinde, radyoaktivite miktarı başlangıç değerinin yaklaşık % 0.09’una iner. Bu miktar geri-plan aktivite değerine eş değerdir. Fakat yoğun şekilde bulaşmış atıklar için daha uzun zaman gerekebilir.

1.1.10.2. Radyoaktif Atıklarının Sınıflandırılması

Atıklar fiziksel durumlarına göre ;

- Solid atıklar
 - Akıcı likit atıklar
 - Organik likit atıklar
 - Gaz atıklar
- olarak sınıflandırılır.

Hastanelerin kanalizasyonu aracılığı ile atılan maksimum radyoaktivite düzeyi 1 Ci / yıl olup kabul edilebilen maksimum doz sınırını aşmaz. Nükleer tıp bölümlerinden radyoaktif atıklar ya depolayarak kabul edilebilir düzeye inmesi beklendikten sonra kanalizasyona boşaltılarak veya yetkili atık toplama servisine aktararak uzaklaştırılır. Eğer atık likit formda ise sızıntıyı önlemek için emici materyal ile karıştırılarak metal kap içinde depolanır.

1.1.10.3. Radyoaktif Atıkların Enerji Düzeyine Bağlı Olarak Yapılan İşlemler

Radyoaktif atıklar bozunumları sırasında yaydıkları fotonlara göre farklı saklama ve yok edilme işlemine tabi tutulmalıdır.

1.1.10.3.1. Beta Parçacıkları Yayan Radyonüklidler ile İlgili İşlemler

Beta ışını yayan radyonüklidleri içeren materyalin saklanması sırasında uyulması gereken kurallar taşıma kuralları ile aynıdır. Saklama kabının üzerine radyonüklidin adı, aktivitesi, katı veya sıvı olduğu, paketleyen görevlinin adı ve tarih içeren etiket konmalıdır.

1.1.10.3.2. Gama ışını yayan radyonüklidler ile ilgili işlemler

Gama-ışınları daha penetran olup aşırı dozdan kaçınmak için radyoaktif madde içeren materyalin hazırlanması sırasında daha büyük dikkat gerekir. Doz yoğunluğunu azaltmak için iki yöntem uygulanabilir.

- Radyasyon kaynağı ve alıcı arasındaki uzaklığı artırmak: Radyasyon yoğunluğu nokta kaynağın hedefe uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Eğer kaynak nokta değil ise uzaklıkla yoğunluk azalması daha yavaştır.
- Radyasyon soğurucu bariyer yerleştirmek: Genelde en iyi X- ve gama ışını soğurucusu kurşundur. Radyasyon yoğunluğunu emniyetli bir düzeye indirmek için gereken kurşun kalınlığı radyonüklidin miktarına, kişinin kaynaktan uzaklığına, maruz kalma süresine ve maruz kalma hızına bağlıdır.

Radyoaktif madde taşıyan kişinin vücudu kurşun kılıf ile korunduğu hâlde el ve yüzü işlemler sırasında korunmayabilir. Bunun için pipetleme ve dilüsyon sırasında kesinlikle kapalı taşıyıcı kullanılmalı, pipetleme eller açık kaynak üzerine getirilmeksizin yapılmalı ve ağız yolu ile yapılmamalıdır. Forseps ve diğer aletler yeterli uzunlukta olmalıdır; ama hareket kabiliyetini kısıtlamamalıdır.

1.2. Havalandırma

İnsanlar hava kirliliğini oluşturan kirleticilere dış ortamda, iç ortamda ve iş ortamında maruz kalmaktadırlar. İç ortamda hava kirliliğinin dış ortama göre daha ciddi boyutlarda olduğu bilinmektedir.

Nükleer tıp bölümünün çok iyi bir havalandırma sistemine sahip olması gerekir. Soğuk alanların havalandırması sağlık kuruluşunun merkezi havalandırma sistemine bağlı olabilirken; ılık alanlar ile sıcak alanların havalandırma sisteminin bağımsız olması gerekir.

Radyoaktif gazlar veya aerosoller uygulandığı zaman exhale edilen hava doğrudan binanın dışına iletilmelidir.

Nükleer tıp laboratuvarlarında en sık karşılaşılan sorun radyoaktif gazların (ör. ¹³³Xe) veya uçucu radyoaktif maddenin (¹³¹I) havayı kontamine etmesidir. Havadaki radyoaktif madde düzeyi için NRC tarafından maksimum kabul edilebilen konsantrasyonlar (MPC_{air}) belirlenmiştir. Nükleer tıpta sık kullanılan bazı radyonüklidler için denetimli ve kontrolsüz

alanlarda MPC_{air} değerleri aşağıdaki Tablo 1.2’de görülmektedir. Bu değerler haftalık 40 çalışma saati esas alınarak belirlenmiştir.

RADYONÜKLİD	AKTİVİTE MİKTARI (mikroCi)
³ H, ⁶⁷ Ga, ¹⁴ C, ¹⁸ F, ⁵¹ Cr, ^{99m} Tc, ¹³³ Xe, ²⁰¹ Tl	1000
³³ P, ⁵⁷ Co	100
³² P	10
⁶⁰ Co, ¹²⁵ I, ¹³¹ I	1

Tablo 1.2: Özel tanımlama gerektirmeyen radyasyon alanlarında kabul edilebilen MPC_{air} düzeyi için en fazla bulunabilecek radyoaktivite değerleri

Sıcak alanlarda hava sirkülasyonu saatte en az 10 defa filtre edilmeden dış ortama atılmalı, İyot-131 tedavi odalarında alçak basınç (pozitif) oluşturulmalıdır.

Solunum için gerekli hava içinde, asgari oksijen miktarının % 19'dan az, CO₂ miktarının %2'den çok olmaması, kuru termometre sıcaklığın 29 °C'yi aşmaması sağlanmalıdır. Sağlık koşullarının korunması, ortam havasındaki CO₂ miktarının % 4'ü aşmaması için ise insanlarda, kişi başına en az 500 litre/saat solunum havasına ihtiyaç uyulmaktadır. Bedensel bir faaliyeti olmaksızın yetişkin bir insanın teneffüs ettiği hava yaklaşık 0.5 m³/saat (maksimum 8....9 m³/h) olup, solunum sonucu havası ise 35 °C ve % 95'lik neme sahip olmakta ve ortalama olarak %17 O₂, %4 CO₂ ve %79 N içermektedir.

Radyasyon, biyolojik ve kimyasal tozların ve parçaların sızmasını önlemek için iç ortamda dış ortama göre pozitif basınç yaratılmalıdır.

