

Medikal Fizik Derneği'nin Katkılarıyla

MedFiz@Online

e-DERĐİ

OCAK - ŞUBAT 2023

medfizonline@gmail.com

www.medikalfizik.org

SAYI: 43

6 ŞUBAT 2023 günü, KahramanmaraŐ, Adıyaman, Hatay, Gaziantep, Malatya, Őanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Kilis illerini etkileyen ve yürek acıtan bir deprem yaŐadık.

Bu depremde hayatını kaybeden vatandaşlarımızın yakınlarına başsağlığı ve yaralananlara acil Őifalar diliyoruz.

MedFiz@Online e-Dergisi

BAŞ EDİTÖR

Haluk Orhun

orhun.haluk@gmail.com

EDİTÖR GRUBU

Abdullah Yeşil

asyesil@gmail.com

Boran M. Güngör

borgun@gmail.com

Ertuğrul Ertürk

mehmet.ertugrul@mnt.com.tr

Evren Üzümlü

evrenuzumlu@hotmail.com

Fadime Alkaya

alkayafadime@hotmail.com

Halil Küçüçük

halilkucucuk@gmail.com

Nadir Küçük

nadir.kucuk@anadolusaglik.org

Recep Kandemir

recepkanemir@medikalfizikci.com

Tuğba Haciosmanoğlu

tubiki76@yahoo.com.tr

DERGİ TASARIM VE YAZI

Ebru Oruç Bakır

Esra Küçükorkoç

Mustafa Çağlar

BU SAYIDAKİ YAZARLAR

Cihan Şahin

Çağla Çetinkaya

Evren Ozan Göksel

Ezgi Kiraz Ergen

Ferhat Çetinel

Gözde Seçil Karadoğan

İlker Şükrü Şahin

Nilgün Nalbant

Özge Atilla

Özgür Temel

Seçkin Gündüz

Yavuz Anacak

SOSYAL MEDYA

Aykut Oğuz Konuk

Yılmaz Şahin

İÇİNDEKİLER

- **MERHABA: MEDİKAL FİZİK NASIL HIZLA GELİŞİYOR?**
- **MEDFİZ@ONLINE E-DERGİSİ İLE İLGİLİ 8. YILA YANSIYAN SAYILAR**
- **NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ MERAM TIP FAKÜLTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ ANABİLİM DALI**
- **IAEA UMUT IŞINLARI PROJESİ**
- **MEDİKAL FİZİKTE TARTIŞMALI KONULAR GÖRÜŞ/KARŞIT GÖRÜŞ-1**
- **KİTAP TANITIMI:MR LINAC RADIOTHERAPY, A NEW PERSONELIZED TREATMENT APROACH**
- **ONLINE MR KILAVUZLUĞUNDA ADAPTİF RADYOTERAPİ REHBERİ**
- **MEDİKAL FİZİKÇİLER VE YAPAY ZEKA: MAKİNAYA HOŞ GELDİNİZ**
- **BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ'DE METAL ARTEFAKT'LARI AZALTMAK**
- **MEDİKAL FİZİKÇİLERİN MEVCUT DURUMU, GELECEKTEKİ ARZ VE TALEP- 2020 AAPM MEDİKAL FİZİKÇİ İŞ GÜCÜ ANKET SONUÇLARINA İLİŞKİN RAPOR**
- **MEDİKAL FİZİK DERNEĞİ TARAFINDAN DÜZENLENEN 2022 YILININ 2. BÖLGESEL TOPLANTISINA EV SAHİPLİĞİNİ MARMARA BÖLGESİ YAPTI**
- **PET/BT VE PET/MR'DA KALİTE KONTROL: AVRUPA ÜLKELERİ ARASINDA YAPILAN BİR ANKETİN SONUÇLARI**
- **RADYASYON ONKOLOJİSİ KAZA ÖĞRENME SİSTEMİ-5**
- **APPM TASK GROUP RAPORU 302: YÜZEY KILAVUZLUĞUNDA RADYOTERAPİ-2**
- **AFRİKA'DA RADYOTERAPİ İHTİYACI-SESSİZ KRİZ DEVAM EDİYOR**

e-posta: medfizonline@gmail.com

web: www.medikalfizik.org

BASIM

e-kopya

*Medikal Fizik Derneği'nin katkılarıyla
MedFiz@Online DERGİSİNDE YAYINLANAN YAZILAR
YAZARIN SORUMLULUĞUNDADIR.*

MERHABA: MEDİKAL FİZİK NASIL HIZLA GELİŞİYOR?

Dergimiz çok zor bir dönemde elinize ulaşıyor. Depremde, meslektaşlarımız, bir çok sağlık personeli çalışmamızı ve ülkemizin insanlarını kaybettik. Çok fazla depremden zarar gören kişi var. Ülkemize başsağlığı ve tüm yaralılara sağlık diliyoruz. Saygularımızla.

Bu sayımızdaki Merhaba yazısına iki alıntı ile başlamak ilginç olacak.

Birinci alıntı, **Jakob Van Dyk**'ın¹ 2021 yılında Editör olarak yayınladığı "**True Tales of Medical Physics, Insights Into a Life-Saving Speciality**" kitabının 1. Bölümünü yazan **David Thwaites**'e² ait. Her iki bilim insanı duayen diye bildiğimiz unvanlara ve yaşama sahip.

"Medikal Fizik Nedir?" Tecrübelerime göre, medikal fizikçilere ne iş yaptıkları sorulduğunda ve medikal fizikçi olduklarını söylediklerinde, genellikle bir sonraki soru "ama tam olarak ne iş yapıyorsunuz?" oluyor. Bu soru aileden, arkadaşlardan, komşulardan, uçaktaki komşu yolculardan, hatta diğer sağlık çalışanlarından ya da yine aynı soruyu soran kişiden geliyor! Görünüşe göre insanlar bariz olan meslekleri görebiliyorlar, anlayabiliyorlar: birçok türde ve uzmanlıkta doktorlar, hemşireler ve benzerleri. Ayrıca, radyograflar, resepsiyon görevlileri, idari personel, çeşitli tanımlarda terapistler (fizyoterapi, radyasyon, mesleki, sanat, oyun, konuşma...). Laboratuvar teknisyenleri ve daha niceleri. "AMA fizikçiler? Hastanelerde mi çalışırlar? Mühendisler mi? Evet, tüm bu yüksek teknoloji ürünü ekipmanlar için onlara ihtiyaç olduğunu görebiliyorum, AMA fizikçiler?"

İkinci alıntı, IPEM-IOPSerisinden 2020 yılında

yayımlanan "**Leadership and Challenges in Medical Physics: A Strategic and Robust Approach**" başlıklı kitabın yazarı **Carmel J. Caruana**³'dan.

" Bir grup olarak Medikal Fizikçiler mükemmel bilim insanları ve sağlık profesyonelleridir. Gerçekten de fizik, matematik, tıbbi cihazlar, radyasyon ve diğer fiziksel ajanlar ve bilgi teknolojisi alanlarındaki istisnai eğitim ve öğretimimiz bizi bugünkü halimize getirmiştir. Sağlık hizmetlerinin çehresini değiştiren son derece başarılı bir meslek. Her gün, modern teknolojinin harikaları olan sofistike tanı ve tedavi cihazlarının klinik açıdan etkili, güvenli ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak hayat kurtarıyoruz. Bir meslek olarak yaptığımız işin hastaların ve diğerlerinin refahı için ne kadar önemli olduğunun bilincindeyiz. İşimizi gereken dürüstlük, bağlılık ve özveriyle yapıyoruz. Eğitim ve öğretim programımız en iyiler arasındadır"

İlk alıntı 1970'li yıllara ikinci alıntı ise 2020'li yıllara ait.

Günümüze geldiğimizde, başta yapay zeka olmak üzere, medikal fizikçiler, çok hızla artan bir teknoloji bombardımanı içinde yer almaktadırlar. Özellikle, yapay zeka uygulamalarında ileride medikal fizikçilerin mesleklerin kaybetme tehlikesi yerine, bu alanda oldukça fazla yeni medikal fizikçilere gereksinim olacağını hatırlatmak gereklidir. Burada tek seçeneğin, yapay zeka uygulamalarının içinde olup olmamak diye ifade edebiliriz. Son olarak, yapay zeka teknolojisine erişimi olanlar olmayanlara göre önemli bir avantaja sahip olabileceğini tekrar vurgulamak gereklidir.

4 ŞUBAT 2023: Dünya Kanseri Günü.

Her yıl 4 Şubat tarihinde kutlanan “**Dünya Kanser Günü**” 2023 Yılında, “Bakım Açığını Kapatın” sloganı ile gündemini oluşturuyor. Doğal olarak, Bakım/ Tedavi açığı ülkeler arasındaki, Cihaz, Personel, Bilgi ve Hastalara eşit ulaşım başlıklarını içeriyor.

2022 yılı, '**Close the Care Gap / Bakım Açığını Kapatın**' kampanyasının ilk yılı, dünya çapında kanser bakımındaki eşitsizlikleri anlamak ve tanımakla ilgiliydi.

2023 Yılı, Dünya Kanser Günü'nde günün önemi ile ilgili aşağıdaki açıklamalar çok önem taşıyor:

Bu konu, açık fikirli olmak, varsayımlara meydan okumak ve katı gerçeklere bakmakla ilgilidir: Kanser tedavisindeki eşitsizlik hayatlara mal oluyor. Kanser tedavisi almak isteyen kişiler her fırsatta engellerle karşılaşıyorlar. Gelir, eğitim, konum ve etnik köken, cinsiyet, cinsel yönelim, yaş, engellilik ve yaşam tarzına dayalı ayrımcılık, kanser bakımını/tedavisini olumsuz etkileyebilecek faktörlerden sadece birkaçıdır. Kanser tedavisindeki bu boşluk, biz ve sevdiğiniz de dahil olmak üzere herkesi etkilemektedir.

Kanser tedavisinin önündeki bariyerler sabit değildir. Değiştirilebilirler.

İşte bu amaçla, işleri yapmanın daha iyi bir yolunu hayal etmeye ve daha adil bir gelecek vizyonu inşa etmeye başlayabiliriz. İnsanların daha sağlıklı yaşamlar sürdüğü ve nerede doğduklarına, büyüdüklerine, yaşlandıklarına, çalıştıklarına veya yaşadıklarına bakılmaksızın sağlık ve kanser hizmetlerine daha iyi erişebildikleri bir gelecek lazım.

Medikal Fizik Derneği, 2023 Yılı “ MEDİKAL FİZİK KONGRESİ” tarihini açıkladı: 2-5 Kasım 2023.

MFD Yönetim Kurulu Adına Dernek Başkanı Doç. **Dr. Aydın Çakır** “2023 Yılı Medikal Fizik Kongresi” ile ilgili şu açıklamayı yaptı;

“19. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 2 Kasım–5 Kasım 2023 tarihleri arasında Hilton Dalaman Sarıgerme Otel’de gerçekleştirilecektir. Kongre Düzenleme Kurulu olarak siz değerli meslektaşlarımızı, Mustafa Kemal Atatürk ve silah arkadaşlarımızın 29 Ekim 1923’te kurduğu Cumhuriyetimizin 100. yılında gerçekleşecek olan 19. Ulusal Kongremize davet etmenin haklı gururu ve mutluluğunu yaşamaktayız. Sevgi ve Saygılarımızla, Kongre Düzenleme Kurulu Adına

Kongre Başkanı

Doç. Dr. Aydın Çakır”

Medikal Fizik Kongresi'nin tüm meslektaşlarımızın katılımıyla, yeni bir heyecan, yeni bir teknolojik açılım, güzel bir medikal fizik ortamı ve platformu yaratacağına inanarak, başarılı olacağına olan inancımızı iletiyoruz.

Saygılarımızla.

Haluk ORHUN

1. **Jacob Van Dyk;** Londradaki Western Üniversitesi, Onkoloji ve Biyofizik Bölümü'nde Emeritus Profesör. 40 Yıllık değişik kurumlarda medikal fizik deneyimi. Alanında birçok ödül sahibi.
2. **David Thwaite;** Avustralya'da Sidney Üniversitesi'nde, Institute of Medical Physics Bölümü'nde Fahri (Honorary) Profesör. ESTRO ve diğer kurumlardan ödülleri var.
3. **Carmel J. Caruana;** Malta Üniversitesi Medikal Fizik Bölümü Başkanı. PhD sahibi.

MEDFİZ@ONLINE E-DERGİSİ İLE İLGİLİ

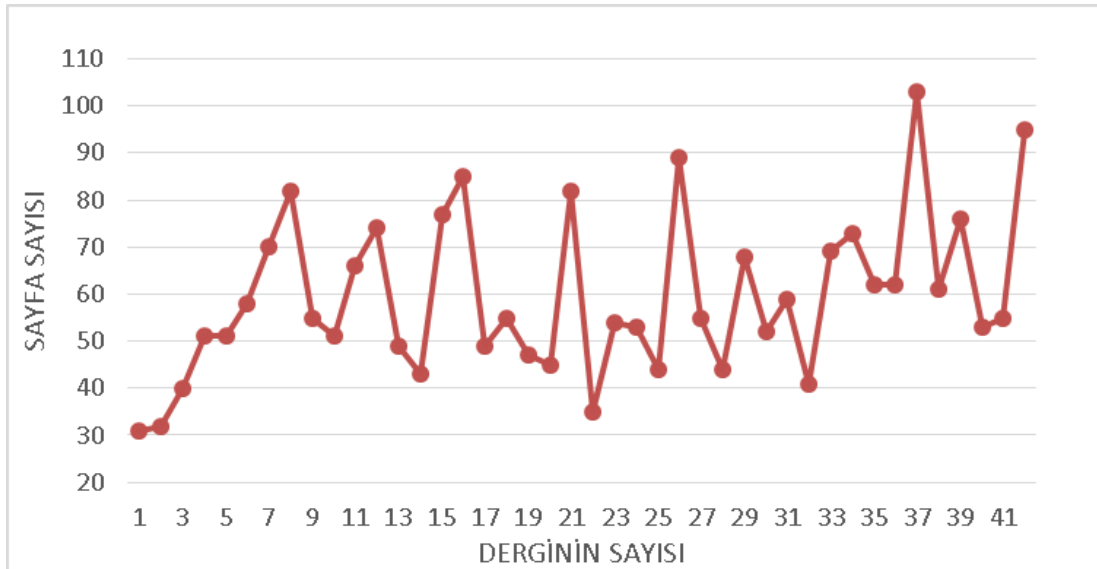
8. YILA YANSIYAN SAYILAR

MedFiz@Online

- MedFiz@Online e-dergisi hiçbir yerden ekonomik katkı almayan ve tamamen gönüllülük esasına göre (kar amacı gütmeyen) oluşturulmuş bir çalışma grubudur. Dergi ilgili kişilere ücretsiz ulaştırılmaktadır.
- 7 yıl'da 42 sayı yayınlanmış ve hiç aksatılmamıştır.
- Tüm dergilerin toplam sayfa sayısı: 2427. Dergi başına ortalama 57.8 sayfa düşüyor. Bir sayıda en fazla dergi sayfası ise: 103, en az: 31
- Yazılarda imzası olan yazar sayısı (Merhaba dahil); 379, bu yazarların 157'si iki veya daha fazla yazı yazmış. Dergi başına düşen ortalama yazar sayısı: 9.0
- Yayınlanan yazı sayısı (Merhaba yazısı hariç) : 521, 42 adet Merhaba yazısı ile birlikte toplam 563 yazı yer alıyor. Dergi sayfaları, giderek artma eğilimi gösteriyor.
- Facebook ve Instagram gibi sosyal medya'da yer alınıyor.
- e-Dergi, Medikal Fizik Derneği tarafından destekleniyor ve her sayısı Dernek Yönetim Kurulu tarafından üyelerine ücretsiz olarak yollanıyor. Dergi, Medikal Fizik Derneği dışındakilere mail listesi aracılığı ile ulaştırılıyor.
- Derginin tüm sayılarına Dernek Web sitesinden ulaşmak mümkündür.

e-posta:medfizonline@gmail.com,

web: www.medikalfizik.org



NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ MERAM TIP FAKÜLTESİ

RADYASYON ONKOLOJİSİ ANABİLİM DALI



Med.Fizik Uzm. Çağla Çetinkaya

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim dalı, 2009'da hizmete açılmıştır. Konya ve çevre illerine dünya standartlarında sağlık hizmeti sunmaktadır. Onkoloji Hastanesi içerisinde yer alan radyasyon onkolojisi kliniği ise 3'ü aktif olmak üzere 4 radyasyon onkolojisi uzmanı, 3 medikal fizik uzmanı, 11 radyoterapi teknikeri, 6 hemşire ve 3 tıbbi sekreteri ile hizmet vermektedir.

Bölümümüzde 1 adet tedavi planlama odası, 1 adet CT-Simülatör cihazı, 1 adet linak tabanlı Siemens Primus radyoterapi cihazı, 1 adet TomoTherapy HDA cihazı, 1 kurşun blok döküm odası ve 1 adet dozimetrik ekipman odası bulunmaktadır.

TomoTherapy HDA Radyoterapi Cihazı

Tomotherapy cihazı Bilgisayarlı Tomografi cihazına benzer görünümde olup hasta tedavi masasına yatırıldıktan sonra, masa cihazın geniş halka yapısı içine doğru hareket eder. Bu esnada halka üzerinde konumlandırılmış binlerce ışın demeti ile istenen bölgeye noktasal ışın tedavisi uygulanabilir. Hasta boylamsal ekseninde hareket halindeyken gantri hasta etrafında dönerek özel kolimatör dizaynıyla ışınların doz yoğunluğunu ayarlamaktadır. 6MV foton ışınlarını kullanarak hareketli MLC ve gantri yapısı ile kaliteli radyoterapi planları yapılmasına olanak sağlar. Farklı açılardan farklı dozların uygulanabilmesi, bu cihaza farklı boyut ve şekillerdeki tümörlere bile çevre sağlıklı dokulara en az hasarı verirken en iyi tedaviyi uygulama özelliği verir. Klasik radyoterapi cihazları ile

yapılması mümkün olmayan birden fazla bölgedeki tümörlerin aynı anda ışınlanmasına imkân sağlarken aynı zamanda tedavi öncesi alınan BT görüntüleri ile tümörün yeri kesin olarak belirlenir. Bu tümörün etrafındaki dokuları daha fazla koruyarak hedefe yönelik daha yüksek doz vermemizi sağlar.

Siemens Primus Linak Cihazı:

Cihazda mevcut bulunan MLC sistemi 3 boyutlu konformal radyoterapi (3BKRT) ve yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) tekniklerinin uygulamasına olanak sağlamaktadır. Siemens primus model lineer hızlandırıcı cihazı 6MV ve 10MV X-ışınları ve 6MeV, 9MeV, 12MeV, 15MeV, 18MeV, enerjili elektron demetleri ile tedavi yapabilmektedir. Cihaz, Eclipse marka tedavi planlama sistemi ile bağlantılı çalışmakta ve bu sayede hastaya özgü tedavi planlamaları oluşturulabilmektedir. Siemens primus cihazı "Step and Shoot" tekniği ile belirlenen tedavi alanına, birçok açıda ve her bir açı için değişik segmentlerden oluşan farklı yoğunluktaki ışınlar ile ışınlama yapabilir. Cihaza bağlı bulunan portal görüntüleme sistemi ile tedavi öncesinde ve esnasında eşzamanlı olarak görüntü alınabilmektedir.

Klinikte 2 adet Eclipse TPS, 2 adet Eclipse konturlama istasyonu, iki adet Tomotherapy planlama ve konturlama istasyonu, 1 adet Prowess marka planlama ve konturlama sistemi bulunmaktadır.

Dozimetri Sistemleri ve Fantomları:

Bölümde; RW3 Katı Su Fantomu, PTW Octavius 2D T40054 dose verification system, Octavius dedector 729, Octavius dedector 1500, Standard Imaging TomoElektrometer, A1SL, AS17 iyon odaları, Daily QA Lineer Hızlandırıcı Günlük Kalite Kontrol Cihazı, Cheese fantom, çeşitli hacimlerde silindirik iyon

odaları, bunlarla uyumlu elektrometreler, çeşitli hacimlerde paralel plak iyon odaları ve bunlarla uyumlu elektrometreler, EDR2 ve Gafkromik dozimetrik film çeşitleri, Epson Marka Tarayıcı ile Smarter tems Dozimetrik Film Kalite Kontrol Sistemleri bulunmaktadır.

Anabilim dalında gerçekleştirilen radyoterapi uygulamaları;

- Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (IMRT)
- Stereotaktik Vücut Radyoterapisi (SBRT),
- Stereotaktik Radyo Cerrahi (SRS),
- Görüntü Rehberliğinde Radyoterapi,
- Adaptif Radyoterapi
- Üç Boyutlu Konformal RT (3DCRT) .



Klinik Kadro;

Radyasyon Onkolojisi Uzmanları:

- Prof. Dr. Mehmet KOÇ
- Doç. Dr. Gül KANYILMAZ
- Doç. Dr. Meryem AKTAN
- Dr. Öğr. Üyesi Berrin BENLİ YAVUZ
- Asistan Dr. Tuğba YILMAZ
- Asistan Dr. Ersin KOCACIK
- Asistan Dr. Havva KOÇAK

- Asistan Dr. Ayşe Sümeyye SAFİ
- Asistan Dr. Beyza Nur YAHŞİ

Medikal Fizik Uzmanları;

- Hikmettin DEMİR
- Çağla ÇETİNKAYA
- Ahmet ŞAHİN

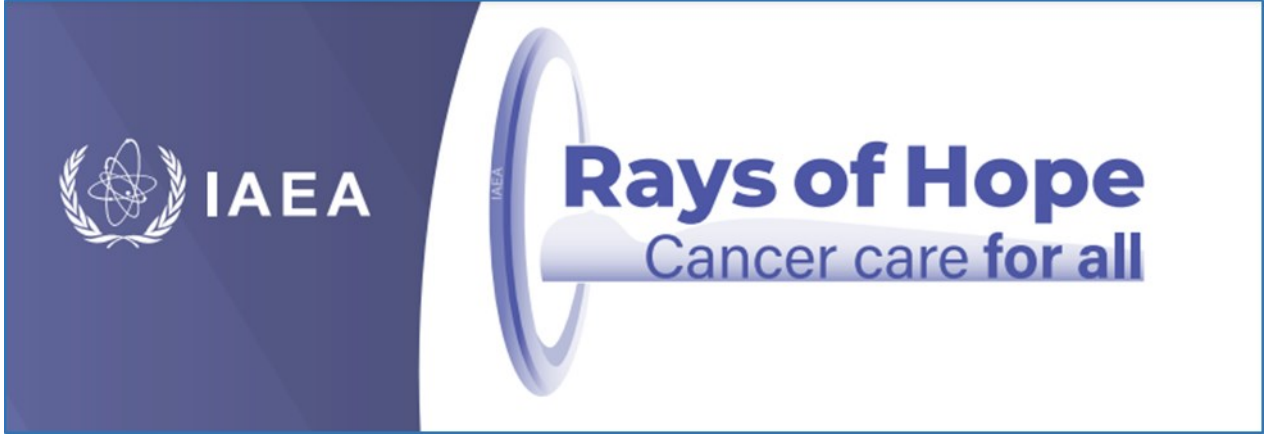


Med.Fizik Uzm. Çağla ÇETİNKAYA

2003 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. 2005 Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom ve Molekül Fiziği Yüksek Lisans, 2007 Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans ve Necmettin Erbakan Üniversitesi 2022 Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans eğitimlerini tamamladı. Biyofizikte Radyoterapi modelleme ve open-source yazılımlar üzerine çalışmaları devam etmektedir. 2011 yılından itibaren Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp

Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Radyoterapi Bölümü' nde Medikal Fizik Uzmanı olarak görev yapmaktadır.

IAEA UMUT IŞINLARI PROJESİ



Prof. Dr. Yavuz Anacak

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi

Bir Birleşmiş Milletler kurumu olan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) kurulduğu 1957 yılından bu yana "atoms for peace" sloganıyla nükleer enerjinin insanlık yararına barışçıl amaçlarla kullanılması için çabalıyor.

Bu çerçevede radyasyonun insan sağlığı için tanı ve tedavide kullanımının yaygınlaşması, uygulama kalitesinin ve başarısının yükselmesi de IAEA'nın hedefleri arasında. IAEA bu hedefe ulaşmak için neredeyse 50 yıldır tüm dünyada tanısız radyoloji, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi merkezlerinin sayısının artırılması, ekipman eksikliğinin giderilmesi ve personelin bilgi kapasitesinin yükselmesine yönelik olarak çalışmalar yapıyor, projeler üretiyor ve eğitim programları düzenliyor. Tüm bu etkinlikler IAEA'nın en önemli birimlerinden olan Teknik İşbirliği (TC-Technical Cooperation) departmanı tarafından yürütülüyor.

İki yıl önce IAEA direktörlüğüne seçilen Arjantinli dinamik diplomat Rafael Grossi geçtiğimiz yıl 4 Şubat Dünya Kanser Günü'nde çarpıcı bir proje başlattı.

Umut ışınları (Rays of Hope) adını taşıyan proje radyasyonun kanser tanısı ve özellikle tedavisinde daha etkin kullanılması, radyoterapiye gerek duyan her kanser hastasının tedaviye kolayca erişebilmesini hedefliyor. Tüm dünyada radyoterapi altyapısı bulunmayan onlarca ülke ve radyoterapiye erişemeyen milyonlarca kanser hastası olduğu düşünülürse IAEA projesi oldukça hırslı gözüküyor. Mevcut bütçesinin bu proje için son derece yetersiz olduğunun farkında olan Grossi'nin hedeflerinden birisi de ekonomisi güçlü ülkelerden ve önemli vakıf ve uluslararası kuruluşlardan ilave finansman sağlamak.

Projenin ilk ayağı bir yıl önce Afrika'da başladı. Sahra altı Afrika ülkelerinin neredeyse hiçbirisinde yeterli radyoterapi altyapısı yok, 54 Afrika ülkesinin 26'sında (%48) radyoterapi merkezi bulunmuyor, diğer ülkelerde de altyapı son derece yetersiz, ekipman çok eski, personelin eğitimi yetersiz. Projenin hedefi tüm Afrika ülkelerinde düzgün işleyen radyoterapi tesislerinin kurulması. Asya ve Latin Amerika bölgelerinde durum Afrika'dan daha iyi gözükmeyle birlikte bu ülkelerde de eskiyen ekipmanın yenilenmesi, modern radyoterapi tekniklerinin

uygulanmaya başlanması hedefleniyor.

Türkiye'nin de içinde bulunduğu Doğu Avrupa ve Orta Asya bölgesinin sorunları biraz daha farklı. Bölgemizde tüm ülkelerde iyi kötü işleyen bir radyoterapi altyapısı var, ancak özellikle Balkanlar, eski Sovyet cumhuriyetleri ve Orta Asya Türkiye Cumhuriyetlerinde önemli bilgi ve deneyim eksikliği görülüyor. Bu nedenle IAEA umut ışınları projesinin bölgemizde uygulamasının özellikle eğitim üzerine olmasını planlıyor. Polonya'dan Kazakistan'a dek uzanan bölgemizdeki 33 ülke bu projede yer alıyor. Henüz hazırlık aşamasında olan ve detayları önümüzdeki günlerde netleşecek. Projede önemli hedeflerden bir tanesi bölgede IAEA'nın eğitim üsleri oluşturulması. "Anchor Center" olarak adlandırılan bu merkezlerin uzun yıllardır IAEA ile işbirliği içerisinde olan, IAEA stajyerlerine eğitim verme deneyimine ve kapasitesine sahip, güçlü akademik kadrosu ve radyoterapi altyapısı bulunan akademik kurumlarda oluşturulması planlanıyor. Türkiye bölgemizde ileri radyoterapi tekniklerini hemen tüm merkezlerinde uygulama kapasitesine sahip ve akademik eğitim verebilecek çok az sayıda ülkeden birisi. Önümüzdeki aylarda başlaması planlanan projede güçlü radyoterapi altyapısı ve akademik altyapısı ile

Türkiye'nin bu projede eğitim alanında önemli bir rol oynaması bekleniyor.

Uzun yıllar sürmesi beklenen Umut Işınları projesi radyoterapinin tüm dünyada herkes için ulaşılabilir olması için uzun süredir atılan en önemli adım olarak gözüküyor.



Prof. Dr. Yavuz Anacak

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Öğretim üyesi. TROD önceki başkanıdır. IAEA, WHO, ESTRO, ve UICC gibi uluslararası kuruluşların projelerinde görev yapmış, IAEA'nın Viyana'daki merkezinde uzun süre çalışmıştır. Prof. Anacak radyasyon Onkolojisi ile ilgili IAEA projelerinin Türkiye Koordinatörlüğünü yürütmektedir.

MEDİKAL FİZİKTE TARTIŞMALI KONULAR

GÖRÜŞ/KARŞIT GÖRÜŞ-1

1.15. Implanted fiducial markers are no longer needed for prostate cancer radiotherapy

Christopher F. Njeh and Brent C. Parker
Reproduced from *Medical Physics* 44, 6113–6116 (2017)
([http:// dx.doi.org /10.1002/mp.12633](http://dx.doi.org/10.1002/mp.12633))

MEDICAL PHYSICS 44, 6113–6116 (2017)'DEN ALINMIŞTIR. ([HTTP://DX.DOI.ORG /10.1002/MP.12633](http://dx.doi.org/10.1002/MP.12633))

PROSTAT KANSERİ RADYOTERAPİSİNDE FUDİCİAL MARKER (FM) İMPLANTINA ARTIK GEREKSİNİM YOKTUR.

Med. Fiz. Uzm. Gözde Seçil Karadoğan

GENEL BAKIŞ

Uzun yıllardır, prostat kanseri radyoterapisi öncesinde, sırasında ve sonrasında hedef hacmin konumunu doğrulamak amacıyla FM kullanımı yaygın bir uygulama olmuştur. Bazı çalışmalarda, Cone Beam CT (CBCT) ile görüntüleme sayesinde artık FM'lere ihtiyaç olmadığı iddia ediyor. Bu yazıda bu savunmanın avantajlı ve dezavantajlı yönlerini tartışılacaktır.

FM'lere ihtiyaç olmadığını savunan, Christopher F. Njeh, Ph.D. Dr. Njeh, Birmingham Üniversitesi, Aberdeen Üniversitesi ve Birleşik Krallık Sheffield Hallam Üniversitesi mezunudur. Profesyonel kariyerine Cambridge'deki Addenbrooke's Hospital ve Queen Elizabeth's Hospital'da başladı. Birmingham, Birleşik Krallık daha sonra Kaliforniya Üniversitesi Radyoloji Bölümü'ne katıldı. San Francisco'da doktora

sonrası araştırma görevlisi olarak görev yaptı ve sonrasında Yardımcı Doçent olarak atandı. Dr. Njeh, Baltimore'daki Johns Hopkins Üniversitesi'nde Medikal fizik ihtisasını tamamlayarak terapötik medikal fiziğe geçiş yaptı. Tyler'daki Texas Oncology'de şef olarak görev yaptı. Ayrıca Tyler'daki Texas Üniversitesi ve Fresno'da California Eyalet Üniversitesi'nde çeşitli yardımcı pozisyonlarda görev aldı. Halen Franciscan Health, Indiana'da Baş Medikal Fizikçi ve Radyasyon Güvenliği Görevlisidir. Dr. Njeh, ABR tarafından Terapötik Radyolojik Fizik sertifikasına sahiptir. Başlıca ilgi alanları osteoporoz, görüntü kılavuzluğunda radyasyon tedavisi (IGRT) ve akselere parsiyel meme ışınlamasıdır. 65'in üzerinde hakemli dergi makalesinin ve 10 kitap bölümünün yazarı veya ortak yazarıdır ve iki kitabın ortak editörüdür. British Journal of Radiology'nin Yardımcı Editörüdür. Aynı zamanda ASTRO Eğitim Komitesi'nin ve AAPM' in üyesidir.

Karşıt görüşte olan, Ph.D. Brent C. Parker ise M.D. Anderson Kanser Merkezi, Houston'da asistan olarak

çalıştığı sırada, Texas-Houston Üniversitesi Sağlık Bilimleri Merkezi Biyomedikal Bilimler Enstitüsü, Houston' da Medikal Fizik yüksek lisans ve doktora derecelerini aldı. Daha sonra 2004-2007 yılları arasında Texas Medical Branch, Galveston, TX Üniversitesi'nde Medikal fizikçi olarak çalıştı. 2007–2011 arasında Baton Rouge, LA, Mary Bird Perkins Kanser Merkezi'nde çalıştı. Ardından şu anda Fizik ve Mühendislik Bölümü Direktörü ve Radyasyon Onkolojisi Bölümünde Doçent olduğu Galveston'daki Texas Tıp Şubesi'ne döndü. Dr. Parker, ABR tarafından Terapötik Radyolojik Fizik sertifikasına sahiptir ve AAPM Güneybatı Bölümü Başkanı olarak görev yapmıştır. Başlıca ilgi alanları arasında stereotaktik radyocerrahi, radyoterapi tedavi planlaması, uygulaması ve kalite kontrolüdür. Kendisinin hakemli dergilerde 20'den fazla makalesi yayınlanmıştır.

Açılış Bildirimi

Lokalize prostat kanseri tedavisi için radyoterapi tercih edilen bir seçenektir. Radyoterapinin etkinliği, tümöre yüksek dozda radyasyon verilmesine ve bu sırada çevredeki sağlıklı organlara verilebilecek hasarın sınırlandırılmasına bağlıdır. Günümüz Radyoterapi çağında doz artışı mümkündür; ancak, eskiye oranla daha yüksek geometrik doğruluğa ihtiyaç vardır. Geometrik doğruluk, tedavi sırasında hedefin görüntülenmesiyle geliştirilebilir. Genel olarak görüntü kılavuzluğunda radyasyon tedavisi (IGRT) denilen bu yaklaşımda Prostat radyoterapisi için çeşitli teknikler mevcuttur] Prostat portal görüntüleme ile kolayca görüntülenemediğinden, ilk olarak elektronik portal görüntüleme (EPI) ile kullanım için FM' lar kullanılmıştır. FM'lerin prostat kanseri radyoterapisindeki klinik faydası iyi bilinmektedir.

Bununla birlikte, FM'lerin bazı eksiklikleri vardır:

1. FM'lerin prostata implantasyonu, ağrı, rektal kanama, hematüri, prostat iltihabı ve üriner enfeksiyon gibi riskler taşıyan invaziv bir cerrahi prosedürdür. Loh ve ark. FM prosedürünü takiben hastaların %2,8'inin enfektif komplikasyonlar nedeniyle hastaneye yatış gerektirdiğini bildirmiştir. Ayrıca ilişkili riskler nedeniyle bazı hastalar bu invaziv prosedüre girmek istememektedir.
2. Tüm hastalar FM implantasyonu için uygun değildir. FM'ler koagülopatileri olan, protrombin zamanı/kısmi tromboplastin zamanı normalin 1,5 katından fazla olan ve trombosit sayısı 50.000'den az olan hastalarda kontrendikedir.
3. FM'lerin etkinliği, simülasyon ile tedavi süresi arasında her işaretçinin konumunda sabit kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Fakat küçük de olsa yer değiştirme potansiyeli vardır (seed migration). Tedavi planlaması sırasında implantasyondan kaynaklanan ödem ve enfeksiyon mevcut olabilir. Bunlar tedaviden önce veya tedavi sırasında hacim değişiklikleri veya deformasyona neden olabilir. Bu da FM'lerin konumunu değiştirebilir ve sistematik konumlandırma hatalarına neden olabilir.
4. FM'ler, içeriğindeki materyale bağlı olarak, planlanan doz dağılımında önemli doz pertürbasyonuna neden olabilir. Vassiliev ve ark. [8] FM'lerin giriş ve çıkış yüzeylerinde sırasıyla % 58'e varan doz artışı ve %47'ye varan doz düşüşü bulmuşlardır.
5. FM implantasyonu Das ve arkadaşlarına göre altın tohumları, iğne yerleştirme ve transrektal

ultrason gibi işlemleri gerektirdiği için ekstra maliyetlere sebep olmaktadır.

6. Son olarak, FM'ler sadece prostat pozisyonunun yerine geçer ve prostatın deformasyonu, seminal veziküllerin lokalizasyonu veya çevredeki normal dokulardaki değişiklikler hakkında bilgi vermez.

FM'lerin bu dezavantajları göz önüne alındığında, FM'siz CBCT daha iyi bir alternatif sağlayabilir. CBCT'nin bir avantajı, portal görüntülemeye kıyasla iyi kalitede yumuşak doku görüntü çözünürlüğü içerir. Çalışmalar, CBCT'nin FM'lerle karşılaştırılabilir bir lokalizasyon doğruluğu sağladığını göstermiştir. CBCT ayrıca tedavi sırasında prostat, seminal veziküller ve komşu yapıların port filme göre daha iyi görüntülenmesini sağlar. Alternatif tekniklerin düşük riski göz önüne alındığında, prostat IGRT için FM'lere hala ihtiyaç duyulması için hiçbir neden yoktur.

Önermeye karşı: Brent C. Parker, Ph.D.

Açılış Bildirimi

Radyasyon onkolojisinde, hasta set-up'ı sırasında hedef hacmi doğru pozisyonlamak için standart olarak implante prostatik referanslar sıklıkla kullanılır. Set-up için kullanılan 2B ortogonal görüntüleme ile birlikte FM kullanımı, 3B konum doğrulama ve düzeltme imkanı sağladı. Bununla yansırı, CBCT'nin ortaya çıkmasıyla birlikte, 3D hacimsel görüntüleme bilgileri doğrudan hasta konumlandırma kullanılabılır. Bu, prostat radyoterapisinde artık FM kullanımına ihtiyaç olmadığı sonucuna varılmasına yol açabilir. Gerçekten de araştırmalar, ortogonal düzlemsel görüntüleme ile görüntülenmiş FM'lerin hasta konumlandırma için CBCT'den üstün olmadığını

göstermiştir. Bu nedenle, hasta set-up'ında geleneksel kullanımında FM gibi referanslara "ihtiyaç" yoktur. Bununla birlikte, diğer taraftan, CBCT'nin fudicialardan üstünlüğü de yoktur. Bu durumda, karar verirken başka konulara dikkat edilmelidir. Örneğin, CBCT, set-up sırasında hedef konumlandırma FM'lerin kullanılması ihtiyacını ortadan kaldırabilirken, intrafraksiyonel prostat yer değiştirmesini ele almaz. Bu fraksiyon içi hareket ancak radyopak fiducial noktalarının görüntülenmesi veya transponder fudicialardan veri alınması yoluyla belirlenebilir. Hedef takibi için, implante edilmiş transponder referansları (örn. Calypso, Varian Medical Systems), hacimsel görüntüleme için tedaviye ara vermeye gerek kalmadan intrafraksiyon prostat yer değiştirmesinin sürekli, gerçek zamanlı takibine olanak tanır. IGRT sistemleri, prostat yer değiştirmesini zamanın bir fonksiyonu olarak değerlendirmek için tedavi uygulaması sırasında radyopak fudiciaların görüntülenmesine izin verebilir. Çalışmalar, FM'lerin karşılaştırmalı olarak doğru intrafraksiyonel prostat hareket ölçümleri sağladığını göstermiştir.

İntrafraksiyon hareketi çoğunlukla küçük olsa da bazen klinik olarak anlamlı olabilir ve tedavi planının özelliklerine (örn. verilecek marjın boyutu) bağlı olarak hedeflenen tedavinin yapılmasına engel olabilir. Bu yer değiştirmeler, fraksiyon süresinin artmasıyla birlikte artar. Bu gibi durumlarda, prostat pozisyonunun tekrardan kontrol edilmesi veya hedefi kaçırmamak için daha büyük marjlar kullanmak gerekecektir. Daha büyük marjlar verilmesi normal doku dozlarının artmasına ve bu da olası komplikasyonların artmasına yol açacaktır.

Hipofraksiyone prostat radyoterapisinin yaygınlaşması ile hedef hacimde yeterli doz kapsamı sağlanırken, marjları azaltmak önemli hale gelmiştir. FM kullanılarak intrafraksiyonel olarak prostat yer değiştirmesinin doğru ve gerçek zamanlı ölçümünü alabilmemiz sayesinde, tedavi sırasında müdahale gerekliliğini belirleyebilmekteyiz. Sonuç olarak, hasta set-up'ı için FM'lere ihtiyaç duyulmazken, prostatın adaptif ve hipofraksiyone radyoterapisinin gelişiminde FM'ler önemli bir rol oynayacaklardır.

