

Medikal Fizik Derneği'nin Katkılarıyla

MedFiz@Online

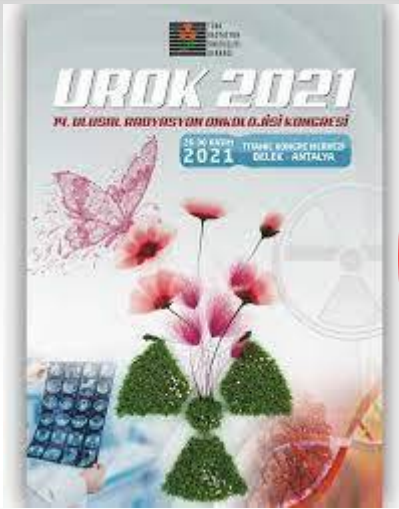
e-DERGİ

EKİM - KASIM 2021

medfizonline@gmail.com

www.medikalfizik.org

SAYI: 35



18. ULUSAL MEDİKAL FİZİK KONGRESİ
4-7 Kasım 2021, Amara Premier Palace Otel, Antalya



BU SAYININ ÖNE ÇIKAN KONULARI

- YÜZEY TAKİP SİSTEMLERİ- 1 VISION RT
- YAPAY ZEKA VE MEDİKAL FİZİKÇİ: MAKİNEYE HOŞ GELDİNİZ
- ULUSAL RADYOTERAPİ DOZİMETRİ DENETİMLERİNE İLİŞKİN EFOMP ANKET SONUÇLARI
- AAPM TG-284 REPORT: RADYOTERAPİDE MANYETİK REZONANS SİMÜLASYONU: KLİNİK UYGULAMALAR İÇİN, OPTİMİZASYON VE KALİTE GÜVENCESİ İÇİN DÜŞÜNCELER



BAŞ EDITÖR**Haluk Orhun**

orhun.haluk@gmail.com

EDITÖR GRUBU**Boran M. Güngör**

borgun@gmail.com

Ertuğrul Ertürk

mehmet.ertugrul@mnt.com.tr

Fadime Alkaya

alkayafadime@hotmail.com

Halil Küçük

halilkucuk@gmail.com

Mertay Güner

mertayguner@gmail.com

Nadir Küçük

nadir.kucuk@anadolusaglik.org

Türkay Toklu

turkaytoklu@yahoo.com

DERGİ TASARIM VE YAZI**Ebru Oruç Bakır****Mertay Güner****Esra Küçükorkoç****Mustafa Çağlar****BU SAYIDAKİ YAZARLAR****Ayşe Kadın Koca****Beyzanur Aykanat****Bilge Gürsel****Boran Güngör****Derya Yücel****Devrim Demirağ****Dilşah Aydoğmuş****Duygu Tunçman****Fatih Karaköse****Nadir Küçük**(Yazarlar harf sıralamasına göre
sıralanmıştır.)**SOSYAL MEDYA****Aykut Oğuz Konuk****Yılmaz Şahin**

İÇİNDEKİLER

- **MERHABA: MEDİKAL FİZİK ALANINDA, GLOBAL DÜNYA İLE ÜLKEMİZ VE GEÇMİŞ İLE GELECEK ARASINDA BİR KÖPRÜ**
- **7 KASIM 2021: DÜNYA MEDİKAL FİZİK GÜNÜ**
- **YÜZEY TAKİP SİSTEMLERİ- 1 VISION RT**
- **ALARA (AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE)**
- **YAPAY ZEKA VE MEDİKAL FİZİKÇİ: MAKİNEYE HOŞ GELDİNİZ**
- **LONDRA'NIN İLK MR LINAK SERVİSİNİN HİZMETE ALIM VE İŞLEYİŞ SÜREÇLERİ HAKKINDA**
- **ULUSAL RADYOTERAPİ DOZİMETRİ DENETİMLERİNE İLİŞKİN EFOMP ANKET SONUÇLARI**
- **YAPAY ZEKA VE ALGORİTMALARI YOLCULUĞU**
- **AAPM TG-284 REPORT: RADYOTERAPİDE MANYETİK REZONANS SİMÜLASYONU: KLİNİK UYGULAMALAR İÇİN, OPTİMİZASYON VE KALİTE GÜVENCESİ İÇİN DÜŞÜNCELER**
- **RT'DE SON GELİŞMELER**
- **MEDİKAL FİZİK ALANINDA BİLİMSEL YAYIN YAPAN DERGİLER**

e-posta: medfizonline@gmail.comweb: www.medikalfizik.org**BASIM**

e-kopya

Medikal Fizik Derneği'nin katkılarıyla

MedFiz@Online DERGİSİNDE YAYINLANAN YAZILAR
YAZARIN SORUMLULUĞUNDADIR.

MERHABA: MEDİKAL FİZİK ALANINDA, GLOBAL DÜNYA İLE ÜLKEMİZ VE GEÇMİŞ İLE GELECEK ARASINDA BİR KÖPRÜ

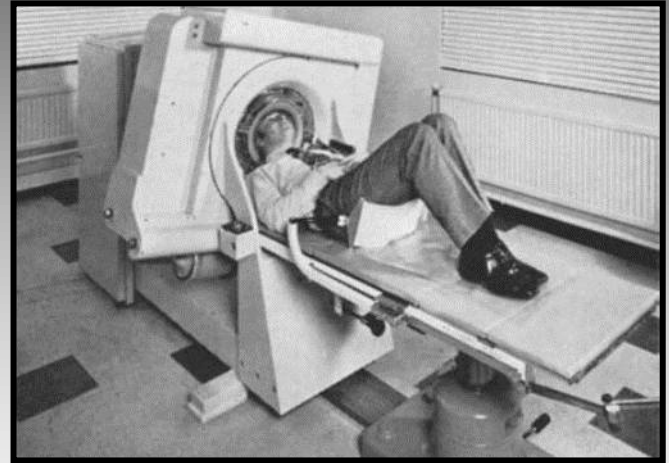
Başlığımız acaba fazla iddialı olabilir diye düşünülebilir. Evet biraz iddia taşıyor. Fakat bu hedef hiç iddialı değil. Belki de inancımızı ve hala bitmeyen heyecanımızı yansıtıyor olabilir. Başlığımızın sadece e-derginin çıkmasına katkı yapan, aracı olan bizlerin değil tüm medikal fizik toplumunun bir ortak iddiası olduğunu düşünüyoruz. 6. Yılımızın bitmesi nedeniyle 2021'in sonunda keseceğimizi pastayı üfleyenler daima medikal fizikçi dostlarımız ve medikal fizikçiler olacaktır. Bu nedenle iddiamızın büyük ama zor olmadığının bilincindeyiz.

Dergimiz, bir taraftan çağımızın çok hızlı gelişen yapay zeka gibi yeni teknolojileriyle ilgilenirken , diğer taraftan geçmişimizle ilgili deneyimlere, buluşlara ve çalışmalara sayfalarında yer vermektedir.

35. Sayımızın çıktığı zaman dilimi, bir çok özel ve önemli günleri içeriyor. Kısaca değinmeye çalışalım.

7 Kasım 2021: Uluslararası Medikal Fizik Günü. Bu yıl da yine **"uluslararası medikal fizik gününü"** birlikte kutluyoruz. Bu sayımızda, Med. Fiz. Uzm. Dr. Ayşe Koca'nın bizleri 1982 yıllarına götürdüğü yazısını zevkle okuyacağınızı umuyoruz. Geçmiş, gelecek için çok önemli bir miras olarak her zaman bilim insanlarına yol gösteriyor.

29 Eylül 1901, Enrico Fermi'nin doğum günü. İlk nükleer reaktörü yaratmasıyla tanınan Fermi, radyoaktif elementlerin varlığı, nükleer reaksiyonlar ve nötronlarla ilgili çalışmaları nedeniyle de Nobel Fizik Ödülü kazandı.



30 Eylül 1882 Alman Fizikçi Hans Wilhelm Geiger'in doğum günü (1882-1945). Radyasyonu ölçmek için Geiger sayacının mucidi olarak bilinir. 1908'de Geiger, bireysel alfa parçacıklarının ilk başarılı dedektörünü tanıttı. Bu sayacın sonraki sürümleri, beta parçacıklarını ve diğer iyonlaştırıcı radyasyonu sayabildi.

1 Ekim 1971, CT'de ilk kez bir hasta çekildi. Elli yıllık bir geçmiş.

İlk CT çekimi 1 Ekim 1971 tarihinde, Londra'da Atkinson Morley's Hastanesi'nde yapıldı. Hasta bir kadın olup, frontal lob tümörü'nden şüphe ediliyordu. Bilindiği gibi, CT'nin prototipi Godfrey Hounsfield , Allan M. Cormack ve ekibi tarafından, yine Londra'daki EMI Merkezi Laboratuvarında geliştirilmişti. İlk CT'deki hasta pozisyonu resimde görülmektedir.

Elde edilen görüntüler 80x80 matriks boyutunda idi ve her bir tarama (slice) 5 dakikada alınabiliyordu.

İlk ticari EMI CT cihazı Rochester'deki Mayo Kliniğine 1973 yılında monte edildi. Burada ilk CT 19 Haziran

1973 tarihinde çekildi.

Godfrey Newbold Hounsfield ve Allan M. Cormack, 1979 yılında, Fizyoloji ve Tıp alanında, CT'nin geliştirilmesi çalışmaları nedeniyle Nobel Ödülü aldılar.

CT'nin tarihine ilişkin geniş bilgi AAPM'in "Virtual Museum of Medical Physics" sitesinden alınabilir.

18. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 4-7 Kasım 2021

Tarihlerinde Toplanıyor:

Kongrenin tüm medikal fizikçiler için yararlı ve gelecek günler için yeni bir adım olmasını diliyoruz.

Kongre için www.medikalfizik2021.org sitesi ziyaret edilebilir.

Son olarak merhaba yazımızı, bu sayımızda yayınlanan İtalyan Medikal Fizik Derneği'nin Yapay Zeka ve Medikal Fizik yazısında ifade ettiği iki cümle ile bitirelim:

Medikal Fizikçiler için, yeni bir Yapay Zeka dünya yaratılması amacı gündeme gelmiştir.

Medikal Fizikçiler, Yapay Zeka devrimini memnuniyetle karşılamaya hazırdır.

Saygılarımızla.

Haluk Orhun

18. Ulusal Medikal Fizik Kongresi



7 KASIM 2021: DÜNYA MEDİKAL FİZİK GÜNÜ

Fiz. Dr. Ayşe Kadın Koca

Medikal Fiziğin öncülerinden Maria Salomea Skłodowska Curie 7 Kasım 1867 tarihinde Polonya'nın Varşova kentinde dünyaya geldi. 1889 da başlayan çalışmaları sonucunda uranyum cevherinden radyum elde etti ve 1902 yılında tıp alanında kullanılacak hale getirerek bu alanda bir çığır açtı.

1904 yılında eşi Pierre Curie ve Henri Becquerel ile Nobel fizik ödülünü paylaşarak tarihte bu ödülü alan ilk kadın bilim insanı oldu. 1910 yılında radyoaktif bir elementin çeşitli işlemlerden geçtikten sonra başka bir elemente dönüşebileceğini keşfetti. Bu buluş ona 7 Kasım 1911 yılında Kimya alanında Nobel ödülü kazandırdı. Yaptığı buluşlarla medikal fiziğin öncülerinden olan Marie Curie ye ithafen IOMP 2 Kasım 2013 tarihinde yayınladığı basın bildirisi ile 7 Kasım'ı "Dünya Medikal Fizik "günü olarak ilan etmiştir.

Dokuzuncusunu kutlayacağımız Dünya Medikal Fizik gününün bu yılki teması "Medikal Fizikçilerin toplum ile iletişimi" olarak belirlenmiştir.

İlerleyen teknolojiye bağlı olarak, Medikal Fizik alanındaki hızlı gelişmeler, Medikal Fizikçileri son sistem teknoloji ile çalıştırarak mesleki bir doyum sağlamakla birlikte Medikal Fizikçinin zaten sınırlı olan hasta ile iletişimini neredeyse yok etmiştir.

1981 yılında mesleğe yeni başladığımda radyoterapi henüz yeni geliyordu. Biz Medikal fizikçiler 2 boyutlu izodoz kartları kullanarak elle doz dağılımları çiziyor, yüzde derin doz tablolarını kullanarak tümör derinliğine göre hesap yapıyorduk.



Resim 1. Ayşe Koca ile stajyer öğrenciler elle izodoz çizimi

O yıllarda İstanbul Üniversitesi, Fransa'dan alınan kredi desteği ile Çapa ve Cerrahpaşa tıp fakültelerine Lineer akseleratör, Co-60 cihazı, HDR sonradan yüklemeli brakiterapi cihazı ve tedavi planlama cihazları alınmıştı. Bu cihazların kurulumunda bulunmak heyecan vericiydi ancak bilgiye ulaşım bu günkü kadar kolay olmadığından ilk bilgilerimin temelini hocam sevgili Altuğ Ertem oluşturmuştur. Çapa Tıp fakültesindeki değerli hocamız Seyfettin Kuter ve değerli arkadaşlarım Alpar Dadaşbilge, İsmail Özbay, (nur içinde uyusunlar) Gönül Kemikler ve Nazmi Oguz'un katkıları benim için çok önemlidir her birine ayrı ayrı teşekkür ederim.



Resim 2. Ayşe Koca ve Nil Akın İnformatek tedavi planlama sistemi

Yukarda bahsettiğim yeni cihazlarla birlikte alınan ve bizi çok heyecanlandıran Informatik adlı bilgisayar planlama sistemimizin hard disk'i şu an kullandığımız gardirop tipi buzdolapları gibiydi. Kocaman büyüklükteki manyetik kasetlere hasta bilgilerini ve doz dağılımlarını kaydediyorduk. Bizi bu kadar heyecanlandıran tedavi planlama bilgisayarı ile ancak 2D planlama yapabiliyorduk.



Resim 3. Kutlama sonrası fotoğrafı soldan itibaren Alpar Dadaşbilge, Güldal Gönül Kemikler, Seyfettin Kuter, Mustafa Çoban, Ayşe Koca, Nil Akın, Altuğ Ertem Arka sıra Sedat Turkan, Baki Temel, Erkan Baba, İsmail Özbay

Bizim için Planlama sistemimiz o kadar önemliydi ki bunun için fizik bölümünde kutlama bile yapmıştık.

Bilgisayarlı tomografinin henüz radyoterapi simülasyonlarına girmediği zamanlarda planlama için hasta konturlarını nasıl elde ettiğimizi merak edebilirsiniz, tabii ki meşhur güneş tipi konturmetre ve lehim telini kullanıyorduk. Bugünkü teknolojiye göre çok iptidai olan konturmetre sayesinde aynı zaman da hasta ile iletişim kuruyorduk, hastalar Medikal fizikçinin de ekibin bir üyesi olduğunu görüyor ve biliyordu. Cihazlarda bugünkü gibi tedavi alanlarını doğrulamak için görüntüleme sistemleri

olmadığından hasta set-up'larına giriyor ve hastalarla iletişimde oluyorduk.

Son 40 yılda hem tanısal radyoloji hem de radyoterapi teknolojik olarak çok gelişti. Örneğin çok dedektörlü bilgisayarlı tomografi, pozitron emisyon tomografi, manyetik rezonans görüntüleme, çift kaynaklı bilgisayarlı tomografi gibi cihazlarla, artık sanal ortamda hastanın 3D görüntülerini elde edebiliyoruz. Çok yapraklı kolimatörler ve 3D boyutlu tedavi planlama sistemlerinin gelişimi ile yoğunluk ayarlı radyasyon tedavisi, volümetrik ark tedavi, SRS, SRT, SBRT, görüntü rehberliğinde tedavi, üç boyutlu brakiterapi gibi yeni tedavi prosedürleri gelişti ve halende geliştirilmeye devam ediliyor. Bu sıraladığım yöntemler, artık Türkiye'nin birçok sağlık tesislerinde yer almaktadır. Bu büyümeye eşlik eden medikal fizik disiplini de aynı doğrultuda gelişmiş ve ilerlemiştir.

Günümüzde, klinik risk konusunda hasta farkındalığının artması, halkın radyasyonla ilgili işlemlerde ne tür bir riskin olduğunu, basit ama bilimsel bir şekilde anlaşılmasını istemesine neden olmaktadır. Bu da medikal fizikçiler için yeni bir sosyal role ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır. Medikal fizikçiler radyasyona maruz kalma etkileri ve Medikal Fizik ile ilgili diğer konular hakkında bilimsel bir kültür yaymak ve etki sahibi olma potansiyeline sahiptir.

Bu günlerde bir radyasyon onkolojisi doktoruna danışması tavsiye edilen kanser hastaları veya yakınlarının, internete girip "en iyi" doktoru, "en iyi" kanser merkezini, "en iyi" tedaviyi ya da spesifik hastalıkları için mevcut "en iyi" teknolojiyi ararlar ama radyoterapi ekibinin önemli bir parçası olan ve hasta tedavisinde büyük sorumluluğu olan bizleri "en iyi ve en nitelikli medikal fizikçiyi" kimse aramaz, çünkü

ekibin hayalet üyesi medikal fizikçi kimse tanımaz, varlığını bilmez. Açıkçası, halkın çoğu muhtemelen medikal fizikçilerin varlığının farkında bile değil hatta birçoğu medikal fizikçileri fizyoterapist sanmaktadırlar.

Radyasyon onkologları ile yüksek kaliteli, güvenilir ve güvenli radyasyon tedavisi sağlama konusundaki sorumluluklarımızın öneminden bahsetmiyorum bile. Medikal fizikçiler olarak hastalarımızın bakımı için hemşireler, terapistler, doktorlar ve çok çeşitli profesyoneller ile birlikte çalışıyoruz. Bununla birlikte, çalışmamız büyük ölçüde teknik olduğundan ve hastalar olmadan gerçekleştirildiğinden, örneğin, bilgisayarlarda tedavi planlaması ve fantomlarda hastaya özel kalite güvence ölçümleri, tedavi cihazlarının bakım ve kalibrasyonlarını yaptığımız için, hastalarla doğrudan teması olmayan tek ekip üyesi olabiliriz.

AAPM Halk Eğitim Komitesi, mesleğimizin farkındalığını ve klinikteki önemli rolünü artırmak amacıyla Medikal fizik ile ilgili konularda halk eğitimini teşvik etmek için çaba sarf etmekte ve "Daha ne yapabiliriz?", "medikal fizikçilerin hasta konsültasyonlarındaki rollerini artırmak iyi bir fikir olur mu?" gibi sorulara cevap aramaktadır. (www.aapm.org/MedPhys30/). Görünürlüğü artırmak ve yeni uygulama alanlarına genişlemek için bazı büyüme ve genişleme fırsatları yaratmayı amaçlıyor.

Radyasyon onkolojisi merkezinde çalışan medikal fizikçi hem hasta hem de doktorla daha doğrudan ve işbirlikçi bir rolde olabilir mi?

Klinik Medikal fizikçiler, ilk konsültasyon sırasında hastaya tedavisi ile ilgili teknik ayrıntı içeren bilgi verebilir. Hasta için teknik ve kafa karıştırıcı sorunların

bazılarını hafifletmeye yardımcı olurken, hastaya tedavi boyunca güven oluşturmaya, tedavisi ile ilgili teknik bilgi sağlamaya ve onun için bilinmeyene olan endişeyi azaltmaya yardımcı olabilir.

Hastalarımızın çoğunun, bırakın medikal fizikçilerin ne yaptığını bilmeyi, onlar adına çalışan medikal fizikçiler olduğunu bile bilmediği doğrudur. Oysaki görünürlük eksikliği, basit ve uygun maliyetli yollarla ele alınabilir. Kliniklerimizin çoğu, hekimlerini, hemşirelik ekibini, sosyal hizmet uzmanını ve terapistlerini tanıtan basılı materyaller aracılığıyla hastalara sağlık ekipleri hakkında bilgi sağlarken nadiren medikal fizik ekibini dahil eder.

Hasta ve hasta yakınlarına medikal fizikçilerin tedavilerinin bir parçası olduğu bilincini artırmak için medikal fizik ekibi, doktor meslektaşlarımızla benzer düzeyde bir açıklama ile tanıtılabilir. Özel hastanelerin artması marketing amacı ile radyoterapi merkezlerinin tanıtılması sırasında Medikal Fizikçilere de söz verilmesi hastaların, hasta yakınlarının radyoterapide Medikal fizikçinin varlığından haberdar olmasını sağlayacaktır.

Hasta iletişimi, sonuçta insandan insana iletişimdir; bir bağ kurmak ve dinlemek, iletişimin temelleri olan güven ve anlayış oluşturma'nın temel unsurlarından sadece ikisidir. Ancak bugün, bilgi alışverişini kolaylaştırmak, ortak karar vermeyi sağlamak, karmaşık bilgileri tercüme etmek, tartışmaları sağlam bilimle çözmek için Medikal Fizikçiler olarak öğrenmemiz gereken çok şey var. İletişimimizin çoğu Radyasyon Onkologları ve servis mühendisleri ile olsa da kendimizi giderek hasta ve hasta yakınları, meslektaşlar, sigorta acenteleri, patronlar, yönetim

kurulu üyeleri, halk ve hatta zaman zaman gazetecilerle iletişim kurarken bulabiliriz.

Medikal fizikçilerin kamuoyunda, hasta bilinci ve radyoterapi tedavilerinin hasta güvenliğini sağlamadaki rolü önemlidir. Medikal fizikçiler olarak klinik çalışmaların yanında bilimsel araştırma, halk sağlığı sorunları ve daha pek çok konuda uzmanlığımızı sunarak önemli bir role hizmet edebiliriz.

Yazımı, bilime vermiş olduğu çalışmalarla hepimize öncülük eden Marie Curie'nin yirmi beşinci yıl konuşması ile bitirmek istiyorum.

Daha fazla yapamasak da belki her birimiz bir parça bilgi parıltısı yayabilirsek, insanlığın gerçek hakkındaki rüyasına mütevazî ve yetersiz olan bir şeyler katabiliriz. Karanlığımız içinde görünen evreni şekillendiren büyük planın belirsiz ışıkları, bize parça parça gösterilen bu küçük mumlar sayesinde olacaktır.

Bilimin öyle güzelliklere sahip olduğunu ve ruhani gücünün bir gün dünyayı şeytanlardan, cahillikten, fakirlikten, hastalıklardan ve savaşlardan kurtaracağını düşünenlerdenim.

Gerçeğin belirgin ışığını arayın bilinmeyen yeni yollar arayın.



Fiz. Dr. Ayşe Kadın Koca

1958 yılında Konya'da doğdu. İlk öğretimini Ankara'da Orta ve lise öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1976 yılında İstanbul Üniversitesi Fizik bölümüne başladı. 1980

yılında Lisans eğitimini tamamladı. İstanbul

Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü Tıbbi Radyofizik bölümünden 1989 yılında yüksek lisans, 1996 yılında doktora derecesi aldı. 1981 yılında çalışmaya başladığı İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi A.B.D. dan 2006 yılında emekli oldu. 2006-2009 yılları arasında Sante Onkoloji Merkezinde, 2009-2016 yılları arasında Medikal Park Göztepe Hastanesi'nde çalıştı. 2016 yılından itibaren Bahçe Şehir Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksek Okulu'nda yarı zamanlı öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

YÜZEY TAKİP SİSTEMLERİ- 1 VİSİON RT

Med. Fiz. Uzm. Nadir Küçük

Yüzey Kılavuzluğunda Radyoterapi (Surface-Guided Radiotherapy)

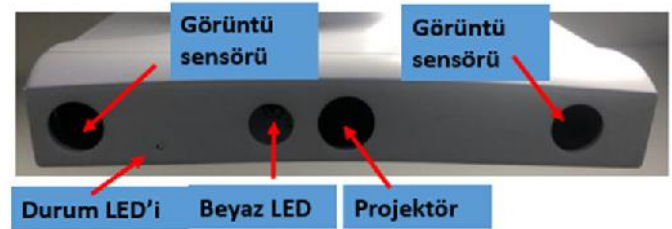
Günümüzde gerçek zamanlı üç boyutlu (3D) yüzey görüntüleme sistemlerinin geliştirilmesiyle yüzey kılavuzluğunda radyoterapi (SGRT) tedavileri yapılmaya başlanmıştır. İyonize radyasyona gerek olmadığından radyoterapinin her aşamasında SGRT rahatlıkla kullanılmaktadır. SGRT'nin başlangıç motivasyonu 3 noktalı konumlandırmayı ve dolayısıyla lazer sistemlerini ortadan kaldırmak olmasına rağmen günümüzde birçok farklı avantajından faydalanılmaktadır.

Genel olarak SGRT sistemleri bir projektör kombinasyonu ile hastaların 3D yüzeylerini gerçek zamanlı kaydetmek için tekli veya çoklu kamera ünitesini birlikte kullanmaktadır. Tedavi izomerkezi pozisyonunda oluşturulan referans yüzey yardımıyla gerekli translasyonel ve/veya rotasyonel yönlerde gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. SGRT, hasta pozisyonunun sürekli izlenmesine izin veren, böylece hasta güvenliğini ve konforunu iyileştiren ve aynı zamanda daha yüksek hassasiyet/tekrarlanabilirlik sağlayarak iş akışlarını standartlaştıran bir yöntemdir. Ek olarak, planlandığı gibi hedef hacme yüksek dozu vermeye ve normal dokuyu korumaya yardımcı olarak klinik sonuçları iyileştirme potansiyeline sahiptir. Hastanın pozisyonlanması açısından, SGRT, genel tedavi süresinin azaltılması ve görüntüleme dozunun en aza indirilmesi için etkili bir araçtır. Ayrıca SGRT, solunumu izleyen etkili bir araç olarak kliniklerde kullanılmaktadır. Özetle SGRT, radyoterapi tedavisi

çeşitli basamaklarda (hasta pozisyonlanması, fraksiyon içi hareket takibi, solunum takibi vs.) genel doğruluğunu iyileştiren önemli bir yöntemdir.

Vision RT Donanım ve Teknolojisi

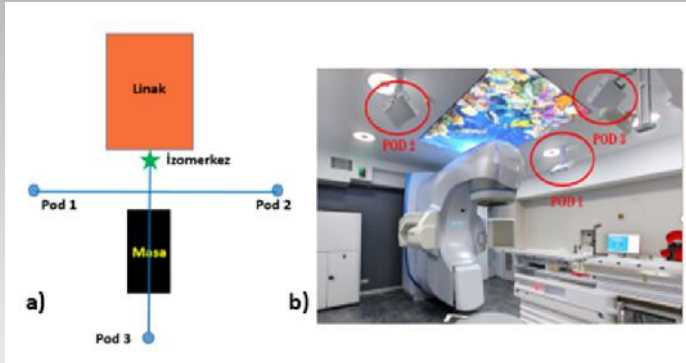
Vision RT sisteminin tedavi konsol ve cihazı içerisinde farklı bileşenleri bulunmaktadır. Tedavi konsolunda AlignRT bilgisayarı ve ana iş istasyonu, tedavi odası içerisinde ise yardımcı iş istasyonu, kamera podları ve kalibrasyon tabakası mevcuttur. Tedavi konsolunda bulunan AlignRT bilgisayarı, kameralardan bilgi alma ve ışını tutma yeteneklerine sahiptir. Oda içerisinde pod adı verilen ana güç kaynağı ile beslenen 1-3 tane kamera mevcuttur (Şekil 1).



