

PET/MR

İlhan Erden 

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- PET/MR tekniğinin temel prensiplerini kavramak
- PET/MR tekniğinin avantajlarını ve sınırlamalarını anlamak
- PET/MR'ın en önemli klinik uygulama alanları hakkında fikir sahibi olmak

Erden İ. PET/MR. Trd Sem 2020; 8: 285-293.

GİRİŞ

Günümüzde, “eş zamanlı PET/MR” olarak bilinen yeni ve heyecan verici bir hibrit görüntüleme tekniği klinik arenaya girmiştir. PET/MR ile ilgili araştırmalar, PET/BT'nin ilk protipleri geliştirilmeden önce başlamıştır. İlk çalışmalar, 1997 yılında S.R. Cherry ve P. Marsden'in içinde bulunduğu grup tarafından yayınlanmıştır [1].

PET/MR gibi yüksek düzeyde entegrasyonu gerçekleştirmenin teknik, pratik ve klinik açıdan çok sayıda zorluğu vardır. MR'ın PET üzerinde, PET'in de MR üzerinde potansiyel fizik etkileşimleri çok fazladır. Öncelikle PET donanımları ve PET sinyallerinin, manyetik alan tarafından engellenmemesi, tam ve sınırsız MR performansı elde etmek için de PET sisteminin, elektromanyetik MR alanlarını ve sinyallerini engellememesi gerekmektedir [2].

PET/BT'DEN PET/MR'A GEÇİŞ

Onkolojide yaygın kullanılan PET/BT gibi mükemmel bir teknik varken PET/MR'a neden ihtiyaç duyuldu?

PET/BT'de BT anatomik lokalizasyon sağlarken, PET/MR'da MR anatomik bilgiler yanında fizyolojik, metabolik ve moleküler bilgiler vermektedir. **PET/MR'ın PET/BT'ye göre en önemli avantajı radyasyon maruziyetinin düşük olmasıdır.** MR'ın mükemmel yumuşak doku kontrastı, yüksek uzaysal ve temporal çözünürlüğü, PET/BT'ye tercih edilmesinde önemli bir etkidir. Ayrıca MR'ın, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, perfüzyon ağırlıklı görüntüleme ve MR spektroskopisi gibi kantitatif veriler sağlayan özellikleri, PET/MR'a önemli üstünlük sağlamaktadır (Tablo 1) [1-3].

PET/MR'ın bir diğer avantajı, hem MR hem PET gerektiren hastalarda bu incelemelerin eş zamanlı olarak tek seferde gerçekleştirilmesidir. Birleşik bir tek inceleme hem hasta hem de hastane için anlamlı faydalar sağlayabilir [1-3].

PET/MR'IN ZORLUKLARI

Doku atenüasyon haritalarının hesaplanması: Doku atenüasyonunun tam hesaplanmasının temel amacı, dokudaki PET izleyici tutulumunun sayısal ölçümünü elde etmektir.

Tablo 1: PET/BT ve PET/MR'ın Avantajları ve Sınırlamaları

	PET/BT	PET/MRG
Avantajlar	Yüksek çözünürlüklü anatomi Mümkün olan en iyi füzyon Yarı eş zamanlı görüntüleme Gürültüsüz/hızlı atenuasyon düzeltmesi Hızlı tüm vücut görüntüleme	MR'ın yüksek yumuşak doku kontrastı Eş zamanlı görüntüleme imkanı Daha az radyasyon (MR=0) MR upgrade=yeni MR sekansları
Sınırlamalar	Radyasyon maruziyeti (BT'den) Lokal hareket kaynaklı yanlış hizalama Sadece yarı-eş zamanlı çekim Üst donanım modeline geçilmesi zor PET geri ödemelerinde yaşanan sıkıntılar	MR uyumlu PET detektörü MR tabanlı atenuasyon düzeltmesi PET/MR dizaynının sınırlamaları Hasta konforu Klinik uygulamalar ve araştırmalar az

Kaynak: Ratib ve ark. [3].