Çürütme: Christopher F. Njeh, Ph.D.

Prostat radyoterapisinde hasta set-up'ı için FM'lerin CBCT gibi invaziv olmayan tekniklerden üstün olmadığı konusunda Dr. Parker'a katılıyorum. Ayrıca Dr. Parker FM'lerin intrafraksiyon hareketini izlemek için kullandıkları bildirdi. Ancak veriler bunu haklı çıkarmıyor. Araştırmalar intrafraksiyon hareketin yalnızca uzun süreli tedavilerde klinik olarak anlamlı hale geldiğini bulmuştur. Langen ve ark. ilk set-up'tan itibaren hastaların yalnızca %13'ünün 5 dakikada 3 mm'nin üzerinde yer değiştirmelere sahip olduğunu ve bu rakamın 10 dakikada %25'e yükseldiğini bildirmiştir. Ayrıca, bu tip intrafraksiyonel hareketler tedavi planlama marjlarında dikkate alınmaktadır. Dr. Parker, hipofraksiyone tedaviler için intrafraksiyonel takibin, fraksiyon süresinin artması ve tedavi marjlarını azaltma ihtiyacı nedeniyle kritik olduğunu belirtti. Artan fraksiyon süresi, prostat tedavilerinin tipik olarak fraksiyon başına 45 dakikaya kadar sürdüğü CyberKnife cihazı için doğrudur. Günümüz LİNAK'ların da VMAT planlamaları sayesinde prostat kanseri tedavi süresi önemli ölçüde azalarak ortalama 4.6 dakikaya inmiştir. Ayrıca 2400 MU/dk'ya varan doz hızı sağlayan FFF enerjileri ile

planlanan hastalarda, hipofraksiyone dozları birkaç dakika içinde vermek mümkün hale gelmiştir.[23, 24] Bu nedenle, prostatın hareket edeceği kadar klinik olarak anlamlı veya uzun bir zamandan bahsedemeyiz.

Dr. Parker ayrıca intrafraksiyon hareketinin düzeltilmemesinin daha yüksek tedavi marjları gerektireceğini belirtti. Fakat prostat marjlarına en büyük katkı, intrafraksiyon hareket gibi rastgele hatalar değil, hedef hacim belirleme gibi sistematik hatalardan oluşmaktadır. Araştırmalar ayrıca IGRT kullanırken CTV'ler etrafındaki marjın aşırı derecede düşürülmesine karşı uyarıda bulunmuştur. Bu nedenle, prostat radyoterapisi için FM'lerin artık gerekli olmadığı sonucuna varmak mantıklıdır.

Çürütme: Brent C. Parker, Ph.D.

Meslektaşımın FM kullanımına karşı sunduğu görüşleri sırasıyla ele alacağım:

1. Cerrahi riskler: Loh ve ark. çalışmasının sonuçları hastalardan alınan retrospektif kişisel bildirim verilerine dayanıyordu. Yanıt veren hastaların demografik özelliklerine bağlı olarak sonuçların yanlı olması mümkündür. Moman ve ark. transrektal veya transperineal fiducial implantasyonu olan 914 hastada sadece %0.2 ürosepsis oranı bildirmiştir.
2. Tüm hastalar aday değildir: FM'ler için aday olmayan bir hasta alt grubu olsa da, bu hasta set-up'ında FM'lerin etkinliğini ele almaz. FM'ler hala, CBCT ile görülemeyen hedefin intrafraksiyon hareket bilgisini verir.
3. Seed migration: Kumar ve ark. ortalama FM göçünü 1 mm'nin altında gösterdi. Elde ettikleri

sonuçlar, verilen 1-3 mm'lik bir marjın tedavi için yeterli olduğunu gösterdi. Ek olarak, tek bir seed'in büyük bir hareketi görüntüleme sırasında kolayca fark edilebilir ve bu seed hareketi, görüntüleme sürecinde dikkate alınmayabilir.

4. Ödeme bağlı hatalar: Kumar ve ark. FM implant günü ile FM yerleştirilmesinden sonraki 1 hafta arasında ortalama prostat hacmindeki değişimin %1,4 olduğunu göstermiştir. Bu sebeple hastanın simülasyonunu FM yerleştirildikten 1 hafta sonra yapmak ödem veya iltihaplanmaya bağlı etkileri en aza indirecektir.
5. Doz pertürbasyonu: Vassiliev ve ark. doz pertürbasyon etkilerinin, altın gibi yüksek Z materyali içeren FM'ler için bir sorun olduğunu ve aslında karbondan yapılan FM'lerde doz pertürbasyonu olmadığını gösterdi. Bu nedenle, dozimetrik sorunlar, FM materyalinin seçiminin bir sonucudur ve genel olarak FM kullanımının doğal bir sınırlaması değildir.
6. Ekstra masraflar: Veriler, bir prostat IMRT Radyoterapisi için Medicare geri ödemesinin yaklaşık 30.000 \$ olduğunu göstermektedir. FM implantının toplam tedavi maliyetinin önemli bir

bileşeni (%1,1) olmadığı görülmektedir.

7. Eksik bilgi: İlk set-up CBCT'si görüntü bilgisini tedaviyi kesintiye uğratmadan sağlamaz. Bununla birlikte FM'ler müdahale gerekip gerekmediğini belirlemek için prostat hareketinin ve deformasyonunun intrafraksiyonel olarak izlenmesine izin verir.

FM'lerin ilk set-up sırasında prostat konumlandırması için gerekli olmadığı konusunda hemfikir olsam da, FM'ler gerçek zamanlı intrafraksiyon yer değiştirme verileri sağlayabilirler. Bu da, daha küçük marjlara ve azaltılmış normal doku komplikasyonlarına olanak sağlar.

Not: Çeviride verilen referansları orijinal makalede bulabilirsiniz.

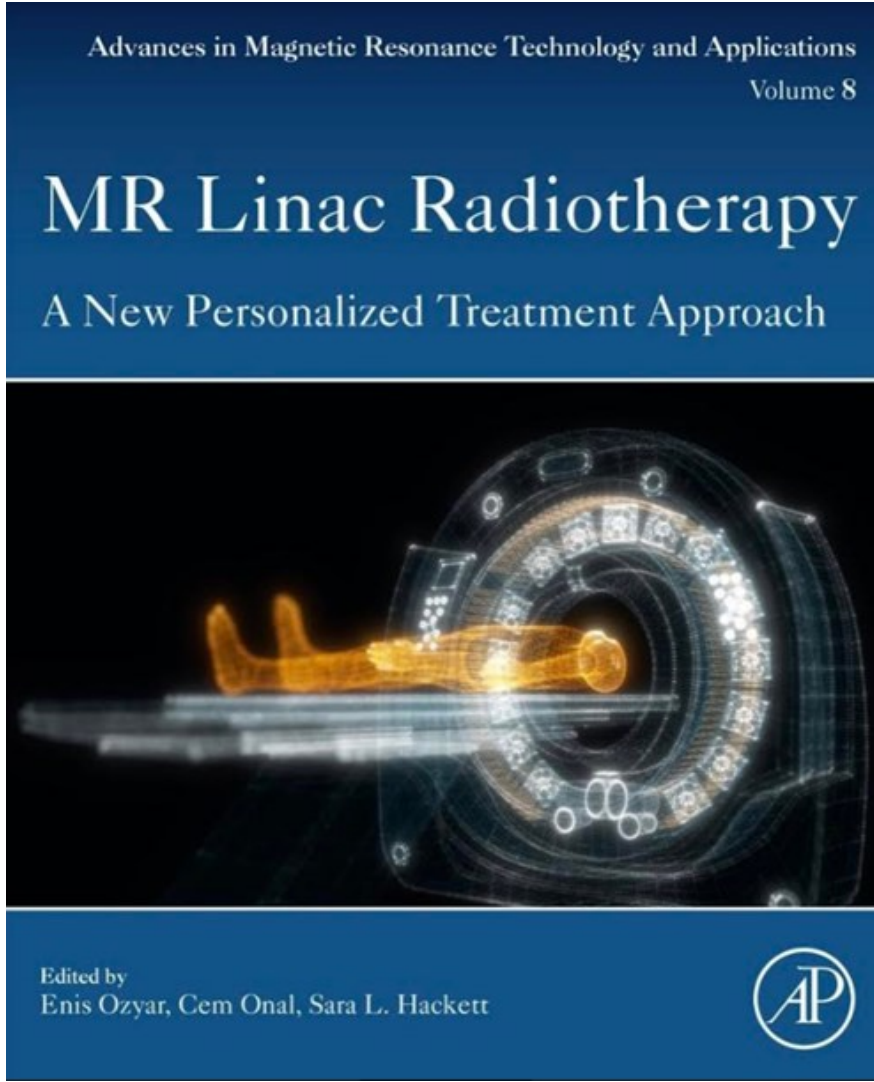


Med.Fiz.Uzm. Gözde Seçil Karadoğan

2008 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü'nden mezun oldu. 2011 yılında 9 Eylül Üniversitesi Medikal Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2011-2015 yılları arasında Ege Özel Onkoloji Merkezi'nde çalıştı. Ardından 2015 yılında İzmir Dr. Suat Seren Göğüs Hastalıkları ve Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi'ne Sağlık Fizikçisi olarak atandı ve halen görevine burada devam etmektedir.

KİTAP TANITIMI:

MR LINAC RADIOTHERAPY, A NEW PERSONELIZED TREATMENT APROACH



Lagendijk J.J.W. & Intven M.P.W. Rationale for the MR-linac. Ozyar E. Onal C & Hacket S.L. editors. Advances in Magnetic Resonance Technology and Applications Volume 8, MR Linac Radiotherapy A New Personalized Treatment Approach. London:Elsevier; 2022.

Med. Fiz. Uzm. Evren Ozan Göksel

Giriş:

Radyoterapinin amacı çevredeki yapılara zarar vermeden tümör hücrelerine ablatif dozlar verebilmektir. Tedavi sürecindeki belirsizlikler

nedeniyle, istenen doz tümöre her zaman tam olarak verilemeyebilir. Bu belirsizlikler, tedavi planlama sürecinde büyük marjların kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu marjların; tümör infiltrasyonunu, tedavinin uygulanması sırasında tümörün görüntülenmesindeki sınırlamaları, tümör hareketini ve setup hatalarını hesaba katması gerekir. Sonuç olarak; planlanan hedef hacmin (PTV) bir kısmı normal dokulardan oluşur ve bu dokularda oluşabilecek radyasyona bağlı toksisite nedeniyle tedavi planlaması sırasında tümöre yeterli ablatif dozlar reçete edilemez.

Standart radyoterapi tekniklerindeki bu sınırlamalar daha iyi tümör karakterizasyonu, hedef pozisyonu doğrulama ve tedavi sırasında hedefleme gibi tekniklerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu gelişmeler; multimodalite görüntüleme kullanılarak tümör karakterizasyonu ve ardından tedavi sırasında gerçek zamanlı, intrafraksiyonel plan adaptasyonları olabilir. Gerçek zamanlı adaptasyon ve hedef takibi tekniği optimal normal doku korumasına ve dozun doğru yere verilmesine olanak tanıyabilir⁽¹⁾.

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG); BT'ye (Bilgisayar Tomografi) ve özellikle CBBT'ye (Cone Beam Computed Tomography) kıyasla daha iyi yumuşak doku kontrastı ve tümör karakterizasyonu bilgisi sağlar. MR-linak'ın temel konsepti ilk olarak 2000 yılında ESTRO İstanbul toplantısında sunulmuştur. Üst düzey bir lineer hızlandırıcının tanınan kalitede bir MRG tarayıcısıyla entegrasyonu, tedavi masasında elde edilecek yüksek kalitede görüntüleme sayesinde tedavi planının günlük anatomik değişikliklere adaptasyonuna ve ayrıca gerçek zamanlı MRG güdümlü hedefleme yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bunlara ek olarak MR görüntüleme tarafından sağlanan fonksiyonel görüntüler, tümör karakterizasyonunun ve yanıtının günlük olarak değerlendirmesine yardımcı olacaktır. MRG'de görüntülenen gerçek anatomiye göre adapte edilen günlük tedavi planı, RAO'nun (Risk Altındaki Organlar) daha iyi korunmasını sağlayabilir. MR-linak cihazlarında diğer teknolojilerin aksine dış markerları takip etmek yerine ışınlama sırasında cine MR görüntüleme ile tümör direkt görüntülenerek takip edilebilir ve organ hareketlerine bağlı intrafraksiyonel belirsizlikler azaltılabilir. Böylece tümör kontrol olasılığı artarken, normal doku yan etki olasılığı

azaltılabilir⁽¹⁾.

Son olarak; daha iyi hedeflemenin yanı sıra, MR-linak ayrıca fonksiyonel görüntülemeyi online tedavi sürecine entegre etme olanağı sunar. Bu da bize belirli tümör tipleri için her fraksiyonda tümör karakterizasyonu ve yanıt değerlendirmesi yapma fırsatı verir. Tedavi planları ve tedavi dozları bu değerlendirmelere göre uyarlanabilir, böylece radyoterapi tedavileri elektif olmaktan çok ablatif hale gelebilir ve bunların sonucunda her hasta için radyoterapi tedavileri kişiselleştirilebilir⁽¹⁾.

Amaç ve Hedef Kitle:

Radyoterapinin en yeni uygulama alanı olan günlük online adaptif RT ile kişiselleştirilebilir tedavi, günümüzün en yeni teknolojisi olan MR-linak cihazı ile uygulanabilmektedir. Bu cihazlar yakın geçmişte hem dünyada hem de ülkemizde birçok klinikte kullanılmaya başlanmıştır ve hızla bu tedavi modalitesiyle ilgili çalışmalar ve rehberler yayınlanmıştır. Radyoterapinin geleceği olan bu tedavi seçeneği ile ilgili ilk kitap ise ülkemizden iki önemli hocamız Prof Dr. Enis Özyar (Acıbadem MAA Üniversitesi) ve Prof Dr. Cem Önal (Başkent Üniversitesi) ile birlikte Hollanda Utrecht'den Sara L. Hackett (University Medical Center) editörlüğünde yakın bir zamanda yayınlanmıştır. "MR Linac Radiotherapy, A New Personalized Treatment Approach" başlıklı kitap radyoterapi alanında çalışan tüm meslek gruplarına hitap edecek şekilde 25 bölüm ve 533 sayfa olarak hazırlanmıştır. Bu inceleme yazısının giriş bölümünde okuduğunuz yazı da kitabın "MR-linak cihazının rasyoneli" bölümünden alınmıştır. Ülkemizden radyasyon onkoloğu hocalarımızın da dahil olduğu konusunda uzman 89 yazarın görev

aldığı kitapta, MRgRT ile ilgili hem teorik bilgi edinmek isteyen hem de uygulamaya yönelik pratik bilgiler arayan tüm radyasyon onkolojisi profesyonelleri aradıklarını bulabileceklerdir. Bu kitap, tedavi planlama detayları, vaka örnekleri, bilgilendirici resimler, özetleyici şemalar ve tabloların yanı sıra, MR-linak cihazında görev yapan radyasyon onkologlarının, medikal fizik uzmanlarının, dozimetristlerin ve radyoterapi teknikerlerinin ekip çalışmasını da temsil etmektedir.

İçerik ve Önemli Başlıklar:

MR-linak cihazında çalışan veya çalışacak olan tüm personeli ilgilendiren "Manyetik Alan Güvenliği" ve "MRgRT'nin Rasyoneli" gibi bölümler içeren kitapta ayrıca özellikle radyasyon onkologlarının ilgisini çekecek olan "MR Görüntülemenin Temelleri" bölümünün yanı sıra, bu tedavi modalitesinin kullanılabileceği bütün anatomik bölgelere özel olarak hazırlanmış başlıklar da bulunmaktadır. Bu başlıklar; CNS tümörleri, özefagus kanseri, akciğer tümörleri, meme kanseri, karaciğer tümörleri, pankreas kanseri, prostat kanseri, rektum kanseri, oligometastatik hastalık, jinekolojik kanserler, pediatrik kanserler ve olağandışı tümörlerdir (kardiak, böbrek ve mesane gibi).



Resim1: Klinik olarak kullanımda olan iki MR-Linak sisteminin görüntüleri (Viewray Mridian ve Elekta Unity).

Bu başlıkların her birinin içeriği anatomik bölgeye özgü hasta hazırlığı, simülasyon, planlama görüntülerinin elde edilmesi, füzyon, hedef ve kritik dokuların konturlanması, adaptif iş akışına uygun planlama ve plan değerlendirme kriterlerini kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

Dozimetristlerin ve radyoterapi teknikerlerinin özellikle ilgisini çekecek bölümler ise "MR-Linak Cihazında Hasta Sabitleme ve Pozisyonlandırma", "MRgRT'de Tedavi Süreci" ve "MRgRT'de Radyoterapi Teknikerinin Değişen Rolü" bölümleridir. Konvansiyonel tedavilere göre MRgRT tedavi süresi daha uzun olacağı ve manyetik alan varlığı nedeniyle konvansiyonel linaklarda kullanılan sabitleme gereçleri kullanılamayacağı için hasta pozisyonlandırmasının ve sabitlemenin buna göre yapılması gerekmektedir. Ayrıca MRG için kullanılan koillerin de hastanın pozisyonunu ve sabitlenmesini etkileyeceği unutulmamalıdır. Kitabın "MR-Linak Cihazında Hasta Sabitleme ve Pozisyonlandırma" bölümünde bu konularla ilgili pratik bilgiler sunulmuş ve her anatomik bölgeye özel olarak örnekler sıralanmıştır. MRgRT iş akışında RTT ve dozimetristler hastanın pozisyonlandırılması, görüntünün alınması ve görüntülerin eşleştirilmesi işlemlerinin yanı sıra RAO konturlaması işlemini de yapmaktadırlar. "MRgRT'de Radyoterapi Teknikerinin Değişen Rolü" başlığı altında, MRgRT iş akışı içerisinde dozimetristlerin ve RTT'nin yeni sorumlulukları özetlenmektedir.

Ülkemizden iki değerli meslektaşımızın da yazar olarak görev aldığı kitapta, özellikle biz medikal fizik uzmanlarını ilgilendiren bölümler oldukça geniş bir şekilde ele alınmış. Bu kitap "MR-Linak Cihazının Teknik Yapısı", "Manyetik Alan Altında Linak

Dozimetri", "Adaptif İş Akışına Uygun Tedavi Planlama", "Online Adaptif RT İş Akışı", "MR-linak için QA ve Dozimetri", "Tedavi Planlama ve Tedavi Uygulama" bölümleriyle bu alanda çalışan, çalışmak isteyen veya sadece bilgi sahibi olmak isteyen tüm meslektaşlarımız için bir başucu kitabı niteliği taşımaktadır. Radyasyon onkolojisi alanında çalışan medikal fizik uzmanları olarak bizlerin MR cihazları ile ilgili bilgi ve tecrübemiz lineer hızlandırıcı cihazları hakkındaki kadar fazla değil. Buna rağmen *Lorentz* yasasının sonucu olarak, bir lineer hızlandırıcı cihazının manyetik alan altında çalışmasındaki teknik zorlukları hepimiz biliyoruz. "MR-linak Cihazının Teknik Yapısı" bölümünde bu zorlukların nasıl aşıldığı özetlenmektedir. MR-linak cihazlarında, manyetik alan varlığı nedeniyle konvansiyonel linaklarda kullandığımız dozimetrik ekipmanları aynı şekilde kullanamamaktayız. Kitapta "MR-linak için Dozimetri" başlığı altında, MR ortamında kullanılacak dozimetrik ekipmanlar ve ölçümler sırasında dikkat edilmesi gerekenler ayrıntılı şekilde açıklanmış. MRgRT'de lineer hızlandırıcının kalite kontrolü ve kalite temini kadar MR cihazının da kalite kontrolü ve kalite temini tedavinin doğru uygulanması için vazgeçilmezdir. MR görüntülemenin kalite kontrolü ile ilgili meslek hayatımıza yeni yeni giren uzaysal bütünlük, uzaysal çözünürlük, distorsiyon, B0 manyetik alanın homojenliği ve sinyal-gürültü oranı gibi testlerin teorisi ve pratikte nasıl uygulanması gerektiği "MR-linak için QA" bölümünde özetlenmiş. "Tedavi Planlama" başlığı altında *elektron return effect* ve *electron stream effect* gibi manyetik alan varlığı nedeniyle oluşan dozimetrik belirsizliklerin nasıl giderileceği açıklanmış. "Adaptif İş Akışına Uygun Tedavi Planlama" bölümünde ise günlük online

adaptif uygulamada hasta masada yatarken ve ekip zamana karşı yarışırken hastanın yeni anatomisine göre kolayca yeniden optimize edilebilecek planlamanın nasıl oluşturulması gerektiği konusu ele alınmış. Ayrıca, elektron yoğunluğu bilgisinin BT'den doğru şekilde elde edilmesi ve hava-su düzeltmeleriyle ilgili konu da tartışılmış. Kitapta günlük radyoterapi pratiğimizde alışkın olmadığımız günlük online adaptif RT iş akışında medikal fizik uzmanının yeri, görevleri ve dikkat etmesi gerekenler belirtilirken; bu tedavi modalitesinin uygulanabileceği bütün vakalar için tedavi planlamasında göz önünde bulundurulması gereken kriterler ve parametreler özetlenmiş. Son olarak, günlük pratiğimize hızla giriş yapmakta olan konulardan biri olan yapay zeka da unutulmamış ve "Yapay Zekanın MRgRT'deki Yeri ve Geleceği" konusu da kitapta ele alınmıştır.

Sonuç:

Özet olarak, "MR Linac Radiotherapy, A New Personalized Treatment Approach" başlığıyla sunulan kitap MRgRT tedavi modalitesini kliniklerinde uygulamaya geçirmek isteyen veya halihazırda bu modaliteyi kullanan ya da sadece bu en güncel tedavi tekniği hakkında bilgi edinmek isteyen tüm radyoterapi profesyonellerinin kitaplığında bulunması gereken bir eser olmuş.

Referanslar:

1. Lagendijk J.J.W. & Intven M.P.W. Rationale for the MR-linac. Ozyar E. Onal C & Hackett S.L. editors. Advances in Magnetic Resonance Technology and Applications Volume 8, MR Linac Radiotherapy A New Personalized Treatment Approach. London: Elsevier; 2022. p. 1-3



Med. Fiz. Uzm. Evren Ozan Göksel

2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun olduktan sonra İstanbul Üniversitesi, Onkoloji Enstitüsü'nde Medikal Fizik Yüksek Lisansımı 2008 yılında tamamladım. 2007-2008 yılları arasında İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü'nde Medikal Fizik Uzmanı olarak görev yaptım. 2008-2017 yılları arasında Acibadem Kozyatağı Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü'nde Medikal Fizik Uzmanı olarak çalıştım. 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü'nde Doktoramı tamamladım. 2010 yılından beri Acibadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak ders vermekteyim. Acibadem Altunizade Hastanesi'nin açıldığı 2017 yılından beri, Radyasyon Onkolojisi Bölümü'nde Medikal Fizik Uzmanı olarak görev yapmaktayım. Evli ve bir çocuk babasıyım. Ailemle vakit geçirmek dışında, bisiklete binmek, kamp yapmak ve tüplü dalış yapmaktan da büyük keyif almaktayım.

ONLINE MR KILAVUZLUĞUNDA ADAPTİF RADYOTERAPİ REHBERİ

Journal of Radiation Research, 2022, pp. 1–11
<https://doi.org/10.1093/jrr/rrac048>

**Journal of
Radiation
Research**

OXFORD

Practical guidelines of online MR-guided adaptive radiotherapy

Hiroyuki Okamoto¹, Hiroshi Igaki^{2,*}, Takahito Chiba¹, Keiko Shibuya³, Tatsuya Sakasai⁴, Keiichi Jingu⁵, Koji Inaba², Kagayaki Kuroda⁶, Shigeki Aoki⁷, Daisaku Tatsumi⁸, Mitsuhiro Nakamura⁹, Noriyuki Kadoya⁵, Yoshinobu Furuyama¹⁰, Yu Kumazaki¹¹, Naoki Tohyama¹², Masato Tsuneda¹³, Shie Nishioka¹⁴, Jun Itami¹⁵, Hiroshi Onishi¹⁶, Naoyuki Shigematsu¹⁷ and Takashi Uno¹⁸

Med. Fiz. Uzm. Cihan Şahin

GİRİŞ

Japonya’da manyetik rezonans (MR) entegreli radyoterapi sistemi son yıllarda oldukça ilerleme göstermiş ve bu gelişmelerin akabinde MR kılavuzluğunda radyoterapi de kliniklerde uygulanmaya başlamıştır. MR kılavuzluğunda radyoterapi sistemine ilk olarak 2017 yılı mayıs ayında ve online MR kılavuzlu adaptif radyoterapi (MRgART) uygulamalarına ise 2018 yılı şubat ayında başlanmıştır. MR görüntülerindeki yüksek yumuşak doku kontrastı sayesinde, online MRgART, X ışınları görüntülemelerine kıyasla daha yüksek doğrulukta hasta pozisyonlandırması yapılabilmekte ve tümörün lokalizasyonu daha yüksek doğrulukla tespit edilmektedir. Dahası, tümör ve çevresindeki sağlıklı organların (OARs) anlık olarak takip edilebilmesi sayesinde, anatomik yapıya dayalı adaptif radyoterapilerde (ART) daha başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Tedaviden önce belirlenen tümör

hacmi ve tedavi esnasındaki tümör hacminin karşılaştırılması da kolaylıkla yapılabilmektedir.

MR sisteminin radyoterapi sistemine entegre edilerek birlikte kurulması nedeniyle konvansiyonel radyoterapiye adapte edilmesi gereken bazı temel fiziksel, klinik ve teknolojik hususlar vardır. MR sisteminin güvenle çalışabilmesi, klinik açıdan doğru bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli olan bu hususlar Japon Manyetik Rezonans Derneği (JSMRM) tarafından hazırlanan bir kılavuzla belirlenmiştir.

Online MRgART’de yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT), stereotaktik vücut radyoterapisi (SBRT), görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (IGRT), hareket takip tekniği gibi ileri teknikler kullanılmaktadır. Tedavi doğruluğu ancak bu ileri teknolojilerin başarılı bir şekilde kullanılabilmesiyle olur. Bu teknolojinin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi adına Japon Radyasyon Onkolojisi Derneği (JASTRO) tarafından IMRT, SBRT, IGRT ve hareket takip ile ilgili

kılavuzlar yayınlanmıştır. Bu kılavuzlar ışığında, Japon manyetik rezonans derneği (JSMRM), Japon medikal fizik derneği (JSMP), Japon radyoloji derneği (JRS) , Japon radyoloji teknolojisi derneği (JSRT) ve Japon radyasyon onkolojisi derneği ortaklaşa bir şekilde online MRgART için kapsamlı ve pratik bir kılavuz oluşturmak üzere bir proje başlatmıştır. Bu kılavuz ekipman, personel, çevresel koşullar ve kalite ölçüm (QA) – kalite kontrol (QC) ölçümleri için klinik uygulamalardaki temel gerekliliklerle ilgilidir. Online tomografi kılavuzluğunda adaptif radyoterapi ile ilgili bilgiler bu kılavuzda şimdilik yer almamaktadır. Fakat ileri dönemde yapılacak çalışmalarda bu kılavuzun kapsamı genişletilmesi hedeflenmektedir.

Online MR Kılavuzluğunda Adaptif Radyoterapinin Tanımı

Online MRgART üç teknolojinin birleşimi olarak tanımlanabilir. Bu üç teknoloji MR kılavuzluğunda radyoterapi, online adaptif radyoterapi ve ışınlama esnasında MR yardımıyla alınan online görüntüler sayesinde yapılan yeni tedavi planı ile tedavi öncesi yapılan tedavi planlaması arasındaki doğruluğun kontrolüdür. Online MRgART, tedavi alanının anlık olarak değiştirilebilmesi, tümöre daha yüksek doz verilebilmesi, hedef bölge etrafındaki sağlıklı doku - organların daha düşük doz alması ve güvenilirliği daha yüksek bir hipofraksiyonasyon imkanı sağlar.

MR kılavuzluğunda radyoterapi, MR yardımıyla görüntüler alınarak ve hasta pozisyonlandırılarak yapılan radyoterapi olarak tanımlanabilir. Adaptif radyoterapi ise, radyoterapi uygulaması esnasında hastadan alınan 3 boyutlu görüntüleri baz alarak yeni bir tedavi planı oluşturulmasıdır. Hedef dozun yeterli dozu alamadığı veya hedef volümün çevresindeki organların yüksek doz aldığına dair endişelerin

olduğu durumlarda ve radyoterapi esnasında hastanın kilo kaybına bağlı oluşacak değişikliklerden dolayı bu yola başvurulur. ESTRO fizik çalıştayına göre adaptif radyoterapi, tekniklerine göre 4 ayrı sınıfta kategorilendirilir:

- 1) Offline Yeniden Plan: Tümör küçülmesi veya diğer faktörler nedeniyle yapılan yeni tedavi planlama
- 2) Protokollü Offline Yeniden Plan: Hastadan düzenli olarak alınan tarama görüntülerinde veya IGRT' de gözlemlenecek geometrik değişikliklere bağlı olarak klinik ekip tarafından yapılması önceden öngörülen yeniden planlama.
- 3) Online Plan Arşivi: IGRT'da gözlemlenen olası tümör hareketlerinden kaynaklı yaşanacak değişiklikler nedeniyle daha önceden hazırlanmış planlar arasından duruma en uygunun planın seçilmesiyle yapılan yeniden planlama.
- 4) Günlük Online Yeniden Planlama: Hastanın anatomik durumundaki günlük değişimlere dayalı olarak tedaviden hemen önce yapılan optimum yeniden planlama.

Bu 4 seçenek arasında online adaptif planlamayı en iyi tanımlayan dördüncü seçenektir. Bu teknik hasta tedavi masasında iken, hastadan alınan 3 boyutlu görüntüler eşliğinde çizilen konturlara dayalı yeni bir tedavi planının oluşturulması ve planın doğrulanması gibi bir takım süreci içerir.

Online MR Kılavuzlu Adaptif Radyoterapi İçin Endikasyonlar

Online MRgART için hem IGRT, hem de online adaptif

radıyoterapi tekniği kullanılır. Bu teknikler özellikle, çevresinde riskli organlar bulunan ve yüksek doz verilmesi amaçlanan hedefler için uygundur. IGRT'nin klinik açıdan faydalı olduğu yadsınamaz bir gerçektir ve bu nedenle IGRT tedavileri Japonya'da sağlık sigortaları tarafından karşılanmaktadır. Bunlara ek olarak online MRgART, X- Işınları kullanılarak yapılan IGRT ile karşılaştırıldığında ışınlama esnasında hedef volümün ve çevresindeki organların marker kullanmadan anatomik hareketlerinin 3 boyutlu izlenebilmesine olanak tanır. Bu durum, konvansiyonel radıyoterapide endikasyon konulamayan vakalara endikasyon koyabilme olanağı da sağlar. Online ART konusunda hangi vakalarda kullanılacağı, hangi sıklıkta yapılacağı, gibi konularda hala belirsizlikler bulunmaktadır. Bu durum, ESTRO fizik çalıştayının online MR kılavuzluğunda adaptif radıyoterapi konulu çalışmasında da belirtilmiştir. Bu belirsizlikleri azaltmak adına hali hazırda devam eden yurt içi ve global bazlı birçok çalışma mevcuttur. Global çalışmalara göre kliniklerin %28,5'i, online ART'yi tedavilerinin %67,7'sinde uygulamaktadır. Japonya ulusal verilerine göre ise online ART, tedavilerin % 49'unda uygulanmaktadır. Beyin kanseri, meme kanseri, akciğer kanseri, özofajial kanser, baş-boyun kanseri, pankreas kanseri, prostat kanseri, karaciğer kanseri, rektum kanseri, mesane kanseri, böbrek kanseri, uterus kanseri, oligometastaz ve diğer kanser türleri gibi çeşitli bölgeler için global bazda birçok merkez klinik çalışmalar yapmıştır.

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra, klostrufobisi olan, 40 - 60 dakika gibi uzun süre boyunca sabit kalmakta zorluk yaşıyan, kalp pili veya implantı olan, hastalar için MR bazlı tedaviler uygun değildir.

ONLINE MR KILAVUZLU ADAPTIF RADYOTERAPİ İÇİN GEREKLİ EKİPMANLAR

Online MRgART, MR sisteminin, radıyoterapi sistemine ortak bir tedavi masası kullanarak entegre edilmiş halidir. Tedavi planlama sistemi de bu entegre edilmiş sisteme bağlıdır. Online MRgART için gerekli ekipman listesi aşığıdadır.

Online MR Kılavuzlu Adaptif Radıyoterapi Sistemi

Online MRgART sisteminin bileşenleri olan radıyoterapi ve MR sistemleri için gerekli ekipmanlar ve şartlar;

Radıyoterapi Sistemi;

1. X-Işını üretebilen bir lineer akseleratör
2. IMRT Opsiyonu
3. MR kaynaklı manyetik etkiyi minimize etmiş bir radıyoterapi sistemi

MR Sistemi;

1. Standart bir tedavi kalitesi yakalayabilmek adına, MR görüntülerindeki bozulmaların klinik akışı aksatmayacak derecede olması. Uygun bir klinik hedef volüm (CTV) ve planlanan hedef volüm (PTV) marjı belirlenmesi
2. MR görüntülerinin, tedavi planlama sisteminde sorunsuz olarak çalışabilmesi
3. Işınlama esnasında hedef volümün ve çevresindeki organların MR görüntüsüyle anlık olarak izleniyor olabilmesi.

Tedavi Planlama Sistemi;

1. 3 boyutlu planlama sisteminde Inverse planning yapabiliyor olması
2. Doz hesabı yaparken magnetik alan faktörünü de hesaba katabiliyor olması

3. Tedaviden hemen önce alınan MR görüntüleri üzerinden hedef volüm ve sağlıklı organların çizilebiliyor olması.
4. Tedavi öncesi planlamada yapılan doz hesaplamasının, tedaviden hemen önce alınan MR görüntüleri eşliğinde de yapılabilmesi.
5. Planlama esnasında planı modifiye etme; Tedaviden hemen önce alınan MR görüntüsüyle yapılan eski planlarla kıyaslamasının yapılabilmesi.

Diğer Radyoterapi Ekipmanları

Online MRgART için gerekli diğer radyoterapi ekipman listesi aşağıdadır.

QA Ekipmanları

- 1) MR boyunca radyofrekans dalgaları (RF) nedeniyle ısınmayacak katı fantomlar kullanılmalıdır. Fantomlar üst üste yerleştirilirken arada hava boşluğu kalmayacak şekilde dizayn edilmelidir.
- 2) Fantom MR uyumlu olmalıdır.
- 3) İyon odası MR uyumlu olmalıdır.
- 4) Elektrometre tedavi odasının dışında tutulmalıdır. Elektrometrenin içeride olması durumunda MR görüntü kalitesi etkilenecektir. Ancak MR görüntü kalitesinin etkilenmediğinden emin olduktan sonra içeride tutulabilir.
- 5) Tedavi planını ve doz hesabını doğrulayabilmek adına ikincil bir doz hesaplama sistemi gerekmektedir.
- 6) MR distorsiyonunu belirlemek için kullanılacak olan fantomun, klinikte kullanılan tarama aralığında değerlendirme yapabiliyor olması

gerekmektedir.

- 7) MR QA' inde kullanılacak fantom sinyal gürültü oranı (SNR) MR kalitesi için değerlendirilmelidir.

İmmobilizasyon Araçları

- 1) MR esnasında kullanılacak olan immobilizasyon araçlarının güvenlik testlerinin tamamlanmış olduğundan emin olunmalıdır.
- 2) Hasta görüntüleme ekipmanları MR uyumlu olmalıdır. MR uyumlu olmayan ekipmanların MR çekimi esnasında mutlaka güvenliği sağlanmalıdır.
- 3) Tedavi odasına getirilen immobilizasyon araçları manyetik alanı etkilememelidir.
- 4) Tedavi odası girişine ferromanyetik dedektör konulmalıdır.
- 5) Hastalar için kullanılacak olan tekerlekli sandalye, sedye gibi araçlar MR uyumlu olmalıdır.

Personel - Tesis Ekipmanları ve Online MR Kılavuzluğunda Adaptif Radyoterapide Pratik Kılavuzlar

Online MRgART uygulamaları SBRT, IGRT ve IMRT prensiplerini temel alır. Bu yüzden SBRT, IGRT ve IMRT' nin güvenle ve doğru uygulandığı sistemler, online MRgART için ön koşuldur. Bunlara ek olarak uygulamayı yapan personeller MR sistemi ve MR güvenliği ile ilgili kapsamlı bir eğitime tabi tutulmuş olmalıdır.

Personel Kadrosu

Japonya regülasyonlarına göre, Online MRgART için gerekli olan ek personeller ise aşağıda açıklanmaktadır.

Radyasyon tedavisi veya tanısal görüntüleme sorumlu tam zamanlı çalışan hekim veya dışı:

Radyoterapiden sorumlu ikiden fazla hekim veya dışı ve tanısal görüntüleme sorumlu bir hekim mutlaka gerekmektedir. Bu kadroya dış hekimlerinin dahil edilmesi Japonya'ya özgü bir durumdur. Radyoterapide çalışan en az bir hekimin Japon Radyasyon Onkolojisi Derneği (JASTRO) ve Japon Radyoloji Derneği (JRS)'nden onaylı uzmanlık sertifikası gerekmektedir. Tanısal görüntüleme sorumlu hekimin ise Japon Radyoloji Derneği'nden onaylı uzmanlık sertifikası gerekmektedir.

Radyoterapiden sorumlu tam zamanlı çalışan radyoloji teknikeri: Bu kişinin Japon Akreditasyon Kurumu tarafından onaylı, radyoterapi teknikerlerine verilen yeterlilik sertifikasına sahip olması ve, en az 5 yıllık deneyime sahip olması gerekmektedir.

Radyoterapiden sorumlu tam zamanlı çalışan Hemşire: Japon Hemşireler Derneği tarafından verilen radyoterapi alanında yeterli uzmanlığa sahip olduğunu gösteren lisansı olması önerilir.

QA-QC' den ve bu ölçümler için gerekli ekipmanlardan, tedavi Planlama ve doğrulamasından sorumlu Medikal Fizik Uzmanı: Bu kişinin Japon Akreditasyon Kurumu tarafından onaylı, medikal fizikçilere verilen yeterlilik sertifikasına sahip olması ve en az 5 yıllık deneyime sahip olması gerekmektedir.

MR Güvenliği için Personel: Bu kişinin Japon otoritelerince onaylı, MR güvenliği için özel bir lisansa sahip tam zamanlı bir çalışan olması gerekmektedir.

Fiziki Gereklilikler

Kliniklerin online MRgART yapabilmeleri için, IMRT ve IGRT uygulamaları yapan kliniklerin tabi oldukları

ulusal regülasyonlarla ilaveten, yıllık 10'dan fazla SBRT, 50'den fazla IMRT ve 50'den fazla IGRT hastası almış olmak gibi kriterleri karşılanmış olmaları gerekmektedir.

Online MRgART için Pratik Kılavuzlar

Tedavi güvenliğinden emin olmak için aşağıdaki önerilere uyulmalıdır.

1. Online ART ile ilgili ekipman için bir QA / QC programı oluşturulmalıdır ve bu programa titizlikle uyulmalıdır. Sonuçlar bir yere düzenli olarak kaydedilmelidir.
2. Online ART yapan ekipteki her personelin görev tanımını gösteren klinik prosedürler oluşturulmalıdır. Her vaka türü için sağlıklı organlar (OARs) için doz limitleri belirlenmiş olan tedavi planlamaları kılavuzları ve MR güvenliği için bir prosedür oluşturulmalıdır. Online ART bu prosedürler ve kılavuzlar ışığında yapılmalıdır ve tüm tedavi kayıtları ulaşılabilir şekilde kayıt altında tutulmalıdır.

Uygulama Yapısı

Online MRgART için gerekli olan personeller şunlardır;

1. Tedavi volümünü çizmek veya modifiye etmek, tedavi planları ve set-up' larını inceleyip onaylamak üzere bir radyasyon onkoloğu,
2. Hasta pozisyonlandırma ve tedaviye alma işlemini gerçekleştirmek üzere tercihen tam zamanlı çalışan iki radyoterapi teknikeri,
3. Acil bir durum olması veya hastanın tıbbi taleplerinin karşılanması adına bir hemşire,
4. Tedavi planlaması, tedavi planlarının doğrulanması, QA - QC ve diğer teknik

destekler için bir medikal fizik uzmanı gerekmektedir.