Sıcak oda çeker ocagının egzoz sistemi, genel havalandırma sisteminden tamamen ayrı ve çıkan havanın geri dönüşümünü engelleyecek şekilde binanın uzağında havaya verilecek konumda yapılmalıdır. Çeker ocak hücre ve göğüs koruyucunun ağırlığını taşıyabilecek şekilde yapılmalıdır.

1.3. Yalıtım

- Elektriksel yalıtım: Elektriksel yalıtım, Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olarak yapılmalıdır.
- Radyasyon yalıtımı (zırhlama): Soğuk ve ılık alanların zırhlanmasına gerek yoktur. Sıcak alanların mutlaka zırhlanması gerekir. Zırhlama, kullanılacak radyoaktif maddenin tipine ve yaydığı enerji düzeyine göre belirlenir.

Nükleer tıp uygulamaları tanışal ve tedavi amaçlı olmak üzere ikiye ayrılır. Günlük pratikte radyofarmasötikler en sık olarak tanışal düşük dozlarda uygulanmakta ve yüksek

tedavi dozlarının aksine sıkı korunma kuralları gerekmemektedir. Yüksek doz tedavide hastanın radyoaktif madde uygulanmadan önce hazırlanması yanı sıra uygulamadan sonra belli bir süre özel donanımlı odada izlenmesi zorunludur. Hasta vücudundaki radyasyon dozu toplum içinde kabul edilebilir sınıra geldiği anda hastaneden çıkarılır. Çevresindeki kişilerin güvenliği açısından düşük doz radyasyona maruz kalan hastalarla aynı kurallara bir süre daha uyması konusunda eğitilir. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmada üç temel faktör: a) Uzaklık (l) b) Süre(t) c) Zırhlama (HVL)'dir.

Radyasyonun ışınlama etkisi uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Radyoaktif materyal ile mümkün olduğu kadar kısa süreli ve uzak temas radyasyondan etkilenme riskini azaltır. Radyoaktif madde içeren ortamın zırhlanması, genellikle kurşun ile radyasyon şiddetini önemli oranda azaltacaktır.

Half Value Layer (HVL): Radyonüklidden yayılan fotonların yarısının durdurulması için gereken zırh kalınlığıdır. Foton enerjisi ve absorban madde atom numarasına bağlıdır. Enerji yükseldikçe absorban madde kalınlığı artar; Z arttıkça azalır. $HVL = 0.693 / \mu$ Burada μ , lineer atenüasyon sabiti olup birimi cm^{-1} dir. Farklı enerjide ışıma yapan farklı radyonüklidler için gerekli kurşun kalınlığı Tablo 1.3'te verilmiştir. Tenth-value thickness (TVT): Radyonüklidden yayılan fotonları 10 kat azaltan kalınlıktır.

$$TVT = \ln(0.1) / \mu = 2.3 / \mu$$

$$HVL = 0.693 / \mu \text{ ise } TVT = 3.32 HVL$$

Radyonüklid	Kurşun (mm)	Radyonüklid	Kurşun (mm)
Ba-133	2.2	In-111	1.0
Cs-137	6.5	In-113m	3.0
Cr-51	2.0	Mo-99	6.2
Co-57	0.06	Se-75	3.0
Co-60	12.0	Sr-85	5.3
Fe-59	10.3	Tc-99m	0.17
Ga-67	1.7	Tl-201	0.006
I-123	0.5	Xe-127	1.0
I-125	0.05	Xe-133	0.3
I-131	2.4	F-18	4.0

Tablo 1.3: En sık kullanılan gama ışını yayan radyonüklidler için HVL değerleri

Sıcak odadaki diğer kurşun kaleler çalışma modülü içinde ve bankolar üzerine kurşun bloklarla oluşturulabilir. İçleri kolay dekontaminasyon için çelik veya laminat ile kaplanır. Kurşun camlı L-tipi zırhlar radyofarmasötik hazırlarken lensi korumak ve yüze sıçramaları önlemek için gereklidir. Çeker ocaklı çalışma modülü ve laminar flow kabinleri önerilir.

Taşıma sırasında ulusal ve uluslararası radyoaktif madde taşıma kurallarına uyulmalıdır. Kurşun kılıf yüksekliği 59-84 mm, kalınlığı 3-38 mm ve kurşun kabın içi plastik veya polistren ile kaplanmış olmalıdır. Taşıma paketinin üzerine içeriği, aktivite miktarı ve uyarı işareti konmalıdır.

UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Teknik şartnameyi okuyunuz. ➤ Kullanıcı isteklerini yazınız. ➤ Servis el kitabından kurulum bilgilerini okuyunuz. ➤ Yalıtım kurallarını takip ediniz. ➤ Verimlilik durumuna göre enerji kablolarını düzenlettiriniz. ➤ Alandaki radyoaktif yalıtım düzeneklerini tespit ediniz. ➤ Yetersiz yalıtım noktalarını TAEK yetkilisi ile belirleyiniz. ➤ Gerekli yalıtımları yaptırınız. ➤ Kayıt tutunuz.	 ➤ Çalışma esnasında gerekli güvenlik önlemlerini alınız ve aldırınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TEST (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak uygun cevap şıkkını işaretleyiniz; boş bırakılan yerleri doldurunuz.

1. Soğuk alanlar halka açık alanlardır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
2. Sıcak alanlarda ziyaretçiler serbestçe dolaşabilirler.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
3. İyot tedavi odasının, tavan ve taban ile çalışma ortamlarını gören duvarlarında 1 cm'lik kurşun kaplama olmalıdır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
4. Özel zırhlanmış iyot tedavi odaları brakiterapide gerekir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
5. Gama probe'un görüntüleme odasında kesinlikle bulundurulması gerekir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
6. Tiroid uptake odasında ölçümler probe tipi sintilatör gama sayıcı ile eksternal olarak yapılır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
7. İş istasyonu(rapor odası)'nda bilgisayar olmasına gerek yoktur.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
8. Organik likit atık, radyoaktif bir atıktır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
9. Radyoaktif madde taşıyan kişinin vücudu kurşun kılıf ile korunduğu hâlde el ve yüzü işlemler sırasında korunmayabilir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
10. Sıcak odada göğüs zırhı bulunması zorunludur.
11. Nükleer tıp bölümünde odaların yerleşimi aktiviteden aktiviteye doğrudur.
12. İyot tedavi odasında, sıvı ve katı atıklar ayrı sistemi ile atık deposuna girmelidir.