Standart izleyici tutulumunun (SUV) yarı sayısal hesabı bugün kullanılan en yaygın ve en basit yöntemdir [2].

Hibrit görüntüleme protokollerinin zorlukları: PET/MR'ın en sıkıntılı yönlerinden biri kullanılan protokollerin karmaşık ve heterojen olmasıdır. Karmaşık MR protokollerinin kombinasyonu inceleme süresini uzatır. Bu nedenle, MR sekansları her iki yöntemin kapasitesinden maksimum yararlanacak şekilde optimize edilmelidir [2].

PET/MR SİSTEM TASARIMI

PET/MR sistemlerinin ilk tasarım konseptleri 2006 yılında sunuldu. MR yöntemi, PET için mükemmel bir tamamlayıcı olarak görülmektedir. PET ve MR'ın kombine edilmesi için 3 farklı tasarım geliştirilmiştir [2-5]:

- PET/BT-MR shuttle sistemi
- Eş düzlemlili (co-planar) PET/MR
- Eş zamanlı (entegre) PET/MR

PET/BT-MR Shuttle Sistemi (Triomodality)

General Electric firması, 2010 yılı sonlarında basit bir tasarım önerdi. Bu sistem bitişik

odalarda PET/BT ve 3T MR cihazlarının kombinasyonlarından oluşuyordu. Hastaya önce PET/BT çekildikten sonra bir mobil yavaşıtma masası ile MR tetkiki yapılmaktaydı [2, 3].

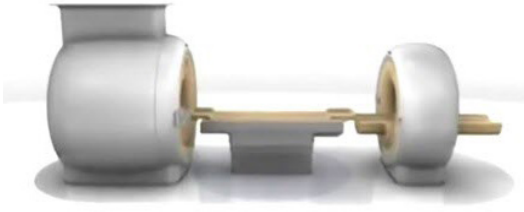
Eş Düzlemlili (Co-planar) PET/MR

Philips 2010 yılında; PET/MR için biraz daha entegre bir yaklaşım önerdi. Sistem 'TOF-PET' ile 3 Tesla MR cihazlarını birleştiren eş düzlemlili bir tasarım konseptine dayalıdır. Her iki cihaz arasına monte edilmiş döner masa platformu ile birleştirilmiştir (Şekil 1) [2, 3].

Bu her iki sistemin en önemli eksikliği, eş zamanlı inceleme yapılamamasıdır. Ayrıca bu sistemlerde, tarama geçişi esnasında hasta hareketlerinden kaynaklanan kayıt hatalarının düzeltilmesi zordur [2, 3].

Eş Zamanlı (Entegre) PET/MR

Klinik kullanım amacıyla ilk entegre PET/MR 2006 yılında sunuldu. Bu PET/MR sisteminin prototipi (Brain PET/MR Siemens Healthcare) ile sadece beyin görüntülenebilmekteydi. Eş zamanlı sistem, PET dedektörlerinin ve elektronik donanımının, MR tarayıcısının içine tam entegrasyonu teknik açıdan, her iki alt sistemde önemli değişiklikler gerektirdiğinden, en zorlayıcı yaklaşımdır. Ancak, bu yöntemin

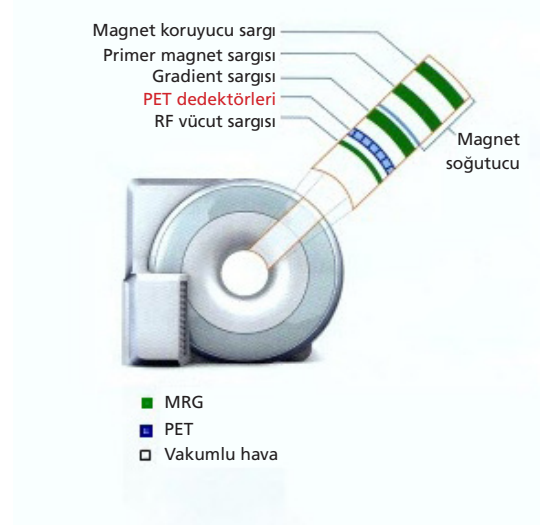


Şekil 1. Eş düzlemlı PET/MR sistemi.