MR Sisteminin Tanı Amaçlı Kullanılması

MR görüntülerinin diagnostik amaçla alınması durumunda, bu görüntüler tedavi alanına ait olmalıdır. Bu sistem radyoterapi gören hastalarda, tümör değerlendirmesi veya fonksiyonel tanı amacı için kullanılır.

İlgili Personeller İçin Eğitim

MRgART uygulamasında yer alan tüm personelin sistemin özelliklerini ve nasıl çalıştığına dair yeterli düzeyde bilgisi olması gerekmektedir. Bu işte yer alan personellerin yeterli altyapıya ve klinik deneyime sahip bir kurumda çalışmış veya eğitim almış olmaları gerekmektedir.

MR'ın Güvenli Kullanımı İçin Kılavuz

MR' da güvenliği sağlayabilmek adına Japon Manyetik Rezonans Derneği (JSMRM) tarafından yayınlanan kılavuzlar bulunmaktadır

Radyasyon Onkolojisi Departmanı için Güvenlik

Yönetimi: MR güvenliği sayılabilmek adına departman (bölüm) içerisinde radyasyon onkoloğu, medikal fizik uzmanı, tekniker ve hemşireden oluşan bir güvenlik yönetim ekibi, kılavuzlarda belirtilen şekilde kurulmalıdır. Bu ekip tanısız görüntüleme ekibiyle işbirliği halinde çalışmalıdır.

MR Sisteminde Kalite Kontrol: MR' da güvenli bir klinik uygulama için düzenli bakım ve kontrol elzemdir. Tedavi odasındaki görüntüleme ve ışıklandırmanın çalışıp çalışmadığı, radyoterapi için kalite ölçüm cihazları ve hasta immobilizasyon aletlerinin MR görüntü kalitesini etkilemediğinden emin olunmalıdır.

Tedavi Sırasında Güvenlik: Görüntüleme esnasında

eller veya ayakların birleşmesi durumunda, bu birleşmeden kaynaklı ikincil akım döngülerini engellemek adına eller veya ayakları ayrı tutacak aparatlar kullanılmalıdır. Masayı hareket ettiren immobilizasyon aletlerinin herhangi bir çarpışmaya neden olmamasına dikkat edilmelidir. Hasta manyetik alanda uzun süre kalacağı için, hastanın yoğun manyetik alandaki bölgesinin muhtemel ısınma riski altında olduğu gerçeği göz ardı edilmemelidir. Birim zamandaki manyetik alan değişimi kontrol edilmeli ve doğrulanmalıdır. Herhangi bir acil durumda hastanın yetkili personelle nasıl iletişime geçeceğine dair ve MR çekimi esnasında oluşabilecek ısı ile ilgili bilgilendirilmesi gerekmektedir. Çekim esnasında hasta dikkatle izlenmelidir.

İmmobilizasyon ve QA Ekipmanlarının Güvenliği:

İlgili ekipmanları tedavi odasına getirilirken, Japon Görüntüleme ve Radyolojik Sistemler Enstitüsü tarafından yayınlanan kontrol listesi dikkate alınır. Bu listede cihazların MR uyumlu olup olmadığı kontrol edilmelidir ve MR uyumlu olmayan ekipman mümkün oldukça alandan uzakta tutulmalıdır.

Metal malzemeler (radyasyondan koruyucu bloklar) tedavi alanından uzak tutulmalıdır. Tedavi sırasında kullanılacak olan immobilizasyon aletlerinin uzun süre boyunca içeride kalacağı ve görüntüleme yapılacağı için ısınmayacağından emin olunmalıdır. İmmobilizasyon cihazlarında yaygın olarak kullanılan karbonun iletken olması nedeniyle ısınması muhtemel bir durumdur. Bu nedenle karbon malzemeli aletlerin kullanılmaması gereklidir.

Dijital termometre gibi MR uyumlu olmayan bir QA ekipmanının odaya getirilmesi durumunda, bu ekipmanlar manyetik alandan az etkilenecek mesafede kullanılmalıdır ve manyetik alanın,

ekipmandaki potansiyel etkileri kontrol edilmelidir.

Tedavi Odasına Getirilmeden Önce Kontrol Edilmesi Gereken Ekipmanların Listesi

Tedavi boyunca içeriye getirilmemesi gerekenler:

- Metal koruyucu bloklar
- Metal içerikli ürünler
- Metalik bileşenli marker' lar
- MR uyumlu olmayan immobilizasyon gereçleri
- Bolus
- Ağzılık
- In vivo dozimetre

QA/QC boyunca kontrollü bir şekilde içeriye getirilmesi gerekenler:

- Cetvel
- Termometre
- Barometre
- Elektrometre
- İyon odası kablosu
- İyon odası
- Alan dozu ölçer

Kontrol edilmesi gereken diğer dozimetrik ekipmanlar:

- Katı fantom
- Su mantomu
- Hastane bilgi sistemleri cihazları
- Serum askısı
- Sedye
- Tekerlekli sandalye

Tedavi Planlama Süreci

Online MRgART sayesinde, tedaviden hemen önce alınan görüntüler ışığında tedavi öncesi yapılan planların adapte edilebiliyor olması klinik olarak yadsınamaz bir faydadır. Bu sürecin fazla zaman almasından ötürü tedavi planlarında ışınlama süresinin çok fazla olmamasına dikkat edilmelidir.

Süreci güvenli bir şekilde tamamlayabilmek için tedavi planlaması şu şekilde yapılmalıdır.

Tedavi Planlamaları için Klinik Protokoller Oluşturulmalıdır;

Online Adaptif Plan Uygulamasının Onaylanması:

Online MRgART süreci konvansiyonel tedaviden farklıdır. Klinik uygulamalara başlamadan önce, klinik tedavi protokolleri oluşturulmalıdır ve bu oluşturulan protokoller mutlaka test edilmelidir. Tedavi sürelerinde yaşanacak artış, klinik açıdan büyük bir yüke neden olabilir. Hedef bölümler belirlenirken tedavi süreleri de mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tedavilerden sonra işleyiş içerisindeki zaman alan süreçler belirlenmeli ve bu süreçleri minimize etmeye çalışarak tedavi etkinliği artırılmalıdır.

Adaptif Radyoterapide İzlenen Yol:

Online ART endikasyonu konulan tüm vaka türleri için, süreci özetleyen bir yol haritası oluşturulmalıdır ve bu harita tüm ekiple paylaşılmalıdır. Online ART uygulamalarında çok fazla yoğunluk yaşamamak adına aynı yol haritası, offline ART için de geliştirilmelidir. Her vaka için radyasyon onkologları, medikal fizik uzmanları ve radyoterapi teknikerleri tedavi zamanı, hasta hareketleri ve benzeri temel konuları tartışmalıdır. Bu konuşmalar neticesinde oluşturulan ve güncellenen protokoller, radyasyon onkologlarının online ART kararını verebilmelerine katkıda bulunabilir.

Tedavi Planlaması: Tedavi Planlamasını en doğru şekilde yapabilmek ve ardından online MRgART uygulamasını sorunsuz bir şekilde tamamlayabilmek için dikkat edilmesi gereken durumlar bulunmaktadır;

Hasta İmmobilizasyonu: Online MRgART

uygulamalarında hastaların, tedavi masasında uzun süre pozisyonlarını koruyacak şekilde sabit durması gerekecektir. Bu nedenle hastanın en konforlu şekilde pozisyonlandırılarak immobilize edilmesi gereklidir.

Tedavi Planlarında Kullanılan Görüntüler: Tedavi planlaması yapabilmek için BT görüntülerinin yanı sıra yumuşak doku kontrastlı MR görüntüsü de gerekmektedir. Coil ve tedavi masasının lokalizasyonuna ve hasta pozisyonuna mutlaka dikkat edilmelidir.

Radyoterapi Planlarında Eşleştirilen Görüntülerin Doğruluğu: Birbirleriyle eşleştirilmiş MR ve BT görüntülerinin doğruluğu mutlaka kontrol edilmelidir.

- **Tedavi Planlama ile İlgili Personel Şeması:** Online MRgART uygulaması için bir personel şeması oluşturulmalıdır ve personel şemasında bu hususta yeterli bilgi ve deneyime sahip radyasyon onkoloğu, radyoterapi teknikeri ve medikal fizik uzmanı bulunmalıdır.
- **Rölatif Elektron Yoğunluğu Tanımlama:** Doz hesaplaması için rölatif elektron yoğunluğu tanımlanması gerekmektedir. Bu da organ tiplerini temel alan uygun rölatif elektron yoğunluğu veya DIR ile MR görüntüsüyle eşleşen deforme CT görüntülerinin kullanılmasını içerir.
- **CTV-PTV Marjları:** CTV-PTV marjları tedavi bölgelerine göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle her vaka türü için uygun bir marj protokolü oluşturulmalıdır. Belirsizlikler göz önünde bulundurularak optimum marj verilmelidir.

Online MR Kılavuzluğuda Adaptif Radyoterapi:

Yeni tedavi öncesinde mutlaka tedavi protokolü belirlenmelidir. Buna ilaveten her bir fraksiyon için doz dağılımı ve DVH değerlendirmeleri için de protokol oluşturulmalıdır.

Hasta Pozisyonlandırma ve Tedavi

Hasta İmmobilizasyonu

1. MR işlemi boyunca hasta immobilizasyonu için kullanılan aletlerin güvenliğinden emin olunmalıdır ve bu aletlerin herhangi bir çarpma veya kazaya sebebiyet vermemesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Hastanın, masa hareketi ve coil pozisyonuna bağlı muhtemel kazalar yaşamaması konusunda dikkatli olunmalıdır. Tedavi odasına herhangi bir manyetik materyalin girmemesine dikkat edilmelidir. Bazı marker' ların metal içeriyor olmasından ötürü, güvenlik sorunu yaratmayacak olduğundan emin olunması sonrasında kullanılmasına dikkat edilmelidir.
2. IGRT ve MR uygulamalarındaki genel protokoller burada da geçerlidir. Özellikle en sağlıklı görüntüyü alabilmek adına görüntü alınması istenen hedef manyetik alanın merkezinde veya merkeze yakın bir noktada olduğundan emin olunmalıdır.
3. Baş boyun ve meme tedavilerinde, manyetik alan etkisinden dolayı tedavi alanı dışarısında oluşabilecek elektron stream effect kaynaklı yüksek cilt dozunu azaltabilmek adına bolus kullanılabilir.

Hasta Pozisyonlandırma

MR görüntüsü kılavuzluğunda hasta pozisyonlandırma yaparken, artefakt nedeniyle oluşabilecek hatalara dikkat edilmelidir. BT görüntüleri referans alınarak yapılan MRgART uygulamalarında MR ve CT

görüntüsü arasındaki kontrast farkı nedeniyle oluşabilecek pozisyon hatalarına dikkat edilmelidir.

Tedavi

Online MRgART' de Işınlama esnasında alınan MR görüntüleriyle, hedef volümün ve çevresindeki sağlıklı organların lokalizasyonu kontrol edilir. Hareket takibi sayesinde hedef volümün hareketi an be an gözlenir. Hedef volümün tedavi alanı dışına çıkması durumunda tedavi durdurulur.

Kabul ve Commissioning (Devreye Alma)

MRgART için konvansiyonel radyoterapide uygulanan prosedürlere ek olarak uygulanan prosedürler de vardır.

Radyoterapide Doz Verimi

Elektrometre ve dedektörün, manyetik alandan etkilenmediğinden emin olunmalıdır. Sadece commissioning' de değil, günlük veya diğer QA' leri alırken de elektrometrede doz sızıntısı olmadığından emin olduktan sonra ölçüme başlanmalıdır. Ayrıca uzun süreli kullanımlarda yaşanabilecek olan dedektörün kalibrasyon farkındaki değişim takip edilmelidir. Elektrometrede okunan değerlerin doğru olduğundan emin olmak için rutin testler yapılmalıdır. Hatta bu testler bütün ekipmanlar için yapılmalıdır. Output kalibrasyonu için kullanılacak olan iyon odası mutlaka MR uyumlu olmalıdır. Ayrıca manyetik alanın, saçılan elektronların yörüngesini daha az etkilemesi adına, iyon odasının boylamsal yönde manyetik alana paralel olarak yerleştirilmesi gerekmektedir.

Referans Beam Data

Beam Modelling' i için verilen referans beam' in klinik için kullanılması durumunda Japon Medikal Fizik Derneği (JSPM) tarafından yayınlanan referans beam' in tedavi cihazlarında ve tedavi planlama

sistemlerinde kullanımına ilişkin yönergeler dikkate alınmalıdır.

Masa Atenüasyonu

Konvansiyonel radyoterapide kullanılan karbonfiber yatak, MR taramaları sırasında ısınacağından bu sistem için kullanılamazlar. Bu nedenle ısı üretmeyen fiberglas masa kullanılmaktadır. Bu masa nispeten daha az atenüasyon yaratsa da, masa atenüasyon faktörü, commissioning sonrası TPS' e mutlaka tanımlanmalıdır. Buna ilaveten coil kaynaklı atenüasyon faktörü de ölçülmeli ve gerekli olması durumunda TPS' e mutlaka tanımlanmalıdır.

Görüntü Kalitesi ve MR'da Bulanıklık

Manyetik alanın her noktada aynı olmaması MR görüntü kalitesini etkilemekte ve bulanıklığa neden olmaktadır. İzomerkezden başlayıp klinikte kullanılacak en uç alana kadar, farklı eksenlerde yapılan 3 boyutlu ölçümlerle bu durumun klinik uygunluğu denetlenmelidir. Tedavi odasında bulunan monitör, oda aydınlatmaları ve radyoterapiyle ilgili diğer cihazların görüntü kalitesi üzerindeki etkisi kontrol edilmelidir.

Tedavi Planlama Sistemlerinde Doz Hesaplama Doğruluğu

Klinik işleyiş başlamadan önce, tedavi planlama sistemlerindeki doz hesaplama doğruluğundan emin olunmalıdır. En basit açık alandan, IMRT planlarına kadar tüm planlar oluşturulmalı, ölçümler alınmalı, test ve analizleri yapılmalıdır.

Görüntü Eşleştirme

Görüntü eşleştirmelerinde ne kadar başarılı olunursa ART etkinliği o kadar artar. Bu yüzden rijit olan ve olmayan tüm eşleştirmelerin en doğru şekilde olması gerekmektedir. Rijit olmayan eşleştirmelerde hareketli

ve sabit görüntülerin birbiriyle örtüşmesi gerekmektedir.

Veri İletimi ve Görüntü Depolama

Online MRgART uygulamalarında farklı sistemler birlikte kullanılır. Bu nedenle radyoterapi cihazları, tedavi planlama sistemleri ve MR sistemlerinin birbirlerine, tüm verileri hatasız bir şekilde ulaştırdığından emin olunmalıdır.

Online MRgART Uygulamalarında Tedavi Doğruluğunun Baştan Sona Denetimi (End-to-End Test)

Radyoterapi sistemine MR' ın entegre ediliyor olmasından ötürü, bu iki sistemin tek tek test edilmesinin yanı sıra birbirlerine entegre edilmiş tek bir sistem olarak da test edilmesi gerekmektedir. Kabul testlerinin yanı sıra, bu end-to-end testlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu test, görüntü alma, alınan görüntülerin tedavi planlama sistemine aktarılması, tedavi planlaması, planlanan tedavinin sisteme doğru bir şekilde kaydedilmesi, fantom üzerinde online adaptasyon denemesi, sistemler arasında veri akışının doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığının denetlenmesi gibi birçok aşamadan oluşur. Ayrıca bu test sadece commissioning' de değil, klinik rutin başladıktan sonra periyodik aralıklarla tekrarlanması gereken bir testtir.

Organ Hareketleri

Uygun hareket yöntemi (nefes tutma veya serbest nefes); tedavinin doğruluğu, hasta ve tedavinin etkinliği açısından belirlenmelidir.

Günlük Test ve Kalite Kontrol

MR sistemi, online adaptif radyoterapi (ART) sistemi, tedavi planlama sistemi (TPS) ve tedavi cihazının rutin testleri aksatılmadan yapılmalıdır. Bu testler ışığında

tedavi prosedürünün herhangi bir ayağında yapılması gereken iyileştirmeler ve online adaptif radyoterapi (ART) konusunda kapsamlı bir risk analizi tüm klinik ekip tarafından tartışılmalıdır. İş akışı ve süreç ile ilgili ne kadar yeterli uzmanlığa sahip bir ekip oluşturulursa risk o kadar aza indirgenmiş olacaktır. Başlıca bu testler:

1. Doz verimi ölçümleri
2. Cihazın mekanik ölçümleri
3. MR ve radyoterapi sistemleri koordinatlarının birbirleriyle uyumluluğu testleri
4. Görüntü Kalite Testleri
5. MR güvenliği testleri
6. Tedavi Planlarında Doz Hesaplama Testleri
7. Görüntü Eşleştirme Testleri
8. Radyoterapi ve MR sistemi arasındaki bağlantı testleri
9. Online adaptif radyoterapide End-to-End test olarak sıralanabilir.

Online Adaptif Radyoterapide Kalite Kontrol Testleri

Online adaptif radyoterapide tüm hastalar için QA ölçümleri yapılmalıdır. Fakat görüntü alma, tedavi planlaması ve ışınlama gibi işlemlerin hepsinin aynı anda yapılıyor ve o esnada hastanın tedavi masasında bulunuyor olmasından ötürü iyon odası benzeri ekipmanlarla QA işlemi yapılamayacağından, bağımsız alternatif doz verifikasyonu yapan ikincil bir sistem şarttır. Bu sistemde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır.

1. Doz verifikasyonu sağlayan ikincil hesaplama sisteminin doğruluğu da commissioning esnasında test edilmelidir. Klinikte hasta alınımına başladıktan sonra ilk 30 hastanın tedavi sonrası

verifikasyonları tedavi ertesinde yapılmalıdır. Bu ölçüm sonuçlarıyla ikincil sistemin doğrulanması yapılmış olur.

2. Online adaptasyonda kullanılan QA ekipmanlarının bağımsız sistemde doğrulanması yapılmalıdır.
3. Bağımsız sistemde alınan sonuçların klinik protokollerin dışında olması durumunda, ne yapılacağına dair klinik protokollerin önceden belirlenmesi gerekmektedir.
4. Bağımsız sistemde alınan sonuca bağlı olarak online adaptasyonun (ART) yapılıp yapılmayacağı, doktor ve fizikçinin değerlendirilmesinden sonra, nihai kararın doktorun vermesiyle kesinleşir. Bu karar, radyasyon onkoloğu tarafından daha önceden hazırlanmış veya onaylanmış olan klinik protokollere dayandırılarak verilir.
5. ART sürecindeki aşamalar birden fazla kişinin onayınca gerçekleşmelidir ve bu onaylar kaydedilmelidir.
6. ART sonrası tedavi planı ve daha önceden hazırlanmış olan tedavi planı bilgileri kurumun bilgi sistemine mutlaka kaydedilmelidir.

ÖZET

Japonya'da MR entegreli radyoterapi sistemi son yıllarda oldukça ilerleme göstermiş ve bu gelişmelerin akabinde MR kılavuzluğunda radyoterapi de kliniklerde uygulanmaya başlamıştır. Online MRgART'

nin klinik olarak uygun ve güvenli bir şekilde uygulanabilmesi için ise gerekli bilgileri içeren geniş kapsamlı bir kılavuz Japon Manyetik Rezonans Derneği (JSMRM), Japon Medikal Fizik Derneği (JSMP), Japon Radyoloji Derneği (JRS), Japon Radyoloji Teknolojisi Derneği (JSRT) ve Japon Radyasyon Onkolojisi Derneği (JASTRO) tarafından ortaklaşa bir şekilde hazırlanmıştır. Giriş kısmında da belirtildiği üzere, online MRgART' de IMRT, SBRT, IGRT ve hareket takip tekniği gibi ileri teknikler kullanılmaktadır. IGRT uygulamalarındaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, Mayıs 2019 tarihinde JSMP, JSRT ve JASTRO ortaklaşa şekilde bir IGRT kılavuzu hazırlamıştır. Bu kılavuzun geliştirilmesi ve birlikte radyoterapi alanında yaşanan ilerlemeler, tedavi seansı sırasında tümör boyutundaki günlük değişiklikleri ve hasta vücut şeklindeki değişiklikleri dikkate alarak tedavi planlarının uyarlanması gibi daha geniş klinik ART uygulamalarının yapılabilmesi adına umut olmuştur.

Online MRgART, MR kılavuzluğunda radyoterapinin bir parçası olan ART' nin, günlük online yeniden planlama şeklinde ifade edilebilecek bir alt başlığıdır. Bu nedenle bu kılavuz ART için geçerlidir. Ayrıca bu kılavuz sadece mr görüntüsü temelli IGRT uygulamaları için değil, diğer görüntüleme tekniklerinin kullanıldığı IGRT uygulamaları için de geçerlidir.



Med. Fiz. Uzm. Cihan ŞAHİN

1986 yılında Ankara'da doğmuştur. 2008 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik lisans, 2010 yılında İstanbul Üniversitesi Sağlık Fiziği yüksek lisans programlarından mezun olmuştur. 2010 - 2017 yılları arasında Sante Sağlık Hizmetleri, 2017 - 2021 yılları arasında İstanbul Okan Üniversitesi Hastanesi ve 2021 - 2022 yılları arasında Medicana Ataşehir Hastanesi'nde medikal fizik uzmanı olarak görev yapmıştır.

MEDİKAL FİZİKÇİLER VE YAPAY ZEKA: MAKİNAYA HOŞ GELDİNİZ

Review

Artificial Intelligence and the Medical Physicist: Welcome to the MachineMichele Avanzo ^{1,*}, Annalisa Trianni ², Francesca Botta ³, Cinzia Talamonti ⁴, Michele Stasi ⁵ and Mauro Iori ⁶¹ Medical Physics Department Centro di Riferimento Oncologico di Aviano (CRO) IRCCS Aviano, 33081, Italy² Medical Physics Unit, Ospedale Santa Chiara APSS, 38122 Trento, Italy; annalisa.trianni@apss.tn.it³ Medical Physics Unit, Istituto Europeo di oncologia IRCCS, 20141 Milan, Italy; francesca.botta@ieo.it⁴ Department Biomedical Experimental and Clinical Science "Mario Serio", University of Florence, 50134 Florence, Italy; cinzia.talamonti@unifi.it⁵ Medical Physics Unit, A.O. Ordine Mauriziano di Torino, 10128 Torino, Italy; michele.stasi@unito.it⁶ Medical Physics Unit, Azienda USL-IRCCS di Reggio Emilia, 42122 Reggio Emilia, Italy; mauro.iori@ausl.re.it

* Correspondence: mavanzo@cro.it

Appl. Sci. 2021, 11, 1691. <https://doi.org/10.3390/app11041691>

Editörün Notu: Özet tercümesi yapılan makale içinde yer alan bazı terimler, okumayı kolaylaştırmak amacıyla parantez içinde kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

1. Giriş

Yapay zeka (YZ) bir bilgisayar biliminin bir dalı olarak ifade edilebilir. Temel amacı, insan benzeri bilişsel işlevleri yerine getirmeyi hedefler. Bilgisayarlara ve makinelere öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi yeteneklerini kullandığı algoritmalar ve programlar sayesinde hayata geçirir. (Editör Notu: YZ uygulamaları geliştikçe, YZ sınıflandırılması, beklentiler değişmektedir. Örneğin YZ tanımı bile evrim geçirmektedir.)

Bu sayede, YZ, medikal fizik, klinik uygulamalar da dahil olmak üzere bilim alanının her dalında derinden değişebilecek atılımlara neden olmaktadır. YZ'nin bir alt birimi olan Makine Öğrenmesi ve Derin öğrenme ile birlikte, YZ alanında logaritmik büyüme ile karşı karşıya kalınacaktır.

Doğal olarak medikal fizikçilerin iş akışları YZ ile birlikte epey etkilenmekte, lineer akseleratörler, görüntüleme cihazları, kalite kontrol uygulamaları bu gelişmeden nasibini almaktadır.

Bu çalışma, İtalyan Medikal Fizik Derneği (AIFM)'in Yapay Zeka Çalışma Grubu tarafından, bu alandaki çalışmalarını kontrol etmek ve kolaylaştırmak ve YZ konusundaki bilgilerin paylaşılması amacıyla yapılmıştır. Bu proje bir soruyu akılda tutularak yapılacaktır: **YZ, medikal fizikçiler tarafından memnuniyetle mi karşılanıyor yoksa tam tersi mi?**

2. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zeka:

Makine Öğrenimi (MÖ), Açıkça programlanmadan, bilgisayarları kullanarak doğrudan verilerden öğrenerek kalıpları ve çıkarımları yaparak belirli görevleri gerçekleştirmek için matematiksel modeller ve bilgisayar algoritmaları oluşturan disiplindir. (Editörün notu: MÖ için birçok değişik tanım bulmak mümkündür. Bu yazıda MÖ tanımı için ana metine sadık kalınmıştır.)

Makine Öğrenimi, bilgisayara bir dizi giriş değişkeni (giriş verisi) ile ilişkilendirilecek çıktılarının sağlandığı denetimli öğrenme için veya denetimsiz öğrenme için kullanılan algoritmalarıdır.

Popüler bir denetimli MÖ yöntemi, bir çekirdek işlevi aracılığıyla verileri daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına yansıtan ve bu özellik uzayında veri noktalarını kategorilere ayıran bir hiper düzlem belirleyen Destek Vektör Makineleridir.

Denetimsiz öğrenmede, verilen girdi değişkenleri kümelerinin etiketleri bilinmez ve algoritma, girdi değişkeni uzayında korelasyonlar, modeller veya yapılar bulmayı amaçlar.

Derin öğrenme (DÖ), her türlü veri, görüntü veya sinyal üzerinde denetimli veya denetimsiz öğrenme için kullanılabilen bir yöntem grubudur. DÖ, girdi olarak manuel olarak çıkarılan el yapımı özellikleri kullanan klasik makine öğrenimi yöntemlerinin aksine, girdi verilerinden doğal kalıpları öğrenmek ve kapsamlı temsiller oluşturmak için çok sayıda nöral katman yığına sahip modeller kullanır.

3. Yapay Zekânın Klinik Uygulamaları.

3.1. Görüntüleme.

YZ'nın görüntüleme temeli amacı, uzmanlara, YZ ve Makine Öğrenimi (MÖ) kullanarak hastalıkların teşhisine destek olmaktır. Bilgisayar Destekli Tanı (BDT) algoritmaları görüntüleme alanındaki ilk uygulamaları olup, MÖ algoritmaları ile işbirliği sonucunda MÖ algoritmaları lezyonları normal dokudan ayırt etmek için eğitilmiştir.

Son zamanlarda görüntüleme temeli görece radiomiks (Editörün Notu: Radiomics, hastanın hastalığının daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için

bilgisayarlı tomografi (CT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi tıbbi görüntüleme temeli niceliksel özelliklerin çıkarılmasıdır.) amaçlı yaklaşımlar, MRI, PET/CT, gibi görüntülerden elde edilen özellik çıkarma tekniklerinin MÖ algoritmaları ile birleşimi sonucu, teşhiste yeni ileriye yönelik tahmin yapmayı gündeme getirmiştir. Son zamanlarda, görüntülerin detaylandırılması yoluyla, DL uygulaması aracılığı ile tümör ve riskli organların konturlarının otomatik olarak çizilmesi sağlanmıştır.

BT çekimlerinde, DL yoluyla, en iyi görüntülemeyi elde etmek için hastaya verilecek doz tahmininde bulunmaktadır.

Görüntüleme temeli, hasta dozu optimizasyonu aracılığı ile en iyi görüntüyü en az doz ile alma yolu önemli bir gelişmedir. YZ algoritmalarının görüntü teknolojileri ile birleşmesi sonucu, hasta dozunun en aza indirilmesi ve kalitenin yükseltilmesi sağlanmıştır. Diğer önemli bir gelişme ise, MRI'dan elde edilen görüntülerin, BT görüntüsüne dönüştürme ve bu yolla sentetik BT görüntülerin elde ediliyor olmasıdır. Virtual contrast görüntülerin ve deformable görüntü elde edilmesi YZ kaynaklı diğer gelişmelerdir.

YZ, hastaya uygulanan tedaviyi izleme sürecinde elde edilen görüntüler aracılığı ile, meydana gelebilecek ilerleme veya nüks süreçlerini önceden görme/ tanımlama yeteneğine sahip olmaktadır.

3.2 Tedavi.

MÖ, radyoterapi tedavi sürecinin her aşamasında, başta seçilecek radyasyon tipi ve enerjisi olmak üzere tüm optimal seçimlerde kullanılmaktadır. Örneğin proton veya foton seçimi gibi. Diğer bir seçenek, radyoterapi sürecinde konvolusyonel sinir ağı aracılığı (CNN) ile, hedef organ ve riskli organların konturlarının çizimi mümkün olabilmektedir.

Radyoterapi ve brakiterapide MÖ bazlı otomatik tedavi planlama uygulaması, planlamayı yapan kişilerin farklılığından gelen sorunları ortadan kaldırmakta, kalite ve etkinliği yükseltmektedir.

Bilgi bazlı (knowledge-based) planlama yöntemleri, istenen doz dağılımlarını elde edebilmek için, daha önce yapılmış planlardaki, geometrik, dozimetrik ve doz kısıtlamaları gibi parametreler arasındaki ilişkilerden oluşan geniş, örneğin binlerce planı içeren bir veri tabanını kullanır.

Tedavi planlamasından elde edilen doz dağılımları DÖ yoluyla, optimizasyon sırasında tahmin edilir veya en iyi doz dağılımına ulaşılabilir.

Son zamanlarda, radiomiks'in bir uygulaması olan dozomiks veya DÖ, doz dağılımlarını analiz ederek, biyolojik etkin doz düzeltmesini değişik fraksiyon seçeneklerini ve yan etkileri dikkate alarak sonuçlandırabilir. Radiomiks uygulaması, görüntü rehberliğinde (CBCT) elde edilen görüntülerle birlikte de kullanılabilir.

Radyoterapide, hastanın tedavi sırasındaki anatomik değişikliklerin saptanması çok önemli bir konudur. Bu durum doz dağılımlarındaki istenmeyen değişikliklere neden olabilir. Böyle bir gelişme sonucunda hastaya uygulanan planın değiştirilmesi gerekmektedir. MÖ, tedavi sırasında, hasta anatomisindeki olası değişiklikleri önceden uyarabilir ve adaptif plan seçeneğini hatırlatır.

Yine planlama sırasında, radiomics uygulaması, voxel temelli analiz yoluyla, duyarlı veya dirençli tümör alt volümlerini tanımlayarak, yüksek doz veya daha düşük doz seçeneklerini gündeme getirebilir. Böylece, elde edilen "radiomics target volüm (RTV)" için doz painting seçeneğine geçme olanağı ortaya çıkar.

(Editörün Notu: Doz painting, aynı fraksiyonda, tümör dokularına farklı doz vermek olarak tarif edilebilir. Burada, doğal olarak, farklı tümör dokularının fraksiyon başına aldıkları fraksiyon dozu değişecektir.) Nükleer tıp çalışmalarında, açık ve kapalı kaynaklar ile sürdürülen radiometabolik tedavi giderek çok önem kazanmaktadır. Bu alandaki YZ uygulamaları, hastanın anatomisi, aktivitenin dağılımı, doku yoğunluğu parametreleri kullanılarak, kritik tedavi bölgelerine, tahmin edilen yüksek dozun ulaştırılması sağlanır. Dozomik yaklaşımlarla ilgili sistemin sağlamlığını araştırmakla ilgili metodolojik çalışmalar yapılmaktadır.

3.3 Kalite Yönetimi (QA.)

Uluslararası Standardizasyon Örgütü, QA'yı şöyle tanımlar: QA, bir ürünün kalitesi, servis hizmeti ve sunulan hizmetlerinin kalitesidir. Kalite, sistemin gereksinimleri karşılama derecesidir. Kalite kontrolleri (QC) ilgili testlerdir. Değişik bir ifadeyle, belirli bir ürün veya süreci tanımlamak, ölçmek, analiz etmek, iyileştirmek ve kontrol etmek için gerçekleştirilen bir uygulamadır.

Radyolojik sistemlerde, manuel olarak yapılan QC testlerini YZ bir şekilde yapabilir. YZ adı geçen testler için eğitilebilir. Zaman içinde bu testler YZ için geliştirilebilir.

Radyoterapideki QA uygulaması, Medikal Fizikçilerin en önemli çalışma ve izleme alanıdır ve görevidir. Bu sürecin temel amacı, herhangi bir radyolojik kazayı engellemek, radyasyon dozlarında herhangi bir yanlış uygulamanın olmamasını sağlamaktır. Örneğin MÖ'nün tedavi planlarında olası bir hatayı yakalama ve önceden tahmin etme özelliği vardır. Bu özelliğe otomatik kontrol adı verilir. Örneğin, K-Means Clustering algoritması, prostat planlarındaki hataları

önceden yakalama özelliğine sahiptir.

Linak'lardaki otomatik kalite kontrol uygulaması MÖ'nin diğer gelişen bir özelliğidir. MÖ makine performans parametrelerindeki hataları önceden bildirebilir. Örneğin, doz out-put'lardaki değişimler ve sapmalar, MLC pozisyon hataları, ışın simetrisi hatası gibi.

Linaklardaki MÖ aracılığı ile yapılan diğer bir otomatik kontrol EPID sistemi ile yapılabilir. Örneğin tedavi alanının vertikal sapması gibi. YZ ile IMRT ve VMAT tedavi tekniklerinde fantomlarla spesifik QA'lar uygulanabilir.

4. YZ'nin Zorlukları ve Tuzakları

4.1. Veri Boyutu ve Kalitesi.

Kullanılan MÖ ve DÖ algoritmaları, büyüyen bir şekilde büyük miktarda eğitim için veri örneğine gerek duyar. Uygun olmayan bir veri boyutu, tahminin kesinliğinde bir azalmaya yol açacaktır, birçok MÖ uygulamasının her zaman bir sonuç vereceği düşünüldüğünde, veri setinin boyutu ve kalitesin göz ardı edilebilir. Ne yazık ki, MÖ ve DÖ için örneklem büyüklüğünü ve gücünü değerlendirmek için uygun bir ölçüm yoktur.

Sıklıkla, YZ'yi eğitmek için kullanılan veri kümeleri, az sayıda örneğe sahiptir ve bu tip problemler kullanılan modeli zayıf hale getirir

Bu ve benzeri parametreler, YZ sisteminin güvenilirliğinin artmasına neden olabilir.

4.2. Yorumlanabilirlik.

Yorumlanabilirdik, YZ modelinin girdi verisinden elde ettiği sonucun, nereden çıkarıldığına ve sonuca nasıl varıldığına ilişkin anlaşılma düzeyidir. MÖ modelleri genellikle kullanıcılar ve klinisyenler tarafından kara

kutu olarak algılanır, bu da düşük düzeyde yorumlanabilirliğe sahip oldukları anlamına gelir. Grafik yaklaşımları, MÖ ve DÖ yöntemlerinin yorumlanabilirliğini geliştirmeye yardımcı olabilir.

4.3. Yasal ve Etik Konular

Büyük hasta veritabanlarını otomatik olarak araştıran yapay zeka sistemleriyle ilgili temel etik konular arasında bilgilendirilmiş onay, mahremiyet ve veri koruması, sahiplik, nesnellik, elde edilen klinik veya araştırma modelinin şeffaflığı ve eğitim ve doğrulama verilerinin kalitesi yer alır. Yapay zeka tabanlı makinelerin büyük ölçekte kullanılmaya başlanması, görevlerin ve kararların otomatikleştirilmesi nedeniyle, sistemik zarar ve sistemik zarar risklerinin artması beklenir.

Bu hatalar, kullanıcıların YZ'nin başarısızlığını fark etmediğinden dolayı ihmal olarak karşımıza çıkar. YZ'nin hatalı performansını veya yanlış kullanımlarını hatalar görülmeden tahmin ederek bu hataları önleme sorumluluğu kullanıcılara düşmektedir. Bir model şeffaf olmalıdır, yani bir algoritmanın neden başarısız olduğunu ve olumsuz klinik olayları izlemenin mümkün olması için formülleri ve kodu erişilebilir ve anlaşılır olmalıdır. Verilerin "doğruluğu", içerdiği bilgilerin türü, eksiksiz olması ve doğruluğu, yanlılığı ve ilgilenilen sorunu yansıtıp yansıtmadığını anlamaktan oluşur.

"Kara kutu" algısı nedeniyle, bir karar YZ tarafından verildiğinde, hastayı net bir şekilde bilgilendirmek zor hale gelebilir. YZ sistemlerinin kararları, eğitim için kullanılan verilere, kullanılan algoritmalara ve oluşturulduklarından bu yana öğrendiklerine dayanmaktadır. Etnik, sosyal, çevresel veya ekonomik faktörler nedeniyle sağlık hizmetlerinde değişkenlik

veya eşlik eden hastalıklar gibi klinik olarak kafa karıştırıcı faktörler gibi bazı insan önyargıları eğitim verilerinde mevcutsa, bunlar YZ sistemlerinin önyargılı kararlarına neden olabilir. YZ eşitlik gibi etik kavramları içermediğinden, YZ kullanan insanlar bu hataları önleme sorumluluğunu üstlenecektir. Son olarak, YZ'yi tıbbi uygulamaya entegre etmeden önce, daha önce yaptığı görevi yapamayacak olan kullanıcıların olumsuz etkilenmeleri dikkate alınmalıdır.

5. Medikal Fizikçinin Rolü.

5.1. Görüntüleme.

Yazımızın daha önceki bölümlerinde de belirtildiği gibi, Medikal Fizikçi (MF)'nin görüntüleme alanına derinlemesine dahil olduğu ana görevlerden biri optimizasyon sürecidir, yani doz ve görüntü kalitesi arasındaki dengeyi kurmaktır. MF, görüntüleme cihazının bileşenlerini ve sinyal değişikliği ile görüntü kontrastının temelindeki temel fiziksel mekanizmaları anlar ve performansı sınırlayan teknik ve/veya fizyolojik artefaktları kavrar. Ayrıca MF, doz ölçümü, doz hesaplaması ve doz tahmininin sınırlamalarını ve olası tuzaklarını bilir. Böylece MF, görüntüleme alanında kendi gelişimi için önem taşıyan bilgi ve becerilere ulaşmış olur.

Görüntülemede YZ'nin uygulanması ve kullanılması hasta dozunun tahmin etmek için sistemlerin geliştirilmesi amacıyla. MF, hatalardan kaçınmak için bu sistemleri doğrulayacak ve periyodik olarak kontrol edecektir. Fantomda yapılan doz ölçümleri, YZ algoritmalarını test etmek için önemli bir fırsattır ve MF tarafından planlanmalıdır. Ek olarak, MF rutin testler yaparak görüntü kalitesini değerlendirebilecektir.

Son zamanlarda, DÖ'ye dayalı görüntü kalitesi artırıcı uygulamalar, görüntü kalitesini iyileştirmek için klinik uygulamaya girmiştir. Sonuç olarak, görüntü elde etme protokolleri, doz azaltımı elde etmek için güncellenebilir ve MF, hastaya mümkün olan minimum iyonlaştırıcı radyasyon dozunu vermek için optimizasyona dahil olmalıdır. Görüntüleme parametrelerinde yapılan değişikliğe karşılık, YZ sistemlerinin yanıtını ne ölçüde etkilediğini doğrulamak da gereklidir. Bu amaçla çeşitli fiziksel fantomlar geliştirilmiştir. Ek olarak, Görüntü tabanlı MÖ algoritmalarının performanslarını periyodik olarak doğrulamak için fiziksel ve dijital fantomlar da kullanılabilir.

Örneğin, The Credence Cartridge Radiomics (CCR) fantomu, BT ve CBCT görüntülerinde radiomics için dizayn edilmiştir. Benzer olarak, heterojen dokulu antropomorfik fantomlar, akciğer dokularındaki dokuları simüle etmek, 3D printer aracılığı ile PET için elde edilen fantomlar FDC uptake'ni test etmek amacıyla, MR fantomları doku ve tümör dokusunu simüle etmek için kullanılmaktadır.