13. RIA laboratuvarının, güvenilirliğinin olması ve diğer yöntemlere göre dahaolması yüzünden, hâlen yaygın sayılabilecek kullanım alanına sahiptir.
14. Nükleer tıp bölümü radyasyon düzeyine göre kaç'a ayrılır?
A)1 B)2 C)3 D)4 E)5
15. Soğuk alanlarda yıllık birikmiş doz ne kadardan fazla olamaz?
A)10 miliRem
B)25 miliRem
C)50 miliRem
D)100 miliRem
E)250 miliRem
16. Gama kameralar ile diğer görüntüleme cihazlarının kalite kontrolü ve kalibrasyonun sorumlusu aşağıdakilerden hangisidir?
A)Teknisyen
B)Mühendis
C)Doktor
D)Hemşire
E)Nükleer tıp fizikçisi
17. Aşağıdaki alanlardan hangisinde güçlü karbon filtreli çeker ocak ve laminar kabini bulunmalıdır?
A)Görüntüleme odası
B)Sayım odası
C)Sıcak oda
D)RIA
E)Tiroid uptake odası

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları geri dönerek tekrar inceleyiniz. Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer modüle geçiniz.

PERFORMANS TESTİ (YETERLİK ÖLÇME)

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Gerekli güvenlik önlemlerini aldınız mı?		
2. Teknik şartnameyi okudunuz mu?		
3. Kullanıcı isteklerini yazdınız mı?		
4. Servis el kitabından kurulum bilgilerini okudunuz mu?		
5. Yalıtım kurallarını takip ettiniz mi?		
6. Verimlilik durumuna göre enerji kablolarını düzenlettirdiniz mi?		
7. Alandaki radyoaktif yalıtım düzeneklerini tespit edebildiniz mi?		
8. Yetersiz yalıtım noktalarını TAEK yetkilisi ile belirleyebildiniz mi?		
9. Gerekli yalıtımları yaptırabildiniz mi?		
10. Kayıt tuttunuz mu?		

DEĞERLENDİRME

Yaptığınız değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Eksikliklerinizi araştırarak ya da öğretmeninizden yardım alarak tamamlayabilirsiniz. Cevaplarınızın tamamı “Evet” ise bir sonraki faaliyete geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Nükleer tıp cihazlarının kullanım özelliklerine ve yapılarına göre servis el kitabındaki talimatlara uygun olarak yer ve tesisat kontrollerini yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Nükleer tıp cihazlarının kullanım özellikleri ve yapıları hakkında bilgi toplayınız. Bu bilgilere firmalardan, internetten ve üniversitelerden ulaşabilirsiniz.
- Firmaların servis el kitaplarından, yer ve tesisat kontrolleri hakkında ön bilgi toplayınız. Bunları rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. GAMA KAMERA CİHAZLARI

2.1. Kullanım Amaçları

Gamma kamera sistemleri, nükleer tıpta görüntüleme amacı için özel olarak tasarlanmış sistemler olup, her türlü nükleer tıp verilerinin alınması, işlenmesi, gösterimi ve saklanması için gerekli donanıma sahiptir.

Nükleer tıp görüntülerinin ana amacı ise insan vücuduna verilen radyoaktif maddenin çeşitli organlardaki dağılımının sonucu olarak tanıya yönelik bilgi vermesidir. Gamma kameralar günümüzde klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan standart nükleer görüntüleme sistemleri olarak kabul edilmektedir. Gamma kameralar, statik ve dinamik olmak üzere iki tip çalışma yaparlar. Statik çalışma, radyonüklid kaynak dağılımının değişmediği görüntüleme zamanının oldukça uzun olduğu çalışma tipidir. Dinamik çalışmada ise radyonüklid kaynak dağılımında değişim söz konusudur. Ayrıca dinamik çalışmada görüntüleme zamanı da oldukça kısa tutulur.

Statik tip çalışmada organ ile ilgili tüm detayların görüntülenmesine çalışılırken, dinamik çalışmalarda çok kısa bir süre içinde organdan gelen bilgilerin iyi bir görüntü oluşturmaya çalışılır. Dolayısıyla statik tip çalışmada yüksek bir ayırma gücü, dinamik tip çalışmada ise yüksek bir sayım hassasiyeti ya da etkinliği istenir. Farklı yapılarıdaki kolimatörler bu seçimin yapılabilmesi için tasarlanmışlardır.

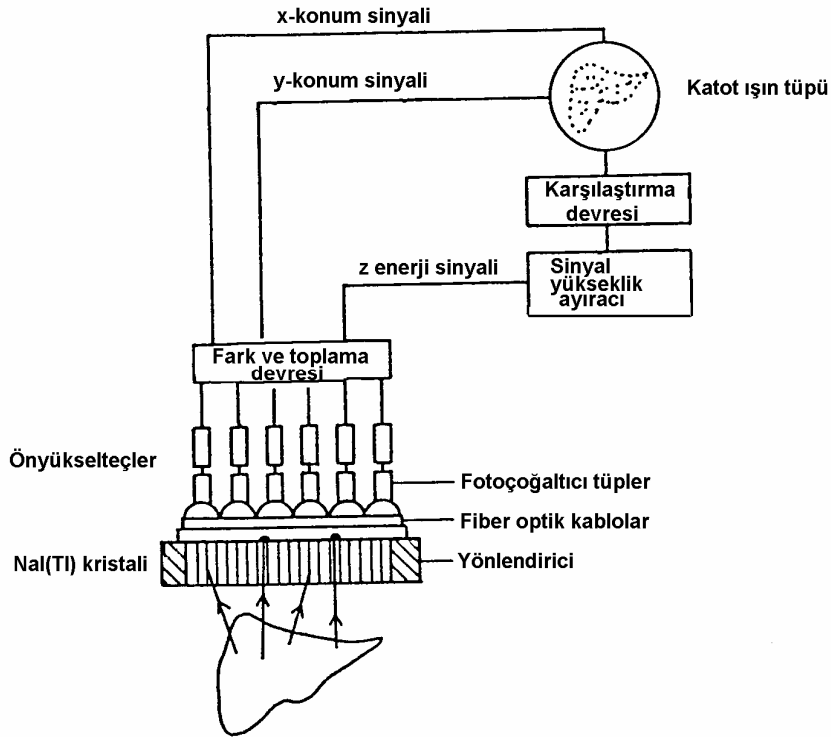
2.2. Yapısı ve Çalışması

2.2.1. Yapısı

Gamma kameraların yapısı kolimatörler(yönlendiriciler), dedektörler (sintilasyon kristali, optik tabaka,ışık geçirgen tabaka,fotoçoğaltıcı tüpler), sinyal işleme devreleri (yüksekteçler,konumlama işlemi,vuru yükseklik ayırıcı) ve görüntü kaydedici sistemlerden oluşur.

