

MedFiz@Online

e-DERGİ

EYLÜL - EKİM 2023

medfizonline@gmail.com

www.medikalfizik.org

SAYI: 47

International Organization for Medical Physics
IOMP
 International Day of
 Medical Physics
IDMP2023
November 7
60th
Anniversary
STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS



1972
 Godfrey Hounsfield first commercially available CT scanner. He co-invented the technology with Allan McLeod Cormack. Named after Hounsfield, the HU is a measure of radiodensity used in CT. Hounsfield and Cormack received the 1979 Nobel Prize in Physiology or Medicine.



1950s
 Progress in Radiotherapy. Harold Johns invented the ⁶⁰Co teletherapy unit in 1951. In 1953 the first clinical linear accelerator for cancer treatment was installed. This pioneering work helped establish medical physics as a unique field in healthcare.



1895
 Röntgen discovered X-rays in 1895 that revolutionized medical diagnostics. In recognition of his work, Röntgen was awarded the first Nobel Prize in Physics in 1901.

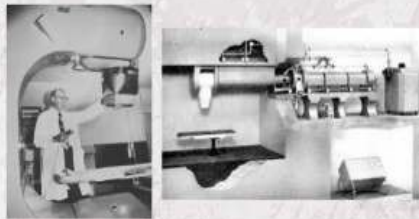
1980

John Mallard and his team obtained the first clinically useful image of a patient's internal tissues using the full-body MRI scanner they built. The first MRI images were produced in 1973 by Paul Lauterbur while MRI techniques were refined by Peter Mansfield, Lauterbur and Mansfield received the 2003 Nobel Prize in Physiology or Medicine.



1952

Franklin's work on X-ray diffraction helped to reveal the structure of DNA, which paved the way for the development of medical imaging technologies such as CT scans and MRI.



1903

Marie Curie and Henry Becquerel's pioneering research on radioactivity laid the foundation for the field of medical physics and helped to establish radiation therapy as a treatment for cancer.



BU SAYININ ÖNE ÇIKAN KONULARI

- A.B.D.'DE MEDİKAL FİZİKÇİ OLMAK
- 2023 NOBEL FİZİK ÖDÜLLERİ SAHİPLERİ: PIERRE AGOSTINI, ANNE L'HUILLIER VE FERENC KRAUSZ
- ICRU RAPORU NO: 97 MR REHBERLİĞİNDE, MRI LİNEER AKSELERATÖR KULLANILAN RADYASYON TEDAVİSİ
- MR GÜVENLİK KLAVUZU

Uluslararası Medikal Fizik Günü 7 Kasım 2023



Celebrate IOMP's 60th Anniversary!

Six decades of promoting the advancement of medical physics worldwide!

BAŞ EDITÖR

Haluk Orhun

orhun.haluk@gmail.com

EDİTÖR GRUBU

Abdullah Yeşil

asyesil@gmail.com

Boran M. Güngör

borgun@gmail.com

Ertuğrul Ertürk

mehmet.ertugrul@mnt.com.tr

Evren Üzümlü

evrenuzumlu@hotmail.com

Fadime Alkaya

alkayafadime@hotmail.com

Halil Küçücük

halilkucucuk@gmail.com

Nadir Küçük

nadir.kucuk@anadolusaglik.org

Tuğba Hacıosmanoğlu

tubiki76@yahoo.com.tr

DERGİ TASARIM VE YAZI

Ebru Oruç Bakır

Ezgi Kiraz Ergen

Eray Ergen

BU SAYIDAKİ YAZARLAR

Burcu Gökçe

Burçin Ünlü

Devran Baltaş

Evren Üzümlü

Hande Kayacık

Nazlı Bilici Güven

Özlem Özkaya

Remzi Takeş

Sevim Şahin

Tuğba Hacıosmanoğlu

Zenciye Kıray İrem

(Yazarlar harf sıralamasına göre sıralanmıştır.)

SOSYAL MEDYA

Aykut Oğuz Konuk

Yılmaz Şahin

İÇİNDEKİLER

- **MERHABA: 2023 ULUSLARARASI MEDİKAL FİZİK GÜNÜ**
- **ACIBADEM BODRUM HASTANESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ BÖLÜMÜ**
- **ULUSLARARASI MEDİKAL FİZİK GÜNÜ: MEDİKAL FİZİK DERNEĞİ'NİN KUTLAMASI**
- **A.B.D.'DE MEDİKAL FİZİKÇİ OLMAK**
- **2023 NOBEL FİZİK ÖDÜLLERİ SAHİPLERİ: PIERRE AGOSTINI, ANNE L'HUILLIER VE FERENC KRAUSZ**
- **ICRU RAPORU NO: 97 MR REHBERLİĞİNDE, MRI LİNEER AKSELERATÖR KULLANARAK YAPILAN RADYASYON TEDAVİSİ**
- **RADYASYON ONKOLOGLARI, RADYASYON TERAPİSTLERİ VE MEDİKAL FİZİKÇİLER İÇİN MR-LINAC EĞİTİMİ VE YETKİLENDİRME**
- **RADYASYON TEDAVİSİNDE MR'IN GELECEĞİ: MR TOPLULUĞU İÇİN ZORLUKLAR VE FIRSATLAR**
- **MR GÜVENLİK KLAVUZU**
- **DİKKAT! MR ODASINA GİRİYORSUNUZ!**
- **UYGULAMALARA DAHA İYİ BİR PARTNER OLMAMIZI SAĞLAYAN YAKLAŞIMLAR, İLKELER, BEKLENTİLER, DURUŞLAR VE VAROLUŞ BİÇİMLERİ...**
- **RADYASYON ONKOLOJİSİ KAZA ÖĞRENME SİSTEMİ-9**

e-posta: medfizonline@gmail.com

web: www.medikalfizik.org

BASIM

e-kopya

Medikal Fizik Derneği'nin katkılarıyla

MedFiz@Online DERGİSİNDE YAYINLANAN YAZILAR YAZARIN SORUMLULUĞUNDADIR.

MERHABA: 2023 ULUSLARARASI MEDİKAL FİZİK GÜNÜ

IOMP (International Organisation for Medical Physics) Kuruluşu bu yıl 60. yılını kutlama etkinlikleri içinde 2023 Uluslararası Medikal Fizik Günü için bir afiş yarışması açmıştı. Yukarıda görülen afiş "Radyoterapi Merkezi, Ulusal Onkoloji Enstitüsü ve Budapeşte Teknoloji ve Ekonomi Üniversitesi, Budapeşte, Macaristan" da çalışan Enikő Koszta ve Szilvia Gazdag-Hegyesi yollanan 30 afiş önerisi arasından kazandı.

Daha önceki sayılarımızda da belirttiğimiz üzere, 2023 yılı 7 Kasım'da kutlanacak olan Uluslararası Medikal Fizik Günü teması "Devlerin Sirtında Yürümek" idi.

MedFiz@Online e-Dergisi olarak tüm meslektaşlarımızın

"Uluslararası Medikal Fizik Günü" nü büyük bir heyecan ve zevkle kutluyoruz. IOMP' un önerisi üzerine afişte yer alan ve kilometre taşları olarak verilen tarihlerdeki önemli gelişmeleri biz de Türkçe olarak veriyoruz.

1972, Godfrey Hounsfield: Godfrey Hounsfield ticari olarak kullanılabilen ilk CT tarayıcısıdır. Bu teknolojiyi

International Organization for Medical Physics

IDMP2023
November 7

IOMP

International Day of
Medical Physics

60th
Anniversary

STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS

1980
John Mallard and his team obtained the first clinically useful image of a patient's internal tissues using the full-body MRI scanner they built. The first MRI images were produced in 1973 by Paul Lauterbur while MRI techniques were refined by Peter Mansfield. Lauterbur and Mansfield received the 2003 Nobel Prize in Physiology or Medicine.

1972
Godfrey Hounsfield first commercially available CT scanner. He co-invented the technology with Allan McLeod Cormack. Named after Hounsfield, the HU is a measure of radiodensity used in CT. Hounsfield and Cormack received the 1979 Nobel Prize in Physiology or Medicine.

1952
Franklin's work on X-ray diffraction helped to reveal the structure of DNA, which paved the way for the development of medical imaging technologies such as CT scans and MRI.

1950s
Progress in Radiotherapy. Harold Johns invented the ⁶⁰Co teletherapy unit in 1951. In 1953 the first clinical linear accelerator for cancer treatment was installed. This pioneering work helped establish medical physics as a unique field in healthcare.

1903
Marie Curie and Henry Becquerel's pioneering research on radioactivity laid the foundation for the field of medical physics and helped to establish radiation therapy as a treatment for cancer.

1895
Röntgen discovered X-rays in 1895 that revolutionized medical diagnostics. In recognition of his work, Röntgen was awarded the first Nobel Prize in Physics in 1901.

Celebrate IOMP's 60th Anniversary!
Six decades of promoting the advancement of medical physics worldwide!

Allan McLeod Cormack ile birlikte icat etmiştir. Adını Hounsfield' den alan HU, CT' de kullanılan bir radyoyoğunluk ölçüsüdür. Hounsfield ve Cormack 1979 Nobel Fizyoloji-Tıp Ödülü'nü almıştır.

1950, Radyoterapide İlerleme: Harold Johns 1951 yılında Co⁶⁰ teleterapi tedavi cihazını icat etti. 1953 yılında kanser tedavisi için ilk klinik lineer hızlandırıcı

kuruldu. Bu öncü çalışma, medikal fiziğin sağlık alanında benzersiz bir alan olarak yerleşmesine yardımcı oldu.

1895, Röntgen: Röntgen 1895 yılında tıbbi teşhis alanında devrim yaratan X-ışınlarını keşfetti. Çalışmalarından dolayı Röntgen, 1901 yılında ilk Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü.

1980, John Mallard: John Mallard ve ekibi, tasarladıkları tüm vücut MRI tarayıcısını kullanarak bir hastanın iç dokularının ilk görüntüsünü elde etti. İlk MRI görüntüleri 1973 yılında Paul Lauterbur tarafından üretilirken, MRI teknikleri Peter Mansfield tarafından geliştirildi. Lantenbur ve Mansfield 2003 Nobel Fizyoloji-Tıp Ödülü'nü aldı.

1952, Franklin: Franklin'in X-ışını kırınımı üzerindeki çalışması, CT taramaları ve MRI gibi tıbbi görüntüleme teknolojilerinin geliştirilmesinin önünü açan DNA'nın yapısını ortaya çıkarmaya yardımcı oldu.

1903, Marie Curie ve Henry Bequerel: Marie Curie ve Henry Bequerel' in radyoaktivite üzerine öncü araştırması, medikal fizik alanının temelini attı ve radyasyon tedavisi olarak kanserin tedavisine katkı yaptı.

Galileo Galilei Ödülü

Physica Medica - European Journal of Medical Physics, "UHDP ve UHDR (Flash) ölçümleri için yeni bir çözüm: ALLS odasının teorisi ve kavramsal tasarımı" başlıklı Fabio Di Martino, Damiano Del Sarto, Maria Giuseppina Bisogni, Simone Capaccioli, Federica Galante, Alessia Gasperini, Stefania Linsalata, Giulia Mariani, Matteo Pacitti, Fabiola Paiar, Stefano Ursino, Verdi Vanreusel, Dirk Verellen, Giuseppe Felici'nin Physica Medica, Cilt 102, Ağustos 2022, Sayfa 9-18,

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2022.08.010>, 2022 yılında dergide yayınlanan en iyi makale seçilmiştir.



Başlıktan da anlaşılacağı üzere, bu makale, FLASH tedavileri sunmak için gerekli olan ultra yüksek doz-per-puls rejimleri altında ölçümler için kullanılacak bir gaz odasının tasarımına yönelik teori ve metodolojik adımları sunmakta ve böylece mevcut radyoterapideki temel zorluklardan birine cevap vermektedir. Bu makalede sunulan iyonizasyon odası, iyon/elektron rekombinasyonunu en aza indirmeyi ve deşarj rejiminden kaçınmayı amaçlayan yeni özelliklere sahiptir. FLASH-sparring etkisinin gözlemlenmesini sağlayacak ışınlama tekniklerinin geliştirilmesi ve klinik uygulamasına yönelik giderek artan ilgi göz önüne alındığında, bu çalışmanın alana önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. En iyi makalenin seçimi, Editörler, Yardımcı Editörler ve Yayın Kurulu üyeleri tarafından yapılan değerlendirme ile birlikte atıflar ve indirmeler temelinde gerçekleştirilmiştir. Galileo Galilei Ödülü 2022'nin kazananları olarak bu makalenin yazarlarını kutluyoruz.

Physica Medica Genel Yayın Yönetmeni
Prof. Iuliana Toma-Dasu

Malaga Deklerasyonu

2006 yılında Avrupa Medikal Fizik Kuruluşları Federasyonu (EFOMP) "Malaga Deklarasyonu"nu kabul etmiştir. Bildirge, Medikal Fizik uzmanlarının hastaların, çalışanların, halkın, bakıcıların ve refakatçilerin ve hastanelerdeki araştırma katılımcılarının radyasyondan korunmasındaki temel rolünü ortaya koymuştur. Bununla birlikte, o zamandan beri Medikal Fizik mesleği Avrupa'da gelişti ve 2013/59/Euratom direktifi ve "Medikal Fizik Uzmanlarına İlişkin Avrupa Kılavuzları" (RP174) gibi yeni düzenlemeler ve belgeler yayınlandı. EFOMP güncellenmiş çekirdek müfredatı yayınlamış ve mesleğin Avrupa düzeyinde tanınması için çaba göstermiştir. Bunu göz önünde bulundurarak, Federasyonun gelecek yıllardaki eylemlerine rehberlik edecek gelecek vizyonunu tanımlamak için orijinal Malaga Bildirgesi'nin güncellenmesi gerekli görülmüştür. Nisan 2023'te EFOMP'un ulusal üye kuruluşları tarafından onaylanan bu Deklarasyon, orijinal Malaga versiyonundan çok daha geniştir. Tıbbi cihaz teknolojisinin son 17 yıldaki hızlı gelişimi göz önüne alındığında bu beklenen bir durumdur.

Hastane ortamlarında Radyasyondan Korunma Uzmanı bir Medikal Fizikçi olmalıdır, çünkü Medikal Fizikçiler en üst düzeyde radyasyondan korunma bilgisi ve eğitimine sahiptir. Malaga Deklarasyonu'nun güncellenmesine yol açan tartışmayı canlandıran tutku ve enerji göz önüne alındığında, bunun mesleğimizin Avrupa'daki gelişimi için hepimizin istekleriyle uyumlu sağlam bir temeli temsil ettiğinden eminiz.

Medikal Fizik Alanında Avrupa ve Diğer Ülkelerde Olmak

Medikal Fizik (MF) mesleği bir evrensel özelliğe sahiptir. Tüm dünyada, MF aynı bilimsel gerekçeler ve protokoller kullanır. Bu nedenle, kullanılan konuşma dili dışında teşhis ve tedavi, kullanılan yöntemler değişmez. Bu nedenle medikal fizikçilerin çalışma alanları ülke sınırlarıyla çizilmemiştir. Aksine tüm MF'lerin dünyada ortak platformu gereklidir. Ülkemizin değerli MF'leri günümüzde başta Avrupa olmak üzere, diğer tüm ülkelerde çalışma olanaklarını araştırmalı ve bu ülkelerde kısa ve uzun erimli hedeflere sahip olmalı, Uluslararası MF kuruluşlarının değişik komitelerinde yer almalıdır. Bir örnek vermek gerekirse, EFOMP'un yayın kurulunda, 18 adet MF görev yapıyor. Bu kişilerin 15 i değişik ülkelerin MF'leri. Benzer tabloyu ESTRO ve benzeri kuruluşlarda da görmek mümkün.

Medikal Dozimetrist Günü

Dergimiz, 16 Ağustos 2023 tarihinde tanımlanan Ulusal Medikal Dozimetristler Günü'nü kutlamaktan mutluluk duymaktadır. Kanser tedavisinde önemli bir rol oynayan, radyoterapi ekibinde yer alan ancak ülkemizde tanımı onaylanmamış olan dozimetrist arkadaşlarımıza selamlarımızı iletiyoruz.

MRI Üzerine Yazılar

Bu sayımızda MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) üzerine yazılar yer alıyor. Bilindiği gibi MRI iyonlaştırıcı radyasyon yayan bir görüntüleme sistemi değil. Ancak, hem radyoterapide çok fazla hasta görüntüleri kullandığımız MRI sistemleri, hem de MRI tabanlı terapi cihazları bu konuda güvenli kullanım için medikal fizikçileri yeterli olmaya yönlendiriyor.

Zorunlu olarak, hem hasta görüntülemesinde, hem de MRI tabanlı linak tedavilerinde uyulması gereken güvenlik önlemlerinin üzerinden geçme ihtiyacını karşılamak istedik. Bu nedenle ilgili yazılara yer verdik. Yazılarımız bu yönde medikal fizikçilere önemli açıklamalarda bulunuyor.

Medikal Fizik Derneği: Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 2-5 Kasım 2023 tarihlerinde toplanıyor

MedFiz@Online e-dergisi olarak kongrenin tüm Medikal Fizik topluluğuna, yeni açılımlar, yeni atılımlar, yeni umutlar getirmesini diliyoruz.

2023 yılı sonu itibari ile 8. yılımızı bitiriyoruz. 2024 yılı için sizlerden gelen beklentiler ve öneriler bizleri ziyadesiyle mutlu edecektir. Birlikte daha güzel bir MedFiz@Online için el ele verelim, daha güzel bir dergi için adımlar atalım.

Saygılarımızla.

Haluk ORHUN



ACIBADEM BODRUM HASTANESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ BÖLÜMÜ



Med. Fiz. Uzm Remzi Takeş

Med. Fiz. Uzm. Hande Kayacık

Acıbadem Bodrum Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü 2015 yılından beri Muğla ili içerisindeki ilk ve tek radyasyon onkolojisi bölümü olarak hastalarına hizmet vermektedir. Kliniğimizde 1 radyasyon onkoloğu, 2 medikal fizik uzmanı, 5 radyoterapi teknikeri, 1 hasta kabul yetkilisi ve 1 yardımcı sağlık personeli görev almaktadır. Kliniğimizde bulunan Varian marka Truebeam ve Unique cihazı olmak üzere iki lineer hızlandırıcı ile günlük olarak ortalama 80-90 hastaya radyoterapi tedavisi uygulanmaktadır.

Tedavi Cihazları

Truebeam Cihazı

Maksimum alan boyutu 40 cm x 40 cm olan Truebeam lineer hızlandırıcımız 120 milenyum MLC donanımına sahiptir. Cihazımızda 6 MV, 10 MV, 15 MV, 6 FFF MV, 10 FFF MV foton enerjileri ve 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV 15 MeV ve 18 MeV elektron enerjileri bulunmaktadır.

Unique Cihazı

120 milenyum MLC'ye sahip Unique cihazımızın maksimum alan boyutu 40 cm x 40 cm'dir. 6 MV üreten cihazımız genel olarak palyatif hastaların tedavisinde rol almaktadır.

Dozimetrik Ekipmanlar

- Sun Nuclear- 3D Scanner su fantomu
- RW3 katı fantom
- Sun Nuclear SNC350p roos iyon odası
- Sun Nuclear SNC125c semiflex iyon odası
- PTW 30013 0,6cc Farmer iyon odası
- Sun Nuclear Elektrometre
- Geiger Müller 451

Klinik Kadro

Radyasyon Onkologu

- Prof. Dr. Halil Armağan Arıcan

Medikal Fizik Uzmanları

- Remzi Takeş
- Hande Kayacık

Radyoterapi Teknikerleri

- Necdet İlkey Karakurt
- Emine Hatun Akgül
- Ayşe Şenay
- Nazlı Hırçın
- Mine İçci

Sekreter

- Arzu Gengüç

Yardımcı Personel

- Lütfiye Mamak



Med. Fiz. Uzm Remzi Takeş

1981 yılında Diyarbakır'da doğdu. 2006 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fizik Bölümü lisans programını, 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Medikal Fizik AD Medikal Fizik Yüksek Lisans Programını tamamladı. 2009 Mart-Mayıs arasında Kocaeli Devlet Hastanesinde, 2009 Mayıs-2015 Nisan arasında Acıbadem Kayseri hastanesinde ve 2015 nisan ayından itibaren de Acıbadem Bodrum Hastanesinde Medikal Fizik Uzmanı olarak çalışmaktadır. İş yoğunluğundan kalan zamanlarda Orta Mesafe Ultra Maraton koşmaktadır.

Med. Fiz. Uzm. Hande Kayacık

1995 yılında İstanbul'da doğdu. 2019 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü Lisans Programını, 2021 yılında Acıbadem Üniversitesi Sağlık Fiziği Yüksek Lisans programını tamamladı. 2021 yılından beri Acıbadem Bodrum Hastanesinde Medikal Fizik Uzmanı olarak çalışmaktadır. Hobi olarak seramik sanatıyla uğraşmaktadır.

ULUSLARARASI MEDİKAL FİZİK GÜNÜ: MEDİKAL FİZİK DERNEĞİ'NİN KUTLAMASI

Dünyada ilk defa 7 Kasım 2013 tarihinde kutlanmaya başlanan "Uluslararası Medikal Fizik Günü" ile ilgili olarak Medikal Fizik Derneği' nin ve çalışma arkadaşlarımızın kutlama mesajlarını aşağıda sunuyoruz.

7 Kasım 1867 tarihinde Polonya' da doğan Marie Sklodowska-Curie, radyoaktivite üzerine çığır açan çalışmalarıyla Medikal Fizik alanında öncüdür. Bu anlamlı gün ilk defa 7 Kasım 2013 tarihinde Uluslararası Medikal Fizik günü olarak kutlanmaya başlamıştır. Fizik biliminin hasta tedavisinde oynadığı role dikkat çeken, ayrıca önemli medikal fizikçilerin tarih boyunca anıldığı bir gündür.

Her yıl, dünyanın dört bir yanındaki medikal fizikçiler **7 Kasım Uluslararası Medikal Fizik Günü**'nü canlı web seminerleri, eğitim seminerleri ve konferanslarla kutlamaktadır. Bu özel günde yapılması tavsiye edilen faaliyetler aşağıdaki gibidir:

1. X-ışınlarının nasıl üretildiği ve tıbbi görüntüleme sistemlerinin nasıl çalıştığı hakkında daha fazla bilgi edinin.
2. Hastanenizde iyonlaştırıcı radyasyon uygulamalarına katılan sağlık çalışanlarına sıkı çalışmaları ve özverileri için teşekkür edin.
3. Caridad Borrás, David W Townsend, Dr. Eiichi Tanaka, Maryellen L. Giger ve Godfrey Hounsfield gibi günümüz tarihinin ünlü medikal fizikçileri hakkında bilgi edinin.
4. "Marie Curie'nin Dehası" belgeselini izleyin:

Dünyayı Aydınlatan Kadın" belgeselini veya "Radyoaktif" filmini izleyin.

5. Bu günü sosyal medyada **#International Day of Medical Physics** etiketiyle paylaşın.

Bu yıl IOMP tarafından düzenlenen IDMP 2023 poster yarışmasının kazananlarını tebrik ediyoruz. Poster sadece görsel olarak büyüleyici olmakla kalmıyor, aynı zamanda Uluslararası Medikal Fizik Günü' nün özünü de etkili bir şekilde aktarıyor. Bu yılki posteri MedFiz@Online e-Dergisinin kapağında görebilirsiniz.

Ülkemizde Medikal Fizikçi'nin görev ve sorumlulukları 22 Mayıs 2014 Perşembe tarihli 29007 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "SAĞLIK MESLEK MENSUPLARI İLE SAĞLIK HİZMETLERİNDE ÇALIŞAN DİĞER MESLEK MENSUPLARININ İŞ VE GÖREV TANIMLARINA DAİR YÖNETMELİK" te detaylı olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca "IAEA HUMAN HEALTH SERIES No:25" raporunda medikal fizik uzmanlarının görev ve sorumlulukları detaylı olarak belirtilmiştir. Ülkemizde yetişmiş sağlık fizikçisi ve medikal fizik uzmanları, uluslararası yayın ve protokolleri takip eden, uluslararası camiada tanınan, klinik kalite kontrol protokollerini uygulayan ve güncel tutan kişilerdir.

Her geçen yıl Medikal Fizik uygulamaları gelişmekte olup Medikal Fizik bilimi tanınmakta ve değeri artmaktadır. Ülkemizde tanı ve tedavi amaçlı olarak kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon ile ilgili yeni yönetmelikler çıkmakta ve üzerinde çalışılmaktadır. Bu da mesleğimizin öneminin gelecek yıllarda daha da artacağına bir göstergesidir.

Yeni çıkan yönetmelikte her ne kadar kanuni olarak meslek tanımı sağlık fizikçisi ismi ile yapılmış olsa da bu yönetmelikle birlikte ilk defa derneğimizin mesleki ismi olan "Medikal Fizikçi" tanımlaması yer almıştır. Bu tanım Eurotom 97/43 te yer verilen "Medical Physics Expert" görev tanımı ile uyumaktadır. İnanıyoruz ki ileride kanun ve yönetmeliklerde yapılacak düzenlemelerle mesleğimiz gerekli saygı ve değeri görecektir.

Ayrıca son yıllarda Medikal Fizik alanında eğitim veren üniversitelerin artması ve buna paralel olarak akademik ünvanlı çalışan meslektaşlarımızın artması bizim için çok önemli gelişmelerdir. Bu akademik görevlerde yer alacak meslektaşlarımızın artması bilimsel ve akademik anlamda da mesleğimize büyük katkılar sağlayacak ve kalitemizi artıracaktır.

Uluslararası Medikal Fizik Günü kutlu olsun.

MEDİKAL FİZİK DERNEĞİ YK.

Medikal Fizik alanında çok uzun yıllar çalışıp emekli yaşamını sürdüren Ali Yaşar Öztürk ve Medikal Fizik yaşamının daha başlangıcında olan Merve Aze Dirik arkadaşlarımızın Uluslararası Medikal Fizik Günü ile ilgili görüşlerini sizlere sunuyoruz.

Mesleğimize olan saygımız çok büyük.

İlk defa 2012 yılında bir MR cihazının içini görmemle başlayan medikal fizik merakım bugün medikal fizik doktora eğitimimle devam etmektedir. Medikal fiziğin farklı kulvarlarında çalışmış hastaneye ise yeni atanmış bir sağlık fizikçisi olarak, yaşadığımız maddi manevi tüm zorluklara rağmen mesleğimize duyduğumuz öz saygıyı, fiziğe olan daimi merakımızı böyle bir günde

sizlere yeniden hatırlatmaktan mutluluk duyar tüm meslektaşlarımızın **Medikal Fizik Günü**'nü kutlarım.



Merve Aze Dirik

2018 yılında Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler

Enstitüsü'nde Sağlık Fiziği yüksek lisans eğitimimi tamamladım. Bu süreçte Pr-142 radyoaktif kaynağının üretilmesi ve prostat kanseri brakiterapisinde kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine yürütülen bir TÜBİTAK projesinde çalıştım. Bu proje ile eş zamanlı olarak Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) tarafından koordine edilen bir CRP projesinde araştırmacı olarak görev aldım. Proje kapsamında yürütülen çalışmalar neticesinde Rusya Atom Enerji Ajansı (ROSATOM) ve IAEA tarafından düzenlenen çok sayıda teknik toplantıya konuşmacı olarak katıldım. Şu an halihazırda Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik doktora programında eğitimime devam etmekle birlikte Bursa Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesi'nde Sağlık Fizikçisi olarak görev almaktayım.

Kutsal bir mesleği icra etmeniz nedeniyle gurur ve mutluluk duymalısınız.

1970 yılında başladığım yolculukta hastalara şifa olmanın mutluluğunu hala taşıyorum. Adı bile insanları ürküten hastalığın tedavisinde rol almak, hastaların hissettiklerini anlayabilmek çok zor olsa da, bir nebze olsun onların gözlerinde bir tebessüm

oluşturabilmek beni mesleğimize bağlayan faktörlerden biri oldu. Bu yolda bayrağı teslim ettiğimiz yeni nesillere söylemek istediğim şudur ki; öncelikle hastaları anlamaya çalışın, onların ne kadar zorlu bir süreçten geçtiğini asla unutmayın, onların yüzünde ufak bir tebessüm oluşturmak ve onlara şifa olabilmek için çok kutsal bir mesleği icra ettiğinizin gururunu ve de mutluluğunu yaşayın. Medikal fizik gününün kutlanmaya başlandığı yılda emekli olmuş bir emektar olarak; tüm meslektaşlarımın "**Dünya Medikal Fizik**" gününü kutluyorum.



Ali Yaşar Öztürk

1943 yılında Malatya'da doğdum. 1960 yılında Ankara Gazi Lisesinden mezun olduktan sonra 1966'da Ankara Üniversitesi Fen Fakültesini bitirdim.

1969 yılında aynı fakültede yüksek lisans eğitimimi tamamladım. 1970 yılında Ankara Onkoloji Hastanesinde çalışmaya başladım. 1977' de 6 ay süreyle Hollanda Utrecht Tıp Fakültesi Hastanesinde radyoterapi üzerinde eğitim aldım. 1997' de kamu sektöründen emekli olduktan sonra, 2013 yılına kadar özel sektörde çalışarak meslek hayatımı sonlandırdım.

A.B.D.'DE MEDİKAL FİZİKÇİ OLMAK



Med. Fiz. Uzm. Evren Üzümlü

A. B.D.'DE MEDİKAL FİZİKÇİ OLMAK

Sayın meslektaşımız Doç.Dr. Kamil M. Yenice'ye yoğun programında bize zaman ayırdığı için teşekkürlerimi sunuyorum.

1. Öncelikle meslektaşlarımıza biraz kendinizden bahseder misiniz?

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi'nde Fizik Lisans programını tamamladım, ardından Boğaziçi Üniversitesi'nde Fizik Bölümünde yüksek lisans yaptım. O zamanki hocaların etkisi ve günün modası olan konulara (yüksek enerji fiziği) yönelme eğilimim vardı. Fakat, Amerika Birleşik Devletleri'nde doktora eğitimine devam etmeye karar verince daha pratik ve uygulamalı bir alan olan yoğun madde fiziğini seçtim ve doktoramı Toledo Üniversitesi'nde (Ohio eyaletinde) tamamladım. Doktoradan sonra Penn State -Erie Üniversitesi'nde okutman(Lecturer) olarak

çalışmaya başladım ve aynı zamanda uzun vadede kariyer yapacak bir alan için arayış içindeydim. Benimle beraber aynı dönemde doktora yapan birkaç okul arkadaşımın Medikal Fiziğe geçtiğini öğrenince o konuyu araştırmaya başladım. O zamanlar residency ABD'de henüz yaygın değildi. Medikal Fizikte yüksek lisans dışında çoğunlukla ya doktora sonrası (Post Doc) olarak araştırma yoğunluklu veya asistan olarak (on the job training-çalışırken eğitim) geçiş imkanları vardı. Arkadaşlarımın da yönlendirmesi ile tekrar Medikal Fizikte bir master yapmanın Medikal Fiziğe geçişimi kolaylaştıracağını göz önüne alarak Wayne State Üniversitesi'nde Radyoterapi Fiziği üzerine yüksek lisans yaptım ve New York Hospital – Cornell Üniversitesi'nde ilk Medikal Fizik işimde (Clinical Physicist olarak) çalışmaya başladım. New York Hospital o zaman üç tane lineer hızlandırıcısı, bir tane simülatörü ve aynı zamanda çok aktif bir brakiterapi programı (HDR, LDR, ve intravenöz braki) olan bir klinikti. Kalifiye ekip arkadaşlarım ve bilhassa

hepimize çok büyük katkılarda bulunmuş bir şefimiz vardı. Onlardan klinikte deneyim kazanmam konusunda çok şeyler öğrendim. Orada klinik deneyim kazandıktan sonra New York'taki Memorial Sloan Kettering Cancer Center'de bir fakülte pozisyonuna geçtim. Fakülte pozisyonu bana daha fazla araştırma yapmak ve dönemin en tanınmış fizikçileri ve doktorları ile beraber çalışma imkanlarını sağladı ve meslekteki gelişmeye yardım etti. Son 18 senedir University of Chicago'da akademik fizikçi (doçent) ve klinik şef olarak çalışıyorum ve aynı zamanda da 2015'den beri Medikal Fizik Residency



Programı'nın direktörlüğünü yapıyorum.