YZ tarafından üretilen segmentasyonun (konturlamanın), görüntülerin yeniden yapılandırılmasının (reconstruction) ve MRI görüntülerinden elde edilen sentetik CT'nin doğruluğu, yine bu amaçla üretilen fantomlar kanalıyla ve değişik yöntemlerle test edilmektedir. MF, bu yöntemlerle elde edilen çıkarım ve kantitatif analizlerin uygun olduğundan, sonucundan emin olmalıdır. Diğer yandan, MF, uygulanacak olan AI bazlı uygulamaların neler olacağından da sorumluluğa sahiptir. Bu sorumluluk, PET, MRI, BT görüntüleri için de geçerlidir. Ek olarak MF, hastaların doz ve risklerini de yönetmekle

sorumludur. (Editörün Notu: Sayılan bu sorumlulukları üstlenebilmek için Radyoloji/Görüntüleme alanında uzman bir MF'ye ihtiyaç vardır. Ancak, RT ile ilgili MF ile Radyoloji alanında uzman MF'lerin epey fazla kesişme alanları vardır)

Görüntüleme AI uygulamaları hızla gelişmekte ve dolayısıyla MF'ler YZ sistemlerinin kabul ve QA testleri için ek sorumluluk almaktadırlar.

5.2. Veri Toplanması ve Yönetimi.

Mevcut klinik çalışmaları ve nümerik analiz yeteneklerine ek olarak, MF'ler, QA da dahil olmak üzere mevcut tüm verilerin yönetimine katkı yapmalıdırlar. Bu destek tüm modaliteler için geçerlidir. Örneğin PET, BT, MRI, USG, PET/CT, PET/MR gibi.

Görüntüleri girdi olarak kullanan CAD sistemleri ve diğer yapay zeka tabanlı karar sistemleri, çıktı doğruluğunu sağlamak için minimum kalite spesifikasyonuna ve çıkarım protokollerine ihtiyaç duyacaktır. MF, bu amaçla protokollara en uygun AI algoritmasının kullanıldığına emin olmalıdır.

MF'ler, görüntü verileri, tedavi verileri ve çekim verilerinin harmonize edildiği verileri standart formatlarda biriktirmelidirler.

5.3. YZ'nin Kabulü ve Geçerliliği.

YZ'nin kabulü, YZ'nin klinik kullanıma hazır olması, için bir seri testlere ihtiyaç vardır. Kabulde beklenen amaç, tüm testler, işlem süreci, toleranslar, gerekli ekipmanlar ve insan gücü parametrelerinin uygun olup olmadığıdır. YZ'nin uygulanması öncelikle en iyi bilinen vakalar üzerinde olması istenmekte, bu bir anlamda gerçek doğrular ile YZ'nin kontrol edilmesidir. Aynı verilerle farklı MÖ yöntemleri kullanılarak hangi yönetimin daha başarılı olduğu

öğrenilmelidir. Bu işlemlerde QA uygulanması özellikle gereklidir.

Yapay zeka sistemlerinin yorumlanabilirliğinin olmaması veya "**kara kutu**" sorunu, bunların klinikte benimsenmesinin önünde bir engel oluşturmaktadır. (Editörün notu: YZ'da, kullanılan sistemin iç işleyişinde ne yaptığının kolayca anlaşılabilmesi ve sonuca nasıl ulaşıldığının bilinmemesi kara kutu olarak ifade edilir.) AI performansını uygun şekilde izleme modelleri iyi bilinen durumlarda test eden kalite kontrolleri, modellerin yorumlanabilirliğini geliştirebilir.

Amerikadaki FDA örgütü, onay vereceği bu tipdeki YZ ürünlerine tüm testleri, çapraz kontrolleri, uygulamayı gündeme getirmektedir.

Yapay Zeka modellerinin istenen standartlarda eğitilmesi ve bu eğitimin büyük veri kullanımı düzeyine getirilmesi ayrı bir sorundur. Her değişiklikte, YZ'nin tekrarlanabilirlik ve yorumlanabilirliği kontrol edilmelidir. Bu aşamada yin MF ön saflarda yer alır.

5.4. YZ ve Radyoterapi.

Gelişen BT tabanlı doz hesapları, tedavi planlamaları, görüntü rehberliğindeki RT (CBCT) yine MF'leri, üstlendikleri diğer QA ve radyasyondan korunma görevlerine ek olarak RT'ye en önde katkı yapan personel sınıfına koymaktadır.

MP'ler ayrıca RT'de yapay zeka kullanımında ön saflarda yer almış ve bu da bilgi tabanlı tedavi planlamasının uygulanmasına yol açmıştır.

MF'ler otomatik olarak yüksek kaliteli planlar geliştirerek radyoterapi planı tasarımını hızlandırmaya olanak tanımıştır.

Diğer MÖ tabanlı prosedürlerde olduğu gibi, otomatik planlama sistemleri de kullanıcı tarafından

oluşturulan eğitim verileri kadar iyidir ve sonuçlarının test edilmesi ve sonunda onaylanması gerekir.

Çoğu zaman, her hastanın benzersiz anatomisi nedeniyle, önerilen planın klinik MF'ler tarafından özelleştirilmesi ve değiştirilmesi gerekecektir.

Daha da önemlisi, belirli bir plan için potansiyel sorunlar ortaya çıktığında, MF'ler klinik olarak kabul edilebilir bir çözüme ulaşmak için doktorlar, terapistler ve dozimetristler gibi diğer ekip üyeleriyle iletişim kurar.

MF'ler, Dozimetri protokollerine göre ve daha önce oluşturulmuş doz hesaplama algoritmalarına göre karşılaştırmalı olarak uygun şekilde tasarlanmış fantom içi film/iyon odası ölçüleriyle, DÖ tarafından tahmin edilen dozun doğrulanması ve test edilmesi çalışması içinde yer alır. Bu uygulama kalite güvencesi değerlendirilmesinin bir parçasıdır. Diğer bir kritik husus da doz belirsizliklerinin prognostik veya prediktif dozomik modelleri nasıl etkilediğini araştırmaktır.

Görüntüleme cihazlarına ve LINAC'lara aşinalıkları göz önüne alındığında, MF'ler LINAC'ların ve görüntüleme cihazlarının kalite kontrolüne uygulanan yapay zekanın analizinde kritik bir role sahip olacaktır. Bir AI aracı bir makine arızasını tahmin ettiğinde, MF'ler sorunun nedenini ve kalibrasyonlar gibi düzeltici eylemleri belirlemeye yardımcı olabilmektedirler.

5.5. Güvenlik/Risk Yönetimi

MP'nin kilit faaliyetlerinden biri, hastaların güvenliğini garanti altına almak için medikal cihazların ve prosedürlerin değerlendirilmesi olan hasta güvenliği yönetimidir.

MP'ler, potansiyel olarak istenmeyen oluşan medikal

maruziyet veya hastanın yaralanmasını içeren olayların analizinden ve arıza nedenleri ve etkileri analizinden oluşan risk değerlendirmesini kullanarak kazaları önlemek ve analiz etmek üzere eğitilirler.

Makine öğrenimi, görüntü kalitesini düşürmeden hastalar ve çalışanlar için bir tehlike oluşturan (X-Işını gibi) görüntüleme elde etmeye yarayan radyasyona maruz kalmayı düşürme potansiyeline de sahiptir.

5.7. YZ Kullanıcılarının Eğitimi

Bir teknik incelemeye göre (White Paper), Kanada Radyologlar Derneği uygulayıcılara önem, tuzaklar, zayıflıklar ve AI ürünlerinin kullanımında oluşabilecek olası hatalarla ilgili eğitim sağlamaktadır. Medikal Fizik dernekleri, görüntüleme ve tedavide uygulanan YZ alanındaki uygun eğitim ve öğretim programlarını sağlamak için girişimler başlatmaktadırlar. Öte yandan, iletişim ve bilimi açıklama konusunda yetenekli olan MF'ler, diğer meslek sahipleri ve hastalarla ortak bir dil oluşturmak için kritik öneme sahiptir. MF'ler, YZ'nin diğer sağlık profesyonelleri tarafından kullanımına ilişkin eğitim ve öğretime katılabilir ve MF'in klinikte etkili, verimli ve güvenli bir şekilde uygulanması için çalışan disiplinler arası ekibin bir parçası olabilir.

5.8. YZ'da Araştırma

Medikal Fizikçiler, genellikle aktif araştırmacılarıdır ve istatistik, matematik ve bilişim alanlarında da uzmanlığa sahip oldukları için yapay zeka araştırmaları için uygundur. YZ'nin başarılı bir şekilde nasıl tanıtılacağını anlamak ve AI'nın klinik uygulamada kullanımını ve özelliklerini tanımlamak için MF'lerin katılacağı kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır.

MF'in öncelikli olarak dahil olacağı diğer aktif

araştırma alanları arasında veri doğruluğunu ve geçerliliğini değerlendirme, eksiksizlik, doğruluk, doğruluk ve tutarlılık için metrikler geliştirme ve veri temizlemeyi gerçekleştirme faaliyetleri sayılabilir. (Editörün Notu: Metrikler, bir modelin veya sistemin performansını değerlendirmek için kullanılan ölçümler veya istatistiklerdir.)

Medikal Fizikçiler çok kurumlu ve çok uluslu işbirliği gerektiren tüm alanlarda (klinik, dozimetrik, görüntüleme, moleküler biyoloji, patoloji vb.) genotipleme ve fenotipleme verileriyle teşhis ve tedavi prosedürlerinden elde edilen dijital bilgilerin büyük veri kümelerine entegrasyonunu teşvik etmelidir.

Yapay zeka araştırmasında MF'lerin özel görevi, çözülecek sorunun tanımını ve yapay zeka sözlüğündeki kategorisini (örneğin, sınıflandırma, regresyon, örüntü tanıma) belirlemeyi, eğitilecek uygun modelleri seçmeyi, veri toplamak için bir strateji belirlemeyi içerir. MF'lerin ayrıca geliştirilen AI tabanlı yöntemlerin olası tuzaklarını ve bunların nasıl üstesinden gelineceğini araştırmaları ve raporlamaları gerekir.

Araştırma alanlarının da ilgi alanına giren gizlilik, güvenlik, sağlık bilgilerine güvenli erişim, hassas verilerin tanımlanmasının kaldırılması ve bilgilendirilmiş onam alınması, büyük veri çağında daha da önem kazanıyor. Bu araştırma alanlarında yer alan MF'lerin devlet kurumları, bilim adamları, sağlık hizmeti sağlayıcıları, şirketler ve diğer ilgili taraflarca yayınlanan açıklamaları ve tavsiyeleri uygulaması gerekecek ve bu ifadelerin formüle edilmesinde aktif bir rolü olacaktır.

Ayrıca, MF'ler yapay zeka modelleri geliştirmek veya

verileri üzerinde ince ayar yapmak için çalışıyorlarsa, eğitim için kullanılan eğitim modellerini, verilerin sınırlamalarını dikkatlice anlamaları ve ele almaları gerekir.

Farklı özellik seçimi ve makine öğrenimi yöntemleri ve bunların kombinasyonları gibi çoklu yaklaşımları keşfetmek, yine MF çalışma alanının bir parçasıdır.

Bulunabilirlik, Erişilebilirlik, Birlikte Çalışabilirlik ve Yeniden Kullanılabilirlik ilkeleri, araştırmacılara veri yönetimi ve raporlama konusunda MF'lere rehberlik etmeyi amaçlamaktadır

Ayrıca, YZ'ye dayanan karar, otomasyon ve tahmin modelleri, geçerliliklerini yerleşik verilerle karşılaştırmak için bağımsız ve yeterince büyük veri kümelerinde test edilmelidir.

6. Sonuçlar.

YZ, MF'lerin uzmanlık alanını genişletebilir ve iyileştirmek için daha da fazla bilgi çıkarabilir.

YZ, hasta bakımını iyileştirmek için daha da fazla bilgi toplayarak MF'nin uzmanlık alanını genişletebilir.

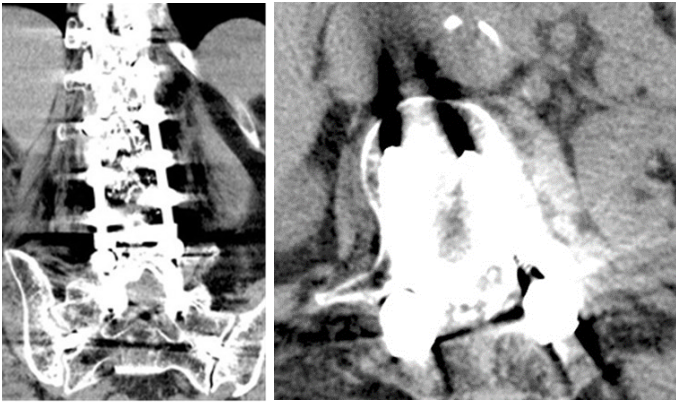
Medikal Fizikçiler, Yapay Zeka devrimini karşılamaya hazırdır. Öte yandan, MF'ler sahip oldukları bilgi ve becerileri sayesinde, özellikle radyolojik bilimlerde yapay zekanın güvenli ve optimum şekilde uygulanması için gereklidir ve faydalı olacağı kesindir. Bu nedenle çok disiplinli yapay zeka ekibine katılımları çok önemlidir.

Yayına hazırlayan: H. Haluk ORHUN

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ'DE METAL ARTEFAKT'LARI AZALTMAK

Med. Fiz. Uzm. Seçkin Gündüz

Bilgisayarlı tomografi (BT) çekimlerinde metal artefaktlara bağlı olarak oluşan görüntü bozuklukları, hastaların tanı ve tedavi kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu sorun BT cihazlarının ilk kullanımından günümüze kadar devam eden bir sorun olarak önümüze çıkmaktadır. Radyasyon tedavisi için başvuran hastalarda, tarama alanına giren metal cisimler (protez, kalp pili, implantlar vb.), ilgili anatomik bölgede parlak ve koyu çizgilere neden olmaktadır (Şekil 1). Bu sebeple BT görüntülerinde tarama alanına giren metalik cisimler, hedef hacmin belirlenmesinde ve ışınlanmasında belirsizliklerin oluşmasına neden olurlar. Bu yazıda, metal cisimlerin BT görüntüleri üzerinde nasıl artefakt oluşturduğunu ve metal artefaktları azaltmak için neler yapabileceğimizi anlatmaya çalışacağım.

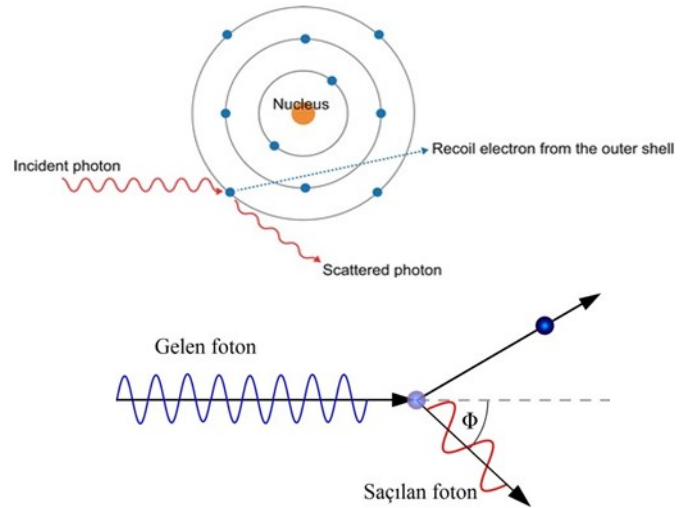


Şekil 1. Pedikül vidalarının (titanyumdan yapılmış) oluşturduğu parlak ve koyu çizgiler

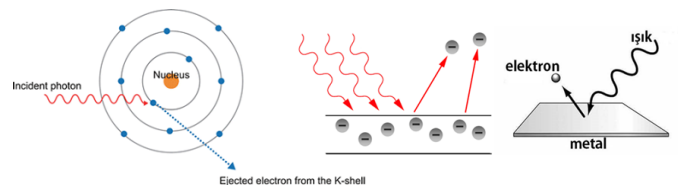
Metal Artefaktları Nasıl Oluşur?

X-ışını demeti bir metal cisimden geçerken, metal cismin atomları ile x-ışını fotonlarının etkileşimi sonrası fotonlar emilir ve saçılır. Bu sırada, tanısal görüntüleme için kullanılan enerji seviyelerinde

birincil etkileşim yolları olan "fotoelektrik etki" ve "compton saçılması" olayları gerçekleşir. Gelen foton etkileşime girdiği atomun en dış kabuğundaki zayıf bağlı elektronlarla ya da atoma bağlı olmayan serbest elektrona çarparak enerjisinin bir kısmını çarptığı elektrona aktarır ve farklı yöne saçılır (Şekil 2). Compton saçılması olarak bildiğimiz bu olayın gerçekleşme olasılığı, etkileşime girdiği atomun numarasının büyüklüğünden bağımsızdır ve $(1/E)^3$ orantılıdır. Ancak fotoelektrik olay için aynısı geçerli değildir. Fotoelektrik olayın gerçekleşme olasılığı $(Z/E)^3$ ile orantılıdır. Burada Z metalin atom numarasını, E ise fotonun enerjisini temsil etmektedir. Fotoelektrik olay da gelen foton, atomun en içteki yörüngesinden elektronu koparmak için tüm enerjisini aktarır^{3,8}(Şekil 3).

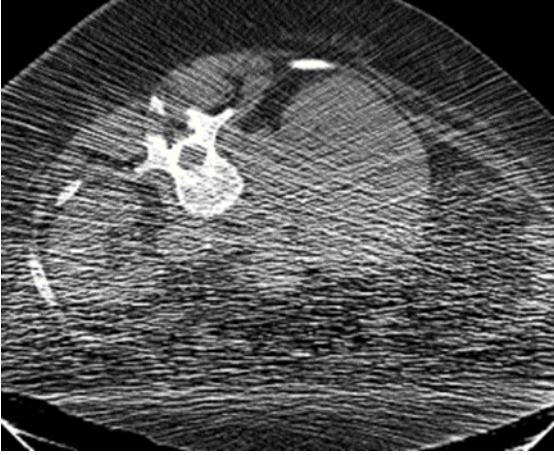


Şekil 1. Compton saçılması



Şekil 2. Fotoelektrik olay

Metallerin yumuşak dokulara oranla atom numaraları çok daha büyüktür. Tarama alanında bulunan metalik cisimler, gelen x ışını demetinden aşırı foton absorpsiyonu yaparak dedektörlerin sinyal algılamasını engellerler. X-ışını demeti metal malzemeden geçtikten sonra belirgin seviyede zayıflar ve dedektörlere yetersiz sayıda foton ulaşır. Bu duruma foton açlığı denilmektedir. Dedektörlere ulaşan düşük sayıdaki fotonlar da beraberinde istatistiksel hatalar getirerek poisson gürültüsüne neden olacaktır. Bu sebeple düşük kontrastlı yumuşak doku sınırları belirsiz hale gelebilir.



Şekil 4. Poisson gürültüsü etkisi

X ışını demeti nesneden geçerken, düşük enerjili fotonlar kolay zayıflatılır fakat yüksek enerjili fotonlar o kadar zayıflatılamaz. Oluşan bu farktan kaynaklı olarak x-ışını demetinin ortalama enerjisi artar. Işın demeti metal gibi yüksek atom numaralı malzemelerden geçerken bu etki daha da belirgin hale gelir. Bu öncelikle fotoelektrik etkiden kaynaklanır. Yukarıda da belirttiğim gibi fotoelektrik etki olasılığı $(Z/E)^3$ ile orantılıdır. Bu sebeple yüksek atom numarasına sahip malzemeler düşük enerjilerde fotonları belirgin şekilde zayıflatır. Böylece yüksek enerjili fotonların fotoelektrik olasılığı düşer ve kolay

zayıflatılamazlar. Bu duruma ışının sertleşmesi adı verilir.^{4,6,7}

Compton saçılması sonucu ise, fotonlar yön ve enerji değişimine uğrar. Bu sebeple farklı bir detektörde algılanır. Böylece bazı detektörlerde beklenenden daha fazla foton algılanacaktır. Bu durum oluşturulan görüntü üzerinde koyu ve parlak çizgilere neden olmaktadır. Metal cisim gelen tüm fotonları bloke ederse, detektörler sadece saçılan fotonları algılayacaktır. Detektörlerin sayısı arttıkça saçılma etkisi daha önemli hale gelecektir.^{6,9}

Metalin x ışını üzerinde oluşturduğu zayıflatma etkisi, bilgisayarların görüntü oluşturmak için karşılayabileceği zayıflatma değerinin çok üzerindedir. Bu sebeplere bağlı olarak hatalı istatistiksel verilere sahip görüntüler elde edilir.

MAR Tekniği ile Metal Artefaktları Nasıl Azaltılır?

Metal artefaktların düzeltilmesine yönelik yaklaşımlar arasında basit ve geleneksel olanları mAs ayarı (tüp akım-zaman ayarı) ve kVp ayarı (tepe voltajı ayarı) yapılabilir. Ancak bu değişiklikler metal artefaktları çok az azaltabilir ve hastaya daha yüksek radyasyon dozu verilmesine yol açmaktadır.

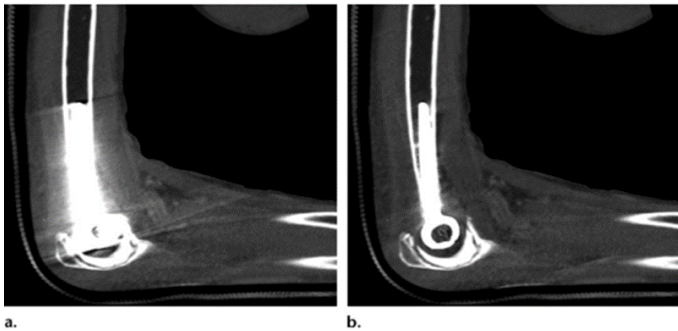
Gelişen teknoloji ile birlikte görüntü kalitesini iyileştirmek için modern BT yazılımlarında çeşitli artefakt azaltma algoritmaları geliştirilmiştir. Metal artefakt reduction (MAR) algoritmaları, görüntü alanını tarayarak metalin neden olduğu artefaktları, komşu bozulmamış yapılardan örnekler alarak interpolasyon yöntemi ile düzeltir. Bu işlem için BT firmalarının geliştirdiği çeşitli projeksiyona dayalı MAR algoritmaları mevcuttur.^{1,6,9}

Projeksiyon tabanlı MAR algoritmalarının temel mantığı, metal nesnelere karşılık gelen projeksiyon

verilerini tespit etmek, bölümlere ayırmak (segmentasyon) ve sonrasında düzeltilmiş tahmin değerleriyle değiştirmektir. Bu işlemin ilk adımı olan metal cismin saptanması ve bölümlere ayrılması, ya projeksiyon görüntüleri (projeksiyon tabanlı metal segmentasyon) ya da rekonstrüksiyon görüntüleri (görüntü tabanlı metal segmentasyon) ile yapılır. Şu an kullanımda olan tüm yazılımlar görüntü bazlı metal segmentasyon yöntemini kullanmaktadır. Bu işlem aşağıdaki dört adımla özetlenebilir:

1. Düzeltilmemiş orijinal BT görüntüsündeki metal nesneye ait pikseller, HU birim eşiği kullanılarak bölümlere ayrılır.
2. Görüntüler, metal piksellere karşılık bozuk verileri tanımlamak için ileri doğru izdüşümlenir.
3. Bozulmamış verilere dayanan uygun tahminlerle interpolasyon yapılır.

İnterpolasyonlu sinogram (projeksiyon) düzeltilmiş bir görüntü oluşturmak için geriye doğru yansıtılır (yeniden yapılandırma)^{1,5,6} (Şekil 5 a,b)



Şekil 5. a) Düzeltilmemiş orijinal BT görüntüsü b) MAR yöntemi ile düzeltilmiş görüntü

Mar algoritmaları her zaman doğru görüntüler oluşturamayabilir. Hatta yeni artefaktlara sebep olabilir.^{1,6} Bu problem Wang ve arkadaşlarına göre metalin bir kısmını artefakt olarak algılayarak hesaplama sırasında onu kaldırması sebebiyle olabilir⁶. Mar algoritması kullanılarak

oluşturulan görüntü ve düzeltilmemiş görüntü mutlaka klinik uygulamalarda beraber değerlendirilmelidir. Yakın gelecekte bizleri BT donanımında yeni gelişmeler bekliyor. Ters geometri CT, çok sayıda x ışını kaynağından oluşan, daha küçük dedektörler kullanan, konik ışın artefaktlarını ortadan kaldıran, saçılma ve radyasyon dozunu azaltma potansiyeli olan yeni bir tarayıcı geometrisidir. En yüksek çözünürlüklü mikro BT tarayıcılara sahip olmasından kaynaklı BT' de görülmeyen yapıların görülmesini sağlayabilir. Bu durum kemik gibi yüksek zayıflatma katsayısına sahip yapıların sınırlarının belirlenmesinde daha etkili olabilir ancak yüksek çözünürlükle birlikte yumuşak doku sınırlarını belirsizleştiren gürültünün artması muhtemeldir.⁶ Gelecekteki teknolojik gelişmeler ve yapılacak olan araştırmalar, bu problemlerin ortadan kaldırılmasına ve bizlerin doğruya biraz daha yaklaşmamızı sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. Katsura M, Sato J, Akahane M, Kunimatsu A, Abe O. Current and Novel Techniques for Metal Artifact Reduction at CT: Practical Guide for Radiologists. RadioGraphics 2017; 38:450–461.
2. Lee C-L, Park J, Nam S, Choi J, Choi Y, Lee S, et al. (2021) Metal artifact reduction and tumor detection using photon-counting multienergy computed tomography. PLoS ONE 16(3): e0247355.
3. Jeong S, Kim S-H, Hwang E-J, Shin C-i, Han J-K, Choi B-I. Usefulness of a Metal Artifact Reduction Algorithm for Orthopedic Implants in Abdominal CT: Phantom and Clinical Study Results. AJR:204, February 2015.
4. Giantsoudi D, Man B-D, Verburg J, Trofimov A, Jin Y, Wang G, Gjestebj L, Paganetti H. Metal artifacts in computed tomography for radiation therapy planning: dosimetric effects and impact of metal artifact reduction. Phys. Med. Biol. 62 (2017) R49–R80.

5. Byl A, Klein L, Sawall S, Heinze S, Schlemmer H-P, KachelrieB M. Photon Counting Normalized Metal Artifact Reduction (NMAR) in Diagnostic CT.
6. Boas F-E, Fleischmann D. CT artifacts: Causes and reduction techniques. Imaging Med. (2012) 4(2), 229-240.
7. Ataç G-K, İnal T. BT İncelemelerde Görüntü Kalitesi ve Artefaktlar. Trd Sem 2020; 8: 110-128.
8. Mouton A, Megherbi N, Slambrouck K-V, Nuyts J, Breckon T-P. An experimental survey of metal artefact reduction in computed tomography. Journal of X-Ray Science and Technology 21 (2013) 193–226
9. Gjestebj L, Man B-D, Jin Y, Paganetti H, Verburg J, Giantsoudi D, Wang G. Metal Artifact Reduction in CT: Where Are We After Four Decades? Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2016.2608621.



Med. Fiz. Uzm. Seçkin Gündüz

1989 yılında İstanbul'da doğdu. 2016 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Acıbadem Üniversitesi Sağlık Fiziği yüksek lisans programına başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2020-2022 yılları arasında Sakarya Eğitim ve Araştırma Hastanesinde Medikal Fizik Uzmanı olarak çalıştı. Şu anda Acıbadem Altunizade Hastanesinde Medikal Fizik Uzmanı olarak çalışmakt

adır

MEDİKAL FİZİKÇİLERİN MEVCUT DURUMU, GELECEKTEKİ ARZ VE TALEP- 2020

AAPM MEDİKAL FİZİKÇİ İŞ GÜCÜ ANKET SONUÇLARINA İLİŞKİN RAPOR

> J Appl Clin Med Phys. 2022 Dec 5;e13632. doi: 10.1002/acm2.13632. Online ahead of print.

The current state, future supply and demand of therapy physicists – A special report of the 2020 AAPM therapy physicist workforce survey results

Erli Chen ¹, Michael D Mills ², John A Antolak ³, Ivan M Buzurovic ⁴, William Dezarn ⁵, Farhana R Khan ⁶, Charles Kirby ⁷, Brent Parker ⁸, Todd Pawlicki ⁹, Zhong Su ¹⁰, Chrisine M Swanson ¹¹, Russell B Tarver ¹², Bruce Tomadsen ¹³, Nicholai E Wingreen ⁶, Susan White ¹⁴, Ming Yang ¹⁵, Sumin Zhou ¹⁶

Med. Fiz. Uzm. Özge Atilla

Giriş

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki sağlık ortamı, verimlilik ve değer artışı açısından sürekli baskı altındadır. Otomasyon, uzaktan destek ve yapay zeka teknolojisi bu baskılardan bazılarının hafifletilmesine yardımcı olmaktadır. Diğerleriyle birlikte benzer baskılar, medikal fizikçilerin istihdam durumlarını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Nitelikli Medikal Fizikçiler (QMP'ler) klinik sorunlar ortaya çıktığında hasta bakımında güvenlik ve kaliteyi sağlamak için kritik bir bileşendir. Pazar baskısını düzgün bir şekilde yönetmek ve uygun bir işgücünü sürdürmek bu hedeflerin ayrılmaz bir parçasıdır. Bugüne kadar hem tedavi hem de teşhis fiziğinde "uygun bir iş gücü" tanımlamaya yönelik çabalar sınırlı olmuştur. Uygun bir iş gücü oluşturmadan önce, mevcut iş gücünün boyutu gerekli kritik bilgilerden biridir. Ancak, QMP ve Medikal Fizikçi Asistanı (MPA) tanımlarını dikkate alan terapi fizikçisi iş gücüne ilişkin güvenilir ve doğru bir sayım yapılmamıştır. AAPM üyelerine bu zorlukları planlama ve yönetme konusunda yardımcı olacak gerekli ve güncel bilgileri sağlamak için AAPM,

medikal fizikçi arz ve talebini incelemek, terapi ve teşhis iş gücü anketleri geliştirmek için İş Gücü Değerlendirme Komitesi (WAC), Teşhis İş gücü Alt Komitesi (DWS) ve Terapi İş Gücü Alt Komitesi'ni (TWS) kurdu. TWS, bu hedefi ilerletmek için bir anket geliştirdi. TWS anketi, terapi fizikçisi istihdam düzeyleri, otomasyon ve yapay zeka teknolojisinin klinik kullanımına ilişkin mevcut uygulama durumunun temel çizgisini belirlemek için tasarlanmış olup aşağıdaki alanlarda bilgi toplar. Bu alanlar;

- Belirli klinik görevleri kimin yerine getirdiği ve kimin denetlediği (QMP, QMP olmayan, MPA veya medikal dozimetrist).
- Bu klinik prosedürleri (IMRT, SRS, SBRT ve HDR) tamamlamak için tipik olarak gereken görev sayısı, görev yoğunluğu düzeyi ve süresi (ancak bu prosedürlere ayrılması gereken süre değil).
- Hasta yükü, yıllık vaka sayısı, günde ortalama tedavi gören hasta sayısı.
- İş yükü dağılımı, uygulama türleri ve yönetim, eğitim, öğretim ve araştırma gibi klinik işlevler.
- Sağlanan klinik hizmet faaliyetlerinin sayısı, türü ve kullanılan ekipman.

Metotlar: Anket Tasarımı, Dağıtımı Ve Veri Analizi

Anket sorularını geliştirmek ve değerlendirmek için AAPM gönüllülerinden oluşan bir panel oluşturuldu. Anket, açıklık, uygunluk ve tamamlanma süresi için bir pilot testten geçti. Bu çalışmanın verileri internet tabanlı bir anket aracı kullanılarak toplandı. 2020 AAPM üyelerinin tamamı, AIP İstatistiksel Araştırma Merkezi tarafından rastgele ve eşit bir şekilde A ve B olmak üzere iki anket grubuna ayrıldı. Liste A, AIP tarafından yapılan DWS anketi için kullanılırken, Liste B, üye profillerinde tedaviyi bir uzmanlık alanı olarak listeleyen üyeler için TWS tarafından incelendi. 2020 TWS iş gücü anketi, B listesinin bu alt kümesine dağıtıldı. TWS ve DWS iş gücü anketleri aynı dönemde açık bırakıldı. Tedavi anketine bağlantı içeren kişiselleştirilmiş e-postalar, tam AAPM üyeliğinin yaklaşık %38'ini oluşturan B listesinin alt kümesine gönderildi. Bu anket 21 Eylül 2020'de açıldı ve 19 Kasım 2020'de kapatıldı. Veri toplama süresi, lansmandan sonraki 2, 4, 6 ve 8. haftalarda gönderilen dört hatırlatıcı ile yaklaşık 9 haftaydı. Veri analizi bireysel düzeyde, uygulama düzeyinde ve coğrafi düzeyde gerçekleştirildi. Anket sonuçlarının ABD terapi fizikçisi iş gücünü temsil ettiğini doğrulamak için TWS anketini yanıtlayanları, 2020 AAPM ABD tedavi üyeliği ve 2020 AAPM profesyonel anket terapi fizikçisi yanıtlarıyla ortalama yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi, çalışma durumu ve yanıt verenlerin coğrafi bölgesi olmak üzere beş kategoride karşılaştırıldı. Demografik bilgileri, teknoloji kullanımını ve istihdam değişikliklerini belirlemek için, TWS anket sonuçlarını 2012 ASTRO Radyasyon Onkolojisi iş gücü anketinin medikal fizikçi anket segmenti sonuçlarıyla karşılaştırıldı¹.

Veri Doğrulama, Kalite Standardı ve Hesaplama

Metrikleri

Doldurulan tüm anketler, cevaplanan ilgili maddelerin sayısı ve türü açısından incelendi. TWS yanıtlayanların posta kodları ve 2020 AAPM üyelik posta kodları karşılaştırıldı ve yinelenen durumlar belirlendi. Aynı uygulamalardan gelen yanıtlardan %10'u ortak yanıtlardı. Aynı uygulamalardan elde edilen bu sonuçları uygulama düzeyi analizi için silindi ya da tek bir sonuçta birleştirildi. Haftada 0,5 saatten az ve haftada 80 saatten fazla çalıştığını bildiren yanıtlar, ortalama haftalık çalışma saati hesaplamasından çıkartıldı. Kırk saat bir FTE'ye dönüştürüldü. Mevcut olduğunda, %95 güven düzeyine sahip en küçük kareler yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmamış bir ortalama ve ağırlıklı düzeltilmiş bir ortalama kullanıldı. Medyan ve Mod analizi, uygulama personeli düzeyinde gerçekleştirildi.

Sonuçlar ve Tartışma

Yukarıdaki Yöntemler bölümünde tanımlanan B listesinin alt kümesine toplam 2527 anket gönderildi. Bunlardan anket bağlantısı içeren kişiselleştirilmiş e-posta adreslerinin 1.769'u (%70) açıldı ve 579 (%23) anket geri döndü. Ek olarak 136 anket yanıtı, MedPhysUSA Listserv (medphys@lists.wayne.edu) ile açıkça paylaşılan bir bağlantıdan geldi. Yaklaşık 670 uygulamadan dönen toplam 715 anket vardı. Yanıt oranı; AAPM dağıtım listesinden %23 ve AAPM ABD üyelerinden %28 olarak gerçekleşti (ABD dışı yanıtlar hariç). Tüm bölgelerden ve her iki anket listesinden genel yanıt oranı, B listesine gönderilen anket sayısının %28'ine eşdeğerdi. Karşılaştırma için, 2012 ASTRO radyasyon onkolojisi medikal fizikçi segmenti yanıt oranı %18'di. 1090 medikal fizikçiden yaklaşık 763'ü tedavi fizikçisiydi.

Yanıt verenlerin %94'ü AAPM üyesi ve %6'sı COMP üyesiydi. Ankete katılanların %85'i medikal fizikçiydi ve bunlardan %77'si QMP olduğunu, %8'i QMP olmadığını bildirdi. QMP dışı yanıt verenlerin %68'i ABR sertifikası alma sürecinde olan fizikçilerdi. Ankete katılanların %98'i tam zamanlı çalıştığını bildirdi ve ortalama FTE yılı deneyimi sayısı 13'tü. Katılımcıların %54'ü bir lokasyona hizmet verirken, %23'ü 2 lokasyona, %11'i 3 lokasyona, %11'i ise 4 veya daha fazla lokasyona hizmet vermekteydi.

Anket Yanıllığı ve Veri Belirsizliği

TWS anket verilerinde; yaş, uygulama topluluğu ve birincil uygulama türü ile ilgili potansiyel önyargılar kabul edildi. 55 yaş ve üstü gruptan alınan örneklem boyutları nispeten küçüktü. Sonuç olarak, bu anketten elde edilen emeklilik verileri, tüm AAPM ABD terapi fizikçisi üyeliğini yeterli şekilde temsil etmediği düşünülür. Bağımsız klinik uygulamalardan ve kırsal topluluk ortamlarından düşük sayıda katılımcı, bu uygulamalar için veri analizinde daha büyük belirsizliğe yol açabilir. Kentsel alanlardaki akademik ortamlardan gelen yüksek yanıt oranları, bu gruba yönelik bir anket yanıllığı yaratabilir. Tablo-1 TWS anketini yanıtlayanların FTE-yılı deneyim profili sayısı, eğitim düzeyi, iş durumu, coğrafi bölgesi ve uygulama türü açısından 2020 AAPM profesyonel anketi radyasyon onkolojisi fizikçisi yanıtlayanları ile aynı büyüklükte önyargıya sahip olduğunu göstermektedir. AAPM yıllık profesyonel anketi, medikal fizikçilerle ilgili tüm anketler arasında en iyi yanıt oranına ve en uzun geçmişe sahip ankettir. Bu nedenle 2020 TWS iş gücü anketi 2020 AAPM profesyonel anketiyle karşılaştırıldı.

Demografi

TWS yanıtlayanların özellikleri, 2020 AAPM ABD

tedavi üyeliği ve 2020 AAPM profesyonel anket terapi fizikçileri ile ortalama yaş, ortalama FTE deneyimi yılı, cinsiyet oranı, eğitim düzeyi ve sertifikasyon oranı beş kategoride iyi bir eğilim göstermektedir: İstatistiksel olarak TWS anket sonuçları, 2020 AAPM ABD terapi üyeliğini yansıtır. 2012 ASTRO araştırması ile karşılaştırıldığında, radyo terapi fizikçisinin iş gücü üç yıl daha gençti ve FTE deneyiminin ortalama yılı üç yıl daha azdı. Yanıtlar, ABD'nin dört bölgesinden nispeten eşit bir dağılıma sahiptir. 2020 TWS anketi ve 2017² ve 2012 ASTRO anketlerinin tümü, daha fazla insanın istihdamını akademik ortamlara kaydırıldığını gösteriyor. 2012 ASTRO verileriyle karşılaştırıldığında, kentsel ve kırsal dengede muhtemelen önemli olmayan küçük değişiklikler oldu. Tüm uygulama türlerinden gelen yanıtlar değerlendirildiğinde, %33,9'u tıp fakültesi veya üniversite hastanesinden, %33,2'si özel veya devlet hastanesinden, %13,6'sı kanser merkezinden, %6,1'i medikal fizik hizmet grubundan, %3,6'sı devlet hastanesinden, %3,3'ü bağımsız bir klinikten, %3,1'i tıp hekimi grubundan, %1,5'i endüstriyel bir ticaret firmasından, %1,2'si bireysel danışmanlardan ve %0,5'i diğerlerinden geldi. Yanıtları akademik veya kapsamlı kanser merkezi (CCC), hastane tabanlı ve bağımsız klinik tesis olarak gruplandırdık. Medikal hekim grubu, medikal fizik hizmet grubu, endüstriyel ve ticari firma, bireysel danışmanlar ve diğerlerini bu üç kategoriye yerleştiremediğimiz veya gruplandıramadığımız için, bu 5 veri grubunu özellik analizinden çıkardık. Yanıt verenlerin özellikleri Tablo-1'de gösterilmektedir ve birincil istihdam yüzdeleri yalnızca akademik veya CCC, hastane tabanlı ve bağımsız klinik gruplar olarak gruplandırılmıştır.

¹ Tabloda gösterilen nokta tahminleri farklılık gösterse de, fark istatistiksel olarak anlamlı kabul edilecek kadar büyük değildir.

