



# PET/BT Teknolojisi ve Radyoterapide Kullanımı

## PET/CT Technology and Its Use in Radiotherapy

Yavuz Anacak, Mert Delikaya

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

### Öz

Pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi (PET/BT) günlük kullanıma girdikten çok kısa süre sonra radyoterapi uygulamalarındaki en güvenilir görüntüleme yöntemlerinden birisi haline gelmiştir. PET/BT radyoterapi pratiğinde tanı, evreleme, planlama ve izlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Radyoterapide PET/BT uygulamalarından hastalar için en iyi sonucu almak PET/BT cihazlarının temini, kurulması ve işletilmesi sırasında Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp arasında iş birliği ile mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** PET/BT, radyoterapi, radyoterapi planlaması

### Abstract

Positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) has become one of the most precise imaging modalities for radiotherapy applications shortly after its invention. In daily radiotherapy practice PET/CT is frequently used in diagnosis, staging, planning and follow-up of patients. Collaboration between Nuclear Medicine and Radiation Oncology is essential during purchase, installation and usage of PET/CT to get the maximum benefit for the patients.

**Keywords:** PET/CT, radiotherapy, radiotherapy planning

### Giriş

1895 yılında Almanya'da Konrad Röntgen'in X-ışınlarının keşfetmesi ve hemen bir yıl sonra da Fransa'da Henry Becquerel'in doğal radyoaktivitenin varlığının göstermesi radyolojik bilimlerin doğmasına neden olmuştur. Tıbbi görüntüleme ve tedavide radyolojik bilimler uzun yıllar radyoloji adı altında tek bir disiplin olmasına rağmen özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren radyoloji, radyoterapi ve Nükleer Tıp olarak birbirine yakın ama farklı tıp dalları haline gelmiştir.

21. yüzyıla beraber bilgisayar yazılım ve donanım teknolojilerindeki başdöndürücü gelişmelerin radyolojik bilimlere yansısıyla radyoloji, Nükleer Tıp ve radyoterapi disiplinlerinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Hücreye özgün çok sayıda yeni radyoizotopların geliştirilmesi ve bu radyoizotoplarla fonksiyonel ve radyolojik görüntüleme yöntemlerinin

birlikte kullanılmaya başlanması sonucunda pozitron emisyon tomografisi (PET) birkaç yıl içerisinde günlük onkoloji pratiğinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir (1).

### Radyoterapideki Gelişmeler

Teknolojik gelişmeler radyoterapi uygulamalarının da tamamen değişmesine yol açmıştır. 20. yüzyılın son on yılında geliştirilen ve bilgisayarlı tomografi (BT) kesitlerinin rekonstrüksiyonu temeline dayanan üç boyutlu radyoterapi uygulamaları ve hemen ardından yoğunluk ayarlı radyoterapi, volümetrik ark radyoterapisi, stereotaktik radyoterapi ve protonterapi yöntemleriyle günümüzde radyoterapi çok daha güvenilir şekilde uygulanan ve tümör etrafındaki sağlıklı doku ve organların daha az radyasyon dozuna maruz kaldığı, dolayısıyla erken ve geç yan etkilerin belirgin derecede azaldığı bir yöntemdir.

### Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Prof. Dr. Yavuz Anacak, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye  
Tel.: +90 555 551 28 03 E-posta: Yavuz.anacak@ege.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0002-2548-1109



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.  
Bu içerik, Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 ile lisanslanmıştır.

Radyoterapinin başarısı tümör kitlesinin ve bu kitlenin çevre doku ve organlara uzanımlarının çok iyi belirlenmesi ve buna uygun tedavi planının geliştirilmesine dayanmaktadır. Radyolojik ve Nükleer Tıp görüntülemesi olmadan tümörün sınırlarını ve yayılım alanlarını belirlemek mümkün değildir (2,3). Tümörün yanı sıra etraftaki sağlam doku ve organların sınırlarının ve tümör ile komşuluk ilişkilerinin de doğru biçimde görüntülenmesi önemlidir.

### **Radyoterapi Uygulamalarında PET/BT'nin Yeri**

En önemli Nükleer Tıp uygulamalarından birisi olan PET mevcut görüntüleme teknikleri arasında radyasyon onkologlarının tümör aktivitesini hedeflemek için tercih ettikleri en önemli yöntemdir. Fonksiyonel görüntüleme radyoterapi planlamasında, uygulamasında ve radyoterapi sonrası izlemde radyasyon onkoloğunun en önemli kılavuzlarından birisidir (1,4).