2. A.B.D.'de Medikal Fizikçilerin eğitim ve sonrasında mesleki kabul süreçleri ne şekilde ilerlemektedir?

ABD'de Medikal Fizikçilerin klinik ile alakalı gerek akademik veya akademik olmayan (hastane pozisyonu) bir işte çalışabilmeleri için 2012

senesinden itibaren residency yapma şartı getirildi. Eğitim düzeyinin master veya doktora düzeyi olması ve zorunlu dersleri kapsamı (referans TG-365) gerekiyor. Residency olmadan board certification (American Board of Radiology veya Kanada muadili – CCMP- ki bence daha da zor bir sınav sistemi ve içeriği var- ile) almak mümkün değil. AAPM Qualified Medical Physicist (Kıfayetli Medikal Fizikçi) tanımını, sertifikasyon da dahil olarak ilişikteki linkte görüldüğü gibi tanımlıyor: https://w3.aapm.org/medical_physicist/fields.php

Peki klinik bir iş değilse yine residency ve board sertifikasyonu gerekiyor mu? Tercih edilen genellikle board sertifikasyonunu almış ve yeterli klinik tecrübesi kazanmış birisi olması. Bu Varian/Siemens, Elekta gibi firmaların ABD'de çalışan product training (ürün eğitimi) veya clinical application specialist (klinik aplikasyon uzmanı) pozisyonları dahil olmak üzere daha yüksek seviyede proje yönetimi konumunda çalışanları da kapsıyor. Bu tanınmış firmaların dışında; Google, Microsoft ve diğer büyük yazılım şirketlerinde doktora eğitilmiş, bilgisayar yazılım ve artificial intelligence (sanal zeka) konularında araştırma yeteneği olan, gerek radyoterapi gerekse görüntüleme fiziği konularında bilgili ve deneyimli medikal fizikçiler için çok yüksek maaşlarda iş imkanları var. Yine residency yapmış olmaları ve board certification almış olmaları iş konumuna göre tercih ediliyor. Örnek olarak, bizim residency programımızdan (University of Chicago) bir mezunumuz iki sene önce residency sonrasında Google'da bir iş buldu. İki gün boyunca mülakat yaptılar ve sınav verdiler: radyoterapi ve görüntüleme (imaging) konusunda programlama ve analitik

çözümleme gerektiren üç soru sormuşlar, cevaplamak için 6 saat gibi bir zaman veriliyor ve sınav sonucu değerlendirildikten sonra ikinci gün tekrar mülakat sonunda işe alındı. Buna benzer, Health Physics Imaging Scientist (sağlık fiziği görüntüleme bilim insanı) veya research scientist/engineer (araştırma bilim insanı/mühendisi) pozisyonları internet üzerinden bulunabilir. İlgilenen Türk meslektaşlarımız arama motorları ile internet üzerinde arama yapabilir. İşin niteliğine ve düzeyine göre board sertifikasyonu gerekmebilir.

Özet olarak ABD’de medikal fizikçilerin yüksek lisans eğitiminden sonra, gerek MS gerek PhD mezunları, iki



ya da üç senelik residency yapmaları hemen hemen zorunlu hale geldi.

3. Yabancı bir medikal fizik uzmanının A.B.D.’de çalışabilmesi için geçmesi gereken kabul ve onay süreçleri nelerdir?

Yabancı bir medikal fizik uzmanının (uzmanlığı ABD’de yukarıda olduğu gibi Amerika Tıp Fizikçileri Derneği (American Association of Physicists in Medicine (AAPM)))’in tanımı ile belirlenmiş şekilde eğitim ve board sertifikasyonu süreçlerinden geçmesi gerekiyor, maalesef kestirme bir yolu yok. Bunun dışında daha da önemlisi ABD’de çalışma izni gerekiyor yani çalışma vizesi. Bu konu çok detaylı ama önemli birkaç şeyi özetleyeceğim. Birincisi, en kolay yolu ABD’de MS veya PhD yapmak. Öğrenci vizesi (F1) almak çok daha kolay. Tabii popüler bir programa

kabul almak o kadar kolay olmayabilir, bilhassa burslu olarak (financial aid ve tuition reimbursement). Aldığınızı düşünelim, Master veya doktora sonunda bir ya da iki sene practical training (uygulama eğitimi) denilen **OPT** vize statüsüne hak kazanılıyor. Bu, aralarında Medikal Fizik de dahil olmak üzere, **STEM** (science, technology and medicine/mathematics) gibi konularda yüksek lisans mezunları iki sene daha **STEM OPT** uzatması alabiliyor. Detayları ilişikteki linkte bulabilirsiniz: <https://www.uscis.gov/working-in-the-united-states/students-and-exchange-visitors/optional-practical-training-opt-for-f-1-students>

Bu 2-3 senelik sürede residency yapmak ve arkasından bir iş bularak **H1B** vizesine başvurmak (işverenin sponsor olması gerekiyor) olasılığına yol açıyor. Genellikle akademik (yani üniversite hastanesi) pozisyonları H1B almak için ideal, ya da Google veya Microsoft gibi firmalar. Diğer firmalar (küçük klinikler) bu vizeye sponsor olmayabilir veya kotaları olmayabilir, pahalı bir işlem olması dışında.

Son olarak da, eğer yurt dışından biri burada araştırma ağırlıklı (yani Post Doc veya Research Associate/staff) gibi bir pozisyona beraber çalışacağı hocanın ve üniversitenin desteği ile **J1** vizesi ile gelebilir. Ama J1 vizesi ile ABD’ye gelince 2-3 sene sonunda geri dönme zorunluluğu var. Belli koşullar dahilinde J1 vizesi H1B’e dönüştürülebilir ama bunun işlemleri oldukça karmaşık. Bu arada **H1B** vizesi, iş



devam ettiği halde, 4-5 sene sonra göçmen vizesine (Green kart) başvurma imkanı hazırlıyor.

4. Kişisel tecrübelerinizden yola çıkarak hem A.B.D.'de yaşam tarzı hem de medikal fizikçilerin statüsü açısından neler söyleyebilirsiniz?

Medikal Fizikçilerin statüsü gerek hastane ortamında gerekse akademik ortamda yüksek seviyede tanınıyor ve maddi olarak doktorlar ve finans ile ilgili bir iki meslek dışında en yüksek düzeyde maaş alan gruplardan biri. İş ortamı genellikle çok yoğun ve beklentiler bilhassa akademik seviyede çok yüksek, yani üretkenlik (yayınlar ve araştırma konularında ve ulusal düzeydeki aktivite) çok önemli.

5. A.B.D.'de medikal fizik eğitimi almayı düşünen ve çalışmayı düşünen Türk medikal fizikçiler için tavsiyeleriniz nelerdir?

Birinci derecede lisan düzeyinin hem konuşma ve hem yazılı iletişimde çok yüksek olması gerekiyor. Buna ABD'nin eğitim, iş ve çalışma kültürünü iyi bilmek de dahil. Yani bir programa veya bir işe nasıl başvuru yapılır, CV, cover letter veya personal statement (bu ve referans mektupları en büyük eksiklik hissettiren konuların başında geliyor) nasıl yazılır, yazılı ve sözlü iletişimin protokolleri ve kuralları nelerdir bunları çok iyi bilmek gerekiyor (Türkiye'de ve Avrupa'da kullanılan birçok akademik terim burada çok farklı şekilde kullanılıyor, örnek olarak: fakülte, college, vs.). Yaptığınız çalışmalar ve yayınları nasıl karşı tarafa etkili bir şekilde iletebiliyorsunuz ve onların ilgisini toplayabiliyorsunuz, bu önemli bir konu. Klinikte çalışacak elemanların her düzeyde çalışan meslek grupları ile iletişim kurabilmeleri ve kendilerini ifade edebilmeleri (yine lisan ve kültür bilgi seviyesi önemli).

Burada eğitim almadan ve burada yaşamadan bunların bir çoğunu öğrenmek çok zor. Bu gibi iletişim konuları dışında mesleki konulardaki uzmanlık (expertise) da çok önemli.

İletişim ve lisan dışında, ders notlarının ve not ortalamasının (GPA) yüksek olması şart. Ne kadar yüksek? En azından GPA= 3.0 (4.0 üzerinden). Yabancı öğrenciler ve az tanınmış üniversitelerden gelenler için GPA=4.00 olması bile çok fazla bir anlam ifade etmeyebilir. Çok iyi bir İngilizce ile yazılmış personal statement (genellikle bir sayfa uzunluğunda başvurduğunuz konuya neden ilgilisiniz, o konuda sizi başarılı yapacak daha önceki deneyimleriniz ve başarılarınız, önemli hayat deneyimleri – yani esprili bir örnek olarak: dünyadaki en yüksek üç tane dağa tırmandım, yolda mahsur kalan dağcılar kurtardım ve bu deneyim sırasında daha önce kazandığım deneyimlerin beni böyle bir liderliğe hazırladığını yaşayarak kanıtladım, ve bu özellikler okulunuzdaki doktora öğrenimim sırasında karşılaşacağım güçlükleri yenebileceğimi gösterdi- gibi...). Son olarak, eğer referans mektubu yazmayı bilen bir hoca ile çalıştıysanız size başvurmanız için çok faydalı olacağına emin olun.

6. Genç medikal fizikçilerin kendilerini geliştirmek ve rakipleri ile fark yaratmak adına neler yapmalarını tavsiye edersiniz?

Yukarıda bahsettiğim gibi lisan konusundaki zorlukları yenmiş olmak ve çalışma alanlarında yüzeysel bilginin dışında araştırmaya ve veriye dayalı çok derin bilgi sahibi olmak, bunu tanınmış ortamlarda/dergilerde yayın yaparak kanıtlamak ve en azından böyle bir seviyeye çıkmak için gerekli hazırlıkları yapmak. Son

20-25 senede Medikal Fizik alanı çok büyük değişiklikler ve ilerlemeler kaydetti. Takip ettiğim kadarı ile Türkiye’de bir çok merkez modern sistemler ile donanmış vaziyette. Bir çok kişi üzerinde çalıştıkları modern cihazlarla gurur duyuyor ve açıkça bunu bir üstünlük unsuru olarak görüyor ya da o şekilde konuşuyor. Asıl önemli olan nasıl bir cihaza sahip olduğunuz değil fakat elinizde olan cihazla ne yaptığınız, ne geliştirdiğiniz, ne yenilik yaptığınız veya nasıl bir etki yarattığınızdır. İlerisi için önemli hale gelmiş ve gelmekte olan konularda (yapay zeka, machine learning, yüksek matematik, computational science, vs) bilgi sahibi olup uygulama yapacak seviyede deneyim kazanmak, medikal fizikteki büyük problemleri anlayacak düzeyde büyük resmi (big picture) görebilmek ve onu aktarabilmektir. MS veya doktora almış medikal fizikçilerin ilk önce kendilerine şu soruları sormalarını tavsiye ediyorum: MS veya doktora tezimin ana hipotezi veya hipotezleri nelerdir, hangi soruyu ya da soruları cevaplıyor, benim bu konudaki katkılarım nelerdir, tezimin cevaplamakta kısıtlı ve eksik olduğu alanlar ve sınırlar nelerdir? Bunlar genellikle ABD’de bir işe başvurduğunuzda

karşılacağınız sorular arasında yer alır, aynı zamanda ne şekilde yönlenmeyi belirtir. Umarım verdiğim bilgilerin genç arkadaşlarımıza faydası olur. Herkese iyi çalışmalar diliyor, sevgiler ve saygılar gönderiyorum.



Med. Fiz. Uzm. Evren Üzümlü

1983 yılında İzmir’de doğmuştur. Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Lisans ve İstanbul Üniversitesi Sağlık Fiziği Yüksek Lisans programlarından mezun olmuştur. 2012 yılında Medicana International İstanbul Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü’nde başladığı meslek hayatına sırasıyla; Sakarya Üniversitesi, Aktif Çare Tıbbi Cih. Tic. Ltd. Şti. hizmet alımı; Aydın Atatürk Devlet Hastanesi, Onkomer Özel Onk. Mrk. hizmet alımı ve Bağcılar Eğitim ve Araştırma Hastanesi; Medideal Medikal Projeler ve Çözümler San. Tic. A.Ş. bünyesinde Hudut ve Sahiller projesinde; MNT Healthcare Europe SRL, Neolife Medical Center Iaşi Radyasyon Onkolojisi Departmanı’nda çalışmıştır. Şu anda Romanya’da Medeuropa SRL, Medeuropa Iaşi Radyoterapi Merkezi, Radyasyon Onkolojisi Departmanı’nda çalışmaktadır.

2023 NOBEL FİZİK ÖDÜLLERİ SAHİPLERİ: PIERRE AGOSTINI, ANNE L'HUILLIER VE FERENC KRAUSZ



2023 Yılı Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan Pierre Agostini, Anne L'Huillier ve Ferenc Krausz

Prof. Dr. Burçin Ünlü

2023 Nobel Fizik Ödülü, madde içindeki elektron dinamiklerini incelemek için attosaniye (10^{-18} s) ışık atımları üreten deneysel yöntemler geliştirmelerinden dolayı Pierre Agostini, Ferenc Krausz ve Anne L'Huillier'e verildi. Bu üç bilim insanı yaptıkları deneylerle, elektronların hareketlerini ve enerji değişimlerini incelemek için attosaniye mertebesinde son derece kısa lazer atımları üretmeyi başarmıştır. Atom ve moleküllerin iç dünyasını keşfetmede önemli yeni araçlar sunan bu öncü çalışmalar, attosaniye fiziği alanının doğuşuna ön ayak olmuştur.

Elektronikte örneğin, bir malzeme içinde elektronların nasıl davrandığını anlamak ve kontrol etmek çok önemlidir. Attosaniye atımlar, elektronların hareketlerini ve etkileşimlerini incelememize olanak sağlar. Böylece yarı iletkenlerdeki elektron akışını optimize edebiliriz ve daha verimli elektronik cihazlar geliştirebiliriz.

Ayrıca attosaniye ışık atımları, moleküllerin titreşim ve dönüş hareketlerinden kaynaklanan küçük farklılıkları yakalayabilir. Bu sayede hastalıkları teşhis etmekte kullanılan moleküller arasındaki ince ayrımları görebiliriz. Mevcut medikal görüntüleme yöntemlerinden çok daha hassas ölçümler elde edebileceğimiz için erken teşhis, tedavi ve tedavi takibinde büyük çığır açabilir.

Kısacası, attosaniye fiziği elektronikten sağlığa pek çok alanda devrim niteliğinde gelişmelere kapı aralayabilir. Bundan dolayı Nobel Fizik Ödülü 2023 yılında Agostini, Krausz ve L'Huillier'e verilmiştir.

Prof. Dr. Burçin Ünlü

Özyeğin Üniversitesi



ICRU RAPORU NO: 97

MR REHBERLİĞİNDE, MRI LİNEER AKSELERATÖR KULLANILARAK YAPILAN RADYASYON TEDAVİSİ

Med. Fiz. Uzm. Nazlı Bilici Güven

Aşağıdaki yazı ICRU 97'nin özet çevirisidir.

1. MR Kılavuzluğunda Radyasyon Terapisi

Entegre edilmiş manyetik rezonans (MR) lineer hızlandırıcıları kullanan MR kılavuzluğunda radyasyon terapisi (MRGRT), radyoterapide uygulanan, yumuşak dokuyu görüntüleme ve radyoterapi öncesinde ve sırasında gözlemlenen anatomik ve fizyolojik değişikliklere tedaviyi uyarlama yeteneği sunan, hızla ilerleyen bir teknolojidir. Tedavi öncesinde ve sırasında, tedavi pozisyonunda ayrıntılı, yüksek kontrastlı MR görüntülerinin elde edilmesi, MR linaklara özgü yeni bilgi kaynakları ve iş akışı değişiklikleridir. Baş ve boyun kanserli hastaların tedavileri için tedavi sırasında meydana gelen nefes alma ve yutkunma en ince ayrıntısına kadar izlenebilmektedir. X-ray tabanlı görüntüleme radyasyon tedavisi teknolojileriyle karşılaştırıldığında MRGRT, hasta pozisyonlandırma ile ilgili belirsizlikle ilişkili güvenlik marjlarını azaltarak daha iyi tümör kontrolü ve elde edilen normal doku komplikasyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir.

MRGRT' de, MR görüntüleri, orijinal tedavi planının oluşturulmasından bu yana gözlemlenen anatomik değişiklikleri hesaba katarak tedaviyi uyarlamak için kullanılır. Özellikle difüzyon ağırlıklı MR gibi gelişmiş görüntüleme teknikleri, hedefin değişen biyolojik özelliklerinin günlük olarak izlenmesine olanak sağlar.

Adaptif radyasyon terapisi (ART), çevrimdışı, çevrimiçi ve gerçek zamanlı olmak üzere üç farklı zaman



ölçeğinde çalışabilir. Seçim, anatomideki değişimin hızına, tedavi hedefine, teknoloji ve kaynakların kullanılabilirliğine ve tedavi iş akışı üzerindeki genel etkiye bağlıdır.

1.1 MRGRT Uygulamaları

ART stratejileri, günlük anatomiye dayalı bir plan oluşturma potansiyelindedir. MR, bilgisayarlı tomografi (BT) ile karşılaştırıldığında üstün yumuşak doku görüntülemesi özelliği vardır. MRGRT marjin azaltmasının yanı sıra, günlük görüntüleme ile günlük anatomi üzerinde adaptif plan yapma imkânı sunar.

1.2. Görüntü Kılavuzluğunda Radyoterapi (IGRT) 'nin Limitasyonu

Koni Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT) IGRT yöntemi sık kullanılır ve faydalıdır, ancak çoğu doku arasındaki X-ışını atenuasyonunun nedeniyle görüntüler sınırlıdır. Tümörlerin çoğunluğu MRI'da BT'den daha iyi görüldüğünden, CBCT çoğu tümör bölgesi için anatomik eşleşmeyi kısıtlamaktadır.

1.3 MRGRT'nin Klinik Avantajları

Klinik olarak MR rehberliğine yönelmesinin sebebi, MR da daha iyi görüntüleme olduğundan daha doğru hedef belirlemedir. Bu özellikle doz uygulamasının daha önemli olduğu ve daha uzun tedavilerin daha tolere edilebilir olduğu hipofraksiyone tedaviler için geçerlidir. MR'daki üstün anatomik tanımlama, yumuşak doku tümörlerinin çoğu için daha iyi hedef tanımlamasına olanak tanır. Fraksiyon içi sine MR, ek bir güvenlik katmanı sağlar, doz dağıtımı sırasında geometrik kapsamayı doğrular ve radyasyon tedavisi süresince hareket eden hedeflerin izlenmesine olanak tanır.

1.4 MRGRT'nin Limitasyonu

Şu anda mevcut MR linakların altı boyutlu masa hareketini hesaba katacak şekilde masayı hareket ettirememeleri açısından standart linaklardan farklıdır. MRIdian'ın masası üç boyutlu bir şekilde hareket edebilmektedir, ancak Unity cihazında masa sadece tek yönde hareket etmektedir.

Multilif kolimatör (MLC) izleme sistemi şu an da gelişmektedir. Gating, MRIdian ve Unity sistemlerinde mevcuttur.

MR bore boyutunda bazı geniş hastalar ve klostrofobisi hastalar için sorun teşkil edebilir, ancak bununla ilgili deneyimler bunun nadiren bir sorun olduğunu göstermiştir.

1.5 İmmobilizasyon, Hasta Setup ı, Yeniden pozisyonlandırma, Hasta Konforu

Radyoterapide hasta konumlandırma prensipleri MR linaklar için önemini korumaktadır, ancak her tedavi fraksiyonunu yeniden planlayabilme yeteneği nedeniyle hasta pozisyonundaki tutarlılık ve günlük farklılıklar daha az önemlidir. Hastanın konumuyla ilgili özellikle dikkate alınması gereken hususlar arasında, MR güvenli veya MR koşullu immobilizasyon cihazları kullanılmalıdır. MR güvenli veya şartlı olduğu belirtilmediği sürece hiçbir cihaz MR linak ortamına getirilmemelidir.

Odada geçirilen sürenin uzun olması hastanın hazırlanmasına ilişkin kararı etkileyecek diğer bir husustur. MRGRT iş akışının farklı bileşenleri için gereken süreyi özetlemek üzere bir zaman analizi yapıldı; bu, hastalar arasında ortalama kurulum süresinin 5 dakika, MR taramanın ise 1-3 dakika

olduğunu ortaya çıkardı. Tedavi esnasında tümörün hedef hacimden çıktığında ışını kesmesi sebebiyle, hastanın ışınlanma süresi de uzamıştır. ART tedavisinde, yeniden planlama yapılması ve Step and Shoot IMRT ile hastaların tedavilerinin yapılması, hastanın cihazda kalış süresini uzatmaktadır. Bazı hastaların rutin olarak mesanelerinin dolu olması gerektiğinden, daha uzun tedavi seansı süresini tolere edebilmek için içme sürelerinin veya sıvı hacimlerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulacağından bunun akılda tutulması önemlidir. Tedavi pozisyonunu sürdürmenin fizibilitesinin de dikkate alınması gerekir. Hastalar, uzun süre tedavi masasında kalma ihtiyacı nedeniyle müziğin faydalı olduğunu ve dikkat dağıtıcı olduğunu belirtmişlerdir.

MR Linak Sistemleri

Piyasa da Elekta Unity, Viewray MRIdian ve MagnetTX Aurora-RT olmak üzere üç MR linak bulunmaktadır. Linak'ın MRI ortamında çalışmasını sağlamada

karşılaşılan başlıca sorunlar bulunmaktadır. Bunlar; manyetik alanda waveguide da hızlanmanın sağlanması, önemli bir ışın pertürbasyonu olmadan tüm açılardan radyasyon iletiminin sağlanması, RF güç kaynağının manyetik alana yakın çalışmasının sağlanması ve manyetik alan da ve çeşitli motorların kolimatör, MLC, gantri ve masanın çalışmasını sağlamaktır. MRI tarayıcının linak ortamında çalışmasını sağlamada karşılaşılan başlıca sorunlar; RF güç kaynağının, motorların, görüntü gürültüsüne etkisi, gantri rotasyonunun, Jawların ve MLC'nin, linak tarafından kullanılan çeşitli mıknatısların B homojenliğine etkisidir. Piyasadaki tüm MR Linaklar da bending magnet olmayan kısa waveguide kullanılmaktadır.

Bir diğer önemli tasarım seçeneği, manyetik alanın radyasyon alanına paralel mi yoksa dik mi olacaktır. Silindirik bir mıknatıs tasarımı yalnızca dikey bir radyasyon konfigürasyonu ile uygulanabilirken, iki düzlemlilik bir mıknatıs paralel veya dikey

Table 3.1. Characteristics of each MRI-linac device as of 2022.

Item	Elekta—Unity	ViewRay—MRIdian	MagnetTx—Aurora-RT
Linac characteristics			
Radiation source	7-MV FFF	6-MV FFF	6-MV FFF
SAD (cm)	143.5	90	120
TPR _{20,10} ^a	0.707	0.648	0.632
MLC configuration	Single stack	Double stack	Single stack
Number of leaves	160	138	120
Leaf width @ isocenter (mm)	7.1	8.30 (effective 4.15)	4.75
Leaf speed @ isocenter (mm/s)	86	40	55
Direction of leaf travel	IEC Y direction (CC)	IEC X direction (L/R)	Rotates with collimator IEC X direction (L/R)
Jaws	Orthogonal to MLC	None	Orthogonal to MLC
Collimator rotation	None	None	±90°
Max field size @ isocenter (IEC X × IEC Y)	57.4 × 22.0 cm ²	27.4 × 24.1 cm ²	28.5 cm diameter circle
Maximum dose rate @ isocenter for 10 × 10 field (cGy/min)	425	600	600
IMRT delivery technique	Step and shoot	Step and shoot	Sliding window Step and shoot
Radiates through cryostat	Yes	No	No
Delivery from full 360°	No	No	Yes
EPID available	Yes	No	No
Requires custom planning system	Yes	Yes	No
MRI characteristics			
Magnet strength (T)	1.5	0.35	0.5
Magnet type	Superconducting	Superconducting	High temperature superconducting
MRI configuration	Closed bore	Split closed bore	Open biplanar
Quench pipe required	Yes	Yes	No
Bore size (cm)	70	70	60 × 110 (rotates)
Magnetic field orientation	Perpendicular	Perpendicular	Parallel
Acquisition time	Typical 3D = 2 min Fast breath-hold = 18 s	3D = <3 min, Fast 17 s	3D = 3 min
MRI sequences			
	Most standard sequences as available on a diagnostic 1.5 T scanner (e.g., T1 weighted, T2 weighted, fat suppression, compressed sense, b-SSFP, DWI, FLAIR)	T1 weighted, T2 weighted, DWI, b-SSFP	T1 weighted, T2 weighted, b-SSFP
Cine image frame rate (frame/s)	4-6	4-8	n/a
Cine imaging planes	Single and orthogonal	Single and orthogonal	Beams eye view
Motion management	Image-based target tracking and automatic beam gating	Image-based target tracking and automatic beam gating	Image-based tracking or gating not released

Note. FFF = flattening filter free; SAD = source axis distance; TPR = tissue phantom ratio; MLC = multileaf collimator; EPID = electronic portal image device; b-SSFP = balanced steady state free precession; IEC = International Electrotechnical Commission; DWI = Diffusion Weighted Imaging.

^aTPR for a depth of 20 cm relative to a reference depth of 10 cm for a 10 × 10 field size at the depth of measurement.

konfigürasyona uygulanır. Elekta ve Viewray silindirik tasarımı kullanırken, MagnetTx paralel konfigürasyonda çift düzlemlerli bir mıknatis kullanılmaktadır. Her bir MR Linak cihazının özellikleri Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

1.6 Elekta Unity Dizaynı

Unity ile ilgili ilk çalışmalar 2009 yılında Hollanda da UMC Utrecht de gerçekleştirildi. İlk 2017 yılında, vertebra metastazı olan bir hasta anı yerde Unity sisteminde tedavi edildi.

Unity sisteminin özellikleri Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Sistem 1.5T MR, tek enerjili (7FFF), standing waveguide linak, orta çarpaz düzlemi etrafında dönen bir halkaya monte edilmiştir. Mıknatis tasarımı B homojenliğinden ödün verilmeden optimize edilmiştir. Ayrıca, statik ve düşük frekanslı manyetik girişim etkisini en aza indirmek için süper iletken bobin konfigürasyonu, mıknatisin etrafında en hassas lineer bileşenlerin yerleştirilebileceği düşük bir manyetik alan toroidi oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece hem linak hem de MR statik manyetik alanı tarafından engellenmez.

Unity sisteminde magnetron kullanılmaktadır. Magnetron linak ile birlikte döner ve tüm gantri açılarında düşük manyetik alan bölgesinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yüksek Tesla MRI özelliklerine ulaşmak için; foton ışını hem zayıflatacak hem de sertleştirilecek çok katmanlı vakum yalıtımı, bobin taşıyıcısı ve mıknatis kristalinin helyum dolu bölmesi boyunca ışınlama yapılması gerekiyordu. Mıknatis ve gradyan bobini, süper iletken bobinlerin orta çarpaz düzlemin dışına yeniden konumlandırılması ve bölünmüş gradyan bobini

kullanılmasıyla homojen iletim için optimize edildi. Böylece mıknatis ikiye bölündü ve bir kanal içinde süper iletken bir telle bağlandı. Bu kanal 13°'lik bir gantri açısında ortalanmıştır ve bunun neden olacağı önemli doz pertürbasyonu nedeniyle içinden geçen ışınlama bu sistem tarafından dışarıda tutulmuştur.

Radyasyon ışını her zaman ana manyetik alana diktir. Dolayısıyla ileri yönde saçılan ikincil elektronlara uygulanan Lorentz kuvveti bu konfigürasyonda her zaman maksimum olacaktır, Bu da electron return effect (ERE) ve electron stream effect (ESE)'ye yol açar. Viewray sisteminde manyetik alan Unity'e kıyasla daha küçük olduğu için ERE etkisi daha az olacaktır.

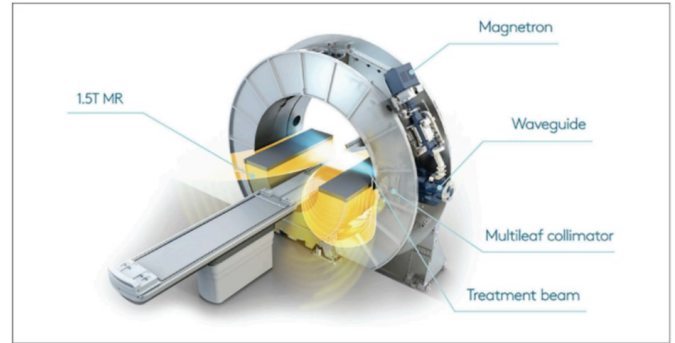


Figure 3.1. Representation of the Elekta Unity configuration. From www.elekta.com/products/radiation-therapy/unity/assets/LLFMRL220406_EK_VVP_Unity_A4_f.pdf. MR = magnetic resonance.

Unity sisteminde source axis distance (SAD) mesafesi 143,5cm'dir. Sistem, Elekta Agility linaka benzer kolimasyon sistemini kullanır, ancak genişletilmiş SAD ile konvansiyonel linakdaki 40 cm maksimum alan genişliği IEC X yönünde maksimum 57,4 cm olur ve MLC lif genişliği bu SAD'de 7,1 mm olur. Kranio kaudal yöndeki alan uzunluğu, süper iletken bobinler arasındaki boşluk nedeniyle 22 cm ile sınırlıdır. Unity sisteminde alan boyutu genişliği sebebiyle periferik yerleşimli tümörler tedavi edilebilir. Sistemin bore genişliği 70cm'dir. Hasta masası vertikal ve lateral yönde hareket etmez, sadece longitudinal yönde hareket eder.

MR'daki görüntü kalitesi büyük ölçüde signal-noise-ratio (SNR) ve contrast-to-noise-ratio (CNR)'ye bağlıdır. MR Linak ortamında gürültüyü azalttığımız zaman, SNR ve CNR'den iyi sonuçlar alırız. Linak parçalarının RF gürültüsüne sebep olmasıyla, radyoterapi ortamında gürültüyü azaltmak oldukça zordur. Unity Faraday kafesi oldukça eşsizdir, Faraday kafesinin iki tarafı kırıyostatin metal iç duvarı aracılığıyla birbirine bağlanmıştır. Tüm linak, gantri faraday kafesinin dışındadır ve difüzyon ağırlıklı görüntüleme gibi düşük sinyalli görüntülemeyi mümkün kılmak için gerekli RF ayırımını sağlar.

1.7 Viewray MRIdian Dizaynı

Viewray ile ilgili ilk çalışmalar 2014 yılında Florida Üniversitesinde gerçekleştirildi. Sistem, bir halka gantriye 120° aralıklarla monte edilmiş üç Co-60 kafasını birleştiren ve daha sonra linak bazlı bir sisteme dönüştürülen ilk ticari MR kılavuzluğunda radyoterapi cihazıdır.

Sistem 0.35T düşük bir manyetik alan kullanmaktadır. Mıknatis, dikey boşluklu çift halkalı yatay tasarım

kullanır. Linak ve MR bileşenlerini birbirinden izole etmek için; MR tasarımı, linak, magnetron ve RF zincirindeki tüm diğer bileşenleri barındıran eşmerkezli ferromanyetik silindirlere içeren, portalın etrafına monte edilmiş korumalı bileşenleri içerir. Şekil 3.3 de tasarım gösterilmektedir.

Unity sistemindeki gibi, radyasyon ışını her zaman manyetik alana dik olduğundan, Lorentz kuvveti etkisiyle ERE ve ESE etkileri görülür. Ancak, MRIdian sistemi Unity sisteminde göre daha düşük manyetik alan kullandığından, ikincil elektronların çizdikleri yay daha geniş olacaktır. Böylece ERE etkisi daha az görülecektir.