Kaynak: Philips Ingenuity TF PRT/MR.

yeni tanı ve araştırma olanakları için var olan yüksek potansiyeli, bu tasarımın inkar edilemez en önemli avantajıdır [2-5].

“Tüm vücut entegre PET/MR” ilk olarak 2010 yılında klinik kullanıma sunuldu. Entegre PET/MR’ın en önemli özelliği, PET ve MR verilerinin eş zamanlı olarak elde edilmesidir (Siemens Biograph mMR) (Şekil 2) [2-6].



Şekil 2. Eş zamanlı PET/MR sistemi.

Kaynak: Quick et al. [6].

2014 RSNA toplantısında silikon foton çoğaltıcı tüplerin (SFÇT) tanıtımı, bu sorunun çözümüne yönelik önemli bir adım olmuştur [2, 4, 5].

Temporal rezolüsyonun 1 nanosaniyenin altında olması, TOF (time of flight) yapabilen sistemlere olanak sağlar (GE-SIGNA PET/MR). TOF teknolojisi; PET kamerasında saptanan sinyalin yeri ile ilgili belirsizliği azaltarak foton sayımlarına bağlı gürültünün azaltılması ve dolayısıyla sinyal-gürültü oranının iki kat artmasını sağlar. Böylelikle, daha iyi PET görüntü kontrastı sağlanması ve daha düşük dozda, daha kısa sürede kaliteli PET görüntülerinin elde edilmesini mümkün olur [2-5].

PET/MR’DA ÇÖZÜMLENEN TEKNİK ZORLUKLAR

MR Uyumlu PET Dedektörleri

PET dedektör yapısında bulunan ve fotonları elektrik sinyallerine çeviren foton çoğaltıcı tüpler (FÇT) dış manyetik alana son derece hassastırlar. PET/MR’da en önemli teknik gelişme güçlü manyetik alanda dahi gama kuantumunu tespit edebilen ve tespit edilen bulguları sintilasyon ışığından elektrik sinyallerine çevirebilen lütesyum oksitortosilikat (LSO) kristalleri ile avalans fotodiyotlarının (AFD) kombinasyonu olmuştur. LSO ile AFD kombinasyonunun diğer bir avantajı FÇT’lere göre daha az yer kaplaması ve MR cihazının içine entegre edilebilmesidir (Şekil 3, 4) [2-4, 6].

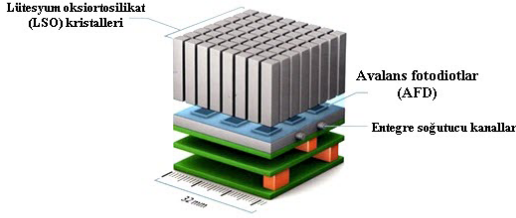
Avalans fotodiyotlarının en önemli dezavantajı temporal rezolüsyonunun düşük olmasıdır. Temporal rezolüsyonun iyileştirilmesine ilişkin

Radyofrekans Shielding

PET/MR’da zamanla değişen güçlü MR alanları ile PET dedektörü arasında etkileşim olmasını önlemek için gereklidir [2].