Şekil 1. Tedavi odasına yerleştirilen pod'ların ana bileşenleri

Pod bir projektör, iki görüntü sensörü (kamera), bir durum LED'i ve beyaz LED'den oluşmaktadır. Projektör, rekonstrüksiyon için gerekli doku varyasyonlarını sağlayacak psedeo-random nokta desenini hasta yüzeyine yansıtmaktadır. Görüntü sensörleri, 3D yüzey rekonstrüksiyonu için kullanılan ham doku verileri elde etmektedir. Beyaz LED, sistem kalibrasyonu ve 3D fotoğraf görüntülemesi sırasında aydınlatma için kullanılmaktadır. Durum LED'i ise kameranın durumu hakkında bilgi vermektedir. Podların tedavi odası içerisindeki yerleşimi Şekil 2'de gösterilmektedir. Her pod izomerkeze göre

konumlandırılmıştır. Her iki yandaki podlar (pod 1 ve 2) ganty ile çarpışmayı engellemek için izomerkez hizasının biraz gerisine konumlandırılırken pod 3, izomerkez hizasına masa uç kısmına yerleştirilir.



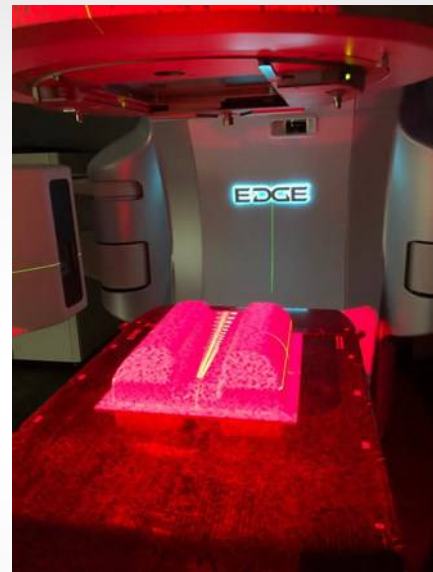
Şekil 2. Vision RT pod'larının tedavi odası içi konumlandırılması a) Şematik çizimi b) Lineer hızlandırıcı odasında podların yerleşimi

AlignRT'nin hastada önceden tanımlanmış bir toleransın dışına çıktığında ışını durdurması için birçok tedavi cihazında kullanılan farklı arayüzleri vardır. Örneğin Varian C-serisi linaklara özel "Gating Interface Box" adı verilen arayüz ile ışını tolerans dışına çıktığında durdurabilirken, Trubeam serilerinde benzer işi bir kablo (MMI) yardımıyla cihazın görüntüleme kabinindeki EXIO'ya bağlanarak yapmaktadır. Elekta cihazlarına ise sistem "Elekta Response Unit" bölümünden bağlanmaktadır.

Çalışma Prensipleri

Tüm podlardaki kameralar öncelikle izomerkeze göre kalibre edilmektedir. Projektörlerden hasta yüzeyine optik kırmızı ışık kullanılarak benek deseni yansıtılmaktadır (Şekil 3). Projektörün yanındaki kameralar ile benek deseni saptanmakta ve hasta yüzeyinin 3D haritası çıkarılmaktadır. Üç farklı pod içerisindeki kameralardan elde edilen tüm görüntüler, yaklaşık 1–3 mm aralık ve 20000'e yakın nokta ile 3D bir yüzey olarak yapılandırılmaktadır. Yüzey verileri

üçgenlerden oluşmaktadır ve üçgen sayısının artması ile yüzey çözünürlüğü artmaktadır. Beyin, yüz veya boyun gibi tedavi bölgelerinde veya SRS/SBRT tedavilerinde yüksek çözünürlüklü veriler kullanılmaktadır. Oluşturulan yüzey üzerine takip edilmesi istenilen bölge (ROI) çizilebilmektedir. Tedavi öncesi veya tedavi boyunca izlem sırasında alınan görüntüler referans ROI ile otomatik eşleştirilmektedir. Yapılan füzyon rijittir ve bu füzyon yardımıyla referans ROI içerisinde oluşan yüzey farklılıklarını altı boyutta belirlemek mümkündür.

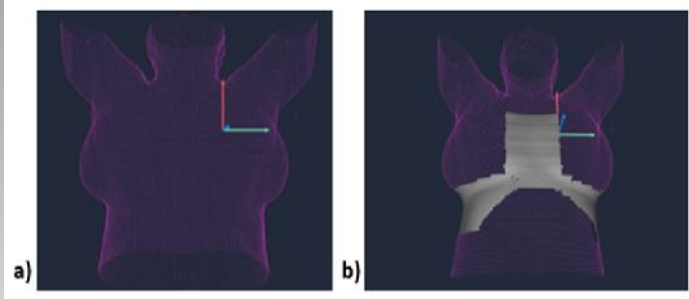


Şekil 3. Projektörün fantom yüzeyine yansıttığı desen

Vision RT ile Hasta Tedavisi

Hastada yüzey takibi yapabilmek için öncelikle referans yüzey oluşturmak gerekmektedir. Referans yüzey elde etmek için iki yol vardır. Tedavi planlama sisteminde hastanın CT veri seti üzerinden oluşturulmuş "body(vücut)" konturu sisteme indirilerek referans yüzey oluşturulabilmektedir. Vücut konturunun herhangi bir nedenle kullanılamadığı durumlarda, tedavi masasında doğrudan yazılım yardımıyla hastadan bir referans yüzey elde edilebilmektedir. Oluşturulan referans yüzeyleri

üzerine kullanıcı tarafından tedavi edilecek bölgeye göre "ilgi bölgesi (ROI)" çizilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. a) Referans yüzeyi (mor renkli yüzey) üzerine çizilen b) ROI (beyaz renkli yüzey) görüntüsü

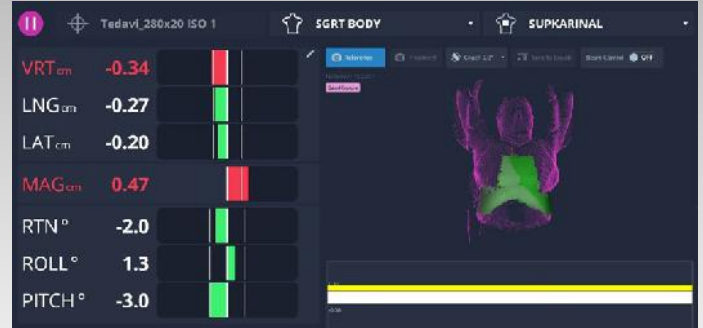
Hasta tedavi masasına yatırıldıktan sonra sistemin "Postural Video" özelliği ile konumlandırılması yapılmaktadır. (Şekil 5). Postural Video, hasta konum ve düzeltmelerini daha da hızlı yapan gerçek zamanlı olarak net konumsal rehberlik sağlayan önemli bir modüldür. Bu modül, referans yüzeyin bir taslağını ve hastanın canlı video akışını kullanarak hasta konumlama ve izleme sırasında hastanın genel pozisyonunun referans konumuna göre değişimini gerçek zamanlı bir görünüm şeklinde kullanıcıya göstermektedir.



Şekil 5. Postural video modülü ile hasta ayarlanması

Hasta tedavi masasına yatırıldığında hastanın pozisyonu podlar kullanılarak elde edilmektedir. Elde edilen hasta pozisyonu ile referans yüzeye çizilen ROI eşleştirmesi yapılmaktadır. Bu işlem sistemin yüzey eşleştirme yazılımı yardımıyla yapılmaktadır. Yüzeyler eşleştirildiğinde sistem 6 boyutta rijit farkları

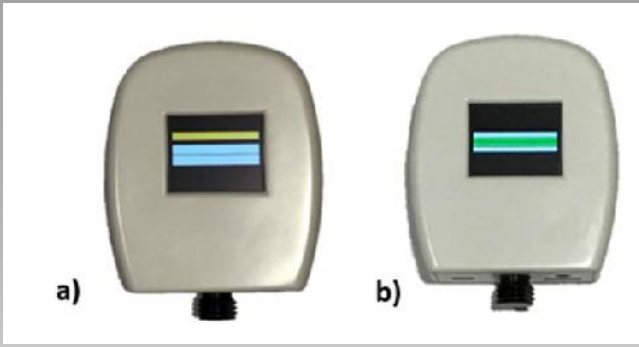
hesaplamaktadır (Şekil 6). Yüzeyler arasındaki fark, 6 boyutta minimal olacak şekilde masa kaydırılmaları ile verilmektedir. Setup sonrasında tedavi süresince yüzeyler arasında rijit fark gerçek zamanlı iş istasyonunda sürekli olarak görüntülenmektedir.



Şekil 6. Vision RT gerçek zamanlı iş istasyonu 6-boyutlu takip ekranı

Real Time Couch (RTC)

Özellikle derin nefes tutmalı (DIBH) tedaviler için Vision RT, RTC ekranını geliştirmiştir (Şekil 7). Tedavi pozisyonu ayarlandıktan sonra bir yardımcı aparat yardımıyla hastanın görüş alanına yerleştirilen ekran sayesinde hastalar nefesleri hakkında gerçek zamanlı geri bildirim almakta ve nefes takiplerini kendileri yapmaktadırlar. Bu, hastaların kendi tedavilerine katılmalarına, pozisyonlarını kolaylaştırmalarına ve doğru, tekrarlanabilir tedavi için etkili bir nefes tutma sağlamalarına yardımcı olmaktadır. Ekran yardımıyla hastalar tam olarak ne zaman toleransa girdiklerini görebilmektedirler ve böylece verilecek radyasyon bu harekete göre duraklatılabilir ve etkinleştirilebilmektedir. Sistemin kablosuz, hasta konforu ve hijyeni için özel tasarlanmış ve kullanıcı dostu olması önemli avantajlarıdır.



Şekil 7. DIBH hastaları için tasarlanmış RTC ekranı. a)

Beyaz bar: Dikey eşik, Sarı bar: Tolerans dışı bir veya daha fazla delta değerleri varlığı b) Yeşil bar: Tüm delta değerleri tolerans değerleri içinde. Renkli barın hareketi hastanın nefes alma genliğini temsil eder. Optimum konumlandırma için renkli bar, tedavi sırasında beyaz çubuğun ortasında tutulmaktadır.

Derin Nefes Tutma (DIBH) Tedavileri

DIBH tedavileri öncesinde hasta hazırlığı oldukça önemlidir. Ortalama bir insanın nefes tutabilme süresi 25-30 saniyedir. 15 saniyenin altında nefes tutabilen hastalara DIBH tedavileri uygulamak doğru olmayabilir. Hasta hazırlığı aşamasında hastanın konforu bozulmadan ortalama 20 saniye nefesini tutabildiği kontrol edilmelidir. Hastanın nasıl solunum yaptığı (nazal veya ağız yoluyla) not edilmelidir. Nazal yollu solunumlarda göğüs bölgesinin, ağız yollu solunumlarda ise karın bölgesinin hareketli olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. DIBH'in tekrarlanabilir olduğuna dikkat edilmelidir. Hasta DIBH uygulamasında herhangi bir yerden güç alarak vücudunu nefese bağlı olmayan hareketler ile hareket ettirmedikten emin olmak gerekmektedir.

Simülasyon işlemi sırasında serbest solunum ($CT_{serbest}$) ve DIBH (CT_{DIBH}) pozisyonlarında iki ayrı planlama CT 'si alınmaktadır. DIBH esnasında solunum döngüsü üzerinde eşik değerleri ayarlandıktan sonra tedavide kullanılmak üzere kaydedilmektedir. Konturlama ve

planlama işlemleri CT_{DIBH} üzerine yapılmaktadır. Hasta DIBH pozisyonunda tedavi olacağı için tedavi planının basit ve kısa süreli olmasına dikkat etmek önemlidir. CT_{DIBH} kullanılarak yapılan tedavi planı, $CT_{serbest}$ ve CT_{DIBH} için çizilen dış vucut konturları ($Body_{serbest}$ ve $Body_{DIBH}$) ayrı ayrı Vision RT çalışma istasyonuna aktarılmaktadır. Body konturları yardımıyla oluşturulan her iki referans yüzeyleri üzerine kullanıcı tarafından tedavi edilecek bölgeye göre ROI'ler çizilmektedir. $Body_{serbest}$ ile oluşturulan referans görüntü setup, $Body_{DIBH}$ ile oluşturulan referans görüntü ise tedavi sırasında kullanılmaktadır. Hastanın lazerler ve postural video yardımıyla kabaca pozisyonu ayarlandıktan sonra $Body_{serbest}$ ile oluşturulan referans görüntü yardımıyla 6 boyutlu ayarlaması Vision RT çalışma istasyonundan yapılmaktadır. Daha sonra $Body_{DIBH}$ ile oluşturulan referans görüntü aktif hale getirilmekte ve RTC kullanılarak hastaya nefes tutturulmaktadır. Hasta DIBH pozisyonundayken nefes aralığının daha önce belirlenen eşik aralığında olmasına özellikle dikkat etmek gerekmektedir. Hastadan DIBH pozisyonunda IGRT görüntüsü alınıp düzeltmeler masaya verildikten sonra $Body_{DIBH}$ ile oluşturulan referans görüntü ile tedavi boyunca hasta hareketi sürekli takip edilmektedir. Hasta DIBH pozisyonunun belirli bir mesafe dışına çıkarsa veya herhangi bir anormal solunum meydana gelirse, radyasyon otomatik olarak durdurulmaktadır.

Kalite Kontrol

Vision RT, günlük ve aylık kamera kalite kontrolü için sistem ile verilen ve "Kalibrasyon Düzlemi" olarak adlandırılan özel hazırlanmış bir plakanın kullanılmasını tavsiye etmektedir. (Şekil 8). Bu düzlem

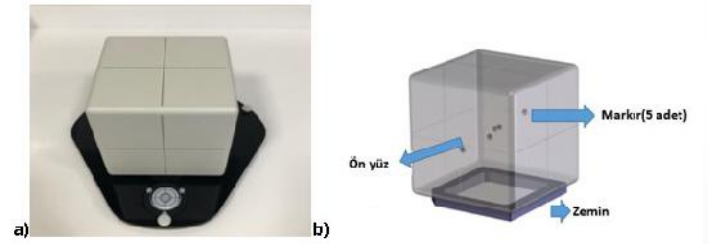
ile hem kamera podlarının lens-odak uzaklığı gibi iç özellikleri hem de izomerkez gibi dış bileşenlere bağlı parametrelerin kalibrasyonu yapılmaktadır. Bu sayede izomerkez pozisyonu tanımlanarak, kamera konumları ve optik parametreler belirlenmektedir. Her kameranın konumu ve oryantasyonu, kalibrasyon plakasının ortasına ve plakanın oryantasyonuna göre hesaplanmaktadır. Bu yüzden plakayı izomerkeze doğru yerleştirmek oldukça önemlidir. Kalibrasyon hem günlük hem de aylık kalite kontrol uygulamalarında 100 cm SSD uzunluğunda yapılmaktadır. Farklı SSD uzunluklarında bu kalibrasyonlar tekrar edilebilmekte fakat firma tercihi kullanıcıya bırakmaktadır.



Şekil 8. Günlük ve Aylık kamera kalibrasyonunda kullanılan kalibrasyon düzlemi.

İzomerkezin optik kalibrasyon ile tanımlanması haricinde diğer bir yöntemde izomerkezin oldukça hassas bir şekilde radyografik olarak doğrulanması testidir. Firma tarafından sağlanan "MV Kalibrasyon Kübü" bu işlem için kullanılmakta ve test genellikle aylık olarak yapılmaktadır (Şekil 9). Küpün içinde biri merkezde, diğerleri asimetrik olarak merkezin etrafına yerleşmiş 5 adet marker bulunmaktadır. MV izomerkez kalibrasyonunu gerçekleştirmek için geçerli bir aylık kalibrasyon gerekmektedir. Aylık kalibrasyon

ile AlignRT izomerkezinin konumunu belirlenmektedir. Aylık kalibrasyonun hala geçerli olduğunu doğrulamak için günlük QA yapılmaktadır. Kalibrasyon işlemi öncesinde, küp zemin plakası üzerinde ayarlanmaktadır. Sonrasında küp üzerindeki artı işaretleri oda lazerleriyle ve/veya linak alanı artı işaretleriyle karşılaştırılmakta ve linak izomerkezinin yakınına yerleştirilmektedir. 0°, 90°, 180° ve 270° gantry açılarında dört farklı mega voltaj (MV) portal görüntüsü elde edilmekte ve görüntüler AlignRT yazılımına aktarılmaktadır. Küpün yüzey konumu, AlignRT sistemi ile küp fantomunun anlık olarak izlenmesiyle belirlenmektedir. Böylece dört MV portal görüntüsündeki gömülü markırların konumuna dayalı olarak bir radyografik analiz gerçekleştirilmekte ve radyografik sapmalar hesaplanmaktadır.



Şekil 9. MV kalibrasyon küpü. SRS/SBRT hastaları tedavi edilen kliniklerde kullanılması özellikle önerilmektedir.



Med. Fiz. Uzm. Nadir Küçük

1974 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul Üniversitesi Çapa Onkoloji Enstitüsü'nde Tıbbi Radyofizik master programını bitirdi. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Özel Medipol Mega Üniversite Hastanesi'nde çalıştı.

Halen Özel Anadolu Sağlık Merkezi'nde medikal fizik uzmanı olarak çalışan Nadir Küçük evli ve iki kız çocuğu babasıdır.

ALARA (AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE)

Yük. Fiz. Müh. Devrim Demirağ

ALARA (As Low As Reasonably Achievable) kavramını Türkçeye makul olarak ulaşılabilecek en düşük (radyasyon dozu) şeklinde çevirmek mümkündür. ALARA fikri ilk olarak ICRP'nin (International Commission on Radiological Protection-Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu) 1955 yılında yayınladığı tavsiyelerde yer almış, ALARA ifadesi ise ilk olarak ICRP-22'nin (1974) sonuç kısmında kullanılmış ve ICRP-26'nın (1977) tüm metninde "As Low As Reasonably Achievable" olarak yer alarak günümüz kadar kullanılmaya devam etmiştir.

ALARA, ICRP'nin doz sınırlama sistemini oluşturan 3 temel prensipten ikincisi olan optimizasyon prensibini ifade etmek için kullanılan bir kısaltmadır. Diğer 2 prensip gerekçelendirme ve doz sınırlarıdır.

Bu 3 prensip en son genel tavsiyeleri içeren ICRP-103'te (2007) şu şekilde tanımlanmıştır;

1. Gerekçelendirme (Justification): Kişilere veya topluluklara, radyasyon hasarlarına kaşı net bir yarar sağlamayan radyasyon uygulamalarına izin verilmemelidir.
2. İyileştirme (Optimisation): Uygulamalarda net yararı maksimize etmek üzere ışınlanan kişilerin sayısı, bireysel dozun büyüklüğü ve ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak, "mümkün olan en düşük dozun" alınmasının başarılmasıdır.
3. Yıllık Doz Limitleri: Radyasyon görevlilerinin veya toplum bireylerinin alabileceği yıllık doz sınırlarıdır. Bu limitler radyasyon çalışanları için

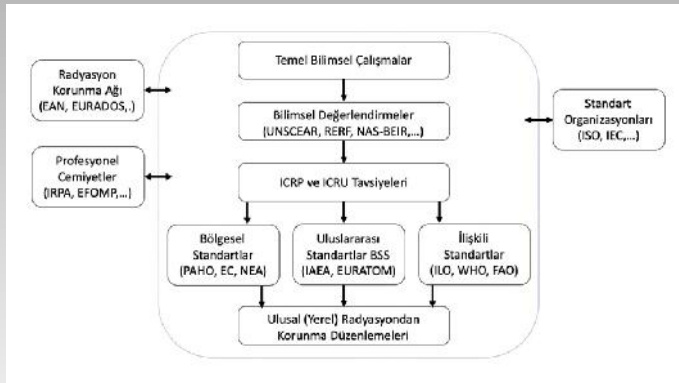
yıllık maksimum 50 mSv, ardışık son beş yılın ortalaması 20 mSv ve halk için yıllık maksimum 5 mSv, uzun dönemli 1 mSv'dir.

Radyasyondan korunmada, iyileştirme (ALARA) ilkesi, "stokastik etkiler" için "eşik dozsuz doğrusal doz-etki ilişkisi" yaklaşımının bir sonucudur. Bu ilkeye göre radyasyon dozuna maruziyet düzeyi ne olursa olsun, ekonomik ve toplumsal faktörler göz önünde bulundurularak radyasyon dozu yani stokastik risk azaltılmalıdır. ALARA ilkesi bu amaçla çeşitli ICRP yayınları aracılığıyla geliştirilmiş ve riskin ne kadar azaltılması gerektiği sorusuna yanıt aranmıştır.

Uluslararası Atom Enerji Ajansına (IAEA) üye ülkelerin çoğunda yürürlükte olan yerel radyasyondan korunma düzenlemeleri, genellikle önceden belirlenmiş uluslararası standartlara göre hazırlandıkları için oldukça benzerdir.

Radyasyonun riskleri ile ilgili araştırma sonuçları "Japon Radyasyon Etkileri Araştırma Vakfı" (RERF), "Birleşmiş Milletler İyonize Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi" (UNSCEAR) ve "ABD İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri Üzerine Ulusal Bilim Akademisi Komitesi" (NAS-BEIR) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından analiz edilmekte ve özetlenmektedir. Bu bilimsel veriler "Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu" (ICRP), "Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu" (ICRU) ve ABD'de "Ulusal Radyasyondan Korunma Konseyi" (NCRP) tarafından değerlendirilerek tavsiye haline getirilmekte, bu tavsiyeler de "Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu" (EURATOM) ve "Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı" (IAEA) standartlarının ve yerel güvenlik

standartlarının temelini oluşturmaktadır. Şekil.1’de radyasyonun etkileri ile ilgili temel bilimsel çalışmalardan, ulusal radyasyondan korunma mevzuatına kadar olan aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 1. Bilimsel temelden ulusal düzenlemelerin uygulanmasına kadar uluslararası düzeyde radyasyondan korunma organizasyonu

Ülkemizde de ICRP'nin radyasyondan korunma tavsiyelerini "Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde" yerel düzenleme olarak görmek mümkündür.

ALARA Kültürü

ALARA süreci, farklı paydaşların yer aldığı ortak bir kültür olmadıkça etkili bir şekilde uygulanamaz.

ALARA kültürünü desteklemek için ihtiyaç duyulan unsurlar, genel olarak güvenlikle ilgili tutumlar ve spesifik olarak dozun azaltılmasına yönelik yaklaşımlardır. Radyasyonla çalışan herkes, radyasyona bağlı riskin ve radyasyon dozunu -makul olarak ulaşılabilecek en düşük- düzeye indirme gereğinin farkında olmalıdır.

Radyolojik riske yönelik olumlu tutumlar, bireysel ve/veya kurumsal düzeyde şunları içermelidir;

- Sorgulayıcı bir tutum (dozları azaltmak için elimden geleni yaptım mı? yönetim, dozları azaltmak veya kazaları önlemek için yeni teknolojilerin tanıtılması ve uygulanması

konusunda kararlı mı?)

- Açıklık ve şeffaflık (değişikliklere açık olmak, olumsuz durumları bildirmek, radyasyondan korunma seçenekleri hakkında bilgilendirme yapmak)
- Doz azaltma taahhüdü (radyasyon uygulamalarında iyileştirme prensibine uygun bireysel davranışlar, yönetimin ilave koruma önlemlerine yatırım yapma isteği).

Doz azaltma seçeneklerini araştırmak için tüm paydaşların katılımı gereklidir. Tüm paydaşlar tarafından doz-etki ilişkisinin bilinmesi ve sosyoekonomik faktörler dikkate alınarak radyasyon maruziyetinin özelliklerine göre kabul edilebilir bir risk seviyesinin aranması ve diğer risklerin değerlendirilmesi konularında uzlaşma olmalıdır.

Radyasyon uygulamasına bağlı olarak farklı paydaş kategorileri tanımlanabilir. Genel olarak ALARA sürecinin uygulanmasında aşağıdaki roller ve sorumluluklardan bahsedebiliriz;

Yetkili makamlar; optimizasyon gerekliliklerinin uluslararası güvenlik standartları ve düzenlemelere (IAEA ve EC) göre ulusal mevzuata dahil edilmesinden ve düzenleyici hedeflerin belirlenmesinden sorumludur. Ayrıca, ALARA'nın bir zorunluluk olduğunu göz önünde bulundurarak, ALARA uygulaması için radyasyondan korunma programları gibi uygun metodolojiler oluşturmalı, gerektiğinde önerilerde bulunmalı ve yaptırım uygulamalıdır.

Halkla ilişkilerle ilgili olarak, şeffaf bilgi akışını ve karar alma süreçlerine halkın katılımını sağlamalıdır.

Lisans sahipleri; ALARA sürecinin uygulanması için, uygun kaynakları tahsis etmeli ve organizasyonun tüm

seviyelerinde (üst yönetimden atölyeye kadar) bilgilendirme ve eğitim sağlayarak ALARA taahhüdüne destek olmalıdır. ALARA kültürü lisans sahibi tarafından teşvik edilmeli ve etkili bir radyasyondan korunma sistemi kurulmalıdır. ALARA hedeflerini gerçeğe dönüştürmek için yönetim desteğinin olması çok önemlidir, bu amaçla işletme içinde sorumlulukların dağılımı sağlanmalı, ilgili kişiler rollerini ve görevlerini iyi bilmeli ve buna göre hareket etmelidir.

Üreticiler, tedarikçiler ve tasarımcılar; tesislerin, ekipmanların ve kaynakların tasarım ve inşasında, yalnızca ulusal mevzuat tarafından belirlenen gereklilikler ve sınırlamaları değil, aynı zamanda radyasyondan korunmanın optimizasyonu ile ilgili hususları da dikkate almalıdır.

Radyasyondan korunma uzmanları/sorumluları; ALARA odaklı radyasyondan korunma sisteminin tasarımından, kurulmasından, uygulanmasından ve denetlenmesinden sorumludur. Bu amaçla bu kişiler tarafından radyasyondan korunma sistemi doğru bir şekilde oluşturulmalı, yürütülmeli, uygunsuzluklar kaydedilmeli, düzeltici ve önleyici faaliyetler önerilmeli ve sonuçlar detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir.

Mesleki dernekler ve ALARA ağları; bilgi ve deneyim alışverişi için bir tartışma ortamı oluşturmalı, kendi faaliyet alanları ile ilgili ayrıntılı radyasyondan korunma rehberliği sağlamalı ve ALARA kültürünün üyeleri arasında yayılmasında rol oynamalıdır.

Radyasyon çalışanları; radyasyon güvenliği eğitimleri sonrasında ALARA prosedürlerini uygun şekilde uygulamaktan sorumludur. Hem kendileri hem de çalışma arkadaşları için ALARA prensiplerinin uygulanmasında olumlu bir tutum içinde olmalıdır.

Çalışanlar yalnızca verilen talimatları ve protokolleri takip etmekle kalmamalı, aynı zamanda sorunları belirlemeli, rapor etmeli, iyileştirmeler önermeli ve pratik geri bildirim sağlayarak radyasyondan korunmanın sürekli optimizasyonuna katılmalıdırlar.