Unity sistemindeki gibi, MRIdian linak statik bir magnet etrafında döner ve magnetronda aynı gantri üzerinde döner. Ancak MRIdian sisteminde mıknatis, foton ışını, hedef ile hasta arasındaki boşluktan geçerken mıknatisin herhangi bir yerinden geçmeyecek şekilde bölünmüştür. Sistem, iki kırıyostati ayrı tutan destek yapısının içinde dönmelidir. Bu da, sistemin 90 cm'lik bir SAD'si olmasına yol açar. İki mıknatis arasındaki boşluk,

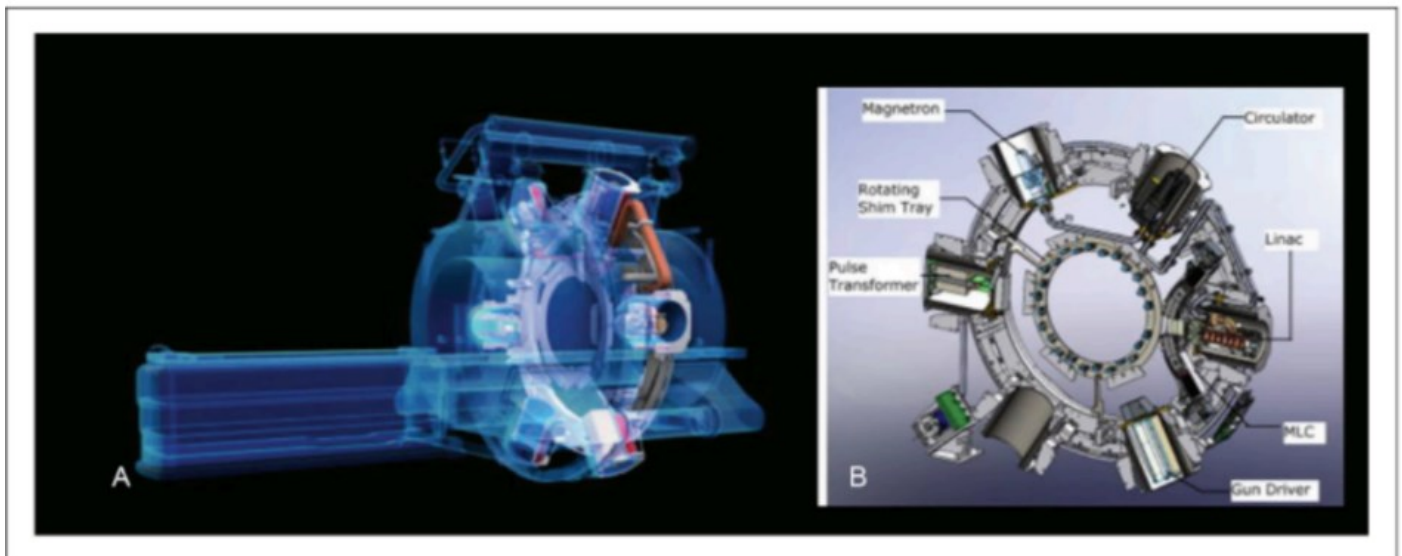


Figure 3.3. (A) Schematic drawing of the MRIdian system depicting the main hardware components: superconducting double donut magnet, circular radiation gantry and patient couch and (B) schematic drawing of the radiation gantry with linear accelerator components and MLC. MLC = multileaf collimator.

MRI'dian sisteminde 24,1 cm olan kraniyo kaudal yöndeki maksimum alan boyutuna sebebiyet verir. Sistemin bore genişliği 70cm'dir. Longitudinal yöne ek olarak, masa hem lateral hem de vertikal yönlerde hareket eder, tedavi öncesi görüntüleme sırasında tespit edilen herhangi bir yanlış hizalama durumunda hastanın doğru pozisyona getirilmesine olanak tanır.

Sistem diğer MR linaklar arasında en düşük manyetik alan gücüne sahiptir, bu nedenle SNR, manyetik alan yüksek olan MR linaklara göre daha düşük olacaktır. Klinik olarak kabul edilebilir SNR ve CNR'yi elde etmek için yüzey fazlı alıcı bobinler hastanın ön ve arka kısmına yerleştirilir. Ayrıca tüm odayı çevreleyen standart bir RF kafesi kullanılarak, gürültü üreten ekipmanlar RF kafesinin dışarısında bırakılarak RF gürültüsü azaltılmaya çalışılmıştır. Tüm gantri dönüşü bulunmamaktadır, cihaz 30° ve 33° açıları arasında dönmemektedir.

1.8 MagnetTX Aurora-RT Dizaynı

MagnetTX Aurora-RT Edmonton Kanada'daki Cross kanser enstitüsü ve Alberta Üniversitesi'nin çalışmalarına dayanmaktadır. 2008 yılında 6 mv enerjili linakla 0,2 T MR görüntüleme sistemini birleştirerek linak tabanlı MRGRT'nin prensip kanıtını gösteren ilk kişiler oldular.

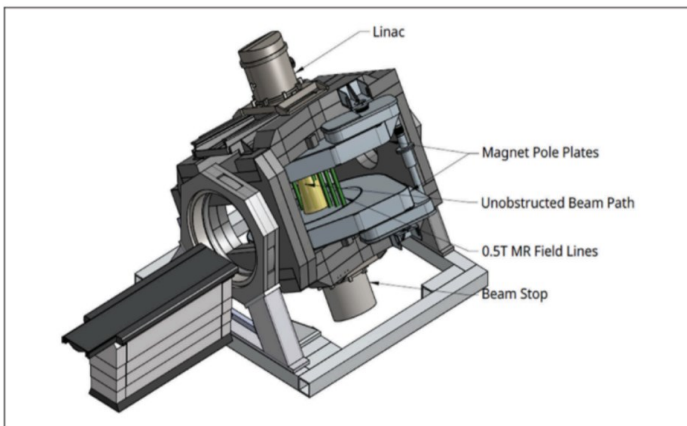


Figure 3.4. Representation of the MagnetTX Aurora-RT configuration showing the biplanar superconducting magnet mounted on the same gantry as the linear accelerator such that they rotate together keeping the magnetic field parallel to the beam path.

Aurora dizaynı Unity ve MRI'dian dizaynlarından farklıdır. Şekil 3.4. sistem gösterilmektedir. 0,5T'lik manyetik alan kuvveti, Unity ile MRI'dian sistemlerinin arasında yer alır.

Çift düzlemlili sistem radyasyon ışınının ana manyetik alanıyla hizalanmasına olanak tanır. Magnet ve linak birlikte dönerek linak'ı tüm gantri açılarında manyetik alana hizalı tutar. Bu, ikincil elektronlar üzerindeki Lorentz kuvvetinin diğer iki sisteme göre çok daha az olacağı ve ana manyetik alanın neden olduğu doz pertürbasyonunun minimum düzeyde olacağı anlamına gelir. Sistemde SAD 120cm, eşmerkez de MLC genişliği 4.75mm, maksimum alan genişliği 28.5cm'dir. Masa lateralde ± 23 cm vertikalde ± 35 cm hareket edebilir.

Sistem 0.5T superkonduktiv bir magnet kullanmaktadır. Diğer sistemlerin aksine, quench pipe'a ihtiyaç duymamaktadır. Sistemde makinenin tamamını saran bir RF kafesi kullanılmakta ve elektromanyetik gürültü üreten elektrikli cihazlar, gürültü miktarını azaltmak için mümkün olduğunca RF kafesinin dışında bulunmaktadır.

1.9 Avustralya MR Linak Dizaynı

Bugüne kadar inşa edilen dördüncü MR linak tasarımı, 1.0T manyetik alana sahip, Avustralya MRI linakıdır. Mıknatısın aktif koruması, MR'ın linak üzerindeki etkisini azaltmak için linakın yerleştirildiği yerde düşük bir alana sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Enerjisi 6MV'dir ve 120 yaprak MLC yapısı vardır. Maksimum alan boyutu 30cm'dir. Şekil 3.5. de gösterilmektedir.

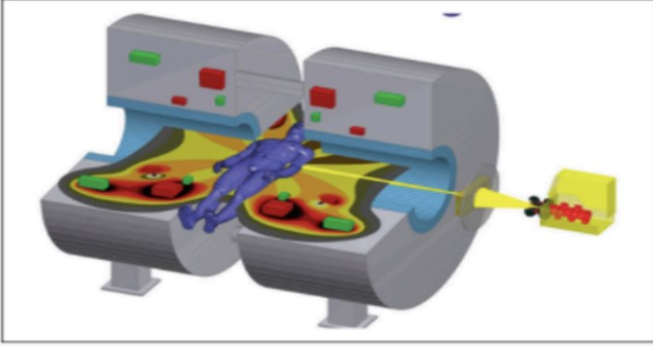


Figure 3.5. Representation of the Australian magnetic resonance imaging-linac configuration showing the split-bore superconducting magnet with the linear accelerator beam path aligned with the magnetic field. Courtesy of Dr Bradley Oborn.

2. MRGRT Tedavi Planlaması

2.1 Absorbe Doz Hesaplaması

MR kılavuzluğunda foton terapisinde, foton ışını manyetik alandan etkilenmezken, soğurulan dozun birikmesinden sorumlu olan ikincil elektronlar etkilenir. Elekta Unity sisteminde 57.4cm x 22cm maksimum alan boyutu ve 143,5cmlik SAD vardır. Viewray sisteminde ise, eşmerkez de maksimum 24,1cm x 27,4cm alan boyutu ve 90cmlik SAD vardır. Modelleme gerektiren en dikkat çekici etki, MRİdian ve Unity birimlerinde olduğu gibi ışının manyetik alana dik olması durumunda ortaya çıkan ERE'dir. ERE, bir elektronun yoğun bir malzemedan hava gibi daha az yoğun bir malzemeye doğru dönmesi ve önceki malzemeye yeniden girmesi için yeterli bir menzile sahip olması durumunda meydana gelir ve dozları % 40'a kadar bozar.

2.2 Tedavi Planlama Stratejileri

Online adaptif radyoterapi konvansiyonel radyoterapiden daha uzun sürdüğünden MR içerisinde hasta uzun süre kalacağından, hasta konforu hasta immobilizasyonun da önemli bir faktördür. Şu an da, MRGRT de mevcut üç MRI linak sisteminde de Step and Shoot IMRT tedavi tekniği

bulunmaktadır. Viewray MRI linak da, hareketli portal ile MLC'ler arasındaki eddy current ve RF girişimi, MR görüntü kalitesini bozarak ark terapisini engellemektedir; ancak çalışmalar devam etmektedir.

Geleneksel linaklarda olduğu gibi masa TPS de hesaba katılması gerekir. RF coilinden geçen ışınlar TPS de modellenir. Ayrıca, AAPM TG 176'ya göre, hasta immobilizasyon ekipmanları doz hesaplamasında hesaba katılmalıdır.

2.3 Deformable Image Registration

Deformable Image Registration (DIR), online tedavi sırasında ortaya çıkan interfraksiyon anatomik varyasyonları hesaba katarak, planlama görüntüsü ile günlük görüntü arasında konturları deform edip aktararak, bu iki görüntü arasında bir elektron yoğunluğu haritası gerçekleştirir.

2.4 Sadece MR planlama

Hasta alımında, tedavi planlaması ve radyasyon tedavisi için MR görüntüsü kullanmak adaptif radyoterapi için gereklidir. Ancak, absorbe doz hesabındaki heterojen bölgelerin doğru hesaplanması için gerekli olan elektron yoğunlukları ile MR yoğunluk değerleri arasında temel bir ilişki bulunmamaktadır. Bu nedenle sadece MR planlaması yapılacaksa bir sentetik CT oluşturulması gerekmektedir.

Sentetik CT oluşturmanın en basit yolu, hastayı homojen sayarak yoğunluğu su olarak göstermektir, ancak bu basitleştirme prostat radyoterapisinde yaklaşık %2,5 dozimetrik hataya neden olduğu gösterilmiştir. Bazı torakal tedavilerde %10'un üzerinde dozimetrik hatalar olabileceğinden, bu

basitleştirme tüm bölgeler için genellenemez. Hava, kemik gibi bölgelere yoğunluk ataması yapıldığında, absorbe doz belirsizliği %1,5 azalmıştır.

2.5 PTV marjini ne zaman güvenli bir şekilde azaltabiliriz?

MRGRT tedavisi boyunca, intrafraksiyon setup varyasyonları, tekrar kontrolama ve yeniden planlama ile azaltılabilmektedir. Hedef marjında, MR görüntüsünün daha iyi olması ve tedavi esnasındaki anlık hareketli hedef takibi sistemi sayesinde azaltılabilmektedir. Örnek olarak yakın zamanda yapılan bir randomize faz 3 tek merkezli çalışmada, lokalize prostat kanseri için, proksimal seminal vezikül ve prostat etrafında marjin azaltılması nedeniyle toksisitelerin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir.

3. MR Linakta Görüntüleme

3.1 MR kılavuzluğunda İmaj Kalitesi

MRGRT de görüntü kalitesi potansiyel adaptif planlama için hedefin ve organların kesin olarak tanımlanmasına izin verecek yeterli olmalıdır. Ayrıca tedavi süresini en aza indirmek için hızlı görüntü alımı da yapılabilmektedir. Dolayısıyla görüntü kalitesi, bir MRGRT sistemi üzerinde tedavi sırasında elde edilen görüntülerin kullanım amacı ile ilgilidir. Unity de (Şekil 5.1), MRIdian da (Şekil 5.2) prostat kanseri tedavisine yönelik adaptif ve doğrulama için kullanılan tipik görüntülere örnekler gösterilmiştir.

MRGRT iş akışında MR görüntüleri Setup/Adaptasyon için kullanılacaksa, hedef hacmin ve kritik organların net bir şekilde ayırt edilebildiği sekanslar tercih

Tablo 5.1. MRGRT sırasında farklı zaman noktalarında elde edilen beş görüntü kategorisini özetlemektedir.

Image type	Element (Fig. 1.1)	Primary purpose	Secondary purpose
Planning images	1	Treatment simulation and subsequent treatment planning	Used as a comparison image for subsequent treatment setup and adaptation
Setup/adaptation	4	Capture the anatomy of the day to be used for position correction or plan adaptation	Response monitoring (based on anatomical images) Capture and initialize motion model of the day in case of motion management
Verification	8	Final check of the target positioning, prior to starting irradiation	Used as a comparison image for anatomic changes and dose accumulation
Motion management	9	Motion management	Dose accumulation
Response monitoring	4-9	Monitoring treatment response	Outcome prediction



Figure 5.1. Three-dimensional T2-weighted magnetic resonance imaging of a patient with prostate cancer, used for adaptation on the Unity system (1.2 mm × 1.2 mm × 2.0 mm voxel size, 40 cm × 45 cm × 25 cm field of view, 118 s acquisition time).

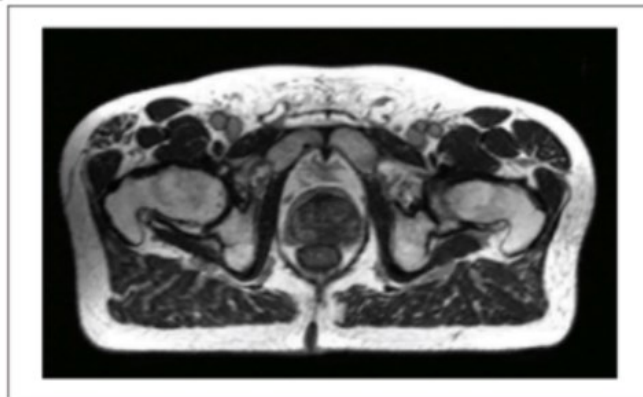


Figure 5.2. Three-dimensional balanced steady-state free precession MRI images of a prostate patient acquired on the MRIdian system (1.5 mm × 1.5 mm × 1.5 mm voxel size, 50 cm × 45 cm × 43 cm field of view, 172 s acquisition time).

edilebilmeli, yeniden planlamada doz dağılımında yarı doz ve ufak dozların görülebilmesi için hastanın ilgili alanındaki tüm bölgenin görülebilmesi için büyük boyutları (FOV) tercih edilmelidir.

MRGRT' nin en önemli avantajlarından biri, her tedavi fraksiyonunda anatominin görüntülenmesi ve böylece hastalığın radyasyon tedavisine günlük yanıtının gözlemlenebilmesidir. Mevcut MR linaklar, difüzyon ağırlıklı MR (DWI) gibi fonksiyonel ve kantitatif MR sekanslarının elde edilmesine olanak tanır. DWI'nın hem Elekta hem de Viewray sistemlerinde uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Viewray sistemi için görünen difüzyon katsayısı (ADC) değerleri ve geometrik doğruluk, değişen gantri açısına göre değişiklik gösterirken Elekta sistemi için ADC değerleri gantri yönünden etkilenmez. Tipik olarak bu diziler online adaptif yönlendirme için kullanılmaz ancak tümörün tedaviye yanıtını izlemek için kullanılabilir. MR linak platformlarında genellikle T2 ağırlıklı veya bsSSFP sekansı yaygın olarak kullanılmaktadır. Elekta

sistemi, çoğu anatomik bölge için T2 ağırlıklı MR ve toraks için T1 ağırlıklı MR görüntülerini tercih etmektedir.

Radyoterapi tedavilerinde, kalça protezi olan hastalar sık görülür. MRGRT için protez ek zorluklar ortaya çıkarabilir. MRI kılavuzluğunda olmayan radyoterapi de olduğu gibi ışın açılarının seçimini etkileyebilir. Ancak daha da önemlisi implantların neden olduğu manyetik alan homojensizliği görüntüleri bozabilmektedir. Adaptif/doğrulama görüntüleri için bu tür bozulmalar, tedavi alanlarının şeklini ve konumunu etkileyebilir.

3.2 MR Sekansları için Teknik Gereksinimler

Tablo 5.2 MRGRT de kullanılan MRI sekanslarına ilişkin teknik gereklilikler gösterilmemektedir. MRI rehberliği için elde edilen tüm görüntüler için, AAPM TG-284'ün 25 cm FOV boyunca ≤ 2 mm bozulma olarak tanımladığı ilgili FOV'un tamamında ve tüm eksenlerde yüksek derecede geometrik aslına

Table 5.2. Technical requirements for MRI sequences in MRIGRT.

Item	Measure	Criterion	Recommendations
Geometrical fidelity	3D correction of gradient nonlinearities implemented by vendor	Residual distortion < 2 mm across 25 cm FOV	Orient treatment site as close to magnet isocenter as possible
	2D or 3D correction of gradient nonlinearities for 2D cine-MRI implemented by vendor	Residual distortion < 2 mm in-plane across 25 cm FOV	Consider out-of-plane distortions when using 2D correction
Duration	Acquisition time including active shimming	- Breath-held < 20 s - Free-breathing setup/adaptation sequences can typically be acquired in 1–5 min	- If workflow enables verification images, 2 min is often feasible - Scan times <30 s may be possible for free-breathing, conventionally fractionated treatments
Motion during acquisition of setup adaptation images	4D MRI	Sufficient to capture the respiratory cycle (at least 4 phases)	Treatment gating must be in the same phase as the navigator-triggered acquisition
	Navigator-triggered MRI	- Optimized trigger level and trigger delay to acquire at desired respiratory phase. - Acquisition length per trigger event optimized to ensure prescribed volume is acquired at specific respiratory phase at the expense of increased total acquisition time (Glide-Hurst et al., 2021b)	
Motion management	3D radial MRI	- Minimal artifact Rapid acquisition to accommodate breath-hold or triggered from respiration	In-plane motion artifacts are reduced, but cross-plane blurring needs to be considered
	2D cine-MRI	Time interval <250 ms between successive frames is feasible	Ideally oriented at a high-contrast interface at or near the tumor

Note. FOV = field of view.

uygunluğa sahip olmaları kritik önem taşır. Düzeltme olmadan, gradyan doğrusalsızlığı, mıknatısa özgü distorsiyonun en büyük kaynağıdır. Tipik olarak setup/adaptasyon ve doğrulama görüntüleme için 3 boyutlu sekanslar kullanılır. Böyle bir düzeltmeden sonra, tüm FOV için 2 mm'ye kadar toleranslarla distorsiyon, görüntünün merkezi yakınında 1 mm'den daha az bir değere indirilebilir.

Elekta MR linakta solunum hareketini ele almak için çeşitli sekanslar mevcuttur. Nefes tutma sekansları, tipi nefes döngüsünün maksimum nefes alma aşamasında uygulanabilir. Unity sisteminde 3D-Vane sekansı bulunmaktadır. Bu sekans, hayalet artefaktları önleyerek, hedefin ortalama konumundaki görüntüsünü çeker.

4. Online Adaptif MRGRT

Teknik uygulama ve spesifikasyonlar platformlar arasında farklıdır; bu sistemler tarafından sağlanan online adaptasyon temel olarak anatomik MR rehberliğine dayanır ve genel olarak iki temel iş akışı olarak tanımlanabilir: 1) Konvansiyonel Linaktaki IGRT'ye benzer şekilde hastayı kaydırma veya Adapt to Position (ATP) ve 2) Adapt to Shape (ATS) olarak adlandırılan online adaptasyon teknikleridir.

4.1 Online MRGRT Adaptif Radyoterapi İş Akışı

Unity ve MRIdian'ın ART klinik iş akışı Şekil 6.1 de gösterilmektedir.

MRdian sisteminde, günlük MR görüntü alımının ardından gerekli olan masa düzeltmesi, eşmerkez kaymasını hesaba katacak şekilde günlük MR referans planlama görüntüleri ile rigid registration dayalı olarak hesaplanır ve uygulanır. Planlama konturları

daha sonra DIR aracılığıyla günlük MR görüntülerine yayılır ve ardından konturların manuel olarak gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi yapılır. Dozimetrik değerlendirme, adaptif planlamanın gerekli olduğuna dair klinik karara yol açarsa, günlük MR görüntüleri ve konturlara göre başlangıç tedavisinin yeniden optimizasyonu gerçekleştirilecektir. Yeniden planlama, kabul edilebilir bir tedavi planı elde edilinceye kadar ilave yinelemeler gerektirebilir. Plan değerlendirmesi ve onayından sonra, hastaya özel plan QA gerçekleştirilir ve tedaviye devam etmeden önce anatomiyi doğrulamak ve fraksiyonlar arası hareketi değerlendirmek için doğrulama görüntülemesi alınabilir.

Unity sisteminde ATP veya ATS iş akışı günlük anatominin değerlendirilmesine göre seçilebilir. ATP iş akışı esas olarak günlük MR görüntülerinin rigid registrationla referans görüntülerle füzyonuna dayanarak hesaplanır. Kontorler değiştirilmez, olduğu gibi aktarılır. Daha sonra başlangıç tedavi planı, MLC segment shape veya weighting teknikleriyle doz hesabı günlük MR görüntüsü üzerine yeniden hesaplatılır. ATS iş akışı MRIdian iş akışına benzer. ATS tekniğinde referans ve MR görüntüsü Rigid registration ile füzyon yapılır, kontorlar DIR aracılığıyla aktarılır. Yeniden çizilmeye ihtiyaç duyan kontorlar çizilir ve tekrardan planlama yapılır. Hareket doğrulaması için MR çekilir ve plan onaylandıktan sonra tedaviye başlanır. Bazı klinik senaryolar da hem ATP hem ATS tekniği uygulanabilmektedir.

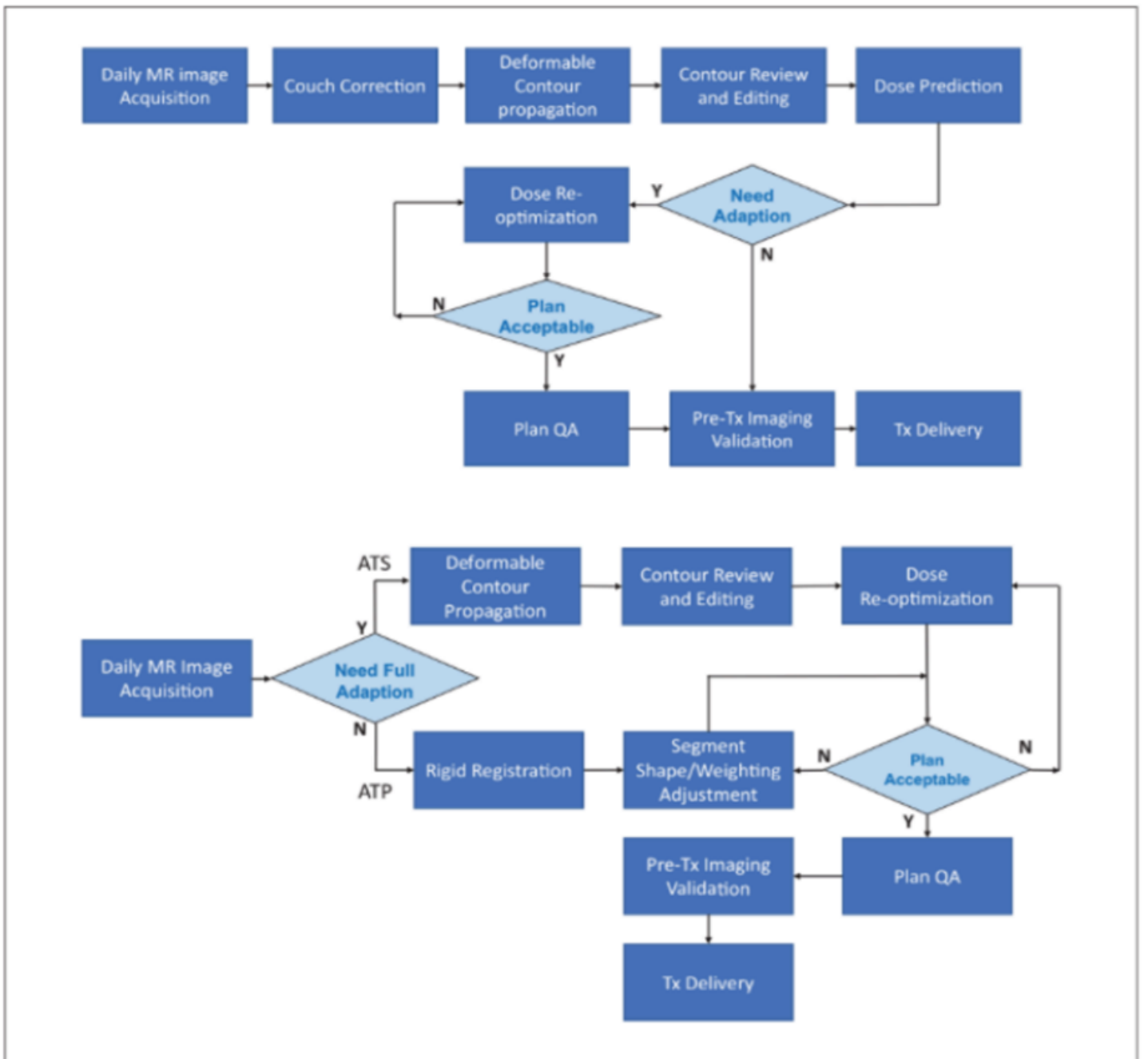


Figure 6.1. General online adaptive workflows for the MRIdian (top) and Unity (bottom) systems. QA = quality assurance; ATS = adapt to shape; ATP = adapt to position.

Online Adaptif MRGRT iş akışında hasta Linak cihazındayken BT çekimi imkansızdır. Bu yüzden adaptif planlar MR üstünden gerçekleştirilir. Simülasyon BT'sinin MR uygulanan DIR, ilk planlama için hastaya özgü elektron yoğunluğu bilgilerinin elde edilmesi için basit bir yol sağlar, çünkü simülasyon BT ve MR genellikle çok kısa bir süre içinde hastaya uygulandığından hastadaki anatomik değişiklikler ihmal edilebilir. Online adaptif planlama için bu yöntem, organ dolumu ve hava boşluğu gibi

anatomik değişiklikler nedeniyle hatalı elektron yoğunluğu haritalamasına yol açabilir. Elektron yoğunluğu haritası manuel düzeltme olmadan doğrudan simülasyon BT'sinden elde edildiğinde, 0,35T MR linak için prostat yatağına adaptif planlamada hava boşluklarının dozimetrik etkisinin minimum düzeyde olduğu bulundu. 1,5T MR Linak da ERE etkisi oluşacağından günlük planda daha doğru bir elektron yoğunluğu haritalaması gerekir. Doğrudan günlük MR görüntülerinden oluşturulan

sentetik BT, yüksek anatomik uygunluğa sahiptir ve bu nedenle elektron yoğunluğu haritalama ve doz hesaplamasının doğruluğunu daha da geliştirme potansiyeline sahiptir.

4.2 Online MRGRT Adaptif Radyoterapi de Kalite Kontrol

MRGRT DE, hedef hacim, organ tanımlaması ve doz hesaplaması için yüksek kaliteli günlük MR görüntüleri kullanılır. Bu yüzden MR için, geometrik bozulma, görüntü kalitesi ve artefakt gibi görüntü performansının sorunlarının rutin olarak kalite kontrolünün yapılması gerekmektedir. Adaptif planlama akışının tamamını doğrulamak ve ART'nin klinik uygulamalarından önce farklı alt sistemlerle ilişkili her adımda potansiyel sorunları belirlemek için spesifik end-to-end testleri yapmak gereklidir. Bu testler, organ şekli deformasyonu gibi gerçekçi interfraksiyonel değişiklikleri simüle edebilen ve hem CT hem de MR için çok modlu görüntülemeye izin veren uygun bir fantoma dayanır. Kapsamlı bir uçtan uca günlük QA iş akışı, görüntü toplama ve kayıt, veri aktarımı, online adaptif planlama ilişkin testler de dahil olmak üzere kısa bir zaman diliminde MR linakın

tüm alt sistemlerinin işlevselliğini ve bağlantısını kontrol etmek üzere geliştirildi.

5. MRGRT Kadro, Eğitim ve Güvenlik

Bir MRGRT programını uygularken hastane yönetimi, bu sistemler üzerinde çalışan tüm personelin yeterli eğitime sahip olması gerektiğinin bilincinde olmalıdır. Mesleği ne olursa olsun, MRG ortamına girecek tüm bireylerin kendilerini, hastayı ve ekipmanı korumak için güvenlik sorunları ve MR çekimi konusunda eğitilmesi gerekecektir. MRG uyumlu olmayan öğelerin MR ortamına getirilmesi ciddi yaralanmalara hatta ölüme neden olabilir. Güvenlik hususlarının ötesinde, bir MRGRT programı uygulandığında radyasyon tedavisi uygulaması önemli ölçüde değişecektir. Bazı durumlarda radyasyon terapistlerine, çevrimiçi hedef belirleme ve adaptif planlama konusunda, tüm tedavi planlamasının tedavi planlayıcıları ve fizikçiler tarafından yapıldığı zamana kıyasla daha geniş roller veriliyor. Tablo 7.1, radyasyon çalışanlarından her birinin, bir MRGRT sistemini bağımsız olarak çalıştırmadan önce alması gereken ek eğitim ve deneyimi özetlemektedir.

Table 7.1. Summary of additional training requirements by profession.

Additional training required	MRIGRT role					
	Radiation therapist	MRI technologist	Treatment planners	Radiation therapy physicist	MRI physicist	Radiation oncologist
MR safety	✓			✓		✓
Radiation safety		✓			✓	
Radiation therapy physics					✓	
MR imaging	✓			✓		✓
MR physics (pulse sequence and image weighting)	✓		✓	✓		✓
Causes of MR imaging artifacts and noise sources	✓			✓		
MR quality assurance	✓			✓		
MR anatomy and target contouring	✓	✓	✓	✓		✓
MR image matching/fusion	✓	✓	✓	✓		
RT immobilization devices		✓				
RT quality assurance					✓	
Target volume definitions		✓			✓	
Radiation dosimetry		✓			✓	
MRI-only-based planning	✓		✓	✓		✓
Adaptive planning	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Image-based gating	✓	✓	✓	✓	✓	✓

MRG ortamında beş ana tehlike kaynağı vardır:

Statik manyetik alan: Statik manyetik alan, herhangi bir ferromanyetik nesneyi önemli bir kuvvetle mıknatısa doğru çekerek bir mermi oluşturabilir. Kalp pilleri, implante kardiyak defibrilatörler vb. gibi manyetik alandan çalışmaları etkilenebilecek implamente cihazlar endişe vericidir. Manyetik alan aynı zamanda anevrizma klipsi gibi bir implant üzerinde ciddi komplikasyonlara neden olabilecek torka da neden olabilir. Bu tür cihazlar için tarama yapılmadan hiçbir hasta veya ziyaretçinin 0.5mT (5 Gauss) hattına girmesine izin verilmemelidir.

Zamanla değişen manyetik alan: MR gradyanları, periferik sinir simülasyonuna neden olabilecek, zamanla değişen manyetik alanlar üretecektir. Zamanla değişen bu manyetik alanlar aynı zamanda hasta izleme ekipmanında parazite neden olabilir.