Tablo-1: Ankete katılanların özellikleri

	2020 AAPM ABD Terapisi Üyelik	2020 AAPM Profesyonel Anket Terapi Fizikçisi	2020 TWS	2012 ASTRO
Örnek Büyüklüğü, Sayı	3521	1943	687	1090
Yaş ortalaması	48.3	43.5	43.6	46.6
Yaş grubu, %				
>= 65	8	4	4	6
55-64	23	14	10	22
45-54	28	24	25	28
35-44	30	34	47	25
<35	11	24	14	19
Cinsiyet*, %				
Erkek	76	74	73	77
Kadın	24	26	27	23
Sertifikasyon, %	82	88	77	64
Eğitim, %				
PhD / ScD	50	47	48	-
DMP	1	7	2	-
MS	49	46	49	-
Çalışma Takvimi, Dolu zaman, %	98	94	98	94
Ortalama Deneyim Yılı	-	13	13	16
Bölge, %				
Batı	20	20	26	27
Ortabatı	23	25	26	27
Güney	36	35	24	31
Kuzeydoğu	21	21	23	21
Birincil İşveren, %				
Academik / CCC	43	52	52	26
Hastane Tabanlı	57	43	41	41
Bağımsız	NA	5	7	34
Uygulama Topluluk Türü, %				
Kentsel	-	-	58	55
Banliyö	-	-	33	34
Kırsal	-	-	9	12

* 2020 TWS ve 2012 ASTRO araştırmalarında bildirilen başka bir cinsiyet yoktu. Hem 2020 AAPM ABD tedavi üyeliği hem de 2020 AAPM Profesyonel Anketi – Terapi Fizikçisi, ikili olmayan /üçüncü cinsiyet gibi diğer cinsiyetlerin %0,5'inden daha azına sahiptir veya kendini tanımlamayı tercih etmektedir.

İstihdam Türü, Grup Büyüklüğü ve Uygulama Türü

Hogan ve diğerleri tarafından analiz edilen 2012 ile 2020 Medicare Physician verilerine göre³, akademik uygulamalarda istihdam edilen doktor sayısında artış ve solo uygulamalarda (%35'e karşı %18) ve serbest meslek sahibi doktor gruplarında (27%'e karşı %18) büyük bir düşüş oldu. TWS araştırması da benzer sonuçlar elde etti. 2012 ASTRO anketiyle karşılaştırıldığında, uygulama ortamına göre yanıt verenlerin yüzdesi, daha büyük bir grup boyutuna sahip akademik ortamlara doğru kaydı. Bağımsız klinik ortamlardan gelen yanıt oranı 2012'de %34'ten 2020'de %7'ye önemli ölçüde düştü. Akademik ortamlardan yanıt oranı 2012'de %26'dan 2020'de %56'ya yükseldi. Hastane tabanlı ortamlarda yanıt oranı %41'de değişmeden kaldı. 2012 ASTRO anketi ve 2020 TWS anketini karşılaştırdığımızda, bağımsız klinikler, hastane ortamları ve akademik ortamlar için uygulama başına ortalama QMP sayısının sırasıyla 4,2'den 2'ye, 2,6'dan 3,1'e ve 4,9'dan 8,4'e değiştiğini görüyoruz.

Tablo-2: Uygulama türüne göre profesyonel ve teknik personel sayısı

		QMP	FTE QMP	Dozimetrist	Radyasyon Onkoloğu
Genel	Ortalama	4.5	4.4	4	5.4
	Medyan	3	2.6	3	4
	Mod	1	1	2	2
Akademik	Ortalama	8.4	8.1	6.4	9.9
	Medyan	7	6.1	5	8
	Mod	2	2	4	5
Kanser Merkezi	Ortalama	4.1	4	4.2	4.8
	Medyan	2	2	3	3
	Mod	2	1	1	2
Özel veya Kamu Hastanesi	Ortalama	3.1	2.9	3	3.6
	Medyan	2	2	2	2
	Mod	1	1	2	2
Devlet Hastanesi	Ortalama	4	3.8	2.9	6.2
	Medyan	3	2	2	4.5
	Mod	3.	3	2	2
Bağımsız klinik	Ortalama	2	2	2.8	2.9
	Medyan	1	1	2	2
	Mod	1	1	1	2
Medikal (Doktorlar) Grubu	Ortalama	2.8	2.9	2.9	3.5
	Medyan	2	2.3	2	2
	Mod	1	1	2	1
Medikal Fizik Hizmet Grubu	Ortalama	1.8	1.7	2.1	2.1
	Medyan	1	1	2	2
	Mod	1	1	1	1

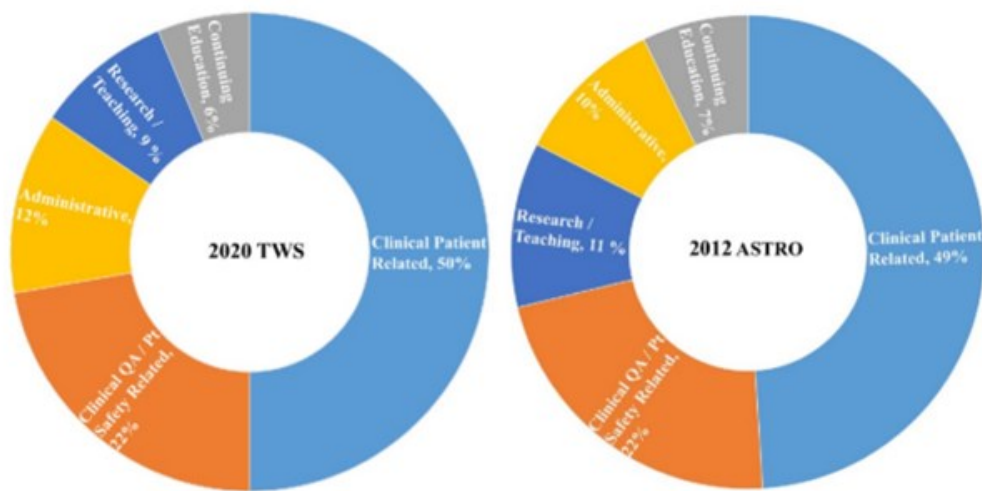
Ortalama olarak, uygulama başına 4,5 QMP (4,4 FTE QMP), 4 dozimetrist ve 5,4 radyasyon onkoloğu bulunmaktadır. Uygulama türüne göre ayrıntılı profesyonel ve teknik personel bilgileri Tablo-2'de listelenmiştir.

Haftalık Çalışma Saatleri, Uygulama Türleri ve Değişiklikler

2012 ASTRO anketiyle karşılaştırıldığında, haftalık ortalama çalışma saatlerinde ve her bir uygulama için harcanan sürenin dağılımında çok az değişiklik var. Ortalama haftalık çalışma saati 2020'de 46 saat ve 2012'de 48 saattir. Doğrudan klinik hastayla ilgili çalışma, doğrudan klinik hastayla ilgili güvenlik ve QA, sürekli eğitim, idari faaliyetler, öğretim ve araştırma için harcanan zaman, anketin belirsizlikleri dahilinde istatistiksel olarak değişmedi². Uygulama türüne göre ortalama haftalık çalışma saatleri ve belirli faaliyetlere harcanan süre yüzdesi Tablo-3'te gösterilmektedir. Şekil-1, 2020 ve 2012'de her bir uygulama türü için zaman dağılımını göstermektedir.

Tablo-3: Ortalama haftalık çalışma saatleri ve uygulama türüne göre her bir faaliyet için harcanan süre yüzdesi

	Ortalama Haftalık Saat	Doğrudan Klinik Hasta İlişkili, %	Klinik QA veya Hasta Güvenliği ile İlgili, %	Sürekli Eğitim, %	Yönetim, %	Araştırma veya Öğretim, %
Academik / CCC	47	49	20	6	12	13
Hastane Tabanlı	46	53	26	6	11	4
Bağımsız	46	59	24	6	7	4
Genel	4+	50	22	6	12	9



Şekil 1: 2020 ve 2012'de her bir faaliyet için harcanan zamanın yüzdesi

² Nokta tahminleri farklılık gösterse de (Şekil 1'de gösterildiği gibi), varyasyon istatistiksel olarak anlamlı kabul edilecek kadar büyük değildir.

Arz

Medikal Fizik Eğitim Programlarının Akreditasyon Komisyonu (CAMPEP) verileri⁴, 2020 itibariyle toplam 104 tedavi uzmanlık programı olduğunu, 2019'da 339, 2018'de 150 ve 2019'da 149 terapi fizikçisi asistanının kabul edildiğini göstermektedir. 3'ü 2018'de ve 140'ı 2019'da mezun oldu. Terapi uzmanlık programları 2020'de %3 arttı ve asistan sayısı son 4 yılda %12 arttı. Bu süreçte beş yeni terapi CAMPEP uzmanlık programı başvurusu oldu. 2014'teki yeni ABR medikal fizik uzmanlık şartından önce, 2012 ve 2013'te çok sayıda ABR sertifikasyon başvurusu vardı.

Ankete katılanların %15'i 10 yıl içinde emekli olmayı planlarken, bu katılımcıların %14'ü 10 yıl içinde 65 yaş ve üzerinde olacak. Ayrıntılı döküm şuydu:

%4'ü 5 yıl içinde,

%5'i 6 ile 8 yıl içinde ve

%6'sı 9 ile 10 yıl içinde emekli olmayı planlıyor.

Tablo-4, en az 65 yaşında olacak 2020 AAPM ABD terapi üyelerinin yüzdesini, yılın bir fonksiyonu olarak 2020 TWS anketine katılanlarla karşılaştırmaktadır. Tablo-1'de görüldüğü gibi, yanıt verenlerin daha büyük bir yüzdesi 35 ile 44 yaş grubunda yer almaktadır ve ankete yanıt verenler, 55 yaş ve üzeri üyeliği büyük ölçüde yetersiz temsil etmektedir. Farklılığın nedeni ne olursa olsun, planlama için AAPM terapi üyelik verilerinden elde edilen yaş tahminleri kullanılmalıdır. ≥55 yaş grubundaki 2020 AAPM ABD terapi üyelerinin sayısı, 65 yaşında evrensel emekliliği varsayarsak, terapi fizikçileri için yıllık %1,5'lik bir emeklilik oranı olacağını göstermektedir⁵.

Tablo-4. 2020 AAPM terapi üyeliğine ve 2020 TWS anketine katılanlara göre bildirilen 55 yaş ve üstü terapi

fizikçilerinin yüzdesi. Rakamlar o yaş grubundaki yüzdeyi veriyor.

2020'de yaş	2020 AAPM ABD Terapi Fizikçileri	TWS'ye Katılanlar
65+	8%	4%
60+	10%	3%
55+	13%	7%

Talep

Talebi etkileyebilecek birçok faktör vardır. Değişen teknoloji ve COVID-19 gibi öngörülemez felaketler gibi bazıları belirsizdir ve karşılaştırılacak verilerden yoksundur. Analiz edilecek daha alakalı verilerimiz olduğu için nüfus profili değişikliklerinden kaynaklanan emeklilik ve hasta artışlarına odaklanıyoruz. 65 yaş üstü nüfusun artan yüzdesi nedeniyle, kanser vakaları ve radyoterapi talebi, Amerikan Kanser Derneği tahmin verilerine göre yılda %2'den fazla artacaktır⁶. Amerikan Kanser Derneği verileri, 2012 ile 2020 yılları arasında kanser vakalarında %10'luk bir artış olduğunu gösteriyor. Araştırmanın yapıldığı dönemde, COVID-19 nedeniyle sağlık alanından ayrılmayı planlayan sağlık çalışanlarının sayısında bir artış olmuştur ve ABD Çalışma İstatistikleri Bürosu⁷, hastanelerin Şubat 2020'de pandeminin başlangıcından Haziran 2021'e kadar 102.000 çalışanını kaybettiğini bildirdi. Otomasyon ve yapay zeka teknolojisi klinik verimliliği artırarak uzun vadede medikal fizikçilere olan talebi azaltabilir; ancak, bu süreçlerin uygulanması ve benimsenmesinin ilk aşamalarında ihtiyaç duyulan QMP insan gücünde geçici bir artış da olabilir. Ankete katılanların %23'ü, QMP'nin QMP olmayanlara oranını artırmayı planladığını bildirdi. AAPM iş ilanı verileri, 2019'da 201, 2020'de 156 ve 2021'de 200 benzersiz

pozisyonu listeledi. AAPM iş ilan verileri⁸, 2012'den 2021'e kadar iş ilanlarında yalnızca %4'lük bir artış olduğunu gösteriyor. Pek çok medikal fizik pozisyonu, AAPM kariyer sitesinde asla yayınlanmaz, ancak ağızdan ağıza veya MEDPHYS liste sunucusu gibi diğer yerlerde duyurulur. Terapi fizikçisi görevlerinin yaklaşık %50'si uzaktan gerçekleştirilebilir, bu da seyahat süresinden tasarruf sağlar ve bir QMP'nin daha fazla tesisi kapsamına izin verir. Hipofraksiyonasyonun hızlandırılmış uygulanmasından kaynaklanan önerilen radyasyon onkolojisi geri ödeme modeli değişiklikleri, iş gücü maliyetlerini azaltmak için pazar baskısı yaratabilir.

Arz ve Talep

QMP'lerin ana arzı, CAMPEP tarafından akredite edilmiş uzmanlık programlarından gelirken, talep ise kanser hastası popülasyonu tarafından belirlenir. 2018'den bu yana AAPM iş ilanlarının %0,5'inden daha azı herhangi bir üyelik bonusu sunduğunu listeledi. 2012 AAPM profesyonel anketinde, hastanelerde ve hastane dışı devlet için çalışan medikal fizikçilerin yarısı maaş artışı bildirmede ve 2012 ASTRO anketine katılanların %57'si bölgelerinde medikal fizikçi arzının talepten fazla olduğunu inandığını, %11'i dengeli olduğunu ve %32'si talebin altında olduğunu bildirdi. Radyasyon onkolojisi fizikçileri için arz ve talepte gelecekteki eğilimler başlıklı makale, 2020'de terapi fizikçisi arz ve talep dengesini korumak için Amerika Birleşik Devletleri'nde en az 150 radyasyon onkolojisi asistan mezununa ihtiyaç duyulacağını öngördü. Mevcut piyasa talebi ve arzı, bu makalenin öngörüsüne göre iyi bir eğilim gösteriyor. AAPM tedavi QMP'lerinin yılda %1,5 oranında emekli olacağını varsayarsak (65 yaşında),

hasta hacmi yılda %2 artacaktır ve QMP ile radyasyon tedavisi hastalarının mevcut oranı yeterlidir. Arz ve talebi dengede tutmak için terapi fizikçi asistanlarının sayısının önümüzdeki 5 yıl boyunca yılda %3,5 oranında artırılması gerekmektedir. Bu, anket verilerinin yanlılığını, her yıl iş gücüne katılan DMP'lerin sayısını, yapay zeka ve otomasyon etkilerini ve piyasa belirsizliğini hesaba katmaz. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki radyasyon onkolojisi medikal fizikçilerinin arz ve talebinin Christine Swanson¹⁰ tarafından değerlendirilmesi, önümüzdeki 10 yıl boyunca terapi fizikçi asistanlarının sayısının yılda % 5,25 artırılması gerektiğini göstermiştir. Bu fark, otomasyon oranı, yapay zeka teknolojisinin benimsenmesi ve alternatif ödeme modeli hakkında daha fazla veri toplamanın ve bunların QMP'lerin arz ve talebi üzerindeki etkisini yeniden değerlendirmenin kritik olduğunu göstermektedir. Şu anda TWS ve Terapi Arz ve Talep Çalışma Grubu (TSDWG), bir medikal fizikçi iş gücü modeli geliştirmek için derinlemesine bir veri analizi ve simülasyonu üzerinde çalışıyor. Ayrıntılı hesaplamalar ve model ileride ayrı bir raporda yayınlanacaktır.

Uygulama Türü ve Mevcut Ekipman

Radyasyon onkolojisinde en yaygın kullanılan lineer hızlandırıcı tipi, çoklu enerjilere, foton ve elektron yeteneğine sahip olandır; Tablo-6'da "elektronlu lineer hızlandırıcı" olarak etiketlenmiştir. Özel stereotaktik lineer hızlandırıcılar, bu ankette "elektronsuz yüksek tanımlı MLC'ye sahip lineer hızlandırıcı" olarak tanımlanmaktadır. Tüm uygulama türlerinin ortalaması alındığında, bölge başına elektron içeren ortalama iki lineer hızlandırıcı vardır. Akademik, CCC ve hastane bazlı uygulamalar, ileri

teknoloji ekipmanların çoğuna sahiptir. Bağımsız klinikler, tüm ileri teknoloji ekipmanların %10'undan daha azına sahiptir. Tablo-5, uygulama türüne göre ayrıntılı sahip olunan ekipmanları göstermektedir.

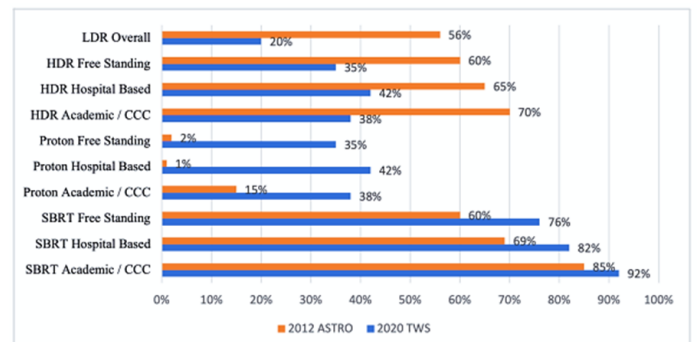
Tablo-5: Uygulama türüne göre mevcut ekipman

	Academik veya CCC	Hastane Tabanlı	Bağımsız	Her türlü Uygulama
Elektronlu lineer hızlandırıcının ortalama sayısı	3.9	2.6	1.3	2
Özel stereotaktik lineer hızlandırıcı	18%	13%	19%	19%
Tomoterapi veya Halcyon	11%	7%	0%	8%
Proton üniteleri	23%	2%	0%	13%
Cyberknife GammaKnife	17%	10%	3%	12%
MR lineer hızlandırıcı	5%	0%	0%	2%
HDR üniteleri	38%	42%	35%	38%
LDR+PSI	18%	26%	14%	20%
CT Simülatör	64%	74%	62%	64%
MR Simülatör	9%	3%	3%	6%
PET/CT Simülatör	11%	10%	35%	12%

Otomasyon, Yapay Zeka ve İleri Teknoloji

Ankete katılanların çoğunluğu (%69) otomasyon ve yapay zeka teknolojisinin verimliliği artıracığına ve zamandan tasarruf sağlayacağına inanıyor, %25'i otomasyon ve yapay zeka teknolojisinin verimlilik veya zaman tasarrufu üzerinde bir etkisinin olmayacağına inanıyor ve %6'sı bu teknolojilerin fizik iş yükünü, kalite kontrolünü ve QA sürelerini artıracığına inanıyor. %47'si klinik olarak bir çeşit otomatik konturlama yazılımı kullandığını, %28'i klinik olarak yapay zeka planlama araçlarını kullandıklarını ve %30'u klinik olarak otomatikleştirilmiş çizelge QA araçlarını kullandıklarını bildirdi. Ankete katılanların % 61'i, bu otomasyon ve yapay zeka teknolojilerini

güvenli ve etkili bir şekilde kullanmak için gelişmiş süreç analizi konusunda daha fazla eğitim ve öğretime ihtiyaçları olduğunu bildirdi. 2012 ASTRO iş gücü anketi verileriyle karşılaştırıldığında, CBCT, SRS, SBRT, Proton tedavisi, MR ve PET füzyonunda teknoloji kullanımında önemli bir artış oldu. Sadece brakiterapi kullanımında düşüş yaşandı ve bu tüm modalitelerde oldu. Ayrıntılar için Şekil 2'ye bakınız.



Şekil-2: Uygulama türüne göre teknoloji kullanım değişiklikleri

Klinik Uygulama, Hasta Yükü ve İş Yükü

Tablo-6'da kimin hangi klinik uygulamaları gerçekleştirdiği listelenmiştir. Her uygulama türünde, bir QMP tarafından gerçekleştirilen klinik uygulamalar ve bu görevlerin haftalık olarak tamamlanması için gereken süre Tablo7'de gösterilmektedir. Sonuçlar akademik, CCC ve hastane bazlı uygulamaların her birinin 2019 hastalarının %48'ini ilgilendirdiğini gösteriyor. Bağımsız klinik, 2019 hastalarının yalnızca %4'ünü tedavi etti. Lineer hızlandırıcı başına günlük hasta yükü, aktivite başına haftalık hasta yükü, SRS, SBRT, HDR ve PSI için yıllık hasta yükü ve her uygulama türünde QMP başına tedavi hasta yükü Tablo-8'de gösterilmektedir. 2012 yılına kıyasla, hipofraksiyasyonun yaygın olarak uygulanmasıyla, 2020'de ortalama tedavi gören hasta yükü 116'dan 58'e düşmüştür. QMP'nin haftalık çizelge kontrolleri gerçekleştirmesini ve radyasyon onkoloğunun tedavi sırasında ziyaret yönetimi gerçekleştirmesini gerektiren haftalık tedavi altındaki ortalama hasta sayısı bu ankette "ortalama tedavi gören hasta yükü" olarak tanımlandı. QMP başına ortalama tedavi gören hasta yükü 20'dir ve bu, 2012'de QMP başına 30'dan %33 daha azdır. Radyasyon onkoloğu başına ortalama tedavi gören hasta yükü, 2012'de radyasyon onkoloğu başına 23'ten %30 daha azdır. Karşılaştırma Tablo-9'da gösterilmiştir.

Tablo-6: Her grup tarafından gerçekleştirilen belirtilen klinik uygulamaların yüzdesi

Tablo-7: Klinik faaliyetler ve QMP başına haftalık olarak bu görevleri tamamlamak için kullanılan süre

	Tedavi planlama	İlk plan grafik kontrolü	Haftalık grafik kontrolü	Hasta QA	Makine QA	HDR	LDR anketi	SRS SBRT'nin denetlenmesi	Radyonüklid iletiminin denetlenmesi
QMP	50%	98%	96%	94%	96%	94%	91%	98%	86%
Non-QMP	16%	27%	27%	29%	31%	19%	19%	22%	20%
MP asistanı	1%	2%	1%	13%	12%	1%	2%	0%	2%
Dozimetrist	95%	7%	4%	4%	1%	2%	8%	3%	4%
MP çalışanı	13%	8%	10%	24%	23%	4%	8%	3%	3%

	Akademik veya CCC	Hastane Tabanlı	Bağımsız	Genel
Gerçekleştirilen ilk plan ve grafik incelemesi sayısı	8	11	12	10
İlk plan ve grafik incelemelerinin zamanı (saat)	9	9	9	9
Gerçekleştirilen haftalık grafik incelemesi sayısı	19	31	27	26
Haftalık grafik incelemelerinin süresi (saat)	4	3	5	4
Hasta QA sayısı	5	10	6	7
Hasta QA süresi (saat)	5	8	6	6

Tablo-8: Faaliyetlere ve uygulama türüne göre hasta yükü

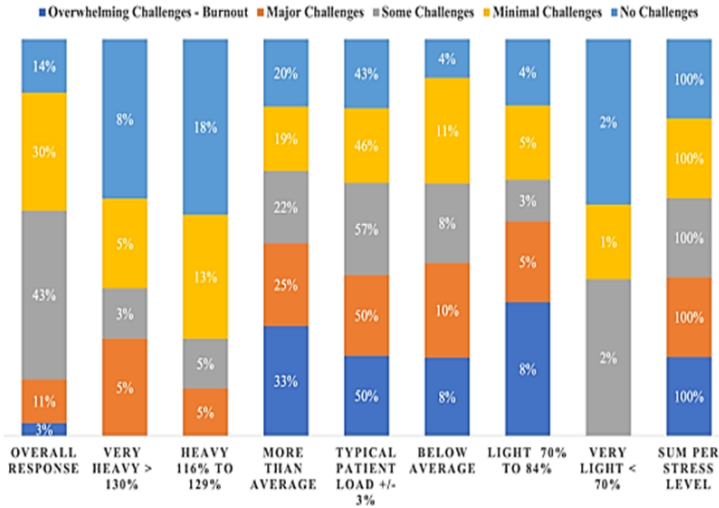
	Akademik veya CCC	Hastane Tabanlı	Bağımsız	Genel
Lineer hızlandırıcı başına günlük ortalama hasta yükü	20	22	22	21
Haftalık konsültasyon sayısı	28	16	11	18
Haftalık simülasyon sayısı	24	18	10	17
Tedavi gören hasta sayısı	78	59	41	58
2019'da tedavi edilen ortalama SRS hastası sayısı	81	41	30	31
2019'da tedavi edilen ortalama SBRT hastası sayısı	116	62	81	86
2019'da tedavi edilen ortalama HDR hasta sayısı	69	28	106	68
2019'da tedavi edilen ortalama PSI hastası sayısı	14	14	19	16
2019'da 200'den az hasta	2%	3%	0%	6%
2019'da 200 ile 399 hasta	7%	17%	1%	24%
2019'da 400 ile 599 hasta	6%	9%	1%	16%
2019'da 600 ile 799 hasta	4%	6%	1%	10%
2019'da 800 veya daha fazla hasta	28%	14%	1%	43%

Tablo-9: 2020 TWS ve 2012 ASTRO tedavi hasta yükü karşılaştırması

	Araştırma Yılı 2020 veya 2012	Akademik veya CCC	Hastane Tabanlı	Bağımsız	Genel
Haftalık Tedavide Hasta başına QMP	2020	16	21	29	20
	2012	28	32	30	30
Haftalık Tedavi Hastası Başına Radyasyon Onkoloğu	2020	13	17	24	16
	2012	18	25	25	23
Haftalık Tedavide Hasta başına Dozimetrist	2020	17	20	22	19
Haftalık Tedavi Gören Hasta Sayısı	2020	78	59	41	58
	2012	137	83	128	116

Tablo-10: İş-yaşam dengesi karşılaştırması

İş yaşam dengesi	Zorluk Yok	Minimal Zorluklar	Bazı Zorluklar	Büyük Zorluklar	Ezici - Tükenmişlik
2020 TWS	13%	30%	43%	11%	3%
2012 ASTRO	4%	34%	22%	32%	8%
Aile ve kişisel yaşam için uygun zaman	Çok memnun	Memnun	Nötr	Memnun değil	Hiç memnun değil



Şekil-3: Hasta yükü ve stres düzeyi ilişkisi. Stres düzeyleri ile hasta yükü arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Veriler, tüm hasta yüklerinde her bir stres düzeyinde analiz edildiğinden, çubukların toplamının % 100 olması gerekmez.

Hasta Yükü ve İş Yükü İle İlgili Stres Düzeyi

TWS anketi, stres düzeyi ile hasta yükü arasında doğrudan bir ilişki göstermedi. Yanıt verenlerin yarısından fazlası (%57), 2020'de tipik hasta yüküyle iş-yaşam dengesini yönetmekte zorluk yaşadıklarını bildirdi. %11'i büyük zorluklar yaşadıklarını ve %3,3'ü tükenmişliğe yol açabilecek ezici zorluklar yaşadıklarını bildirdi (detaylar için bkz. Şekil-3). Katılımcıların, ayrı ayrı tanımlanmayan bu zorluk ve tükenmişlik düzeyleriyle kendilerini tanımladıklarına dikkat edin. Farklı ölçeklerin kullanılması nedeniyle, 2020 TWS anketi ile 2012 ASTRO anketi arasında iş-yaşam dengesi yanıtlarının doğrudan karşılaştırılması

mümkün değildir. Bununla birlikte, 2012 ASTRO memnuniyet anketinde aile ve kişisel yaşam için ayrılan zaman bölümünde "çok memnun değilim" yanıtını veren %8'e kıyasla, 2020'de %3,3 gibi çok büyük zorluklar bildiren daha az insan var. Ayrıntılı bilgi Tablo-10'da gösterilmiştir.

Sonuçlar

2020 TWS araştırması, ASTRO 2012 verileriyle karşılaştırıldığında, radyasyon onkolojisi uygulama türünün kentsel alanlardaki akademik ve kapsamlı kanser bakım merkezlerine doğru kaydığını ortaya koydu. Aynı grupta 5 ve daha fazla medikal fizikçinin çalıştığı bir muayene ortamında çalışan medikal fizikçi sayısında da önemli bir artış görülmektedir. Genel olarak, muayene başına 4.5 QMP, 5.4 radyasyon onkoloğu ve 4 dozimetrist vardır. MR, CT, PET, SRS, SBRT ve IMRT teknolojisi kullanımında önemli bir artış ve HDR ve LDR brakiterapi kullanımında %25'ten fazla düşüş olmuştur. Bildirilen ortalama haftalık çalışma saati 46 saattir. Ortalama günlük hasta yükü, lineer hızlandırıcı başına 21 hasta ve haftada QMP başına 20 hastadır. Hipofraksiyone tedavilerdeki artışa bağlı olarak yıllık toplam yeni hasta sayısı artabilir, ancak haftalık ortalama tedavi hasta yükü 2012 ASTRO anketine kıyasla 1/3 oranında azalırken hasta planı karmaşıklığı önemli ölçüde artmıştır. QMP'ler, zamanlarının %70'inden fazlasını doğrudan hastayla

ilgili klinik işlere ve görevlere harcadı. Bu, 2012'den itibaren her bir uygulama türü için harcanan süredeki çok az değişikliği yansıtıyor. QMP'ler, otomasyon ve yapay zeka teknolojisini güvenli ve etkili bir şekilde uygulamak için gelişmiş süreç analizinde daha fazla eğitim ve öğretime ihtiyaç duyuyor. Ankete katılanların çoğu, 2019'da tipik bir hasta yüküne sahip olduklarını ve neredeyse yarısı bu hasta yükünü yönetmekte bazı zorluklar yaşadıklarını bildirdi.

Kanser vakalarının yılda %2 artması bekleniyor. 2030'a kadar, terapi fizikçilerinin %30'undan fazlası 65 yaşında veya daha büyük olacak ve 65 yaşında emekli olmayı planlıyor olacak. Radyasyon tedavisi QMP'lerinin arz ve talebi aşağıdakilerden büyük ölçüde etkilenecek:

1. Asistan sayısı ve uzmanlık programları,
2. Otomasyon,
3. Yapay zeka teknolojisinin klinik olarak benimsenmesi,
4. Uzaktan klinik desteğin uygulanması ve
5. Hipofraksiyonasyon ve geri ödeme modeli değişikliklerinden kaynaklanan pazar baskısı.

Yaşlanan bir ABD nüfusundan yıllık tahmini kanser vakası sayısına, her yıl mezun olan mevcut radyasyon tedavisi asistanlarının sayısına ve otomasyon ve yapay zeka teknolojisi uygulamasının erken aşamasında

QMP'lere yönelik artan talebe dayanarak, önümüzdeki beş yıl içinde radyasyon tedavisinde QMP arzında bir eksiklik olmasını bekliyoruz.. Daha fazla hipofraksiyonasyon, radyasyon onkolojisi geri ödeme modelindeki değişiklikler, otomasyon ve yapay zekanın benimsenmesiyle, sahadaki işgücü maliyetlerini azaltmak için daha fazla QMP olmayan ürünü kullanmaya yönelik pazar baskısı artacak ve yanıt verenlerin %23'ü bunu yapmayı planlıyor. Anket sonuçları, yapay zeka teknolojisinin benimsenme oranının, QMP'lerin gerçek arzını ve talebini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermiştir. Radyasyon tedavisi QMP'lerinin arz ve talebini beş yılın ötesinde tahmin etmek zordur. QMP arz ve talebini dengede tutmak için asgari ihtiyacın önümüzdeki 5 yıl boyunca terapi fiziği asistanlarının sayısını yılda %3,5 artırmak olduğuna inanıyoruz. Otomasyon oranını, yapay zeka teknolojisinin benimsenmesini ve alternatif ödeme modelinin etkisini yeniden değerlendirmek ve QMP'lerin arz ve talebini yeniden değerlendirmek için 5 yıl içinde daha fazla veri toplamak gerekiyor. Şu anda TWS ve TSDWG, gelecekte ayrı bir raporda sunulacak olan bir QMP arz ve talep modeli geliştirmektedir.

Not: Makaleyle ilgili kaynaklar için, makalenin aslına ulaşmak gereklidir.



Med. Fiz. Uzm. Özge ATILLA

1988 yılında İstanbul'da doğdu. 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. Yüksek Lisans öğrenimini 2019 yılında İstanbul Üniversitesi Çapa Onkoloji Enstitüsü'nde tamamladı. İlk olarak Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniği'nde Medikal Fizik Uzmanı olarak meslek hayatına başladı. 2020 Mayıs itibariyle Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniği'nde Medikal Fizik Uzmanı

olarak görev yapmaktadır.

MEDİKAL FİZİK DERNEĞİ TARAFINDAN DÜZENLENEN 2022 YILININ 2. BÖLGESEL TOPLANTISINA EV SAHİPLİĞİNİ MARMARA BÖLGESİ YAPTI



Med. Fiz. Uzm. İlker Şükrü Şahin

2020 yılında başlayan ve yaklaşık 2 yıl süren pandemi nedeniyle günlük rutinimizde duraklama veya değişen birçok şey gibi mesleki aktivitelerimiz ve bilimsel paylaşımlarımız da kaçınılmaz şekilde azalma göstermiştir. 2022 yılının Haziran ayının sonunda Trabzon'da, Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniğinin ev sahipliğinde, Medikal Fizik Derneği tarafından düzenlenen ilk bölgesel toplantı, meslek grubumuz adına bu negatif yönlü ivmeyi tersine döndürme düşüncesi ile organize edilmiş ve toplantı sonunda meslektaşlarımızdan aldığımız geri bildirimlerle daha fazla bilimsel içerikli birlikteliklere ihtiyacımız olduğu düşüncesini pekiştirici hisler uyandıran, başarılı bir bilimsel ve sosyal etkinlik olmuştur.

Medikal Fizik Derneği Yönetim Kurulu tarafından 2022 yılı içinde 2 kez yapılması planlanan bölgesel toplantıların ikincisi Anadolu Sağlık Merkezi Radyasyon Onkolojisi Merkezi'nin ev sahipliğiyle

Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiştir. 9-10 Aralık 2022 tarihleri arasında Gebze'de düzenlenen toplantının ilk günü Workinn Hotel'de, Dernek Yönetim Kurulu Üyeleri, Meditel Sağlık Grubu temsilcileri ve meslektaşlarımızdan oluşan 75 kişilik katılımcı ile Medikal Fizik Derneği başkanı Doç. Dr. Aydın ÇAKIR, Anadolu Sağlık Merkezi Radyasyon Onkolojisi Direktörü Prof. Dr. Hale Başak ÇAĞLAR ve Meditel Sağlık Grubu'ndan Ünver GÜNEŞ'in açılış konuşmaları ile başlamıştır.

Adaptif Radyoterapi, Radyoterapide Hareket Yönetimi ve Helikal Tabanlı Sistemlerin özelliklerinin konuşulduğu 5 oturumdan oluşan toplantının ilk günü, 13 davetli konuşmacının katkılarıyla gerçekleşmiştir. Günün sonunda yapılan ve Helikal Tabanlı Sistem kullanan 7 meslektaşımızdan oluşan "Yuvarlak Masa" söyleşisi, dinleyicilerin yüksek seviyede ilgisi ve katılımıyla yapılmıştır. Bilimsel içerik olarak oldukça yoğun geçen ilk günün akşamı, aynı otele düzenlenen eğlenceli gala yemeği ile son bulmuştur.



Toplantının ikinci günü birlikte yapılan keyifli kahvaltının ardından, Anadolu Sağlık Merkezi'ne geçilmiş ve Anadolu Sağlık Merkezi Radyasyon Onkolojisi Kliniği'nin ev sahipliğinde devam etmiştir. Toplantı salonundaki sunumlarla ve dernek adına verilen teşekkür belgelerinin takdimi ile başlayan program kısa bir klinik gezisi ile devam etmiştir.

Yapılan klinik gezinin ardından toplantının son ayağında eğitmenler eşliğinde katılımcıların, "Helikal Yaklaşımla TBI Planlaması", "Helikal ve Direct Yaklaşımla Meme Planlaması", "Helikal Yaklaşımla Baş-Boyun Planlaması" ve "Adaptif Radyoterapi ve Tekrar Işınlama: Precise ART & Precise RTX", "Radixact QA: TQA" konulu 4 farklı pratik uygulamaya katılımları sağlanmıştır.

Günün sonunda, ülkenin farklı bölgelerinde görev yapan biz medikal fizik uzmanlarının, bu tür



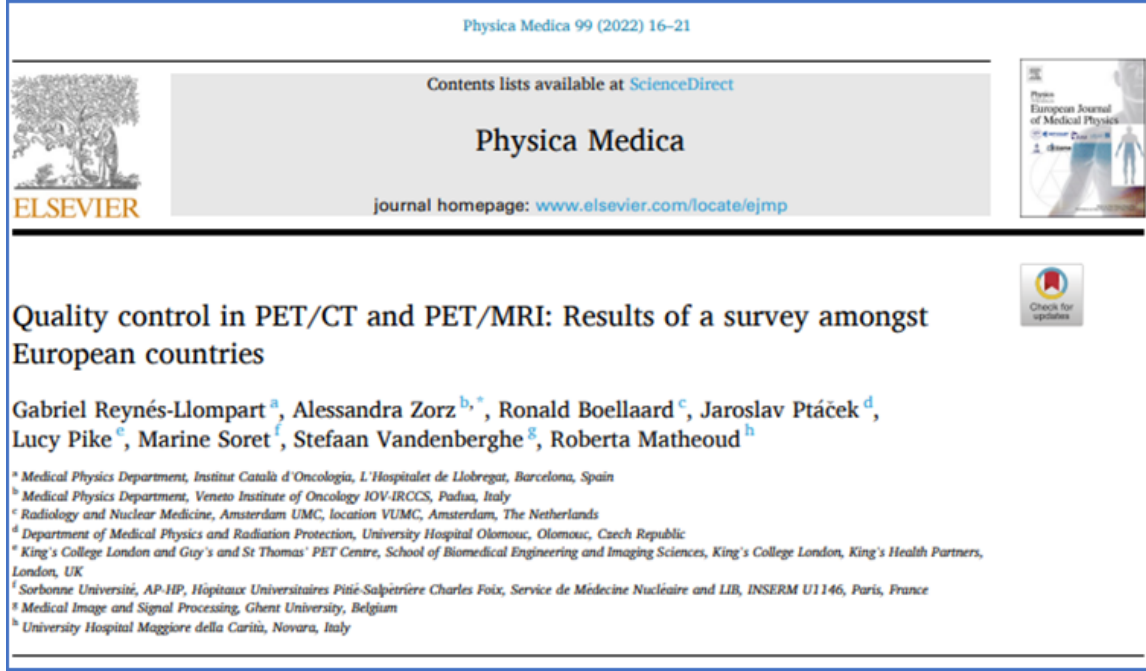
toplantılar vasıtasıyla bilimsel ve sosyal boyutta çeşitli kazanımlar sağlayacağı düşüncesinin ortak paydayı oluşturduğu kanaatindeyim. Bu tür kazanım sağlayan toplantıların, genç meslektaşlarım adına da motive edici, merak uyandırıcı, bir adım ilerisi için fikir veren bir yapıda olduğunu hissediyorum ve bu verimli toplantıyı düzenledikleri için Medikal Fizik Derneği'ne teşekkürü borç biliyorum.



Med. Fiz. Uzm. İlker Şükrü Şahin

1983 İzmir doğumludur. Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü (2009), İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Fizik YLP'nı tamamladı (2011). 2013 yılından bu yana Türkiye'nin farklı illerindeki radyasyon onkolojisi kliniklerinde görev yaptıktan sonra, son olarak Trabzon'da KTÜ Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniği'nde Medikal Fizik Uzmanı olarak görev yapmaktadır.

PET/BT VE PET/MR'DA KALİTE KONTROL: AVRUPA ÜLKELERİ ARASINDA YAPILAN BİR ANKETİN SONUÇLARI



Med. Fiz. Uzm. Ferhat Çetinel

GİRİŞ

Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) tarayıcıları için bir kalite kontrol (QC) programı oluşturmak, doğru tanı performansını ve nicel doğruluğu sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Üye Devletler için iyonlaştırıcı radyasyondan korunmaya yönelik temel güvenlik standartlarını belirleyen 59-2013 sayılı Konsey aynı zamanda radyolojik ekipmanlar için uygun kalite güvence programlarının uygulanmasını gerektirmektedir (Madde 60); bu programların amacı bir sistemin üzerinde mutabık kalınan standartlara uygun olarak tatmin edici bir şekilde çalıştığına dair makul bir güvence sağlamaktır. Özellikle, kabulden sonra, ekipmanın kullanım ömrü boyunca performansının tutarlılığını kontrol etmek için periyodik bir kalite kontrol (QC) programı gereklidir.