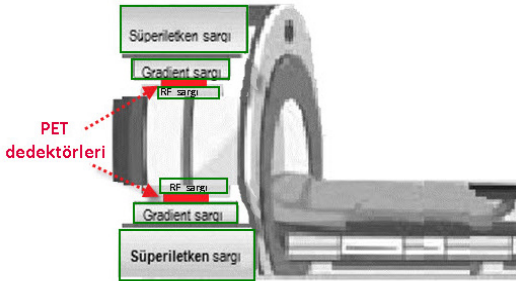
Atenüasyon Düzeltme (AD)

Gama ışınları, vücuttan geçerken enerjilerinin bir kısmını kaybederler. Vücuttaki radyoaktivite dağılımının görüntüsünü doğru bir şekilde yansıtmak için çeşitli doku ve organların atenüasyonları dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde, PET tekniğiyle elde edilen veriler hatalı olur. PET görüntüleri atenüasyon düzeltilmesi



Sekil 3. MR uyumlu PET dedektör yapısı.

Kaynak: Quick et al. [6].



Sekil 4. PET dedektörleri (kırmızı oklar). Detektör, RF koilin arkasına yerleştirilmiştir.

(AD) yapılmadan elde edilirse, artefakt oluşmakta ve radyofarmasotik tutulumunun sayısal değerlendirilmesinde (SUV) önemli hatalar ortaya çıkmaktadır. PET/BT’de atenuasyon düzeltmesi için elde edilen BT görüntüsü kullanılmaktadır. BT verilerinin AD’de kullanılabilmesi için 511 Kev düzeyindeki atenuasyon katsayılarının karşılığı olan değerlere dönüştürülmesi gerekir [2-5].

MR tabanlı AD, MR görüntülerini atenuasyon haritalarına direkt olarak çeviremez, çünkü MR elektron dansite bilgisi sağlayamaz. MR

sinyalini oluşturan proton dansitesi, hava ve kemik dokuda düşüktür. Farklı atenuasyon karakteristikleri olan bu dokuların atenuasyonunun düzeltilmesi zordur. **MR tabanlı atenuasyon düzeltmesi için, Dixon tekniği kullanılmaktadır.** Dixon tekniği, 4 sınıf segmentasyon sağlayarak hastanın su ve yağ bileşenlerinin ayrı ayrı görüntülenmesine olanak verir. Bu yöntem, sadece yağ, sadece su ve yağ-su görüntülerinin rekonstrüksiyonunu sağlar ve hava, yağ, kas ve akciğerler için doku bölütlemesine imkan verir. Tüm imaj grupları, hava ve akciğerlerin sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi için kullanılır. Bu yaklaşımla kemik dikkate alınmaz. İlk sonuçlar, bu yaklaşımın güvenilir bir şekilde çalıştığını göstermiştir [2-5].

PET/MR ARTEFAKTARI

Donanım ve Tasarım

Trunkasyon artefaktı: PET/MR sistemlerindeki aksiyel FOV’un, PET’inkine kıyasla daha küçük olmasından kaynaklanır. Kollarda kesilme (Trunkasyon) etkisine neden olur.

Çözüm: Özel rekonstrüksiyon algoritmaları kullanılması [2].

İnhomojenite artefaktı: Aksiyel görüntüleme alanlarının kenarlarında görülür. Ana manyetik alanın sınırlı homojenitesinden kaynaklanır. Kollarda, sinüzoidal kenar artefaktı şeklinde görünür. Çoğunlukla trunkasyon artefaktı ile beraberdir.

Çözüm: Hastaların mümkünse maksimum transvers FOV içinde konumlandırılması [2].

İstemsiz hasta hareketi: PET/MR görüntülerinde yanlış hizalama ve bulanıklaşmaya neden olabilir.

Çözüm: Gating teknikleri ya da MR tabanlı navigatör işlemi [2].

Atenuasyon Katsayıları Dönüşümü

Kemik dokunun dikkate alınmaması: Kemik içeren bölgeler, PET aktivitesinin ardışıklığı ve atenuasyonunun, olduğundan daha az

gösterilmesine ve PET görüntülerinde sinyal kaybına neden olur.

Çözüm: Atlas tabanlı algoritma, ultrashort TE sekansı [2].

Metalik implantlar: MR'da metalik implantlara ait görüntü-sinyal kayıpları, MR tabanlı atenuasyon haritalarında hava dolu boşluklar olarak sınıflandırılır ve PET görüntüsünde sinyal kaybına neden olur.