Çok sayıda araştırma, değişik izotoplarla PET görüntülemenin, radyoterapi planlamasında ve daha iyi doz dağılımı sağlanmasında etkili olduğunu göstermektedir. Enerji kullanan aktif dokuları gösteren ve tümör ile sağlıklı dokuların ayırt edilmesinde büyük katkı sağlayan F-18 florodeoksiglukoz en sık kullanılan izotop olmakla birlikte, diğer molekülleri işaretleyen ve farklı fonksiyonları görüntüleyen yöntemlerin kullanılması da mümkündür (5). Örneğin, tümörün radyodirençli olduğunu bildiğimiz hipoksik alanlarının, F-18 mizonidazol ile gösterilmesi bu bölgelere daha yüksek radyoterapi dozu planlanması ve tedavi başarısının artmasına katkı sağlayabilir (6).

Radyoterapi uygulamasının belirli zamanlarındaki görüntüleme, tümörün tedaviye verdiği yanıtın değerlendirilmesini sağlar. Tedavi yanıtına bağlı olarak, tümör volümleri veya radyoterapi dozu değiştirilebilir. Radyoterapi şeması devam eden ancak PET ile aktif tümördeki küçülmenin gösterilebildiği tümörlerde hedef volümlerin küçültülmesi sağlıklı dokuların radyasyon maruziyetini sınırlayarak toksisitenin azalmasına katkıda bulunur, yanıt vermeyen tümörlerde ise ek radyasyon dozu uygulamasına gidilebilir (2,3).

Radyoterapinin tamamlanmasından sonraki izlem sürecindeki PET görüntülemeleri tedavi yanıtı, erken nüks ve uzak metastazlar konusunda önemli bilgi vermektedir (4).

Radyoterapide fonksiyonel görüntülemeden en iyi verimi almak için PET kullanımının belirli kurallara ve uygulama ilkelerine bağlanması önemlidir. Her merkezdeki radyasyon onkolojisi ve nükleer tıp bölümleri merkezin olanakları, kendi deneyimleri ve ulusal-

uluslararası kılavuzlara dayanarak merkezin fonksiyonel görüntüleme uygulama kurallarını ve kılavuzunu geliştirmelidir (7,8).

Radyoterapi planlaması, uygulaması ve tedavi sonrası hasta izleminde PET kullanımı için genel aşamalar şu şekilde özetlenebilir (8):

- PET/BT'nin radyoterapi için kullanılması için gerekli altyapının sağlanması,
  - Uygulama kuralları ve kılavuzlarının geliştirilmesi,
  - Radyasyon onkolojisi ve Nükleer Tıp arasında gerekli koordinasyonun sağlanması,
  - Pratik uygulamada karşılaşılabilecek sorunların üstesinden gelebilmek için gerekli önlemlerin alınması.
- Bu hedeflerin uygulamaya konması ve kesintisiz sürdürülmesi için gerekli düzenlemeler şu şekilde sıralanabilir:

### **1. Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Çalışma Grubunun Oluşturulması**

Böyle bir grubun oluşturulması her iki disiplinin de bir arada çalışma isteğinin göstergesidir. İki taraftan da sadece hekimler değil, sağlık fizikçileri, teknikerler ve hemşireler de bu grupta temsil edilmelidir. Bu grubun görevleri:

- Görüntüleme cihazlarının seçiminde radyoterapi ekipmanları ile uyumluluğun sağlanması,
- Radyoterapi bölgelerine göre endikasyonların oluşturulması,
- Görüntüleme protokollerinin oluşturulmasında radyoterapi gerekliliklerine dikkat edilmesi,
- Teknik veya lojistik sorunların çözülmesi,
- Her iki bölüme de yeterli aydınlatıcı bilgilerin zamanında aktarılması,
- Kalite kontrol sistemi oluşturulması,
- Protokollerin ve kılavuzların uygulanmasının izlenmesi.

### **2. Nükleer Tıp ve Radyasyon Onkolojisi Arasında Hasta ve Bilgi Akışının Düzenlenmesi**

- PET/BT istemi radyasyon onkoloğu tarafından talep edilmeli ve nükleer tıp uzmanı tarafından onaylanmalıdır. İstem belgesinde tümörün tipi, lokalizasyonu, radyoterapi uygulanacak alan, daha önceki tedaviler yer almalıdır.