Halkın radyasyondan korunma süreçlerine ilişkin karar aşamalarında yer almasına izin verilmeli ve halkın risk ve radyasyondan korunma bilincinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

ALARA Süreci

ALARA süreci; temel olarak bireysel dozların büyüklüğü ve radyasyona maruz kalan birey sayısı dikkate alınarak, çalışanların, halkın ve hastaların potansiyel radyasyon maruziyeti olasılığını "makul olarak ulaşılabilecek en düşük" (ALARA) seviyelere düşürmek için radyasyondan korunma önlemlerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve seçilmesi için bir metodolojidir.

Bu süreçte en iyi radyasyondan korunma çözümünü elde etmek için, sorunun kapsamını, kaynakların büyüklüğünü, elde edilebilecek koruma düzeyini, sosyoekonomik faktörleri ve kararı etkileyen diğer tüm faktörleri de göz önünde bulundurmak gerekir.

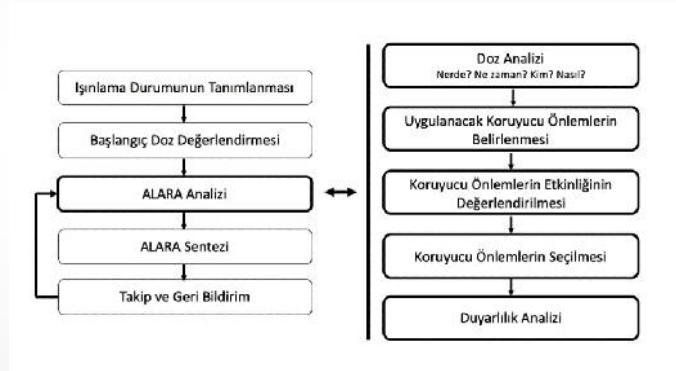
Radyasyondan korunma önemlerine yapılan yatırımlar ile ürettikleri radyasyondan korunma faydaları arasında bir denge olması gerekir. ALARA süreci, herhangi bir risk değerlendirmesi ya da risk yönetimi analizine çok benzer. ALARA sürecinin adımlarının şematik bir görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

Işınlama durumunun tanımlanması; radyasyon maruziyetini geniş bir şekilde tanımlamak ve sorunları radyasyondan korunma açısından geniş bir ölçekte

değerlendirmek için gerekli bilgilerin toplanmasını içerir.

Gerekli bilgilerin toplanması için şu sorular sorulmalıdır;

- Maruziyet, "planlı", "mevcut" ya da bir "acil durum" mu?
- Radyasyon kaynakları nedir?
- İç ışınlama mı dış ışınlama mı söz konusu?
- Maruz kalacak birey sayısı nedir?
- Maruziyet sonucunda etkilenecek gruplar nedir (çalışanlar, hastalar veya halk)?
- Maruz kalma sıklığı nedir?
- ...



Şekil 2. ALARA Süreci

Başlangıç doz değerlendirilmesi; ALARA yöntemini uygulayacağımız durum için radyasyona maruz kalan bireylerin mevcut radyasyon dozu değerlerinin elde edildiği aşamadır. Burada iç ve dış ışınlamalar için dozimetrik yöntemler kullanılabileceği gibi, eldeki mevcut veri yardımıyla (aktivite, radyoizotop, ışınlama süresi, ...) analitik yöntemler ya da simülasyon yöntemleri kullanılarak doz hesaplamaları da yapılabilir.

Doz analizi; başlangıç doz değerlendirilmesi sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesini

içeren ileri ALARA analizinin ilk adımıdır.

Bu adımda, aşağıdaki sorular yanıtlanmalıdır;

- Maruziyet ne zaman gerçekleşiyor? (en yüksek doz maruziyetinin gözlemlendiği anlar vs.)
- Maruziyet nerede gerçekleşir? (en yüksek doz maruziyetinin gözlemlendiği alanlar vs.)
- Kim ya da kimler maruz kalıyor? (en çok doza maruz kalan bireyler ya da gruplar)
- Bireyler doza nasıl maruz kalıyor? (maruz kalma koşulları, maruz kalma süresi vb.).

Uygulanacak koruyucu önlemlerin belirlenmesi; maruz alınacak dozları azaltmak için uygulanacak önlemlerin belirlendiği aşamadır.

Bu koruyucu önlemler aşağıdaki gibi olabilir;

- Kaynak aktivitesinin azaltılması dolayısıyla doz hızının azaltılması
- Kaynağa olan mesafenin artırılması
- Zırhlama yapılması
- Kişisel koruyucu ekipman kullanımı
- Maruz kalma süresinin azaltılması
- Maruz kalan kişi sayısının azaltılması
- ...

Koruyucu önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi; dozu azaltmak (toplum ve/veya birey) için her bir koruyucu önlemin etkinliğinin doğru bir şekilde değerlendirildiği ve bu önlemlerin uygulanmasıyla ilgili diğer etkilerin de (maliyet, fizibilite, kalite, güvenlik, atık, çevreye verme, vs.) göz önüne alındığı aşamadır.

Herhangi bir koruyucu önlemin etkisini değerlendirirken, genellikle aşağıdaki faktörler göz

önünde bulundurulur.

Bazı durumlarda, belirli kişilerin maruziyetini azaltmak için koruyucu önlemin uygulanması, diğer kişilerin de ilave olarak radyasyon dozuna maruz kalmasına neden olabilir. Bu ekstra maruziyetin de değerlendirilmesi ve analize dahil edilmesi gerekir.

Koruyucu önlemin toplam parasal maliyetleri değerlendirilmeli, doz başına maliyet hesabı yapılmalıdır.

Koruyucu önlemlerin, insan güvenliği, maliyet, eğitim, çevre, atık üretimi gibi çok sayıda başka parametre üzerinde de etkisi olabilir, bu etkilerin de analize dahil edilmesi gerekir.

Koruyucu önlemlerin seçimi; önlemlerin verimlilikleri hakkında uzman yargısına dayanan basit bir karardan, maliyet-fayda ya da maliyet-etkinlik analizlerine kadar uzanan geniş bir yelpazeyi içermektedir.

Komplike durumlarda kullanılacak teknikler için ICRP-55'den (Optimisation and Decision-Making in Radiological Protection) faydalanılabilir.

Duyarlılık analizi; korunma önlemi seçimlerinin doğruluğunun analiz edildiği aşamadır. Çoğu veri varsayımlara ve modellere dayandığından, belirsizlikler seçim sürecin doğasında yer almaktadır. Örneğin, atmosferik difüzyon modellerine veya risk projeksiyon modellerine dayalı hesaplamalarda hem modelin eksikliğinden hem de veri girdilerinden kaynaklanan belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde maruziyet süresinin veya doz hızlarının değerlendirilmesinde de belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir. Bu aşamada amaç "ya olursa" (what if) analizi ile ortaya çıkabilecek beklenmedik koşulların

da etkisini dikkate almaktır.

ALARA sentezi; yukarıda bahsedilen adımlarda elde edilen bilgilere dayanarak, seçilen koruyucu eylemlerin uygulanmasına karar verildiği aşamadır. Bu aşamada nihai karar sadece bir kişi ya da kurum tarafından değil, konu ile ilgili karardan etkilenebilecek diğer kişi ya da kurumlar tarafından da alınmalıdır. Ortaya çıkacak kararların izlenebilir ve şeffaf olması için kararlar kayıt altına alınmalı ve paydaşlarla paylaşılmalıdır.

ALARA sentezi, seçilen koruma önlemlerinin ve uygulama yolunun tanımını ve sürecin takibi için takip planını, geri bildirimlerin toplanmasını, gözden geçirme süreçlerini ve önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesini de içermelidir.

Takip ve geri bildirim; ALARA sürecinin verimliliğinin ve daha fazla iyileştirmeye ihtiyaç olup olmadığının değerlendirildiği süreçtir.

Takip, korunma önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesine olanak tanıyan ilgili verilerin toplanması ve değerlendirilmesinin yanı sıra doz izlemeyi ve performans değerlendirmesini de içerir. Farklı paydaşlarla iletişim de geri bildirim toplamak için önemli bir unsurdur.

ALARA süreci kapsamında alınan önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi ve performans değerlendirmesi için nicel ve nitel göstergeler kullanılabilir. Nicel göstergeler ölçülebilir unsurlara dayalıdır (nükleer santraller için yıllık toplu ve bireysel dozların değişimi, bir radyoloji bölümünde Tanısal Referans Düzeyini aşan hastaların yüzdesi gibi). Nitel göstergeler ise tespiti daha zor olan, deneyim ve davranışsal değişiklikler gibi unsurları dikkate alır. Değerlendirme sürecinin sonuçları ve geri bildirimler,

doz maruziyetlerinin daha da iyileştirilmesi için ALARA sürecine devam etmede girdi olarak kullanılmalıdır.

Kaynaklar

1. Optimisation of Radiation Protection ALARA: A Practical Guidebook, European Alara Network, 2019
2. EC, 2013. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom.
3. Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable, ICRP Publication 22, 1973
4. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, 1977
5. Optimization and Decision Making in Radiological Protection, ICRP Publication 55, 1989
6. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, 1990
7. The Optimization of Radiological Protection, ICRP Publication 101b, 2006
8. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, 2007



Yük. Fiz. Müh. Devrim DEMİRAG

2001 Yılında Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği bölümünden ve 2003 yılında Ankara

niversitesi Fizik Mühendisliği yüksek lisans programından mezun oldum. 2003 ve 2013 yılları arasında özel sektörde Radyasyon Güvenliği ve Radyofarmasötik retimi ile ilgili çalıştım. 2013 Yılından bu yana kurucusu olduğum Alara Radyasyon Güvenliği Danışmanlığı şirketinde çalışmaktayım.

YAPAY ZEKA VE MEDİKAL FİZİKÇİ: MAKİNEYE HOŞ GELDİNİZ



Review

Artificial Intelligence and the Medical Physicist: Welcome to the Machine

Michele Avanzo ^{1,*}, Annalisa Trianni ², Francesca Botta ³, Cinzia Talamonti ⁴, Michele Stasi ⁵ and Mauro Iori ⁶

¹ Medical Physics Department Centro di Riferimento Oncologico di Aviano (CRO) IRCCS Aviano, 33081, Italy

² Medical Physics Unit, Ospedale Santa Chiara APSS, 38122 Trento, Italy; annalisa.trianni@apss.tn.it

³ Medical Physics Unit, Istituto Europeo di oncologia IRCCS, 20141 Milan, Italy; francesca.botta@ieo.it

⁴ Department Biomedical Experimental and Clinical Science "Mario Serio", University of Florence, 50134 Florence, Italy; cinzia.talamonti@unifi.it

⁵ Medical Physics Unit, A.O. Ordine Mauriziano di Torino, 10128 Torino, Italy; michele.stasi@unito.it

⁶ Medical Physics Unit, Azienda USL-IRCCS di Reggio Emilia, 42122 Reggio Emilia, Italy; mauro.iori@ausl.re.it

* Correspondence: mavanzo@cro.it

Yazarın Notu: Bu yazı Applied Science Dergisinin, 2021/11. Sayısında yayınlanmış olan makalenin geniş bir özetidir (<https://doi.org/10.3390/>).

1. Giriş:

Yapay Zekâ (YZ), tıpkı insan gibi zekâ ve düşünme yeteneğine sahip bir bilgisayar birimidir. Örneğin, öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi. YZ temelli sistemler, insan benzeri performansları ve görevleri yerine getirebilirler. Konumuz açısından, görüntü sınıflandırması ve analizi, konuşma algılama'yı bu alandaki uygulamalar olarak sayabiliriz. Sonuç olarak, YZ, medikal fizik ve sağlığın diğer alanlarında önemli değişiklikler ve katkılar yapmaktadır.

Medikal fizik, içerdiği, matematik, biyoinformatik, istatistik gibi temel bilimsel içerikler ve bu yapı içinde kullanılan ileri teknolojik cihazlar nedeniyle YZ'nin tıp içindeki uygulamalarının içinde belki de ön saflarda yer alır. YZ, Makine Öğrenmesi (MÖ) ve Derin Öğrenme (DÖ) aracılığı ile tıp alanındaki yeri çok hızlı

olarak artmakta ve tıp alanının tüm birimlerine aynı hızda yayılmaktadır. Medikal Fizik ve Medikal Fizikçi (MF) ile doğrudan ilişkili olan, radyasyon, ultrason, magnetik alanı bu kapsamda sayabiliriz.

Yine MF'lerin doğrudan içinde bulunduğu lineer akseleratör gibi tedavi cihazları ve görüntüleme cihazlarının kalite kontrolü yine YZ çalışmalarının önemli bir parçasıdır.

İtalya Medikal Fizik Derneği (The Italian Association of Medical Physics (YZFM)), kendi çatısı altında "Medikal Fizik'te YZ" konulu bir alt grup oluşturarak bu alanda meslektaşlar arasında iletişimi, çalışmaları ve bilgileri paylaşmayı hedeflemiştir.

Başka bir ifadeyle Dernek, **MF'ler için, yeni bir YZ dünyası yaratılması amacını gündeme getirmiştir.**

2. Sağlık Sektöründeki YZ

Makine öğrenmesi (MÖ), matematik modeller ve bilgisayar algoritmaları inşa ederek verilerden elde ettiği kalıpları ve çıkarımları öğrenerek görevlerini sürdürmek için kullanan bir bilgisayar disiplini. MÖ

algoritmaları, supervised (denetimli) veya unsupervised (denetimsiz) öğrenme yöntemlerini kullanırlar.

Derin öğrenme (DÖ), her tür veri, görüntü veya sinyal üzerinde denetimli veya denetimsiz öğrenme için kullanılabilen bir yöntemler grubudur. DÖ, MÖ yöntemlerinin aksine, girdi verilerinden doğal özellikleri öğrenmek ve kapsamlı sonuçlar oluşturmak için birden fazla sinir katmanı ağına sahip modeller kullanır.

Günümüzde, radyolojik ve patolojik görüntüler ve bu görüntülere ilişkin YZ raporları birlikte depo edilmektedirler. Bunu ötesinde, hastanın elektronik sağlık kayıtlarının bilinmesi dışında, hastanın sistemik sağlık bilgilerine ve demografik verilerine de kayıtlardan ulaşılabilmektedir. Böylece, radyolojik ve patolojik raporların entegrasyonu sağlanmaktadır.

MÖ ve DÖ, elektronik platformda bulunan işlenmemiş verileri kullanarak çok fazla epidemiyolojik ve klinik araştırma çalışmasına imkân sağlayabilmektedir.

Konu edilen bu çalışmalara, "Veri Madenciliği (VM)/ Data Mining" adı verilmektedir.

VM, özetle, data base'lerdeki yönelimleri, şekilleri (patterns), ilişkileri, anomalilikleri ve ilgi duyulan verileri kullanarak bu verilerden hipotezler ve yaklaşımlar yaratabilmektedir.

İdeal olarak, VM, büyük verinin (big data) 4 V'sini kullanır. Bunlar, Hacim (**V**olume), Değişkenlik (**V**ariety), Hız (**V**elocity) ve Doğruluk (**V**eracity)'tur.

3.2. Terapi

MÖ, tedavide ve teşhiste, optimal radyasyon yaklaşımının seçimi süreci içinde yer alan tüm akış şeması boyunca çok yararlı aktiviteler içinde yer alır. Örneğin foton veya proton seçimi gibi. Bir evrimsel sinir ağı (CNN) uygulaması, radyoterapide risk

altındaki organları ve tedavi edilecek hedef tümörleri otomatik olarak birbirinden ayırabilir (segmentation). Makine öğrenimi tabanlı otomatik tedavi planlama algoritması, kalite ve verimliliği artırmak, plan yapan kişiler arasındaki farklılığı azaltmak amacıyla en iyi planı taklit edip deneyimli plan uygulayıcılar gibi plan tasarlayabilir. Tedavi planından beklenen en iyi dozimetrik sonuçları, en iyi doz dağılımları elde edebilmek için, daha önce binlerce yapılmış tedavi planlarının veri tabanından yararlanır ve bu hedefleri geliştirebilir. Brakiterapi için de ML tabanlı otomatik planlama olanaklarının geliştirildiği bilinmektedir.

Hasta görüntüsü (genellikle CT gibi) kullanılarak yapılan radyasyon tedavisinden elde edilebilecek doz dağılımı DÖ tarafından önceden tahmin edilebilir ve böylece doz dağılımı optimizasyonu hızlandırılabilir ve hasta görüntülerinden en uygun doz dağılımı elde edilebilir.

Son zamanlarda, radyomik'in bir uygulaması olan dozomik ve DÖ'nin doz dağılımı analizinde yer alması sonucunda, değişik fraksiyonasyonları hesaba katarak biyolojik etkin doz dağılımının ve radyasyon tedavisinin yan etkilerini tahmin etme yeteneği araştırıldı. Radyomikler, radyoterapi tedavisinin görüntü kılavuzluğu için elde edilen ışın CT'ye (CBCT'ler) de uygulanabilmektedir. Radyoterapinin önemli bir konusu, tedavi sırasında hastanın anatomisinde istenmeyen doz sapmalarına neden olabilecek değişikliklerdir. Bu durumda tedavinin yeniden planlanması gerekir. MÖ, radyoterapi sırasında hasta anatomisindeki önemli değişiklikleri belirleyebilir ve adaptif radyoterapiden yararlanacak hastaları ortaya çıkarabilir.

Sonuç olarak, radyomik voksel bazlı analizlerden elde edilen bilgileri kullanılarak, daha yüksek veya daha

düşük doz gerektiren hassas/dirençli tümör alt hacimleri belirlenebilir ve böylece bir "radyomik hedef hacme" değişik doz planlamayı olanaklı kılar.

Nükleer tıpta, radyofarmasötikler gibi kaynaklarla yapılan tedaviler artan öneme sahiptir. YZ bu alanda, kritik organları koruyarak, hedefe en yüksek dozu vermek amacıyla tedavi yanıtını tahmin etmek için, hastaların anatomisini, aktivite dağılımını ve doku yoğunluğunu ve planlamayı hesaba katarak tedavi dozimetrisini iyileştirebilir.

3.3. Kalite Güvencesi (QA)

Uluslararası Standardizasyon Örgütü'ne göre kalite güvencesi (QA), belirli bir ürün, hizmet ve süreç için kaliteyi sağlayan bir sistemdir. Kalite, sistemin hata ve kusurlarından kaçınma derecesidir. Kalite kontroller (QC), belirli bir ürünü veya süreci tanımlamak, ölçmek, analiz etmek, iyileştirmek ve kontrol etmek için gerçekleştirilen testlerdir. Radyolojik bilimlerde tanı ve tedavi için kullanılan cihazları ve klinik ve diğer prosedürleri doğrulamak ve izlemek için kalite testleri uygulanır.

Yapay zekâ, manuel olarak gerçekleştirildiğinde çok fazla zaman gerektirdiğinden rutin olarak uygulanabilir olmayan QC'leri otomatik olarak gerçekleştirmek için kullanılabilir. YZ kullanan QC sistemleri, zaman içinde doğruluklarını öğrenmek ve geliştirmek ve insan müdahalesi olmadan belli bir süreçte yeni testler geliştirmek için olanaklar sağlar. Radyoterapide (RT) kalite güvencesi, MF'inin çalışmasının çok önemli bir parçasıdır ve radyolojik olayları ve radyasyon dozunun yanlış uygulanmasını önlemeyi amaçlar. Planların, DVH gibi grafik kontrolünü otomatikleştirmek ve tedavi planlarındaki hataları tahmin etmek için bir dizi MÖ tabanlı uygulama ve algoritma araştırılmıştır. LINAC'ların

otomatik kalite kontrolü, out-put sapması, çok yapraklı kolimatör (MLC) pozisyonları ve ışın simetrisi gibi makine performansı sorunlarını tahmin etmekte makine öğrenimi uygulamaları büyük bir ümit kaynağıdır. Ek olarak, MÖ, elektronik portal görüntüleme cihazı (EPID) aracılığı ile LINAC'ların otomatik kalite kontrolü için yeni yöntemler üzerinde çalışmaktadır.

YZ, IMRT ve VMAT tedavi tekniklerinde spesifik QA sonuçlarını önceden tahmin etmeyi hedeflemektedir.

4. YZ'nin Zorlukları ve Tuzakları

4.1. Veri Boyutu ve Kalitesi

YZ ve DÖ algoritmaları eğitim amacıyla çok geniş veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu yapı giderek daha fazla veri gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Uygun olmayan verilerin boyutu amaçlanan tahmin olasılığını düşürmektedir. Maalesef, YZ ve MÖ için, örnek boyutunu ifade eden metrik bir sistem de yoktur. Çoğunlukla, YZ eğitimi için kullanılan veri kümeleri, verilerin boyutuna ve istenen göreve göre az sayıda örneğe sahiptir. Bu durumda, yaratılan modellerin istenen yeterliliğe sahip olmadığı görülmektedir.

Verilerin fazla veya az olması veya değişik parametrelere göre dengesiz olması, DÖ algoritmalarının her seferinde aynı sonucu vermesini engeller ve algoritmanın performansını düşürebilir.

Eğitim verilerindeki tanı ve tedavi parametrelerinin hepsi modellemelerde kullanılmaz, bazı zayıf veri grupları için düşük performans ortaya çıkabilir. Bu durum sağlık hizmetlerindeki eşitsizliklere neden olabilir.

Ek olarak, yeni çıkan teknolojik değişikliklerin, tedavi yaklaşımlarının, hasta popülasyonunun değişmesi YZ sisteminin önerilerinin ve tahminlerinin güvensizliğine neden olabilmektedir. Eğitim için kullanılan veri yarı

ömrünün 4 ay olduğu konusunda bir görüş birliği vardır.

4.2. Yorumlana bilirlilik

Yorumlanabilirlik, modelin girilen verilerinden çıkardığı sonuçlara nasıl ulaşıldığının anlaşılma düzeyidir. Bir başka ifade ile, sonuçların neden çıkarıldığı ve çıktısına nasıl ulaştığının anlaşılması olarak ifade edilebilir. MÖ modelleri genellikle kullanıcılar ve klinisyenler tarafından kara kutular olarak algılanır, bu da düşük düzeyde yorumlanabilirliğe sahip oldukları anlamına gelir. Bu sorun, karmaşık çok katmanlı yapılar ve her katman tarafından gerçekleştirilen sayısız sayısal işlem göz önüne alındığında derin sinir ağları için daha da kötüleşir ve YZ'nin klinikte uygulanmasını engeller. Grafik yaklaşımları, MÖ ve DÖ yöntemlerinin yorumlanabilirliğini geliştirmeye yardımcı olabilmektedir.

4.3. Legal ve Etik Sorunlar

Büyük hasta veritabanlarını otomatik olarak inceleyen YZ sistemleriyle ilişkili temel etik konular arasında; bilgilendirilmiş onam, mahremiyet ve veri koruması, sahiplik, nesnellik, elde edilen klinik veya araştırma modelinin şeffaflığı ve eğitim ve doğrulama verilerinin kalitesi yer alır. YZ tabanlı makinelerin büyük ölçekte kullanılmasıyla görevlerin ve kararların otomatikleştirilmesi, artan sistemik riskleri ve sistematik hataları getirebilir.

Olaylar meydana gelmeden önce YZ'nin yanlış performansını veya yanlış kullanımlarını görerek bu hataları önleme sorumluluğu insanlara düşmektedir. Bir model şeffaf olmalıdır.

5. Medikal Fizikçinin (MF)'nin Rolü

5.1. Görüntüleme

Genel olarak vurgulandığı üzere, MF'nin görüntüleme

alanında derinden dahil olduğu ana görevlerden biri optimizasyon sürecidir, yani doz ve görüntü kalitesi arasındaki dengeyi bulmaktır. MF, kullanılan bir görüntüleme cihazının bileşenlerini ve görüntü kontrastının temelindeki temel fiziksel mekanizmaları anlar ve performansı sınırlayan teknik ve/veya fizyolojik artefaktları yakalayabilir. Ayrıca, MF, doz ölçümü sırasında, hesaplama ve tahmin sınırlamalarını ve potansiyel tuzakları önceden görebilir. Bu nedenle MF, görüntülemede YZ'nin geliştirilmesi, uygulanması ve kullanımı için değerli bilgi ve becerilere sahiptir.

Hasta dozunu tahmin etmek için YZ tabanlı sistemler geliştirilmiştir. MF, olası hataları önlemek için bu sistemleri doğrulamalı ve periyodik olarak kontrol etmelidir. Örneğin, hesaplanan doz dağılımdaki her bir vokselin dozu, kullanılan doz hesaplama algoritmasına, hesaplama voksel aralığına ve MÖ eğitimi için kullanılan veri kümesindeki belirsizliğe bağlıdır. Fantomlarda, algoritmaların tahminlerini test etmek için MF tarafından doz ölçümleri planlanabilir. MF ayrıca rutin testler yoluyla görüntü kalitesini değerlendirme olanağına sahiptir. Son zamanlarda, görüntü kalitesini iyileştirmek için klinik uygulamada DÖ tabanlı görüntü kalitesi geliştiricileri kullanılmaya başlanmıştır. Sonuç olarak, görüntü elde etme protokolleri dozun azaltılmasını sağlamak için güncellenebilir ve MF, hastaya mümkün olan minimum iyonlaştırıcı radyasyon dozunu vermek için doz optimizasyonuna dahil olmalıdır.

Görüntüleme parametrelerindeki değişiminin görüntü içeriğini ve YZ sistemlerinin tepkisini ne ölçüde etkilediğini doğrulamak gereklidir. Bu amaçla çeşitli fiziksel fantomlar geliştirilmiştir. Fiziksel ve dijital fantomlar, görüntü tabanlı MÖ algoritmalarının

performanslarını periyodik olarak doğrulamak için de kullanılabilir.

5.2. Veri Toplama ve İyileştirme

Sayısal analizlerin klinik ortamdaki becerileri göz önüne alındığında, MF'ler, PET, CT, Radyografi, MRI, Ultrason gibi çoklu modalitelerden elde edilen klinik ve görüntü verilerinin yönetimine önemli ölçüde yardımcı olabilirler.

MF'ler, verilerin kalitesini ve eksiksizliğini, verilerin düzenleme yöntemlerini ve veri arşivlerinin QA programlarını değerlendirme işlemlerinin geliştirilmesinde yer alabilmektedirler.

CAD sistemleri ve görüntüleri girdi olarak kullanan diğer YZ tabanlı karar sistemleri, çıktı doğruluğunu sağlamak için minimum kalite özelliğine ve ilgili protokollere ihtiyaç duyacaktır. MF'ler, görüntülerin doğru ve YZ tabanlı algoritmalarda kullanılabilmesi için ön işlemlere tabi tutulmasını sağlayabilir. Ayrıca MF'ler, radyolojiden gelen görüntüleme ve tedaviden elde edilen dozimetrik verilerle birlikte görüntü verilerinin, yaygın olarak kabul edilen standartlarda saklanmasını sağlayabilir ve yeni veriler oluşturabilir.

MF'ler Makine tarafından okunabilir veri koleksiyonlarının depolanmasını, güvenliğini ve bütünlüğünü mutlaka denetleyebilmelidir.