Çözüm: Sinyal kayıplarının yarı iç boyama tekniği ile yumuşak doku ile değiştirilmesi [2].

Doku inversiyonu: MR atenuasyon düzeltmede, 4 sınıf doku segmentasyon tekniği başarısız olabilir ve ters doku sınıflandırması ile sonuçlanır (karaciğer dokusu akciğer dokusu şeklinde segmente edilebilir).

Çözüm: Geriye dönük manuel işlem ya da görüntülerin yeniden segmentasyonu [2].

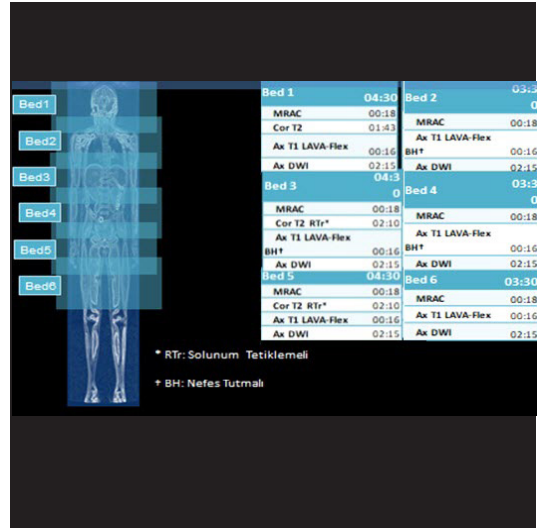
MR kontrast maddeleri: Kontrast maddeler, atenuasyon düzeltme -PET verisinin sapmasına ya da MRAD'de yanlış doku sınıflandırmasına neden olabilir.

Çözüm: Atlas tabanlı gibi ileri atenuasyon düzeltme algoritmaları [2].

PET/MR İŞ AKIŞI

PET/MR görüntülemenin, sadece bir organa ya da bir bölgeye mi odaklanacağı ya da tüm vücut görüntüleme mi yapılacağı önceden planlanmalıdır. İnceleme süresinin kısa olması için sekanslar dikkatle seçilmelidir. Eş zamanlı tüm gövde PET/MR için, öncelikle verteksten dizlere kadar, PET yatakları (anatomik istasyonları) seçilir. PET atenuasyon düzeltmesi için anatomik sınır işaretlemelerinin yapılmasından sonra, aksiyel ve koronal MR sekansları belirlenir (Şekil 5, 6). Ünitemizde, tüm gövde inceleme süresi 25 dakika, organa yönelik eş zamanlı PET/MR inceleme süresi ise 20 dakika civarındadır.

PET/MR'da, genellikle Flor¹⁸ ile işaretlenmiş FDG (fluoro-2-deoksi-D-glukoz) kullanılmaktadır. Bu maddenin yarı ömrü 110 dakikadır. Bu nedenle, günlük pratikte en çok kullanılan