Radyofrekans alanları: Verici bobinden gelen RF gücü, yerel ısınmaya ve olası RF yanıklarına neden olabilir. Yerel ısınmanın zararlı etkilerinden kaçınmak için spesifik soğurma oranına (SAR) dikkat edilmelidir. Odadaki gürültü kaynaklarından yayılan RF, görüntüde bozulmalara neden olabilir.

Akustik gürültü: MRG de görüntü alımı sırasında önemli miktarda gürültü olmaktadır. Hastada işitme problemi olmaması için kulaklıklar kullanılmalıdır.

Sıvı helyum doldurma/boşaltma: Elekta/Viewray'in MRG tarayıcıları sıvı helyumla soğutulur. Bu sıvı helyum tehlike anında hasta sıkışması gibi durumlarda söndürülebilir ya da tamamen boşaltılabilir. Bunun için tüm personelin bu gibi durumlardaki tüm prosedüre hakim olması gerekmektedir.

MRG Taraması

MRG odasına girmeden önce herkes MR taramasından geçmelidir. Bir tarama kontrol listesi geliştirilmeli ve tarama öncesinden tüm hastalar/gönüllüler tarafından imzalanmalı ve doldurulmalıdır. Mıknatısın değişen alan güçleri nedeniyle daha önce MRG taraması yaptırmış olmak, sonraki muayanelerin güvenli olduğunu garanti etmez. Her gün hastanın tedavi alanına getirilmeden önce taramanın güvenli olduğu onaylanmalıdır. MR teknisyeni, standart MR prosedürüne uyulduğundan emin olmalı ve hasta kontrollerini yapmalıdır.

Cihazlar ve nesnelere MRG güvenli, MRG koşullu ve MRG güvenli değil diye kategorize edilmelidir. Bu öğelerin MR uyumluluğu çalışan personelin sorumluluğundadır.

Radyasyon Güvenliği

Radyasyon güvenliği açısından bakıldığında, MRGRT tesislerinin çoğu, birkaç önemli fark dışında geleneksel linak tesislerine benzer.

1. MRG linakların tasarımıyla hastayı kapalı devre televizyonda görsel olarak izlemek zor olabilir.
2. İşitme koruması zorunlu olacağından hastayla sesli iletişim, geleneksel linaka göre daha zor olacaktır.
3. Işınlamadan önce içeride kalan son kişi odayı kontrol ederek dışarı çıkar.
4. Kapalı devre televizyon, interkom gibi cihazlar MR uyumu olmalıdır.

Herhangi bir linakta olduğu gibi, radyasyondan

korunma yönetim organlarına lisans verilmesi için yerel gereklilikleri karşılaması gerekecektir. Cihaz kurulduktan sonra Radyasyondan korunma sorumlusu ve kalifiyeli bir tıbbi fizikçi ile personelin ve tedavi odası dışındaki halkın güvenliğini sağlamak için tesiste tam bir radyasyon araştırması yapılmalıdır.

Manyetik alanın varlığı, bir ışık alanının olmaması, eşmerkez çevresine sınırlı erişim, dönmeyen kolimatör sistemi sebebiyle geleneksel QA iş akışlarında değişiklikler yapılması gerekmektedir. Örneğin, manyetik alanın varlığı doz dağılımlarını değiştirebileceğinden ve kalite ekipmanını etkileyebileceğinden, alternatif iş akışları tasarlamak ve özel ekipman kullanmak gerekebilir.

6. MRGRT Kabul etme ve Dozimetri

6.1 MR Linak kabul etme ve kalite kontrol süreci

MRI Linak spesifik QA programları hala geliştirilme aşamasındadır. MR'in tipik güvenlik ve kalite kontrol testleri AAPM 284'te özetlenmiştir. Birden fazla MRGRT kullanıcısından alınan QA süreçlerini ve iş akışlarını açıklayan belgeler, belirtilen toleranslarla makine QA için Elekta MR Linak konsorsiyumunda yayınlandı. MR Linak spesifik QA için birçok test ve prosedür geleneksel linaklara benzer ve AAPM TG 142'den adapte edilmiştir. QA testlerinin amacı aynı olmakla birlikte, geleneksel linaklardan farklılıklarını azaltmak amacı ile uyarlamalar gerekir. En çarpıcı farklılıklarının etkisi aşağıdaki gibidir.

Manyetik alan: Manyetik alanın varlığı, tüm bileşenleri ferromanyetik olan QA ekipmanlarının taşınmasının güvenliğini etkiler. MR ortamında çalışacak olan personelin özel eğitime ihtiyacı vardır.

Ek olarak birçok elektronik dedektörün performansı etkilenir. Bu da 2D ve 3D elektronik dedektörlerin manyetik alan uyumlu versiyonlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Bu araçlarla dozimetrik işlemler gerçekleştirilebilir. Manyetik alan ayrıca bu dedektörlerin doz cevaplarını da etkileyebilir.

Eşmerkez ve hasta hareketinde kısıtlı erişim: MRI sistemi masa hareketini ve eşmerkez konumunu sınırlandırır. Bu durum, QA ekipmanı kurulumunu etkiler. Ayrıca, standart su fantomları MR sistemindeki bore'a sığmaz ve standart motor tipleri MR varlığında çalışamazlar. Artık MR uyumlu cihaza sığan su fantomları üretilmiştir. Su fantomu ekipmanı eşmerkez dışında kurulabilir, daha sonra mekanik kol hareketi ile eşmerkeze iyon odaları taşınabilir. Elekta sisteminde, eşmerkez bir MV (Megavoltaj) görüntüleme sistemi ile bulunabilmektedir.

Dönmeyen kolimatör: Kolimatör dönmediği için, geleneksel linaklardaki radyasyon veya mekanik eşmerkez testi tanımlanamaz. Elekta Unity sisteminde bir platform üstüne, içinde bilyeler olan bir fantom konularak MV görüntüleri alınıp eşmerkez belirlenir. Viewray sisteminde, çok eksenli iyon odaları arrayleri kullanılmaktadır. MR için AAPM TG 284'de yer alan geometrik distorsiyon ve uzaysal bütünlük QA testleri yapılmaktadır.

6.2 Referans Dozimetri: Işın Kalitesi Spesifikasyonu

MR Linaklar için referans dozimetreyi standartlaştırmaya yönelik çabalar devam etmektedir. AAPM TG 51'de (PDD) tipik olarak uygulanan ışın kalitesi belirleyicisi, Unity sistemi için uzun SAD (143,5cm) ve ERE'nin varlığı göz önüne alındığında

ölçmek için uygun değildir. Bu sebeple, birçok Unity kullanıcısı Işın kalitesi belirleyici olarak TPR20/10, TRS 398'i uygulamaktadır. Kullanıcılar Elekta Mr Linak da, SAD'de 1cGy/MU ve 10x10cm² alan boyutu 5cm derinlik olacak şekilde cihazı kalibre etmiştir.

Table 8.1. Example monthly QA tests for MRIGRT systems and relevant references.

Category	Endpoint	Key reference(s)
Mechanical	Couch position/repositioning indicator accuracy Couch repositioning Localizing lasers Gantry angle indicator	AAPM TG-142 (Klein et al., 2009) and AAPM TG-66 (Mutic et al., 2003)
Safety	Absolute MLC position accuracy Audio-visual monitoring functionality In patient alert (squeeze ball) Compressor Helium pressure Dielectric gas reading Beam-on indicator Beam pause Door lock functionality Couch retraction	AAPM TG-284 (Glide-Hurst et al., 2021b) AAPM TG-142 (Klein et al., 2009)
Radiation	Flatness/symmetry Output: stationary and gating Field size	AAPM TG-142 (Klein et al., 2009)
Imaging	Uniformity Spatial integrity Image quality (high/low-contrast resolution, percent signal ghosting) Coil functionality	AAPM TG-284 (Glide-Hurst et al., 2021b), AAPM Report 100 (Huq et al., 2016), ACR MRI Quality Control Manual (ACR, 2015), and ACR Large Phantom Test Guidance (ACR, 2018)
End-to-end testing	MR/laser isocenter coincidence MR/radiation isocenter coincidence	AAPM TG-142 (Klein et al., 2009)

Note: Overall, MRI-linac QA can be divided into three major sections: linac-specific QA, MRI-specific QA, and QA on the MRI-linac specifications.
QA = quality assurance; MLC = multileaf collimator; ACR = American College of Radiology.

Viewray de ise tam tersine ışın kalitesi belirleyicisi TMRdir. 90cm SAD'de 1cGy/MU 10x10cm² alan 1,5 cm derinlikte cihaz kalibre edilir. Tüm output kalibrasyonları MR uyumlu su fantomlarında, MR uyumlu iyon odaları ile gerçekleştirilir. Aylık kontroller yine bu MR uyumlu su fantomlarında ya da hava boşlukları suyla kapatılabilen, suya eşdeğer fantomlarda yapılmalıdır.

6.3 Dozimetrik Ekipman ve Gereksinimler

MR varlığında dozimetrik ölçümler alınırken, cihazın manyetik alana göre yönü, manyetik alanın dozimetrik ekipmana etkisi gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Termoluminesans dozimetreler ve diyot arrayleri, MR varlığında çok az değişiklik göstermişlerdir. Radyokromik filmler, marka ve modele bağlı olarak manyetik alan varlığında çeşitli etkiler göstermiştir.

6.4 İyon Odası Performansı Üzerindeki Etki

İyon odalarında hava bulunması nedeniyle, dedektör performansının ve bir düzeltme faktörü ihtiyacının

oda yönüne, hava boşluğu geometrisine/hacmine ve bilinen dahili geometrilere bağlı olduğu durumlarda manyetik alan daha belirgin bir etkiye sahip olmuştur ve bunların tümü çeşitli inceleme makalelerinde yer almıştır. Hava dolu olan iyon odalarının, maddedeki iyonlaşma izleri, yük toplanmasını etkileyen Lorentz kuvveti nedeniyle değişecektir. Bu olay, iyon odası şekline olduğu kadar, manyetik alan ve gelen ışının yönüne bağlıdır. Bu etki manyetik alan düzeltme faktörü ile hafifletebilir. Manyetik alanın varlığında, dedektör performansı ile ilgili bir diğer nokta ise, iyon odasının yönünün doz yanıt bağımlılığıdır. Bu olay en çok içi hava dolu iyon odalarında göz önüne alınmalıdır ve referans dozimetri de dikkate alınmalıdır. Unity MR Linak da açılı bağımlılığı dört referans iyon odasında kaydedildi. En geniş volüme sahip iyon odası manyetik alana dik konulduğu zaman %5lik bir etki olduğu görüldü. Dedektör yanıtının manyetik alan kuvveti, alan yönü, iyon odası yarıçapı gibi faktörlere olan karmaşık bağımlılığını karakterize etmek için bir simülasyon seti gerçekleştirildi. İyon odası bağımlılıklarına ek olarak, çeşitli alan kuvvetlerinde (0, 0.35, 1 ve 1,5T) iyon odası yanıtının asimetric boşluklarda (%-1,6) simetric hava boşluklardan (<%0,5) ve iyon odasının manyetik alana paralel olmasından daha fazla etkilendiğini vurgulayarak iyon odası tepkisinin, açıl bağımlılığı, oda duvarları ve fantom ek parçalar arasında hava varlığında değerlendirilmiştir. Havadaki ikincil elektronlarla manyetik alan etkileşimi, Unity MR Linak için toplanan yükü %1 oranında azaltmıştır.

6.5 Fantomlar

Fantomlar kalite güvenliğinin ayrılmaz birer parçasıdır. Manyetik alan homojenliği için, genellikle büyük

(<35cm çapında) bir homojen küresel fantom kullanılır. Birçok MRGRT programı, satıcı tarafından verilen fantomlara güvenir ve QA için standart MR testlerini gerçekleştirir.

6.6 Hareket/Adaptasyon

AAPM TG 76 solunum hareketi yönetimi konusunda kapsamlı rehberlik sağlar. MRGRT de 5mm'den küçük sapmalarda hasta solunum koşullarını simüle etmek için MR uyumlu dinamik hareket fantomları kullanılır. Interlock testleri, doz verimi için MR linaklarda AAPM TG 142 kullanılmalıdır. MRIdian cihazında, gating kapasitesi mevcuttur ve amaçlanan hedefin hareketi, bir sine MR'ın her karesi için önceden tanımlanmış parametrelere ve öngörülen sınırın dışında kalan hedef yüzdesine göre değerlendirilir.

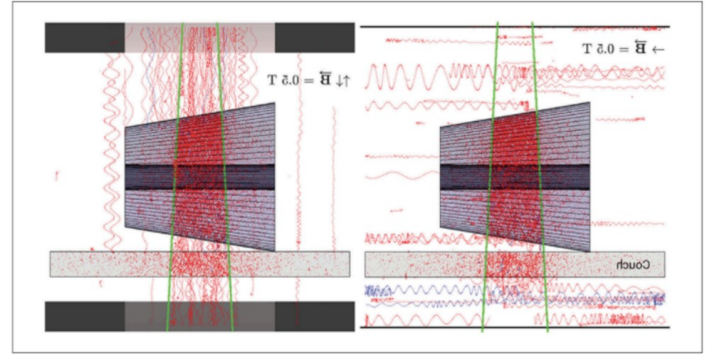
6.7 Yüzey ve Çıkış Dozu

Yoğun ortam ile daha az yoğun ortam arasında meydana gelen ikincil ERE göz önüne alındığında, MR linaktaki yüzey dozimetresi Monte Carlo teknikleri kullanılarak kapsamlı bir şekilde modellenmiştir. İkincil elektronların Lorentz kuvveti pertürbasyonu nedeniyle daha güçlü manyetik alanlar ve geniş pozitif yüzey açıları ile yapılan simülasyonlarla önemli cilt dozları açığa çıkmıştır. ESE simülasyonları, eğimli bir fantom kullanılarak 300 ve 450 açılarda maksimum dozların sırasıyla 0,35T ve 1,5T'da %38 ile %39 ve %30 ile %36 arttığı görülmüştür. Bu yüzdeler farklı eğimlerde hızlı bir şekilde <math><2\%</math>ye düşmektedir. Çıkış dozunda hasta üzerinde bolus uygulanması, bolusun hastadaki ERE etkisini azalttığını göstermiştir. Optik olarak uyarılmış lüminesans dozimetrelere sahip 1,5T MR Linak üzerinde gerçekleştirilen ölçümler, TPS'in çıkış yüzeylerinde ERE'yi etkili bir şekilde modellediğini

göstermiştir. Kabul testlerinde, ölçülen ve modellenen yüzey ve çıkış doz değerleri arasındaki doğrulama, TPS de yapılmaktadır. Havadaki elektron taşınımı, giriş ve çıkış dozlarında manyetik alanın etkisi, bir fantom üzerinde elektron yörüngeleri kırmızı çizgilerle figür 8.1. de gösterilmiştir.

6.8 End-to-end Testi

End-to-end test klinik de hasta alınmaya başlamasından önce yapılması gerekli bir süreçtir. MR simülasyonu, doz hesaplaması, IGRT lokalizasyonu ve ışın iletimi dahil tüm MR Linak adaptif radyoterapi iş akışını değerlendirmek için bazı kurumlar end-to-end fantom geliştirmişlerdir.



Figür 8.1. Monte Carlo simülasyonunda, hava, su, fantom giriş ve çıkışlarında elektron taşınımının manyetik alandaki etkisi demonstre edilmektedir. Işın açıları yeşille gösterilmektedir. Elektron yolları ise, kırmızı renklidir. Pozitron yolları mavi renkle gösterilmiştir

7. Özet

MRI-Linaklar, güçlü bir şekilde klinik olarak benimsenen radyasyon onkolojisi tedavisi için hızla gelişen bir teknolojidir. Bu cihazlar, geleneksel X-ışını kılavuzlu linaklardan daha yüksek sermaye, işletme, personel ve iş akışı maliyetlerine sahiptir. Bununla birlikte; MRI-Linaklar, gelişmiş doku ayrımı ve tedavi öncesinde ve sırasında ek iyonlaştırıcı radyasyon riski

olmadan hasta anatomisini izleme yeteneği sağlar. Bu ek bilgi, hasta sonuçlarını daha iyi hale getirmek için birçok fırsat sunar. Güvenlik (CTV-PTV) marjları azaltılabilir, Böylece tedaviye bağlı yan etkilerin olasılığı azaltılabilir. Günlük adaptif radyoterapi sayesinde, hipofraksiyonasyon, tedavi süresini daha kısa sürede tamamlama ile hasta ve sağlık sistemi için maliyet ve zaman azaltılmıştır. MR Linak iki cihazı birleştirdiğinden, güvenli bir şekilde uygulama, yetenekli ekipler, sürekli eğitim, önce güvenlik kültürü, kapsamlı QA programları ve tedavi iş akışı prosedürleri gerektirmektedir. Bu cihaz için deneyim ve klinik kanıtlar arttıkça bu teknolojinin faydalarının ölçülmesi tam olarak gerçekleşecektir.



Med. Fiz. Uzm. Nazlı Bilici Güven

1988 yılında İzmir de doğdu. 2011 yılında Ege Üniversitesi Fizik bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Ege Üniversitesinde yüksek lisansını tamamladı. 2015-2017 yılları arasında özel bir şirkete bağlı olarak birden fazla hastanenin cihaz kurulumlarında çalıştı. 2017-2019 da Bakırköy Dr. Sadi Konuk, 2019-2020 de Yedikule Göğüs Hastalıkları ve 2020-2023 yılları arasında Liv Hospital Ulus da medikal fizik uzmanı olarak çalıştı. şubat 2023 yılından beri Hisar Intercontinental Hospital da çalışmaktadır. Hobileri arasında seyahat etmek, çizgi roman

koleksiyonerliği yapmak ve konsol oyunları oynamak vardır.

RADYASYON ONKOLOGLARI, RADYASYON TERAPİSTLERİ VE MEDİKAL FİZİKÇİLER İÇİN MR-LINAC EĞİTİMİ VE YETKİLENDİRME

Journal of Medical Radiation Sciences

Open Access

COMMENTARY

Old dogs, new tricks: MR-Linac training and credentialing of radiation oncologists, radiation therapists and medical physicists

Louise Hogan, BMRS(RT)¹, Michael Jameson, PhD^{1,2}, David Crawford, BMRS(RT)¹, Stacy Alvares, BMRS(RT)¹, Conrad Loo, MS(RT)¹, Maddison Picton, BMRS(RT)¹, Zoe Moutrie, BMedRadPhysAdv MSc(Res)^{1,3}, Claire Pagulayan, BMedRadPhys MSc(Res)¹, Ursula Jelen, PhD¹, Nicolle Dunkerley, MSc(MedPhys) MSc¹, Tania Twentyman, BAppSc (RT)¹, Jeremy de Leon, BSc (Bioinformatics) MBBS FRANZCR¹, & Vikneswary Batumalai, PhD^{1,2} 

¹GenesisCare, Alexandria, New South Wales, Australia

²School of Clinical Medicine, Faculty of Medicine and Health, UNSW, Sydney, Australia

³Department of Radiation Oncology, South West Sydney Local Health District, Warwick Farm, New South Wales, Australia

Med. Fiz. Uzm. Burcu Gökçe

Giriş

Son birkaç yıl içinde, radyoterapi planlaması ve tedavisinde manyetik rezonans (MR) kullanımının genel hasta bakımında faydalı olduğu gösterilmiştir. MR teknolojisi, tanısal MRI tarayıcıları, MR simülatörleri ve son zamanlarda MR lineer hızlandırıcıları (MR-Linacs) şeklinde dünya çapındaki bölümlerde çok daha yaygın hale geliyor. MR-klavuzlu radyoterapideki gelişmeler, tedavi eden klinisyenlerin artık risk altındaki organların (OAR'lar) ve hedeflerin yumuşak doku görüntülemesi aracılığıyla her bir tedavi seansı sırasında anatomik değişiklikleri hesaba katmasını sağlıyor. Daha sonra, radyasyon terapistleri (RT), bu günlük değişikliklere dayanarak yeniden planlama yapabilir, bu nedenle hastalar için tamamen uyarlanabilir bir tedavi yaklaşımı sağlayarak

dozimetrik doğruluğu artırmayı ve toksisiteyi azaltmayı hedefler.

Elekta (Stockholm, İsveç) ve Philips (Best, Hollanda) ile birlikte, Utrecht Üniversitesi Tıp Merkezi' ndeki araştırmacılar, hibrit bir 1.5 T MR-Linac' ı geliştirdi, inşa etti ve klinik olarak tanıttılar. Buna karşılık, MR-Linac sistemlerinde, radyasyon onkologlarının (RO' lar), radyasyon onkoloji medikal fizikçilerinin (ROMP' lar) ve RT' lerin tedavi uygulamasında hazır bulunması yaygın bir uygulamadır, bu da bu profesyonel grupların geleneksel rolünü değiştirir (Tablo 1). MR-klavuzlu radyoterapiye bu geçiş ile MR güvenliği, radyoterapi amaçlı MR görüntü alımı ve optimizasyonu, MR görüntü yorumlama ve adaptif radyoterapi stratejilerini içeren personelin MR-Linac'a özgü eğitimini ve yetkilendirilmesini dikkate almak gereklidir.

Bu makale, süreçlerimizin yeterliliğini ve verimliliğini

desteklemek için geliştirilen eğitim ve yetkilendirme çerçevesini detaylandıracaktır. Elekta Unity MR-Linac' ın bölümümüze girmesinin çalışma şekillerini nasıl etkilediğini ve daha spesifik olarak, her bir meslek grubunun nasıl adapte olduğunu ve zorlukların nasıl üstesinden geldiğini tartışıyoruz.

Table 1. Tasks associated with online CT-based image-guided radiotherapy and MR-Linac-guided radiotherapy.

Task	CT-based image-guided radiotherapy			MR-Linac-guided radiotherapy		
	RT	ROMP	RO	RT	ROMP*	RO
Patient set up	✓			✓		
Image acquisition	✓			✓	✓	
Image registration	✓			✓		
Image review/interpretation				✓	✓	✓
Contour review/edit				✓	✓	✓
Online plan optimisation				✓		
Online plan review				✓		✓
Online plan QA				✓	✓	
Beam-on	✓			✓		

MR-Linac'ın bölümümüze girmesinden 6 ay sonra tedavi konsolunda ROMP' un varlığı artık gerekli değil.

Eğitim Çerçevesi

MR-Linac' ta tedavi uygulayan genel klinik ekibine geniş bir şekilde bakıldığında, her üç profesyonel grubun eğitim çerçevesi iki ana kategori içine toplu olarak birleştirilebilir. (1) MR güvenliği ve (2) satıcı eğitimi.

MR Güvenliği

MR' ı radyoterapi iş akışlarına entegre etmenin birçok avantajına rağmen, MR' ın tehlikeleri bir onkoloji ünitesinde genellikle anlaşılmamaktadır. Tehlike, ekibin çoğunun daha önce bir MR ortamında herhangi bir deneyimi olmamasından ve dolayısıyla bir manyetik alanın sahip olabileceği etkiye ve ilişkili risklere aşına olmamalarından kaynaklanır. Bu

nedenle, MR güvenliği, MR-Linac' ı bir radyoterapi bölümüne tanıtmada en zorlu yönü oluşturur.

Tarihsel olarak (ve bu makalenin ilk çalışmasının yapıldığı sırada), Avustralya veya Yeni Zelanda'da MR güvenliği konusunda MR-Linac odaklı yerel akredite eğitim sunulmadığını not ediyoruz. Bu sebeple, Avustralya Kraliyet ve Yeni Zelanda Koleji Radyologlar (RANZCR) yönergelerine uygun olarak, bölümdeki tüm personeli eğitmek için Seviye 1 ve Seviye 2 olarak alt bölümlere ayrılan MR güvenliği eğitimini geliştirdik. Seviye 1, MR-Linac' ın bulunduğu bir bölümde çalışan herhangi bir personel için zorunludur ve yetkin bir anlayışı sürdürmek için yıllık bir tazeleme gereklidir. Seviye 2, MR-Linac' ın kontrol ve tedavi odasında doğrudan çalışan tüm klinik personeli için gereklidir. Kontrol ve tedavi odasına, sadece Seviye 2 eğitimini ve ilgili değerlendirmeleri tamamlamış olanlara kart erişimiyle giriş hakkı verilir. Tablo 2, bölümdeki farklı meslek grupları için özel eğitim gereksinimlerini detaylandırır. Eğitimin ilk odak noktası, MR güvenliğinin önemini doğrudan kullanıcılara (RT' ler, RO' lar ve ROMP 'ler) öğretmekti ve daha sonra bu meslek gruplarının her birinden görevlendirilen denetim personelinin, en önemlisi hemşirelik ve hasta hizmetleri görevlileri olmak üzere, bölüm içinde çalışan diğer tüm personellere bu bilgileri aktarmak sorumluluğu oldu.

Table 2. MR safety training requirements of specific craft groups.

	A	B	C
Level of MR safety training			
Level 1	✓	✓	✓
Level 2	✓	✓	
Specific training			
Training and instructions in the use of the equipment, hazards and actions during emergency	✓		
Awareness on the relevant content of the MR-Linac instructions	✓		
Awareness on the location of the MR environment and hazards	✓	✓	✓
Understanding of the safety aspects relating to:			
The electrical safety of the equipment	✓	✓	
The main static magnetic field	✓		
Radio-frequency fields	✓		
Gradient magnetic fields	✓		
Understanding of emergency procedures arising from causes other than equipment failure	✓		✓
Understanding of local regulations and procedures in connection with the MR diagnostic equipment and location	✓		
Understanding of the MR controlled access area, MR environment and MR projectile zone including:	✓	✓	
The projectile effect	✓	✓	
The effect of magnetic field on implants and prostheses	✓	✓	
The effect of magnetic field on personal effects (e.g. credit cards and watches)	✓	✓	
Understanding of the consequences and effects of quenching superconducting magnets	✓		
Awareness of the recommendations on exposure to MR	✓		
Understanding of the consequences of the correct selection, fitting and use of ear protection	✓		

A- MR Radyoloji Teknisyeni/ MR-Linac Radyasyon Terapisti, Medikal Fizikçi, Radyasyon Onkoloğu.

B- Temizlik personeli.

C- MR Kontrollü Erişim Alanı girişine izin verilen diğer tüm personel, ancak MR ortamı değil.

MR güvenliği eğitimi, MR güvenlik saha planının geliştirilmesini içeriyordu ve plan, dışarıdan MR güvenlik uzmanı tarafından gözden geçirildi. Mevzuat tarafından böyle bir belge zorunlu değilken, RANZCR, Amerikan Radyoloji Koleji ve İlaçlar ve Sağlık Ürünleri Düzenleme Kurumu tarafından önerildiği gibi rolleri, sorumlulukları ve raporlama hatlarını detaylandıran tek bir belge oluşturma konusunda değerliydi. Bu

detaylı belge, yönetim ekibimizin MR ortamında gözetim sağlamasına, dış yükleniciler, teknisyenler ve ziyaret eden personel için açık beklentileri belirlemesine yardımcı oldu. MR güvenlik planı, acil durum yönetimi prosedürlerinin net olmasını sağlamak için mesai dışı raporlama hatlarını içeriyordu.

Satıcı Eğitimi

Elekta ve Philips tarafından sağlanan eğitim programının hedefleri, Unity' nin hastaları güvenli ve etkin bir şekilde tedavi etmek için kullanılabilir olmasını ve klinikte mümkün olduğunca sorunsuz bir şekilde olmasını sağlamaktır. Tedavi eden klinik ekip için satıcı eğitimi, 5 gün Unity uygulama eğitiminden ve Monaco tedavi planlama sisteminin kullanımına dair bir giriş kursunda, 5 gün Philips MR radyoterapi uygulama eğitiminden ve ek olarak 5 gün Elekta Unity uygulama iş akışı ve uçtan uca eğitiminden (Şekil. 1) oluşmaktadır. Bu eğitim aynı zamanda Unity' ye özgü özellikler dâhil olmak üzere; makinenin fiziksel sınırlamalarını (sabit izomerkez, step and shoot ışınları, kriyostat borusundan ışın girişini önlemek), elektron akışı ve dönüş etkilerini ve planlama tekniklerindeki farklılıkları içermektedir. Elekta tarafından sağlanan ROMP' lara özel 10 günlük ek eğitim ve validasyon; dozimetri kalibrasyonunu, Unity MLC, kriyostat ve ışın karakterizasyonunu, hastaya özgü kalite kontrolü (QA), görüntü oryantasyonunu (yönlendirmesi-yönü) ve ışın model validasyonunu içermektedir.

Elekta Unity Applications	Philips MR Radiotherapy Applications	Elekta Unity Workflow
<ul style="list-style-type: none"> •Unity MR system •Unity MR User Interface •QA & routine check procedures •3D geometric QA •Phantom scanning using MR user interface & MR exam cards •System preparations •Patient preparations for MR examination 	<ul style="list-style-type: none"> •MR safety •System introduction & safe operation •Static magnetic field (B0) •Gradient magnetic field •Radiofrequency energy (B1) & SAR •MRI tabletop & patient positioning •User interface •DICOM configuration •Quality assurance •Image display settings •Exam cards •Scanning parameters •Artefact reduction 	<ul style="list-style-type: none"> •Geography of Unity •Clinical administration setup •Patient charting for MR radiotherapy •Online adaptive planning •MR radiotherapy imaging options •Unity applications workflow •Treatment session interruptions •Imaging only workflow •Offline adaptive planning •End-to-end testing

Şekil 1. Tedavi eden klinik ekip için satıcı eğitimi.

MR-Linac' ın bölümümüze tanıtılmasından sonraki ilk birkaç ayda, sadece MR güvenliği ve satıcı eğitimini tamamlayan personel hasta tedavisine katıldı. Zamanla, MR-Linac yetkilendirme programının başlatılması ve uygulanmasını gerektiren daha fazla personel görevlendirildi.

MR-Linac Yetkilendirme (Değerlendirme ve Onaylama)

Personelin MR-Linac güvenliği, ilkeleri ve prosedürleri konusunda yetkin ve kendinden emin olmasını ve becerilerini geliştirmelerini desteklemek için her meslek grubuna özgü bir yetkilendirme çerçevesi oluşturuldu. Bu çerçeve, MR-Linac' a gelen herhangi bir yeni personel için değerlendirmeleri içerir. Personel, çerçevede belirlenen klinik ve bilgi tabanlı faaliyetlerde yeterlilik göstermelidir. Klinik yeterliliğin gösterilmesi, bireyin eğitmeni, personelin prosedürü bağımsız, tutarlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirdiğini gözlemleyerek onaylayacaktır. RO' lar için odak noktası, MR tabanlı konturlamada yeterliliği, Monaco'da plan analizleriyle verimliliği geliştirmek ve çevrimiçi adaptif tedaviler sırasında tedavi eden RO rolü için yetkilendirilmektir. Bu, stereotaktik prostat,

karın ve pelvis bölgesindeki oligometastatik nodüller, karaciğer ve pankreas gibi farklı klinik endikasyonlar için yetkilendirilmeye ayrılmıştır. ROMP' lar için MR-Linac QA' da, MR-Linac dozimetrisinde, hastaya özgü QA ve tedavi desteği konusunda uzmanlık gereklidir. RT'lerin, MR ve CT simülasyonunun, MR-Linac' taki hastaların planlamasının ve tedavisinin tüm yönlerinde, pozisyona uyum (ATP) ve şekle uyum (ATS) olmak üzere iki farklı çevrimiçi iş akışına odaklanarak, yeteneklerini artırmaları ve yetkilendirilmeleri gerekmektedir. Her üç profesyonel grup için genel yetkilendirme öğeleri, hasta bakımı (Tablo 3) ve MR-Linac sisteminin güvenliği ve bilgisi (Tablo 4) içerir.

Table 3. Assessment of patient care and safety.