Veri kümelerinin kalite kontrolü, YZ sistemleri tarafından hastaların sağlık verilerinin etik ve tarafsız kullanımı, klinisyen, hasta ve hasta dernekleri için bir garanti teşkil etmektedir.

5.3. YZ'nın Devreye Alınması ve Doğrulanması

YZ araçlarının devreye alınması, kurulu sistemin doğru çalışıp çalışmadığını ve klinik kullanıma hazır olup olmadığını değerlendirmek için bir dizi test gerektirir. Gerekli ekipman ve insan kaynakları ile devreye alma görevleri, testler, zamanlama ve

toleranslar kurulumdan önce planlanmalıdır.

Aynı veri kümesi üzerinde farklı MÖ yöntemlerinin karşılaştırılması yararlıdır ve hangi MÖ algoritmalarının en iyi performansa sahip olduğunu ve hangilerinin eldeki görev için fazla veri uydurmaya daha yatkın olduğunu gösterebilir.

Modelleri aldatmaya yönelik girişimlerin, örneğin görüntülere gürültü ekleyerek bir dizi hazırlanmış veri konfigürasyonu ile gerçekleştirildiği, çekişmeli MÖ adı verilen bir teknik, birçok MÖ ve DÖ algoritması sınıfının kalite değerlendirmesi için kullanılabilir.

Yapay zekâ sistemlerinin yorumlana bilirliliğinin olmaması veya "kara kutu" sorunu, klinikte benimsenmelerinin önünde bir engel teşkil etmektedir. Doğrulama için gerçekçi değişkenliğe ve mümkün olan en düşük önyargıya sahip eğitim veri kümelerinden bağımsız, büyük ve muhtemelen çok kurumsal veri kümelerine ihtiyaç vardır. Bunlar, kurumlar arasındaki iş birliği düzeyini artırarak başarılabılır ve MF, gerekli standartlara uygunluğun kontrol edilmesinde rol oynayabilir.

5.4. Radyoterapide YZ ve MF'ler,

MF'ler CT tabanlı doz hesaplaması, tedavi planlaması ve görüntü kılavuzluğunda radyasyon tedavisi gibi yöntemleri geliştirerek radyoterapiyi özelleştirmiş, tıp alanında kendine özgü bir uygulama alanı haline getirmeye katkıda bulunmuştur. Radyoterapide MF'lerin diğer geleneksel görevleri arasında, kalite güvencesi ve radyasyondan korunma sayılabilir.

MF'ler ayrıca RT'de YZ kullanımında ön saflarda yer alarak, hasta görüntülerini, konturlarını, klinik bilgilerini ve tedavi planlarını içeren MÖ algoritmalarının tedavi planlamasında kullanılmasına yol açmıştır.

Böylece, MF'ler otomatik olarak yüksek kaliteli planlar

geliştirerek radyoterapi tedavisinde plan tasarımını hızlandırmaya olanak tanımıştır.

Diğer MÖ tabanlı prosedürlerde olduğu gibi, otomatik tedavi planlama sistemleri de insan tarafından oluşturulan eğitim verileri kadar iyidir, ancak sonuçlarının test edilmesi ve MF'ler tarafından onaylanması gerekmektedir. Çoğu zaman, her hastanın benzersiz anatomisi nedeniyle önerilen otomatik planın klinik MF'ler tarafından özelleştirilmesi ve değiştirilmesi gerekebilmektedir.

Daha da önemlisi, belirli bir tedavi planı yaratmak için potansiyel sorunlar ortaya çıktığında, MF'ler klinik olarak kabul edilebilir bir çözüme ulaşmak için radyasyon onkolojisi uzmanları, terapistler ve dozimetristler gibi diğer ekip üyeleriyle iletişim kurmaktadır.

MF'ler, dozimetri protokollerine göre uygun şekilde tasarlanmış fantom/ film/iyon odası ölçümleri sayesinde önceden oluşturulmuş doz hesaplama algoritmalarına karşı kıyaslama yoluyla test edilebilen ve DÖ algoritmaları tarafından tahmin edilen dozun onaylanması işlevini de sürdürmek zorundadır. Bu sürece hastaya özel tedavi planı kalite kontrolü adı verilebilir.

Diğer bir kritik yön de doz belirsizliklerinin algoritmaların hastanın geleceğine ilişkin tahminleri nasıl etkileyeceğini araştırmaktır.

Hasta tedavi planının yanında, MF'ler hasta tedavi cihazları, örneğin LINAC'ların kalite kontrolünde kullanılan YZ programlarının yönetiminde de kritik bir role sahip olacaktır.

YZ algoritması bir tedavi cihazında bir hata veya arıza tespit ettiğinde, MF'ler sorunun nedenini teşhis etmek, düzeltici eylemleri yerine getirmek, kalibrasyon ve benzeri süreçleri kontrol etmek gibi uygulamalara

dahil olmak zorundadır.

5.5. Güvenlik/Risk Yönetimi

MF'nin temel faaliyetlerinden biri, hastaların güvenliğini garanti altına almak için tıbbi cihazların ve prosedürlerin değerlendirilmesi olan hasta güvenliği yönetiminin oluşturulmasıdır. MF'ler, hastaların bir kazaya maruz kalmasını veya bir hastanın yaralanmasını içeren olayların analizinden oluşan risk değerlendirmesini kullanarak kazaları önlemek için eğitilmişlerdir. MÖ sistemlerinden, görüntü kalitesini bozmadan, hastalar ve çalışanlar için bir tehlike olan görüntüleme işlemi sırasındaki radyasyona maruz kalmayı azaltma potansiyeline sahip olması beklenmektedir.

5.6. Periyodik Testler

Kalite Güvencesi (QA) sürecinin YZ sistemlerine uygulanması, hasta sağlığı açısından en gerekli işlemlerden biridir. MF'ler önceden belirlenmiş ve tanımlanmış parametreleri içeren rutin QA test programını hayata geçirerek, klinik olarak kullanılan YZ algoritmalarının istenen doğruluk seviyesinde çalışmaya devam etmesini sağlamaktan sorumludur.

YZ'nın hızlı evrimi göz önüne alındığında, test işlemlerinin sıklığı ve içeriği sık sık güncellemelere ihtiyaç duyacaktır. Bu, özellikle sürekli öğrenen ve güncellenen, yanıtları ve doğrulukları açısından değişime tabi olacak olan YZ sistemleri için önemlidir. Aynı zamanda, uygulamalardaki değişikliklerden (örneğin, reçete edilen dozdaki ve fraksiyon başına dozdaki değişiklikler gibi) dolayı eğitim verilerinin etkinliğinin azalmasının değerlendirilmesi ve güncelleştirilmesi önemlidir bir konudur.

5.7. Yapay Zekâ Kullanıcılarının Eğitimi

Yayınlanan raporlara göre, YZ kullanıcılarına sistemin önemi, tuzakları ve olası hataları konusunda bir

eğitimin verilmesi şarttır. Görüntü ve tedavi aşamalarında verilecek bu eğitimlerde MF'lerin önemli bir yeri ve görevi vardır.

Özellikle medikal fizik derneklerine bu aşamada önemli görevler düşmektedir. Böylece, teknik personel, doktorlar ve diğer klinisyenler arasında YZ ile ilgili ortak bir dil sağlanmış olacaktır.

5.8. Yapay Zekâ

MF'ler genellikle aktif araştırmacılarıdır ve istatistik, matematik ve bilişim alanlarında da uzmanlığa sahip olmaları, onların YZ araştırmalarına katılmaları için uygun bir ortam sağlar. YZ'nın başarılı bir şekilde nasıl kullanılacağını anlamak ve YZ'nın klinik uygulamada kullanımını ve özelliklerini öğrenmek için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır. MF'ler öncelikli olarak, kendilerini ilgilendiren, veri doğrulama ve veri geliştirme alanlarında yapılan araştırmaların içinde yer almalıdır. Bu çalışmalar, çok kurumlu ve çok uluslu iş birliklerini gerekli kılmaktadır.

6. Sonuçlar,

YZ'nın, MF'lerin uzmanlık alanını genişletebileceği, hasta bakımını iyileştirmek için daha da fazla bilgi üretebileceği düşünülmektedir.

MF'ler, YZ devrimini memnuniyetle karşılamaya hazırdır.

Öte yandan, özellikle radyolojik bilimlerde YZ'nın güvenli ve optimal uygulanması için MF'lerin bilgi ve becerileri gerekli ve faydalı olacaktır ve multi-disipliner YZ ekibine katılımları çok önemlidir.

Yayına hazırlayan: Haluk Orhun

LONDRA'NIN İLK MR LINAK SERVİSİNİN HİZMETE ALIM VE İŞLEYİŞ SÜREÇLERİ HAKKINDA

PhD. Derya Yücel

GenesisCare

GenesisCare Avustralya merkezli olup, 4 ülkede ve yarısı onkoloji olmak üzere toplam 481 merkezde hizmet veren, dünyanın en büyük bütünleşmiş sağlık servisi sağlayıcısıdır. Medikal ve radyasyon onkolojisi, kalp hastalıkları, uyku problemleri ve cerrahi sorunlar hakkında en iyi çözümleri sunmayı amaçlayan kurumun değerleri Herkes İçin Empati, Her Gün Yenilik, İçeride ve Dışarıda Birliktelik, Yapacak Cesarete Sahip Olmak ve Daimî Bütünselliktir.

Onkoloji merkezleri Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 168, İngiltere'de 14, İspanya'da 19 ve Avustralya'da 40 olarak dağılmaktadır. İngiltere ve İspanya'daki her onkoloji merkezinde radyoterapi hizmeti bulunmaktayken, diğer ülkelerde bu oran yarı yarıyadır.

GenesisCare bünyesinde yer alan yaklaşık 200 tıbbi doğrusal hızlandırıcı (linak) içerisinde, üçer adet Elekta Unity (Avustralya ve İspanya) ve Viewray MRİdian (ABD ve İngiltere) manyetik rezonans linak (MRL)'da yer almaktadır. VisionRT, BrainLab ve 6 boyutlu tedavi masası gibi özel eklentiler, diğer konvansiyel linaklarda tedavi kalitesini arttırmak amacıyla, geniş çaplı olarak kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte, Stereotactic Radiosurgery (SRS) tedavisinde Elekta GamaKnife sistemleri de tercih edilmektedir.

GenesisCare, hizmet verdiği ülkelerde, birbirlerine bağlı ancak iç işleyişlerinde özerk yapılara ayrılmaktadır. Tüm cihaz ve lisanslar uluslararası düzeyde alınmakta ve projelere göre gerekli

merkezlere kurulmaktadır. Tüm standartlar genel bir çerçeve içerisinde benzer olmakla birlikte, ülkelerin kural ve işleyişlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, GenesisCare'in İngiltere ve Galler'de hizmet vermeye yetkin alt yapılanması olan GCUK, diğer ülkelerden farklı olarak, Care Quality Commission (CQC) tarafından katı bir şekilde denetlenen Ionising Radiation Medical Exposure Regulations (IRMER) ve The Ionising Radiations Regulations (IRR) gibi kanunlara harfiyen uymak zorundadır. (1,2,3)



**Şekil 1: GCUK Cromwell merkezinin bulunduğu
Cromwell Hospital, Londra, İngiltere**



**Şekil 2: GCUK Genel Müdürü Justin Hely ve Şef Medikal
Yöneticisi Dr. Eliot Sims GCUK Cromwell merkezinde**

İngiltere’de Radyoterapinin İşleyişi

İngiltere’de sağlık sistemi çalışanlar için 9 ana seviyeye bölünmüştür ve her bir meslek dalı yasal koruma altındadır. Kişi eğitim ve tecrübesine göre bu seviyelerin uygun olanından başlar ve dokuzuncu seviyeye doğru mümkün olduğunca ilerler. Bu sistem herkesin adil bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır.

Radyoterapi ekibinin eğitim, görev ve sorumlulukları IRMER ve IRR belgelerine göre kısaca şu şekilde tanımlanabilir:

1. Onkoloji Uzmanı: Hem ilaç hem de radyasyon tedavisinde yetkindirler. Sevk eden veya tedaviyi uygulayan olarak çalışabilirler. Tedavileri, hedefleri ve dozları ulusal ve yerel kurallara göre gerekçelendirmek mecburiyetindedirler ve standartlardan herhangi bir sapma yasal sorunlara yol açmaktadır.
2. Medikal Fizik Uzmanı (MPE): Ulusal Sağlık Konseyi (HCPC)’den Klinik Bilim İnsanı denkliği ile RPA2000 tarafından verilen MPE sertifikasına sahip olmak gerekmektedir. (4,5) MPE’nin onayı herhangi bir tedavi veya uygulama için şarttır. İşleyişin teknik sorumlularıdır.
3. Dozimetrist: Tedavi planlama üzerine uzmanlaşmış kişilerdir. Belirli bir eğitim ya da sertifikasyondan arındırılmış bir şekilde tecrübelerine göre istihdam edilirler. Planların tedavilerden önce başka bir tecrübeli dozimetrist veya MPE tarafından onaylanması gerekmektedir.
4. Radyoterapi Teknikeri: Tedavi ve hasta takibi konusunda kendi sorumluluğunda hareket

ederler. Eğitimleri üç yıldır ve kişinin tedavisiyle ilgili çoğu konuda yetkinlerdir. Hastaları bilgilendirmek, her türlü düzenlemeyi kontrol etmek ve tüm süreci yönetmek görevleri arasındadır. Tanı ve tedavi esnasında verilen bilgiler ve mevcut dokümanlar üzerinden, bir MPE katkısına gerek duymaksızın, hareket ederler.

Her bir ana dal aralarında herhangi bir hiyerarşi olmadan ve birbirlerine saygılı bir şekilde çalışırlar. Her bölümün görev ve sorumlulukları katidir. Herhangi bir anlaşmazlık durumunda, bağlı bulunan yönetici ile ortak toplantılar yapılarak çözüm aranmaktadır.

GCUK Cromwell ve Viewray MRIdian MRL

Avrupa’nın en iyi radyoterapi merkezi olmak hedefiyle £20m bütçe ayrılarak kurulan GCUK Cromwell, 40 yılı aşkıdır uluslararası büyük bir itibarla hizmet veren Cromwell Hospital’da yer almaktadır. Stereotactic Ablative Radiotherapy (SABR) ve SRS üzerine yoğunlaşan klinikte Viewray MRIdian (tüm güncellemeleri daima almaktadır), Varian Edge (ExactTrack, VisionRT, HyperArc ile) ve Elekta GamaKnife tedavi sistemleri bulunmaktadır. Klinik, ülkedeki en itibarlı doktorlarla iş birliği yaparak, yurt içi ve yurt dışı hastalarına mümkün olan en faydalı tedavileri sunmayı amaçlamaktadır.

Kurulumunda önderlik ettiğim ve klinik işleyişinden sorumlu olduğum GCUK Cromwell Viewray MRIdian MRL, bünyesinde 0.35 Tesla (T) düşük güç manyetik alan ile düzleştirici filtresiz 6 MV (FFF) foton demetlerini yarık bir bor düzeninde bir araya getiren yenilikçi bir cihazdır. Merkezinden 24 cm uzağa bir küre şeklinde uzanan başarılı bir MR görüntüsünü ikincil elektronların vücuttaki davranışlarını neredeyse

Tablo 1: Viewray MRIdian MRL Genel Özellikleri

MR	
Alan Gücü	0,35 T
Manyetik Kalkan	Pasif
Tip	Süper iletken
Görüş Alanı	50 cm
Görüntü Sekansları	True FISP (TRUFI), T1, T2, Navigated T1 & T2
LINAC	
Enerji	6 MV FFF
Dmaks	1,4 cm
Işın Kalitesi	0,648
Doz Hızı	600 MU/dk (1 cGy = 1 MU @ 90 cm SAD @ Dmaks 9,96x9,96 cm ² alan boyutu)
Nefes Takibi	Evet
Lif Sayısı	138 (çift sıra)
En dar tedavi alanı	0,2 cm x 0,415 cm
En geniş tedavi alanı	27,4 cm x 24,1 cm
Lif Hızı	4 cm/s
Lif Dizilimi	Baş-Ayak
Lif Genişliği	0,830 cm (kaydırmayla merkezde 0,415 cm)
Kolimatör Dönüşü	Hayır

etkilemeden sunmaktadır. Günlük tam adaptif tedaviyi, üç boyutlu masa hareketi ve saniyede 8 kare görüntü eşliğinde gerçek zamanlı hedef takibiyle birleştiren sistem, EGSnrc Monte Carlo (MC) algoritmasının tasarımcıları tarafından geliştirilen ve yüksek doğruluk ile hızı birleştiren bir MC hesaplama motorunu kullanmaktadır. Kaydırılmış iki sıra halinde bulunan çift odaklı çok yapraklı lifler (MLC) ihmal edilebilecek sızıntı miktarına sahiptir. Üretici firma tarafından paylaşılan detaylı özellikleri Tablo 1’de bulabilirsiniz.

Kurulum Tecrübemiz: Project Magnum

GCUK Cromwell merkezinin kurulumu üç aşamada

yapıldı ve yaklaşık 18 ay sürdü. Project Magnum adı verilen bu süreçte sırasıyla Elekta GamaKnife, Varian Edge ve MRIdian MRL sistemleri kuruldu ve hizmete alındı.

MRL özelinde, inşaat, kurulum, işletme ve tanıtım üzerine dört ana başlıkta yapılan toplantılar Haziran 2020’de başladı ve düzenli aralıklarla Eylül 2021’e dek devam etti. Her toplantıya ilgili mimarlar, mühendisler, saha çalışanları, firma temsilcileri, proje yöneticileri, proje sorumlulukları ve o konu ya da durumun uzmanları iştirak etti. Bütçe yönetimi ve tüm aksilikler de dâhil olmak üzere, her görüşmenin tutanakları ilgili tüm birimlerle açıkça paylaşıldı. Herkese söz hakkının verilmesi ve zaman çizelgelerine

sadık kalınması zor bir sürecin başarıyla tamamlanmasını sağladı.

Cromwell Hospital'da daha önce yer alan cihazların sökülmesi ve tedavi alanlarının yeniden şekillendirilmesi, proje süresini uzatmak pahasına, hastanenin ve kliniğin diğer bölümlerindeki tedavileri aksatmadan ve çevrede ikamet eden insanları rahatsız etmeden sürdürüldü. Cihazın Ocak 2021'de bölüme alınmasının ardından öncelikle manyetik alan düzeltmeleri yapıldı ve daha sonra Mart 2021'de cihazın kontrol süreçlerine geçildi.

Nisan ve Mayıs 2021'de sistemin hizmete alınması GCUK Servis Geliştirme ve Fizik bölümleri tarafından birlikte gerçekleştirildi. İngiltere Ulusal Birinci Laboratuvarı (NPL) ve Royal Surrey Hospital yetkilileri tarafından yapılan bağımsız denetim ve ölçümler ile sistemin güvenlik ve güvenilirliği başarıyla teyit edildi. (6)

Proje kapsamında Baş MRL Fizikçisi olarak atamam Temmuz 2020'de yapıldı ve Eylül 2020'de eğitimlerimize başladık. Salgın dolayısıyla iptal edilen ABD ve Avrupa seyahatlerinin yerine, hâlihazırda hizmete girmiş olan ve başarıyla yürütülen GCUK Oxford merkezinde bilfiil çalışma fırsatına sahip olduk. Altı ay boyunca haftada en az üç gün süren teorik ve pratik eğitimler, Viewray ve Henry Ford Hastanesi (ABD) tarafından sağlanan çevrimiçi ve yüz yüze derslerle desteklendi. Mart 2021'de Viewray ile yapılan hizmete alma çalışmaları esnasında kendi klinik cihazımız üzerinde son eğitimlerimizi de tamamlamış olduk.



Şekil 3: GCUK Cromwell Viewray MRL kurulum aşaması

GenesisCare'in eğitim ve dokümantasyonlara bu denli titizlikle eğilmesi hem şirket hem de ülke politikalarının bir sonucudur. Geçmiş tecrübe ve eğitimler kişiyi bulunduğu mevkiye taşıırken, ona hiçbir onay yetkisini vermemektedir. İlgili pozisyonun gerektirdiği her bir görev ve sorumluluğun yetkinlikleri teker teker elde edilmektedir. Bir şirkette benzer bir pozisyonda kazanılan yetkinlikler dahi, başka bir şirkette geçerli olamamaktadır. CQC denetimlerinin temelini sağlık ve güvenlik oluşturduğu için, tüm süreç temkinli ancak üst kalitede sürdürülmektedir.

Kurulum ve hizmete almanın birçok farklı ekibin kontrolünde gerçekleştirilmesi de benzer ilkelerin sonucudur. Bir ekip iki yetkin kişiden daha azını içermemekte ve aynı ekip hem veri toplama hem de süreç kontrolleri içerisinde bulunamamaktadır. GCUK Cromwell'de MRL verilerini bağımsız NPL toplarken, Fizik bölümü tarafından gerçekleştirilen hizmete alma ve uygunluğu denetleme testlerinde Servis Geliştirme bölümünün kalibre ettiği sistemler kullanılmaktadır.

GCUK Cromwell MRL: "Goes Live!" ve Tedavi Sürecinin İşleyişi

"Go Live!" projenin en başında tanımlanan ve çok önem atfedilen hizmete alma gününe verilen isimdir.

GCUK Cromwell MRL bölümü resmi olarak 24 Mayıs 2021 tarihinde hasta kabulüne başladı ve burada Eylül 2021 sonu itibarıyla 75 tam adaptif tedavi seansı gerçekleştirildi.

Bir hastanın kabulü ile tedavinin başlaması arasında geçen zaman ortalama olarak iki haftadır. Refere edilen her bir MRL hastası GenesisCare bünyesinde bulunan uzman doktorlar, MPE ve radyoterapi teknikerleri tarafından ortak komisyonlarda ele alınmaktadır. Hastanın tüm geçmiş verileri ülke ve kurum protokollerine göre incelendikten sonra, uygun vakalar gerekli kliniğe sevk edilir. Kliniğin yerel radyoterapi teknikerleri tarafından hastanın tüm bilgileri incelendikten ve hastayla telefonda görüşüldükten sonra, kişi MR ve Bilgisayarlı Tomografi (BT) simülasyonları için uygun gün ve saatte kliniğe davet edilir. Bu vakte kadar hastanın klinik ya da sistemden herhangi birisiyle yüz yüze görüşmesine gerek yoktur.



Şekil 4: GCUK Cromwell Viewray MRL Mayıs 2021’de tam olarak hizmete alındı

Simülasyon süresince en az iki radyoterapi teknikeri, bir dozimetrist ya da fizikçi ile bir onkolog hazır bulunmaktadır. Tedavi sürelerinin uzunluğu düşünülerek, en az sayıda sabitleme aracı kullanımı

esas alınmaktadır. Prostat dışındaki tüm vakalar nefes tutma tekniği kullanılarak simüle ve tedavi edildiğinden, nefesini gerekli miktar ve sürede tutamayan hastalar diğer SABR servislerinde değerlendirilebilmektedir. Tedavi planlama algoritmasına elektron yoğunluğunu sağlamak için alınan BT görüntüleri, MR simülasyonunun hemen akabinde, aynı sabitleme ve nefes yöntemleriyle, çekilmektedir.

Simülasyon ile ilk tedavi arasında 5 ile 7 iş gününün olması aranmaktadır. Hastanın sorumlu onkoloğu dozimetrist tarafından çizilen riskli organları doğrulamak ve hedef hacmi tayin etmekle yükümlüdür. Bu çizimler, rastgele atanan diğer bir onkolog tarafından denetlenmekte ve gerekli görülen noktalar karşılıklı görüşmeler ile düzenlenmektedir. Protokollere göre belirlenen marjlar ve doz kısıtlamalarını kullanan dozimetrist, tedavi planını çizimi yapan her iki doktora da gönderir. Fizikçi hastanın tüm tıbbi kayıtlarından başlayarak, çizimleri, izlenen yöntem ve protokolleri, tedavi planını ve kalite kontrollerini denetlemek ve uygulamakla sorumludur. Herhangi bir aksilikte, tedaviyi durdurma ve üst komisyonlara başvurma yetkinleri bulunmaktadır. Tüm onay sürecinden geçen plan, klinik radyoterapi teknikerlerinin önüne gelir ve tüm imzalar, formlar ve onamlar son kez gözden geçirilir.

Bir kişi onkolog, fizikçi ve dozimetristin imzaları olmadan tedaviye başlayamaz ve hiç kimse bir radyoterapi teknikerini tedaviyi istemediği bir şekilde sürdürmeye zorlayamaz. Tüm süreç açık ve şeffaf bir şekilde olmak mecburiyetindedir.

GCUK MRL tedavileri hem Cromwell hem de Oxford’da her fraksiyon için tam adaptif olarak

sürdürülmektedir. Bu, her hastanın her tedavisinde en az iki radyoterapi teknikeri, bir fizikçi ya da dozimetrist ile o gün görevli iki onkoloğun hazır bulunmasını gerektirmektedir. Tüm çizim ve hesaplamalar yeniden yapılırken, hasta giriş çıkışı 50 ile 90 dakika arasında sürebilmektedir. Tedavi sırasında fizikçi ya da dozimetrist "on-set checker" sıfatlı kontrol uzmanı olarak yer almakta ve her tedavide -çizim ve hesaplama sonraları olmak üzere- iki kez bağımsız denetleme yapmaktadır. Herkesin onaylamadığı hiçbir işlem uygulanmaz.

Görece uzun ve karmaşık ilerleyen bu radyoterapi süreci, hatasız ve üst kalitede tedavi imkânı sunmak için tasarlanmıştır ve istenildiği şekilde başarılı sonuçlar getirmektedir.



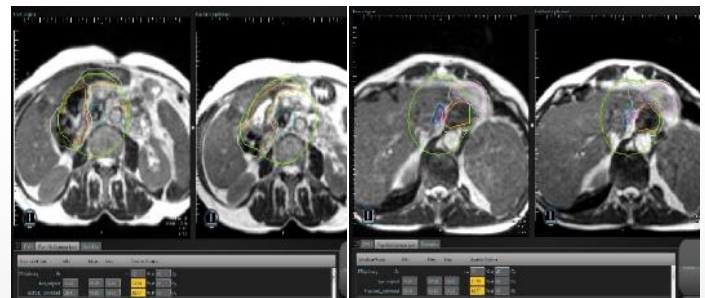
Şekil 5: GCUK Cromwell MRL tedavi süreçlerinde bir kare ve Gerçek Vaka Örneği

GCUK içerisinde tedavi edilen ve MRL teknolojisini faydalarını gösterebileceğimiz bir vakayı sizlere tanıtmak isterim (*Adam NASH'a teşekkürlerimle*).