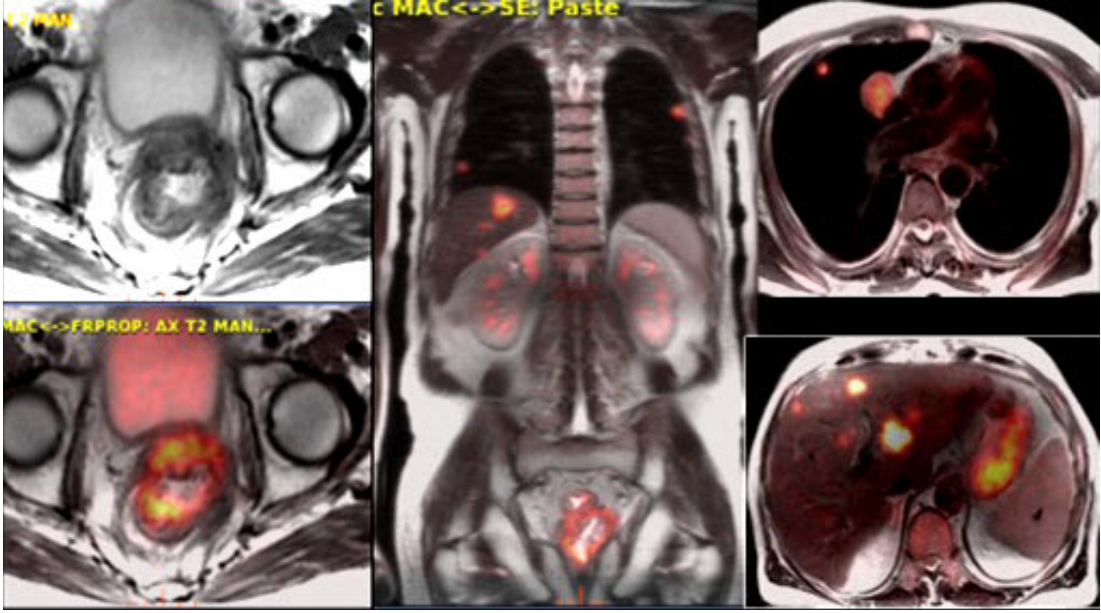
Şekil 5. Tüm gövde eş zamanlı PET/MR iş akışı ve MR sekansları.



Şekil 6. Organa (prostat) yönelik eş zamanlı PET/MR iş akışı ve MR sekansları.

radionükliddir. Pozitron yayıcı radionüklidler siklotron adı verilen sistemlerde yapay olarak oluşturulurlar [2-5]. PET'de kullanılan izotoplar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Dünya genelinde, 2016 yılı itibarıyla, 150'den fazla PET/MR cihazı kullanımdadır [7]. Ülkemizde, üçü üniversite hastanelerinde, biri özel kurumda olmak üzere 4 PET/MR cihazı bulunmaktadır. Ankara Üniversitesi'nde PET/MR çalışmaları Radyoloji ve Nükleer Tıp Anabilim Dalları öğretim üyeleri ve uzmanları



Sekil 7. Rektum kanseri olgusu. Flor 18-Fluorodeoksiglukoz PET/MRG’de, rektum duvarındaki primer tümörde, karaciğer ve akciğerdeki metastatik kitlelerde patolojik radyoaktivite tutulumu.

Kaynak: Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji-Nükleer Tıp Anabilim Dalı Arşivi’nden.

Tablo 2: PET’de Kullanılan İzotoplar

İzotop	Yarılanma ömrü (dakika)
Oksijen 15 (O-15)	2
Nitrojen 13 (N-13)	10
Karbon 11 (C-11)	20
Galyum 68 (Ga-68)	68
Flor 18 (F-18)	110

tarafından ortak yürütülmektedir. Ankara Üniversitesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı’nda yer alan siklotron cihazında yarılanma ömrü kısa olan radyoizotoplar üretilmektedir. Bu da, yeni araştırmalara olanak sağlamaktadır.

İŞLETİM GEREKSİNİMLERİ VE RAPORLAMA

Altyapı bakımından, departmanlar arasında belirli bir seviyede işbirliğinin gerçekleştirilmesi ve hatta bazı durumlarda, yeniden yapılandırılma yapılması gerekmektedir. Bunun amacı, Nükleer Tıp ve Radyoloji personellerini birbirine yakınlaştırmaktır. PET/MR cihazının çalıştırılması konusunda teknik personele çift

eğitim verilmesi gerekirken, diğer bir uzun süreç gerektiren konu, Radyoloji uzmanları ve Nükleer Tıp hekimlerinin çapraz eğitime tabii tutulmalarıdır. Radyoloji ve Nükleer Tıp uzmanları, birlikte tartışarak bilgilerini tek bir raporda birleştirmeleri için zorlanmalıdır [2-3]. Cenevre Üniversitesi Nükleer Tıp profesörü Dr. Osman Ratib’in öngörüsüne göre, bu tutum, gelecek yıllarda çok takdir edilecek ve her iki anabilim dalı için bir kazanım olacaktır [3].