Avrupa Nükleer Tıp Derneği (EANM) Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Amerikan Medikal Fizik Derneği (AAPM) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) gibi ulusal ve uluslararası kuruluşların periyodik PET/BT kalite kontrolü için çeşitli önerileri bulunmaktadır. PET tarayıcısının kurulum ve kabul testleri sırasındaki performansını doğrulamak için Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) testleri de rutin testler olarak kullanılabilir.

Etkili bir kalite kontrol programı, basit, pratik ve tekrarlanabilir prosedürler kullanarak ve klinik görüntülerin kalitesiyle doğrudan ilişkili olan seçilmiş ve ölçülebilir parametreleri kullanarak PET tarayıcısının performansındaki ince değişiklikleri tespit edebilir; başka bir deyişle, sorunların güvenlik, görüntü kalitesi, miktar belirleme doğruluğu ve hasta radyasyon dozu açısından klinik çalışmaları etkilemeden önce tespit edilmesine yardımcı olur.

Bazı durumlarda, Medikal Fizik Uzmanı (MPE) bir

kalite kontrol programı oluştururken uluslararası tavsiyelere sıkı sıkıya uymakta zorlanabilir. Belirli yazılımların veya fantomların yetersizliği veya noksanlığı bunun nedenlerinden sadece biridir. Buna ek olarak, son on yılda PET hibrid teknolojisinde dijital PET/BT ve PET/MRG gibi, kalite kontrol kılavuzlarında çoğunlukla dikkate alınmayan çeşitli teknik ilerlemeler kaydedilmiştir. PET/MRG kalite kontrol senaryosu daha da kötüdür, çünkü bu hibrit tarayıcılar için özel kalite kontrol önerileri ve fantomlar yoktur. Kalite kontrolün gerçekleştirilme biçiminde, özel tasarlanmış 3B fantomların kullanımı gibi teknolojik gelişmelerin de katkısı öngörülmektedir. Bir kalite kontrol programı oluştururken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer konu da prosedürlerin ve nicelemelerin/ölçümlerin standardizasyonudur. Bunlar, EANM, AAPM, American College of Radiology (ACR), Radiological Society of North America (RSNA) ve Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI) gibi çeşitli bilimsel topluluklar tarafından belirtildiği gibi PET görüntülemeye çok önemli konulardır. PET/BT tarayıcılarının akreditasyonu ise belirlenmiş standartlara uyumu ve PET görüntülemenin merkezler arasındaki uyumunu desteklemeye bağlı bir olgudur. Bu konuda, EARL, UK PET Core Lab, Italian lymphoma group, SNMMI CTN, ACR gibi çeşitli akreditasyon programları hali hazırda mevcuttur. PET/BT ve PET/MRG kalite kontrolleri (QC) için öneriler ve prosedürler oluşturmak ve gerçek rutin uygulamaya uygun bir dizi ölçülebilir parametre içeren bir kılavuz oluşturmak amacıyla PET/BT ve PET/MRG QC üzerine bir EFOMP (Avrupa Medikal Fizik Örgütleri Federasyonu) Çalışma Grubu (WG) kurulmuştur.

Farklı PET tesislerindeki mevcut durumun ortaya

konması ve kalite kontrol prosedürlerinin sorunlu kısımlarına daha iyi odaklanması amacıyla çalışma grubu "Working Group", PET/BT ve PET/MRG kalite kontrolü ile ilgilenen Avrupa Medikal Fizik Uzmanlarına (MPEs) yönelik bir anket hazırlamıştır. Toplanan bilgiler, hastane büyüklüğüne, bölüm/hastane türüne (üniversite/klinik), PET tarayıcı modeline, farklı fantom türlerinin ve radyonüklidlerin mevcudiyetine, akreditasyon programlarına uyum ve bağlılığa, maliyetler ve zaman vb. temelinde olası yerel farklılıkları dikkate alarak gelecekteki kılavuzun rutin olarak pratiğe uyarlanmasına yardımcı olmuştur. Bu makale anketi açıklamakta ve toplanan verileri PET/BT ve PET/MRG Kalite Kontrol Kılavuzu ışığında analiz etmektedir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Anket, elektronik bir anket kullanılarak (Google formları aracılığıyla) gerçekleştirilmiştir. Sorular çoktan seçmeli ve cevabı yazılı olarak yanıtlanabilen açık uçlu sorulardan oluşmakta olup; Açık uçlu sorular, yanıtlayanlardan yorum ve önerilerini toplayabilmek için kullanılmıştır. Anket toplam 43 soru olmak üzere 9 bölüme ayrılmıştır. Formu doldurmak için tahmini süre 5 dakika olarak belirlenmiş olup, Tablo 1'de soruların ayrıntılı bir açıklaması gösterilmektedir.

Ülke, bağlı kuruluş, hastane tipi ve katılımcıların deneyimi gibi genel bilgiler Bölüm 1'de ele alınmıştır. PET/CT ve PET/MRG tarayıcılarının Avrupa genelindeki dağılımını bilmek için kurulu tarayıcıların modeli ve sayıları ile ilgili veriler de toplanmıştır. Bölüm 2, hem NEMA hem de özel 3B baskılı fantomların kullanılabilirliği hakkında bilgi edinmeyi amaçlarken, Bölüm 3, kullanılan kaynak türleri ve metrikler açısından günlük PET-QC testini ele almıştır.

Tablo 1: Anketin bölüm numaraları, açıklamaları ve soruları

BÖLÜM #	BÖLÜM AÇIKLAMALARI	SORULAR
2.1	Genel Bilgi	•Ülke •Yanıtlayıcı ünvanı •Hastanenin türü •PET QC'de deneyim süresi •Hastanede kurulu PET/BT sisteminin modeli •Hastanede kurulu tarayıcı sayısı •En eski PET tarayıcının yaşı •Bakım sözleşmesinin mevcut durumu •QC'ye dair sorumluluklar
2.2	Fantomlar	•Günlük QC için kapalı radyasyon kaynağının varlığı •Testler için gereken çeşitli fantomların erişilebilirliği •3B yazıcıya erişim
2.3	Günlük PET QC	•Günlük QC'nin gerçekleştirilmesi veya gerçekleştirilmemesi •Günlük QC'de kullanılan kaynak •Günlük QC'de değerlendirilen metrikler
2.4	PET Akreditasyonu	•Ulusal/uluslararası bir kuruluş tarafından akreditasyon •Akreditasyon kuruluşu
2.5	PET Ölçümü	•Çapraz kalibrasyon için periyodik düzen, saat senkronizasyonu, kalibratörün birincil standarda doğruluğu, hasta ağırlık tartım ölçeği doğruluğu
2.6	NEMA (National Electrical Manufacturers Association) Performans Testi	•NEMA testinin rutin gerçekleştirilmesi •Kullanılan NEMA Standardı sürümü •Görüntü kalitesi için kullanılan küre(lezyon)/arka plan oranı •Her test için periyodik durum (görüntü kalitesi, uzamsal çözünürlük, hassasiyet, TOF* çözünürlüğü)
2.7	Ek Performans Testleri	•Tedarikçi veya NEMA dışında rutin performans testi yapılıp yapılmadığı •Ek test prosedürü •Ek testin periyodikliği •Radyoterapi uygulamaları için ayrılmış ek test
2.8	BT Bileşenleri Üzerinde QC	•Periyodik olarak kısa tüp ısıtma/iklimlendirme testi, hava kalibrasyonu, homojenite, suyun HU* değerinin doğruluğu testi, gürültü, uzamsal çözünürlük, görüntü kalitesi, BT dozu, PET-BT hizalaması yapılması •BT bileşeninde QC için fantomun varlığı •PET-BT hizalaması için kullanılan kaynak •Ulusal kılavuzlara uygun olarak BT üzerinde yıllık test denetimi
2.9	MRG Bileşenleri Üzerinde QC	•MRG bileşeninde QC yapılıp yapılmadığı •Homojenite frekansı, SNR*, gölgelenme, geometrik bozulma, dilim kalınlığı ve eğriliği, uzamsal çözünürlük, geometri, PET-MRG hizalaması •MRG bileşeninde QC için fantom bulunması •PET-MRG hizalaması için kaynak •Ulusal kılavuzlara uygun MRG üzerinde yıllık test denetimi

*TOF: Uçuş süresi, HU: Hounsfield birimi, SNR: sinyal-gürültü oranı

Anketin 4. Bölümü, akreditasyon programlarına, yani akredite PET tarayıcılarının sayısına ve akreditasyon kuruluşuna ilişkin bilgileri araştırmak üzere tasarlanmıştır. PET görüntüleme doğru niceleme, harmonizasyon ile doğrudan ilgilidir ve radyonüklid kalibratörler, hasta ağırlık tartım terazileri ve saat senkronizasyonu/kalibrasyonu gibi görüntülemenin dışındaki çeşitli bileşenlerin doğruluğuna bağlıdır. Bölüm 5, radyonüklid kalibratörleri üzerinde yapılan testleri ele almış, radyonüklid kalibratör ile PET tarayıcı arasındaki çapraz kalibrasyon, saat senkronizasyonu ve ağırlık tartım terazileri doğruluğu açısından nicelemeye ayrılmıştır. PET merkezinin klinik ihtiyaçlarına bağlı olarak, özellikle radyasyon tedavisi planlamasında hacim tanımlaması için PET/BT ve PET/MRG görüntüleme kullanıldığında ek QC testleri yapılabilir. Bölüm 7, bu konu hakkında bilgi toplamak için tasarlanmıştır. Hibrit bir teknoloji olarak, tüm sistemin genel görüntü kalitesini sağlamak için BT ve MRG bileşenlerinde rutin QC testleri de önemlidir. Bölüm 8 ve 9, BT ve MRG tarayıcılarında yapılan QC testleri ve sıklıkları hakkında bilgi toplamaya adanmıştır. Anket, bir Google Form bağlantısı kullanılarak Haziran ve Temmuz 2020 arasında EFOMP listesinde bulunan Avrupa Medikal Fizik Uzmanlarına (MPEs) gönderilmiştir. Toplanan veri, çakışan bilgiler veya bir kullanıcıdan gelen birden fazla eksik form olup olmadığı kontrol edilerek anonim olarak işlendi. Toplanan veri, mutlak ve göreceli sıklıklarda (yüzde olarak ifade edilir), dilim grafikler ve histogramlar olarak sunuldu.

BULGULAR

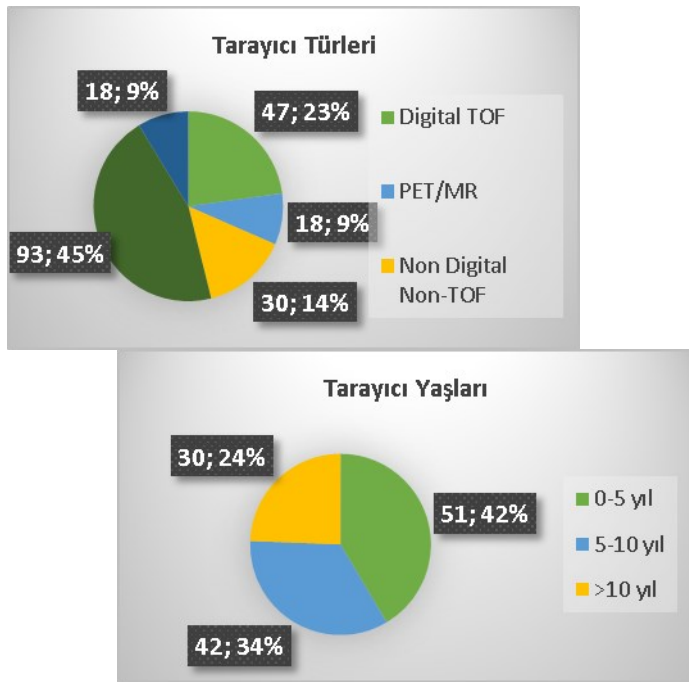
GENEL BİLGİ

Anket, 27 Mayıs - 14 Ağustos 2020 tarihleri arasında 24 farklı ülkeden 123 yanıt aldıktan sonra kapatılmıştır. Farklı ülkelere gelen yanıtların dağılımı Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Farklı ülkelere gelen cevapların sayısı ve sıklığı/frekansı

Ülke	Sayı	Sıklık(%)
İtalya	23	%18.7
Fransa	20	%16.3
Hollanda	20	%16.3
Birleşik Krallık	18	%14.6
Yunanistan	9	%7.3
İspanya	5	%4.1
Çekya	5	%4.1
Avusturya	3	%2.4
Belçika	3	%2.4
Norveç	2	%1.6
Polonya	2	%1.6
Ülke	No.	Sıklık (%)
Diğer Ülkeler (Bahreyn, Hırvatistan, Kıbrıs, Estonya, Almanya, Litvanya, Malta, Moldova, Portekiz, Singapur, İsveç, İsviçre)	13	%10.6

Ankete iştirak edenlerin çoğunluğu Medikal Fizik Uzmanları (111, %90.2) olarak katılmış olup, küçük bir kısmı (7, %5.7) Medikal Fizik Uzmanlarına danışmakta veya diğer katılımlara aittir (5, %4.1). Ankete katılanlar, Üniversite Hastanelerinde (58, %47.2), Hastanelerde (52, %42.3), Kanser Merkezlerinde (13, %10.6), Özel Kliniklerde (9, %7.3) veya Araştırma Laboratuvarlarında (5, %4.1) çalışanlar olarak katılım sağlamıştır. PET kalite kontrolünde (PET-QC) medyan yıllık deneyim 10 yıl (0-36 yıl aralığında) idi. GE Healthcare, Siemens Healthineers, Philips Healthcare ve Canon sistemlerinin kullanımıyla ilgili deneyim, katılımcıların sırasıyla %60.3'ünü, %55.4'ünü, %30.6'sını ve %1.1'ini oluşturdu. Tarayıcıların türü ve yaşı Şekil 1'de bildirilmiştir.



Şekil 1: Tarayıcı tipi ve kurulu tarayıcıların yaşı sayılar ve yüzdeleri; "Diğer": özel veya küçük hayvan PET sistemi; "Dijital": Silikon fotomultipler dedektörlü PET tarayıcı

Merkezlerin çoğunun (120, %97.6) tarayıcılarının bakımı için bir sözleşmesi vardır. Rutin QC (günlük hariç) Medikal Fizik Uzmanları (106, %86), üreticiler (42, %34), teknoloji uzmanları (37, %30), tıp

mühendisleri (7, %6) ve PET operatörleri (1, %1) tarafından gerçekleştirildi.

FANTOMLAR:

Yanıt veren merkezlerin çoğunluğu (121, %98.4), üreticinin tavsiyelerine göre periyodik olarak değiştirilen günlük QC için sızdırmaz/kapalı bir kaynağa sahiptir. Tablo 3'te bildirilen fantomların mevcudiyeti, merkezler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Özelleştirilmiş fantomların üretimi için bir 3B yazıcıya erişim sınırlıdır (91,% 75.6'sında bu sistemler mevcut değildir).

Tablo 3: PET merkezleri arasında fantomların mevcudiyeti

Fantom Tipi	Sayı	Sıklık(%)
NEMA Image quality phantom	79	%86.8
Jaszczak phantom	61	%67.0
NEMA Sensitivity phantom	58	%63.7
NEMA Scatter phantom	55	%60.4
NEMA Resolution phantom	50	%54.9
Micro hollow sphere	21	%23.1
Hoffman brain phantom	21	%23.1
ACR phantom	9	%9.9
Others	11	%12.1

Günlük PET QC

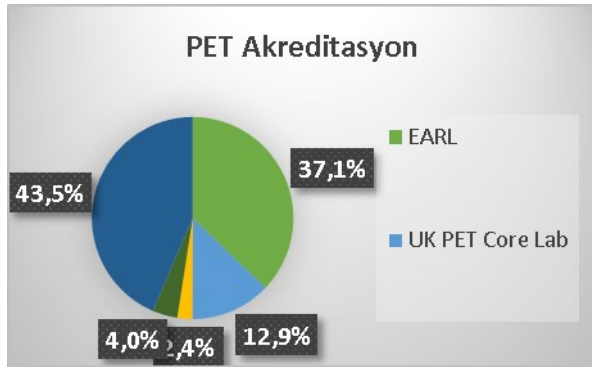
Merkezlerin %94.3'ü, üreticinin tavsiyelerine göre, sızdırmaz/kapalı bir kaynak ve önceden tanımlanmış bir protokol kullanarak günlük QC gerçekleştirilmektedir. Günlük PET QC için kullanılan radyoaktif kaynak türü Tablo 4'de bildirilmiştir.

Tablo 4: Günlük PET QC için kullanılan radyoaktif**kaynak türleri**

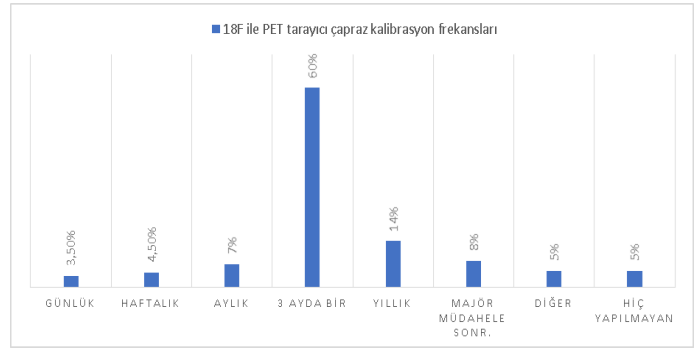
Fantom	Sıklık(%)	P E T
⁶⁸ Ge Uniform Cylinder	66; %42.3	
⁶⁸ Ge Rod Source	41; %26.3	
²² Na Point Source	22; %14.1	
⁶⁸ Ge Annulus Phantom	21; %13.5	
LSO Background	4; %2.6	
²² Na rod source	1; %0.6	
Bilinmeyen	1; %0.6	

Akreditasyonu

Merkezlerin sadece %56.1'inde ulusal veya uluslararası bir kuruluş tarafından akredite edilmiş PET/BT veya PET/MRG tarayıcıları bulunmaktadır. (Şekil 2)

**Şekil 2: PET akreditasyon programlarının türü****PET Ölçümü**

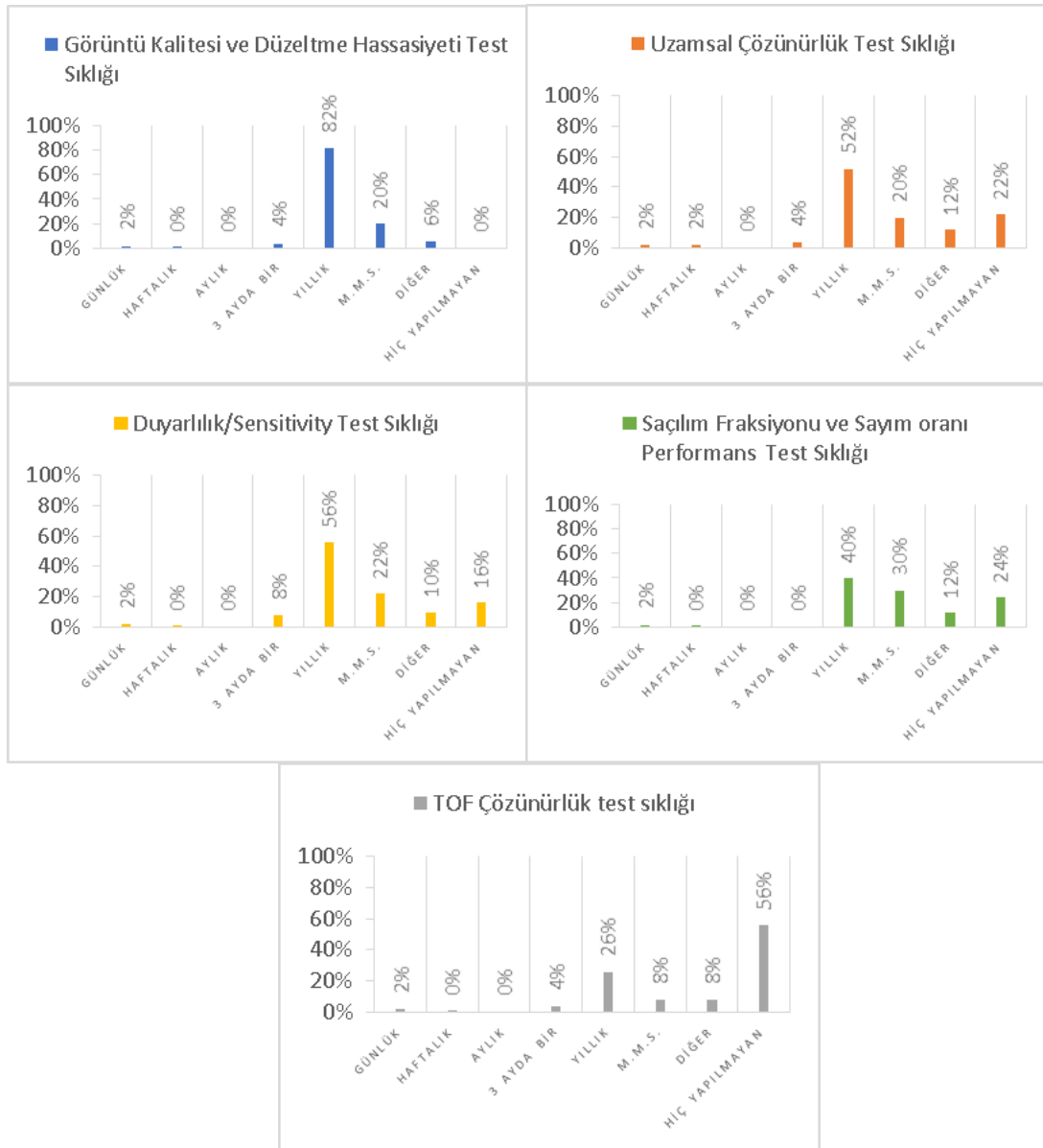
PET ölçümü ile ilgili QC testleri, çapraz kalibrasyon testi hariç, çok çeşitli uygulama sıklıkları göstermiştir. Ankete katılanların çoğunluğu, PET tarayıcıyı üç ayda bir (%60) ¹⁸F ile çapraz kalibre ediyor iken, bunu Şekil 3'te gösterildiği gibi yılda bir defa uygulamalar (%14) ve majör tarayıcı müdahalelerinden sonra (%8) takip eder.

**Şekil 3: ¹⁸F ile PET tarayıcı çapraz kalibrasyon Sıklığı**

Günlük (%19), aylık (%18), haftalık (%17) ve üç aylık (%26) saat senkronizasyon testleri oldukça eşit bir şekilde dağıtılırken, katılımcılardan çok azı her yıl (%3), büyük müdahalelerden sonra (%10) veya hiç senkronizasyon testi yapmamaktadır (%7). Birincil standartlar kullanılarak radyonüklid kalibratör ölçümlerinin doğruluğu en yaygın olarak günlük ve yıllık olarak (%26), ardından üç ayda bir (%12), büyük müdahale sonrası (%10), aylık (%6) veya haftalık (%4) olarak gerçekleştirilir. Ankete katılanların %8'i bu testi asla yapmamaktadır. Son olarak, hasta ağırlığı tartım ölçeklerinin doğruluğunun testi (weighting scale test) esas olarak yıllık bazda (%36) kontrol edilir, ancak katılımcıların %32'si bu testi asla gerçekleştirmez. Ankete katılanların küçük bir kısmı testi üç ayda bir (%8), günlük ve aylık (%4) ve haftalık (%2) gerçekleştirmektedir.

NEMA Performans Testi

Merkezlerin %51.2'si rutin olarak NEMA testleri yapmamaktadır. Bunları gerçekleştiren merkezlerin %60'ı NEMA NU-2012 standardını, %28.3'ü NEMA NU-2007 standardını ve %20'si NEMA NU-2018 standardını takip etmektedir (birden fazla seçenekle yanıtlayabilmek mümkündür). Görüntü kalitesi ve düzeltme hassasiyeti, uzamsal çözünürlük, duyarlılık ve TOF çözünürlük testlerinin periyodikliği/sıklığı Şekil 4'te gösterilmiştir. Tüm testler çoğunlukla yıllık testler



Şekil 4: NEMA testlerinin sıklıkları (düzeltme doğruluğu/hassasiyeti, uzamsal çözünürlük, duyarlılık "sensitivity" ve TOF çözünürlüğü) (M.M.S.: Majör müdahale sonrası)

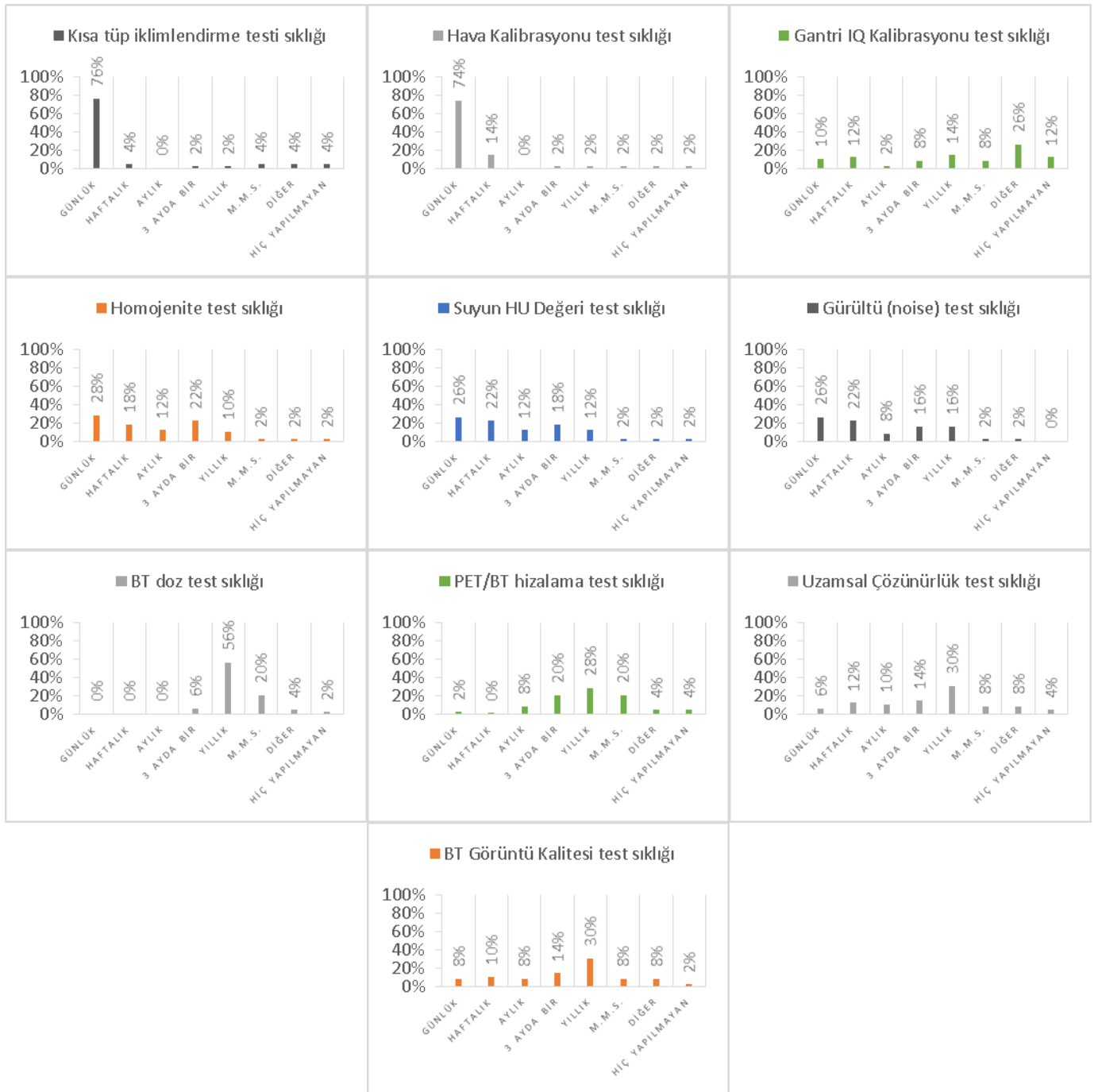
olarak yapılır, ancak test edinme sıklığında farklılıklar vardır.

Tüm testler çoğunlukla yıllık bazda yapılır, ancak test sıklığında farklılıklar vardır. Görüntü kalitesi ve düzeltme hassasiyeti her yıl katılımcıların %82'si tarafından test edilirken, saçılım fraksiyonu ve sayım oranı her yıl katılımcıların yalnızca %40'ı tarafından test edilmektedir. Yakın zamanda NEMA standartlarına eklenen ve yalnızca TOF sistemlerine uygulanan TOF çözünürlüğü, katılımcıların %26'sı tarafından yıllık olarak test edilmektedir. Katılımcılar

tarafından bildirilen NEMA testlerinin yapılmasındaki temel zorluklar Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5: NEMA testlerinin gerçekleştirilmesinde karşılaşılan sorunlar

Sorun Tipi	Sayı	Sıklık(%)
Fantom tasarlanamaması/hazırlanamaması	14	%44
Veri analizi	9	%28
Kurulum malzemelerinin tedarik edilememesi	7	%22
Fantomlardaki kırılma	1	%3
Kalite kontrol (QC) için zaman ayıramama	1	%3



Şekil 5: BT bileşenlerinin kalite kontrol testlerinin sıklıkları (M.M.S.: Majör müdahale sonrası)

EK PERFORMANS TESTİ

Ankete katılanların % 38.2'si, üretici tarafından önerilenler ve NEMA testleri için önerilenleri uygularken, bunların dışında çoğu yerel protokolleri (% 36), EARL protokollerini (EANM Research Ltd) (% 21) veya ülkeye özgü yönergeleri (% 16) takip eden ek testler gerçekleştirmektedir. Radyoterapi uygulamaları için spesifik kalite kontroller, katılımcıların % 25.5'i tarafından bildirilmiştir.

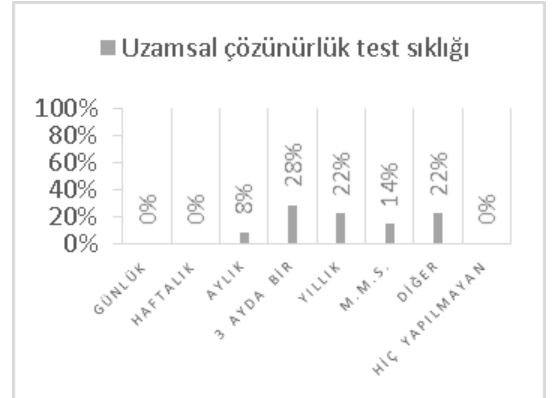
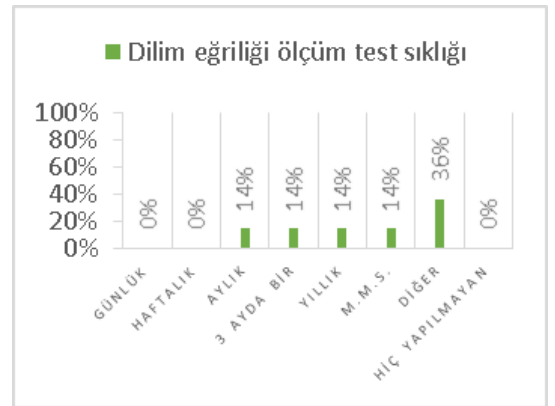
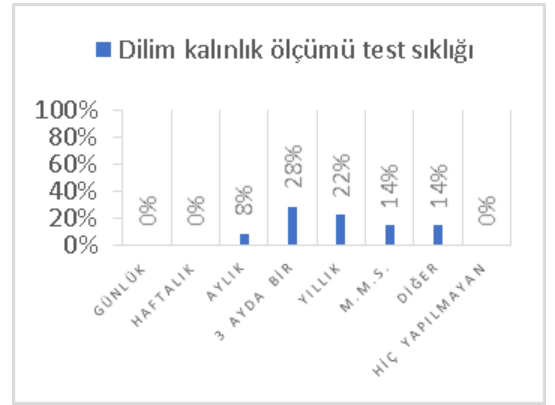
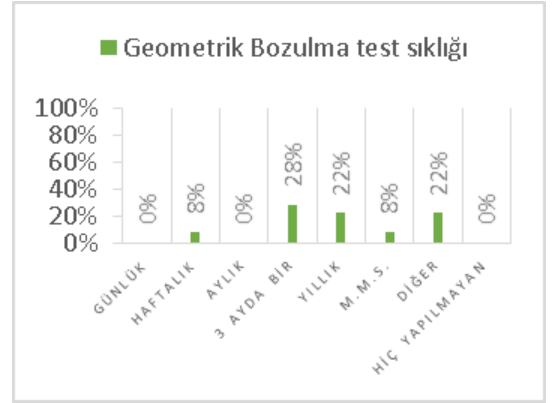
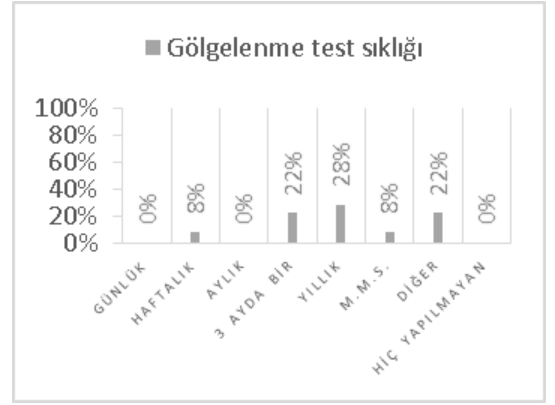
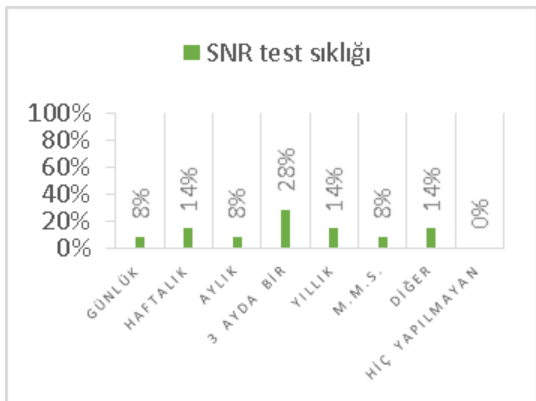
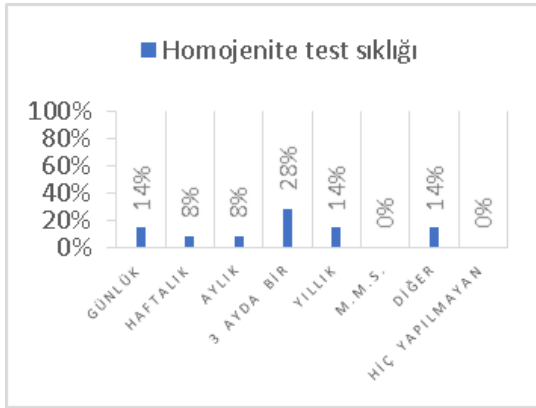
BT Bileşenleri için QC

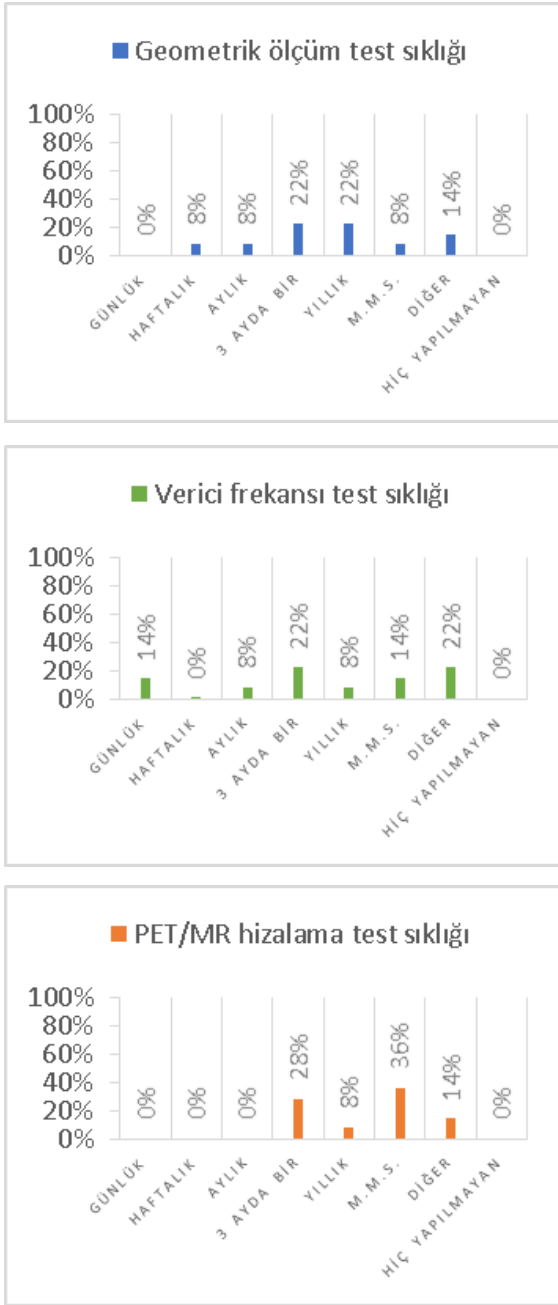
BT bileşenleri için kalite kontrol (QC) aşamalarının uygulanmasına yönelik sorulara verilen yanıtlara göre QC testlerinin (kısa tüp ısıtma/iklimlendirme, hava kalibrasyonu, homojenlik, Suyun HU'sunun doğruluğu, gürültü, uzamsal çözünürlük, görüntü kalitesi, BT dozu ve PET / BT hizalaması) uygulanma sıklığı Şekil 5'te özetlenmiştir. Çoğu test için uygulanma sıklıkları arasında büyük bir tutarsızlık

gözlemlenebilir. Buna ek olarak, merkezlerin % 56'sı ulusal kılavuzlara göre yıllık BT taraması yapmaktadır. Katılımcıların çoğu, PET / BT hizalamasını iki-üç ⁶⁸Ge çubuk ya da altı adet ²²Na noktasal kaynağı şeklinde kapalı radyoaktif kaynaklarla gerçekleştirmektedir.

MRG Bileşenleri için QC

Ankete katılanların %90'ından fazlası MRG bileşenlerinde herhangi bir kalite kontrol (QC) gerçekleştirilmemektedir. MRG bileşenleri kalite kontrol testlerinin uygulanmasıyla ilgili bildirilen sıklıklar (homojenlik, SNR, gölgelenme, geometrik bozulma, dilim kalınlığı ve eğriliği, uzamsal çözünürlük, geometri, verici frekansı ve PET/MRG hizalaması) Şekiller 6'da özetlenmiştir. BT bileşenine benzer şekilde, testlerin periyodik sıklığında büyük bir değişiklik vardır. MRG kalite kontrollerinde en sık kullanılan fantomlar ACR (6, %42.9), Spinsafety (2, %14.3) veya tedarikçi tarafından sağlanan (8, %57.1) 'dir. Ankete katılanların çoğunluğu PET / MRG hizalaması için kapalı radyoaktif kaynaklar kullanmaktadır (çoğunlukla iki-üç adet ⁶⁸Ge çubuk kaynak). Ankete katılanların sadece %23.1'i ulusal yönergelerle göre yıllık MRG testi yapmaktadır.