- Nükleer Tıp görüntülemesi radyoterapi tedavi pozisyonunda ve hasta sabitleme ekipmanlarıyla yapılmalıdır. Görüntüleme sırasında hasta pozisyonu radyasyon onkolojisi ekibiyle birlikte düzenlenmelidir.

- Çekim tekniği ve detaylarına (kontrast madde kullanımı, 4D görüntüleme vs.) birlikte karar verilmelidir

- Radyasyon onkoloğu ve Nükleer Tıp uzmanı hasta hakkındaki bilgilere aynı düzeyde ulaşabilmelidir. Gerekli dokümanlar hastane bilgi sisteminde, radyoterapi veya Nükleer Tıp bilgi sistemlerinde kolayca ulaşılabilecek durumda bulundurulmalıdır.

### 3. Personelin Eğitimi

- Her iki anabilim dalındaki ilgili personel Nükleer Tıp ve radyasyon onkolojisi arasındaki bilgi akışı ve uygulamaların sorunsuz işlemesi için eğitilmelidir.

- Sekreterler hasta randevularının uygun şekilde verilmesini sağlamalıdır.

- Nükleer Tıp teknikerleri görüntülemeyi radyoterapi pozisyonunda ve sabitleme cihazlarıyla yapmak için eğitilmelidir.

- Radyoterapi fizikçileri PET verilerinin radyoterapi planlaması için kullanabilmelidir.

- Nükleer Tıp uzmanları tümör yayılımını radyasyon onkologlarına aktarmalı, görüntüleri radyoterapi için uygun formatta hazırlamalıdır.

- Radyasyon onkologları nükleer görüntüleme yöntemlerinin özelliklerini ve sınırlılıklarını bilmelidir.

### 4. Altyapının Hazırlanması

- PET/BT cihazında elde edilen görüntülerin radyoterapi planlamasında kullanılabilmesi için tedavi pozisyonunda ve sabitleme ekipmanlarıyla pozisyonlamanın yanı sıra cihazda bazı modifikasyonlar da gereklidir

- Geniş gantri açıklığı: BT ve PET/BT cihazlarının standart gantri açıklığı 70 cm'dir. Hastanın tedavi cihazında nötral pozisyonda yattığı tanısal görüntüleme için bu açıklık yeterli olmakla birlikte, pek çok radyoterapi uygulamasında hastalara farklı pozisyonlar verilmekte, çeşitli pozisyonlama ve sabitleme ekipmanları kullanılmaktadır. Hastaların bu pozisyonlarda ve bu ekipmanlarla standart gantri açıklığı olan cihazlarda görüntülenmesi çoğunlukla mümkün değildir. Son yıllarda radyoterapi planlaması kullanımına uygun 80-90 cm geniş gantri açıklığına sahip cihazlar geliştirilmiştir.

- Karbon fiber ve düz masaüstü: Radyoterapi için kullanılan lineer hızlandırıcıların tedavi masası üzerinde indeksleri bulunan düz ve karbon fiber yapıdadır. Bu sayede hastanın her tedavi gününde sabit şekilde pozisyonlanması, indeksler aracılığıyla submilimetrik hata payı ile sabitlenmesi ve karbon fiber yapı sayesinde radyasyon doz saçılması ve absorpsiyonunun en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Radyoterapi planlaması için kullanılacak PET/BT masalarının da merkezde bulunan radyoterapi cihazları ile benzer indeks sistemine sahip

karbon fiber yapıda masa üstüne sahip olması son derece önemlidir.

- Eksternal lazerler: Güncel radyoterapi uygulamaları tedavi volümünün içinde bir eşmerkez (izocenter) belirlenmesi ve hasta pozisyonlaması ile tedavi cihazının tüm hareketlerinin bu eşmerkeze göre ayarlanmasına dayanmaktadır. Radyoterapi volümünün ortasında belirlenen eşmerkezin hasta derisi üzerindeki izdüşümleri ise PET/BT ve tedavi odalarının duvarlarına yerleştirilen üçlü lazer sistemi ile belirlenmektedir. Bu şekilde hastanın planlama ve tedavi sırasında milimetrik hata payı ile pozisyonlaması sağlanır.