2.2.2. Çalışması

Gama kameraların temel görüntüleme elemanları ile çalışma prensibini gösteren basit bir şema Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1:Gama kameraların çalışma prensibini gösteren şema

Radasyonlu madde enjekte edilmiş kaynak organdan yayılan gama fotonlarının kolimatör tarafından yönlendirilerek NaI(Tl) kristalinde durdurulmaları sonucunda sintilasyon fotonları oluşur.Kristalin arka yüzeyinde yer alan fotoçoğaltıcı tüpler, sintilasyon merkezine göre konumlarına bağlı olarak bu sintilasyon fotonlarını akım vurularına dönüştürürler.Fotoçoğaltıcı tüplerin çıkış sinyalleri,ön yükselteç ve yükselteçlerde yeterli şekil ve büyüklüğe getirilerek konum-mantık devrelerine gelirler.

Kristalde oluşan her sintilasyon fotonu için ayrı bir konum ve enerji sinyali elde edilir. Kaynak içinde veya kristalde saçılan fotonların neden olduğu yanlış bilgi taşıyan sinyaller ile doğru bilgi taşıyan sinyallerin ayırımı, vuru yükseklik ayırıcısında (Pulse-Height Analyzer-PHA) yapılır. Enerji sinyali (Z-Sinyali) vuru yükseklik ayırıcısına gönderildiğinde; sayet vuru yükseklik ayırıcısının enerji aralığına düşerse, katot ışın tüpündeki (CRT) elektron demeti, kristalde oluşan sintilasyon fotonlarının konumlarına bağlı olarak tüpte X ve Y konum sinyalleri ile saptırılarak tüpün ekranında bu konumda bir ışımaya oluştururlar. Vuru yükseklik ayırıcısının enerji aralığına düşmeyen sinyaller için ise tüpteki elektron demeti ekranda herhangi bir ışımaya oluşturmayacaktır. Yeterli enerjiye sahip sintilasyon fotonlarının ekran üzerinde oluşturduğu ışımının film üzerine kayıt edilmesi ile görüntüleme işlemi tamamlanır. Sonuçta kaynak-organ üzerindeki her bir nokta film üzerine kayıt edilerek organın görüntüsü elde edilir

2.3. Kurulum ve Kullanım Yeri Özellikleri

Nükleer tıp bölümü hasta potansiyeline cevap verecek şekilde gama kamerası alımı yapılmalıdır. Gama kamerası odasına çevresindeki odaların ne amaçla kullanıldığına göre duvar zırhlaması yapılmalıdır. Gama kamerasının yanındaki oda, sıcak oda ise gama kamerası kristalinin sıcak odadan etkilenmeyecek şekilde duvar için gerekli kurşun kalınlığı nükleer tıp fizik mühendisi tarafından hesaplanmalıdır.

2.4. Gama Kamera Cihazları İçin Gerekli Tesisat ve Alt Yapı

Gamma kamera cihazı için gerekli alt yapıda en önemli nokta zeminin düz olması gerekliliğidir. Gama kamera cihazının en ağır ve büyük parçası gantry'dir (Örneğin 1,5 ton gibi). Cihazdan cihaza ağırlık farklılık gösterir. Gantry'nin konulacağı zeminin bu üniteyi taşıyabilmesi en önemli husustur. Ayrıca cihazın bulunduğu yerdeki klima bulunması gerekir. Bunun nedeni ortamın sıcaklığının istenilen değerler arasında tutularak kristallerin zarar görmemesini sağlamaktır.

Elektrik tesisatı düzenlenirken kurulacak cihazın çalışma voltajına dikkate alınır. Çalışma voltajı 220 volt ya da 380 voltur. 380 volt ise bir pano vasıtasıyla düzenleme yapılır. Elektrik bu panodan alınır. Cihazın elektriğinin ve diğer parçalarının UPS'e bağlı olması istenir. Zemindeki kaplamanın sağlık açısından zararlı olan PVC içermemesi gerekir. Zemindeki kaplamanın doğal kauçuk olması istenir. Kaplamanın özellikleri ise antistatik, aşınmaya dayanıklı, kaymayı önleyici, yangına dayanıklı olması istenir.

2.5. Fiziki Ortamın Gama Kamera Cihazlarına Etkileri

Gama kameraları yapısında kristal bulunmasından dolayı hassas cihazlardır. Gama kameralarının bulunduğu ortamda sıcaklık sabit tutulmalıdır. Saatte 4 derecelik bir sıcaklık değişimi gamma kamerası kristalinin çatlamasına sebep olabilir. Kristal gama kamerasının en pahalı malzemelerinden biridir. Ayrıca nemdeki artış da gamma kamerası kristalinin yapısını bozulmasına neden olabilir.

2.6.Farklı Cihaz ve Malzemelerin, Gama Kameralarının Çalışmasına Etkileri

Gamma kameralarının yapısında bulunan fotoçoğaltıcı tüpler yüksek manyetik alandan etkilenmektedir. Bu sebeple gama kamerasının bulunduğu ortamda yüksek manyetik alan ve sık manyetik alan değişimi olmamalıdır. Mıknatıslı cisimler,cep telefonu,el radyosu vb. cihazlar ortamda bulunmamalıdır.

UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Teknik şartnameyi okuyunuz. ➤ Kullanıcı isteklerini yazınız. ➤ Servis el kitabından cihaz boyutlarını belirleyiniz. ➤ Cihaz geçiş kapılarının boyutlarını ölçünüz. ➤ Kullanım alanı boyutlarını ölçünüz. ➤ Kullanım alanındaki nem miktarını ölçünüz. ➤ Kullanım alanının sıcaklığını ölçünüz. ➤ Kullanım alanındaki ışık miktarını ölçünüz. ➤ Ortam gürültüsünü ölçünüz. ➤ Tesisatların yeterliğini kontrol ediniz. ➤ Gerekli değişiklikleri yaptırınız. ➤ Kurulum alanına karar veriniz. ➤ Rapor tutunuz.	➤ Çalışma esnasında gerekli güvenlik önlemlerini alınız ve aldırınız. ➤ Kapı ve girişlerin ölçümü sırasında kapı kolları pervaz pencereler ve sabit eşyaları göz önüne alınız. ➤ Tesisat yeterlikleri incelenirken cihazın enerji, yalıtım, su, havalandırma projelerini inceleyebilirsiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TEST (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak uygun cevap şıkkını işaretleyiniz; boş bırakılan yerleri doldurunuz.