80 yaşında Distal Cholangiocarcinoma tanısına ve yüksek PET tutulumuna sahip kadın hasta tek izomerkezde ve beş fraksiyonda hedef kitle 40 ve ayrı bir noktada bulunan gastrohepatic node 30 Gy alacak şekilde nefes tutma tekniğiyle tedavi edildi. Yüksek (hedef kitle ve marj) ve düşük (hedefin riskli organlarla kesişimleri) doz bölgeleri ve onları çevreleyen sağlıklı

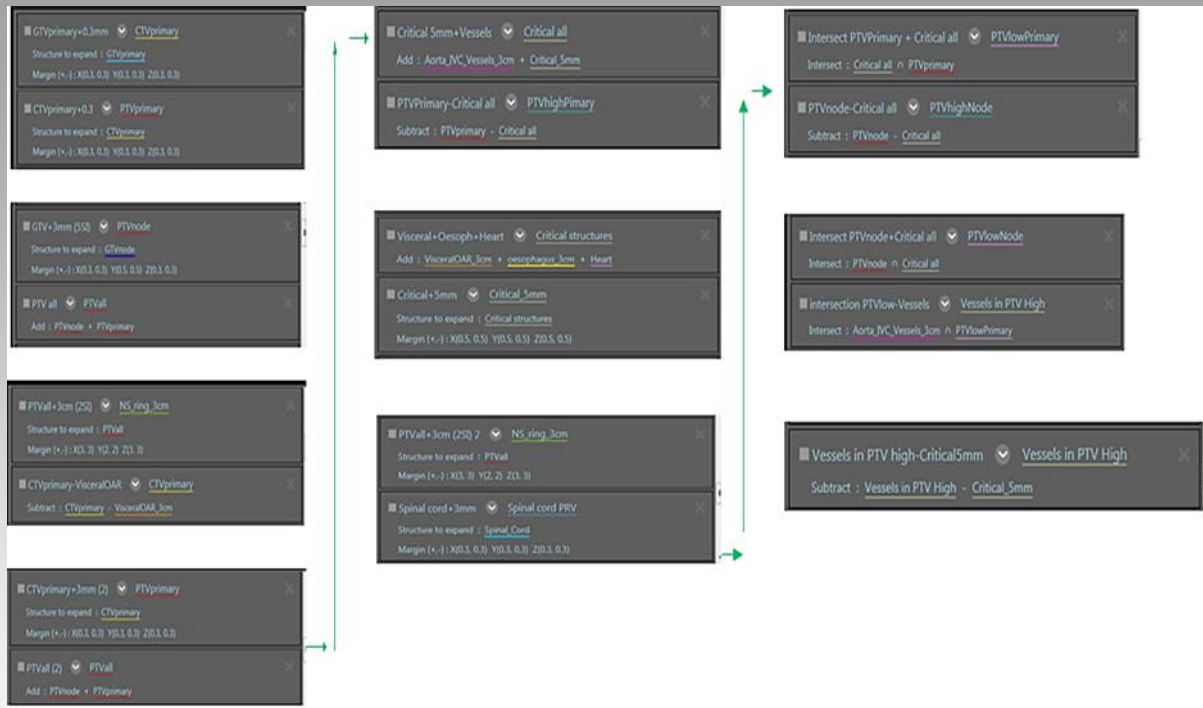
dokular, GCUK Abdo-SABR planlama yöntemi doğrultusunda, Şekil 6 ve 7'deki gibi, oluşturuldu.

Kullanılan yöntem ve çizimler belirli dokümanlara kaydedilmekte ve her tedavide o günkü doktor tarafından aslına uygun olacak şekilde düzenlenmektedir. Ana planlamada ilgili tüm organlar çizilmekte ancak sadece hedef hacmin üçer cm çevresindeki kesişimleri planlamaya dâhil edilmektedir. Hız ve doğruluğun bir karışımı olarak, adaptif tedavilerde ilgili riskli yapıların sadece hedefle üçer cm'lik kesişim bölümleri çizilmekte, çevre dokuların en az tolerans dozunun hedef doza oranının (örneğin %40 izodoz) bu hacimden çıkmamasına gayret edilmektedir. Tolerans dozu bu bölgeyi başka sınırlamalardan dolayı terk ederse, dozun olduğu bölge incelenmekte ve buna göre uygun karar verilmektedir.



Şekil 6: Her iki hedef ve çevreleyen sağlıklı dokuların MR görüntüsü üzerindeki çizimleri

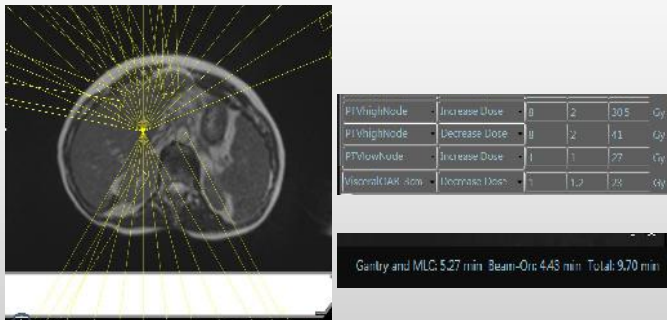
Tedavi planlamasında kullanılan ışınlar, optimizasyon değerlerinden bir kesit ve ana planın uygulama süresi Şekil 8'de gösterildiği gibidir. Hiçbir fraksiyonda birincil tedavi planlaması uygulanmadığı için, ana planın mümkün olduğunca esnetilebilir ve günlük değişimlere uyum gösterilebilir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Burada önemli olan, tedavinin her gün ana plandaki başarıyla uygulanabiliyor olmasıdır. Şekil 9'da ana planda elde edilen yüksek doz bölgeleri görülmektedir. Bu planın tedavi kontrolleri bağımsız



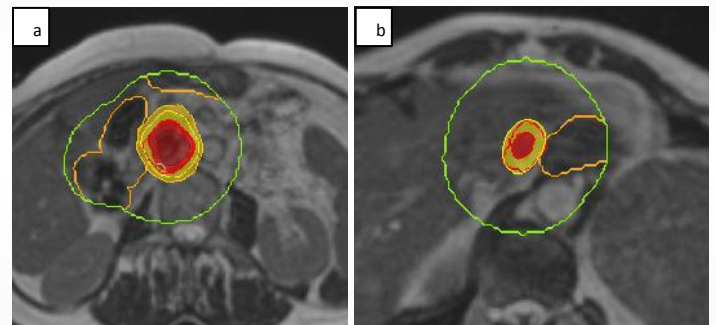
Şekil 7: Yapıların adaptif tedavilerde aynı kurallar çerçevesinde otomatik olarak işlenebilmesi için vakaya özel olarak oluşturulan kurallar bütünü

sistemlerle denetlenmektedir. Her tedavide yeniden çizilip hesaplanan adaptif tedaviler, sisteme gömülü ikincil hesaplama motorlarıyla doğrulanmaktadır.

Tedavilerin aslına uygun olarak gerçekleştirilmesi istatistiksel olarak incelenmektedir. Şekil 10'da çeşitli fraksiyonlardaki doz dağılımlarının uyumu gösterilmektedir.



Şekil 8: Ana tedavi planının parametreleri ve uygulama süresi



Şekil 9: a) Açık kırmızı renk 40 Gy b) Sarı renk 30 Gy hedef dozlarını göstermektedir.

Structure/Point	Min	Mean	Max	Dose to Volume		
PTVprimary Rx				>= 95	% at 40	Gy
Liver_original	24.82	47.08	56.83	91.74	% at 40	Gy
Fraction1_optimised	20.43	45.82	54.51	88.77	% at 40	Gy
PTVhighPrimary Rx				>= 98	% at 38	Gy
Liver_original	35.33	48.32	56.83	99.98	% at 38	Gy
Fraction1_optimised	36.15	47.41	54.51	99.81	% at 38	Gy
PTVprimary Rx				>= 95	% at 40	Gy
Liver_original	24.82	47.08	56.83	91.74	% at 40	Gy
Fraction2_Optimised	25.40	45.59	55.77	92.16	% at 40	Gy
PTVhighPrimary Rx				>= 98	% at 38	Gy
Liver_original	35.33	48.32	56.83	99.98	% at 38	Gy
Fraction2_Optimised	36.02	47.61	54.37	99.87	% at 38	Gy
PTVprimary Rx				>= 95	% at 40	Gy
Liver_original	24.82	47.08	56.83	91.74	% at 40	Gy
Fraction5_Optimised	28.18	45.84	53.85	92.81	% at 40	Gy
PTVhighPrimary Rx				>= 98	% at 38	Gy
Liver_original	35.33	48.32	56.83	99.98	% at 38	Gy
Fraction5_Optimised	34.86	46.75	51.45	99.78	% at 38	Gy

Şekil 10: Yukarıdan aşağıya: birinci, ikinci ve beşinci fraksiyonlardaki hedef hacim dozları

GCUK Cromwell MRL Ekibi ve Son Söz

İsim ve pozisyonlar orijinal şeklinde verilmiştir.

Lead MRL Physicist: Dr Derya YUCEL

Senior Dosimetrist: Hannah HARFORD-WRIGHT

Lead MRL Radiographer: Sara SHERGILL

Senior MRL Radiographer / Lead Radiographer: Elma SHAHI

Senior MRL Radiographer: Jade BASSETT

Senior MRL Radiographer: Alice JONES

Bu yapı aşağıda belirtilen kişilerin önderliğinde; başta GCUK Oxford MRL ekibi olmak üzere, çeşitli şirket içi ve dışı departmanlarla koordineli olarak çalışmaktadır.

Cromwell Centre Leader: Jane LYNCH

Head of Physics: Alex J. MORRIS

SABR Principle: Paul LAYCOCK

GenesisCare Cromwell olarak hedefimiz Avrupa'nın en iyi radyoterapi merkezi haline gelmek; kendimizi sürekli geliştirerek MR linak ve SABR tedavilerinde önderlik etmektir.

Kaynaklar

1. <https://www.cqc.org.uk/>
2. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/1322/contents/made>
3. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/1075/contents/made>
4. <https://www.hcpc-uk.org/standards/standards-of-proficiency/clinical-scientists/>
5. <http://www.rpa2000.org.uk/mpe-recognition-scheme/>
6. <https://www.npl.co.uk/products-services/>

[radiotherapy-diagnostic/radiotherapy-dosimetry-audits](#)



Derya Yücel, PhD

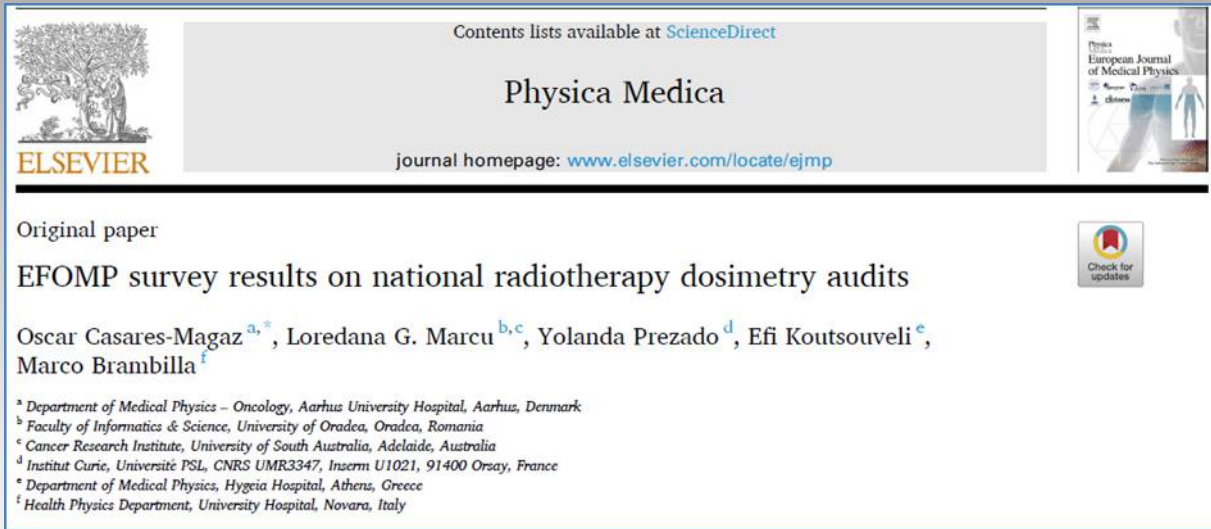
derya.yucel@gmail.com

1986 İstanbul doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. Uludağ Ünv. Fizik lisans, Gent Ünv. Erasmus/Socrates, İstanbul Üniversitesi Sağlık Fiziği

yüksek lisans ve doktora derecelerine sahiptir. Çeşitli Varian, Elekta, Zeiss, UJP ve Viewray sistemlerinin kurulum ve işletilmesinde görev almıştır. Türkiye ve Gürcistan tecrübelerinin ardından yaşamını İngiltere'de sürdürmektedir. Kendisine kattıklarından dolayı sayın Prof. Dr. Hatice Bilge Becerir, sayın Doç. Dr. Aydın Çakır ve sayın Dr. Salih Gürdallı'ya her zaman müteşekkir kalacaktır.

ULUSAL RADYOTERAPİ DOZİMETRİ DENETİMLERİNE İLİŞKİN

EFOMP ANKET SONUÇLARI



Öğr.Gör. (PhD Cand.) Duygu Tunçman

Editörün Notu: Bu yazı "EFOMP survey results on national radiotherapy dosimetry audits" başlıklı makalenin özet tercümesidir.

Özet

AMAÇ: 2013/58/EURATOM Konsey Direktifi 2014 yılında yürürlüğe girmiş ve ulusal mevzuata aktarımı 2018 yılında uygulanabilir hale gelmiştir. 2013/58/EURATOM Konsey Direktifi klinik denetimlerin önemini güçlendirerek üye devletlerin ulusal prosedürlere uygun olarak dozimetri denetimine uygunluğunu sağlamaları gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, Avrupa ülkelerinde dozimetri denetimlerinin uygulanma durumunu resmetmektir.

METOT: Avrupa ülkelerinde Radyoterapide dozimetri denetim standartlarını tanımlamak için bir anket tasarlanmıştır. Anket 33 Avrupa Medikal Fizik Örgütleri Federasyonu (**The** European Federation of Organisations for Medical Physics – EFOMP) Ulusal

Üye Kuruluşuna (National Member Organizations-NMO) gönderilmiştir.

SONUÇ: Ankete 19 NMO katıldı (14 Avrupa Birliği (AB) üyesi). Katılımcı ülkelerin %58'i için ulusal yönetmelikler Radyoterapi departmanlarında dozimetri denetimlerini gerektiriyordu. Katılımcı ülkelerin %37'sinde bağımsız/ikincil doz doğrulaması için uygulanan düzenlemeler vardı ve katılımcı ülkelerin %21'inde, kanunla düzenlenmediği halde doz doğrulaması için benzer prosedürler hâlihazırda bulunmaktadır. Katılımcı ülkelerin %42'sinde Radyoterapi alanındaki güncellemeleri ve ilerlemeleri gözden geçirmek için uygulanan mekanizmalar vardı. 2013/59/EURATOM Konsey Direktifinin iç hukuka aktarılması ve daha fazla uygulanması yetersizdi ve bu da dozimetri denetimleriyle ilgili ulusal politikalarda heterojenliğe yol açtı.

Giriş

2013/58/EURATOM Konsey Direktifi 2014 yılında yürürlüğe girmiş ve ulusal mevzuata aktarımı 2018 yılında uygulanabilir hale gelmiştir. ¹ 2013/58/EURATOM Konsey Direktifi klinik denetimlerin

önemini güçlendirerek üye devletlerin ulusal prosedürlere uygun olarak dozimetri denetimine uygunluğunu sağlamaları gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, Avrupa ülkelerinde dozimetri denetimlerinin uygulanma durumunu resmetmektir. Dozimetri denetimleri, Radyoterapide (RT) hasta güvenliğini sağlamak için uygulanan çeşitli önlemlerden biridir. Uluslararası klinik araştırmalarda, birçok klinik araştırma kuruluşu araştırmaya katılım için yakın zamanda bir dozimetri denetimi yapılmasını istemektedir. Bu nedenle doğru dozimetri kalite güvencesi (QA) ve kalite kontrol (QC), önemi iki katına çıkmaktadır.² Dış denetim yapmak pahalıdır ve özel zaman ve çaba ister; bazı ülkelerde temel güvenlik standartları, değişen gereksinimler düzenli denetimleri zorunlu kılar. Bu nedenle, uluslararası bir klinik araştırmadaki tüm merkezler için denetim belgelerini elde etmek her zaman kolay değildir ve uygulama şekli ve sıklığı bakımından heterojendir. Düzenlemedeki heterojenlik ise basit bir durumu geciktirme ve kurumlar için ekstra maliyete sebep olarak hasta için denemelere erişimde bir engel haline getirir. İç denetim; bu konuda iyi bir başlangıç noktası olabilir ancak yine de merkezi bir ulusal/dış denetim programı oluşturulmalıdır. Avrupa düzeyindeki genel izlenim, Konsey Direktifinin ulusal mevzuata aktarılması sürecinde klinik denetimlerin uygulanmasının genel olarak ülkeler tarafından gerçekleştirilmediği ve bundan dolayı denetimlerle istenmeyen bir örtüşme olabileceği yönündeydi. Ayrıca, Medikal Fizikçinin klinik denetimlerdeki rolünün de tespit edilmesi gerekiyordu. Bu çalışma özellikle, tıpkı AB ülkelerinin 2013/59/EURATOM Konsey Direktifini uygulamak için farklı adımlar atmış olması gibi, EFOMP üye ülkelerinde RT ekipmanına

ilişkin periyodik QA ve QC için düzenlemelere ve uygulamalara genel bir bakış sunmayı amaçlamıştır.¹

EFOMP'nin ana hedeflerinden biri, Avrupa'daki en iyi Medikal Fizik uygulamalarını uyumlu hale getirmek ve teşvik etmektir. Bu paradigma altında, EFOMP, Medikal fizikçilerin yüksek düzeyde yetkinliğe ve görev ve sorumlulukların net bir tanımına sahip olduğu 5 Aralık 2013 tarih ve 2013/59/EURATOM Konsey Direktifinin gerekliliklerini desteklemektedir.¹ EFOMP ayrıca Konsey Direktifinin Medikal fizik uzmanlarının yetkili makamlar tarafından tanındığına dair beyanını da desteklemektedir.

Yöntem

Anket, AB ülkelerindeki dozimetrik QA ve periyodik dozimetrik kontroller için RT 'deki genel denetim standartlarını açıklamak üzere ortaklaşa tasarlanmıştır. Bu nedenle, dozimetrik QA için denetim gereklilikleri ve klinik araştırmalara kaydolmak için gereken nitelikler hakkında 10 genel soru ankete dahil edilerek 2019 yılının Kasım ayında 33 NMO Başkanlarına ve EFOMP delegelerine gönderildi ve bu süre zarfında iki haftada bir hatırlatmalar gönderildi (anket gönderildiği ve yanıtlandığı dönem, 33 NMO EFOMP'nin bir parçasıydı). Anketlerden gelen sonuçlar Aralık 2019- Mart 2020 döneminde toplanmıştır. Ayrıca, Mart 2020'de, bekleyen yanıtları toplamak için nihai bireysel talepler de gönderildi. Anketlerden gelen tüm cevaplar açık kaynaklı web tabanlı uygulama olan Wufoo platformu aracılığıyla toplanmıştır.

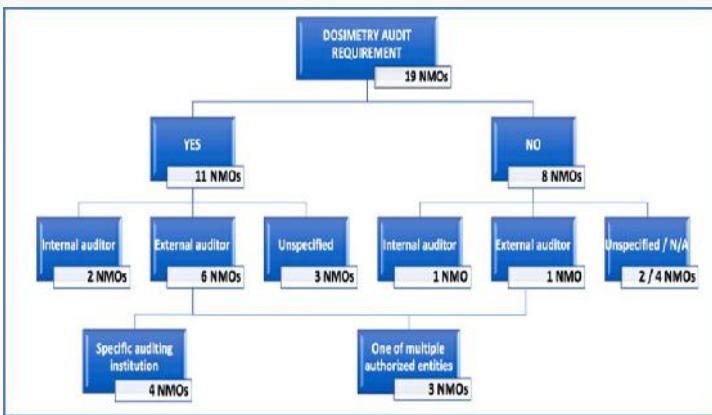
Bulgular

Gönderilen ankete 33 EFOMP NMO'sundan 19'unun üyesi yanıt verdi ((%58 yanıt oranı, 14 AB üyesi (%54) vs. 5 AB üyesi olmayan üye (%46)). Ankete katılan her

ülke ile ilgili veriler gizli tutulmuş ve bu anketin sonuçlarıyla birlikte açıklanmamıştır.

Radyoterapi ve Denetçi Tipi için Periyodik Dozimetri Denetimlerinin Gerekliklikleri

Anketin ilk bölümünde, Avrupa genelinde RT departmanları için periyodik dozimetri denetimlerinin gerekliklikleri, denetimi ulusal yasalara göre gerçekleştiren kuruluş (denetçi) ve denetçinin kaynağı (dahili/harici) hakkında sorular soruldu. Ankete katılan ülkelerin %58'inde (11/19 NMO'lar, 9 AB üyesi ve 2 AB üyesi olmayan) ulusal düzenlemeler ile RT departmanlarında yapılması gereken düzenli dozimetri denetimleri gereklidir (Şek. 1).



Şekil 1. NMO'ların yanıtlarına göre dozimetri denetim gereksinimleri

Bu ülkelerde, yasa gereği denetimin bir iç denetçi tarafından gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Örn. hastanenin Medikal Fizik Bölümü (3 NMO) veya harici bir denetçi (7 NMO) tarafından ya bu işlemleri yapmaya yetkili belirli bir denetim kuruluşu (Ulusal Kanser Merkezi veya Ulusal Atom Enerjisi Ajansı gibi) tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu kuruluşlar ülkeler arasında farklılık göstermektedir, ancak bunlar çoğunlukla yerel meslek kuruluşu aracılığıyla yetkili makam tarafından yetkilendirilen harici Medikal Fizik Uzmanlarıdır. Düzenli dozimetri uygulayan ülkelerin %

42'si arasında denetimler ulusal düzeyde düzenlenmemiştir (8/19 NMO, 5 AB üyesi ve 3 AB üyesi olmayan üye). Bir üye devlet denetimin bir dış denetçi tarafından, bir tanesi- bir iç denetçi tarafından yürütüldüğünü bildirirken, diğerleri rapor edilmiştir. Denetimin türü ya kanunla belirlenmelidir ya da gerekli asgari sertifikaya sahip herhangi biri tarafından yapılabilir.

Denetimin Geçerliliği için İzlenecek Parametre ve Prosedürler

Anket ayrıca, denetimin geçerliliği için izlenecek herhangi bir parametre ve prosedürün (ulusal mevzuat veya ulusal Medikal Fizik Dernekleri veya eşdeğer kuruluşlar tarafından oluşturulan) varlığını belirlemeyi amaçladı. Sonuçları değerlendiren veya doğrulayan ayrı bir üçüncü kuruluşun varlığı durumunda, NMO'lardan kimliğini belirtmeleri istendi.

Ulusal düzenlemelerin düzenli olmasını gerektirdiğini bildiren 11 NMO'dan RT departmanları için dozimetri denetimleri, 5 denetimin geçerli olması için izlenecek köklü prosedürlerin bulunduğunu belirtti. Bu prosedürler ya ulusal mevzuat (2 NMO), Ulusal Medikal Fizik birliği (1 NMO) ya da akredite dış denetçiler (2 NMO) tarafından belirlendi. Çoğu durumda, kalite kontrollerini yürüten aynı kuruluş aynı zamanda analizi de üretir ve doğrulama/geçersiz kılma ile devam eder.

Hastaları Tedavi Etmek için Kredilenmiş Departmanlar için Dozimetri Standartları

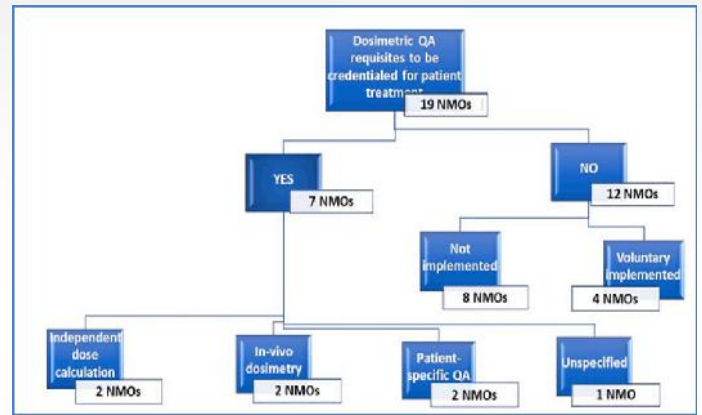
Anketin son kısmı, hastaları tedavi etmek için temel referans dozimetri gereksinimleri, sıklığı ve özel enstrümantasyona odaklandı. Genel olarak, her zaman ulusal mevzuat tarafından düzenlenmese de yanıt veren tüm ülkeler, ulusal veya uluslararası yönergeleri

izleyerek dozimetri prosedürlerini uygulamıştır.⁴⁻⁶ Gerekli QA sıklıkları ve enstrümantasyon ile ilgili düzenlemeler ülkeler içinde ve ülkeler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Birkaç ülkede, prosedürlerin enstrümantasyonunu ve sıklığını da belirtmesi gereken bir QA Programı onay için Sağlık Otoritesine sunulmalıdır. RT bölümlerindeki referans dozimetri prosedürleri ve periyodik dozimetri ile ilgili NMO'lar arasında ortak cevaplar bulundu. Kontroller:

- RT tesisinin ilk klinik kullanımından önce bir kalite denetimi yapılmalıdır. (Kaynak kalibrasyonunun bağımsız karşılaştırması).
- Kabul testi ve sabitlik testi uluslararası standartlara uygun gerçekleştirilmelidir:
- Referans dozimetrik prosedürler genellikle uluslararası dozimetrik protokollere (IAEA, AAPM) göre tanımlanmalıdır^[4-6].
- Mutlak doz ölçümleri için her iki yılda bir uluslararası/yerel olarak uyarlanmış protokoller tarafından önerilen enstrümantasyon kullanılmalı ve kalibre edilmelidir. Dozimetrik ekipman metrolojik olarak Ulusal Dozimetri laboratuvarı tarafından sağlanan ulusal standarda göre izlenebilir olmalıdır.

Daha spesifik olarak, katılımcı ülkelerin %63'ünde (12/19 NMO'lar, 7 AB üyesine karşı 5 AB üyesi olmayan) minimum dozimetrik QA gerekliliklerini veya kullanılacak gerekli enstrümantasyonu düzenleyen hiçbir mekanizma yoktur. Katılımcı ülkelerin %37'sinde (7/19 NMO'lar, tüm AB üyeleri) bağımsız/ikincil doz doğrulaması için uygulanan düzenlemeler vardır: iki ülke zorunlu bağımsız doz hesaplamasını, iki ülke zorunlu in vivo dozimetrisini, iki ülke zorunlu tedavi öncesi hacimsel doz ölçümlerini bildirdi, bir ülke

uluslararası standartlara göre hastaya özel QA bildirdi. Ankete katılan dört ülkede (4 NMO) benzer prosedürler, yetkili makamlar tarafından düzenlenmediği ve Medikal fizik uzmanlarının takdirine bağlı olduğu halde halihazırda uygulanmıştır (Şekil 2). Katılımcı ülkelerin %58'i için (11/19 NMO'lar, 7 AB üyesi 4 AB üyesi olmayan üyeye karşı) teknolojik yenilikleri düzenli olarak güncelleyen bir mekanizma yoktur. Katılımcı ülkelerin %42'si için (8/19 NMO, 7 AB üyesine karşı 1 AB üyesi olmayan) RT alanındaki güncellemeleri ve ilerlemeleri gözden geçirmek için uygulanan prosedürler vardır.