- Yeni bir PET/BT satın alınması ve kurulumunda yukarıda sıralanan ve radyoterapi planlaması için zorunlu olan özelliklere dikkat edilmesi ve radyasyon onkolojisi ile iş birliği yapmak sistemin sorunsuz çalışması için önemlidir.

### 5. Çekim

-PET/BT çekimi hastanın radyoterapi sırasındaki pozisyonunda ve aynı sabitleme ekipmanları (maske, eğik düzlem, vakum torbası vs.) kullanılarak çekim yapılmalıdır.

-Radyoterapi planlaması için en uygun kesit kalınlığı seçilmelidir.

-Tüm vücut kesitinin çepeçevre FOV içinde olması sağlanmalıdır.

-Radyoterapi için uygun çekim parametreleri (kV mAs) kullanılmalıdır.

-IV kontrast kullanımına radyasyon onkoloğu ile birlikte karar verilmelidir.

-Radyoterapide kullanılacak solunum ayarları (inspiyum-ekspiryum, mümkünse 4D BT) ile çekim yapılmalıdır.

### 6. Kalite Kontrolü

-Radyoterapi uygulamalarında cihazın mekanik parametrelerinin ve ışın çıkış geometrisinin hassasiyeti son derece önemlidir. Bu parametreler düzenli aralıklarla ölçülerek edilerek kalite kontrolü yapılmalıdır.

- Lazerler,
- Masanın düzlüğü,
- Z-aksı hasta pozisyonlaması,
- Hounsfield skalası kontrolü,
- Veri transferi,
- PET kalite kontrolleri,

- Bütün parametreleri ve prosedürleri içeren bir kalite kontrol sistemi geliştirilmelidir.

### Sonuç

Nükleer Tıp görüntüleme kanser tanısı, hastalığın yaygınlığının saptaması, nükslerin ve yan etkilerin değerlendirilmesinde radyasyon onkoloğunun vazgeçilmez desteğidir. Radyoterapi planlaması için uygun koşullarda elde edilen PET/BT görüntüleri üzerinde radyasyon onkolojisi ekibi başka bir radyolojik görüntülemeye ve simülasyona gerek kalmadan bir radyoterapi planı geliştirebilir. Bu da PET görüntülerinin doğrudan radyoterapi planlamasında kullanılmasını sağlayacağı gibi, yeni bir BT simülasyonu için zaman kaybını önler, hastanın ilave radyasyon almamasını sağlar ve ekonomik olarak da simülasyon için BT çekimi maliyetini ortadan kaldırır. PET/BT'nin simülasyon amaçlı kullanılması için cihazın temini, kurulması ve işletilmesi sırasında radyasyon onkolojisi ile iş birliği yaparak gerekli koşulların sağlanması ve düzenlemelerin yapılması ile mümkündür. Tüm bunları sağlayacak en önemli koşul ise iki disiplin arasında karşılıklı fayda ve güvene dayanan kuralları net olarak belirlenmiş sürekli bir iş birliğinin oluşturulmasıdır.

### Kaynaklar

1. Fonti R, Conson M, Del Vecchio S. PET/CT in radiation oncology. *Semin Oncol* 2019;46:202-209.
2. Grosu AL, Piert M, Weber WA, et al. Positron emission tomography for radiation treatment planning. *Strahlenther Onkol* 2005;181:483-499.
3. Isnardi V, Thureau S, Vera P. Impact of positron emission tomography with computed tomography for image-guided radiotherapy. *Cancer Radiother* 2020;24:362-367.
4. Decazes P, Thureau S, Modzelewski R, Damilleville-Martin M, Bohn P, Vera P. Benefits of positron emission tomography scans for the evaluation of radiotherapy. *Cancer Radiother* 2020;24:388-397.
5. Schutze C, Krause M, Yaromina A, Zips D, Baumann M. [Nuclear medicine meets radiation therapy- the radiooncologist's view]. *Nuklearmedizin* 2010;49(Suppl 1):S11-15.
6. Giraud N, Popinat G, Regaieg H, Tonnelet D, Vera P. Positron-emission tomography-guided radiation therapy: Ongoing projects and future hopes. *Cancer Radiother* 2020;24:437-443.
7. The Role of PET/CT in Radiation Treatment Planning for Cancer Patient Treatment: International Atomic Energy Agency; 2008.
8. Modzelewski R, Gensanne D, Hapdey S, Gouel P, Vera P, Thureau S. How to work together between nuclear medicine and radiotherapy departments? *Cancer Radiother* 2020;24:358-361.