1. Dinamik çalışmada radyonüklid kaynak dağılımında değişim söz konusudur.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
2. Gama fotonlarının kolimatör tarafından yönlendirilerek NaI(Tl) kristalinde durdurulmaları sonucunda sintilasyon fotonları oluşur.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
3. Radyonüklid madde enjekte edilmiş kaynak organdan sintilasyon fotonları yayılır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
4. Gama kameralarda kullanılan dedektörler modülü sintilasyon kristali, optik tabaka, ışık geçirgen tabaka, fotoçoğaltıcı tüplerden oluşur.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
5. Kaynak içinde veya kristalde saçılan fotonların neden olduğu yanlış bilgi taşıyan sinyaller ile doğru bilgi taşıyan sinyallerin ayırımı yapılamaz.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
6. Zemindeki kaplamanın sağlık açısından zararlı olan PVC içermesi gerekir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
7. Gama kameralar, statik ve olmak üzere iki tip yaparlar.
8. çalışma radyonüklid kaynak dağılımının değişmediği görüntüleme zamanının oldukça olduğu çalışma tipidir.
9. Kaplamanın özelliklerinin kaymayı önleyici, , aşınmaya dayanıklı ve dayanıklı olması istenir.
10. çalışmalarda çok kısa bir süre içinde organdan gelen bilgilerin iyi bir oluşturmaya çalışılır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konulara geri dönerek tekrar inceleyiniz. Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer öğrenme faaliyetine geçiniz.

PERFORMANS TESTİ (YETERLİK ÖLÇME)

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Teknik şartnameyi okudunuz mu?		
2. Kullanıcı isteklerini yazdınız mı?		
3. Servis el kitabından cihaz boyutlarını belirlediniz mi?		
4. Cihaz geçiş kapılarının boyutlarını ölçtünüz mü?		
5. Kullanım alanı boyutlarını ölçtünüz mü?		
6. Kullanım alanındaki nem miktarını ölçtünüz mü?		
7. Kullanım alanının sıcaklığını ölçtünüz mü?		
8. Kullanım alanındaki ışık miktarını ölçtünüz mü?		
9. Ortam gürültüsünü ölçtünüz mü?		
10. Tesisatların yeterliğini kontrol ettiniz mi?		
11. Gerekli değişiklikleri yaptırdınız mı?		
12. Kurulum alanına karar verdiniz mi?		
13. Rapor tuttunuz mu?		

DEĞERLENDİRME

Yaptığınız değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Eksikliklerinizi araştırarak ya da öğretmeninizden yardım alarak tamamlayabilirsiniz. Cevaplarınızın tamamı “Evet” ise bir sonraki faaliyete geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Nükleer tıp cihazlarından gama kameraların, servis el kitabına göre parçalarını taşıma aparatları ile güvenli taşınmasını sağlayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Gama kameraların nakil araçları hakkında firmalardan, internet vb. yerlerden yararlanarak araştırma yapınız. Bunları rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.
- Uygun ambalajlama ve etiketleme kuralları hakkında ön bilgi toplayınız.
- Gama kamera sistemlerinin parça ve aparatlarını araştırınız.

3. GAMA KAMERA CİHAZININ NAKLİ

3.1. Gama Kamera Sistemlerinin Parça ve Aparatları

Görünür ışık, kaynağından bir nesneye doğru parladığında nesneye bağlı gölge oluşur. Görünür ışık nesneyi delip geçemeyeceği için gölgenin şekli nesnenin dış yüzeyinin şekliyle aynı olmaktadır.

Gantry, dedektör, hasta (çekim) masası, serum askılığı, kumanda, kesintisiz güç kaynağı(UPS), kumanda masası (PC Cart, monitör, pc kasası, klavye, mouse), kuru sistem baskı ünitesi(printer), akıllı güç kaynağı (IPS) ve kapağı, kolimatörler, kolimatör arabaları ve metal koruma parçaları ile plastik kol tutma aparatları,kolimatör arabasının önüne takılan metal parça, renkli lazer yazıcı, kumanda ve kumanda asma aparatı, xeleris adı verilen bilgisayar sistemi (monitör,kasa,klavye ve mouse) ,switch,e-cam adı verilen LCD monitör,sanal(yalancı) kolimatörler ve vidalı bağlama aparatları ile bu cihaz ve parçaları birbirine bağlamak için çeşitli ölçülerde cıvatalar, vidalar, pullar,somunlar,matkap uçları, dubeller,pc cart'ın tekerlekleri (pc cart'ın diğer adı metal pc masası), metal parçalar,bağlantı kabloları, power kabloları,data kabloları,bağlantı soketleri,fiş ve kablolar,koruyucu hortumlar.Aşağıda gama kamera sistemine ait bazı parça ve aparatların resimleri görülmektedir.



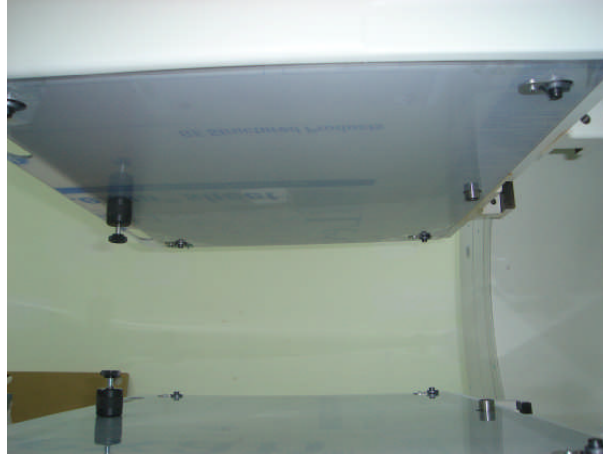
Resim 3.1:
Kolimatör arabası
kol aparatı ve parçaları



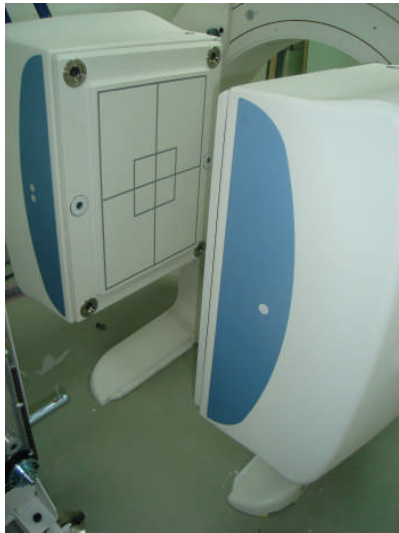
Resim 3.2:
Kumanda



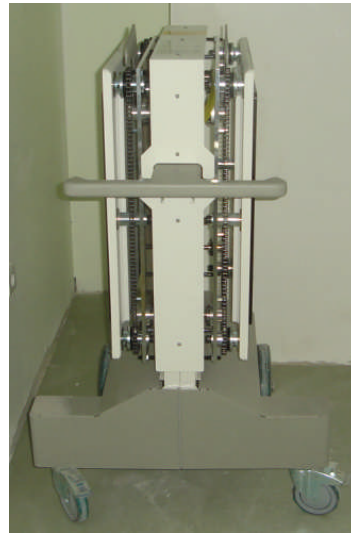
Resim 3.3:
Hasta masası
sabitleme aparatı