Knowledge Indicators

- Read all MR-Linac-related safety documents
- Identify the MR-Linac safety zones and how they can affect patient and staff safety and MR-Linac access
- Explain the terms MR Safe, MR Conditional and MR Unsafe in relation to patient and staff safety and the associated labelling of equipment
- Explain the term projectile hazard and the associated risk to patient safety
- Explain the term bioeffects in relation to patient safety
- Explain the risk of peripheral nerve stimulation to patients undergoing MR-Linac procedures
- Explain the risk of acoustic noise and how to minimise the risk in the MR-Linac environment
- Explain the risk of patient 'loops' and how to minimise the risk
- Explain the term SAR and the influence of patient weight on it
- Explain the risks to patient safety during a magnet quench, when a quench should take place and what steps to take if such an event should occur
- Explain the importance of the MRL Patient Safety Questionnaire
- Explain the steps to take if a patient has a conditional implant or device
- Explain the correct action to take if a patient emergency was to take place inside the MR-Linac unit
- Explain the terms MR Safety Expert, MR Designated Responsible Person, MR Safety Officers and MR safety committee
- Explain staff screening requirements and MR-Linac access rights

Table 4. Knowledge of the MR-Linac system.

Knowledge Indicators
Identify the location of emergency stop buttons and quench buttons
Identify the location of five gauss line and understands the importance of it
Identify the major hardware components of the MR-Linac including magnet, gantry, gradient coils, radiofrequency transmit coils, multi-leaf collimators etc.
Identify the MR imaging sequence used on the MR-Linac system
Competent in the use of the patient immobilisation devices system
Competent in the use of the body coil and understands why it is used
Correct use of the patient safety aids – earphones and call bulb
Correct use of the patient safety devices – intercom and video cameras
Competent in the use of the RT operator console computers
Aware of faults that may appear on the MR-Linac system
Explain the MR-Linac fault recording and reporting process

Klinik ekibin ayrıca MR-Linac ortamında minimum 20-40 saat kaydetmesi gerekmektedir. Şekil 2, MR-Linac simülasyonu için değerlendirilecek bilgi ve becerileri vurgularken, Şekil 3, MR-Linac tedavi bilgisi göstergelerini göstermektedir.

Radiation Therapist	Medical Physicist	Radiation Oncologist
<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac simulation instruction •Explains to the patient the MR-Linac process •Checks/completes MR-Linac paperwork including screening questionnaire •Aware of how to recognise patients who may suffer from claustrophobia/ anxiety & actions to take •Selects appropriate patient immobilisation devices •Positions the body coil appropriately •Positions the patient on the MR-Linac, locates optimal centre position •Assesses bladder/bowel/ stomach filling on MR simulation scan •Communicates with patient throughout MR simulation •Competently & correctly deals with warning messages •Carries out MR-Linac simulation by selecting appropriate exam cards •Carries out motion monitoring & navigator monitoring •Correctly follows export procedures to Monaco/MiM 	<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac simulation instruction •Can assist RT & RO team with issues relating to simulation including: image artefacts, patient setup, immobilisation, 4D targeting •Competently & correctly deals with warning messages during simulation •Assesses bladder/bowel/ stomach filling on low resolution MR simulation scan 	<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac simulation instruction •Ensures patient is aware of the MR & CT simulation process •Attends MR-Linac patient selection meeting for the patient •Completes appropriate booking form with appropriate immobilisation devices e.g. compression belt / vacbag •Select prescription & dosimetric requirements as per protocol •Ensures the patient has filled out the MR-Linac safety questionnaire •Advises RTs of best MR sequences to use for optimal soft tissue visualisation •Provides anatomical landmark to RTs for accurate 4DCT targeting •Assesses fusion of MR & CT •Competently contour targets and OARs using both MR & CT for reference planning

Şekil 2. MR-Linac simülasyon bilgisi ve becerileri.

Radiation Therapist	Medical Physicist	Radiation Oncologist
<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac treatment instructions •Identifies the patient correctly & explains MR-Linac treatment process •Ensures patient preparation (if any) has been completed •Selects the patient file in Mosaic & loads for treatment •Prepares immobilisation devices & coils •Positions patient on the Unity couch •Fits patient with headphones/earplugs and call bulb and ensures patient knows how to use it •Carries out initial MR scan before commencing ATP or ATS workflow •Aware of when the RO and ROMP will step in & out of ATP or ATS workflow •Registers the correct reference and session images, assesses fusion & adjusts •Competently & correctly deals with warning messages •Carries out cine imaging or verification imaging correctly •Competent in switching on treatment •Monitors tracking during treatment, recognises when corrective action is required 	<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac treatment instructions •Performs RadCalc assessment of online plan (tolerances and actions) •Provides physics support to treatment team during ATP or ATS workflow •Provide physics support to treatment during online planning •Understands how deformable image registration is used in the online workflow •Understands how electron density assignments are handled in Monaco (online and offline) •Checks on the MR-Linac incidence of the treatment beam angles, in relation to the patient & is aware when action is required 	<ul style="list-style-type: none"> •Read MR-Linac treatment instructions •Be present at the console for each treatment •Prescribe pre-medication for pain, anti-sickness, & buscopan to minimise motion artefact •Understand the role of each craft group in the online setting for a typical adaptive treatment •Assess the acquired MR scan •Understands how deformable image registration is used in the online workflow •Understands how electron density assignments are handled in Monaco •Contour targets & OARs each fraction using ATS workflow based on anatomical changes •Aware of the need for accurate margin recipes for targets in the offline setting so that said targets recreate online •Review dosimetry of new plan of the day & approve if clinically acceptable •Make a clinical judgement using motion monitoring/ cine scans to proceed with or interrupt treatment

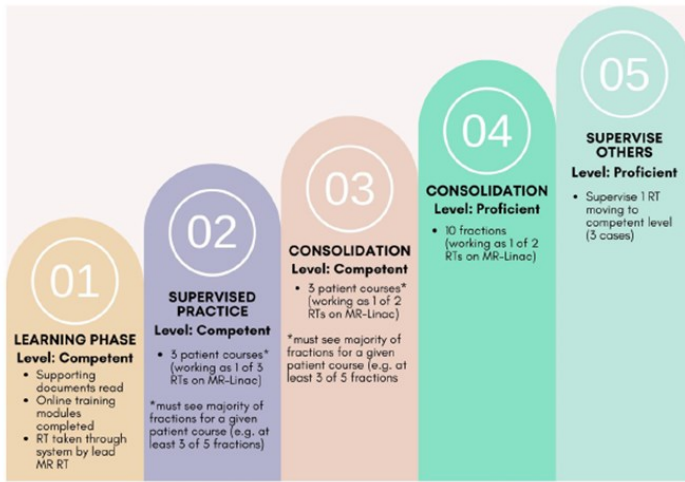
Şekil 3. MR-Linac tedavi bilgisi ve becerileri.

RT' ler için yeterlilik değerlendirmeleri, öğrenme aşaması 'yetkili' den 'uzman' a doğru yetkinlik ilerlemesi, gözetimli uygulama, pekiştirme ve başkalarının denetimini gösteren beş farklı adımdan oluşmaktadır (Şekil 4). Bu değerlendirmeler öncelikle pelvis tedavisi için tamamlanır ve her ek klinik endikasyon için tekrarlanması gerekmektedir (örn. karın). ROMP'lar için, yeterlilik değerlendirmeleri iki çerçeveye ayrılır: QA (hasta QA, dozimetri ve rutin QA) ve tedavi desteği. Her çerçeve için yetkin olarak kabul edilmek için, ROMP' ların destekleyici belgeleri okumaları, çevrimiçi eğitim modüllerini tamamlamaları ve bir vaka gösterimini sağlamaları gerekmektedir (MR-

Linac'ın güvenli ve tutarlı çalışmasını doğrulamak için makine ve hastaya özgü QA' yı gerçekleştirme ve analiz etme). MR-Linac' ta tedavi için RO' ların yetkilendirilmesi, aşağıdakileri yapabilme yeteneklerine dayanmaktadır:

1. Gözlemsel değerlendirme (iki canlı MR-Linac tedavisi gözleme),
2. Meslektaş değerlendirmesi (MR-Linac hasta seçimi toplantısına katılmak ve en az beş vakanın planlamasını üstlenmek ve tedaviden önce meslektaş tarafından gözden geçirilmek) ve
3. Gözetimli uygulama (Yetkilendirilmiş bir RO' nun denetimi altında MR-Linac' ta beş tedavi gerçekleştirme).

Yetkilendirme kayıtları, tüm meslek grupları için sürekli yeterliliğin sürdürülmesini sağlamak için yıllık olarak güncellenmektedir.



Şekil 4. Radyasyon terapisti tedavi yeterlilik değerlendirmesi.

Tartışma

Merkezimizde geliştirilen ve uygulanan sağlam ve kapsamlı MR-Linac eğitimi ve yetkilendirme programı,

tüm hastaları ve personeli yeterince eğitmek ve korumak için hizmet etmiştir. Bu grup, RO' ları, RT' leri, ROMP' ları, hemşireleri, hasta hizmet görevlilerini, temizlik personellerini ve yönetim ve araştırma ekiplerinden olanları içerir. Temel MR güvenlik eğitimine ek olarak, hem Philips hem de Elekta' dan alınan satıcı eğitimi, klinik ekibine Elekta Unity MR-Linac ile ilişkili planlama ve tedavi iş akışları hakkında kapsamlı bilgi ile birlikte MR kavramları ve uygulamaları hakkında daha fazla farkındalık ve anlayış sağladı. İlk yeterlilik profili (pelvis için), karaciğer, pankreas, mesane vb. üzere ek tedavi alanlarının tanıtılması için bir temel oluşturdu.

Adaptif radyoterapinin heyecan verici çağında, RO' ların, RT' lerin ve ROMP' ların rolü, MR-Linac' ın eklenmesiyle gelişmiş ve genişlemiştir. Merkezimizde klinik kullanımının ilk 6 ayında, MR-Linac, her tedavi seansı için konsolda bir RO, bir ROMP ve 2 RT' nin bulunmasını gerektiriyordu ve bu, diğer görevleri ve rolleri üstlenebilmelerinin sınırlı olduğu anlamına geliyordu. Hasta sayısı arttıkça, yeni personeli eğitimi ve yetkilendirilmesi bir zorluk haline geldi. Dünya çapındaki merkezler, geleneksel RT rolünü daha da uzmanlaşmış hale getiren RT liderliğindeki tedavi iş akışlarına doğru ilerliyor.

MR güvenliği açısından karşılaşılan diğer bir zorluk, bir MR ortamındaki acil durum prosedürleri için gereken farklı yaklaşımdı. Eğitim materyallerinin bir kısmı, ekibin, özellikle de hemşirelik ekibinin, bir manyetik alan varlığında takip edilmesi gereken farklı acil durum kodu yanıt prosedürü hakkında farkındalığı sağlamak için eğitilmesini içeriyordu. RANZCR önerileri doğrultusunda, hastanın acil bir durumu olduğunda, hasta yalnızca MR eğitimi almış personel

tarafından MR-Linac tedavi odasından, kontrol odası dışındaki güvenli bir ortama tahliye edilmelidir ve ancak o zaman hemşire ekibi resüsitasyon yapabilir. Bu, manyetik alanla etkileşime girerek bir mermi yaratan ve böylece odadaki hem personel hem de hastalar için önemli bir tehlike oluşturabilecek MR güvenliği olmayan ekipmanın, odaya getirilmesini engellemek içindir. MR güvenliği ve eğitimi, bölümümüzde, özellikle bir MR ortamında sınırlı deneyimi olanlar veya bu tür bir teknolojiye aşina olan personel eğitiminin bir numaralı önceliğiydi. 1.5 T manyetik alanın risklerini ve ilgili tehlikelerini vurgulamaya büyük önem verildi. Magnet hızlandırılmadan önce merkezimizde haftalık olarak güvenlik sunumları yapıldı ve yıllık yenilemeler zorunlu tutuldu.

MR güvenliği açısından bir RO perspektifinden, hastaların MR-Linac' ta tedaviye uygunluğu açısından uygun şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bu, hastaya ilk konsültasyonda bir MR tarama formu doldurması sağlanarak yapılır ve RT' lerin hasta simülasyonlarından önce yanıtları incelemesi ve araştırması için yeterli süre sağlanır. Bu, günlük MR taramasıyla birleştirildiğinde, herhangi bir MR ile devam etmeden önce randevular arasında önemli hasta değişikliklerinin belirlenmesini sağlar. Hastalara zaman zaman tıbbi müdahaleler yapıldığı ve bunun sonucunda MR koşullu inorganik malzemelerin simülasyon ve tedavi arasında veya hatta fraksiyonlar arasında yerleştirildiği görüldüğünde, günlük MR taraması değerli bulundu.

Radyoterapi ekibinin hem konturlama hem de planlama için MR görüntülerini her gün görmek genellikle alışık olmadığı bir şeydir. Çoğu RT,

planlama aşamasında simülasyon BT ile tanısal MR görüntülerinin füzyon yapılmasında çok temel düzeyde bir MR anlayışına sahiptir. Standart tedavi yolunda, CBCT' den CT' ye kayıtlar rutin olarak kullanılır ve bu RT' nin MR görüntü yorumlama deneyimini sınırlar. RT' nin MR görüntüleme ile değerlendirme ve karar verme konusundaki deneyim eksikliği, önemli zorluklar ortaya çıkardı. Sağlam eğitim standartlarının geliştirilmesi ve uygulanması, özellikle MR görüntülerinin yorumlanmasında eğitim yoluyla bu zorluğun üstesinden gelmeye yardımcı oldu. MR kılavuzluğunda radyoterapinin hem görüntüleme yöntemi hem de iş akışı benzersizdir ve uzmanlaşmış bir yeterlilik profili gerektirir.

MR-Linac ekibi tarafından her bir meslek grubundan bir temsilcinin katılımıyla haftalık bir değerlendirme yapılır ve bu, ekibin yeni hastaları tartışmasına, simülasyonda elde edilen MR kalitesi değerlendirmesine, konturları incelemesine, tedavi planını ve dozimetrik sonuçları analiz etmesine imkan sağlar. Bu genellikle zorlu vakaları tartışmak için mükemmel bir forum olduğu kanıtlanmış 30 dakikalık bir toplantıdır. Bu, klinisyenlerin ve tedavi ekibinin her bir hasta için çevrimiçi ortamda neler bekleyeceğini bilmesini ve belirlenen tedavi protokollerinin takip edilmesini sağlar. Ayrıca, daha az tanımlı lezyonların konturlanmasına yardımcı olmak ve her gün çevrimiçi kontur için net bir rehber sağlamak üzere RO ile işbirliği yapacak bir radyoloğun bulunması da yararlı olabilir.

Sonuç

Merkezimizde geliştirilen MR-Linac eğitim ve yetkilendirme sistemi, radyoterapi profesyonellerine

yönelik eğitim ve değerlendirme bileşenlerini içerecek şekilde yapılandırılmış bir yaklaşım sağlamıştır. Standartlaştırılmış eğitim ve değerlendirme paketi, MR-Linac eğitimine birleşik ve verimli bir yaklaşımı kolaylaştırdı.



Med. Fiz. Uzm. Burcu GÖKÇE

1986 yılında Antalya' da doğdu. 2010 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü' nden mezun oldu. Aynı üniversitenin Sağlık Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansını tamamladı. 2014 yılında Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisinde başladığı meslek hayatına sırasıyla; Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi, Ümraniye EAH, Bakırköy Dr. Sadi Konuk EAH, Epsilon Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş (Aplikasyon Uzmanı olarak), Yedikule Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi EAH ve Şişli Hamidiye Etfal EAH' de Medikal Fizik Uzmanı olarak görev aldı. Mayıs 2023 yılından itibaren Hisar Hospital Intercontinental Bütünleşik Onkoloji Merkezinde Medikal Fizik Uzmanı olarak görevine devam etmektedir. İlgi alanları; dalış, masa tenisi, lego, puzzle ve seyahat etmek.

RADYASYON TEDAVİSİNDE MR'IN GELECEĞİ: MR TOPLULUĞU İÇİN ZORLUKLAR VE FIRSATLAR

Received: 7 June 2022 | Revised: 17 August 2022 | Accepted: 22 August 2022 | Published on: 21 September 2022

DOI: 10.1002/mrm.29450

GUIDELINES

Magnetic Resonance in Medicine

The future of MRI in radiation therapy: Challenges and opportunities for the MR community

Rosie J. Goodburn¹ | Marielle E. P. Philippens² | Thierry L. Lefebvre^{3,4} |
 Aly Khalifa⁵ | Tom Bruijnen² | Joshua N. Freedman⁶ |
 David E. J. Waddington⁷ | EYESHA YOUNUS⁸ | Eric Aliotta⁹ |
 Gabriele Meliadó¹⁰ | Teo Stanescu¹¹ | Wajiha Bano¹ |
 Ali Fatemi-Ardekani^{12,13,14} | Andreas Wetscherek¹ | Uwe Oelfke¹ |
 Nico van den Berg² | Ralph P. Mason¹⁵ | Petra J. van Houdt¹⁶ |
 James M. Balter¹⁷ | Oliver J. Gurney-Champion¹⁸

Radyoterapi Teknikeri Özlem Özkaya

Özet

Radyasyon tedavisi, dünya genelinde kanser tedavi yöntemlerinin önemli bir parçasıdır. Bu tedavinin başlıca amacı, sağlıklı dokuları minimum radyasyon toksisitesi ile koruyarak iyonlaştırıcı radyasyonun verilmesi yoluyla tümörün kontrolünü elde etmektir. Radyasyon terapisi, doğru bir şekilde hedef ve çevre dokuların lokalizasyonuna dayandığı için tedavi sürecinin her aşamasında görüntüleme kritik bir rol oynamaktadır. Tedavi planlama aşamasında radyolojik görüntüler, hedef hacimlerin ve risk altındaki organların tanımlanması için temel oluştururken, elektron yoğunluğu gibi radyasyon dozu hesaplamaları için gerekli olan temel bilgileri sağlar. Tedavi sırasında alınan onboard görüntüleme hasta konumunu hakkında önemli bilgi sağlar. Ayrıca

hareketten etkilenen bölgeler için alınan radyasyon dozunu değerlendirmek için kullanılabilir. Görüntüleme ayrıca tedaviye yanıt değerlendirmesi ve tedavi planı uyarlaması için önemli bir araçtır. Manyetik Rezonans Görüntülemesi (MRG), mükemmel yumuşak doku kontrastına sahip olması ve fonksiyonel doku özelliklerini sorgulama kapasitesi nedeniyle radyasyon tedavisi alanında tedavi paradigmasını dönüştürme potansiyeline sahiptir. MR Radyasyon Tedavisi ISMRM Çalışma Grubu, MR topluluğu içinde MRI'nın radyasyon tedavisi uygulamaları için daha fazla gelişme fırsatlarını tartışmak amacıyla bir platform sağlamak üzere kurulmuştur. 2021 yazında, çalışma grubu ilk sanal atölyesini düzenledi ve çeşitli uluslararası klinisyenler, bilim insanları ve klinik fizikçilerden oluşan bir grup tarafından oluşturuldu. Bu makale, etkinliğin ana

bulgularını gözden geçiriyor ve bu genişleyen alandaki gelecekteki vizyonumuza ulaşmanın fırsatlarını ve zorluklarını değerlendiriyor.

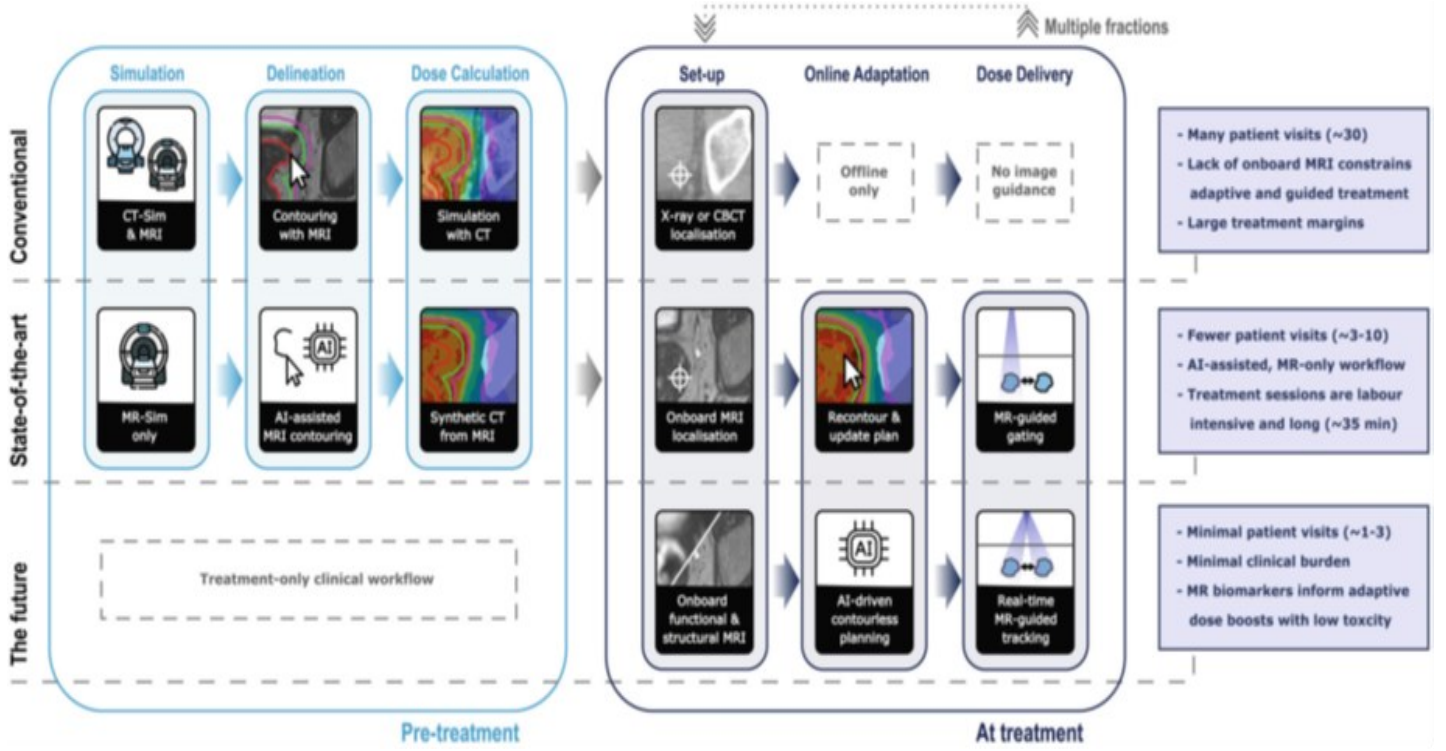
1. Giriş

Radyasyon Tedavisi (RT), kanser hastalarının yaklaşık %50'sine reçete edilen, kanser tedavi süreçlerinin önemli bir bileşenidir. RT'nin amacı, tümörün kontrolünü sağlamak için tümöre yeterince yüksek dozda iyonlaştırıcı radyasyonu vermek ve sağlıklı dokulara en az radyasyon verilmesi amacıyla ile sınırlamaktır. En yaygın RT modalitesi olan external RT, bir linear hızlandırıcı (Linac) aracılığıyla megavoltajlı X-ışınları ışınlarını hastanın etrafında dönen bir gantri üzerine monte edilmiş olarak iletmektedir. Dikkatlice optimize edilmiş tedavi planları, ışın profillerini ve foton yoğunluklarını hedef hacimleri için reçete edilen dozları odaklamak ve çevre sağlıklı dokuya maruz kalmayı minimize etmek amacıyla uyarlamaktadır. Genellikle bir RT tedavisi, 5 ila 30 tedavi seansından oluşur ve bu seanslar 1 ila 9 haftayı kapsar. Bu makale, external RT'ye odaklanmaktadır, ancak bazı yönleri brakiterapi ve proton tedavisi gibi diğer RT türlerine de uygundur.

RT tedavi zinciri içinde çok sayıda noktada görüntüleme yapılmakta ve bu görüntülemenin çok sayıda amacı bulunmaktadır ve bunlar genellikle "belirleme ve dozlama," "rehberlik ve hedefleme" ve "yanıt ve uyarlanma" olarak geniş kategorilere ayrılabilir. Belirleme ve dozlama hedefleri, genellikle ek MRI veya PET taramaları ile birlikte CT simulasyonu (CT-Sim) görüntüleri alınarak karşılanır. Bu görüntüler kullanılarak radyasyon onkologları hedefleri ve radyosensitif normal dokuları belirler. Belirlenen

hedefler ve kritik yapılar, planlanan doz dağılımını simüle eden ve optimize eden tedavi planlama sürecini bilgilendirir. Görüntüleme ayrıca tedavi sırasında rehberlik ve hedefleme konusunda bilgi vermek için kullanılır. Modern Linac sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşeni olan yerinde görüntüleme, tipik olarak her tedavi gününde kayma düzeltmeler ile tedavi planında belirtilen pozisyonla tümör hedefini çakıştırmak için CT (CBCT) yapabilen X-ışını sistemleri kullanır. Bazı durumlarda görüntüleme, iç anatomi değişikliklerini telafi etmek için radyasyon ışınlarını ayarlamak için de kullanılabilir, bu süreç adaptif tedavi olarak adlandırılır. RT tedavileri birden fazla seansı kapsadığı için, tedavi yanıtının CT, MRI veya PET ile değerlendirilmesi ve online veya offline tedavi planı uyarlaması için kullanılabilmesi mümkündür. Yanıt ve uyarlanma amaçları için bu görüntüleme teknikleri, klinik gelişimin önemli alanlarından biridir.

Şu anda X-ışını ve CT tabanlı teknolojiler RT görüntülemesini sağlıyor olsa da, MRI bu uygulamada hızla büyümekte ve büyük potansiyele sahiptir. Şekil 1, geleneksel, modern ve RT iş akışlarının geleceğine yönelik vizyonu göstermektedir. MRI, CT'ye kıyasla üstün yumuşak doku görüntüleme yeteneği sayesinde belirleme ve dozlama konularında iyileştirmeler yapacak ve bu da hedef lokalizasyonunda belirsizliği azaltarak daha doğru tedavilere imkan verecektir. Fonksiyonel MRI veya kantatif MRI (qMRI) teknikleri gibi mevcut teknikler, yararlı kontrastlar ekleyebilir ve doz artışı gereken riskli bölgeleri tanımlayabilirler.



Şekil 1: Radyoterapi (RT) için görüntülemenin geleneksel, çağdaş ve gelecekteki iş akışlarındaki rolünü ayrıntılı bir şekilde sunmaktadır. İlk sıradaki geleneksel iş akışı, bir bilgisayarlı tomografi simülatöründe (CT-Sim) hastanın taramasıyla başlar. Tedavi pozisyonu, düz üst yatak ve konumlandırma cihazları kullanılarak simüle edilir. Aynı zamanda MR taramaları da alınır ve CT görüntülerine kaydedilir. Hedef hacimler, MR görüntüleri üzerinde manuel olarak belirlenir ve doz dağılımları CT görüntülerini kullanarak hesaplanır ve optimize edilir. Tedavi sırasında, Linac sistemi üzerinde yerleşik CBCT veya X-ışını kullanılarak hastanın pozisyonu ayarlanır. Orta sıradaki çağdaş RT iş akışı, yalnızca MR yaklaşımını temsil etmektedir. Bu yaklaşım, CT-Sim'i MR-Sim ile değiştirir ve hastaneler ile hastalar üzerindeki yükü azaltır. Ayrıca, yapay zeka destekli kontur çizme, belirleme (tanımlama) işleminin verimliliğini ve güvenilirliğini artırır. Tedavi planları, MR-Sim görüntülerinden üretilen sentetik CT kullanılarak hesaplanır ve CT-MR kayıt hatalarını düzeltebilir. Tedavi sırasında, hibrit MR-Linac sistemleri, MR bilgilerine dayalı olarak günlük anatomik değişikliklere uyum sağlayabilir ve hareketli hedeflere yönelik tedavi verilmesi daha güvenli bir şekilde optimize edebilir. Tedavi oturumları, geleneksel tedavilere göre daha fazla emek gerektirebilir, ancak genel olarak hasta ziyaretlerini azaltabilir. Alt sıradaki gelecekteki iş akışı, yalnızca MR-Linac yaklaşımını tasvir etmektedir. Bu yaklaşım, planlama ve tedavi verilmesini dakikalar içinde aynı sistemde gerçekleştirme olanağını sunar. Fonksiyonel ve yapısal MR görüntülemeleri, yapay zeka destekli algoritmaları kullanarak giriş olmadan planlar oluşturabilir. MR türetilen biomarkerlar, kontürsüz doz planlama yaklaşımlarını destekleyebilir ve yüksek doz artışlarının güvenli verilmesini bilgilendirmek için mevcut bilgilere katkı sağlayabilir. Tedavi planları, gerçek zamanlı MR rehberliğinde hızlı bir şekilde teslim edilebilir, bu da sürekli olarak hedefi ışınlamanın ve keskin mekansal gradyanlara sahip doz dağılımlarının güvenli bir şekilde teslim edilmesini sağlar. Bu yaklaşım, hem hasta hem de klinik yükünü önemli ölçüde azaltabilir.

Yüksek dozları güvenli bir şekilde verme yeteneği ile daha hassas tedavilerin yapılabilmesi mümkün olacaktır. Rehberlik ve hedefleme için yeni standartlar, ticari MR-Linac sistemlerinin son zamanlarda mevcut olmasıyla oluşturulmuştur ve bu sistemler MRgRT (MRI rehberliğinde RT) için tedavi sırasında eş zamanlı görüntüleme yapılmasına olanak tanımaktadır. Yanıt ve uyarlanma ise MRI'nın tümör radyasyon duyarlılığını ölçme potansiyeli sayesinde ilerletilebilir. Tedavi dozunu tedavi yanıtına uyarlamak, hasta sonuçlarını iyileştirebilir. Bunu yapmak, tanısal MR sistemleri veya MR-Linac'lar kullanılarak başarılabilmektedir.

Bu makale, 2021 yılında ISMRM MR in RT çalışma grubu tarafından düzenlenen bir çalışma grubu toplantısının bulgularının özetidir ve 25 yıl sonra bu genişleyen alandaki gelecekle ilgili çalışma grubu üyelerinin tahminlerini incelemek amaçlanmıştır. Bu genişleyen araştırma alanının uzun vadeli fırsatlarını ve zorluklarını tartışmak üzere uluslararası bir MR ve RT bilim insanları, klinisyenler ve klinik fizikçileri bir araya geldi. Bu konunun doğası gereği, bazı tahminler mevcut literatüre dayanmaktadır, ancak sınırlı literatür bulunmasına rağmen, bu alandaki uzman görüşlerinin konsensüsü de dikkate alınmıştır. Bu arada, Şekil 1'deki vizyonumuzun gerçek olması için ele alınması gereken karşılanmamış ihtiyaçları aydınlatmak için MR topluluğuna başvuruyoruz. Yapay Zeka yaklaşımlarının son derece esnek olması nedeniyle, bu makalenin MRI'nın RT'deki zorluklarını aşmak için bir temelde olacağı unutulmamalıdır. Bununla birlikte, yapay zekanın gelecekteki klinik iş akışlarında nasıl uygulandığına dair bir konsensüs, tekniklerin doğrulaması, test etme ve kalite güvencesi konusu

üzerine kurulmalıdır. Yapay zekanın büyük potansiyeli olmasına rağmen, giriş verilerinin yetersiz ve konu dışı olduğunda kötü davranabileceği belgelenmiştir. Bu nedenle, klinik uygulama için bu ikincil zorlukları ele almak için hazır olduğumuzdan emin olmak gereklidir.

2. Konturlama

Kontur çizme işlemi, radyasyon onkologları tarafından gerçekleştirilir ve bu süreç, CT-Sim görüntüleri ile kayıtlı MR veya PET taramalarının birleştirilmesini içerir. Bu birleştirme işlemi, tedavi hedeflerini ve kritik yapıları içeren bir dizi 3D konturun çizilmesini sağlar. Bu konturlar, Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu'nun (The International Commission on Radiation Units and Measurements) kılavuzlarına uygun olarak tanımlanır. Bu konturlar arasında gross tümör hacmi (GTV), klinik hedef hacmi (CTV), planlama hedef hacmi (PTV) ve riskli organlar (OARs) gibi seçilmiş normal dokular bulunur. Şekil 2, GTV (Gross Tümör Hacmi), primer tümörün genişliğini temsil eden ve görüntüleme ile görünen bir hacmi manuel olarak çizildiği konturları göstermektedir. CTV (Klinik Hedef Hacmi), sub-klinik yayılımı dahil etmek için GTV'yi genişletir ve bu genişletme genellikle önceden tanımlanmış bir marj kullanır, ancak tedavi bölgesine bağlı olarak CTV, manuel olarak konturlanabilir veya tamamen etkilenen dokular tarafından tanımlanabilir (örneğin, prostat gibi). PTV, CTV'yi kaplamak amacıyla eklenen marjlardan oluşur ve bu, tanımlama, hastanın konumlandırılması, fizyolojik hareketler ve tedavi verilmesi sırasındaki belirsizlikleri dikkate alır.