Şekil 2. NMO'nun hastaları tedavi etmek için sertifikalandırılacak dozimetri QA gereksinimlerine verdiği yanıtlar

Klinik Araştırmalara Katılmak için Özel Gereksinimler

Genel olarak, klinik çalışmalara katılım için özel bir düzenleme yoktur. Katılımcı ülkelerin %37'sinde (7/19 NMO, 3 AB üyesine karşı 4 AB üyesi olmayan) CEE işaretli Tedavi Planlama Sistemi (TPS) kullanmak zorunlu değilken %58'inde (11/19 NMO, 10 AB üyesine karşı 1 AB üyesi olmayan) klinik araştırmalara katılmadan bağımsız olarak CEE işaretli TPS kullanmanın her zaman zorunlu olduğu sonucuna ulaşıldı. Bir NMO (AB üyesi) bu soruyu

tamamlamamıştır.

İkinci olarak, katılımcı ülkelerin %42'si (8 NMO), TPS/ doz hesaplama doğrulamasının, tipik olarak satıcı doğrulama testleri ve/veya uluslararası yönergeleri takip ederek kabul sırasında TPS'nin devreye alınmasıyla bağlantılı olduğunu bildirmiştir. ^[4-7] Son olarak, katılımcı ülkelerin %84'ü (16 NMO, 11 AB üyesine karşı 5 AB üyesi olmayan üye) hiçbir özel yasal gereklilik olmadığını bildirdi. Yetkili makam tarafından RT'de klinik araştırma yapılması istendi. Buna karşılık katılımcı ülkelerin %16'sı (2 NMO, AB üyeler) klinik araştırma yapmak için özel yasal gerekliliklerin gerekli olduğunu bildirdi.

Tartışma

Dozimetri denetimleri, RT'de hasta güvenliğini sağlamak için uygulanan temel ölçümlerden biridir. 2013/59/EURATOM Konsey Direktifi, dozimetrik denetimlerin rolünü vurgulamış ve ulusal prosedürlere göre uygulamaları için talimatlar vermiştir. Bu nedenle, Avrupa ülkelerinde dozimetrik denetimlerin uygulanmasındaki farklılıklar, klinik araştırmalara katılım için dozimetrik denetim gerekliliklerini ve Avrupa ülkelerinde klinik uygulamanın uyumlaştırılmasını arayan EFOMP için önemli bir ilgi noktası haline geldi. Bu anket, Avrupa'da dozimetrik denetimler için gereksinimlerdeki farklılıkları göstermeye hizmet etmiştir. Genel olarak, bu araştırma, RT departmanlarındaki dozimetrik denetimlerle ilgili ulusal politikalarda önemli bir heterojenlik olduğunu kanıtlamıştır. 2013/59/EURATOM Konsey direktifinin ulusal mevzuata aktarılması 2018 yılında uygulanabilir hale gelmesine rağmen, 2019 yılı sonunda dozimetrik denetimler ankete katılan ülkelerin sadece %58'inde

uygulanmıştır. Avrupa Radyoloji Departmanları ve ulusal radyoloji toplulukları arasında Avrupa Radyoloji Derneği (ESR) tarafından yürütülen son araştırmalar, Temel Güvenlik Standardı Direktifi (BSSD) uyumluluğunun, klinik denetim/yeniden denetim süreçlerinin entegrasyonunun ve dış denetim ağlarının gelişiminin devam ettiğini doğrulamıştır. Madde 58(e) ile teşvik edilen 2013/59/EURATOM Konsey Direktifinin ulusal mevzuata aktarılması neredeyse tamamlanmış olmasına rağmen, tüm tıbbi radyolojik prosedürler için klinik denetimlerin oluşturulması çok azdır. Mevcut araştırma, 18 AB üyesinden sadece 9'unun, ulusal mevzuatın RT departmanlarında düzenli dozimetri denetimleri yapılmasını gerektirdiğini doğruladığını kanıtlamıştır. Nitekim, BSSD'nin aktarım öncesi döneminde bir ihalede gerçekleştirilen ve Avrupa Komisyonu tarafından EFOMP, ESR ve Avrupa Radyograf Dernekleri Federasyonu (EFRS) tarafından oluşturulan bir konsorsiyuma verilen bir çalışma, üye devletlerin radyolojik uygulamalarda klinik denetimin uygulanmasında zorluklar yaşamaya devam ettiğini göstermiştir. General for Energy, Ocak 2020'de başlayan konsorsiyum ortakları olarak Avrupa Nükleer Tıp Derneği (EANM) ve Avrupa Radyoterapi ve Onkoloji Derneği (ESTRO) ile birlikte Avrupa Radyoloji Derneği tarafından yönetilen QuADRANT projesini finanse etmektedir. QuADRANT, AB üye ülkelerinde klinik denetimin uygulanma durumunu gözden geçirmeyi, daha geniş kullanımını ve Halihazırda mevcut olanların yanında rehberlik ve tavsiyeler geliştirilmesini sağlamaktadır.⁸ QuADRANT, aşağıdakileri içeren çalışma paketlerine ayrılmıştır: 1) Aralık 2020'de bir dizi web semineri olarak yürütülen radyoloji, radyoterapi ve nükleer tıp uygulamalarının

klirik denetimi üzerine bir çalıştayın düzenlenmesi; 2) Üye devletlerde halen devam etmekte olan klinik denetim uygulamasına ilişkin bir anket, 3) Üye devletlerin 2021'de planlanan sonuçlarını sunmak için bir çalıştayın düzenlenmesi ve 4) İçinde yayınlanması gereken tavsiyelerin hazırlanması. Projenin tamamlanması için şartlar (30 ay). EFOMP, projelerin yönetiminde doğrudan yer almasa da Yönetim Kurulunda üç Medikal Fizik Uzmanı ataması istenmiştir.

2005-2019 yılları arasında 96 misyon (Avrupa'da 38) organize eden Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (QUATRO) tarafından kurulan radyoterapi uygulamalarının denetim programı ve o zamandan beri düzenlenen Radyoterapi merkezleri için doz denetimleri bu alandaki diğer uluslararası girişimlerdir. EFOMP, yalnızca çok paydaşlı bir yaklaşımın klinik ortamda denetim kültürünü teşvik etmede başarılıdır. Bir klinik araştırma organizasyonunun bakış açısından, bu çalışmada gözlemlenen heterojenlikler tarihsel bir perspektife oturtulabilir: EORTC tarafından postalanan dozimetri programı sonuçları geçmişte, > %3'lük doz sapmalarının çoğunluğunun kendilerini kanıtlamayan kurumlarda olduğunu göstermiştir. Daha da önemlisi, ışın çıkışındaki küçük sapmaların %8'e varan tümör kontrol olasılık kayıplarına ve %22'ye varan hafif-orta morbidite artışına yol açabileceği sonucuna varıldı.⁹

Bu tür varyasyonlar, RT klinik deneylerinde, tüm deneyi devre dışı bırakma potansiyeline sahip, kabul edilemez ve daha da önemlisi önlenabilir bir varyasyon kaynağını temsil edecektir. Büyük, çok merkezli uluslararası denemeler, AB ve EFOMP üyeleri arasında dozimetri denetimlerine yönelik daha

uyumlu bir yaklaşımdan büyük ölçüde fayda sağlayacaktır. Aksine, ankette önemli bir homojenlik unsuru Medikal Fizik Uzmanlarının hem iç hem de dış denetimlere katılımındaki rolüdür. 013/59/EURATOM Konsey Direktifinin medikal fizikçilere RT tedavisinin dozimetrik yönlerinden tek sorumlu olarak atfettiği rol nedeniyle bu biraz bekleniyordu. Ek olarak, Medikal Fizikçilerin rolünü daha fazla değerlendirmek, Medikal Fizikçinin klinik araştırmalardaki rolünün tüm mevcut ve gelişmekte olan alanlarını kapsamak ve Ulusal Üye Kuruluşlardan gelen herhangi bir kılavuzu tamamlamak için EFOMP bünyesinde bir çalışma grubu oluşturulmuştur. EFOMP, bir yanda QuADRANT projesinin yönetim kurulunda Medikal Fizik Uzmanlarının katılımıyla, diğer yanda ESTRO ile ortaklaşa olarak Medikal Fizik Uzmanları için Radyoterapi ana müfredatını güncelleyerek ve Ulusal düzeyde Medikal Fizik Uzmanı tanınması için Ulusal Kayıt Programları geliştirmektedir.¹⁰

Sonuç

2013/59/EURATOM Konsey Direktifinin ulusal mevzuat yoluyla aktarılması ve daha fazla uygulanması, RT'de dozimetrik denetimlerle ilgili ulusal politikalarda heterojenliğe yol açmaktadır

Kaynaklar

1. European Parliament. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/ Euratom, 96/29/ Euratom, 97/43/Euratom a. Off J Eur Commun L13 2014:1–73.
2. Melidis C, Bosch WR, Izewska J, Fidarova E,

- Zubizarreta E, Ulin K, et al. Global harmonization of quality assurance naming conventions in radiation therapy clinical trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2014;90:1242–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2014.08.348>.
3. Melidis C, Bosch WR, Izewska J, Fidarova E, Zubizarreta E, Ulin K, et al. Global harmonization of quality assurance naming conventions in radiation therapy clinical trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2014;90:1242–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2014.08.348>.
4. IAEA. Quality Assurance in Radiotherapy. IAEA TECDOC No. 989. 1998. <https://www.iaea.org/publications/5644/quality-assurance-in-radiotherapy> (Erişim tarihi: 08.09.2021).
5. IAEA. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. Technical Reports Series No. 398. 2000. <https://www.iaea.org/publications/5954/absorbeddose-determination-in-external-beam-radiotherapy> (Erişim tarihi: 08.09.2021).
6. Almond PR, Biggs PJ, Coursey BM, Hanson WF, Huq MS, Nath R, et al. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 1999;26:1847–70.
7. Fraass B, Doppke K, Hunt M, Kutcher G, Starkschall G, Stern R, et al. AAPM's TG-53 quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys* 1998;25:1773–829.
8. IAEA. Quality Management Audits in Nuclear Medicine Practices 2015. <https://www.iaea.org/publications/10714/quality-management-audits-in-nuclearmedicine-practices> (Erişim tarihi:

08.09.2021).

9. Weber DC, Tomsej M, Melidis C, Hurkmans CW. QA makes a clinical trial stronger: evidence-based medicine in radiation therapy. *Radiother Oncol* 2012;105:4–8.
10. EFOMP: European Federation of Organizations for Medical Physics. <https://efomp.org/> (Erişim tarihi: 08.09.2021).



**Öğr. Gör. (PhD Cand.)
Duygu Tunçman**

1992 yılında doğan Duygu Tunçman, 2014 yılında İstanbul Üniversitesi Fizik bölümünü bölüm 2.liği ile bitirmiş, 2016 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Tezli Yüksek Lisans bölümünü, 2018 yılında İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Tezli Yüksek Lisansını tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik programında doktora eğitimine başlamış olup, 2021 yılında doktora yeterliliğini almıştır. 2016- 2020 yılları arasında Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Radyoterapi Programında görev alan Duygu Tunçman, 2020 yılı Kasım ayından itibaren İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Sağlık Hizmetleri MYO, Radyoterapi programında görev yapmaktadır.

YAPAY ZEKA ve ALGORİTMALARI YOLCULUĞU

Prof. Dr. Ş. Bilge Gürsel

"Sonsuza dek yaşayacakmış gibi öğren." - Mahatma Gandhi

Neredeyse hepimizin ilgisini uyandıran ve nasıl öğrenirim diye merak duyduğu yapay zekâ ve algoritmaları konusuna benim de ilgim yaklaşık 3-4 yıl önce başladı. Epey etrafında dolaştım. Öğrenmeyi oldum olası severim. Lise yıllığımda dahi yazar, "Bulduğu her kursa gider ve sokaktaki kedileri toplar" diye. Yıllar geçti sokaktan alıp kızlarıma sahiplendirdiğim iki kedimiz var ve bırakın kursa gitmeyi, ben şimdi yeniden üniversite okuyorum. Bilgisayar mühendisliği son öğrencisiyim an itibarıyla. Neden üniversite? Aslında öncesinde Udeym'in birkaç kursu, Sololearn Python, Altın kariyer yapay zekâ eğitici eğitmenliği sertifikası (200 saat) gibi programları başladım ve bitirdim. Bir şeyler bitirdikçe aslında ne çok şey öğrendim diyemedim ne çok şey bilmiyormuşuma geldi olay. Yapay zekâ deyince sıklıkla karşımıza çıkan, kodlama oluyor ama işin aslını ve mutfağını ise yapay zekâ algoritması ve matematiği, mantığı oluşturuyor. Böylece yapay zekânın temelini oluşturduğunu düşündüğüm ayrık matematik, algoritma, sayısal tasarım ve hatta bilgisayarın tarihçesine kadar merak saldım.

Hepimizin içinde aslında merakla beraber bir de güvensizlik belirsizlik oluşturuyor ismindeki "Yapay" kelimesi ve uygulamadaki "Black Box". İçeriğini ve algoritmasını anlamaya çalışmadan, hâkim olmadan "sadece uygulayıcı" olmak, bizler gibi kılı kırk yaran ve insan hayatı üstünde çalışan kişiler için o kadar da basit değil.

Öyle olunca biraz daha detaya gitmektense temeline

gitmek oldu benim yolum. Tavsiye eder miyim diye sorarsanız, ilgi merak meselesi. İlginizi çeker belki diye biraz okuldan bahsedeyim. Uzaktan eğitim veren 4 yıllık üniversite bazında ve üniversite sınavı ile alan tek yer ben yerleştiğimde Ahmet Yesevi Türk Kazak Üniversitesi'di. Sanırım hala da öyle. Dönemlik eğitim ücreti çoğu kurstan ucuz. 2 500 TL. Babam Kıbrıs Gazisi olduğu için bir de %50 indirim ve üstüne 3.5 üzeri ortalama sayesinde +%30 indirim ile ücret oldukça cüzi bir rakama geliyor J. Giriş yılındaki ücret sonradan artmıyor. Bu ücretle üniversite eğitimi almak da tabii ki bana cazip geldi. Düşünürseniz sizlerin kazanmaması mümkün değil, havada karada fizik ve matematik sorularını yaparsınız ve yerleşirsiniz. Türkiye'nin dört bir yerinden %80'i üniversite mezunu, ikinci üniversiteleri olarak okuyan kişilerden oluşan bir sınıfız. En yakın arkadaşlarımdan biri Mersin de çalışan ODTÜ fizik mezunu. Yaş ortalamamız tahmini 35-40. Bir de alaylı olarak zaten bilgisayar kurdu olup, diplomasını da almak için okuyanlar var. Yepyeni bir grupla, arkadaşlarla tanışmak da bu işin cabası ve gerçekten insana enerji veriyor. Akşam dersleri sonrası gece 1-2 ya kadar chatte yazışıp güldüğümüz, yorumlar yaptığımız sayısız günlerimiz olmuştur. Hafta içi akşamları 1 ile 3 arası dersimiz oluyor. Dersler online, hocalar değişik üniversitelerden anlaşmalı hocalar, genellikle Gazi Üniversitesi olmak üzere, Samsun, İnönü, Ege Üniversiteleri de vardı. Hocalar sıklıkla çok anlayışlı ve ekrandan online ders sırasında yazarak hocaya soru sorabiliyoruz veya onun sorularını yanıtlatabiliyoruz. Sunumlar, ek kaynaklar ve içerik bilgisi offline olarak her daim ulaşılabilir. Dönem ödevleri, ders katılım oranı, vize ve final

notları bileşiminden ders geçme notu oluşuyor ve daha önce bir üniversite mezunu kişi gayret ederse 3 yılda bitirebiliyor.

Sonuçta bu alan derya deniz, konuda lisans, yüksek lisans, doktora yapan veya çekirdekten yetişen birçok becerikli insan var. Tabii ki onlardan biri olmam mümkün değil ama bu platform bana bu grup insanların bir kısmı ile bir arada olmak ve tıbbi terminoloji gibi onların terminolojisini (bir miktarda olsa!) anlamamı sağladı. İlgi duyduğun bir alanda keyifle öğrenmek de cabası...

MedFiz@Online dergisini severek okuyorum. Haluk Orhun hocamızın bu yazı teklifi beni fazlasıyla gururlandırdı, güzel uğraşları için teşekkür ve tebrik ediyorum. İnsanın kendinden bahsetmesi zormuş. Bir de daha önceki sayılardaki yazılarda Füsun Tokatlı Hoca'mın güzel resimleri, ya da Neşe Çokyaman'ın güzel yaratıcı maskeleri gibi hoş görsellerim maalesef yok. Onun için kuru kuruya birazcık bu alanda yaptıklarımızdan sözel bahsedeyim. Bu sene Türk Radyasyon Onkolojisi çatısı altında başkanı olduğum Yapay Zekâ ve Bilişim Grubu kurduk. İlk çalışmamız farkındalık değerlendirme anketi oldu. Şu anda Türkiye Kliniklerinden yayınlanacak olan "Radyasyon Onkolojisinde Yapay Zekâ" başlıklı kitabın editörlüğünü yapıyorum ve hem derneğimizin üyesi olarak hem de Yapay Zekâ ve Teknoloji Derneğinin üyesi olarak ulusal projeler geliştirmeye uğraşıyorum. Verilerimizi düzgünce toplayabileceğimiz bir altyapı kurabilmek en öncelikli hedefim. Ben radyasyon onkolojisinde yapay zekânın sağkalım ve tedavi sonucu ile yan etki öngörüsü, optimal tedavi algoritmalarının oluşturulması gibi daha çok klinik yanı ile ilgiliyim ancak grup olarak, planlama, adaptif tedaviler... gibi her alanında çalışabileceğimizi

düşünüyorum. "Artificial Intelligence in Medical Imaging" dergisi editoryal boarduna dahil edildim. Bu arada bu sene de okulu kazasız belasız bitiririm umarım, çünkü son sene okul için de iki proje yapmam gerekiyor.

Hepinize bol enerjili, istediklerinizi severek yapabileceğiniz güzel günler diliyorum...

"Bugün Yapay Zekânın kötü bir süper zekâ olmasından endişelenmek, Mars'taki aşırı nüfus artışından endişelenmek gibidir. Biz henüz bu gezegene iniş yapmadık!" Prof. Andrew Ng



Prof. Dr. Ş. Bilge Gürsel

2002 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesinde Radyasyon Onkolojisi Uzmanı 2013 yılında Doçent, 2020 yılında Profesör oldum. Çocukluk çağı tümörleri,

meme kanseri, jinekolojik tümörler ve radyofizik, yapay zekanın radyasyon onkolojisindeki kullanımı ilgi alanım. Köyden çıkarak Profesör olmuş anne ve babanın kızı olarak, öğrenmek ve öğretmeyi hep çok sevdim. 2019 yılında yeniden üniversite sınavına girerek Bilgisayar Mühendisliği okumaya başladım ve son sınıftayım (Ortalamam 3.84/4.00 J).

Mail: bgursel@omu.edu.tr

AAPM TG-284 REPORT: RADYOTERAPİDE MANYETİK REZONANS SİMÜLASYONU: KLİNİK UYGULAMALAR İÇİN, OPTİMİZASYON VE KALİTE GÜVENCESİ İÇİN DÜŞÜNCELER

Med. Fiz. Uzm. Fatih Karaköse

Modern radyoterapi tedavi planlaması (RTP), hastalığın lokalizasyonunu ve risk altındaki komşu organlara yakınlığını tanımlamak için yüksek uzaysal ayırma gücü ve yüksek geometrik doğrulukta görüntülere ihtiyaç duyar.

Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) sistemi hedef volüm ve risk altındaki organları (OAR) tanımlamalarındaki güvenilirliği önemli ölçüde arttıran ve üstün yumuşak doku kontrastı ile görüntüleme yapan bir sistemdir. Literatürde MRI'nin RTP'ye dahil edilmesiyle daha doğru OAR'lar tanımlanmakta ve daha düşük sağlıklı doku dozları sağlanmaktadır.

Böylece yüksek radyasyona bağlı toksisiteyi azalttığını ve hedefte doz artırmayı kolaylaştırmak için yüksek riskli tümör volümlerini daha doğru ve hassas olarak belirlediğini göstermektedir.

AAPM yayınladığı TG-284 numaralı raporunda RTP'de MRI kullanımının faydaları incelenerek bu alanda çalışanlar için tavsiyeler oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında, TG-284 numaralı rapor incelenmiş ve ekipman seçiminden, kalite kontrole kadar tüm aşamalar hakkında bilgilere yer verilmiştir. TG-284 Raporunun sonunda yer alan referanslar için orijinal metinden yararlanılabilir.

1.Amaç

MRI, RTP'de önemli bir rol oynamaktadır. Planlamada MRI kullanımı arttıkça, daha yüksek uzaysal ayırma gücü ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilme isteği artmaya devam edecektir. Neredeyse tüm klinikler tedavi planlama süreçlerinde MRI görüntülerini kullanmaktadır fakat bu görüntülerin çoğu planlama için optimize edilmemiştir.

RTP için görüntüleme gereksinimleri, birçok zorluk içerir ve bu zorluklar dikkate alınmaz ise MRI'nın planlama için sunduğu avantajları azaltacak ve tanısal radyolojiye göre MRI üzerinde ek kısıtlamalar getirecektir.

TG-284 numaralı raporun temel amacı, bu konuda genel olarak tavsiyeler sunmak ve gelecekteki olası kullanıcılara rehberlik sağlamak için ticari firmalardan bağımsız olarak MRI simülasyonunun (MRI-SIM) genel ilkeleri ve özelliklerini içeren rapor hazırlamaktır.

2. MR-SIM'e Genel Bakış

MR-SIM kullanımı özellikle kapsamlı kanser merkezlerinde giderek artmaktadır. Fakat yüksek maliyetler, birçok ülkede teknolojiye sınırlı erişim, radyoterapiye özgü temel hedeflerin öncelikleri ve teknik uzmanlıklardaki eksiklikler MR-SIM kullanımındaki temel engellerdir. MR-SIM'nin manyetik alan gücü, teknik özellikleri ve kurulacak

odanın büyüklüğü maliyetini oluşturmaktadır. Genel olarak radyoterapi kliniklerinin iş yükü ve kullanımı MR-SIM'nin sadece radyasyon onkolojisi bölümünün kullanımına yeterlidir. Fakat bazı merkezler maliyet paylaşımı bakımından radyoloji klinikleri ile ortak kullanımı tercih etmektedirler ve bu sayede daha ekonomik olabilmektedir. Ayrıca radyolojinin MR uzmanlığından yararlanılarak hedef ve kritik organların tanımlanmasında sekans seçimi ve diğer özelliklerin kullanımında destek alınabilmektedir. Ortak kullanılan MR-SIM'lerde immobilizasyon aletlerinin uyumu ve kullanımı, masa düzleştirici, mıknatıs özellikleri, bobin tasarımı ve distorsiyon düzeltmeleri gibi iki ayrı klinik için farklı önemlere sahip özelliklerde tavizler olabilmektedir. Ayrıca bölüm 6 da belirtilen radyoterapi için kalite güvenilirliği kriterleri dikkat edilmeli ve iş akışına bunlar eklenmelidir. Radyoloji kliniklerine göre radyasyon onkolojisi kliniğinin hasta sayısı daha az olacaktır. Ancak hastaları lazerler ile işaretleme, hasta sabitleme, görüntülerin değerlendirilmesi, hedef belirlenmesi, vb. durumlar ekstra zaman alacaktır. Bir MR-SIM cihazının tek veya ortak olarak kullanımının uygulamalarda farklı etkileri vardır, bu farklılıklar bu raporda anlatılan pratik ve teknik detayı da değiştirecektir.

Task group 284 report: magnetic resonance imaging simulation in radiotherapy: considerations for clinical implementation, optimization, and quality assurance

Carri K. Gide-Hurst¹⁰

Department of Human Oncology, University of Wisconsin—Madison, Madison, WI 53792, USA

Eric S. Paulson

Department of Radiation Oncology, Medical College of Wisconsin, Milwaukee, WI 53226, USA

Kieran McCreesh

Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, Rochester, MN 55905, USA

Neelam Tyagi

Medical Physics Department, Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, NY 10065, USA

Yanle Hu

Department of Radiation Oncology, Mayo Clinic, Phoenix, Arizona 85054, USA

James Balter

Department of Radiation Oncology, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

John Bayouth

Department of Human Oncology, University of Wisconsin—Madison, Madison, WI 53792, USA

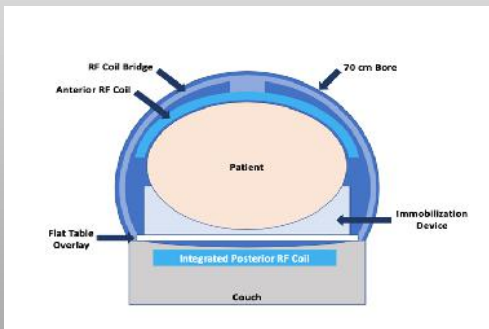
(Received 30 June 2020; revised 12 December 2020; accepted for publication 16 December 2020; published 27 July 2021)

Bore çapı, konfigürasyonu ve manyetik alan gücü önceden değerlendirmeli ve planlanmalıdır. Bore çapının büyük olması (≥ 70 cm) yüksek performanslı sekanslarda (örn. Difüzyon, difüzyon tensörü) görüntü kalitesini olumsuz yönde etkileyebilirken, tedavide kullanılan immobilizasyon aletlerinin kullanımı için kritik öneme sahiptir. Bore boyutları genelde silindirik olmakla beraber açık MR denilen ve açık mıknatıs tasarımına sahip yanal mıknatıslarda mevcuttur. Bu açık MR sistemleri daha geniş hastaları taramak için avantajlıdır (> 150 cm), ancak daha düşük manyetik alan gücüne sahiptirler (0.23T ve 1.0T). Ek olarak, genişletilmiş görüş alanlarında (FOV), geometrik distorsiyonun arttığı bildirilmiştir. Bore boyutu ile ilgili olarak, immobilizasyon aletlerinin ilave kalınlığı, vücudun ekstremiteleri, vücudun pozisyonu, tarayıcının görüş alanından uzaklaştıkça yani bore boyutu arttıkça artefaktlar ve geometrik bozulmalardaki artışlar daha fazla konumsal belirsizliğe yol açacaktır. Örneğin, bir meme board veya belly board ile yüzüstü olarak pozisyonlandırılacak hastalar, bore içinde yükseltilecektir. Kullanılabilir FOV'nin çapı, cilt yüzeyinde minimum bozulma ile hasta anatomisini ideal olarak tarayacaktır, böylece doğru radyolojik sınırlar ve dokular arası mesafeler belirlenebilir. Maksimum FOV'nin mıknatıs geometrisi, alan homojenliği ve RF bobin kapsamı ile sınırlı olacağı unutulmamalıdır.