Resim 3.4: Sanal (yalancı) kolimatörler ve bağlantı aparatları



Resim 3.5: Gantry ve dedektörler



Resim 3.6: Kolimatör arabası ve kolimatör

3.2. Uygun Ambalajlama, Etiketleme Kuralları ve Taşıma Aparatları

Gama kamera cihazının büyük boyutlu ve ağır parçaları gantry, masa, kolimatör arabaları, IPS(akıllı güç kaynağı), xeleris,monitör, bilgisayar kasası, PC Cart, UPS (kesintisiz güç kaynağı) şeklinde sıralanabilir.Bu parçaların dışında küçük boyutta ve ağır olmayan parçalar da vardır.Gamma kamera cihazının taşınması sırasında fabrikadan başlayıp kurulum yapılacak olan yere kadarki nakil işleminde çeşitli taşıma araçları kullanılır. Fabrikada kutulara konulmadan önce bütün parçalar içi hava baloncuklu naylon bir ambalajla sarılır ve belli noktalardan ambalajın açılmaması için bantlanır.Ayrıca bazı cihaz ya da parçaların kenarlarına (örneğin kolimatör arabalarının) metal koruma aparatı takılır (Resim 3.7 ve Resim 3.8).

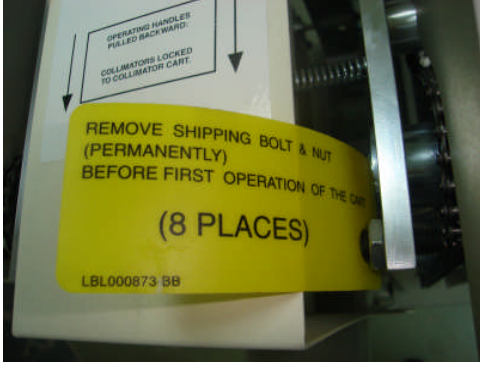


Resim 3.7:Kolimatör arabasına takılan koruma aparatının yandan görünüşü



Resim 3.8:Ambalajlanmış kolimatör arabasının önden görünüşü

Cihazın montajı sırasında bu parçaların sökölmesini belirtmek için Resim 3.9’da gösterildiğı gibi sarı renkli etiketler kullanılır ya da takılan koruma parçalarının sarı renkli olması sağlanır.Ambalajlanmış olan paketler Resim 3.10’da gösterildiğı gibi darbelerden etkilenmelerini önlemek için strafor yardımıyla desteklenir.Boyutlarına uygun karton kutulara hareket etmeyecek bir biçimde yerleştirilir.Kutular açılmaya karşı önlem olarak bant ile gerekli yerlerden bantlanır(Resim 3.11).



Resim 3.9:Sökülecek aparatları belirten sarı renkli etiket



Resim 3.10:Ambalajlanmış parçanın köpüklerle kutuya konulmuş hâli



Resim 3.11:Parçaların karton kutulara konulmuş hâli

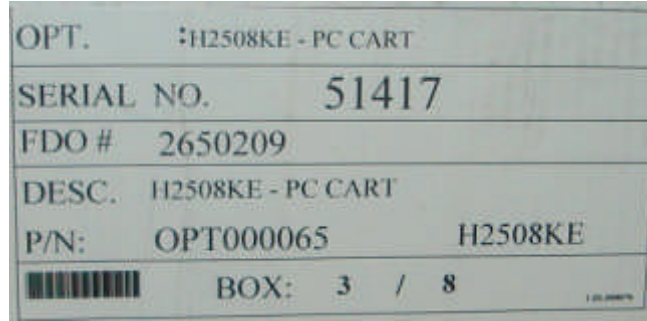
Kutuların üzerine firmanın adı,adres bilgileri, taşınan parçaların adı,modeli,seri numarası, ağırlığı, boyutu, kırılmaya karşı hassas olup olmadığı,taşınırken hangi yönün alt tarafa geleceğı,ıslanmaya veya manyetik alana karşı hassas olup olmadığı ile ilgili ayrıca taşınan cihaz ya da parçaya özel bir taşıma kuralı varsa bununla ilgili üzerine etiketler yapıştırılır (Resim 3.12, Resim 3-13, Resim3-14, Resim 3.15).



Resim 3.12:Etiket örneği-1



Resim 3.13:Etiket örneği-2



Resim 3.14:Etiket örneği-3



Resim 3.15:Etiketlerin kutulara yapıştırılmış hâli

Yukarıda genel olarak yapılan ambalajlamadan bahsedilmiştir.Gantry ve hasta masasının ambalajlanması ve paketlenmesinde birkaç farklılık vardır.Gantry ambalajlanırken kristallerin ısı değişiminden zarar görmemesi için dedektörlerle bütünleşik olan kristallerin üzeri içinde izocam adı verilen bir malzeme bulunan naylon ile sarılır(Resim 3.16).Bu şekilde kristallerin ısı değişiminden etkilenmemesi sağlanır. Isı değişiminin 1 saat içerisinde 3° C'yi geçmemesi gerekir.İzocam ile sarılmış olan dedektörlerin bağlantıda olduğu gantry'nin kenarlarına koruma amaçlı metal parçalar takılır.Bu metal parçalar dolly adı verilen tekerlekli taşıma arabasının ahşap kısmına cıvatalar ile bağlanır. Ayrıca resimde görüldüğü gibi tam orta noktadan karşılıklı olarak dengede tutmak amacıyla bir metal parça bağlantısı yapılır.Etrafı ahşap kaplamalar ile kapatılır.Dolly'nin nakliye sırasında taşıma aracında hareket etmemesi gerekir.Bunun için ahşap kısmın yan tarafında bulunan hidrolik sistem vasıtasıyla ayarlanarak tekerlekler yukarı doğru çekilir(Resim 3.17). Dolly sandık şekline dönüşür.