Şekil 6: MRG bileşenlerinin kalite kontrol testlerinin sıklıkları

(M.M.S.: Majör müdahale sonrası)

TARTIŞMA

Bu yazıda EFOMP çalışma grubunun 2020 yılında yapılan PET/BT ve PET/MRG kalite kontrol anketi sonuçları özetlenmiştir. Elde edilen veri önemli sayıda PET merkezinden toplanmıştır. Bu, Avrupa'daki PET/BT ve PET/MRG tarayıcılarının kalite kontrol testlerinin genel durumunun güvenilir bir resmidir. Anket, Avrupa'da kurulan PET tarayıcılarının türünde ve

yaşında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koydu. Hala eski sistemlerden ve TOF olmayan PET sistemlerinden oluşan geniş bir havuz bulunmaktadır, bu da QC testlerinin kurulu farklı ekipman türlerine uyarlanmasını gerektiğini göstermektedir. Pratik bir kalite kontrol (QC) protokolü geliştirirken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli konu, fantomların mevcudiyetidir. Anket, QC için gerekli fantomların söz konusu katılımcılarda mevcudluk durumu açısından eşit dağılım olmadığını göstermektedir: en yaygın kullanıma sahip olan fantom NEMA *Image Quality*'dir (% 86.8), bu fantomun muhtemelen yanıt veren PET merkezlerinin sadece % 60.4'ünde mevcut olan *Scatter Phantom* ile kombine kullanımı olmadan bir kalite kontrol programında kullanılabileceğini göstermektedir. Sadece birkaç PET merkezinde *Micro Hollow Spheres* fantom(% 23.1), *Hoffman Brain Phantom* (% 23.1) ve *ACR Phantom* (% 9.9) vardır, bu yoksunluklar ise bu fantomların kalite kontrol için kullanılmasının yanıtlayıcı merkezler tarafından istenmediğini göstermektedir. Günümüzde 3B yazıcılar, uygun maliyetlerle özelleştirilmiş BT, PET ve MRG fantomları geliştirme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, 3B yazıcılar kullanılarak fantom basılması ile ilgili bazı mekanik sınırlamalar mevcuttur. İlave 3B basım için kullanılan malzemelerin özellikleri ve görüntü kalitesini etkileyebilecek hava kabarcıklarının oluşma durumları hakkında sınırlı bilgiye sahibiz. Bununla birlikte, verilerimiz, katılımcıların sadece % 25'inin 3B yazıcılara erişebildiğini ve bu çözümün henüz herhangi bir kalite kontrol protokolünde rol oynayacak kadar yaygın olmadığını göstermiştir. Hemen hemen tüm merkezler (%94.3) üretici/tedarikçi protokollerine uyum göstermekte ve kapalı kaynaklar

kullanarak PET/BT ve PET/MRG sistemlerinde rutin veya günlük kalite kontrol (QC) gerçekleştirmektedir. Bu tespit, birçok tarayıcı için günlük QC testinin başarılı sonucunun klinik çalışmaların performansı için bir ön koşul olduğu gerçeğinin kabul görmesiyle ilgili olabilir. Bir kalite kontrol programında, günlük kalite kontrol testlerinin önemi vurgulanmalıdır. Günlük QC prosedürü artık neredeyse otomatiktir, yüksek düzeyde tekrarlanabilirlik sağlar ve genellikle kaynak alımı ve/veya görüntü işlemedeki hataları önler. EANM, ACR, AAPM, RSNA ve SNMMI gibi çeşitli bilimsel topluluklar, çok merkezli klinik çalışmalarda ölçümlerdeki değişkenliği azaltmak için uygulamanın standardizasyonunu teşvik etmeye devam etmektedir. Belirlenen standartlara uyumu sağlamanın ve merkezler arasında PET görüntülemenin uyumlu hale getirilmesini teşvik etmenin yolu; PET/BT tarayıcılarının akreditasyonlarının QIBA, SNMMI , EANM-EARL, Italian Lymphoma Group ve UK PET Core Lab, Grupo Español de Linfomas/Trasplante Autólogo de Médula Ósea (GELTAMO) grubu gibi programlar tarafından yapılmasıdır. Katılımcıların yarısından fazlası PET/BT tarayıcıları için bir akreditasyon programı izlemiştir; çoğunluğu referans olarak EARL'yi baz almıştır (%37.1), bu sırayı UK PET Core Lab (%12.9) ve Italian Lymphoma Group (%2.4) takip etmektedir. Katılımcıların önemli bir kısmı ise (% 44) hala herhangi bir akreditasyon programını takip etmemektedir. Bu bağlamda, çeşitli akreditasyon kurumları tarafından programların çeşitli nükleer tıp departmanları için daha uygulanabilir hale getirilmesi ve böylece uygulamalarının yaygınlaştırılması için hala yapılması gereken çalışmalar bulunmaktadır. PET çalışmalarının katma değerlerinden biri, organ ve dokulardaki radyofarmasötik alımının kolayca

ölçülebilmesi ve standardize tutulum değerlerinin (SUV) hasta evrelemesi ve takibi için non-invaziv bir kantitatif görüntüleme biyobelirteci olarak kullanılabilmesidir. Öte yandan, SUV ölçümlerinin değişkenliğini çeşitli faktörler etkileyebilir. Söz konusu ölçüm doğruluğunu etkileyebilecek ilk faktör radyonüklid kalibratördür. Kalibratör doğruluğu, özellikle ^{18}F dışındaki radyonüklidler kullanıldığında, PET merkezinin kalite kontrol programının bir parçası olmalıdır. Ayrıca, cihaz içi ve cihazlar arası güvenilir ve karşılaştırılabilir veriler elde etmek için PET tarayıcı ile radyonüklid kalibratör arasında düzenli olarak çapraz kalibrasyon yapılmalıdır. Çoğu merkez PET tarayıcısının ^{18}F ile çapraz kalibrasyonunu üç ayda bir gerçekleştirir de, kalibratörün doğruluğunun test edilmesine yönelik tutum merkezler arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir ve yaklaşık olarak aynı oranda departman bunu günlük veya yıllık olarak gerçekleştirmektedir (her iki durumda da %26). Genellikle ihmal edilen bir SUV değişkenliği kaynağı olan ağırlık kantarının doğruluğunun teyidi de çoğunlukla yıllık (%36) olmak üzere değişken periyotlarla gerçekleştirilmektedir, ancak merkezlerin üçte biri bunu hiç kontrol etmemiştir. Saat senkronizasyon kalibrasyonu merkezlerin %80'i tarafından çoğunlukla üç ayda bir yapılmaktadır. Bazı rutin kalite kontrol testleri, tarayıcının kabul testi sırasında gerçekleştirilen NEMA testlerinin bir uyarlamasına dayanabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu ankete yanıt veren merkezlerin yaklaşık yarısı rutin NEMA performans testi yapmamaktadır. Bunun en yaygın nedeni, radyonüklidlere erişim sıkıntısı dahil olmak üzere fantomların hazırlanmasındaki zorluktur (%44). Görüntü kalitesi testi için katılımcıların yaklaşık %60'ının saçılma fantomuna "scatter phantom" sahip

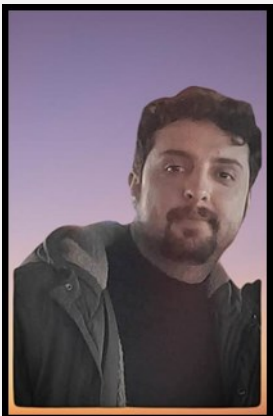
olmaması bir diğer endişe verici durumdur. Bu nedenle, saçılma fantomunu setup düzeninden çıkararak fantom hazırlığını basitleştirmek, sürecin uygulanabilirliğini artıracak, hazırlık süresini azaltacak ve sonuç olarak personelin maruziyetini ve radyoaktif kontaminasyon riskini de azaltacaktır. NEMA prosedürleri takip edilirken veri analizi ve setup kurulumu da önemli kaygılardır (sırasıyla katılımcıların %28'i ve %22'si): Sıklık, kurulum, yeniden yapılandırma ve satıcı desteği olmadan genel kullanıcı için bulunmayan analiz yazılımları (yani ham PET verilerini saçılım fraksiyonu ve sayım oranı için analiz etmek).PET hibrit bir görüntüleme tekniğidir ve anket sonuçları BT veya MRG bileşenlerinin kalite kontrolüne ilişkin bazı sıkıntıları ortaya koymuştur. Merkezlerin sadece %56'sı yıllık BT taramalarını ulusal kılavuzlara göre gerçekleştirmektedir. Bu kısmen kötü ifade edilmiş bir soru ile açıklanabilir, çünkü bazı ülkelerin ulusal yönergeleri olmayabilir. Test sıklığında da yüksek bir değişkenlik söz konusudur ve bu da kalite kontrol (QC) prosedürlerinin uygun şekilde harmonizasyonunun sağlanması ihtiyacını vurgulamaktadır. PET/MRG tarayıcılar için, katılımcıların %90'ından fazlası MRG bileşenleri üzerinde QC gerçekleştirmemektedir. Bu sonucun olası bir açıklaması, BT veya MRG bileşeninin kalite kontrolünün ankete katılan Nükleer Tıp/PET departmanından sorumlu Medikal Fizik Uzmanı tarafından değil, radyolojik ekipmandan sorumlu Medikal Fizik Uzmanı tarafından gerçekleştirilmesi olabilir. Bir başka neden de MRG ekipmanlarının kalite kontrolünün genellikle fizikçiler tarafından yapılmaması ve üreticiler tarafından bu konudaki uyarı ve kılavuzların yetersiz olması söylenebilir. Aslında, genellikle klinik rutinin MRG hatalarının çoğunu tespit

edeceğine inanılmaktadır. Sonuç olarak, anketin sonuçları PET kalite kontrol prosedürlerinin Avrupa genelinde uyumun olmadığını göstermektedir. Standardizasyon eksikliği literatürde zaten rapor edilmiştir. Rausch ve arkadaşları 2014 yılında Avusturya'da bir anket gerçekleştirmiştir. Yazarlar, hem kalite kontrol testlerinin sıklığında hem de fantom ölçümlerindeki geri kazanım katsayılarının sonuçlarında büyük farklılıklar olduğunu vurgulamış ve doğruluğun artırılması gerektiğini savunmuşlardır. Kalite kontrol uygulamalarındaki bu farklılıkların çeşitli nedenleri vardır. Yeterli kalite kontrol hala büyük ölçüde her merkezin tıbbi ve mali departmanlarının bu tür prosedürleri gerçekleştirme ihtiyacı konusundaki farkındalığına ve uzman personelin mevcudiyetine, yani Medikal Fizik Uzmanlarının sayısına bağlıdır. Anketin sınırlılıklarına ilişkin birkaç nedenden bahsetmek mümkündür. Öncelikle, bölümlerin büyük çoğunluğunda net cevaplar ve sonuçlar elde edilmesine rağmen, sorunun zaman zaman yanlış yorumlanması olabilir. Buna ek olarak, bu anket sadece medikal fizikçiler tarafından doldurulmuştur ve bu nedenle rutin olarak kalite kontrol yapmayan potansiyel merkezleri içermemektedir. Son olarak, yeni büyük aksiyel görüş alanlarında (Field of View, FOV) veya tüm vücut PET sistemleri ile ilgili spesifik konular dahil edilmemiştir; bu yeni teknoloji türü için, bu sistemlere özel bir kalite kontrol analizi yapılması gerekecektir.

SONUÇ

Anketten elde edilen bilgiler, Medikal Fizik Uzmanlarının çoğu için klinik rutine uygun bir dizi ölçüm içeren bir kılavuzun önerilmesinde çalışma grubuna rehberlik edecektir.

Not: Makaleye ait kaynakçaya orijinal metinden ulaşılabilir.



Med. Fiz. Uzm. Ferhat ÇETİNEL

1991 yılında Ankara'da doğdu. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği'nden 2014 yılında mezun oldu. 2021 yılında SBÜ Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesinde yüksek lisansını ve stajını tamamladıktan sonra Sağlık Bakanlığı bünyesinde Samsun Gazi Devlet Hastanesinde Sağlık Fizikçisi olarak çalışmaya başladı ve halen burada görev yapmaktadır. Radyoloji Fiziği/Nükleer Tıp alanlarında bilimsel araştırma çalışmalarına devam etmektedir.

RADYASYON ONKOLOJİSİ KAZA ÖĞRENME SİSTEMİ-5

Med. Fiz. Uzm. Nilgün Nalbant

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

RO-ILS VAKA ÇALIŞMASI: FONKSİYONEL UYGULANMALARIN KULLANIMINDA İKİNCİ KONTROLÜN ÖNEMİ

Giriş:

Hem hedef hem de risk altındaki organ(OAR) segmentasyonundaki değişkenlik, radyasyon tedavisi planlama hatalarının köklü bir potansiyel kaynağıdır ve sağlam güvenlik süreçlerine sahip uygulamalar için bile sorun teşkil edebilir. Standart adlandırma kurallarının kullanımı, hedef ve OAR üretimi için otomatik araçların kullanımı ve şekillendirme hatalarını saptamak için otomatik araçlar dahil olmak üzere, şekillendirme hatalarını azaltmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Klinik hedef hacmi(CTV) veya planlama hedef hacmini(PTV) oluşturmak için yanlış marj kullanılması, bu tür marjların genellikle klinik muhakemeye dayanması ve ikinci kontrollerin kullanımını zorlaştıracak şekilde rutin olarak belgelenemeyebileceğinden tespit edilmesi özellikle zor olabilir. Bu örnekte, standartlaştırılmış ve işlevsel adlandırma kurallarının kullanılması nedeniyle yanlış bir marj oluşturma hatası başarıyla yakalandı.

Genel Bakış:

Amaç; bir CTV oluşturmak için GTV'yi 20mm

genişletmekti, ancak radyasyon onkoloğunun bir hatası nedeniyle yalnızca 7mm'lik bir marj ile CTV oluşturuldu. Daha sonra yanlış marja dayalı bir plan oluşturuldu ve radyasyon onkoloğu tarafından onaylandı. Marj hatası, tedavi başlangıcından önce ikinci bir fizik kontrolü sırasında, CTV marjının amaçlanan marjlı yapı adıyla eşleşmediği belirlendiğinde yakalandı. Hata düzeltildi ve hasta tedaviye başlamadan önce yeniden planlandı.

Katkıda Bulunan Faktörler:

- GTV' den CTV' ye doktorun manuel marj verme hatası.
- Planlama sürecinde daha önce marjların ikinci kontrolünün veya konturların gözden geçirilmesinin olmaması.
- Marj sırasında hızlı, otomatik düşünme önyargısı.

Çıkarılan Dersler/Azaltma Stratejileri:

1. Standartlaştırılmış adlandırma kurallarının kullanılması, gözden kaçabilecek genişletme hatalarının saptanmasına izin verebilir.
2. Konturların gözden geçirilmesini içeren ileriye dönük incelemenin uygulanması, bu tür hataların planlamadan önce tespit edilmesini sağlayabilir.
3. Gerçek genişletmeleri yapı adlarına göre kontrol etmek için araçların/yöntemlerin geliştirilmesi, istenmeyen genişletme hatalarını azaltabilir.
4. Mümkün olduğunda, standartlaştırılmış genişletmelerin kullanılması, uygun güvenlik kültürü bağlamında atipik veya aykırı genişlemelerin saptanmasına, tartışılmasına ve doğrulanmasına izin verebilir.

GTV' den CTV' ye marj verirken hata içeren bu durumun en dikkate değer yanı hatanın nasıl oluştuğundan çok nasıl yakalandığıyla ilgilidir. CTV yapı adı, amaçlanan CTV genişletmesini içeriyordu ve ikinci bir fizik kontrolü sırasında yapı adı ile marjın aynı olmadığı belirlendi. Planlanan CTV marjının yapı adı içinde belirtilmesi hedefin objektif değerlendirilmesini kolaylaştırdığı ve hatanın yakalanmasına izin verdiği düşünüldüğünde, bu; sağlam bir planlama sürecine sahip bir uygulama örneği sağlar.

AAPM-TG263, standartlaştırılmış adlandırma için yol gösterici ilkeler sunar ve bunlar; uygulamalar ve firmalar tarafından desteklenmelidir. Hata nihai olarak tanımlanmış olsa da, gelecekteki hata riskini azaltmak için ek süreç iyileştirmeleri, ön planlama segmentasyon turlarının uygulanmasını içerebilir ve son veriler, böyle bir sürecin geleneksel grafik turlarına kıyasla hataların daha fazla tespitine izin verebileceğini düşündürür. Ek olarak, marjın hedef adına göre tutarlılık kontrolü için otomatikleştirilmiş araçların geliştirilmesi, hata yayılma riskini azaltabilir.



Nilgün Nalbant

1987 İstanbul doğumludur. Lisans eğitimini 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi FEF Fizik bölümünde tamamladı. Yüksek Lisans Öğrenimini ise 2013 yılında İstanbul Üniversitesi SBE Tıbbi Radyofizik bölümünde tamamladı. 2010-2014 yılları arasında Meditel Medikal A.Ş. Fizikçi olarak görev almıştır. Bir süre Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi'nde; 2015-2020 yılları arasında Medikalpark Bahçelievler Hastanesi Radyoterapi Bölümü'nde çalışmıştır. 2020 Mayıs itibariyle Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi Radyasyon Onkolojisi'nde Attila Özel Sağlık Hizmetleri bünyesinde Sağlık Fizikçisi olarak

görev yapmaktadır.

AAPM TASK GROUP RAPORU 302: YÜZEY KILAVUZLUĞUNDA RADYOTERAPİ-2

Received: 3 October 2021 | Revised: 26 December 2021 | Accepted: 5 February 2022

DOI: 10.1002/mp.15532

AAPM SCIENTIFIC REPORT**MEDICAL PHYSICS****AAPM task group report 302: Surface-guided radiotherapy**

Hania A. Al-Hallaq¹ | Laura Cerviño² | Alonso N. Gutierrez³ |
 Amanda Havnen-Smith⁴ | Susan A. Higgins⁵ | Malin Kügele^{6,7} | Laura Padilla⁸ |
 Todd Pawlicki⁸ | Nicholas Remmes⁹ | Koren Smith¹⁰ | Xiaoli Tang¹¹ |
 Wolfgang A. Tomé¹²

Med. Fiz. Uzm. Ezgi Kiraz Ergen**İŞ AKIŞI ÖNERİLERİYLE GÜNCEL KLİNİK UYGULAMALARI**

SGRT sistemleri, gerçek zamanlı yüzeyi bir referansa kaydederek ve hizalama farklılıklarını kullanıcı tanımlı bir eşikle karşılaştırarak çalışır. Bazı sistemler ise kaydı sınırlı bir ROI'ye odaklar. Bu nedenle, sistemin performansı büyük ölçüde kullanılan referans yüzeyinin türüne (yani, DICOM BT verilerinden dönüştürülen veya kameradan elde edilen), seçilen ROI ve eşiklere bağlı olacaktır. Bu parametrelerin her birinin sistem performansı üzerindeki etkilerini ayırtmak mümkün olmasa da etkileşimi anlamak, klinik durumlarda sorun giderme için değerli bilgiler sağlar. PTV sınırlarına benzer şekilde, bu parametrelerin seçimi bireysel kliniklerin takdirine bağlıdır ve sürekli olarak değerlendirilmeleri ve güncellenmeleri önerilir.

Kayıt ve Konumlandırma Doğruluğuna**Yönelik Referans Yüzey Türleri ve Etkileri**

Referans yüzeyler iki yöntem kullanılarak oluşturulabilir: (1) BT simülasyon taramasından gelen dış konturu bir yüzeye dönüştürerek (örn.

DICOM) veya (2) sistem kameralarıyla bir referans yüzeyi yakalayarak. DICOM veya kamerayla edinilen bir yüzeyi kullanma kararı işe bağlıdır ve bu karar her yüzey tipinin avantaj ve dezavantajlarının anlaşılmasıyla yönlendirilmelidir. Bir DICOM yüzeyi kullanılırken, rastgele hatalara ek olarak BT simülasyonundan gelen sistematik hatalar da ölçülebilir. Van Herk tarafından tanımlandığı gibi, Sistematik hatalar doz dağılımında hedefe göre sapmalara yol açarken, rastgele hatalar doz dağılımını bulanıklaştırır. Referans yüzey seçimi ile ilgili daha fazla ayrıntı Bölüm 4.4 ve 4.6'da verilmektedir.

Kayıt Doğruluğu ve Zamansal Çözümlemeye Yönelik İlgili Bölge (ROI) Seçimi

Bazı SGRT sistemlerinde kayıtların boyutu ve şekli hem kayıt doğruluğunu hem de gerçek zamanlı izlemenin etkinliğini etkileyebilen bir ROI ile sınırlandırılmıştır. İdeal ROI, benzersiz bir kayıt çözümü sağlamak için tedavi alanını temsil etmeli ve göze çarpan topografik işaretler (yani, farklı tepeler ve vadiler) içermelidir. Bunun aksine, düz veya simetrik bir yüzey (örn. dümdüz bir karın üzerinde küçük, dar bir ROI) benzersiz şekilde kaydedilmeyebilir ve bu da rapor edilen translasyon veya döndürmelerde

yanlılıklara yol açabilir. Simetriyi kırmak için tedavi alanının dışında bir anatominin dahil edilmesi (örn. göğüs kafesi veya karnın dışındaki pelvik kemikler) doğru kaydı sağlamak için gerekli olabilir. Bununla birlikte, artan ROI alanı ile zamansal çözünürlüğün azalması nedeniyle ROI boyutu sınırlıdır. Tablo 6, bir ROI seçerken dikkate alınması gereken ek avantajları veya dezavantajları listeler. Diğer SGRT sistemlerinde, tedavi izomerkezine en yakın gerçek zamanlı yüzeyden gelen verileri önceliklendiren, deforme olabilen bir algoritma kullanılarak gerçek zamanlı kayıt için tüm görünür yüzey kullanılabilirliğinden, ROI seçimi gerekli değildir. Şu anda, otomatik ROI seçimi veya seçilen ROI'lerle ilişkili doğruluğun tahmin edilmesi için bir algoritma bulunmamaktadır. Bunlar klinik ekibi tarafından belirlenmelidir ve hasta bazında değiştirilmeleri gerekebilir.

Işın Durdurma Limiti Seçimi

Limitler, hastanın yüzeyi önceden tanımlanmış bir tolerans veya referansla eşleşmediğinde ışını sınırlamak ve tedavi ekibini uyararak için kullanılabilir. Bu tolerans anatomik bölgeye ya da hastaya özgüdür. Örneğin, daha az hareket beklendiğinde daha sıkı limitlere karşı büyük fizyolojik hareketler bekleniyorsa (örn. FB göğüs) daha büyük limitler kullanılabilir. Alternatif olarak klinikler, hasta konumlandırmasının tekrar üretilebilirliği hakkında veri toplamak için SGRT kullanılabilir ve bu değerleri limitleri özelleştirmek için kullanılabilir. Örneğin, meme hastalarının >%90'ı 5 mm translasyon limiti içindeyse, bu değer translasyon limiti olarak seçilebilir. Meme DIBH tedavileri için, DICOM referans yüzeyi kullanılırken her boyutta 2–3° dönme ve 3–5 mm translasyon limiti tipik olarak elde edilebilir. Kurumların bunun mümkün olmadığı

durumlarda daha fazla araştırma yapması ve kliniklerinde set-up tekrarlanabilirliği analizine dayalı olarak toleranslarını gerektiği şekilde yıllık bazda güncellemesi önerilir.

Genel Konumlandırma ve İzleme İçin İş Akışı Değerlendirmeleri

SGRT, ilk konumlandırma için geleneksel üç noktalı lazer tabanlı konumlandırmaya kıyasla iki avantaj sunar: artan konumlandırma doğruluğu ve verimliliği. SGRT ayrıca hastanın yüzeyi ve tedavi hedefinin yüksek oranda ilişkili olduğu klinik iş akışlarında fraksiyon içi izleme için de kullanılmıştır: (1) hedef, hastanın yüzeyinde veya yakınında olduğunda (örn, meme) ve (2) yüzey sert olduğunda ve belirgin topografik özelliklere sahip olduğunda (örn, yüz, baş, ekstremiteler).

Baş, Boyun ve Beyin

Baş ve boyun için SGRT uygulamasının başlangıç aşamasında iki ana zorlukla karşılaşılmıştır. Bunlar ilk olarak geleneksel kapalı tam yüz immobilizasyon maskeleri ile hasta yüzeyinin engellenmesi ve ikinci olarak yutkunma ve göz kırpması gibi rutin fizyolojik süreçlerin kayıt doğruluğu üzerindeki etkisidir. Bu kaygıları gidermek için, açık yüz maskesinin kapalı yüz maskesiyle karşılaştırılabilir bir konumlandırma doğruluğu sağlayıp sağlayamayacağını belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, omurga, mandibula ve beyin için zorunlu kasıtlı hareketler altında açık ve kapalı yüz maskeleri için karşılaştırılabilir konumlandırma doğruluğunu göstermiştir. Ek olarak, Baş-boyun kanseri hastalarında kilo kaybı, omuz immobilizasyonundaki değişkenlik ve tedavi masasının dönmesi, özellikle boyun kısmında SGRT kayıt algoritmalarının,

doğruluğunu azaltan deformasyonlara neden olabilir. Bu nedenle, tedavi ekibi, bu nedenleri belirlemeye ve etkileri gidermeye hazır olmalıdır.

Meme ve Göğüs Duvarı

SGRT'nin meme hastalarını konumlandırmak için cilt işaretleyicilerinin veya MV portal görüntülemenin yerini alabileceği öne sürülmüştür. Kısmi meme ışınlaması gibi yüksek uyumlu tedavi durumunda, SGRT'nin kV görüntüleme ile tespit edildiği şekliyle, cilt işaretleyicilerinden ziyade lumpektomi yatağındaki klipslerin yerine geçtiği gösterilmiştir. Bu tedavi bölgesinde karşılaşılan zorluklardan biri, kemik yer işaretleri ile meme yüzeyi arasındaki hizalama arasında sık görülen uyumsuzluktur, bu da temel gerçeği gizleyebilir ve bu nedenle konumlandırma hatalarının giderilmesini zorlaştırır. Bu tutarsızlık, hasta pozisyonundaki gerçek bir tutarsızlıktan veya anatomik değişikliklerden (örn. seroma boşluğunun şişmesi ya da lenfödem) kaynaklanabilir. Tüm meme radyoterapisi (WBRT) için SGRT'nin kullanılması; immobilizasyonlarının iyileştirilmesi, ilk konumlandırma için kV ortogonal görüntülemeye geçiş ve intrafraksiyon hareketini en aza indirmek için toplam tedavi sürelerini kısaltmak gibi birçok kliniğin iş akışında çeşitli değişikliklere yol açmıştır. Diğerleri, SGRT'nin hasta hareketini, anatomik değişiklikleri ve özellikle kol veya çenenin doğru konumlandırılmasını izlemek için iyi bir gerçek zamanlı kalite kontrol aracı olarak hizmet ettiğini bildirmiştir.

WBRT için SGRT'nin başarılı bir şekilde uygulanması adına aşağıdaki iş akışı öğelerine özellikle dikkat edilmesi önerilir:

İlk pozisyonlandırma sırasında hem sistematik hem de rastgele hataları tespit etmek için bir DICOM referans

yüzeyi kullanmayı göz önünde bulundurun.

Hasta pozisyonlandırması için iki ayrı ölçüm kullanın: kol ve çene dahil olmak üzere hastanın tüm yüzeyi, genel duruşu düzeltmek için kullanılabilirken, meme bölgesinin belirli bir ROI'si hastanın pozisyonuna ince ayar yapmak ve anatomik deformasyonu saptamak için kullanılabilir.

Limitler, serbest nefes sırasındaki harekete 2-3 mm daha eklenmiş şekilde seçilmelidir.

SGRT sisteminin doğruluğuna dair güven tesis etmek için başlangıçta X-ray filmleriyle daha sık doğrulama gerekebilir.

Hasta konumlandırmasının niceliksel bir gerçek referans metriğini belirleyin. Örneğin, yerleşik görüntüleme (OBI) yer işareti eşleştirmesi, denekler arası yorumlama değişkenliğine eğilimli olan MV portal filmlerinin görsel incelemesinden daha yararlı olabilir.

Ekstremiteler

SGRT, kesin kayıt sağlamak için yeterli eğrilik içeren bir ROI seçmeye özen gösterildiği sürece, ekstremitelerin konumlandırılmasında cilt işaretleyicilerinin yerini alma potansiyeline sahiptir. Gierga ve arkadaşları, SGRT'nin interfraksiyon hatalarını 10 mm'nin altına indirdiğini, tekrarlanan X-ışını görüntüleme ihtiyacını en aza indirdiğini, intrafraksiyon hatalarının bu anatomik bölgede minimum düzeyde olduğu için tipik olarak etkilenmediğini gösterdi.

İmmobilizasyonun Rolü

SGRT'nin gerçek zamanlı izleme için kullanımı arttıkça, immobilizasyonun rolü, aktif hareketten pasif hareketsizliğe dönüşebilir. Aktif immobilizasyonun

azaltılması başlangıçta SRS için uygulanmış, ancak baş, boyun ve meme gibi diğer bölgelere dövme veya marker kullanılmadan uygulanmıştır. Bu tür yüzey kılavuzlu gerçek zamanlı pozisyon düzeltmelerinin klinik uygulamaları, ölçekleri aktif immobilizasyondan ziyade pasif hale getirmeye yönlendirebilir.

BT Simülasyonu ve Hareket Yönetimi İçin İş Akışıyla İlgili Hususlar

Bazı SGRT sistemleri, solunum hareketi yönetimi için hem geriye hem de ileriye dönük olarak BT simülasyonu iş akışına dahil edilebilir. Bu SGRT sistemleri tipik olarak BT simülatör ile arabirim oluşturabilen tek bir kamera setup'ından oluşur (bkz. Tablo 1 ve 3). SGRT kamera, hasta üzerindeki küçük bir ROI'yi gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılır; Böylece sadece ön-arka boyutta seçilen ROI'nin zamansal gezinimi izlenerek hastaya özel bir solunum modeli oluşturulabilir

Solunum modelinin doğruluğunu ve tekrar üretilebilirliğini çeşitli faktörler etkiler bu sebeple sağlam bir ROI seçimi gerekir. Çok eğimli bir yüzeye yerleştirilmemiş, hasta BT bölümünden geçerken engellenmeyen, solunum sırasında ani hareket bozulmaları olmayan ve bir solunum döngüsü sırasında yeniden üretilebilen bir ROI'nin seçilmelidir. Medikal Fizik Uzmanı, son AAPM kılavuzuna göre bu BT tekniklerinin klinikte güvenli bir şekilde uygulanmasına rehberlik etmekten sorumludur.

Geriye Dönük Gating (4DCT)

4DCT veri setlerinin sınıflandırılması için geriye dönük bir solunum paterni elde etmek üzere BT simülatörü ile arayüzlenen bir SGRT sistemi kullanılabilir. 4DCT veri kümelerini elde etmek için bir dizi alternatif cihaz mevcut olsa da, bu görev için bir SGRT sistemi

kullanmanın avantajları bulunmaktadır: (a) Hareketi izlemek için hastaya harici bir cihaz yerleştirilmesi gereksizdir, (b) ROI takibi, tekrarlanabilir bir solunum paterni için en uygun konumu sanal olarak belirlemek üzere hastanın yüzeyinde hareket ettirilebilir, (c) yüzey ROI'si karın kompresyon kemerleri gibi diğer cihazların kullanımını engellemez ve (d) küçük yüzey yerdeğiştirmeleri 3 boyutlu olarak yüksek hassasiyetle tespit edilebilir. SGRT ile genişlik tabanlı sıralama yöntemleri kullanıldığında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta, hasta BT görüntüleme düzlemini geçtiğinde solunum paternlerinin mutlak genişlik pozisyonunun masanın konumundan etkilenebileceğidir. Masa sarkmasını hesaba katmak için, bir hasta yükünü taklit etmek üzere masaya bir kütle yüklenmiş olsun ya da olmasın, çeşitli konumlarda masanın dikey yer değiştirmesini açıklamak için bir masa kalibrasyon profili kullanılarak karakterize edilmelidir

İleriye Dönük Gating

İleriye dönük solunum hareketi için, SGRT sistemleri genellikle DIBH sırasında BT verilerini elde etmek için kullanılmıştır. Hareketi yalnızca ön-arka yönde izleyen BT tabanlı sistemler için, solunum sinyalini tekrarlanabilir bir şekilde izlemek için ksifoid çıkıntının üzerindeki bir alan gibi düz bir yüzey kullanılmalıdır. Serbest nefesteki son nefes verme aşamasının konumu taban çizgisi olarak tanımlanır ve sistem tarafından otomatik olarak izlenir. Hasta, tekrarlanabilir bir DIBH pozisyonuna işitsel veya görsel rehberlik yardımıyla yönlendirilir. DIBH genişlik ve gating penceresi yazılımda manuel olarak belirlenir. Geriye dönük gating uygulamalarına benzer şekilde, geçici örnekleme oranını iyileştirmek için

küçük bir ROI izlenir (örn. $\leq 30 \times 30$ mm²). Bu durumda, masa sarkmasının etkisi, nefes tutmanın serbest bırakılmasını taklit edecek şekilde nefes alma modelini tekrar etkileyebilir.

Solunum hareketi ve takibine yönelik iş akışları

Girişimsel olmayan gerçek zamanlı yüzey görüntülemenin gücü, hareket izleme ve ışın tutma özelliğiyle yönetim için kullanılmıştır. Bunun bir sonucu olarak, SGRT iki klinik uygulamayı kolaylaştırmıştır:

1. Meme kanseri için gönüllü DIBH tedavisi ve
2. Çerçevesiz stereotaktik radyocerrahi (SRS).

Bu uygulamaların her ikisinde de hasta yüzeyi herhangi bir ek işaretleyiciye ihtiyaç duymadan hedefin yerine geçer. Buna ilave olarak SGRT sistemleri, hasta belirtilen tolerans dışına çıktığında tedaviyi durdurmak üzere manuel veya otomatik olarak ışını kontrol etmek için kullanılabilir. Çerçevesiz SRS durumunda, SGRT'nin getirdiği ana avantajlar, açık yüz maskesi kullanımından kaynaklanan artan konfor ve gerçek zamanlı izleme olanağıdır. Meme kanseri için uygun DIBH durumunda da iki ana avantaj vardır. İlki, invazif bir solunum kontrol aparatına ihtiyaç duymadan nefes tutma sırasında artan hasta konforudur. İkincisi de, DIBH'nin kalbe ve akciğerlere giden dozu önemli ölçüde azalttığı gösterildiğinden, iyileştirilmiş dozimetridir.

Meme Kanseri İçin DIBH Solunum Takibi

DIBH'nin yüzey görüntüleme kullanılarak iletilen doz doğruluğunun, hem sol hem de sağ taraflı meme kanseri ışınlanması için klinik olarak kabul edilebilir olduğu kanıtlanmıştır. TG-76'da açıkça tartışılmayan, meme kanseri hastalarına özgü iş akışı detayları

şunları içerir:

- **Hasta Seçimi ve Eğitimi:** Meme kanseri hastalarının büyük çoğunluğu istemli nefes tutma işlemini gerçekleştirebilir. SGRT'nin doğruluğu, özellikle boylamsal yönde rekonstrüksiyonu olmayan mastektomi sonrası hastalarda veya daha fazla sarkık meme dokusu olan hastalarda tehlikeye girebilir. SGRT için hasta yüzeyinin görünür olması gerektiğinden, hasta eğitimi ve hastayla işbirliği gereklidir.

- **BT Simülasyonu:** SGRT, hareket yönetimi için yüzeyi takip ettiğinden, yüzey yerdeğiştirmesi ile nefes tutma modeli arasında tekrarlanabilir bir karşılıklı ilişki önemlidir.

Bu tekrarlanabilirliği artırmak için bazı ipuçları şunlardır: Hastalara burundan nefes almaları ve göğsünü genişletmeleri, maksimum inspirasyonda olması gerekmeyen tekrarlanabilir ve sürdürülebilir bir inhalasyon seviyesi sağlamaları, sırtın kamburlaşmasından ve diğer postüral değişikliklerden kaçınmaları talimatını vermek. Bir hastanın nefes tutma genişliği yönlendirmeye rağmen değişiklik gösteriyorsa, yüzeyin tekrar üretilebilirliğini değerlendirmek için çift DIBH taramaları alınabilir.

- **Setup ve Tedavi:** Hastanın rahatsızlığını en aza indirmek ve yorgunluğu azaltmak için, hasta başlangıçta bir serbest nefes yüzeyi kullanılarak konumlandırılmalıdır. Bu çene, omuz ve dirsek gibi hedef hacimden bağımsız hareket eden anatominin postüral hizalanmasını sağlama fırsatı sunar.

Kalp Pozisyonunun Doğrulanması

Hastanın yüzeyi meme dokusu ve hedef için iyi bir göstergesi olsa da, DIBH sırasında kalbin konumu hakkında doğrudan bilgi sağlayamaz. Bu nedenle, iç anatomiye görselleştirebilen alternatif bir görüntüleme yöntemi gereklidir. Kalp konumunu doğrulamak için bazı X-ışını tabanlı görüntüleme yöntemleri kullanılabilir. Floroskopi, MV sine, MV portal filmleri ya da CBCT gibi.

Bolus ile Tedavi

Tanım olarak, bolus kullanımı hastanın yüzeyinden anlaşılır. Genellikler, her tedavide bolus ile yeni bir referans yüzeyinin elde edilmesi gerekecektir ve bunun doğruluğu, herhangi bir yeni referans yüzeyinde yapıldığı gibi doğrulanmalıdır. Yansıtıcı yüzeye sahip geleneksel bolus, Bölüm 3.2.1'de açıklandığı gibi SGRT ile yeterince işlenmeyebilir ve bu nedenle, yansıtıcı olmayan, konformal bir bolus kullanılması önerilir. Aksi takdirde, geleneksel bolus, opak kağıt bant veya mat yüzeyli bir sprey boya ile kaplanarak yansıtılmaz hale getirilebilir. Cilt işaretleri veya ışık alanı, sonraki tedavi için bolus yerleştirmenin tekrar edilebilirliğini ve etkinliğini artırmaya yardımcı olabilir. Meme kanseri hastaları tipik olarak günlük olarak filme alınmadığından, yüzeyi karartan bolusa rağmen hastanın konumunun doğrulanması önemlidir. Alternatif olarak, bolus yerleştirilmeden önce SGRT kullanılarak hastanın pozisyonu bolus olmayan referans yüzeyle de karşılaştırılabilir.

Eşleşen Alanlar ile Tedavi

Supraklavikuler nodların tedavisi genellikle anterior veya posterior oblik alanlar kullanılarak

gerçekleştirilir. Bu alanlar teğet meme alanlarıyla eşleşir. En yaygın olarak meme ve supraklaviküler alanlar arasındaki bağlantıda bulunan tek bir ortak izomerkez kullanılarak gerçekleştirilir (yani, "eşleştirme çizgisi"). Serbest nefes tedavisine benzer şekilde, alanların olası örtüşmesi nedeniyle DIBH sırasında eşleşme çizgisinde setup endişe vericidir. Ancak, SGRT tarafından yönlendirilen DIBH için eşleşen alanların işlenmesinin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir. DIBH sırasında tedavi edilirken, akciğerin apeksinde (yani eşleştirme çizgisinde veya üzerinde) çok az hareket meydana gelir ve bu, bu konumu inspirasyon seviyesindeki değişikliklere karşı dayanıklı hale getirir.

Kamalı Tedavi Alanları

TG-76'da bahsedildiği gibi, uzun süreli nefes tutma ve birden fazla nefes tutma ile hasta rahatsızlığı artar. Fiziksel veya sanal kamaların kullanılması ışınlama süresini artırabilir. Bu süre hastanın nefes tutma süresini aşarsa TG-76'nın önerisine göre elde edilen her bir ışının tek bir nefes tutmada iletilebilmesi için ışının manuel olarak bölünmesi tavsiye edilir. TG-76'ya göre alan-ıçi-alan (FIF) teknikleri lehine kamaların ortadan kaldırılması düşünülmelidir. Genel olarak, bir tedaviyi tamamlamak için gereken gerekli nefes tutma sayısını en aza indirmeye ve aynı zamanda görüntüleme için gereken ek nefes tutmaları hesaba katmaya özen gösterilmelidir.

Dinamik Işın Uygulanması

Dinamik iletimi kullanan tedavi alanları, FIF teğet ışınları ve IMRT ya da VMAT arkları dahil olmak üzere SGRT tarafından yönlendirilen DIBH için başarıyla kullanılmıştır. VMAT sırasında, kamaların

belirli gantry açılarında kapanması nedeniyle yüzey izleme tehlikeye girebilir. Bu tür kesintileri en aza indirecek uygun ROI'leri veya ark açılarını belirlemek için fantom üzerinde testler yapılabilir. Genel olarak, kameraların gantry oklüzyonunun etkilerini en aza indirmek için orta hattı geçen daha büyük ROI'lerin seçilmesi gerekli olabilir.

DIBH İçin İmmobilizasyon Cihazlarının Rolü

Hareketsizleştirme, hasta konumlandırmasının tekrarlanabilirliğini ve tedavi verimliliğini kolaylaştırır. Meme yüzeyinin doğruluğu, DIBH uygulanmadan önce serbest nefes hastaları için her klinikte iyi karakterize edilmesi gereken immobilizasyon doğruluğudur. Ayrıca SGRT, artan tedavi süresi ile meme yüzeyi konumlandırma doğruluğunun azaldığını göstermiştir. SGRT kullanarak DIBH'nin başarılı bir şekilde uygulanması, Bölüm 4.7'de tartışıldığı gibi, konumlandırma doğruluğunu diğer hatalardan ayırma yeteneğine dayandığından, hareketsizleştirme doğruluğu özellikle önemlidir.