Manyetik alan kuvveti, literatürde bulunan karşılaştırmalarla birlikte daha incelikli bir husustur. Kısaca manyetik alan gücünün seçimi, artan maliyetler, inşaat/koruma gereksinimleri ve operasyonel harcamaların yanı sıra, amaçlanan klinik kullanım, hasta çeşitliliği ve kurumda mevcut olan

teknik uzmanlığa bağlı olabilir. Yüksek manyetik alan kuvveti ile daha yüksek SNR (signal to noise ratio) ve daha fazla uzaysal çözünürlük sağlanır. Ayrıca tarama sürelerini kısaltmak içinde daha yüksek hızlandırma faktörleri sağlanır. Ancak daha yüksek manyetik alan kuvvetleri, metal implantları olan hastalarda lokal ısınma riski ve artan hassasiyet artefaktları nedeniyle ek zorluklar da ortaya çıkarabilir. Alternatif olarak, daha düşük manyetik alan kuvvetli sistemler geometrik bozulma, kimyasal kayma ve spesifik soğurma oranını (SAR) daha da azaltmaktadır.

Başlıca MR simülatör ekipmanı ideal olarak CT-SIM ve tedavi kullanılan ekipman ile aynı olmalıdır. Bununla birlikte birçok eski radyolojik-MRI kavisli masa başlıklarına ve standart ekipmana sahip olduğu için radyoterapinin ihtiyaçlarına uygun değildir. Şekil 1'deki örnekte, RF bobini koltuğa entegre edilmiştir; bununla birlikte, sorunun üstesinden gelmek için alternatif konfigürasyonlar oluşturulabilir. Düz masa kaplaması ve eklerin masanın toplam ağırlığını artırabileceği ve dolayısıyla MR-SIM'de hastaları görüntülemek için ağırlık sınırı toleransını etkileyebileceği ön görülmelidir. İdeal olarak, MR-SIM için, aynı seviyede mekanik kararlılık ve performans elde etmek için CT simülasyonunda ve tedavi uygulama sistemlerinde olduğu gibi düz masalar kullanılmalıdır.



Şekil 1. Düz masa, radyo frekans (RF) bobinleri ve tasvir edilen bobin köprüsü gibi ana ekipmana sahip bir pelvis veya abdominal vaka için örnek kurulum.

3. Tesis Tasarımı ve MR Simülatörünün

Yerleştirilmesi için Gerekli Hususlar

Bir MR simülatörün Radyasyon Onkolojisi departmanına başarılı bir şekilde entegrasyonu, tesisin tasarımı ve cihazın yerleştirilmesi ile başlar. İdeal olarak MR eğitilmiş bir medikal fizikçinin, gerekli teknik uzmanlığı sağlamak, iş akışına karar vermek, kurulum sorunlarını ve MR simülatör paketini belirlemek için projenin en başından itibaren her aşamasında yer alması gerekmektedir.

Yeni MR tarayıcıların çoğu kurulumun ardından ana manyetik alanın (B_0) kalıcı olarak korunduğu yüksek alanlı ($\geq 1.5T$) süper iletken sistemlerdir. Bir olay/kaza sonucunda MR simülatörün hasar görmesi veya insanların yaralanma riskini en aza indirmek için MR simülatörün içindeki ve çevresindeki alanlarda güvenlik bölgeleri tasarlanmıştır. Literatürde verilen detaylı imar planları hem çalışan hem de hastalar için güvenliği sağlamak adına sınırlamaları tanımlar (3,4). ACR (American College of Radiology) tarafından MR kurulumu yapılacak alanda toplam dört bölge (I, II, III ve IV) tanımlanmıştır. Bölge I, halkın erişimine açık olan ve MR ile yaralanma riski en düşük olan bölgedir. Bölge II ise bölge I ve III ün arasındaki yer olarak tanımlanmıştır. Bölge III, MR simülatörün dış çevresidir ve personel harici erişimin sınırlı olduğu alandır. Bölge IV ise MR simülatörün içerisidir ve bu nedenle en yüksek güvenlik riski olan alandır.

Tüm mıknatıslar statik manyetik saçılma alanına sahiptir. Bu saçılma alanı değişen manyetik alana göre mıknatıs izomerkezinden uzaklaştıkça azalmaktadır. Üretici firma tarafından sağlanan manyetik alan haritaları (mT/m biriminde) ile, etrafında bulunan diğer ekipman ve cihazların (tıbbi görüntüleme

sistemleri, lineer hızlandırıcılar gibi) ilişkisi dikkatlice incelenmelidir. Bu cihazlar ve odada bulunan tüm ekipmanlar özel bir yazılıma aktarılarak ek manyetik alan olup olmadığı değerlendirilir. Koruma gerekli ise inşaat sırasında saçılmayı azaltmak için düşük karbon içerikli çelik, silikon çelik veya yüksek nikel içerikli çelik alaşımı dahil olmak üzere koruyucu malzemeler kabul sınırlarına indirgenene dek kullanılabilir. MR-SIM de kullanılan ek ekipmanlar nedeniyle, oda tasarımı sırasında entegre ekipmanın değerlendirilmesi önemlidir. Örneğin, dış lazerlerin ve hasta pozisyonlandırma sisteminlerin sonradan kurulması, RF kafesi hasarına ve SNR'de bir azalmaya neden olabilir veya farklı sorunlara yol açabilir.

MR-SIM, radyolojik-MR tasarımına ve yapısına dahil edilecek özel gereksinimleri olan yüksek hassasiyetli bir görüntüleme sistemidir. Bu gereksinimlerin karşılanmaması artefaktların oluşmasına ve görüntü kalitesinin düşmesine neden olabilir. Geriye dönük iyileştirme genellikle zaman alıcı ve pahalı olabilmektedir. Bu nedenle özenle ve dikkatlice planlanması gerekmektedir. MR-SIM'e özgü ek yerleşim ve kurulum ile ilgili hususlar AAPM-20 numaralı raporunda detaylıca tartışılmıştır.

Sistemin Radyasyon Onkolojisi bölümünün klinik iş akışına entegrasyonuna dikkat edilmelidir. Konum olarak uzak bir yere yerleştirilen MR-SIM genel iş akışını, hasta erişimini ve güvenlik açısından zorluklar doğurur. Bu nedenle MR-SIM simülasyon sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak düşünülmesi ve bu sürecin parçası olan diğer cihazlara mümkün olduğunca yakın kurulmalıdır.

4. Radyasyon Onkolojisine Özel MR Güvenlik Konuları

Genel olarak MR görüntülemede iyonlaştırıcı radyasyonun kullanılmaması nedeniyle risklerin minimum olduğu algısı yaygındır. Ancak MR odaları hem hastalar hem de personel için yaralanma ve ölümle sonuçlanabilecek farklı riskler oluşturmaktadır. ACR MR topluluğu genel güvenlik önlemleri ve sınırlamalarının uygulanmasını önermektedir. Ayrıca radyasyon onkolojisi bölümlerinin MR güvenlik programlarını geliştirmek ve uygulamak için radyoloji klinikleri ile çalışmalarını önermektedir.

1. MR güvenlik programlarını oluşturulmalı ve uygulanması için MR güvenlik komitesi olmalıdır.
2. MR cihazı personeli ve diğer personeller Bölge III ve IV için eğitim alıp yeterlilik sağladıktan sonra güvenlik alanına girmelerine izin verilmelidir. Radyasyon onkolojisi personeli seviye 1 personel olarak kabul edilecektir. Ayrıca seviye 2 personeli termal yanıklarda süreç yönetimi, nöro-müsküler uyarım, SAR dahil olmak üzere daha kapsamlı bir MR güvenlik eğitimi almaları sağlanmalıdır. Bunların dışında, seviye 2 personelin bölge III ve IV sahalarında diğer personele eşlik etmesi ve onları denetlemesi gerekir.
3. Metal içerikli implante edilmiş medikal cihazlar; MR taraması esnasında (demir içerikli veya demir içeriği olmayan, kurşun teller, vb) uygun önlemler alınmadığında birçok probleme yol açabilmektedir. Hatta ölümle sonuçlanan kazalar meydana gelmiştir. Ayrıca metal parçacıkları hasta için ciddi güvenlik riskleri

oluşturmaktadır. Bu durumlar için üretici firmalar öneriler sunmaktadırlar. Bu öneriler <http://www.mrisafety.com> , <http://www.magresource.com> , sitelerinde ücretsiz edinilebilmektedir.

4. MR taramalarında güvenlik formu; tüm hastalar MR için uygun olduklarına dair bir form doldurmalıdırlar. Bu formda özellikle ilk kez MR taraması yapılacak hastadan implant ve diğer durumlar konusunda gerekli bilgiler alınmalıdır. Birçok üretici firma cihazları MR koşullu olarak sınıflandırır, bunun anlamı bu cihazlar belirli koşullar altında güvenli bir şekilde kullanılacağı anlamına gelmektedir. Hasta bazlı hangi koşullarda tarama yapılacağı personelin sorumluluğundadır. ACR hastaları taramadan önce iki kez MR güvenliği protokolüne göre taranmasını önermektedir.
5. Metal detektörlerin kullanımı; Pediatrik hastalar, sakinleştirici kullanan hastalar veya bilişsel bozukluğu olan hastalar MR tarama güvenlik formunu doğru bir şekilde doldurmayabilir. Bu durumda hastada yabancı bir cisim (implant) olduğu bilinmesine rağmen içeriği bilinmediğinde tarama işlemine yardımcı olması için metal detektörler kullanılabilir.
6. MR güvenlik ekipmanlarının değerlendirilmesi; ACR tavsiyelerine göre, tıbbi ekipmanlar, hasta sabitleme ekipmanları, hasta takip sistemleri, acil müdahale ekipmanları, anestezi arabaları, tekerlekli sandalyeler, vb. Bölge II için değerlendirilmelidir ve Bölge III'e girmeden önce güçlü bir el tipi mıknatıs (≥ 1.000 Gauss) ve/veya el tipi bir ferromanyetik algılama cihazı

ile test edilmelidir. Bu test sonuçları belgelenerek kaydedilmeli ve aynı ekipmanların daha sonraki kullanımları için referans olarak kullanılmalıdır. Tüm ekipman ve nesneler MR-uyumlu, MR-uyumsuz ve MR-köşullu uyumlu olarak sınıflandırılmalıdır. Günümüzde birçok firma ürettikleri ekipmanların MR-uyumlu olup olmadığını web siteleri üzerinde belirtmektedirler.

7. Gadolinyum bazlı kontrast ajanlar tanısal radyolojide ve MR-SIM çekimlerinde rutin olarak uygulanmaktadır. Gadolinyum paramanyetiktir ve T1/T2 relaksasyon sürelerini kısaltmaktadır. Yapılan çalışmalarda Gadolinyumun böbreklerden tamamen atıldığı düşünülüyordu, fakat ayrışma sonucu beyin, kemik, cilt ve karaciğerde tutulduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca böbrek fonksiyonunda problem olan hastalarda gadolinyum kullanımı nefrolojik sistemik fibroza (NSF) neden olmaktadır. Bu nedenle bu hastalarda gadolinyum uygulamalarında değişikliklerle NSF insidansını ortadan kaldırmıştır. MR güvenlik komitesi MR-SIM için hangi gadolinyum ajanı kullanılacağı, doz ayarı ve böbrek fonksiyonları göz önüne alınarak gerekli yönergeler oluşturulmalıdır.
8. Acil durum planları; ACR tavsiyelerine göre, hasta taraması esnasında acil durum olması durumunda müdahale ekipleri ve ekipmanların (yangın söndürücüler, sedyeler) seviye 2 personeli tarafından kısıtlı alanda gerçekleştirilmelidir. Acil tıbbi müdahaleye ihtiyaç duyan hastalar, tıbbi bakıma başlamadan

önce Bölge IV'ten önceden tanımlanmış MR güvenli bir konuma çıkarılmalıdır. ACR'ye göre acil durum yönergeleri hazırlanmalı ve MR cihaz odaları açıkça belirtilmiş ve kolay erişilebilir olmalıdır. Hazırlanan acil durum planları her yıl tekrarlanarak personellerin eğitimi sağlanmalıdır.

9. Hastaya özgü MR güvenlik değerlendirmesi; Her bir hastanın MR taraması için uygun olup olmadığı değerlendirilmelidir. Sonuç olarak tarama yapılıp yapılmayacağına seviye 2 MR güvenlik eğitimi almış radyolog ve radyasyon onkologları tarafından hastaya da danışılarak risk-fayda analizi yapılarak karar verilmelidir.

5-MR-SIM Personeli ve Eğitimi

MR-SIM personelinin iki ana sınıflandırması vardır (Seviye 1 ve 2). Seviye 1'de radyasyon onkologları, medikal fizikçiler, radyasyon onkolojisi hemşireleri, radyoterapi teknikerleri ve araştırmacılar bulunur. Seviye 2 personeli ise hastaların taranmasıyla doğrudan ilgilenen MR eğitilmiş teknikerler, eğitilmiş medikal fizikçiler ve servis mühendisleri yer almaktadır. ACR tavsiyesine göre her kurumun bir MR tıbbi direktörü (Radyolog) olmalı ve bu kişi eğitimleri belirlemelidir. Bunun yanında en az bir radyasyon onkoloğunun Seviye 2 personel kriterlerini karşılaması önerilir. Seviye 2 personelinin Bölge III ve IV'de MR güvenlik taraması yapma, bölge I ve seviye 1 personelin güvenliğini sağlama konusunda sorumluluk taşıdığı vurgulanmalıdır. Bu programda önemli rol alan personelin MR güvenlik eğitiminden geçmesi önerilir (örneğin, American Board of Magnetic Resonance Safety <http://abmrs.org/>).

Hem teşhis hem de tedavi uzmanlığına duyulan ihtiyaç nedeniyle, MR-SIM programı için çok disiplinli bir ekip gereklidir. Tüm ekip hem MR tarama hem de radyoterapi için simülasyon eğitimlerinin tamamını alması önemlidir. Radyologlar ve MR teknoloji uzmanları hasta pozisyonlama, immobilizasyon aletlerinin kullanımı ve tarama parametrelerinin radyoterapide nasıl kullanılacağı konusunda eğitilmelidirler.

6. MR-SIM İçin Önerilen QA

MR sistemlerinin genel kalite güvenilirlik programlarına ek olarak MR-SIM'lerde radyoterapiye özgü kalite güvenilirlik testleri de uygulanmalıdır. Yüksek uzaysal ayırma gücü, görüntü bütünlüğü ve tekrarlanabilirlik gibi QA testleri de yapılmalıdır. MR-SIM'in devreye alınmasından sonra sistem performansının devam etmesini sağlamak için sağlam bir Kalite Güvenilirlik Programı oluşturmak ve sürdürmek gereklidir. Tanısal Radyoloji ve Radyasyon Onkolojisi arasında paylaşılan MRI sistemleri için tarayıcının ACR gibi bir akreditasyon kurumu tarafından akredite edilebileceğini ve bu nedenle farklı QA yönergeleri gerektirebileceğini unutmamak önemlidir.

AAPM Rapor No.100'e göre MR-SIM kurulumu tamamlandıktan sonra satıcı firma yetkilileri ile MR ekipman değerlendirmesi ve kabul testleri yapılmalıdır. Özellikle RF kafesi bütünlüğünün korunduğundan emin olmak için cihaz kurulumu ve odanın RF koruması tamamlandıktan sonra test edilmelidir. Manyetik alan homojenliği (B_0 homojenliği) statik manyetik alan değerinin milyonda bir kısmının üzerinde manyetik alan değişimi olarak tanımlanır. B_0 homojenliği iç etkilerden ve dış

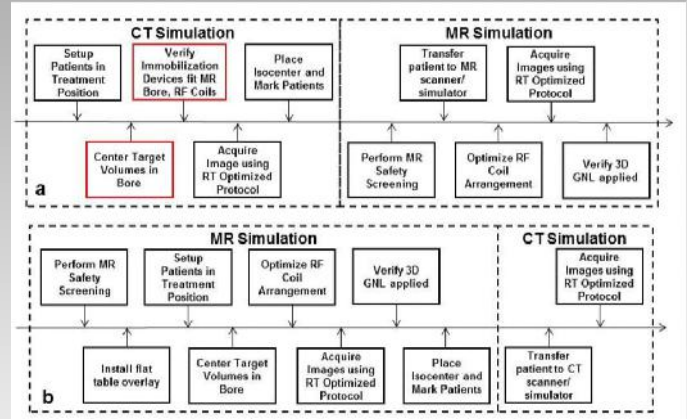
etkilerden etkilenebilir. Homojenliğin bozulması da görüntü homojenliğinde, geometrik bozulmaya, kimyasal kaymaya, zayıf yağ doygunluğuna ve SNR kaybına neden olabilir. Kurulum aşamasında shimming adı verilen bir işlemle B_0 homojenliği en üst düzeye çıkarılır.

Gradyan alanı, ana manyetik alanda öngörülebilir bir modelde küçük uzaysal olarak doğrusal varyasyonlar sunar ve uzaysal bilgiyi MR sinyaline kodlar, daha sonra MR görüntülerini yeniden yapılandırmak için kullanılır. Bu nedenle, uzaysal haritalamanın doğruluğu, mıknatısa özgü olan gradyan alanının doğrusallığına dayanır. Gradyan doğrusallığındaki bozulmalar, hatalı uzaysal haritalamaya neden olabilir ve bu nedenle geometrik bozulmaya neden olabilir. Üretici firmalar gradyan doğrusallığındaki bozulmalar için ham MR verilerini düzeltmek için algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu düzeltme algoritmalar uygulanmasına rağmen mıknatısın 10 cm yarıçapında >1 mm olduğu, açık MR'lerde daha fazla olduğu bilinmektedir. Mıknatıs izomerkezinden uzaklaştıkça daha da artmaktadır ve (izomerkezden 20 cm uzaklıkta) 2-3 mm kadar çıkmaktadır. MR-SIM için aylık QA testleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

7. RT'ye özgü MR iş akışının optimizasyonu için öneriler

Geleneksel simülasyon iş akışında CT-SIM, MR-SIM'den önce gelir. Tersine çevrilmiş simülasyon iş akışında ise MR-SIM, Şekil 2'teki işlem ağaçlarında gösterildiği gibi CT-SIM'den önce gelir. Kırmızı ile özetlenen süreçlerin, BT iş akışından farklı olabilecek ancak MR simülatör ekipmanı ve yüksek kaliteli MR görüntüleme ile uyumluluğu sağlamak için gerekli olan ek adımları ifade eder. Ayrıca, tersine çevrilmiş

simülasyon iş akışındaki CT görüntülemenin mutlaka bir CT-SIM üzerinde yapılması gerektiğini unutmayın.



Şekil 2. Geleneksel (a) ve tersine çevrilmiş (b) simülasyon iş akışları

ACR, ferromanyetik veya iletken malzemeler içeren giysilerin termal yaralanmaya ve yanıklara neden olduğuna ilişkin son raporlar nedeniyle MR-Safe önlüklerin kullanılmasını şiddetle tavsiye etmektedir (6). CT-SIM'e benzer şekilde istisnalar dışında MR-SIM taraması da sırtüstü ve baş gantri olarak yapılır. Kullanılan immobilizasyon aletlerinin bore sığması dikkat edilmelidir. CT-SIM ve MR-SIM bore boyutlarının birbirinden farklı olan kurumlarda maksimum boyut kısıtlamaları belirlenmelidir ve buna uygun şablon oluşturulması önerilir. Ayrıca kullanılan immobilizasyon aletlerinin MR uyumlu olması gerekmektedir ve bunun yanında da MR-optimal olmalıdır. Immobilizasyon malzemesinin artefakt oluşturmaması, istenmeyen bir sinyal üretmemesi ve güvenlik riskini arttırmaması gerekmektedir. Örneğin karbon fiber elektriksel olarak iletken ve MR-SIM'de kullanıldığında RF alanına etki ederek SNR ve homojenlikte azalmaya yol açacaktır. Hatta hasta üzerinde termal yaralanma riskine neden olabilir.

Tablo 1. MR-SIM için aylık QA testleri

Test	Önerilen Ekipmanlar	Protokol / Parametre / Tolerans
Sistem		
Oda sıcaklığı ve nem	Dijital termometre ve nemölçer	Fonksiyonel
Cold head işlevselliği	Duyulabilir pompa sesi	Fonksiyonel
Cryogen seviye göstergesi	MRI konsolundan okuma	İmalatçı tavsiyeleri
Mekanik		
Masa hareketi pürüzsüzlük ve doğruluk	Cetvel	± 1.0 mm tanımlanan mesafeye göre
Görüntü merkezi lazer uyumu	Cetvel ve uygun fantom	± 2.0 mm
Lazer hareket pürüzsüzlüğü ve doğruluğu	Cetvel	± 2.0 mm
Hasta İşaretleme		
Lazer işaretleme doğruluğu	Hasta işaretleme yazılımı	± 2.0 mm
Görüntü kalitesi*		
Merkez Frekansı	Referans fantomun görüntülenmesi akabinde	Üretici tavsiyesi
Verici kazancı	MRI konsolundan okuma	$\pm 5\%$ referans değer
Esnek RF coil testi	Homojen fantom	Bağımsız elementler, imalatçı tarafından sağlanan madde eşiği
Geometrik doğruluk	Fantom > 30 cm çap/geçirgenlik	≤ 2 mm 25 cm FOV
Yüksek kontrast uzaysal çözünürlük	ACR geniş MRI fantom prosedürler/tolerans Ref. 62	≤ 1.0 mm
Düşük kontrast tespit edilebilirliği		Alanlar için toplam fark edilir spoke sayısı (4 kesit için)
Artifakt değerlendirme		Belirgin görüntü artifaktı olmayacak
Yüzde görüntü tekdüzeliği		Baş coil: $\geq 87.5\% < 3$ T $\geq 82.0\% 3$ T
Yüzde sinyal gölgelenmesi		Gölgelenme oranı $\leq 2.5\%$

8. Karşılanamayan ihtiyaçlar ve gelecekteki yönlendirmeler

Manyetik alan haritaları, rutin QA ve hastaya özel geometrik bozulmanın değerlendirilmesi için kullanılabilir. Şu anda, çevrimiçi manyetik alan haritalama işlevi sınırlıdır ve gelişmiş programların satın alınması gerekli olabilir. Elde edilen manyetik alan haritalarını değerlendirmek için yaygın olarak

kullanılan çok noktalı Dixon (mDIXON)'nun geliştirilme aşamaları şu anda devam etmektedir.

Hastanın Manyetik alan haritası ve her görüntünün tarama parametre bilgileri üzerinden geometrik bozulmaları düzeltmek için algoritmalar kullanılabilir. Satıcılar, RF bobini hassasiyeti ve profillerindeki farklılıklardan kaynaklanan manyetik alandaki değişiklikleri azaltan algoritmaları sağlamaktadırlar.

Ancak yoğunluktan kaynaklanan kalıntı IINU (Image intensity non-uniformities)'ları azaltmak için algoritmalar ile ek düzeltmeler gerekebilir. Bu algoritmalar tarayıcı konsoluna veya tedavi planlama sistemlerine entegre edilebilir.

MR Tedavi Planlaması, son yıllarda araştırma ve klinik geliştirme aşamasındadır. MR görüntüleri üzerinden sentetik CT verileri elde edilir ve doz hesaplama esnasında kullanılır. Sentetik CT oluşturma yöntemleri büyük ölçüde voksel veya atlas tabanlı yaklaşımlardır. Şu anda, klinik olarak piyasaya sürülen üç MR paketi sağlayıcısı mevcuttur:

1. Philips MR-CAT, pelvis için FDA onaylıdır ve çift ekolu 3D mDIXON ile hızlı alan eko dizisi ve toplu HU değerleri atama yoluyla MRI rekonstrüksiyon yazılımına entegre edilmiştir.
2. Spectronic'in MriPlanner'ı onaylıdır ve T2 ağırlıklı aracılığıyla istatistiksel bir ayrıştırma algoritması kullanarak sentetik bir CT oluşturur.
3. Siemens, kemiği ayırt etmek için ultra kısa eko süresi gibi çeşitli giriş görüntüleri içeren sentetik CT çözümü sunmaktadır.

9- Sonuçlar

Genel olarak bu rapor; ana ekipman, MR güvenliği, QA süreçleri, personel ve klinik uygulama dahil olmak üzere bir MR-SIM programıyla ilgili ihtiyaç duyulan hususları ele almaktadır. Bu raporda ortaya konan program, tedavi planlamasına entegre edilen hasta bilgilerinin doğruluğunu artırmak için verimlilik ve kaynaklar göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Tavsiyelerin uygulanması, bireysel kurumlarda uygulanan spesifik modele bağlı olacaktır, ancak mümkün olan her durumda açıklanan ilkeler

uygulanmalıdır. Radyasyon Onkolojisinde yeni MRI teknolojileri tanıtılmaya ve kullanımları genişletilmeye devam ederken, bu raporun bir MR-SIM programının oluşturulması ve sürdürülmesi için temel bir çerçeve olarak hizmet etmesi beklenmektedir.



Med. Fiz. Uzm. Fatih Karaköse

1986 yılında Ankara'da doğdum. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü bitirdim. 2013

yılında İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Fiziği programında yüksek lisans eğitimimi tamamladım. 2013-2019 yılları arasında Neolife Tıp Merkezinde çalıştım. 2019 yılından itibaren ise Koç Üniversitesi Hastanesinde çalışmaktayım.

RT'DE SON GELİŞMELER

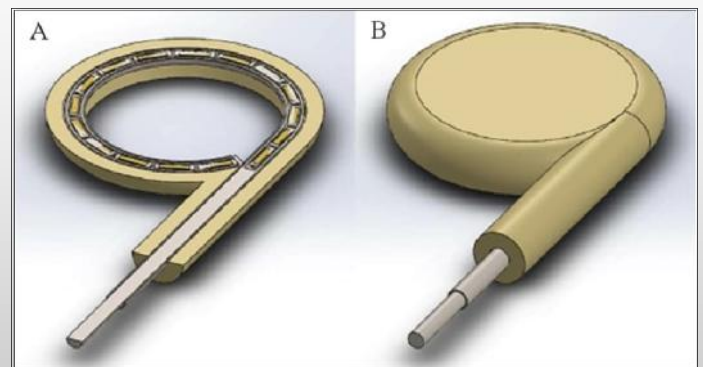
Bu bölümün amacı, radyoterapi ve ilgili alanlardaki güncel gelişmeleri derleyerek kısaca özetlemek ve okuyucuların bilgi sahibi olmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, firma veya üretici kaynaklı haberlere yer verilebilmektedir. Bu haberler kesinlikle reklam veya tavsiye amacı taşımamakla beraber, yalnızca bilgi vermek ve teknik bazlı paylaşım yapmak amaçlıdır.