Resim 3.16:Dedektörlerin izocamla sarılmış hâli



Resim 3.17:Dolly'nin taşınması sırasında kuralları gösterir etiket

Bunun dışında bir de hasta(çekim) masasının ambalajlanmasında bazı farklılıklar vardır.Hasta masasının üzeri içi hava baloncuklu naylon ambalajla örtülür ve bantlanır.Sandığın içine tekerlekleri aracılığıyla taşınır.Tekerlekleri hareket etmemesi için kilitlenir.Sandıkta darbelere karşı kenarlarına köpükler konulur.Ahşap sandığın yan tarafı ve üzeri kapatılır.

Gantry ve kumanda masasının sandıklanmasından sonra diğer kutulanan cihaz ya da parçaların sandıklama işlemi yapılır. Sandıkların üzerine kutuların üzerindeki etiketlerin aynıları yapıştırılır.

3.3. Cihazı Taşımak İçin Kullanılan Malzeme ve Nakil Araçları

Cihazı taşıma sırasında tahta sandıklar, dolly, paletler, forklift, vinç ve kamyon kullanılır (Resim 3.18). Bunlara ek olarak nakliye uçağı ve yük taşıma gemisi kullanılabilir. Tahta sandıklar forklift ve vinç vasıtasıyla kamyonu taşınır (Resim 3.19).Taşınacak mesafenin uzaklığına göre kara, hava ve deniz yolu tercih edilir.Hava yolu ile taşıma işleminde, kamyonlar ile havaalanına taşınan sandıklar forklift vasıtasıyla kamyonun nakliye uçaklarına yada vinç ile kamyonun alınıp hidrolik sistemle çalışan asansör ile istenilen seviyeye yükseltilir.Buradan da paletler vasıtasıyla uçağa yüklenir(Resim 3.20).Deniz yolu ile taşıma işleminde kamyonlar ile limana getirildikten sonra vinç ve forklift aracılığıyla gemiye taşınır (Resim 3.21 ve Resim 3.22). Hava ve deniz yolu ile taşınan sandıklar karaya ulaştıktan sonra yine aynı yollarla kamyonlara yüklenir. Kamyonlar kurulum yapılacak olan yere ulaştığında vinç ve forklift vasıtasıyla sandıklar yere indirilir. Forklift aracılığıyla yük asansörüne taşınır (Resim 3.23).Asansörden, kurulum yapılacak olan yere kutular paletler yardımıyla taşınır. Gantry ise dolly'nin hidrolik sistemi ile tekerlekler yere indirilerek, asansörden kurulum yapılacak olan bölüme taşınır. Bu şekilde cihazın ve parçalarının nakli tamamlanmış olur.



(a) Forklift



(b) Nakliyede kullanılan tip kamyon

Resim 3.18:Nakil araçları



(a)



(b)

Resim 3.19: Sandıkların forklift ile kamyonu taşınması



(a)



(b)

Resim 3.20: Tahta sandıkların uçağa nakledilmesi



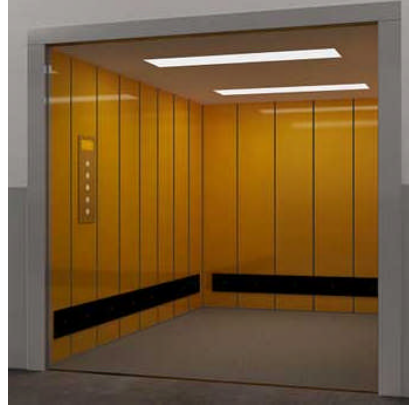
Resim 3.21: Vinç ile yüklerin nakli



Resim 3.22: Konteynerlerin gemi ile taşınması



(a)
Hafif ve orta ağırlıktaki yükler için
kullanılan tipte yük asansörü



(b)
Çok ağır yükler için kullanılan
tipte yük asansörü

Resim 3.23:Yük asansörleri

UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Teknik şartnameyi okuyunuz. ➤ Servis el kitabını okuyunuz . ➤ Temel iş güvenliği tedbirlerini alınız. ➤ Taşıma ile ilgili talimatları uygulayınız. ➤ Gantry'nin boyut ve özelliklerine bakınız. ➤ Gantry'nin taşınması için gerekli malzemeleri seçiniz. ➤ Gantry'nin zarar görmemesi için gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. ➤ Gantry'i yerine taşıtınız. ➤ Parça ve aparatları taşıtınız. ➤ Tutanak hazırlayınız.	➤ Servis el kitabına göre kullanılacak araç ve malzeme listelerini çıkartabilirsiniz. ➤ Gantry'nin güvenli nakli için gerekli önlemleri aldığınızdan emin olunuz. ➤ Öncelikle kendinizin ve çevrenizdekilerin güvenlik önlemlerini aldığınıza emin olunuz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TEST (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak uygun cevap şıkkını işaretleyiniz; boş bırakılan yerleri doldurunuz.

1. Akıllı güç kaynağının kısa adı IPS'dir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
2. Xeleris, kolimatör ve IPS'den oluşur.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
3. Kristallerin bulunduğu ortamda 1 saat içindeki ısı değişimi 3° C'yi geçmemelidir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
4. Gantry'nin taşınması sırasında görmemesi için ile sarılır.
5. Gantry adı verilenarabası ile taşınır.
6. Tahta sandıklar ve vasıtasıyla kamyonu taşınır.
7. Sandıklar forklift aracılığıyla Taşınır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konulara geri dönerek tekrar inceleyiniz. Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer öğrenme faaliyetine geçiniz.

PERFORMANS TESTİ (YETERLİK ÖLÇME)

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Teknik şartnameyi okudunuz mu?		
2. Kullanıcı isteklerini yazdınız mı?		
3. Servis el kitabını okudunuz mu?		
4. Temel iş güvenliği tedbirlerini belirlediniz mi?		
5. Taşıma ile ilgili talimatları uyguladınız mı?		
6. Gantry'nin taşınması için gerekli malzemeleri seçtiniz mi?		
7. Gantry'nin zarar görmemesi için gerekli güvenlik tedbirlerini aldınız mı?		
8. Gantry'ı yerine taşıdınız mı?		
9. Parça ve aparatları taşıdınız mı?		
10. Tutanak hazırladınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Yaptığınız değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Eksikliklerinizi araştırarak ya da öğretmeninizden yardım alarak tamamlayabilirsiniz. Cevaplarınızın tamamı “Evet” ise bir sonraki faaliyete geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TEST (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak uygun cevap şıkkını işaretleyiniz; boş bırakılan yerleri doldurunuz.