2.1 Otomatik Kontur Çizme

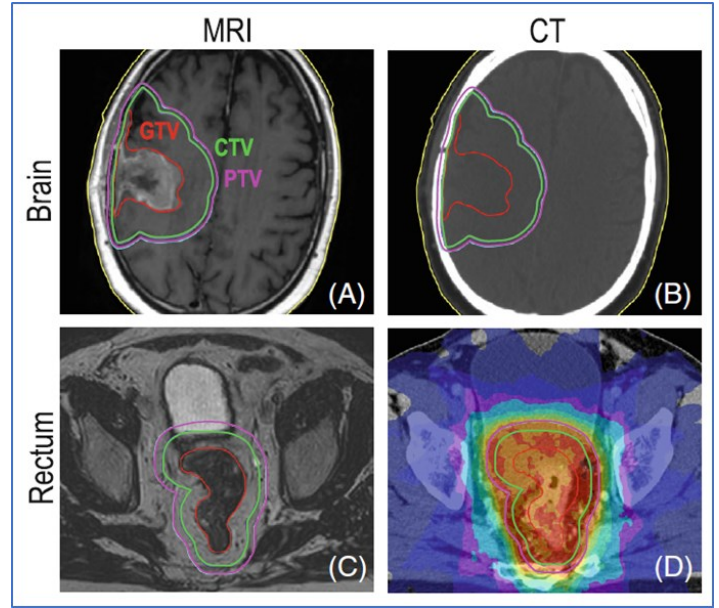
Elle yapılan hedef hacimlerin ve OAR yapılarının

tanımlanması, geleneksel olarak zahmetli bir iş olmuş ve sıkça farklı gözlemciler arasında ve hatta aynı gözlemcinin farklı zamanlardaki çizimlerinde farklılıklara neden olmuştur. Ancak günümüzde, yapay zekaya dayalı otomatik kontur çizme (autocontouring), bu zorlukları aşmak için popüler bir çözüm olarak tanıtılmıştır ve daha yüksek yeniden üretilebilirlik ve çizilen yapıların hassasiyetini sağlamaktadır. Otomatik konturlama, klinik yükün önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlar. Bugün, MR kullanarak hedef hacimlerin ve OAR'ların otomatik kontur çizme olasılığı ticari çözümler olarak hızla piyasaya sürülmüştür. Ancak, otomatik kontur çizmenin gelecekteki başarısı, klinik gereksinimler, endüstriyel uygulanabilirlik ve düzenleyici gereklilikler arasında bir denge kurmaya dayalı olacaktır.

Otomatik kontur çizme, klinik uygulamada pratik ve esnek olmalıdır. Örneğin, otomatik kontur çizme modelleri, yeni görüntüleme protokollerine hızla adapte edilebilmelidir ve bu, yeni bir eğitim verisi seti almak ve yeniden işaretlemeye gerek duymadan yapılmalıdır. Gelecekteki çözümler, istenen kontrasta sahip eğitim verilerini üretmek için sentetik veri setlerini kullanmayı içerebilir ve bu amaçla üretken rakip ağlar (generative adversarial networks) gibi teknik kullanılabilir.

MR-Linac'taki MRgRT için, tedavinin ortasındaki tümör takibi için düşük gecikmeli otokonturlama elde etme ihtiyacı başka bir dizi zorluk sunmaktadır. Hedefleri gerçek zamanlı değişikliklere uyarlamak klinisyen onayını olanaksız hale getirdiğinden, otomatik QA araçlarına ihtiyaç duyulacaktır. Yanlış veya anormal çizimlerin tespiti için yapay zeka temelli teknikler veya çizim belirsizlik haritaları gibi çizim

hatalarını algılama çözümleri gereklidir. Bu tür araçlarla desteklenen çağdaş çevrimiçi planlama, tedavi planlamasında kullanıcıların gözden geçirme konusundaki katkılarına gerek duyabilir.



Şekil 2: (A, B), bir beyin kanseri hastasının radyasyon tedavi konturlarını göstermektedir. Burada, gross tümör hacmi (GTV) (kırmızı), MR görüntülerinde görülen tümör dokusuna dayalı olarak konturlanmıştır (A). Klinik hedef hacmi (CTV) (yeşil), görüntüleme ile görülmeyen subklinik yayılımı hesaba katmak için GTV'yi sarmalar ve bu, anatomi ve biyolojik düşüncelere dayanır. Planlama hedef hacmi (PTV) (bordo), hasta konumlandırma hatalarını ve ışın hatalarını hesaba katmak için tasarlanmıştır ve reçete edilen dozun CTV'ye güvenli bir şekilde teslim edildiğinden emin olur. CT görüntüleri (B) burada kontur çizmek için uygun değildir, ancak doz hesaplamaları için elemental kompozisyon bilgisi (örneğin, elektron yoğunluğu) sağlamak için gereklidir. (C, D) Rektum kanseri olan bir hastanın radyasyon tedavisi. Yine, GTV, MR görünürlüğüne dayalı olarak konturlanmıştır (C). MR, doz dağılımını hesaplamak ve optimize etmek için kullanılan bir CT görüntüsüne kaydedilir ve bu, renkli bir örtü ile gösterilir (D). Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, beyin bölgesi tedavi planına göre CTV-PTV marjının daha büyük konumlandırma belirsizliği ve intrafraksiyon hareket nedeniyle daha büyük olmasıdır.

2.2 Yeni Kontur Çizme Paradigmaları

RT tanımlamasının doğal bir sınırlaması olarak, tedavi hacimlerinin kullanılan görüntüleme yöntemine veya

kontrastına bağlı olmasıdır. Spesifik olarak, GTV'ler yalnızca görüntüleme ve GTV'den CTV'ye kenar boşlukları tarafından ortaya çıkabilecek kadar uzanır, bazen birkaç cm büyüklüğünde tespit edilmemiş mikroskobik genişlemenin muhafazakar bir tahminini sağlamalıdır. Gelecekte, son teknoloji MR yöntemlerinin gelişmiş uygulaması altta yatan biyolojiyi daha iyi görselleştirme ve/veya anlama yoluyla GTV-CTV marjlarını güvenli bir şekilde azaltma potansiyeline sahip olabilir. Kontur kavramlarının değişmesi (otomatik kontur çizme dahil) ile birlikte, konturların klinik değerlendirmesini yapmak için yeni yöntemlere de ihtiyaç duyulacaktır. Geometrik ölçütlerin (örneğin, Dice benzerlik indeksi) klinik olarak benzerliği azalabilir ve yerine dozimetrik karşılaştırmalar gelebilir, bu, referans konturlarla oluşturulan planlarla karşılaştırılabilir. Yeni kontur çizme paradigmasının klinik uygulanması için histopatolojik doğrulama ve büyük klinik denemeler gereklidir, böylece standartlar ve yönergeler geliştirilebilir. Yeni kontur çizme paradigmasına geçerken, MR ve RT ile ilgili çalışanlar ilk olarak neyin çizilmesi gerektiğini ve çizilme nedeninin ne olduğunu sorarak hedef tanımlarını belirlemelidir. İkinci olarak, bir çizim görevinin güvenilir bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini belirlemek gerekmektedir. Üçüncü olarak, yeni konturların doz reçetesi için nasıl kullanılacağı ele alınmalıdır. Tüm bu yönler ideal olarak tutarlı ve sağlam bir klinik strateji oluşturmasının ön gerekçeleridir.

2.3 Karşılanmamış Gereksinimler

- Kurumlar arası heterojen verilerle uyumlu sağlam bir şekilde çalışabilen güçlü otomatik kontur çizme yöntemlerinin geliştirilmesi ve

optimize edilmesi.

- Tedavi sırasında tümör takibi için güvenli otokonturlamaya yönelik klinik QA çözümlerinin geliştirilmesi,
- Hedef organ sınırlarının nasıl tanımlandığının yeniden incelenmesi.

3. Doz Hesaplama

Doz hesaplama, iyonlaştırıcı radyasyonun bir hastada biriken enerjisinin hesaplanması işlemidir, yani radyasyon "dozu" hesaplamasıdır. Hastanın hedef organına verilecek dozun belirleme işlemi tamamlandıktan sonra, tedavi planlama sistemi, tümör ve riskli organların alacağı dozları simüle eder.

Çağdaş RT ve gelecekteki uygulamalarında, MR'dan türetilen sentetik CT (sCT) adı verilen görüntüler, adaptif planlamayı kolaylaştırmak için kullanılır.

3.1 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- Thorasik bölgeler gibi karmaşık anatomilerde adaptif MRgRT için uygun olan 4D-sCT yöntemleri söylenebilir.

4. Görüntü Rehberliği

Görüntü rehberliği, Görüntü aracılığı ile tedavi sırasında tümör ve sağlıklı dokuların güncel konumlarını belirlemek amacıyla kullanımını içeren bir süreçtir. Modern Lineer Hızlandırıcılar (Linac'lar), genellikle her tedavi fraksiyonunun başlangıcında hedeflerin tedavi planı modeline uygunluğunu değerlendirmek için bu yöntemi kullanırlar. Ancak, geleneksel görüntü rehberliği, sınırlı yumuşak doku kontrastı gibi bazı sınırlamalara sahiptir.

Bu sınırlamalar nedeniyle, hedefleme hataları genellikle Klinik Hedef Hacmi ile Planlama Hedef Hacmi arasındaki marjlar (CTV-PTV marjları) kullanılarak telafi edilir. Ancak bu büyük marjlar, yakındaki sağlıklı organların korunmasını sınırlayabilir ve tedavi dozunu sınırlayabilir.

Hibrit MR-Linac sistemleri, onboard MR tarafından sağlanan üstün lokalizasyon ve hedefleme yetenekleri sayesinde daha küçük PTV boyutlarını izleme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, gerçek zamanlı MR ile hastanın hareketini izleyebilir ve tedaviyi uyumlu bir şekilde yeniden planlayabilirler. Bu, daha küçük PTV'lere daha hassas tedavilerin uygulanmasına olanak tanır ve hastanın tedavi sonuçlarını ve klinik verimliliği artırabilir.

Ayrıca, gerçek zamanlı MR kullanımı, hastaların rahatsız edici immobilizasyon cihazlarına ihtiyaç duymadan daha rahat bir tedavi deneyimi yaşamasına olanak tanır. Bu nedenle, MR ile desteklenen gerçek zamanlı görüntü rehberliği, radyasyon tedavisi alanında gelecekteki gelişmelerin önemli bir parçası olabilir.

4.1 4D-MR

Radyasyon tedavisi (RT) bağlamında, günümüzde 4D-MR (dört boyutlu manyetik rezonans) genellikle birkaç solunum döngüsü boyunca elde edilen görüntü hacimlerini ve geriye dönük olarak solunum fazlarına bölünen 3D-MR'yi içermektedir. 4D-MR, hareket karakterizasyonunun potansiyel uygulamalarını içermektedir. Bu uygulamalar arasında onboard tedavi planı adaptasyonu ve retrospektif doz hesaplamaları yer almaktadır. 4D-MR, hacimsel gerçek zamanlı görüntülemenin öncüsü olarak rol oynamaktadır.

4.2 Gerçek Zamanlı MR

Hareket yönetiminin MR rehberli adaptif hedeflemeyi tam anlamıyla gerçekleştirebilmesi için düşük gecikmeli ve yüksek hassasiyetli verilere ihtiyaç vardır. Ancak, düşük gecikme gereksinimleri her tür hareket için farklıdır. Örneğin, kalp hareketi saniyeden daha düşük bir zaman ölçeğindedir, oysa organ dolması dakikalarca sürebilir. Solunum hareketi için önerilen MR gecikme süresi 200-500 ms arasında değişmektedir, ancak bu süre ne kadar hızlı olabilir ve hala klinik bir etkiye sahip olabilir mi, bu konu hala araştırma gerektiren açık bir sorudur.

Şu anda, orta tedavi adaptasyonu istendiğinde, genellikle 4D-MR yerine zaman çözümlü 2D-MR görüntüleri elde edilmektedir. Gerçek zamanlı adaptif görüntü işleme için MR, devam eden bir araştırma alanıdır.

4.3 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- Hedef hacminin ve risk altındaki organların düşük gecikmeli, yüksek doğruluklu, hassas mekânsal-zamansal lokalizasyonu,
- Yüksek derecede alt örnekleme yapılmış MR verilerinin hızlı çevrimiçi yeniden yapılandırılması,
- MR ve RT sistemlerinin adaptif planlama için daha sıkı bir entegrasyonu.

5. Kantitatif MR

Quantitative Magnetic Resonance Imaging (qMRI), dokulardaki morfolojik, biyolojik ve işlevsel süreçleri değerlendirmek için kullanılan bir dizi MR tekniğini

ifade eder. Bu teknikler, radyoterapi (RT) iş akışları için önemli bir rol oynayabilir değişik avantajları sunabilir.

5.1 MR türetilmiş Biyobelirteçler

Radyasyon duyarlılığını belirlemeye yönelik MR araştırması, hipoksi olarak bilinen ve radyoterapi sırasında önemli bir faktör olan oksijen eksikliğini incelemeye odaklanmıştır. Hipoksi, tümörlerin daha yüksek dozlara ihtiyaç duymasına neden olur, çünkü aynı biyolojik etkiyi elde etmek için daha fazla radyasyona gereksinim duyarlar. Oksijen seviyelerini (pO₂) değerlendirmek için birçok MR yaklaşımı mevcuttur, ancak bunlar genellikle dolaylıdır.

5.2 Araştırma Aracından Klinik Araca

Şu anki durumda, radyoterapi (RT) için kantitatif manyetik rezonans (qMR) başlıca MR ile tedavi yanıtı arasındaki ilişkiyi anlamaya yönelik bir araştırma aracıdır. qMR'ı klinik uygulamaya dönüştürmek için, bir sonraki adım, qMR parametrelerinden nicel görüntüleme biyobelirteçleri (QIB'ler) oluşturmaktır

5.3 Adaptif Tedavi

MR-Linac sistemlerinin kullanılabilir hale gelmesi, günlük tümör biyolojisine dayalı tedaviler ve qMR için büyük bir fırsat sunmaktadır. Örneğin, gerçek zamanlı qMR tekniklerinin kullanılabilirliği, RT etkinliğini artırabilir.

RT'deki qMR'nin başka bir uygulaması, biyolojik dozun gerçek zamanlı görselleştirilmesi olabilir. Bu tür qMR yöntemleri, planlanan tedavinin doğrulanması ve uyarlanması için kullanılabilir. Bu, tedaviye daha fazla kişiselleştirme ve hedefe yönelik yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanır.

5.4 Protokol Optimizasyonu

qMR'nin görüntü kalitesi, birden fazla görüntü alınması gerektiğinden, geleneksel MR ile karşılaştırıldığında zayıf olabilir. Çünkü sinyal değişikliklerini modellemek ve ölçmek için uzun alım süreleri ve düşük görüntü çözünürlükleri ortaya çıkabilir. Bu nedenle, klinisyenler genellikle tümör değerlendirmeleri için geleneksel MR görüntülerini tercih ederler. Ancak, alım hızı ve görüntü kalitesindeki teknik gelişmeler, qMR'nin klinik iş akışlarına uygulanmasına büyük ölçüde yardımcı olabilir.

MR-Linac sistemlerinde, RT için daha hızlı qMR ölçümleri hayati öneme sahiptir. Günümüzde, qMR ölçümleri genellikle manuel konturlama ile oluşturulan fırsat zamanında alınır. Ancak otomatik konturlama klinik olarak kabul edildiğinde, MRgRT için qMR ölçümleri için gereken süre kısalmaktadır.

5.5 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- qMRI parametreleri, radyoterapi (RT) uygulamaları için kurulmuş ve standartlaştırılmış kantitatif görüntüleme biyobelirteçleri (QIB'ler) olarak türetilmiştir.
- qMRI verilerinin toplama, yeniden oluşturma ve yorumlama süreçlerini hızlandıran iş akışları geliştirilmiştir.
- qMRI görüntü kalitesi iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

6. Donanım

6.1 RT için MR

Bağımsız MR sistemleri özellikle MR-Sim gibi simülasyon amaçları için kullanıldığında, RT uygulamaları için önemli bir rol oynayabilir. Ancak, bu sistemlerin RT gereksinimlerini karşılayabilmesi için dikkate alınması gereken önemli faktörler bulunmaktadır.

Öncelikle, yüksek uzaysal doğruluk büyük önem taşır. Geometrik görüntü bozulmaları, tümör bölgesinin yetersiz doza maruz kalmasına ve sağlıklı dokuların gereksiz doza maruz kalmasına yol açabilir. Bu nedenle, manyetik alan homojenliği ve gradyan doğrusallığı gibi faktörler geometrik doğruluğu etkiler. Yüksek alan şiddetlerinde bu tür bozulmalar daha belirgin olabilir ve Linac sistemi ile entegrasyonları daha karmaşık hale gelebilir. Bu nedenle, MR sistemlerinin RT uygulamaları için optimize edilmiş geometrik doğruluk sağlaması gerekmektedir. Geometrik doğruluk, teknoloji ilerledikçe sürekli olarak geliştirilmelidir.

Diğer bir önemli faktör ise geleneksel MR sistemlerinin RT bölümlerine kurulumunun karmaşık ve maliyetli olabileceğidir. Büyük tarayıcı ağırlıkları, söndürme borusunun(quenç pipe) koruma tasarımı gerekliliği ve MR çerçeve alanlarının Linac ile etkileşimi gibi faktörler bu süreci zorlaştırabilir. Ayrıca, MR-Güvenli immobilizasyon cihazları ve diğer ekipmanların ihtiyacı maliyeti daha da artırabilir. Bu nedenle, RT amaçları için MR sistemlerinin kurulum maliyetlerinin kontrol altında tutulması ve optimize edilmesi önemlidir.

Son dönemdeki gelişmeler, tanısal MR tarayıcılarının RT uygulamaları için uyarlanmasını kolaylaştırabilir. Düşük helyum içeriğine sahip tanısal MR tarayıcıları geliştirilmiştir ve bu, söndürme borusu (*quenç pipe/ Helyum Söndürme Boruları, acil bir durumda, tarayıcıda kullanılan potansiyel olarak ölümcül gaz halindeki sıvı helyumun doğrudan ve güvenli bir şekilde atmosfere atulmasını sağlar.*) gerekliliğini ortadan kaldırır, böylece kurulum maliyetlerini azaltır. Ayrıca, düşük alan MR tarayıcıları, geometrik doğruluğu artırabilir, ancak bu, SNR ve görüntü kalitesi kayıpları ile birlikte değerlendirilmelidir.

Tüm bu faktörler, bağımsız MR sistemlerinin RT uygulamalarındaki rolünü ve optimize edilmesini değerlendirmek için göz önünde bulundurulmalıdır.

6.2 MR-Linac Sistemleri

Hibrit MR-Linac sistemleri, farklı bir mühendislik zorluklar yelpazesi sunar. Örneğin, MR sisteminin sınır alanının Linac üzerindeki etkisi en aza indirilmelidir. Ayrıca, Linac'dan kaynaklanan RF radyasyonu, MRI alt-sisteminden korunmalıdır ki bu da sırasıyla radyasyon emme gereksinimlerini karşılayacak şekilde dikkatlice tasarlanmalıdır.

Şu anda ticari olarak mevcut olan iki MR-Linac çözümü bulunmaktadır, her biri MR tarayıcıyı RT ışın üretim bileşenleri ile entegrasyonuna farklı yaklaşımlar benimsemiştir. Her iki MR alt-sistemi de görüntüleme performansını (örneğin, mekansal bütünlük) sürdürürken RT iş akışı ve dozimetrik gereksinimleri karşılamak üzere değiştirilmiş olan tanısal tasarımlara dayanmaktadır. Unity (ElektaAB) MR cihazı, 1.5T MR cihazının (Philips Healthcare) modifiye edilmiş bir versiyonuna dayanmaktadır.

MRIdian (ViewRay Inc) sistemi, superconducting bir 0.35-T, yarılmış-magnet tasarımını kullanır.

Bugüne kadar yaklaşık olarak 200 MR-Linac kurulmuştur, bu da yaklaşık 13.000 geleneksel Linac'ın dünya çapındaki kurulu tabanına kıyasla sınırlıdır. MR-Linac'lere daha iyi erişim sağlamak için gelecekte daha ucuz ve kullanımı daha basit hale gelmeleri önemlidir. Mevcut tasarımlarla ilişkilendirilen birkaç zorluk bulunmaktadır. İlk olarak, MR manyetik yapısı içinde hastanın masasına sınırlı erişim sunar. İkinci olarak, MR tarayıcının genel boyutu, ağırlığı ve maliyeti karmaşıklık ekler. MR-Linac sistemlerinin izlediği alan gereksinimlerinde büyük taleplerde bulunabilir ve kurulum maliyetini büyük ölçüde artırabilir. Üçüncüsü, sınırlı sayıda coil mevcuttur. Dördüncüsü, günümüzün en son teknolojileri, hacimsel modüle edilmiş ark terapisi gibi, henüz MR-Linac sistemleri için mevcut değildir.

MR-Linac pazarı büyüdükçe, optimize edilmiş bileşenlerin, RT'nin benzersiz ihtiyaçlarıyla daha fazla uyumlu olmaya başlaması muhtemeldir. Gelecekteki MR-Linac teknolojisinin sıradışı Linac yapısı ve performans gereksinimlerini göz önünde bulundurarak daha fazla modelleme kullanmasını içerebileceği düşünülmektedir. MR-Linac tasarımları, hastanın erişimini maksimize etme ve donanım boyutunu minimize etme gereksinimlerine daha fazla odaklanabilir. Satıcılar, yeni tedavi ve görüntüleme yeniliklerini hızlı bir şekilde entegre etmeye olanak tanıdığı için MR-Linac yükseltmelerini kolaylaştırmalıdır.

Buna karşılık, benzer bir planın korunması, üretim, eskime ve tedarik maliyetlerini paylaşarak işletme

giderlerini azaltabilir. Bu, açık kaynaklı donanıma odaklanarak daha da kolaylaştırılabilir.

6.3 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- MR-Sim ve MR-Linac sistemlerine daha kolay erişim sağlamak amacıyla, daha basit kurulum süreçleri, maliyetlerin düşürülmesi ve azaltılmış deneyler üzerinde çalışmalar devam etmektedir.
- Radyoterapinin özel ihtiyaçlarına daha iyi uyum sağlamak üzere optimize edilmiş MR-Linac bileşenleri geliştirilmektedir. Bu çabaların bir örneği, geliştirilmiş coil tasarımlarıdır.

7. Hasta Yükünü Azaltmak

MR kullanımının radyoterapideki başarısının önemli bir yönü, hastaların tedavi süreçlerini daha az yorucu hale getirme amacı taşır. Sağlık hizmetlerine yönelik bu yaklaşım, hastaların sağlığına ek olarak, tedavi sürecinin neden olduğu zorlukları ve maliyetleri içerir. Tedavi yükünün ana unsurları, hastanın hastaneye yapması gereken ziyaretlerin sayısı, tedavi süresi ve hastanın konforu olarak sıralanabilir.

7.1 MR Rehberliğindeki Radyoterapi

MRgRT sistemlerinin gelişimiyle ilgili bu fırsatlar, hastaların radyasyon tedavisi süreçlerini daha rahat hale getirebilir ve tedavi uyumunu artırabilir. Özellikle genişlemiş alanlar, rahatsız edici pozisyonları veya sabitleme cihazlarını gereksiz kılabilir ve bu da hastaların tedavi masasında daha rahat hissetmelerine olanak tanır.

Ayrıca, akustik gürültü ve anksiyete gibi MR-Linac'ta yaşanan zorluklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Daha sessiz MR sistemleri veya gelişmiş gürültü

azaltma teknikleri kullanarak bu sorunlar ele alınabilir.

Bunların ötesinde, MRgRT sistemlerinin gelecekteki gelişmeleri, tedavi süreçlerini daha hızlı ve daha etkili hale getirmek için tasarlanabilir. Özellikle MRgRT'nin gerçek zamanlı izleme yeteneklerinin geliştirilmesi, tedavinin daha hassas ve verimli bir şekilde uygulanmasına olanak tanır. Bu da tedavi süresinin kısaltılmasına ve hastaların daha az rahatsızlık yaşamalarına yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, MRgRT sistemlerinin geliştirilmesi, hastaların radyasyon tedavisi süreçlerini daha rahat ve etkili hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu gelişmeler, hastaların tedaviye uyumunu artırabilir ve tedavi sonuçlarını olumlu yönde etkileyebilir.

7.2 Hipofraksiyon

MR-Linac sistemlerinin hipofraksiyonlu tedavi protokollerine uygunluğu, tedavinin hassasiyetini ve verimliliğini artırabilir. Bu tür sistemler, tedavi sırasında gerçek zamanlı izleme yapma yetenekleri sayesinde kurulum hatalarını daha küçük hale getirebilir ve tedavi doğruluğunu artırabilir. Ayrıca, hedef hacimleri ve riskli organları daha hassas bir şekilde tanımlama olanağı sunar, bu da daha iyi bir doz yoğunluğu dağılımı ve normal dokuların daha iyi korunmasını sağlar.

7.3 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- MRgRT tedavi süreçlerinde hastaların konforunu artırmak amacıyla rahatsız edici unsurların kaldırılması, örneğin sert masaların, immobilizasyon cihazlarının ve nefes tutma gerekliliğinin azaltılması;

- Tedavi sürelerini kısaltmak için daha hızlı görüntüleme ve tedavi yöntemlerinin kullanılması;
- Planlama ve tedavi aşamalarında daha yüksek görüntü kalitesi sağlayarak hipofraksiyon tedavilerine olan güvenin artırılması.

8. Uygulama ve Yaygınlaştırma

MR'nin RT alanındaki uygulanması, özellikle MR-Linac sistemlerinin yaygınlaşmasıyla hız kazanacak ve yönlendirilecektir. Ancak, şu anda sadece birkaç RT merkezi, MR tarayıcılarına sahiptir ve MR-Linac'lar, tüm tedavi makinelerinin sadece küçük bir yüzdesini oluşturmaktadır (yaklaşık %1,5).

8.1 Klinik Yük

Şu anda bir MR-Linac'ı işletmek, büyük bir klinik ve teknik uzman ekibi gerektirir. MR-Linac'lara sahip merkezler, genellikle tedaviyi planlamak ve yönlendirmek üzere yerinde bir klinisyen, tedavi sürecini yönlendirmek için eğitilmiş iki çift RT-MR teknoloğu, MR-RT Medikal fizikçisi ve kalite kontrol ve bakım için bir dizi medikal fizikçi gerektirir. Daha az kaynak ve personel gerektiren geleneksel sistemlere kıyasla MR-Linac kullanımı, bu merkezlerde artan bir baskıya neden olur ve tedavi sürelerini genellikle iki katına çıkarır. Yeni destek ekiplerinin oluşturulması ve MR-Linac tedavilerinin sürdürülmesi büyük kanser tedavi merkezleri için yönetilebilir olsa da, genellikle Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri genelinde bulunan daha küçük toplum tabanlı radyasyon tedavi merkezleri için bir engel teşkil edebilir. Bu nedenle, MRgRT'nin önümüzdeki birkaç yıl boyunca genellikle daha büyük ve özelleşmiş merkezlerde

uygulanacağını tahmin edilmektedir.

8.2 Karşılanmamış İhtiyaçlar

- MR alımlarının tedavi planlaması ve hareket izleme için standartlaştırılması,
- Araştırmacılar ve klinik ekiplerin işbirliğiyle otomatik iş akışlarının geliştirilmesi,
- MR ve MRgRT sistemlerinin daha kolay (veya otomatik) işletilebilmesi.

9. Sonuç

MR, modern radyoterapi (RT) akışlarında temel bir unsur olarak kabul edilmekte ve bu teknolojinin rolünün önümüzdeki 25 yıl içinde büyümesi beklenmektedir. MR tarafından sunulan tümör izleme, gerçek zamanlı görüntü rehberliği ve görüntüleme biyobelirteçlerindeki ilerlemeler, RT uygulamalarını dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Bu paradigma değişikliği, MR topluluğu için yeni zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır.



Radyoterapi Teknikeri Özlem Özkaya

1996 yılında İstanbul'da doğdu. Okan Üniversitesi Radyoterapi Bölümü'ne tam burslu olarak başlayıp 2017 yılında mezun oldu. 2017-2021 yılları arasında Okan Üniversitesi Hastanesi'nde ve 2021-2023 Haziran ayına kadar Medicana Ataşehir Hastanesi'nde çalışmıştır. 2023 Haziran ayı itibariyle Hisar Hospital Intercontinental'de Radyoterapi Teknikeri olarak çalışmaktadır.

MR GÜVENLİK KILAVUZU

Dr. Fizik Mühendisi Tuğba Hacısmanoğlu

(24-28 TEMMUZ 2023 MR GÜVENLİK HAFTASI NEDENİYLE BİR (THE BRITISH INSTITUTE OF RADIOLOGY) TARAFINDAN YAYINLANAN MR GÜVENLİK KILAVUZU'NDAN UYARLANMIŞTIR.)

İntra Operatif ve Girişimsel MR Hizmetlerinin Yönetimi

MR görüntüleme; görüntü kılavuzluğunda biyopsi, intraoperatif gözlem ve odaklanmış ultrason eşliğinde lazer ablasyonu olarak bilinen yeni nesil tedavilere destek olan tanısız tetkik olarak tanımlanabilir. Bu makale, beyin cerrahisi alanında intra operatif MR hizmeti deneyiminin özeti şeklindedir.

Hazırlık süreci:

Planlama evresi: Bu aşamada kilit gruplardan temsilcileri içeren küçük bir çekirdek ekibin seçilmesi oldukça önemlidir. Bu ekip görüntüleme teknisyenleri, radyologlar, cerrahlar, anestezi uzmanları ve tesis yönetimi ekibini içermelidir (1, 2, 3). Bununla birlikte bina mimarisi, MR ekipmanının tipi ve düzeni, bina içi tesisat ve düzen ile anestezi ekipmanı dikkatle incelenmelidir.

Eğitim: MR kontrollü alanında çalışması gereken yeni personel gruplarının belirlenmesi, ekibe ve MR alanına güvenlik taraması yapılarak eğitim verilmesi sağlanır.

Süreç geliştirme: Adım adım işlem planlanır. Her bir prosedür için, tüm kilit personelin katılımıyla provalar tekrar edilmelidir. Bu tekrarlar, zorluk alanlarının belirlenmesine, zaman veya diğer kısıtlamaların

tespitine yardımcı olur. Geleneksel WHO (DSÖ/DÜNYASAĞLIK ÖRGÜTÜ) kontrol listesi ve MR güvenlik kontrol listesine ek olarak, önemli işlem noktalarında ek kontrol listeleri gerekli olacaktır. Tahliye veya yönetimin önündeki engelleri belirlemek için acil durum prosedürleri geliştirilmeli ve prova edilmelidir. Terapötik ekipmandan (örn. lazerler) kaynaklanan tehlikeler de uygun mevzuat ve kılavuza göre ele alınmalıdır.

Riski azaltma:

- Hasta kabul sırasında ve kabulden önce MR güvenlik ön taraması yapılması gerekir. Güvenlik taramasının, WHO kontrol listesiyle eş zamanlı gerçekleştirilmesi önemlidir.
- MR ortamına yalnızca MR güvenli veya koşullu ekipmanın getirildiğinden emin olmak için kontrol listeleri hazırlanır. MR ortamına girmeden önce alet ve kesici aletler sayılır.
- MR ortamına erişimi olan personel sayısı minimumda tutulmalıdır. Personel; cepsiz, ayırt edici üniforma kullanmalıdır.
- Acil durum planları (Örn. tıbbi acil durum, yangın, elektrik arızası) herkesin ulaşabileceği yerde ve uygulanan prosedürün türüne uygun adımları içeriyor olmalıdır.

Sonuç: İntra operatif MR veya diğer MR kılavuzlu prosedürlerin kullanımı yeni tedavi seçenekleri sunar. Ancak bunlar, MR prosedürünün karmaşıklığını artırır ve yeni tehlikeler getirir. Planlama ve dikkatli

uygulamaya yönelik multidisipliner bir yaklaşım, tehlikeleri ve riskleri azaltabilir.