SRS Sırasında Hareket Takibi

Radyoterapide yüzey görüntüleme kullanılmaya başlandıktan kısa bir süre sonra, SRS ve stereotaktik RT (SRT) sırasında hareket takibi için potansiyel kullanım araştırıldı ve ilk vakalar, ilk klinik uygulamasından hemen sonra tedavi edildi. SRS ve SRT'de kullanılan dozlar ablatif aralıkta olduğundan, bu tedavi tekniğini uygulamak için doğru kurulum ve hareket izleme çok önemlidir. SRS geleneksel olarak hareketsizleştirme ve konumlandırma için bir çerçeve sistemi kullanılarak gerçekleştirilir. Çerçevenin birkaç dezavantajı vardır. Hasta için rahatsız edicidir, çoklu fraksiyon tedavisi için pratik değildir, strese ve enfeksiyona neden olabilir, beyin

cerrahı tarafından yerleştirilmelidir ve en önemlisi tam bir immobilizasyon garantisi vermez. Bunun yerine SGRT'de hareketsiz hale getirmek için açık yüz maskesi kullanılır, böylece hastanın yüz hatları, tipik olarak göz ve burun çevresindeki alan SGRT sistemi tarafından görülebilir. SRS'de SGRT'nin amacı hastayı tamamen immobilize etmek değil, ne zaman kompanse edileceğini belirlemek ve hastanın pozisyonunu gerektiği gibi ayarlamak için intrafraksiyon hareketini izlemektir.

Masa rotasyonları ve fraksiyon içi hareket takibi için farklı ROI'lerin kullanımı dahil olmak üzere çeşitli tedavi parametreleriyle sistemin milimetre altı doğrulukta olduğu gösterilmiştir. Aşağıda, RT planlama ve tedavi adımlarındaki ilgili SGRT ile ilgili prosedürlerin bir açıklaması bulunmaktadır:

- **Simulasyon:** Seçilen immobilizasyon, SGRT sisteminin seçilen izleme ROI'sini görselleştirmesine izin vermelidir. Simülasyon süreci, diğer herhangi bir SRS tekniği ile aynıdır ve SRS-SBRT için AAPM Uygulama Kılavuzu 9a'daki tavsiyelere uymalıdır.
- **Planlama:** SGRT kullanımı SRS ve SRT tedavi planlama prosedürlerini etkilemez. Plan sonlandırıldığında, vücut konturu ve plan TPS'den dışa aktarılmalı ve SGRT sistemine gönderilmelidir. Hasta setup'ı sırasında vücut konturu ilk referans yüzeyi olarak kullanıldığından, konturlama yapılırken dikkatli olunmalı ve BT artefaktları varsa burun bölgesine özellikle dikkat edilmelidir. SRS ve SRT için ROI tanımı, alın, burun ve temporal kemikleri içermelidir. Gözler dahil edildiğinde, bazı hastalarda SGRT sistemlerinin izlenen

anatomiye kirpikler dahil edildiğinde hasta göz kırptığı için büyük hareketler sağlayabildiği bulunmuştur.

- **Setup:** Bu çok adımlı bir süreçtir. İlk olarak, SGRT sistemi açılır ve hasta, SGRT sisteminde referans yüzey olarak tedavi planındaki DICOM dış konturu kullanılarak konumlandırılır. SGRT toleransları karşılandığında, yani gerçek zamanlı yüzey ve referans yüzey, önceden belirlenmiş limitlerden daha fazla farklılık göstermez.

6DOF masanın kullanılması gerekli olmasa da tedaviyi kolaylaştırır. Kaydırmalar uygulanır uygulanmaz, SGRT sistemi ile yeni konumda yeni bir referans yüzeyi elde edilir ve tedavi fraksiyonunun geri kalanında tedavi izleme için kullanılır. Sürüme ve yazılıma bağlı olarak, orijinal referans görüntüden tedavi referans görüntüsüne otomatik olarak aktarılmazsa ROI'nin yeniden çizilmesi gerekebilir. Sistem ROI'yi otomatik olarak yayıyorsa, yayılan ROI'nin orijinal olarak tanımlanan ROI ile bütünlük ve tutarlılık açısından kontrol edilmesi gerekir.

- **Tedavi:** Tedavi uygulaması, CBCT sonrası referans yüzeyine dayalı olarak SGRT kullanan hastanın sürekli izlenmesiyle gerçekleşir. Referans yüzeyinden sapmalar, önceden belirlenmiş toleransları aşmamalıdır.

Genellikle translasyon için ≤ 1 mm ve rotasyonlar için $\leq 1^\circ$ olan bu toleranslar, klinik uygulama ve ekipman performansına dayalı olarak belirlenmelidir. (Toleranslar, tedavi için kullanılan planlama marjlarına, uygulama tekniğine, bilinen

tedavi masa değerlerine, SGRT kalibrasyon prosedürlerine vb. bağlı olarak değişebilir). Masa planlanan farklı tedavi açılarına hareket ettikçe, doğrudan plandan alınması gereken masa açısının SGRT sisteminde gerektiği şekilde güncellenmesi gerekir. Bu eylem referans yüzeyini döndürür ve gerçek zamanlı yüzeyle karşılaştırır. Toleranslar aşıldığında, Medikal Fizik Uzmanı bunun SGRT sistemi tarafından ROI görselleştirmesini etkileyen hasta hareketinden mi, kamera tıkanıklığından mı yoksa aşırı yatak dönüşünden mi kaynaklandığını belirlemeli ve nasıl ilerleyecekleri konusunda klinik veya tedavi ekiplerine yeterli tavsiyelerde bulunmalıdır. Tespit edilen hasta hareketinin gerçek mi yoksa gantry tarafından kameranın kapanmasından mı kaynaklandığını kontrol etmenin bir yolu, SGRT görüntüsünün tolerans dışında kalıp kalmadığını belirlemek için gantriye kamera tıkanıklığının olmadığı bir konuma döndürmektir. Benzer şekilde, sıfır olmayan bir masa dönüşünde algılanan hareketin gerçek olup olmadığını belirlemek için, SGRT görüntüsünün hala tolerans dışında olup olmadığını gözlemlemek için masa nominal konuma (örn. 0°) döndürülebilir. Referans ve gerçek zamanlı görüntüler arasındaki tutarsızlık hastanın hareketinden kaynaklanıyorsa, hastanın pozisyonunun yeniden ayarlanması gerekebilir. Doğru tedavi pozisyonunu doğrulamak için yeni dahili görüntüler (örn. CBCT veya X-ışını tabanlı) önerilir ve son ayarlardan sonra fraksiyon içi izleme için yeni bir yüzey görüntüsü yeniden alınmalıdır.

İmmobilizasyon ve YüzeY Görselleştirme İçin Maske Seçimi

SRS'de yüzeY görüntülemenin ilk uygulamaları, tüm hastanın yüzünün SGRT sistemi tarafından görselleştirilmesine izin veren, maskesiz, hastaya özel özel kafa kalıplarının kullanımını dikkate aldı. Bu ilk fizibilite çalışması, kullanımını dört gönüllüde değerlendirdi ve 20 dakikalık bir süre boyunca toleransların dışında bir hareket gözlemlenmedi. Bununla birlikte, sonraki uygulamalardaki eğilim, alnın, burnun, şakak kemiklerinin ve gözlerin görselleştirilmesine izin verirken hastaları hareketsiz kılmak için açık bir termoplastik maske kullanmak olmuştur. Bir maskenin kişiselleştirilmesi, kafa kalıbının oluşturulmasından çok daha basit bir işlemdir. SGRT sisteminde, hastanın kafasının referans konuma göre izin verilen sınırların dışına hareket ettiğini vurgulayan toleransların ayarlanması tedavinin doğruluğunu sağlamak için zorunludur.

Tedavi Masasına İlişkin Hasta İzleme Hususları

Tedavi masası sıfır olmayan bir açı konumuna ayarlandığında, odadaki kamera yapılandırması optimize edilmiş olsa bile, özellikle masa sıfır açıdan $\pm 90^\circ$ olduğunda, SGRT kameraları ROI'nin bir kısmının görünürliğini kaybedebilir. Daha eski araştırmalar aşırı masa açılarındaki $>0,5$ mm'lik belirsizlikler göstermiş olsa da, yazılım ve kalibrasyon prosedürlerindeki gelişmelerin sıfır olmayan masa açılarındaki izleme doğruluğunu iyileştirdiği gösterilmiştir.

Medikal Fizik Uzmanının hasta hareketini linak mekanik sorunlarından ayırt edebilmesi önemlidir. Bir tedavi sırasında şüpheye düştüğünüzde, gantry

ve masa konumlarını 0° 'ye geri döndürmek, algılanan hasta hareketinin geçerliliğini doğrulamak ve herhangi bir kamera tıkanma sorununu ortadan kaldırmak için kullanılabilir.

Çoklu Lezyonların İzosentrik Tedavisi Sırasında Hareket veya Setup Belirsizlikleri

SRS hastaları sıklıkla çok sayıda kafa içi metastatik lezyonla karşımıza çıkar ve her biri için görece konum, boyut ve fraksiyonasyon şemasına bağlı olarak, bağımsız olarak veya birlikte tedavi edilebilirler. İkinci durumda, tüm lezyonlar eş zamanlı olarak tedavi edilir ve izomerkez genellikle tüm lezyonlara göre orta konuma yerleştirilir. SGRT sistemleri şu anda yalnızca tek bir ROI için yer değiştirme bilgisi sağlamaktadır. Sonuç olarak, multi-met tedavileri için bu yer değiştirmeleri yorumlarken dikkatli olunmalıdır. SGRT'li tek bir izomerkez kullanılarak çoklu metastazları tedavi ederken, izomerkezden daha uzakta bulunan metastazlar üzerindeki konumlandırma hatalarının dozimetrik etkisini azaltmak için özellikle pitch and roll'da daha sıkı toleranslar (yani, ≤ 1 mm ve $\leq 0,5^\circ$) gerekebilir.

Sık Karşılaşılan Zorluklar

Sıklıkla karşılaşılan zorluklar, klinik veya tedavi ekiplerinin artan deneyimiyle ve ek klinik ve görüntüleme bilgilerinin hasta konumlandırma sürecine dahil edilmesiyle azaltılabilir. Yaygın zorlukları belirleme ve bunları gidermeye yönelik stratejiler aşağıda tartışılmaktadır.

DIBH Solunum Paternindeki Değişiklikleri Konumlandırma Hatalarından Ayırt Etme

Nefes tutma paternindeki değişiklikleri SGRT ile genel

konumlandırma hatalarından ayırt etmek zor olabilir. Hastanın pozisyonunun nefes tutmadan önce bir serbest nefes referans yüzeyine göre doğrulanması, konumlandırma hataları olasılığını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için kullanılabilir. Hastanın nefes tutma pozisyonu daha sonra DIBH referans yüzeyiyle eşleşmezse ve yeniden konumlandırma tutarsızlığını çözmezse, X-ışını görüntüleme kullanılmalıdır. Yanal kV, sternum ile anterior vertebral cisimler arasındaki mesafeyi karşılaştırarak inspirasyon seviyesini doğrulamak için kullanılabilir. Alternatif olarak, kalp şekli ve/veya diyaframın konumu, MV veya kV görüntülerinde inspirasyon hacminin yerini almasına yardımcı olabilir.

Yüzey Kalitesinin Deformasyonu veya Bozulmasından Kaynaklanan Kayıt Hatalarının Belirlenmesi

Tedavi süreci boyunca önemli doku deformasyonu, hem rijit hem de deforme olabilen kayıt algoritmaları için SGRT sistem doğruluğunu azaltabilir. Bu, tümörün küçülmesi veya şişmesi, kilo kaybı, göz kırpma, yutkunma vb. fizyolojik hareket gibi simüle edilmiş pozisyondan açıklanamayan değişiklikleri içerir. Daha küçük ROI'ler, daha büyük ROI'lere göre deformasyona karşı daha duyarlı olabileceğinden, büyük (örn. tüm yüzey) ve küçük (örn. meme yüzeyi) ROI arasındaki tutarsızlıklar, doku deformasyonunun dolaylı kanıtını sağlayabilir. Ek bir görüntüleme yönteminin (yani, X-ışını) kullanılması, doku deformasyonundan kaynaklanan konumlandırma hatalarının ayıklanmasına yardımcı olabilir. Son olarak, klinik muayeneler ayrıca doku deformasyonuna (yani meme şişmesi veya seroma boşluğu değişiklikleri) dair kanıt sağlayabilir.

Spesifik Olmayan Topografyanın SGRT Doğruluğu Üzerindeki Etkileri

Yüzey topografyası yeterince benzersiz değilse, kayıt algoritması doğru bir sonuç vermeyebilir. Örneğin, düz bir yüzey, ne kadar yanal veya boyşamsal kaydırıldığına bakılmaksızın algoritmik kayıt kısıtlamalarını karşılayacaktır. Son derece simetrik yapılar (ör. erkek gövde) benzersiz olmayan sonuçlar da verebilir. Eşsiz ve doğru bir kayda ulaşmada algoritmaya yardımcı olmak için yakın yüzey geometrisinin dahil edilmesi gerekebilir.

X-ışını Tabanlı ve SGRT Konumlandırma Arasındaki Tutarsızlık

X-ışını ve yüzey görüntülemeden elde edilen hesaplanan translasyon veya rotasyonlar arasında bir tutarsızlık gözlenirse, bunun nedeni şunlar olabilir: (1) simüle edilmiş pozisyonu doğru şekilde yeniden oluşturmayan hareketsizleştirme, (2) nefes tutma modelinde bir değişiklik veya (3) doku deformasyonu. Tutarsızlığın kaynağı bir eleme süreci ile tanımlanmalıdır (bkz. Bölüm 4.7.). İster tek bir hastayı etkilesin ister daha sistematik olsun, iş akışı ve süreçlerde değişiklik gerektiren tutarsızlıkları ele almak için ekibin tüm üyeleri (örn. doktorlar, terapistler, medikal fizik uzmanları) arasında Yakın İletişim Gereklidir.

Sgrrt Sonuçlarının Yorumlanması ve Tedavi Ekibinin Eğitimi

SGRT ile dik bir öğrenme eğrisi bildirilmiştir. Çünkü terapist hastanın cildinde bir noktaya kadar manuel olarak manipüle edilebilen birkaç işaret yerine bir 3D yüzeyi üretmelidir. CBCT'nin tanıtımına benzer

şekilde, terapistlere konumlandırma ile ilgili büyük miktarda yeni bilgi sunulacaktır. Ayrıca, SGRT arabirimi, OBI'de olduğu gibi doğrudan üst üste bindirilmiş görüntüleri manipüle etmekten daha az sezgisel olabilir. Geçiş kolaylaştırmak ve sisteme olan güveni geliştirmek için uygulamada yakın rehberlik veya destek ile sürece tekrar tekrar maruz kalmak gerekir. Ek olarak, tedavi ekibi, kayıt sonucuyla uyumu kontrol etmek için yüzey görüntülerini doğrudan incelemek üzere eğitilmelidir. Tedavi ekibinin rutin eğitimi ve yeterlilik değerlendirmesi, yüksek kaliteli bir SGRT programının ayrılmaz bir parçasıdır.

RİSK DEĞERLENDİRMESİ (TG-100)

Risk Değerlendirmesinde SGRT'nin Rolü

SGRT'nin çerçevesiz SRS'de kullanımı için Manger ve diğerleri tarafından açıklandığı gibi, bu sistemlerin klinik kullanımına yönelik potansiyel başarısızlık yollarını belirlemek için bir SGRT sistemi ve iş akışı üzerinde bir risk analizi gereklidir. İnvazif olmayan bir optik görüntüleme yöntemi olarak SGRT, hastanın yüzeyinin 3B verilerini alır ve hastanın planlanan konumuna ve potansiyel olarak diğer tedavi cihazlarına göre konumunu belirler. Vaka incelemeleri, SGRT'nin "yanlış hasta" hatalarını, izomerkez lokalizasyon hatalarını, "yanlış immobilizasyon" hatalarını, intrafraksiyonel hareketi ve cilt bozulması veya meme şişmesi gibi hasta anatomisindeki değişikliklerin tespit edebildiğini göstermiştir. MRI dışında, SGRT, iyonlaştırıcı radyasyon kullanılmadan hastanın konumu ve potansiyel olarak hedef konumu hakkında doğrudan, gerçek zamanlı bilgi sağlayan tek sistemdir.

Risk Analizi Örneği — DIBH Tedavisi ile SGRT Süreci

DIBH hastaları için SGRT veya başka herhangi bir uygulama kullanılarak yapılan risk analizi, bu sistemleri kullanırken bir QA programı için öneriler konusunda bilgi sağlamaya yardımcı olabilir. TG üyeleri, diğer SGRT uygulamaları için benzer analizlerin nasıl geliştirileceğine bir örnek olarak, DIBH meme kanseri tedavisi için ortak bir SGRT uygulaması olan TG-100 metodolojisini izleyerek bir risk analizi gerçekleştirdi. İlk olarak, bir SGRT sistemi kullanan bir hastanın tedavisinde yer alan adımları tanımlamak için bir süreç haritası tasarlandı. Süreç haritası bir grup olarak gözden geçirildi ve süreçte belirlenen 24 adımın her biri için başarısızlık modları not edildi. TG üyeleri, süreçteki her adım için en az bir hata modu kaydetti (toplamda 41 hata modu). Ardından, TG üyeleri bir Hata Türleri ve Etkileri Analizi gerçekleştirdi. Potansiyel arıza modlarının daha fazla analiz edilmesine yardımcı olmak için her bir arıza moduna potansiyel bir neden ve sonuç not edildi. TG-100 puanlama tablosu kullanıldı. Bu, ölçeğin ortak bir şekilde anlaşılmasını ve her bir puanın tanımlanmasını sağlamıştır.

GELİŞMEKTE OLAN KLİNİK UYGULAMALAR VE İLGİLİ KALİTE KONTROL HUSUSLARI

Klinik ortamda yüzey görüntülemenin potansiyel kullanımları, mevcut uygulamaların çok ötesine uzanır. Bu teknoloji, çok çeşitli tedavi türleri için değerli bir araç olarak çok yönlülüğünü göstermiş olsa da, tam kullanım alanına henüz ulaşılmamıştır. Klinik kullanıcılar, SGRT'nin gelişmekte olan klinik uygulamalarında olduğu gibi, mevcut bir teknolojinin herhangi bir yeni kullanımı hakkında bir

risk değerlendirmesi yapılmalıdır (bkz. Bölüm 5).

Ortaya Çıkan Uygulamalar

Hastanın yüzey görüntüleme ile oluşturulan 3 boyutlu modelleri, immobilizasyon cihazlarının yanı sıra ayrıntılı anatomik topografi içerebilir. Bu tür verilerin kullanımları kapsamlıdır ve tıbbi fiziğin birçok alt alanında uygulanabilir. Yüzey görüntüleme kullanımları genişledikçe, uygulamalarının tedavi uygulama kalitesini, görüntü rekonstrüksiyonunu ve genel hasta güvenliğini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu açıktır. Ortaya çıkan bu uygulamalardan bazıları, mevcut klinik sistemlerin sağlayabileceğinin dışında yüzey görüntüleme yetenekleri gerektirir.

Algoritmaların Tanımlanması ve Amacı

Çarpışma Tespiti

Hasta ve tedavi ünitesi arasındaki çarpışmalar, radyoterapide devam eden bir endişe kaynağıdır. Bu sorun, özellikle hastanın merkezinden kaydırılmış tedavi izomerkezleri için eş düzlemler olmayan geometriler ve OBI,107 kullanıldığında şiddetlenir. Böylece hastanın tedavi ünitesine göre lokalizasyonu tedavinin güvenliği ve başarısının sağlanmasında önemli bir faktör haline gelmektedir. İmmobilizasyon cihazları da dahil olmak üzere tedavi pozisyonunda eksiksiz bir hasta modeli oluşturmak için yüzey görüntüleme kameralarının kullanılması, bu soruna pratik bir çözüm olarak araştırılmıştır.

Biyometri

Yüzey görüntüleme, hasta tanımlama ya da yüz ve vücut yüzeyi tanıma gibi biyometri için

kullanılabilecek fizyolojik özelliklerin ölçülmesini sağlar. Yüz tanıma yeni bir araç olmasa da radyasyon onkolojisindeki uygulaması yenidir. Kinect kamera gibi yüzey tarayıcılar, hastanın uygun bir eşleşme olup olmadığını belirlemek için yüz işaretlerinin çıkarıldığı ve hastanın bir referans yüzeyiyle karşılaştırıldığı yüz özelliklerinin bir modelini yakalamak için kullanılabilir. Hasta tanımlamaya yönelik bir başka yaklaşım da tedavi sırasında tespit edilen vücut yüzeyinin mevcut klinik sistemler tarafından kullanılmasıdır. Her iki yaklaşım da az sayıda vakada yanlış pozitifler üretmiş olsa da, hasta tanımlaması için özgüllüğü geliştirmek üzere potansiyel olarak birleştirilebilecek tamamlayıcı bilgiler sağlarlar.

Algoritma Doğruluğunu Değerlendirmek İçin Ek Kalite Kontrol Testlerine Genel Bakış

Yeni ortaya çıkan uygulamalar için, elde edilen yüzeylerin doğruluğunun onaylanması zorunludur. Elde edilen yüzeylerin belirli bir nesnenin boyutunu, rengini veya dokusunu doğru bir şekilde temsil edip etmediğini doğrulamak için QA testleri, bu uygulamaların güvenilir bir şekilde uygulanması için kritik hale gelecektir. Dirsekler veya burunlar gibi dik eğimli 3 boyutlu yüzeyleri yeniden oluşturmak ve FOV boyunca doğru ve tutarlı mesafe ölçümleri sağlamak için yüksek çözünürlük gerekecektir. Yetersiz yüzey rekonstrüksiyonu mevcut klinik uygulamaları da etkileyebilirken, bu yeni ortaya çıkan klinik uygulamalar üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olacaktır. Örneğin çarpışma hesaplamaları sırasında hastanın tüm yüzeyi kullanılır, bu nedenle tedavi izomerkezinden uzak alanlardaki tutarsızlıklar hesaplama sonuçlarının

güvenilirliğini olumsuz etkiler. Ortam aydınlatma koşulları, yüz tanıma gibi gelişmekte olan uygulamalar için yüzey görüntüleme performansını da etkileyebilir. Ortam aydınlatma koşullarına duyarlı klinik SGRT sistemlerinde, ortam aydınlatmasındaki değişikliklerin yüzey alım kalitesi üzerindeki etkisini en aza indirmek için kameraların kalibrasyonu kullanım amaçlarıyla aynı aydınlatma koşullarında yapılmalıdır.

Yeni Geliştirilen Klinik İş Akışları

SBRT

SGRT, SBRT'nin genel tedavi uygulama doğruluğunu iyileştirmeye yardımcı olmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Genel olarak SBRT iş akışı, kranyal SRS iş akışını taklit eder, çünkü SGRT, CBCT gibi X-ışını görüntüleme tekniklerine ikincil hasta konumlandırmasına rehberlik etmek ve izlemek için kullanılır. (bkz. Bölüm 4.6.2). SGRT, ilk hasta konumlandırması için kullanılır ve X-ışını görüntüleme (örn. CBCT) ile doğrulamanın ardından yeni bir referans yüzeyi elde edilir. Kamera ile elde edilen bu referans yüzeyi daha sonra, genellikle masa rotasyonları içeren uzun tedaviler boyunca hastanın CBCT ile doğrulanmış pozisyonundan sapmaması amacıyla gerçek zamanlı izleme için kullanılır. Akciğer SBRT'si için SGRT'nin erken bir araştırması, SGRT ve CBCT arasındaki tutarsızlığın, SBRT ile tedavi edilen kadınlara kıyasla erkeklerin konumlandırılması için klinik olarak kabul edilemeyecek kadar büyük olduğunu bulmuştur. Bu, hem kullanılan tek kameralı SGRT sistemi nedeniyle göğüs yüzeyinin eksik kapsanmasına hem de erkek gövdede yeterli belirgin topografyanın bulunmamasına

bağlanmıştır. Alternatif olarak, SGRT, CBCT tarafından önerilen görelî masa translasyonlarını veya rotasyonlarını doğrulama potansiyeline sahiptir ve masa hareketinden sonra tekrar bir CBCT ihtiyacını ortadan kaldırabilir.

Proton RT

Proton terapisi için yüzey rehberliğinin klinik iş akışları birçok yönden foton terapisinininkini yansıtırken, tedavi ünitesi kurulumlarındaki ve dozimetrik hususlardaki farklılıklarla ilgili birkaç varyasyon vardır. İlk olarak, birçok proton merkezi, sıralı görüntüleme olmadan ya yarım portal ya da sabit konumlu ışın doğrularını kullanır. Setup görüntülemesi için tedavi masasının ışın yolundan uzağa taşınması gerektiğinden, bu tesisler izomerkezli olarak hareket etmek için mekanik olarak kısıtlanmayan robot masaları kullanır. Eşmerkezli hareket, birkaç robotik eklemin yazılım programlaması yoluyla gerçekleştirilir ve yanlış masa hareketi, potansiyel bir arıza modu olarak düşünülmelidir. İkincisi, çoğu proton merkezi, tedavi odaları arasında ışın paylaşımı için bir kuyruk sistemi kullanır. Hastaların tedaviden önce ve pozisyon verildikten sonra birkaç dakika beklemesi, hastanın hareket etmesi için daha büyük bir potansiyel yaratır. Üçüncüsü, kemik anatomisine göre yüzey pozisyonundaki değişiklikler, proton ışınlarının sabit aralığı nedeniyle proton tedavisinde çok daha önemli dozimetrik sonuçlara sahip olabilir.

QA Aracı Olarak SGRT

Herhangi bir uygulamada olduğu gibi, kalite kontrol testleri sistemin klinik kullanımına uygun

olarak oluşturulmalıdır. Örneğin, sistem robotik masa hareketini düzenli olarak doğrulamak için kullanıldığında, kalite kontrol testleri benzer hayali tabanlı eşmerkezlilik doğrulamalarını içermelidir. Çoğu durumda, SGRT aynı zamanda bir kalite kontrol aracı olarak da kullanılabilir. Örneğin, masanın mekanik hareketi genellikle SGRT kullanılarak kolay ve hızlı bir şekilde doğrulanabilir.

Yeni Gelişen Uygulamalar ve İş Akışları İçin SGRT'yi Benimserken Risk Analizinin Önemi

Kullanıcı, ortaya çıkan herhangi bir uygulama veya yüzey görüntülemeyi içeren yeni klinik iş akışı için bir risk değerlendirmesi yapmalıdır. Bu protokolden veya diğerlerinden belirli QA önerilerinin olmaması durumunda, risk analizi uygun QA testinin ve sıklığının belirlenmesine yardımcı olur. Herhangi bir kapasitede yüzey görüntülemeyi içeren hasta iş akışı, kullanımdan önce tanımlanmalı ve analiz edilmelidir. Süreçteki potansiyel riskler veya zayıf noktalar, klinik uygulamadan önce değerlendirilebilir. Teorik olarak, örneğin çarpışma tespitine yüzey görüntülemenin uygulanması, hasta çarpışma riskini azaltmalıdır. Ancak analiz, bir süreçteki herhangi bir ekleme veya değişiklikte olduğu gibi yeni risklerin ortaya çıkmasını da dikkate alabilir.

ÖNEMLİ ÖNERİLER

SGRT QA için Öneriler

- TG-142 ve TG-147 kurallarına uyun
- Yeterli göze çarpan topografya, optimum görselleştirme için yansıtmayan veya opak, uçtan uca test için iç veya dış referanslar gibi özelliklere sahip mevcut SGRT sistemlerine uygun bir fantom seçin.

- Devreye alma sırasında, SGRT'nin diğer görüntüleme modaliteleri ve tedavi izomerkeziyle çakıştığını doğrulamak için BT'den tedaviye kadar uçtan uca testi gerçekleştirin ve büyük ekipman değişiklikleri meydana geldiğinde bunu tekrarlayın.
- Uçtan uca test sırasında, SGRT ile lokalizasyon hatalarını en aza indiren TPS'de cilt şekillendirme için en uygun HU değerini bulun. BT ile ilgili faktörlerden (örn. çözünürlük, tarama hızı) kaynaklanan DICOM ve SGRT yüzeyleri arasındaki tutarsızlıkların DICOM tabanlı ilk setup doğruluğu üzerindeki etkilerine aşına olun.

Meme Kanseri Tedavisi İçin DIBH Önerileri

- Simülasyon sırasında tekrarlanabilir bir nefes tutma elde etmek ve iki BT taraması (FB ve DIBH) elde etmek için hasta seçimi ve eğitimi ile ilgili TG-76 yönergeleri izlenmelidir. Hem sistematik hem de rasgele hataları ölçmek için mümkün olduğunca BT'de DICOM veya kamerayla elde edilen yüzeyi kullanın.
- İlk tedavide ve sonrasında haftada en az bir kez başka bir IGRT yöntemi (MV, floroskopi, CBCT, MRI, vb.) ile sol taraflı kanserler için kalp pozisyonunu doğrulayın.
- FB (serbest nefes) yüzeyi ilk kurulum için ve "Tüm" ROI ile "Meme" ROI arasındaki kayıta tutarsızlıklar olarak ortaya çıkabilecek anatomik değişiklikleri tespit etmek için kullanılacaktır.
- Bolus ve alan eşleştirme ile tedavi kabul edilebilir ancak en az haftada bir kez başka bir IGRT yöntemiyle doğrulanmalıdır.
- Mümkün olduğunca otomatik ışın tutmayı (beam-

hold) etkinleştirin.

- Seçilen toleranslar kliniğe özgü olmalıdır. Bunlar yüzey tipine, sabitlemeye ve setup iş akışına bağlı olacaktır ancak klinik deneyim kazandıkça gözden geçirilmeli ve limitler sıkılaştırılmalıdır. DICOM referans yüzeyi için çoğu klinik, her boyutta 2–3° rotasyon ve 3–5 mm translasyon limitlerini karşılayabilmelidir.

Çerçevesiz SRS İçin İntrafraksiyon İzleme Önerileri

- İlk setup için BT simülasyonundan DICOM yüzeyini kullanın; intrafraksiyon izleme için dahili görüntüleme (yani, CBCT) ile doğrulandıktan sonra tedavi makinesinde alınan kamera kaynaklı bir yüzey kullanın.
- İzleme için kullanılan ROI alın, burun, şakak kemiklerini içermeli ancak çene ve gözler gibi hareketli anatomiyi hariç tutmalıdır.
- Tedavi sırasında yeniden konumlandırma gerekirse, dahili görüntüleme (örn. CBCT) ile yeniden doğrulayın ve yeni tedavi konumunu temsil etmesi için kamerayla alınan yeni bir yüzeyi tekrar elde edin.
- Minimum 1 mm'lik bir tolerans kullanılabilir, ancak masadan ayrılma etkilerinin planlanması ve dahil edilmesi için kullanılan PTV marjlarına bağlı olarak daha büyük olabilir.
- Çoklu lezyonların monoizosentrik tedavisi için SGRT kullanılırken dikkatli olunmalıdır ve karşılaştırılabilir hedef kapsama sağlamak için toleransların düşürülmesi gerekebilir.
- Setup ve genel tedavi verimliliğini artırmak için

6DOF yeniden konumlandırma özelliğini kullanmayı düşünün.

SONUÇ

TG-302, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki fizikçiler arasında yapılan bir anket tarafından belirlendiği üzere yaygın olarak benimsenen üç iş akışı için SGRT'nin klinik uygulamasına ilişkin rehberlik sağlar. Bunlar genel hasta konumlandırma, DIBH meme kanseri tedavisi ve çerçevesiz SRS. Bu iş akışları için referans yüzey tipi, ROI tasviri ve limit seçimi için öneriler sunulurken, rapor her bir vakanın medikal fizik uzmanı tarafından ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Tedavi ekibi, kayıt çıktısının raporda açıklanan, beklenen performanstan sapmasına neden olan durumları tanımaya ve gidermeye hazır olmalıdır. QA gereklilikleri TG-147 tarafından sıralanırken, bu rapor fantom seçiminin, referans görüntü kalitesinin, ROI tanımlamasının ve olası sistem kamerası tıkanıklıklarının QA sonuçlarını nasıl etkileyebileceğini vurgulamaktadır. SGRT'nin yeni ortaya çıkan klinik uygulamalardaki (örn. çarpışma tespiti ve kaçınma, biyometrik izleme) ve iş akışlarındaki (örn. SBRT, proton tedavisi) rolü açıklanmıştır. Son olarak, QA uygulamasını bilgilendirmek ve SGRT'nin kliniğe güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlamak için risk analizi önerilir ve raporda gösterilir.



Med. Fiz. Uzm. Ezgi Kiraz Ergen

1988 yılında İzmir’de doğdu. 2011 yılında Pamukkale Üniversitesi Fizik bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Acıbadem Üniversitesi’nde Sağlık Fiziği yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılından beri Acıbadem Bursa Hastanesi’nde çalışmaktadır.

AFRİKA' DA RADYOTERAPİ İHTİYACI-SESSİZ KRİZ DEVAM EDİYOR



Med. Fiz. Uzm: Özgür Temel

Giriş

2020 de yaklaşık 19.3 milyon kanser vakası görülmüş ve 9.9 milyon hasta hayatını kaybetmiştir. Önümüzdeki 20 yıllık dönemde yıllık hasta sayısının 30.2 milyona çıkması ön görülmektedir. GLOBOCAN verilerine göre dünya genelinde kanser vakalarının % 57 si düşük-orta gelir grubu ülkelerde görülmektedir ve bu hastaların %50 den fazlası radyoterapi tedavisine ihtiyaç duymaktadır.

IAEA her 1 milyon kişi için en az 1.5 adet lineer hızlandırıcı tavsiye etmektedir, buna göre günümüzde Kuzey Amerika da 12, Latin Amerika da 1.6, Avrupa da 5, Asya da 1 ve Okyanusya da 6 lineer hızlandırıcı her 1 milyon kişiye hizmet ederken Afrika için bu değer 0.3 olarak karşımıza çıkmaktadır ayrıca Afrika da 2020 yılından 2040 yılına kadar vaka sayısının 1.1 milyondan 2.1 milyona yükselmesi beklenmektedir. Mevcut durumda pek çok Afrika ülkesinde yeterli sayıda onkoloji merkezi bulunmadığı için hastalar neredeyse 6 ay tedavi sırası beklemektedir

Rakamlar açıkça Afrika da radyoterapi merkezlerine olan acil ihtiyacı gözler önüne sermektedir.

Sorunlar ve Çözüm Stratejileri

A. Mevcut Cihaz Parkı Eksikliklerinin Giderilmesi

Radyoterapi merkezleri pahalı ve kompleks yatırımlardır, bu durum yeni merkezlerin açılmasında ve mevcut olanların yenilenmesinde ciddi engel oluşturmaktadır. Sağlık bakanlığı özel merkezlere hasta/fraksiyon başına belirli ödemeler yaparak ve/veya ücretsiz arazi temini ve vergi muafiyeti gibi ayrıcalıklar tanıyarak özel sektör yatırımcılarını teşvik etmelidir. Günümüzde Kenya ulusal sağlık sigortası ve Tanzanya sağlık bakanlığı tarafından uygulanmakta olan bu model ülke genelinde yeni merkezlerin açılmasında büyük destek olmaktadır.

Kamu-Özel iş birliği (KÖİ) modeli ile devlet/üniversite hastanelerine yatırım yapılmalı böylece hastalara ücretsiz tedavi imkanı sunulmalıdır. Bu noktada uluslararası yardım fonları garantör olmalı ve yurtdışından yatırımcılar davet edilmelidir.

B. Klinik Ekip

Sahra altı Afrika ülkelerinde radyoterapi bölümünde çalışmak üzere nitelikli klinik ekip yetiştirecek yeterli sayı ve donanımda eğitim kurumları bulunmamaktadır. Gerekli eğitim alt yapısını oluşturmak

uzun yıllar alacağından kısa vadede yurtdışından davet edilecek klinik ekipler sayesinde tedaviler yapılabilir uzun vade de ise yurtdışı üniversitelerden alınacak destekler ile üniversitelerde radyasyon onkolojisi bölümü kurularak akademik kadrolar yetiştirilmelidir.

C. Radyoterapi Merkezlerine Ulaşım

Hali hazırda kısıtlı sayıda olan radyoterapi merkezleri genellikle başkentlerde kümelenmiş diğer şehirlerden gelen hastalar için tedaviye ulaşmak daha zahmetli olmuştur. Nüfus yoğunluğu yüksek ve başkentlere uzak şehirler önceliklendirilerek uydu merkezler açılmalı. Tek enerjili, VMAT özelliğine sahip ve günlük yüksek sayıda hasta tedavi edebilecek ve basit iş akışına sahip lineer hızlandırıcılar tercih edilmelidir ayrıca kısıtlı sayıda medikal fizik uzmanı nedeni ile uzaktan bağlantılı tedavi planlama sistemleri ile tedavi planları başka merkezlerden yapılabilir böylece lokal merkezde bulunan medikal fizik uzmanın iş yükü azaltılabilir.

Dünya genelinde serviks C.A. vakalarının %20 si Afrika'da görülmektedir bu nedenle brakiterapi sistemlerine büyük ihtiyaç vardır. Lojistik zorluklar ve kompleks gümrük prosedürlerinden dolayı Co-60 kaynaklı brakiterapi sistemlerinin kullanımı daha uygun olmaktadır.

D. Sürdürülebilirlik

Geçmişte kurulan merkezlerde bakım anlaşmaları göz ardı edilmiş bu durum mevcut hizmetleri daha yetersiz hale getirmiştir. Yeni merkezler planlanırken cihazların kullanım ömrü boyunca aynı performansta çalışmasını sağlayacak bakım/onarım anlaşmaları yapılmalı bu kapsamda gerekli güncellemeler ve tekrar eğitimleri mutlaka yer almalıdır. Ayrıca hastanede kapsamlı yedek parça stoğu bulundurulması ve uzaktan servis desteği alabilen sistemlerin tercih edilmesi cihazların yüksek işletim süresi ile çalışması için çok önemlidir.

Ülke çapında kanser tedavisi stratejisi belirlemek ve uzun dönemli planlama yapabilmek için tanı ve tedavisi yapılan tüm hastaların kayıt altına alınması gereklidir bu amaçla tüm onkoloji merkezlerinde kanser kayıt sistemi kurulmalı ve bilgiler tek merkezde toplanmalıdır.

E. Sonuç

Afrika uzun yıllar boyunca HIV, sıtma, sarıhumma gibi pek çok bulaşıcı hastalığa karşı savaş vermiş ve yüksek seviyede başarıya ulaşmıştır. Artık kanser pek çok Afrika ülkesi için öncelikli sağlık sorunu haline gelmiş ve ulusal çapta planlar yapılmıştır. Yukarıda kısaca bahsettiğim tüm zorluklara rağmen bu mücadelenin başarılı sonuçlanacağına tüm kalbimle inanıyor ve ülkemizdeki yetişmiş klinik uzmanların bu noktada ciddi katkı sağlayabileceklerini düşünüyorum.



Med. Fiz. Uzm: Özgür Temel

10 yıl medikal fizik uzmanı olarak Acıbadem grubunda çalıştıktan sonra kariyerine Elekta bünyesinde aplikasyon uzmanı ve ürün yöneticisi olarak devam etti. Temmuz 2022'de Kenya'ya taşınarak 26 Afrika ülkesindeki hastalara modern tedavi teknolojilerini sunmak için tüm gücüyle çalışıyor.

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.



Close
the care
gap



**Dünya
Kanser Günü
4 Şubat 2023**

**Yaşamımızda
4 kişiden
Biri
Radyoterapi
Tedavisine İhtiyaç
Duymaktadır**



#CloseTheCareGap
worldcancerday.org

 medikalfizikdernegi

02-05 KASIM 2023
Hilton Dalaman / Sarıgerme



**19. ULUSAL MEDİKAL
FİZİK KONGRESİ**
2023

19. Ulusal Medikal Fizik Kongresi,
2 Kasım–5 Kasım 2023 tarihleri arasında Hilton
Dalaman Sarıgerme Otel’de
gerçekleştirilecektir. Kongre Düzenleme Kurulu
olarak siz değerli meslektaşlarımızı, Mustafa
Kemal Atatürk ve silah arkadaşlarının 29 Ekim
1923’te kurduğu Cumhuriyetimizin 100. yılında
gerçekleşecek olan 19. Ulusal Kongremize
davet etmenin haklı gururu ve mutluluğunu
yaşamaktayız. Sevgi ve Saygılarımızla,
Kongre Düzenleme Kurulu Adına
Kongre Başkanı
Doç. Dr. Aydın Çakır