1. Ilık alanlarda günlük kullanımda miliküri seviyesinde radyoaktivite bulundurulabilir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
2. Doz kalibratörünün sıcak odada bulunması isteğe bağlıdır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
3. Nükleer tıp bölümünde yüksek aktiviteli hasta odaları koridorun bir bölgesinde düşük aktiviteli hasta odaları ise diğer tarafında toplanır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
4. Radyoaktif atıkların bekletildiği yerde zırlama isteğe bağlıdır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
5. Sıcak oda, radyofarmasötiklerin hazırlandığı yerdir.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
6. Fotoçoğaltıcı tüplerin çıkış sinyalleri, önyükselteç ve yükselteçlerde yeterli şekil ve büyüklüğe getirilerek konum-mantık devrelerine gelirler.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
7. Kristalin ön yüzeyinde fotoçoğaltıcı tüpler yer alır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
8. Gama kamerasının yanındaki oda, sıcak oda ise gamma kamerası kristalinin sıcak odadan etkilenmeyecek şekilde duvar için gerekli kurşun kalınlığı nükleer tıp fizik mühendisi tarafından hesaplanır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
9. Sanal kolimatörün diğer adı PC Cart'tır.
A) DOĞRU B) YANLIŞ
10. Görüntüleme odasında klima gereklidir.
11. Statik tip çalışmada ile ilgili tüm görüntülenir.
12. Statik tip çalışmada yüksek bir, dinamik tip çalışmada ise yüksek birya da etkinliği istenir.

13. Vuru yükseklik ayırıcının aralığına düşmeyen sinyaller için tüpteki demeti ekranda herhangi bir ışıma oluşturmayacaktır.
14. Kolimatör arabasındaki parçalarını yada aparatlarını belirtmek için etiketler kullanılır.

PERFORMANS TESTİ (YETERLİK ÖLÇME)

Modül ile kazandığınız yeterlik, aşağıdaki ölçütlere göre değerlendirilecektir.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Radyoaktif yalıtım düzeneklerini tespit edebildiniz mi?		
2. TAEK yetkilisi ile birlikte yetersiz yalıtım noktalarını tespit ettiniz mi?		
3. Kurulum alanında gerekli ölçümleri yaptınız mı?		
4. Tesisatların yetersizliğini kontrol ettiniz mi?		
5. Taşıma öncesinde temel iş güvenliği tedbirlerini aldınız mı?		
6. Talimatlara ve güvenlik kurallarına uygun taşıma işlemini gerçekleştirdiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Yaptığınız değerlendirme sonucunda eksikleriniz varsa öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Modülü tamamladınız, tebrik ederiz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP
1	A
2	B
3	A
4	A
5	B
6	A
7	B
8	A
9	A
10	kurşun camlı
11	Yüksek- düşük
12	Taşıma- radyoaktif
13	Yüksek- ekonomik
14	C
15	D
16	E
17	C

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP
1	A
2	A
3	B
4	A
5	B
6	B
7	dinamik –çalışma
8	Statik- uzun
9	Antistatik –yangına
10	Dinamik- görüntü

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP
1	A
2	B
3	A
4	kristallerin zarar-izocam
5	Dolly-taşıma
6	forklift-vinç
7	yük asansörüne

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP
1	A
2	B
3	A
4	B
5	A
6	A
7	B
8	A
9	B
10	Bulunması
11	organ- detaylar
12	ayırma gücü- sayım hassasiyeti
13	enerji- elektron
14	koruma-sarı

KAYNAKÇA

- ARDOĞAN Musa, **Yayınlanmamış Ders Notları**,Ankara,2006.
- BEKTAŞ Barış ,**Teknik Ders Notları**,Ankara,2006.
- Bushberg JT Leidholdt EM. **Radiation protection. In: Diagnostic Nuclear Medicine. Sandler MP et al (Eds)**, 4th ed., Lippincott Williams &Wilkins, Philadelphia, 2003.
- DEMİR Adil,**Teknik Ders Notları**,Ankara,2004.
- Demir Mustafa **Nükleer Tıp Fiziği**, İst. Ün. Rektörlük Yayın No:4252, İstanbul, 2000.
- EROĞUL Osman İrfan KARAGÖZ, **Tıbbi Görüntüleme Sistemleri**, Haberal Eğitim Vakfı,Ankara,1998.
- International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 26. Ann ICRP 1977.
- International Commission on Radiation Units and Measurements . Quantities and units in radiation protection dosimetry. Bethesda, MD; 1993; ICRU report no: 51
- IPSM Report 63. Radiation protection in Nuclear Medicine and Pathology. IPSM York 1991.
- Kırac S, Yüksel D. **Radyasyon Biyolojisi**, Gültürk Ofset, Denizli, 2000
- Mould RF. Radiation Protection In Hospitals. Medical Science Series, 1985
- National Radiological Protection Board 1983. Draft guidance notes for the protection of persons against ionising radiations arising from medical and dental use consultative document (London HMSO)
- Perkins AC. Nuclear **Medicine Science and Safety**. John Libbey&Company Ltd. 1995,London
- **Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik, Resmi Gazete 02.09.2004 / 25571**
- RJ Hicks et al. Pattern Of Uptake And Excretion Of (18)F-FDG In The Lactating Breast. JNM 2001.

- Saha G. **Radiation Protection And Regulations. In: Physics And Radiobiology Of Nuclear Medicine.** 2nd ed., 2002, Springer, New York.
- Stabin MG, Breitz HB. Milk Excretion Of Radiopharmaceuticals: Mechanisms, Findings And Radiation Dosimetry. JNM 2000.
- Sorenson,A.J.,Phelps,M.E., **‘Physics in Nuclear Medicine’**,Grune&Stratton Inc., Newyork,1980.
- TAEK,**Nükleer Tıpta Radyasyon Güvenliği Ve Lisanslama Yönetmeliği Taslağı.**
- TAEK, **Radyasyon Güvenlik Tüzüğü Taslağı.**
- TAEK **Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği Taslağı**
- ÜNAL Ayşegül, Yayınlanmamış Ders Notları, Ankara, 2006.
- Yale University, **Radiation Safety Procedure Manual**, 1994
- XI.Ulusal Nükleer Tıp Kongresi , Teknik Ders Notları, Ankara, 16-19 Mayıs 1997.
- <http://www.evms.edu/radsafety/rasaman.html>
- <http://www.mcl.tulane.edu/oehs/radman.htm>
- Daresbury lab. local rules for the SRS experimental and ancillary areas. 2000 in: www.srd.dl.ac.uk/SRS
- www.ucla.edu I-131 Radioiodine Ablative Therapy for Thyroid Cancer.