Kaynaklar:

1. MHRA. [MHRA \(publishing.service.gov.uk\)](http://publishing.service.gov.uk)
2. S.R. Wilson et al. Guidelines for the safe provision of anaesthesia in magnetic resonance units. Anaesthesia 2019 74(5): supplementary material.
3. Kettenbach et al. Intraoperative & interventional MRI: Recommendations for a safe environment, J Minimally Invasive Therapy 2006

MR Odasında Anestezi Hizmetinin Sağlanması için Bakım Standartları

Anestezistler MR ortamında çalışmayı zorlu bulmaktadır. Anestezistlerin MR cihazındaki hastaya erişimleri sınırlıdır. Manyetik alana getirilen hava yolu, havalandırma ve izleme ekipmanı mermi tehlikesi oluşturabilir veya anestezi ekipmanı arızalanabilir.

Eğitim: Anestezistler ve MR için anestezi sağlanmasından sorumlu yardımcı personel, yerel kılavuza uygun olarak düzenli olarak MR güvenlik eğitimi almalıdır.

İzleme ve Değerlendirme: Hastalar ve anestezi bakımı sağlayan personelin periyodik sağlık takipleri düzenli olarak yapılmalıdır. Hastalar, görüntümeden önce anestezi öncesi değerlendirme planı ve anestezi planına sahip olmalıdır.

İzleme: Anestezi uygulanmış ve sakinleştirilmiş hastalar, MR ortamında kullanım için tasarlanmış ekipmanla izlenmelidir. MR ortamında anestezi için

izleme ekipmanı standardı, ameliyathane içi ile aynı ve Anestezistler Derneği standartlarına uygun olmalıdır.

Resüsitasyon: Acil durum ekipmanı ve ilaçları hazır bulundurulmalıdır. Tıbbi bir acil durumda, hasta öncelikle MR ortamından tahliye edilmelidir. Tahliye işlemi; hastaya müdahale eden tıbbi ekibin herhangi bir MR ekipmanını güvensiz şekilde görüntüleme alanına getirmesini önlemek içindir.

Anestezi sonrası bakım: Bu konuda görevli ve eğitilmiş personeli olan ve izlenen bir gözlem alanı, belgelenmiş devir teslim ve taburculuk bilgileri her hasta için mevcut olmalıdır

Kontrol listeleri: Genel anestezi ve intra operatif MR için güvenlik kontrol listeleri (1), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kontrol listesi (2) ile kullanılmalıdır.

MR Odasında Anestezi Hizmetinin Sağlanması için Güvenlik Kontrolleri



1. **Risk değerlendirme:** Hasta randevusu kabul edilmesi üzerine, yetkili bir kişi tarafından MR prosedürleri için kapsamlı kontrollerin yapılması, MR odasına girmeye hazırlanan hastaların güvenliğini sağlar. Hasta anestezi ekibi tarafından incelenmeli, işlem öncesi talimatlar (açlık gibi) hasta ile tartışılmalıdır.

2. **Anestezi öncesinde:** Hasta MR ünitesine geldiğinde, personel güvenlik tarama anketini kendisi/yakını veya hasta bakıcılarla onaylar. Anestezi ekibi MR personeli ile, hastaya anestezi

vermeden önce kontrol listesini (2) gözden geçirmelidir (açlık durumu onayı, alerjiler ve tıbbi ekipman kontrolleri).

3. **Hasta MR odasına girmeden önce:** Hastaya anestezi verildikten sonra "MR Hasta Giriş Kontrol Listesi"nin (1) kontrolü önemlidir. Bu kontrol MR personeli tarafından yapılır; hasta, ekipman ve personel kontrollerini içerir.

Tarama işlemi sırasında veya sonrasında: Personelin MR odasına girmesi gerekebilir. Bu nedenle MR odasının personel tarafından bir kontrolü sağlanmalıdır.

Sonuç:

Denetleyen MR radyografi uzmanı Kontrollü Erişim Alanı içindeki MR güvenliğinden operasyonel olarak sorumludur. Anestezi personelinin MR güvenliği konularında MR radyografi uzmanına uymalıdır. İyi bir ekip çalışması, güvenli çalışma uygulamalarının takip edilmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar:

1. S.R. Wilson et al. Guidelines for the safe provision of anaesthesia in magnetic resonance units. Anaesthesia 2019 74(5): supplementary material.
2. WHO Surgical Safety Checklist: <https://www.who.int/teams/integrated-health-services/patient-safety/research/safe-surgery/tool-and-resources>
3. Türk Radyoloji Derneği MR güvenlik Kılavuzu. <https://www.turkrad.org.tr/assets/DernektenHaberler-Pdf/MR-Guvenlik-Kilavuzu-09-12-2019-v2.pdf/>

4. Türk Radyoloji Derneği Hastalar için Güvenlik Formu.

<https://www.turkrad.org.tr/assets/DernektenHaberler-Pdf/Ek-A-Hastalar-icin-MR-Guvenlik-Formu-v2.pdf/>

5. Türk Radyoloji Derneği Hasta Dışı kişiler için Güvenlik Formu

<https://www.turkrad.org.tr/assets/DernektenHaberler-Pdf/Ek-B-Hasta-Disi-Kisiler-icin-MR-Guvenlik-Formu.pdf/>

Bazı Metalik İmplantlar ve Objeler MR ortamında zararlı olabilir. Bu tür implant ve objeler ile ilgili şüpheli bir durumunuz var ise MR ortamına girmeyiniz. MR odasına girmeden önce MR teknisyenine ya da Radyoloğa başvurunuz. MR ortamında sürekli manyetik alan mevcuttur.

ÖNEMLİ BİLGİLENDİRME:



Metalik objeler, işitme cihazı, diş protezi, anahtar, cep telefonu, gözlük, toka, saç tokası, takı, piercing, saat, kâğıt ataç, kredi kartı, banka kartı, bozuk para, kalem, cep bıçağı, tırnak makası, pantolon kemeri gibi malzemeleri çıkartmadan MR odasını girmeyiniz. Herhangi bir sorunuz varsa MR teknisyenine ya da radyoloji uzmanına başvurunuz.

ÖRNEK KONTROL LİSTESİ

Dr. Uygulama Tarihi: Saat: Teknisyen:	Hasta adı: D.Tarihi: Hasta kayıt no:	K E
Hasta teknisyen ile MR kontrol listesini doldurdu mu	Evet	Hayır
Hasta MR cihaz yatağında güvenli bir pozisyonda mı	Evet	Hayır
MR odası içindeki tüm tehlikeli kesici materyaller hastadan uzakta mı	Evet	Hayır
Serum askıları kullanılıyor mu	Evet	Hayır
Hasta başı monitörü kullanılıyor mu?	Evet	Hayır
Kullanılacak infüzyon pompaları; MR için uygun,sabitlenmiş ve çekim odasında hasta arkasında mı?	Evet	Hayır
Trakea borusu ve laringal maske sabit mi	Evet	Hayır
MR için kullanılan EKG pedleri sağlam durumda ve sabit mi	Evet	Hayır
MR tetkiki esnasındaki gürültüye bağlı olası işitme problemlerini önlemek için kulak tıkacı ya da diğer koruma cihazlarının kullanılması önerilir ve gereklidir. Hastada kulak tıkacı varmı	Evet	Hayır
MR odasında sabit olmayan malzeme yok ve hasta yatağı kontrol edildi mi	Evet	Hayır
Hastaya kişisel olarak kullanılan herhangi bir özel malzeme var mı	Evet	Hayır
Tüm personelin cepleri boş mu	Evet	Hayır

Bu örnek form dışında TRD tarafından hazırlanan kullanıcı güvenlik kılavuzu (3) ile hasta ve hasta dışı kişiler için mutlaka doldurulması gerekli MR güvenlik önlemlerini içeren formlar (4,5) kullanıcı ve sorumlu personel tarafından dikkatle tetkik öncesinde doldurulmalı ve arşivlenmelidir.

TRD MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME GÜVENLİK KILAVUZU

Amaç:

Manyetik Rezonans görüntüleme (MRG), insan vücudundaki dokuların detaylı görüntülenmesinde kullanılan ve iyonizan radyasyon içermeyen bir görüntüleme yöntemidir. MR görüntüleme, bazı güvenlik kurallarına uyulduğu ve gerekli önlem alındığı takdirde hastada bilinen bir risk oluşturmaz. Ancak gerekli güvenlik kurallarına dikkat edilmez ise hastada ciddi yaralanmalara ve ölümlere kadar varabilen ciddi risklere neden olabilir. Bu kılavuz ile MRG ile çalışan profesyoneller ve hastaların bilgilendirilmesi ve güvenli çalışma ortamı oluşturulması hedeflenmiştir.

Temel Bilgiler:

MRG'de hastalar üç farklı manyetik alandan etkilenir;

1. Statik manyetik alan
2. Gradient manyetik alan
3. Radyofrekans (RF) enerji

Statik manyetik alan:

MRG cihazında, magnet ünitesinin bulunduğu bölümün etrafında bir manyetik alan bulunur. *Manyetik etki alanı (fringe field)* olarak adlandırılan bu bölge, çekim etkisini oluşturur. Manyetik etki alanı, MRG cihazının etrafında üç boyutlu olarak devamlı bulunan statik manyetik alan olarak da isimlendirilir. Burası magnetin merkezinden 5 Gauss ya da 0.5 mT manyetik çekim gücüne kadar azalarak devam eden ve kırmızı bir çizgi ile sınırlanan etki alanıdır. Bu alan

içerisindeki tüm ferromanyetik maddeler, MRG cihazları tarafından hızlı bir şekilde çekilebilecek özelliğe sahiptir.

Günümüzde kullanılan MR cihazlarının oluşturduğu statik manyetik alan, dünyanın manyetik alanından 30 -60 bin kat daha güçlüdür. Bunun en önemli etkisi ferromanyetik (mıknatıstan etkilenen) maddeler üzerindeki çekim kuvvetidir.

MRG'de unutulmaması gereken en önemli konu, cihaz kapalı olsa bile statik manyetik alanın sürekli olarak ortamda bulunduğuudur. Bu nedenle, MRG içinde hasta olmasa ve cihaz çalışmasa bile, gerekli güvenlik önlemlerinin uygulanması gerektiği, mesai saatleri içinde ve dışında, her an akılda tutulmalı ve tam olarak uygulanmalıdır. Statik manyetik alanın en önemli etkisi, kuvvetli manyetik alanın oluşturduğu güçlü çekim ya da fırlatma etkisi (*missile ya da projektıl etki*) ve buna bağlı oluşabilecek yaralanmalardır. Bu yaralanmalar bazen ölüme neden olabilecek kadar şiddetli olabilir. Gerekli önlemler alınmaz ise, MR ortamında bulunan oksijen tüpleri, hastane sedye, sandalyeleri gibi MRG için güvenli olmayan metalik malzemeler önemli yaralanmalara neden olabilmektedir. Hasta vücudunda bulunan ferromanyetik malzemeler ve implantlarda ciddi yaralanmalar oluşturabilir. Ayrıca bu malzemelerin MRG cihazına hızla çarpması da MR sistemlerine zarar vererek ciddi ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bu tür kaza durumlarında, MR sistemlerinde sıklıkla kullanılan süperiletken mıknatısına bağlı statik alanı sonlandırmak için Quench işleminin yapılması (Helyumun boşaltılması) gerekebilmektedir. Quench işlemi çok pahalıya mal olmakla beraber ciddi yaralanmalarda ve yangın gibi

acil durumlarda yapılması gereken bir müdahaledir. MR ünitelerinde oluşan kazaların çok büyük bölümü bu ortama sokulmaması gereken ve MR'ın güçlü manyetik etkisinden etkilenen malzeme ve araçlar nedeni ile olmaktadır. Bunların başında MR uyumlu olmayan hasta sandalyesi, sedyesi ve karyoları, oksijen tüpleri, hasta monitörleri, temizlik elemanlarının kullandığı bazı malzemeler ve hastaların yanlarında taşıdıkları metal malzemelerinin de hatırlanması gerekir. Güçlü çekim ya da fırlatma etkisine bağlı kazaları önlemek için aşağıda vurgulanan uygulama dikkat edilmelidir:

- a. Başta radyoloji personeli olmak üzere MR ortamında çalışma olasılığı bulunan tüm personel bu konuda eğitimden geçmeli ve bu eğitimler yıllık olarak tekrar edilmelidir,
- b. MR güvenlik kılavuzları ve prosedürleri çalışanlar tarafından gözden geçirilmelidir,
- c. Statik manyetik alanın, MRG cihazı kapalı olsa bile sürekli aktif olduğu unutulmamalıdır,
- d. MRG cihazına alınmadan önce tüm hastalar, varsa hasta ile beraber odaya girme olasılığı bulunan hasta yakınları ve hastane personeli MRG Hazırlık Formu (Ek A) doldurmalıdır
- e. Ferromanyetik objelerin MR cihazının bulunduğu ortama girmesine kesinlikle izin verilmemelidir,
- f. Metalik malzemeler dışında, saatler, cep telefonları, işitme cihazları, takılar ve benzeri metalik malzeme ile banka kartları kredi kartları da işlev bozukluğu gösterebilecekleri için MRG odasına girmeden çıkarılmalı, hastalar özel

hastane önlüklerini giydikten sonra MRG odasına alınmalıdır

MRG ortamına girişlerin kontrolü aşağıdaki şekilde sağlanmalıdır:

- a. MR cihazına girecek kişiler, hastalar ve diğer personel MRG konusunda standart güvenlik eğitimi alan personel tarafından kontrol edilmelidir.
- b. MRG cihazında kapıların sürekli kapalı olması sağlanmalıdır.
- c. MRG ortamına girilen yerlerde yapılması gerekenleri açıkça gösteren uyarı işaretleri ve yazılar bulunmalıdır.
- d. Faaliyetin yoğun ve kontrolün güç olduğu durumlarda, gerekirse MRG ortamına girilmeden önce özel detektörlerle hasta ve yakınlarının üzerindeki metalik malzemelerin bulunmasına yönelik kontrol sağlanmalı.
- e. Kademeli MR güvenlik bölgeleri hasta ve yakınları ile diğer personelin MRG alanına alınması sırasında kontrollerin yapılması amacıyla kullanılmalıdır.

Hastanelerde MRG cihazının bulunduğu alanlarda, güvenlik bölgeleri MRG cihazının uzaklığına göre 4 kademeye ayrılmalıdır.

Bölge 1 (Hasta bekleme alanı): MR manyetik alanına uzak bölge olup buna bağlı herhangi bir zarar meydana gelmez. Binadaki herkesin kolayca girip çıkabildiği bir alandır. MRG çalışma alanına giriş bölümü olabilir. Halka açık ve kontrol uygulanmayan bir alandır.

Bölge 2 (İşlem öncesi hazırlık alanı): MRG personelinin kontrolünde olan hastalar bu alanda bulunur. Burada genellikle müracaat odası, kayıt ve formların doldurulduğu oda ve giyinme odası bulunabilir.

Bölge 3 (Kontrollü alan): Hastalar MR personeli tarafından bu alana alınır. Halka ve MR personeli dışındaki hastane personeline kısıtlı bir alan olmalıdır.

Bölge 4 (MR inceleme odası): MRG cihazının yani statik manyetik alanın olduğu bölgedir. Bu alan, içinde 5 Gauss ya da 0.5 mTline bulunan manyetik etki alanıdır. Bu 5 Gauss çizgisi, ferromanyetik implantları ve kalp pilini de etkileyen alandır.

Gradient manyetik alan:

Gradient sarmallar vücuttaki protonları hareket geçirmek için çok kısa olarak açılan ve kapanan sistemlerdir. Yani zaman içinde ani değişen manyetik alanlar oluşturur. Bu, hızla değişen manyetik alanlar iletken cihazlarda elektrik akımına neden olabilir. Gradient çalışması esnasında hastada periferik sinirlerde uyarılmaya neden olabilir.

Gradient sarmalın diğer biyoetkisi gürültüdür. Yüksek gürültüye bağlı hastalarda *işitme kaybı* olma riski nedeni ile MR cihazlarına girmeden önce hastalar kulaklık veya diğer koruma malzemeleri kullanmalıdır. Ayrıca bazı çocuk ya da klostrufobik hastaların yanında bulunan kişiler de benzer şekilde gürültüden koruyucu kulaklık kullanılmalıdır.

Radyofrekans (RF) enerji:

RF enerji hasta vücudundaki protonları uyarır. Buna bağlı olarak dokularda ısınma meydana gelebilir. RF enerjisinin hastada absorpsiyonunu SAR (spesifik

absorpsiyon rate) ile hesaplanır. Birimi watt/kg'dır. RF enerjisinin dokudaki depozisyonu; RF frekansı tipi, tekrarlama zamanı, RF sarmalın tipi, dokunun özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. MRG cihazı içindeki hastanın ısı da ortamdaki ısıya ve neme bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. RF enerjisinin dokulardaki etkisine bağlı olarak, hafif dereceden ağıra kadar değişen tipte dokularda yanıklar meydana gelebilir. Özellikle ısıyı çabuk ileten maddelere, örneğin EKG pabuçlarına bağlı yanıklar oluşabilmektedir. RF enerjisine bağlı dokulardaki ısınmayı, ısı artışını ve yanıkları önlemek için şu önlemler alınabilir:

- Hasta vücudunun RF sarmalları ile direkt teması önlenmeli, aralara yastıklar koyarak hastanın vücudu sarmallardan uzakta tutulmalıdır.
- Kullanılan sarmallar eğitimli kişilerce kullanılmalı
- Sarmallar ve aksesuarlarının bütünlüğü sık sık kontrol edilmeli
- Hastada bulunan bütün elektrik iletken maddeler çıkarılmalı
- Kullanılan elektrik kablolar hastaya direkt dokunmamalı

MRG Güvenliğinin Sağlanması

Hastalar, radyoloji personeli ve diğer kişilerin tetkik öncesi bilgilendirilmesi

MR odasına girme olasılığı bulunan personel, hasta ve hasta yakınlarının uyulması gereken güvenlik önlemleri konusunda uygun ve ayrıntılı biçimde bilgilendirilmeleri gerekir. Genellikle kazalar bu

bilgilendirmenin uygun yapılmamasından kaynaklandır. Bilgilendirme ve hazırlık MR güvenliği konusunda uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmelidir. Ayrıntılı bilgilendirme sonrası onam alınması da sağlanmalıdır.

Kimlere MR görüntüleme bilgilendirmesi yapılmalıdır?

MR ortamına girecek tüm kişiler MR hazırlık formu doldurulmalıdır. Bu kişiler:

- a. Radyologlar,
- b. MR teknisyenleri,
- c. MR'da çalışan radyoloji personeli,
- d. Hastalar
- e. Hastanede çalışan personel, hasta bakıcılar, tamir ve temizlik işlerine bakan personel,
- f. Hasta yakınları,
- g. Araştırmalara katılan kişiler,
- h. Özel durumlarda MR odasına grime olasılığı bulunan güvenlik görevlileri, polisler, itfaiye gibi kişiler

Hastanın MR'a alınmasında yetkili kişiler kimlerdir?

- a) Radyolog
- b) MR teknisyeni
- c) MR hemşiresi

Bunlar içerisinde radyoloğun görevi önemlidir. Güvenlik konusunda en son kararı verecek kişi olmalıdır.

MRG için hastanın sorgulanması ve hazırlık

Hasta açısından hayati önemi olan konulardan birisi, hasta vücudunda bulunabilecek ferromanyetik implant ve metal malzemelerdir. Bu malzemeler manyetik alan ile etkileşime girip hareket edebilir. Bu malzemeler MR'ın güçlü çekim alanından etkilenmeyecek şekilde güvenli olsa bile, RF sarmallara yakın olan bu tip malzemeler RF enerjisi nedeniyle önemli derecede ısınmaya ve sonuç olarak hasta cildinde yanıklara neden olabilir. Ayrıca elektrik akımının indüklenmesine, bunun sonucunda elektronik olan araçların ayarlarının bozulması ve uygun çalışmamasına yol açabilir. Metal malzemenin neden olabileceği artefaktlar görüntünün bozulmasına sebep olabilir. Bu implantlar ve malzemeler ile ilgili "mrisafety.com" internet adresinden detaylı bilgi alınabilir. Bu internet sitesinde birçok malzemenin MRG inceleme açısından güvenli olup olmadığına dair bilgi bulunabilir. Hasta vücudunda bulunan implant ve diğer malzeme hakkında bu sitede gerekli bilgi yok ise, hastanın MR'a girmesine izin verilmemelidir.

Tıbbi malzemeler MRG güvenliği açısından üç grupta incelenir:

1. *MR güvenli olanlar:* MR ortamında herhangi bir zarar oluşturmaz, yeşil renkle gösterilir. Foley sonda, sikon gibi non-metalik, non-manyetik materyaller bu gruptadır.
2. *Şartlı MR güvenli olanlar:* Belirli, MR ortamlarında herhangi bir zararı yoktur, sarı renkle gösterilir. Bazı kalp pilleri ve protezleri örnek verilebilir.

3. *MR güvenli olmayanlar:* Bütün MR ortamlarında tehlikelidir, kırmızı renk ile gösterilir. Ferromanyetik özellikteki metallerden yapılan materyaller bu grupta yer alır.

İnsan vücuduna yerleştirilen İmplant ve malzemeler MRG güvenliği yönünden 2 gruba ayrılır.

1. Pasif malzemeler (Anevrizma klipleri, yapay kalp kapakları, filtreler, stentler vs).
2. Aktif malzemeler (Kalp pili, ICD [implantedcardiacdefibrilator], nörostimulation sistemi vs.)

Anevrizma klipleri: Kullanılan malzeme hakkında isim model ve tipi hakkında bilgi edinilmelidir. Klipsi koyan cerrah ve tetkiki yapacak olan radyoloji ünitesi bu konuda sorumludur.

Ortopedik implantlar ve protezler genellikle üzerinde ayrı bir etiket olmadığı sürece sorun oluşturmazlar. Eksternal fiksatorlerde ise ciltte yanıklar meydana gelebilir.

Şartlı MR uyumlu etiketi olan bazı cihazlar şunlardır; Kemik füzyon sistemleri, programlanabilir infüzyon pompaları, koklearimplantlar, nörosimulation sistemleri, kalp pili/ICD recorder monitör implantları.

Aktif implantlarda şartlı olarak MRG uyumu için gerekli olan şartlar

Statik manyetik alanın gücü, RF'ın frekansı (1,5 TD 64 megahertz, 3 Tesla 120 megahertz), transmit RF koilin tipi, kabul edilebilir SAR seviyeleri.

MR cihazı hasta vücudundaki kalp pili, ICD gibi cihazların jeneratörünün titreşimine veya hareketine,

aşırı ısınmaya neden olabilir; geçici ve/veya kalıcı fonksiyonel değişimlere yol açabilir. Elektromanyetik etkileşimle aritmilere neden olabilir. Genellikle kalp pili MRG'de güvenli değildir. Ancak son zamanlarda "şartlı olarak MRG uyumlu kalp pilleri üretilmektedir. Bu hastalara MRG yapılırken, bu malzeme ile ilgili tecrübeli sağlık profesyoneline ihtiyaç vardır. Gerekirse ilgili firmalardan yardım alınmalıdır. Bazı hastaların inceleme sırasında monitörize edilmesi ve desteklenmesi gerekebilir. Fiziksel ya da mental olarak stabil olmayan hastalar, fizyolojik fonksiyonları sorunlu olan hastalar, iletişim kurulamayan hastalar, bebekler ve çocuklar, oldukça kritik haldeki hastalar veya yüksek riskli hastalar, sedatize hastalar, anestezi hastalar, bazı ilaçlara karşı reaksiyon gösteren hastalar, monitörize edilerek MR cihazında incelenmelidir. Bu incelemeler sırasında kullanılacak olan monitörlerin MR uyumlu olması şarttır.

Gebelik: Literatürde MR görüntülemenin fetusa zararı konusunda herhangi bir bilgi olmadığından genellikle gebelikte MR kontraendike değildir. Ancak tetkikin kar-zarar oranına bakılarak gerekli ise işlem gerçekleştirilmelidir. Kontrast madde Gadolinyum class C olarak geçtiğinden kar-zarar oranına göre gerekirse kullanılmalıdır.

Kontrast maddeler: Bulantı, kusma, baş ağrısı, ağrı, kaşıntı, enjeksiyon yerinde soğukluk gibi etkiler görülebilir. Nadiren ağır alerjik reaksiyonlar, ürtiker bronkospazm gelişebilir. Hayat tehdit eden anafilaktik şok görülmesi ise çok daha nadirdir.

Böbrek yetmezliği olgularında nefrolojik sistemik fibrozis (NSF) gelişebilir. Bu nedenle hastaların böbrek fonksiyonları inceleme öncesinde biyokimyasal olarak

test edilmesi gerekir.

Kapalı alan korkusu olan (klostrofobik) hastalar:

Bu tür hastalar MRG işlemini tolere edemeyip incelemeyi yarıda bırakabilirler. Geniş gantrisi olan sistemler ve açık MRG sistemleri bu tür hastalarda incelemenin sorunsuz tamamlanmasında yardımcı olabilir.

Anestezi ve Sedasyon ile MRG: Çocuklar ve bazı klostrofobik erişkin hastalara MRG sırasında sedasyon veya anestezi gerekebilir. Bu tür hastalarda inceleme genellikle daha uzun olup harekete daha duyarlıdır. İncelemeye alınan hastalara anestezinin riskleri de bildirilmelidir.

Acil durumlarda yapılması gerekenler:

MRG sistemlerinde ortamda sürekli olarak statik manyetik alan mevcut olduğundan MRG cihazında hastanın durumu kritik hale geldiğinde ya da bir kaza anında veya hasta gantry içerisinde sıkıştığında acil olarak müdahale edilmesi gereklidir. Hastanın hayati riski varsa Quench düğmesine basılması gerekebilir. Quench, MRG sistemindeki Helyumun hızlı bir şekilde boşaltılmasını sağlar. Quench ancak hastanın durumunu kritik haline getiren kazada veya yangın gibi büyük olaylarda uygulanması gereken yöntemdir. Bazen farklı nedenlerde cihaz kendiliğinden Quench oluşturabilir. Bu durumlarda sıvı helyum gaz haline geçeceğinden odanın dışına doğru gaz Helyuma bağlı sis ortaya çıkabilir. Ayrıca herhangi bir yangın anında, yangın söndürme tüpleri ve diğer ekipman MRG uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde manyetik alanın uzağından söndürme işlemi yapılmalıdır.

Acil durumlarda hasta MRG cihazından hemen

çıkartılıp bölge 4 dışında ilk yardım yapılmalıdır. Acil durumlarda, bölge güvenlik kılavuzlarına dikkat edilmeli, yardımcı sağlık personeli projektile yaralanmalara neden olabilecek cihazları MRG ortamına sokmamalıdır.

Sonuç olarak; MR inceleme MR güvenlik kılavuzlarında belirtilen esaslara dikkat edildiği takdirde son derece güvenli ve faydalı bir görüntüleme yöntemidir.

Kaynaklar

1. www.MRIsafety.com
2. ASTM F2052-00 Standard Test Method for Measurement of Magnetically Induced Displacement Force on Passive Implants in the Magnetic Resonance Environment.
3. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, Borgstede JP, Bradley WG Jr, Froelich JW, Gimbel JR, Gosbee JW, Kuhni-Kaminski E, Larson PA, Lester JW Jr, Nyenhuis J, Schaefer DJ, Sebek EA, Weinreb J, Wilkoff BL, Woods TO, Lucey L, Hernandez D. Expert Panel on MRS. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. Journal of magnetic resonance imaging : JMRI. 2013; 37(3):501– 530.10.1002/jmri.24011 [PubMed: 23345200]
4. Tsai LL, Grant AK, Morteale KJ, Kung JW, Smith MP. A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know. Radiographics. 2015; 35(6):1722–1737.10.1148/rg.2015150108 [PubMed: 26466181]

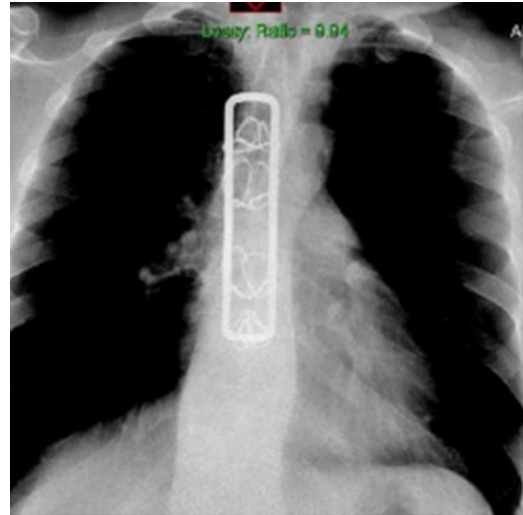
5. www.acr.org/Clinical-Resources/Radiology-Safety/MR-Safety
6. https://www.asrt.org/docs/default-source/research/whitepapers/asrt18_mrsafetywhitepaper.pdf?sfvrsn=ca0222d0_10
7. Sammet S. [Magneticresonancesafety](#). AbdomRadiol (NY). 2016 Mar;41(3):444-51. doi: 10.1007/s00261-016-0680-4. Review.
8. [/www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-imaging/mri-magnetic-resonance-imaging](http://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-imaging/mri-magnetic-resonance-imaging)
9. www.ismrm.org/mr-safety-links/mr-safety-resources-page/

MR'da Genel İmplant Güvenliği Prosedürleri

MR görüntülemesi öncesi her zaman implant marka/model belirlemeli miyiz?

Yapılan çalışmalar, MR için sevk edilen hastaların yaklaşık %25'inin bir tür tıbbi implanta sahip olacağını göstermiştir.(1) Bu implantlar hakkında bilgi edinmek zaman zaman zor olacağından gecikmelere ve görüntüleme iptallerine yol açabilir. Buna karşılık, belirli implant kategorilerinin hepsinin güvenli olduğunu ve genel prosedürler altında görüntülenebileceğini varsayarak, marka ve modeli belirlemeden implantların tespit edilmesinin faydalı olduğu benimsenmektedir. Yakın tarihli bir çalışmada da MR bölümlerinin %89'unun implantların kapsamlı olarak belirlenme işini üstlendiği belirlenmiştir (2). Bu durum; koroner stent implantlarında özel tarama

kılavuzlarını oluşturan MR güvenlik araştırmacıları tarafından kabul görmektedir. İmplant güvenlik prosedürleri sıradan hale gelmesine rağmen, nasıl geliştirilip uygulanacağına dair herhangi bir öneri yoktur. Önerilen yaklaşım; mevcut kanıt kaynaklarının ayrıntılı incelemesini, risk değerlendirmesini, açık bir prosedür bildirimini ve teknisyenler için implant güvenlik prosedürlerini içerir. Bu prosedürler, hasta görüntülemesi sırasında olası gecikmeleri önleyebilir ve implantlarla olması muhtemel görüntülemeleri yapan personelin iş yükünü azaltabilir.



implantlar hakkında bilgi sahibi olmadan bu hastaya görüntüleme yapılması sağlıklı olur mu?

Kaynaklar:

- 1 Ashmore, J. IPEM working party on Blanket Policies for scanning implants. IPEM MR Safety Update 2017
- 2 Survey to be published in a forthcoming issue of Rad Mag
- 3 <https://www.mriphysics.scot.nhs.uk/implant-safety-policies>.



Dr. Fizik Mühendisi Tuğba Hacısmanoğlu

1976 yılında Ankara'da doğdum. 1996 yılında Ankara Üniversitesi'nden Fizik Mühendisi olarak mezun oldum ve aynı yıl GATA Nükleer Tıp Kliniği'nde göreve başladım. 2016 yılında " Nükleer Tıp " alanında doktora yaparak Dr. ünvanımı aldım. Halen GEAH Radyoloji Kliniği'nde Radyasyon Korunma Sorumlusu ve Medikal Fizik Uzmanı olarak görev yapmaktayım.

DİKKAT! MR ODASINA GİRİYORSUNUZ!