Med. Fiz. Uzm. Boran Güngör

Göz Kanseri Tedavisinde Yoğunluk Ayarlı Tedavi Yapabilen Brakiterapi Cihazı Geliştirilmesi(Haziran 2021)

Oküler Melanom tedavisinde sağlıklı dokuların kritik organların (optik sinir ve retina gibi) daha iyi korunabilmesi sebebiyle internal ışınlama yani brakiterapi eksternal ışınlama yerine tercih edilmektedir. Worchester Politeknik Enstitüsü/ Amerika'da yapılan çalışmada (Physics in Medicine&Biology, <https://doi.org/10.1088/1361-6560/ac02d6>) yoğunluk ayarlı yüksek doz brakiterapi yapılabilecek bir cihaz geliştirildiği, cihazın konvensional brakiterapi yaklaşımından daha uyumlandırılabilen tedavi verebildiği ve 1-2 haftalık tedavi sürecini 10 dakika altına indirdiği açıklandı. Yetişkinlerde en sık görülen göz kanseri tipi olan oküler melanoma diğer kanser türlerine göre daha az rastlanmakta ve plaka brakiterapi ile göz yüzeyinden ışınlama yapılarak tedavi edilmektedir. Low-dose-rate (LDR) ve high-dose-rate (HDR) olarak uygulanabilen tedavide plakaların çoğunda radyasyon yoğunluğunun modülasyonunun olmadığı ve kritik organların da ışınlanamadığı belirtilmektedir. Geliştirilen oküler plakanın yüzük şeklinde, altından yapılmış ve doku ile reaksiyona girmeyecek şekilde biyo-uyumlu olduğu vurgulandı.(Şekil1) Plakaların 93

keV ortalama enerjili foton üreten yterbiyum (Y-169) serisi içerdiği, altın katmanın foton attenuasyonu sağlayarak sağlıklı dokular için kalkan görevi göreceği açıklandı. Yeni plakanın klinisyen tarafından farklı boyut ve açılarda uygulanacak şekilde seçilerek radyasyonun nasıl ve nereye uygulanacağını optimize edilmesi için ayarlanabileceği belirtildi. Farklı tümör boyutu ve derinlikler için yapılan HDR ve Y-169 kod sistemi (MCNP monte carlo ve BrachyDose) modellemesinde konvansiyonel LDR brakiterapi plaka ve kaynak için üstünlüğünün verifikasyonu yapılarak, kritik organ dozlarının %14 'e kadar azaltıldığı ve tedavi süresi kısaltılarak klinisyenin aldığı dozun da azaldığı eklendi.



Şekil 1: Belirli kaynak grubu içeren oküler plaka (A) 16 kaynaklı 12 mm brakiterapi aplikatör kesiti (B) Hedef dışındaki dozu azaltmak için 1.3 mm altın tabaka kaplı aplikatör.

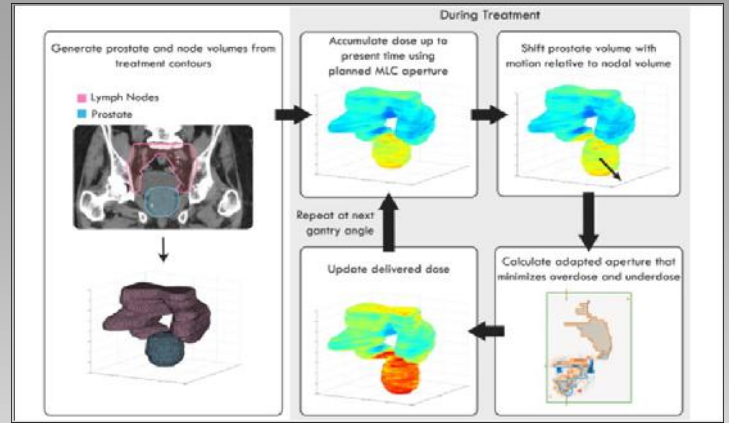
AAPM Best-in-Physics Bölümü (AAPM 2021)

Doz Optimize MLC Takibinde Çoklu-Hedef

Opsiyonu

Farklı kanser türlerinde radyoterapi alan hastalarda aynı anda ışınlama gerektiren çoklu tümör görülebilmekte ve her tümör farklı hareket özelliği gösterebilmektedir.

Sidney Üniversitesi/Avustralya'dan Emily Hewson çalışmasında, çoklu hedef takibi için 3D verilen doza göre MLC açıklığı optimizasyonuna dayalı yeni bir metot geliştirdiğini belirtti. Aynı ekibin daha önce geliştirdiği, MLC lerin herbir hedef hareketine adapte olarak yeni hedef pozisyonuna uyumlanma yönteminin bu geometrik tabanlı yöntemle uygulanarak MR Linak ve standart Linaklarda gerçek zamanlı bağımsız hareket adaptasyonu yapılabildiği açıklandı. (Şekil 2) Fakat MLC lerin sonlu hızı ve yaprak kalınlığının ve 2 tümörün üst üste geldiği durumlarda herbir hedefe adapte olma durumunun dozimetrik hata yaratabildiği vurgulandı. Çoklu hedeflerde hareket takibini geliştirmek için, verilen doza dayanan uyumlanmış açıklığı optimize eden MLC takip yöntemi geliştirildiği, yöntemde tedavi sırasında verilen 3D dozun hesaplandığı ve hedef hareketiyle planlanan ve verilen doz arasındaki farkın minimize edilecek şekilde açıklığın uyumlandırıldığı belirtildi. Yöntemin uygulamasında, 3 lokal ileri prostat tedavisinin doz-optimize çoklu hedef takibi, geometrik tabanlı takip ve takip olmayan şekilde 3 ayrı yöntemle simüle edildiği açıklandı. Hareketli prostat ve sabit lenf nodu için tedavi planlarının simüle edilerek gama analizi yapıldığı, doz-optimize takibin gama hata analizinde başarılı düşüş yarattığı ve en az hata hesaplandığı ve hedef üst üste binme durumu için fazla doz bölgelerini de elimine ettiği eklendi.



Şekil 2. Verilen Dozu temel alan MLC açıklığının

optimize edildiği çoklu-hedef takip yöntemi

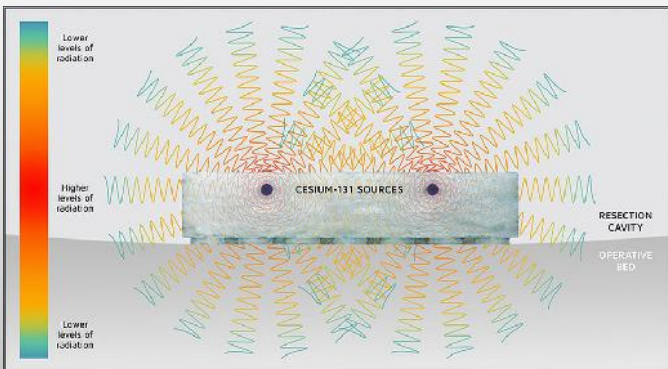
Radyo-İmmünoterapi Doz-Boyamanın Sağkalıma Katkısı

Radyoterapi hastalarında abscopal etkinin radyasyon alanından uzaktaki (uzak lezyonlar veya metsastaz gibi) tümörlerde regresyon sağladığı bilinen bir durumdur. Fakat immunolojik soğuk olan kastrasyon-rezistant prostat kanseri gibi tümörlerde bu cevaplar nadir olarak bilinmektedir. Harvard Medikal Okulu/ İngiltere'den araştırmacılar tarafından abscopal etkiye destek olmak amaçlı radyo-immunoterapi doz boyama yaklaşımının geliştirildiği belirtildi. Yapılan hayvan deneylerinde prostat impante edilmiş farelerde bir tümörü ışınlarken diğer tümörde abscopal etki araştırıldığı, immünojenik biometeryal (IBM) tümör içi implant edilerek 5 Gy doz verilen tümörde radyasyon bölgesinde ve abscopal bölgede en yüksek cevap alındığı vurgulandı. Araştırmacıların ayrıca primer tümörün bir kısmını da ışınladığı ve tam planlanan hedef volüm ile yanıtları karşılaştırdığı, kısmi ışınlamada tümör regresyonu etkilenmeden çevre dokulardaki radyasyon hasarının düştüğü ve kısmi ışınlanan farelerde daha uzun hayatta kalma görüldüğü açıklandı. Radyoterapiye ek olarak IBM kullanılmasının kastrasyon-rezistant postat kanser büyümesini önemli ölçüde azalttığı eklendi.

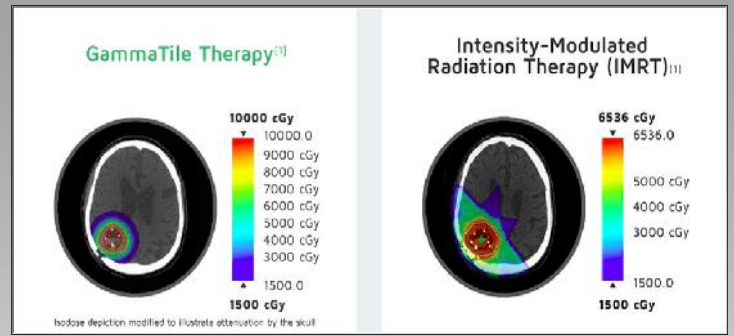
GammaTile Terapi (Cerrahi ile Hedeflenmiş Radyasyon Tedavisi) Teknolojisi

Cerrahi ile Hedeflenmiş Radyasyon Tedavisi-Surgically Targeted Radiation Therapy (StaRT) olarak tanımlanan GammaTile Terapi teknolojisinin beyin bölgesi kitle rezeksiyon sonrasında uygulanarak ani ve yoğun doz etkili tedavi sağladığı, lokal tekrarlama olmadan sağkalımı uzattığı ve minimal komplikasyon görüldüğü belirtilmiştir. GammaTile teknolojisinin eşit doz dağılımı yaratmak için düzgün radyasyon kaynak dağılımı ile dizayn edildiği (Şekil 3), yarı ömrü 9.7 gün olan Sezyum-131 kullanılarak uygun derin doz profili ve dizayn sayesinde simule edilebilir terapi dozlarına ulaşıldığı vurgulandı.(Şekil 4). Cerrahi rehberliğinde uygulanarak operasyon yatağına uygulanan doz ile terapik marjların optimize edilirken komplikasyonların minimize edildiği açıklandı. Terapi dozunun %50 sinin cerrahiden sonraki ilk 10 günde verilerek residual tümör hücrelerinin tekrarlanmasının engellendiği, dozun %88 'inin 30 gün içinde ve %95 'ten fazlasının da 6 haftada verildiği eklendi.

Ref: (<https://gtmedtech.com/gammatile-therapy/>)
(<https://youtu.be/ABJ1mP9ErBc>)



Şekil 3. Cerrahi uygulama ile yerleştirilen kaynakların doz dağılımı ve kaynak yapısının görseli (sağ üstte)



Şekil 4. GammaTile teknolojisi ile oluşturulduğu açıklanan doz dağılımı ve IMRT ile karşılaştırılması
AAPM Tarafından Medikal Işınlama Radyasyon Limitleri Hakkında Güncelleme ve Öneri (Ağustos 2021)

"Medikal ışınlama kararında hastanın daha önceki görüntüleme ile ilgili radyasyon maruziyeti değil, klinik gerekçeler temel alınmalıdır"

Medikal Fizikçiler, Radyolojistler ve Sağlık Fizikçilerinden oluşan 3 farklı bilimsel gruptan açıklamaya göre; medikal görüntüleme çekimi klinik yarar sağlayacaksa düşünülmesi gereken tek risk hastanın önceki ışınlanmaları değil, mevcut çekimin kendisi olmalıdır. AAPM (American Association of Physicists in Medicine), ACR(American College of Radiology) ve HPS(Health Physics Society) işbirliğiyle kümülatif doz limitleri kavramına karşıt olarak bir güncelleme yayınlanmıştır.Buna göre klinik gerekçelere dayanması gereken medikal ışınlamanın yanında önceki doz verileri yerine önceki ışınlama bilgilerinin olması yeterlidir.ICRP (International Commission on Radiological Protection) tarafından da tavsiye edildiği üzere, medikal görüntüleme ışınlamalarının potansiyel hasta yararı gerekliliği ve sonraki optimizasyonu hastayı gereksiz ışınlamalardan korumak için dikkate alınması gereken en uygun aksiyondur, bu durum da AAPM tavsiyesi ile örtüşmektedir. Medikal ışınlamada karar verirken hastanın önceki ışınlamalarından doz verileri (efektif

doz vb.) kullanmaya karşı çıkmaktadır ve kümülatif efektif doz gibi quantite leri kullanmanın medikal karar ve hasta bakımında negatif etkisi olduğu savunulmaktadır. Bu güncelleme tavsiyesinin organ deterministik etkilerin (lens veya cilt absorbe dozları vb.) hesaplanması veya epidemiyolojik araştırmalar gibi amaçlarla spesifik doz kullanılmasını içermediği belirtilmiştir. AAPM Başkanı James Dobbins, bu yayımlamanın hastanın görüntüleme tetkiklerinden klinik fayda elde etmesi için önemli bir hatırlatma olduğunu belirtmiş, radyasyonun medikal görüntülemede dikkatli kullanımının önemsenmekle beraber bilimsel üyelerin çoğunun genel radyasyon dozunun azaltılması üzerinde çalıştığını vurgulayarak görüntüleme tetkiklerinin kararlarının önceki radyasyon dozlarına göre değil mevcut klinik ihtiyaçlara göre verilmesi gerektiğini düşündüğünü eklemiştir.

Ref: (https://w3.aapm.org/media/releases/Medical-Imaging-Radiation-Limits-AAPM_Release.pdf)

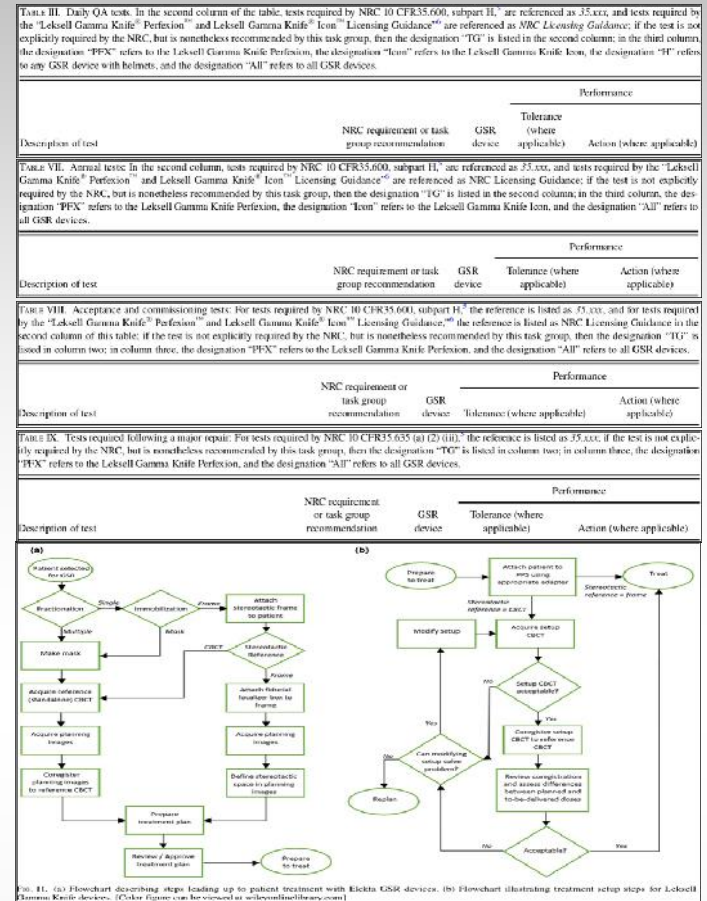
Güncel Raporlar

AAPM Task Group 178 Report: Recommendations on the Practice of Calibration, Dosimetry and Quality Assurance for Gamma Stereotactic Radiosurgery

Bu rapor Gamma Stereotaktik Radiosurgery (GSR) cihazlarının fantom/hava kalibrasyon protokollerinin gözden geçirilmesi, cihazlarda kolay şekilde uygulanabilecek doz hızı kalibrasyon protokolü önermek ve T-42 (AAPM Rapor 54, 1995) raporundaki kalite kontrol (QA) protokollerini güncellemek amaçlı oluşturulmuştur. Raporda ayrıca GSR için rutin mekanik, dozimetrik ve güvenlik kontrollerinin tanımlanması ve tedavi akış QA tavsiyeleri sağlanmakla beraber örnek tablo, worksheet ve listeler de eklendiği belirtilmektedir.

1995'den itibaren TG-51 ve TRS-398 raporları GSR için zorluk içerecek şekilde dozu su ölçümlerinde tanımlamıştır ve günümüzde GSR cihazları "standart olmayan" veya AAPM-51 uyumsuz olarak tanımlanmaktadır. (GSR için mümkün olmayacak şekilde 10x10 alan ve SSD 100 cm). Bu limitasyonlar sebebiyle, 2008 yılında IAEA çalışma grubu

referans alan konseptini küçük ve standart olmayan alanları kapsayacak şekilde yeni bir formalizm geliştirmiştir ve bu raporda yer almaktadır. Ayrıca, GSR temel çalışma prensipleri, formalizm karşılaştırmaları ve genel işleyiş ile beraber genel kontroller, pratik uygulamalar yer almaktadır. (Şekil 5)



Şekil 5: TG-178 GSR cihazları için örnek kalite kontrol, test ve akış şemaları içeren tablolar.

AAPM Task Group 155 Scientific Report: Megavoltage photon beam dosimetry in small fields and non-equilibrium conditions

Gelişmiş tedavi teknolojilerinde kullanılan küçük alan dozimetrisi kavramı, lateral yüklü parçacık eşitliği (LCPE), primer foton kaynağı belirsizliği ve uygun dedektör seçeneklerinin sınırlı olması gibi zorluklar içermektedir. Bu zorluklar dozimetrik doğruluğu etkileyebilmekte ve küçük alan kullanımı arttıkça kaygı yaratabilmektedir. Küçük alanlarda referans ve rölatif dozimetri AAPM TRS-483 yayınının içeriğindedir. Bu raporun amacı küçük alan dozimetrisi hakkındaki güncel

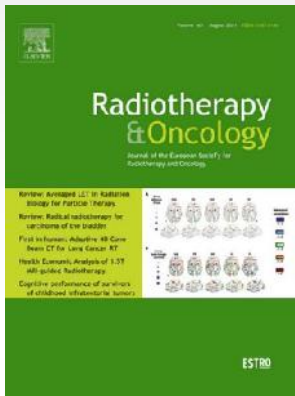
MEDİKAL FİZİK ALANINDA BİLİMSEL YAYIN YAPAN DERGİLER



Şekil 1. Red journal dergi
kapağı Kasım 2021

International Journal of Radiation Oncology Biology Physics: Ülkemizde kırmızı dergi ve dünyada “Red journal” olarak anılan dergi Amerikan Radyasyon Onkolojisi Derneği (ASTRO) tarafından aylık olarak çıkarılmaktadır. Şekil 1’de Kasım 2021 sayısının kapağı verilen derginin etki faktörü 7.038’dir. Dergi radyasyon onkolojisi, radyasyon biyolojisi ve medikal fizik ile ilgili orijinal klinik araştırmalar ve laboratuvar çalışmalarını yayınlamaktadır.

Web adresi: www.redjournal.org



Şekil 2. Radiotherapy &
Oncology

Radiotherapy and Oncology: Ülkemizde yeşil dergi ve dünyada “green journal” olarak anılan dergi Avrupa Radyasyon Onkolojisi Derneği (ESTRO) tarafından aylık olarak çıkarılmaktadır. Derginin etki faktörü 6.28’dir. Dergi orijinal çalışma ve derleme makalelerini basmaktadır. Bu çalışmalar klinik radyoterapi, translasyonel çalışmalar, farklı tedavi türlerinin birleştirilmesi, görüntüleme, dozimetre, radyasyon planlaması, deneysel radyobiyoloji, kemoterapi, hipertermi ve tümör biyolojisi alanında olabilir. Şekil 2’de Ağustos 2021 yılında yayınlanmış derginin kapağı bulunmaktadır.

Web adresi: <https://www.thegreenjournal.com>



Şekil 3. BJR dergisi 2021
Ekim sayısı

British Journal of Radiology: Britanya Radyoloji Enstitüsü (BIR) tarafından aylık yayınlanan bilimsel dergidir. Etki faktörü 3.039. Dergi, radyoloji, radyoterapi, nükleer fizik ve medikal fizik ile ilgili tüm sistemler ve modalitelerle ilişkili yayınları basmaktadır. Dergi kapağı Şekil 3’te bulunmaktadır.

Web adresi: <https://www.birpublications.org/journal/bjr>



Şekil 4. Biomedical

Physics&Engineering Express

Biomedical Physics & Engineering Express: Dergi, tıptaki ve biyolojideki fizik ve mühendislik alanlarında uluslararası multidisipliner araştırmaları yayınlamayı hedeflemektedir. Dergi Universities and research institutions in United Kingdom tarafından çıkarılmaktadır. Senede altı yayın yapan derginin (şekil 4) etki faktörü 1.39'dur.

Web adresi: <https://iopscience.iop.org/journal/2057-1976>



Şekil 5. Medicine and

Applied Sciences 1. sayısı

Medicine and Applied Sciences: Dergi sağlık bilimlerindeki tüm etik yönergelere uygun olarak hazırlanmış klinik ve deneysel araştırma makaleleri, olgu bildirileri, derleme makaleleri, teknik notlar ve editöre mektupları yayınlanmaktadır. Dergi yılda üç yayın yapmaktadır (Şekil 5).

<https://medappsci.com/index.php/jmas/information/librarians>

Başlık	Kısa Başlık	ISSN
Acta Oncologica*	ACTA ONCOL	0284-186X
Advances in Radiation Oncology	ADV. RADIAT. ONCOL.	2452-1094
Applied Radiation and Isotopes	APPL. RADIAT. ISOT.	0969-8043
Australasian Physical & Engineering Sciences In Medicine	AUSTRALAS. PHYS. ENG. SCI. MED.	0158-9938
Biomedical Physics & Engineering Express	BPEX	2057-1976
Brachytherapy	BRACHY.	1538-4721
British Journal of Radiology*	BRIT J RADIOL	0007-1285
British Journal of Radiology Open	BJRO	2513-9878
Computer Methods and Programs in Biomedicine	COMPUT METH PROG BIO	0169-2607
Cureus Journal of Medical Science	CUREUS	2168-8184
International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology	IJMPCCERO	2168-5436
International Journal of Particle Therapy	IJPT	2331-5180
International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*	INT J RADIAT ONCOL	0360-3016
Imaging	IMG	1748-8818
International Journal of Radiation Research	IJRR	2322-3243
Iranian Journal of Medical Physics	IJMP	2345-3672
Japanese Journal of Medical Physics	J-STAGE	1345-5354
Journal of Applied Clinical Medical Physics	JACMP	1526-9914
Journal of Biomedical Physics & Engineering	JBPE	2251-7200
Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences	JMIRS	1876-7982
Journal of Medical Physics	J MED PHYS.	0971-6203
Journal of Medical Radiation Sciences	JMRS	2051-3909
Journal of Medicine and Applied Science	MEDAPPSCI	2791-8114
Journal of Radiation Research*	J RADIAT RES	0449-3060
Journal of Radiotherapy in Practice	J RADIOTHER PRACT	1460-3969
Medical & Biological Engineering & Computing	MED. BIOL. ENG. COMPUT.	0140-0118
Medical Dosimetry	MED. DOSIM.	0958-3947
Medical Engineering & Physics*	MED ENG PHYS	1350-4533
Medical Physics International	MED PHYS INT	2306-4609
Medical Physics*	MED PHYS	0094-2405
Physica Medica: European Journal of Medical Physics*	PHYS. MEDICA.	1120-1797
Physics & Imaging in Radiation Oncology	PHIRO	2405-6316
Physics in Medicine & Biology*	PHYS MED BIOL	0031-9155
Polish Journal of Medical Physics and Engineering	PJMPE	1898-0309
Practical Radiation Oncology*	PRACT RADIAT ONCOL	1879-8500
Progress in Particle and Nuclear Physics*	PROG PART NUCL PHYS	0146-6410
Radiation Measurements	RADIAT. MEAS.	1350-4487
Radiation Oncology Journal	RADIAT ONCOL J.	2234-1900
Radiation Oncology*	RADIAT ONCOL	1748-717X
Radiation Physics and Chemistry	RADPHYSICHEM	0969-806X
Radiation Research*	RADIAT RES	0033-7587
Radiotherapy and Oncology*	RADIOTHER ONCOL	0167-8140
Seminars In Radiation Oncology*	SEMIN RADIAT ONCOL	1053-4296
The Lancet Oncology*	LANCET ONCOL	1470-2045
Turkish Journal Of Oncology	T J ONCOL	1300-7467

* TÜBİTAK tarafından yayın desteği verilen dergiler.

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!

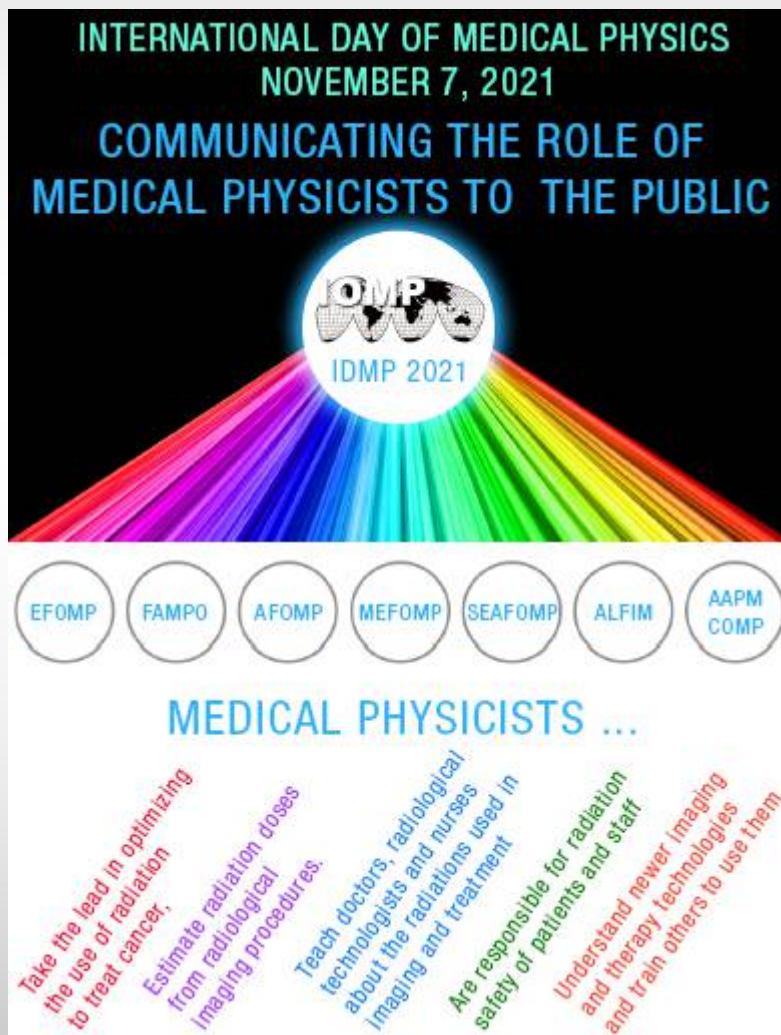
Bu dergi hepimize ait. Bu dergi okumaktan zevk alan, yazmaktan zevk alan, dinlemekten zevk alan, düşünmekten, öğrenmekten, yeni bir bilgi keşfetmekten, korkusuzca eleştirmekten, uzlaşmaktan, araştırmaktan, dostluktan ve dost olmaktan, var olmaktan ve medikal fizik uzmanı olmaktan zevk alan herkese aittir.

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.



18. Ulusal Medikal Fizik Kongresi



Kanseri tedavi etmede radyasyonu optimize etmek,

Radyaolojik görüntülemede radyasyon dozunu tahmin etmek,

Tedavi ve teşhisde ilgili tıbbi personeli eğitmek.

Radyasyona karşı hasta ve personelin güvenliğini sağlamak.

Teşhis ve tedavide yeni teknolojileri anlamak