Dr. Öğretim Üyesi Sevim Şahin

Ocak 2023'te Sao Paolo'da bir avukat kendi ruhsatlı silahı ile yaralanıyor ve 21 günlük hayat mücadelesi sonrası yaşamını yitiriyor. Haberi ilginç kılan kısım şu ki; 40 yaşındaki Leandro Mathias de Novaes, hasta annesini Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme için bir görüntüleme merkezine götürüyor ve belinde dolu bir silah var iken annesiyle birlikte MR odasına girdiğinde manyetik alandan etkilenerek MR cihazına doğru çekilen silah patlıyor ve karnından yaralanarak hayatını kaybediyor. Olay Brezilya'da uzun süre gündemdeki yerini korurken, insanlar bu kazayı sorgulamaya ve tartışmaya başlıyor. Olayın yaşandığı görüntüleme merkezi Cura Laboratory ise tüm güvenlik protokollerinin uygulandığını, Leandro Mathias de Novaes ve annesine gerekli bilgilendirmenin yapıldığını, hatta bu doğrultuda her ikisinden de imzalı onam alındığını, ancak Leandro Mathias de Novaes'in belindeki silahı hastane personelinden gizlediğini ifade ediyor. Kurum yaşanan kazayı "talihsizlik" olarak tanımlıyor. Ancak maalesef bu olay kayıtlara yaşanan ilk talihsizlik olarak geçmiyor çünkü benzer bir olay 2018 yılında Long Island, New York'ta da yaşanıyor. Polis memuru Frank Chester MR görüntüleme için gittiği merkezde, görevli tekniker tarafından bilgilendirilmesine rağmen cebindeki "küçük" silahı pek önemsemiyor, üzerinde metal eşya olmadığını söylüyor ve MR odasına giriyor. Girer girmez silah cebinden fırlayıp cihaza doğru çekiliyor ve ateş alıyor. Kurşun sağ bacağından girip sol bacağından çıkarak Frank Chester'ı yaralıyor. Tedavisi tamamlanan Chester taksirle adam yaralamak

suçlarından yargılanıyor ve hüküm giyiyor.

Yukarıda bahsedilen her iki durumda da kurum çalışanları hastayı/hasta yakınını yazılı olarak bilgilendirdiğini ancak yaşanan olayın önüne geçemediğinin altını çiziyor. Bu talihsizlikler MR görüntüleme güvenliğine ilişkin ilginin yeniden canlanmasına neden olmakla birlikte, gözler MR kullanılan görüntüleme merkezlerinde sıkça yaşanan "dikkatsizliklere" çevrilebilir.

Şubat 2023'te Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan bir görüntüleme merkezinde bir kaza daha yaşanıyor. Bir servis hemşiresi ve yardımcı personel refakatinde, MR uyumlu olmayan bir hasta yatağı üzerindeki hasta MR odasına getiriliyor. Magnete doğru çekilen yatak hastayı fırlatıyor. Hasta nispeten hafif yaralanırken refakat eden hemşirede femur ve kalça kırığı oluşuyor (Şekil-1). Olay incelendiğinde, kıdemli MR teknikerinin görev başında olduğu ancak MR odasına girişte hemşire ve yardımcı personele eşlik etmediği, ayrılabilen MR hasta masasının yatan hasta transferini gerçekleştirmek üzere MR odası dışında getirilmediği gözlenirken, söz konusu kazanın yaşandığı kurumun JCI (Joint Commission International) akreditasyonuna sahip olduğunun altı çiziliyor. Hatta MR güvenliği üzerine çalışan bağımsız uzmanlar, JCI standardının ana başlıklarından olan ve ilk sırada yer alan hasta güvenliği altında bu basit kazayı engelleyebilecek bir düzenlemenin olmamasını eleştiriyor.



Şekil-1: MR uyumlu olmayan hasta yatağının magnet tarafından yakalanması.

Bir diğer kaza haberi ise Güney Kore'den. 60 yaşındaki bir erkek hasta MR cihazına yatırılıyor. Yine bir dikkatsizlik sonucu MR odasına metal bir oksijen tüpü getiriliyor. Tüp magnete doğru çekiliyor ve hastanın başına isabet ediyor. Ağır yaralanan hasta hayatını kaybediyor.

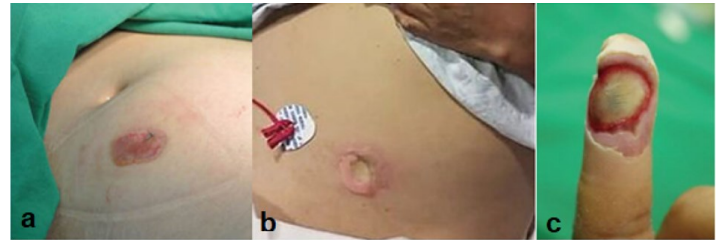
Dünyanın birçok yerinden bu ve buna benzer, sonu yaralanma ya da ölümlü biten çeşitli kaza haberleri okumamız mümkün. Yaralanma ya da ölüm olmayan kazaların birçoğu ise bildirilmiyor. MR uyumlu olmayan sedye, tekerlekli sandalye, hasta monitörleri, oksijen tüpleri, hasta merdiveni gibi birçok araç kontrolsüz şekilde MR odasına getiriliyor ve bu kazalar yaşanıyor (Şekil-2).



Şekil-2: MR uyumlu olmayan cihazlar ve kaza örnekleri.

Öte yandan FDA (Food and Drug Administration), 2022 yılında en sık yaşanan MR kazalarının ikinci

derece yanıklar olduğunu açıklıyor. RF (radyofrekans) yanığı olarak bilinen bu yanıklar en çok da çekim sırasında hastanın cihaza temas etmesi ile gerçekleşiyor (Şekil-3). RF enerji ile hasta vücudundaki protonlar uyarılıyor ve dokularda ısınma meydana geliyor. Bu enerjinin ne kadarının absorbe edildiğini ise SAR (specific absorption rate) ile hesaplayabiliriz. Bu etki kullanılan sekansa, RF tipine, RF sarmal tipine, tekrar sürelerine ve görüntülenen anatomik bölgeye göre değişkenlik gösterir. Hasta tüm bunların yanında ortam ısısından da etkilenmektedir. RF enerjisinin dokuda oluşturacağı ısınmayı ve hatta yanık oluşmasını engellemek için öncelikle hasta üzerinde metal eşya olmadığından emin olmak gerekmektedir. Hasta MR odasına alınmadan önce manyetik detektör ile taranmalıdır. Hastanın MR cihazı ve RF sarmallar ile direkt teması önlenmelidir. Temas durumu söz konusu olacaksa mutlaka araya yastık ya da ped konularak hasta cildi uzak tutulmalıdır. Hastanın el ve ayakları birleşmemeli, hatta elektrik döngüsünü engelleyebilmek için elleri vücuda dokunmamalıdır. Mümkün olan en küçük SAR değeri kullanılmalıdır. Sarmalların ve aksesuarların kullanımı kontrollü ve eğitimli personel tarafından gerçekleştirilmelidir.

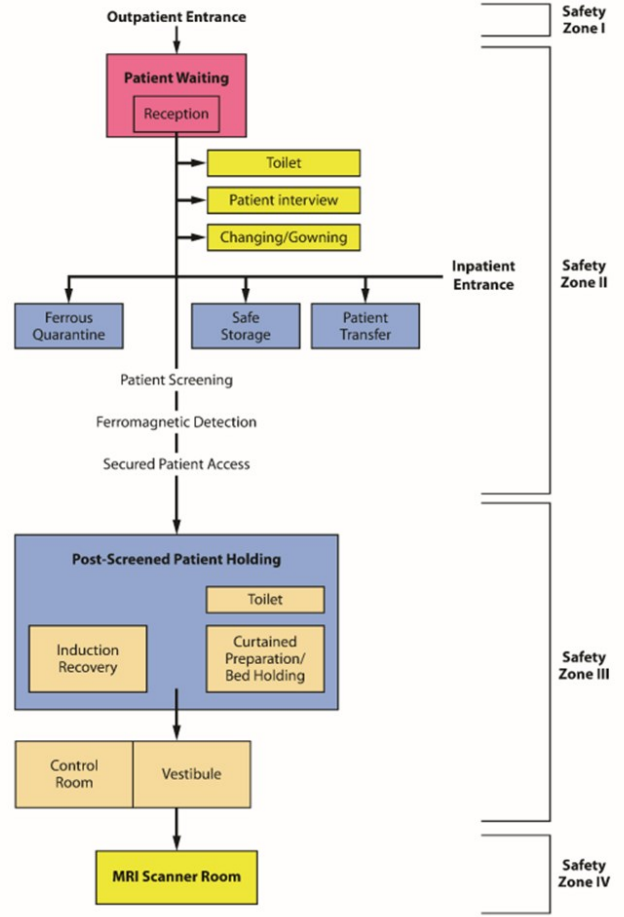


Şekil-3: RF yanığı örnekleri (a: RF sarmala temas etme (Lee/CC-BY), b: EKG pedinin hasta üzerinde bulunması, c: pulse oksimetrenin parmakta bulunması (Sung et al / CC BY)).

Peki MR odalarında daha fazla "talihsizlik" yaşanmaması için neler yapılabilir? Yumuşak doku

görüntüleme avantajlı olmasının yanında iyonize radyasyon kullanmaması sebebiyle daha güvenli olarak kabul edilen MR görüntüleme, kullanıcı hataları ile ölümlerle sonuçlanan kazalara sebebiyet veriyor. Bu konuda gerekli düzenlemeler, eğitimler ve kontroller var ancak yaşanan kazalar değerlendirildiğinde, dünya genelinde yetersiz olduğu görülüyor.

Bu bilinci oluşturmak, hastaları, hasta yakınlarını ve sağlık çalışanlarını korumak amacıyla ACR (American Collage of Radiology), 2013 yılında çıkardığı MR güvenlik kılavuzunu genişleterek, 2020 yılında MR güvenlik kitapçığı yayınlamıştır. Bu kitapçıkta MR güvenliğinde mevcut ulusal ve uluslararası standartların öneminden bahsedilmiş, MR güvenliğinin sağlanabilmesi için görev tanımlarının yapılmasının gerekli olduğu, özellikle her klinikte bir MR Medikal Direktörü (MRMD), MR Güvenlik Görevlisi (MRSO) ve MR Güvenlik Uzmanı (MRSE) tanımlanması gerektiğinin altını çizmiştir. Ayrıca MR bulunan merkezlerde görevli sağlık çalışanlarını Seviye I ve Seviye II personel olarak tanımlamış, her iki seviyenin ayrı MR güvenliği eğitimi alması gerektiğini ifade etmiştir. Kitapçıkta, MR güvenlik bölgelerinin tanımlanmasının önemi vurgulanarak, kazaları engellemede belirgin derecede etkili olduğu belirtilmiştir. Şekil-4'te bu bölgelere ilişkin özellikler şematize edilmiştir. 7T kullanan merkezler için FDA tarafından oluşturulan düzenlemeler eklenmiş, statik manyetik alana bağlı olarak yaşanabilecek kazalara değinilmiştir. İmplant etiketlemenin önemi vurgulanarak, yukarıda bahsedilen RF yanıkları ve işitme kaybı gibi durumları önlemek üzere alınması gereken tedbirler açıklanmıştır.



Şekil-4: ACR tarafından tanımlanan ideal MR güvenlik bölgeleri.

MR güvenliği için oluşturulan protokollerin kurumlar tarafından ciddiyle uygulanması, özellikle MR cihazlarının eskiye göre daha erişilebilir olması ve hasta popülasyonunun çeşitlenmesi ile daha da önem kazanmaktadır. Önceki yıllarda kalp pilleri, ilaç pompaları, implantlar gibi cihazları kullanan hastalar hekim kontrolü ve yazılı izni ile MR görüntülemeye alınıyordu ve bu kesin bir kuraldı. Ancak günümüzde bu cihazlar, üreticilerine ve üretim tarihlerine bakılarak ve biraz da tahmin yoluyla MR uyumlu olarak kabul ediliyor. Dolayısı ile risk eskiye göre daha da artıyor.

Hastaların mutlaka çekim odası dışında bulunan soyunma kabinlerinde tüm metal eşyaları ve kıyafetlerini çıkarmaları, önlük giymeleri ve MR odasına bu şekilde alınmaları gerekiyor. Özellikle

atletizm şortları ve yoga pantolonları gibi esnek yapıya sahip olmaları için metal iplikler içeren tekstil ürünlerinin çekim sırasında hasta üzerinde bulunmaması gerekiyor.

MR görüntüleme sırasında oluşabilecek tüm kazaların önlenmesi için öncelikle kurumların, sağlık çalışanlarının ve hastaların daha bilinçli olması, gerekli düzenlemelerin yapılması ve kuralların uygulanması, her kurumun kendi güvenlik denetleme mekanizmasını oluşturması, personel eğitimlerinin devamlı tekrarlanması, farkındalığın artması ve dikkatsizliklerin denetlemelerle ortadan kaldırılması gerekmektedir. Böylece MR görüntüleme gerçek anlamda güvenli bir tarama yöntemi olacaktır.

(Konu ile ilgili merakı olan okuyucular Twitter ya da LinkedIn üzerinden MR görüntüleme güvenliği uzmanı& danışmanı Tobias Gilk'i takip edebilir.)



Dr. Öğretim Üyesi Sevim Şahin

1983 yılında Balıkesir’de doğdu. 2008 yılında lisans (Gaziantep Üniversitesi- Fizik Mühendisliği), 2010 yılında yüksek lisans (Uludağ Üniversitesi- Sağlık Fiziği) ve 2020 yılında ise doktora (Kocaeli Üniversitesi- Biyomedikal Mühendisliği) eğitimlerini tamamladı. Meslek hayatı boyunca hem sağlık fizikçisi hem de aplikasyon uzmanı olarak çalıştı. 2020 yılından bu yana Fenerbahçe Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği İngilizce programında öğretim üyesi olarak görev yapmaya devam etmektedir.

UYGULAMALARA DAHA İYİ BİR PARTNER OLMAMIZI SAĞLAYAN YAKLAŞIMLAR, İLKELER, BEKLENTİLER, DURUŞLAR VE VAROLUŞ BİÇİMLERİ...



Med.Fiz.Uzm. Zenciye Kıray İrem

AAPM'in bir alt çalışma grubu olan MP3.0'ün temel amacı "Medikal fizik alanında yeni fırsatları yakalama, hasta bakımına proaktif ve anlamlı bir şekilde katılma ve medikal fizikçilerin benzersiz becerilerini yükseltme konusunda bir kültür geliştirmektir"

MP3.0'ın Medikal Fizikçilere yaptığı önerilerile ilişkin notlardan biri olan: Güzel Uygulamaları okularımıza sunmak istiyoruz.

1. Uygulamaların her alanında mükemmellik için çaba gösterin.
2. Klinik uygulamalara aktif olarak dahil olun.
 - a. Söz konusu konu ne olursa olsun, mesleki bilgi ve deneyime dayalı görüşler oluşturun ve bunları klinikte uygulama ekibiyle

özgürce paylaşın. Bu, bilim insanları, eleştirel düşünürler ve sorun çözücüler olarak bizim gerçek değerimizdir.

- b. Doktorlar, servis mühendisleri, yöneticiler, klinik mühendisleri, sevk eden doktorlar ve klinikte yer alan diğer kişilerle düzenli olarak iletişim kurun.
- c. Pratiğinizde düzenli fiziksel bir çalışma rutini oluşturun ve sadece elektronik iletişime güvenmeyin.
- d. Çalışmalarınızın her aşamasını herkesin anlayabileceği şekilde açık ve özlü bir şekilde belgeleyin. Bu, sürekli bir kalite güvencesini, prosedür geliştirme, değiştirmesini ve teknoloji uygulamasını içerir. Herkes çalışmaların neden ve niçin yapıldığını net bir şekilde bilmelidir.

- e. Tüm meslektaşlarınızın ve uygulama ekibi (klinik, bölüm, departman) üyelerinin çeşitliliğine saygı gösterin. Ekipteki herkesin sizin benzersiz bakış açınızdan ve bilginizden faydalanabileceğini, öğrenebileceğini ve hepsinin size aynı öğrenme fırsatını sunabileceğini kabul edin.
3. Her hastanın bir birey olduğunu ve her hastanın tedavisine katkıda bulunmanın öncelikli amacımız olduğunu asla unutmayın.
 - a. Her hastanın mahremiyetine ve onuruna daima saygı gösterin. Bu, bir odaya girmeden önce kapıyı çalmak, kendinizi tanıtmak, yapmadan önce ne yapacağınızı açıklamak, bir şey yapmadan önce bununla ilgili soru olup olmadığını sormak, ayrılmadan önce başka bir şey olup olmadığını sormak anlamına gelir. Hastayı görmezden gelerek meslektaşlarınızla hastanın önünde konuşmayın. Hastayı tartışmaya dahil edin. Odadan çıktığınızda hasta asla kim, ne, ne zaman, nerede veya neden diye merak etmemelidir.
 4. Medikal fizik alanında alanınızın uzmanı olun ve alanınız geliştikçe bu uzmanlığı koruyun.
 - a. Bunun, karşınıza çıkabilecek herhangi bir soruya anında doğru cevabı verebileceğiniz anlamına gelmediğini kabul edin. Bilmiyorsanız, bunu söyleyecek özgüvene sahip olun ve ardından doğru cevabı bulmak için harekete geçin.
 - b. Mesleki büyüme ve gelişim için çaba
- gösterin ve alanınızdaki uzmanlığı sürdürmek için sürekli olarak kendinizi geliştirin.
 - c. Çalışmalarınızı, hatalarınız ve eksiklikleriniz de dahil olmak üzere, sorumluluk olarak sahiplenin.
 - d. Bilginizi doz (uzmanlık alanınızda kullanılan enerji kaynağının türü ne olursa olsun), risk ve hasta güvenliği konularında özellikle vurgulayın.
 - e. Kaliteyi bir sistem bağlamında anlayın ve uzmanlık alanınızın sonuçta uygulama mükemmeliyeti ve olumlu hasta sonuçlarına nasıl katkıda bulunduğunu kavrayın.
5. Eleştirel bir düşünür olun.
 - a. Çalışmanızı iki kez kontrol edin, doğru olduğunu kendinize kanıtlayana kadar yaptığınız her şeyin yanlış olduğunu varsayın.
 - b. Tekrar eden görevleri yerine getirirken bile eleştirel düşünme becerilerini aktif olarak uygulayın ve herhangi bir işi "otomatik pilota" yapma eğiliminden kaçının.
 - c. Diğerlerinin çalışmalarını saygılı bir şekilde inceleyin ve sorgulayın.
 - d. Ayrıca, çalışma ekibinizdeki diğer kişiler tarafından çalışmalarınızın eleştirel bir şekilde incelenmesine de açık olun.
 6. Aktif olarak yaptığı uygulamalardaki sorunları araştırır, fizik bilgisine ve becerilerine dayalı

yaratıcı çözümler sunar.

- a. Yeni prosedürlere ve süreçlere dahil olun. Bunlar tanımları gereği yapılan uygulamada bir 'değişiklik' ve fiziki bilgiye katkı ve meslektaşlarla etkileşim için fırsatlar sunar.
- b. Ayrıca, uzun süreli süreçleri dahi iyileştirme fırsatlarını arayın.

7. İlişkileri ve iş birliklerini geliştirin.

- a. Klinik ekiplerinize ve desteklediğiniz uygulamalara kattığınız değeri en üst düzeye çıkaracak ve klinik uygulama ekibinde teknik lider ve tanınmış birer uzman olarak konumunuzu geliştirmenize olanak sağlayacaktır.
- b. Kendi uygulamalarınızın ötesinde, bu sizin alanınızdaki son gelişmelere katkıda bulunmanıza ve güncel kalmanıza olanak tanıyacak, böylece desteklediğiniz uygulamalarda teknik uzman ve lider olarak rolünüzü daha da güçlendirecektir.



Med.Fiz.Uzm. Zenciye Kıray İrem

1984 yılında Bulgaristan'da doğdu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik bölümünden mezun oldu. 2010 yılında İstanbul Ticaret Üniversitesi'nde Endüstriyel Fizik bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2007-2010 yılları arasında İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp departmanında çalıştı. 2010 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi bölümünde Medikal Fizik Uzmanı olarak görevine başlamış ve halen devam etmektedir.

RADYASYON ONKOLOJİSİ KAZA ÖĞRENME SİSTEMİ-9

Med.Fiz.Uzm. Devran Baltaş

Dergimizin önceki sayılarından itibaren paylaşmaya başladığımız RO-ILS veri tabanından alınan radyasyon onkolojisi merkezlerinde yaşanmış kaza veya kaza gerçekleşmeden yaşanmış bazı olaylara yer verdiğimiz örnekler bu sayımızda da devam ediyoruz. Okuyucularımızda kendi yaşadıkları benzeri durumları 'medfizonline@gmail.com' e-posta adresimizle paylaşarak katkıda bulunabilirler.

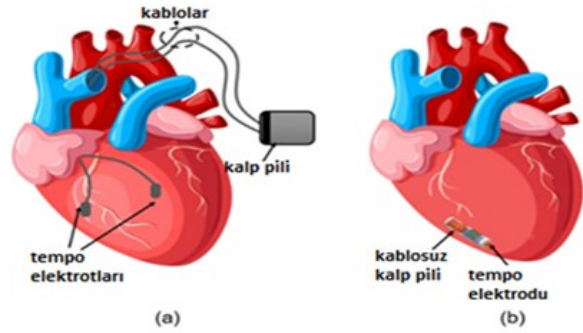
RO-ILS Örnek Olay: TEDAVİ NOKTASINA YAKIN BİR KALP PİLİ Mİ VAR?

Med.Fiz.Uzm. Devran Baltaş

Giriş

Tedavi planlama süreci, çeşitli yapıları doğru bir şekilde ayırt etme ve hem hedef hem de korunması gereken yapıların konturlanmasına yönelik kritik süreci içeren bir simülasyonla başlar. Kanserli her hastanın, optimal tedavi planının geliştirilmesinde zorluk yaratabilecek kendine has özellikleri vardır. Kritik yapılara yönelik dozların kısıtlanmasına ek olarak, implant edilen tıbbi cihazlar da dikkate alınmalıdır. Kalp pili gibi kardiyovasküler implant edilebilir elektronik cihazlar (CIED), belirli radyasyon tedavilerinin planlanmasında sorun yaratabilir. Kalp pili, kalp atışını düzenlemeye yardımcı olmak için hastanın göğsüne veya kalbine yerleştirilen küçük bir cihazdır. Geleneksel kalp pilleri, kalbe elektriksel uyarıları iletmek için kabloluydu (Şekil 1a) ancak 2016 yılında FDA kablosuz kalp pillerini onayladı (Şekil 1b). Şekil 2 göreceli olarak boyut karşılaştırmasını göstermektedir; kablosuz kalp pilleri yaklaşık olarak

bir AAA pil büyüklüğündedir. Kablosuz kalp pillerinin kullanımında bir artış olmuştur ancak yine de yılda implante edilen 200.000 kalp pilinin küçük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Radyasyon onkolojisi uzmanları, bir kişinin sağlığının multidisipliner doğası göz önüne alındığında, kardiyoloji gibi diğer alanlardaki gelişmelerden de haberdar olmalıdır.



Şekil 1: Geleneksel Kalp Pili Cihazları



Şekil 2: Farklı Kalp Pili Diyagramları

Olaya Genel Bakış

Sternum ve torakal omurga metastazı olan bir hastaya palyatif radyasyon tedavisi uygulanması planlandı. Tedavi planlaması sırasında hesaba katılmayan bir CIED nedeniyle tedavinin yeniden planlanması gerekti.

Detaylar

- Sekonder sternum ve T3-T4 vertebraya kemik metastazı tanısı konulan hastaya palyatif

radasyon tedavisi gerekti.

- İlk değerlendirme ve konsültasyon sırasında hastanın kalp pili not edildi.
- Ancak implante edilen cihazla ilgili herhangi bir doğrulama veya takip yapılmadı.
- Radasyon onkoloğu sternum soluna ve T3-T4 omurgaya 10 fraksiyonda 3000cGy reçete etti.
- Planlama sırasında görüntülemeadaki kalp pili yanlışıklıkla meme ekspanderi(genişleticisi) olarak tanımlandı.
- Plan karşılıklı iki beam ile yapıldı.
- Sol ön oblikbeam 10MV kullanılarak planlandı; sağ arka oblikbeam 15MV kullanılarak planlandı.
- Dozimetriz planı tamamladı ve radasyon onkoloğu da planı onayladı.
- Tedavi öncesi yapılan kontrollerde, fizikçi, alan kenarından yaklaşık 5mm uzakta bulunan CIED' yi tespit etti.
- Cihaz radasyon verilmeye başlanmadan önce bulunduğundan tedavide gerekli düzenlemeler yapıldı.

Etken faktörler

- CIED ile ilgili kapsamlı, yazılı belgelerin eksik olması (örneğin, CIED ile ilgili ayrıntılı takip bilgileri).
- Ekipler arasında zayıf iletişim.
- Görüntülerdeki yapıların hatalı tanımlanması/ varsayımı.

- Kurallara uyumsuzluk veya yetersiz uygulama.
- Simülasyon ve planlama sırasında dikkat eksikliği.

Çıkarılan Dersler / Hafifletici Stratejiler

1.Güvenlik Temelleri Hataları Önlemenin Anahtarıdır.

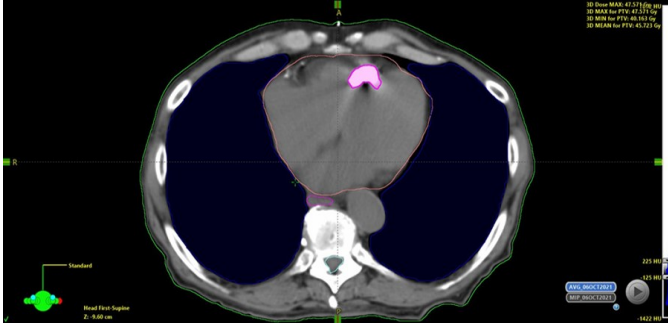
Dokümantasyonun temelleri, standart protokoller ve ayrıntılı kontroller RO-ILS etkinliğinin ortak unsurlarıdır. Kapsamlı bir hasta hikayesi, radasyon onkolojisi ekibinin tedavi edilen hastayla ilgili hayati bilgileri öğrenmesine olanak tanır. Kiritik bilgiler (örn. önceki radasyon, implante edilmiş cihazlar) diğer personelle iletişim kurmanın tercih edilen yöntemi bu olduğundan, belirli bir yere ve yöntemle kaydedilmelidir. Bu, tıbbi kayıtların işlevselliğinden yararlanma olanağı sağlar, böylece önemli bilgileri personeli etkin bir şekilde bilgilendirmek için uyarılar oluşturabilirler. Ek olarak, hastayla ilgili spesifik bilgilerin takip edilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için standart prosedürlerin mevcut olması gerekir. Örneğin, bir hastada CIED olduğu tespit edilirse, hastanın cihazı hakkında daha fazla ayrıntılı bilgi sağlamak için bir kardiyologla iletişime geçilmelidir. Kardiyolog hastanın CIED' ye bağımlı mı yoksa bağımsız mı olduğunu belirler.

Radasyon onkolojisi ekibi bu takip bilgileriyle tedaviye en iyi şekilde nasıl devam edileceğini belirleyebilir. Örneğin hasta kalp piline bağımlı değilse tedavi sırasında cihazı kapatma seçeneği mevcuttur. Sağlık çalışanları, bu sektörde çalışan profesyonellerin, hastaların radasyon tedavisi sırasında ihtiyaç duyduğu özel bilgilerin doğru bir

şekilde bilinip tedavi planına dahil edilmesini nasıl doğruladığını veya teyit ettiğini düşünmeleri gerekmektedir.

2.Klinisyenler diğer Uzmanlık Alanlarındaki Gelişmelerden Haberdar Olmalıdır.

Teknoloji ilerledikçe radyasyon tedavisi ekibinin ihtiyatlı olması ve diğer tıbbi alanlardaki gelişmeler konusunda güncel kalması önemlidir. Kablosuz kalp pillerinin ve vücuda yerleştirilebilir diğer küçük cihazların gelişmesiyle birlikte, radyasyon onkolojisi ekibi üyelerinin görüntülerde gördüklerini sorgulaması bir zorunluluk haline gelmiştir. Şekil 3'te, sağ ventriküle implante edilen pembe konturlanmış kablosuz kalp pili olan bir tedavi planını göstermektedir.



Şekil 3: CT'de Konturlanmış Kablosuz Kalp Pili

3.Bir Hastada CIED Olduğunda Dikkate Alınması Gereken Tedavi Hususları.

CIED'ler, hastanın kalp atışını düzenlemek için kullanılan yüksek düzeyde radyasyona duyarlı cihazlardır ve bu nedenle oluşabilecek arızalar, tehlikeli bir şekilde düzensiz cihaz çalışmasına yol açarak hastayı riske atabilir. CIED üzerindeki radyasyon etkilerini sınırlamak için, eğer kaçınılabiliyorsa, radyasyon "beam" lerini cihazın yakınına yönlendirmemek tercih edilir.

Ayrıca, nötron oluşumunu önlemek için daha düşük enerjilerin (<10MV) kullanılması, CIED'nin genel maksimum doz sınırlarını karşılamak için <500cGy tercih edilebilir (satıcı rehberliğinde daha yüksek veya daha düşük eşikler sağlanabilir).

Dozimetreler veya termoluminesans dozimetreler gibi in-vivo dozimetrenin kullanımı da tartışılmalıdır. CIED'yi korumak için halfbeam blok tekniği kullanımı ve izomerkezlerin yeniden pozisyonlandırılması diğer olası seçeneklerdendir. Bu değerlendirmeler, hastalığı tedavi ederken cihaz arızası riskini minimize eder. Cihazın fonksiyonelliği de tedavi sonrasında test edilmelidir.

4."Ramak Kala" Olayları Öğrenme Fırsatları Sağlar.

Bu vaka çalışması, "ramak kala" için mükemmel bir örnektir. Olay hastaya ulaşmamış olsa da, pek çok öğrenme fırsatı olduğu için kazasız durumların rapor edilmesinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Fizikçinin ilk kontrolü CIED'i tespit ederek terapötik olayı önledi. Bu süreç hatanın yakalanmasında etkili olurken, yaşanan olay diğer eksiklikleri de öne çıkarıp ve tüm uygulamalar sırasında dikkate alması gereken soruları da ortaya çıkarıyor.

Güvenlik Önlemleri

- CIED'leri ve diğer implant cihazları tanımlamak ve araştırmak için hangi tedavi öncesi süreçleri mevcut?
- CIED'lerin ve diğer implant cihazların varlığını belgelemek ve iletmek için açık standartlaştırılmış bir süreç var mı?

- Tedavi merkezinde CIED'ler ve diğere implante cihazlar nasıl ele alınıyor?



Med.Fiz.Uzm. Devran Baltaş

1989 yılında doğdum. 2012 Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünden mezun oldum. İki yıl öğretmenlik yaptıktan sonra 2014-2016 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkoloji biriminde sağlık fiziği yüksek lisansımı tamamladım. 2 yıl Bursa ve İstanbul' da özel firmalarda, 2018-2023 yılları arasında Elazığ Fethi Sekin Şehir hastanesinde radyoloji ve radyoterapi biriminde medikal fizik uzmanı olarak çalıştım. 2023 Mart ayı itibari ile Bursa Şehir Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Biriminde medikal fizik uzmanı olarak çalışmaktayım.

BİZE YAZIN

Sorularınızı Bekliyoruz!

Unutmadan söyleyelim, yazdığınız her görüş bizim için önemlidir, bu bağlamda değerli yazınız bir sonraki sayıda yayınlanacaktır.

medfizonline@gmail.com



YAZARIMIZ OLUN

Yazarlarımızı Bekliyoruz!

Bu dergi hepimize ait. Bu dergi okumaktan zevk alan, yazmaktan zevk alan, dinlemekten zevk alan, düşünmekten, öğrenmekten, yeni bir bilgi keşfetmekten, korkusuzca eleştirmekten, uzlaşmaktan, araştırmaktan, dostluktan ve dost olmaktan, var olmaktan ve medikal fizik uzmanı olmaktan zevk alan herkese aittir.

Eğer siz de "Bir fikrim var" diye düşünüyorsanız ve eğer içinizden kendi kendinize "Bunu yazmalıyım" diyorsanız, şevkinizi kırmayın ve iletişim adresimizden bizimle irtibata geçin...

Siz, değerli meslektaşlarımızı yazarımız olarak bekliyoruz.



02-05 KASIM 2023
Hilton Dalaman / Sarıgerme



19. ULUSAL MEDİKAL
FİZİK KONGRESİ
2023