KLİNİK UYGULAMALAR

Onkolojik Uygulamalar

PET/MR’ın en yaygın kullanım alanı onkolojidir. MR’ın mükemmel yumuşak doku kontrast çözümüleme gücü nedeniyle, PET/MR, beyin, baş-boyun, akciğer, abdomen, pelvis, çocukluk çağı kanserleri ve lenfoma olgularının evrelendirilmesinde, tedaviye yanıtın belirlenmesinde ve radyasyon tedavisinin planlanmasında kullanılmaktadır (Şekil 7) [2, 3, 5-8].

Hirsch ve ark. [8], PET/MR’ın efektif dozunun PET/BT’nin %20’si kadar olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle PET-MR’ın ek tetkik ve takip gerektiren pediatrik hasta grubunda ve genç

erişkinlerde kullanım alanı yaygındır.

PET/MR, yalnız tümör yanıtı değil neoadjuvan tedavi sonrası tümörün cerrahi rezeksiyon için uygunluğu açısından yeniden değerlendirilmeye olanak sağlar. Akciğer kanseri ve mediastinal lenf nodlarının değerlendirilmesinde ise, PET/BT hali hazırda daha hızlı bir yöntem olarak tercih edilmektedir [1-8].

Onkoloji Dışı Uygulamalar

Nörolojik hastalıklar

PET/MR demans değerlendirilmesinde önemli bir role sahiptir. Ayrıca, epilepsi olgularında, epileptojenik odağın saptanmasında PET/MR'ın tanısal etkinliği MR ve PET/BT'den daha yüksektir. Nöropsikiyatrik hastalıklarda da PET/MR gelecekte önemli bir kullanım alanı olacaktır. Onkolojik ve nörolojik görüntülemelerde spesifik, güvenilir, sensitif radyofarmasitüklerin sağlanması ve yeni sekansların geliştirilmesi ile PET/MR'ın kullanım ve etkinliği artacaktır [5].

Kardiyovasküler hastalıklar

PET/MR'ın koroner arter hastalığının saptanmasında, iskemik-non iskemik kardiyomyopati-lerin ayrımında, myokardiyal viabilitenin ve enflamatuvar hastalıkların değerlendirilmesinde katkısı beklenmektedir. Kardiyak tümörler PET/MR'ın uygulanabileceği bir diğer klinik kullanım alanıdır [5].

SONUÇ

PET/MRG'ın tekniğine ilişkin sorunlar, günümüzde büyük ölçüde giderilmiştir. Klinik uygulamalar, yöntemin PET/BT ile karşılaştırılmasının artık, çoğu olgu için gerekli olmadığını göstermektedir. MR tabanlı atenüasyon

düzeltilme, klinik kullanım için hali hazırda yeterli olup bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Karmaşık hareket düzeltilme ve sili-kon fotoçoğaltıcılarla ilgili teknik gelişmeler, görüntü kalitesinde önemli ölçüde iyileşmelere neden olmuştur. Birçok yeni radyofarmasitik ajan kullanımı için PET/MR, PET/BT'ye göre daha avantajlı görülmektedir. Daha hızlı ve veri değeri yüksek MR sekanslarını en etkili şekilde kullanarak inceleme süresini minimuma indirmek, hasta memnuniyetinin daha yüksek olduğu komplet taramalara olanak sağlayacaktır. Kurumlar arasında MR protokollerini standartlaştırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir. Karşılaşılan sorunlara yönelik yenilikçi çözümler geliştirilmesi bu hibrit görüntüleme yönteminin başarısını arttıracaktır [5].

Kaynaklar

- [1]. Shao Y, Cherry SR, Farahani K, Meadors K, Siegel S, Silverman RW, et al. Simultaneous PET and MR imaging. *Phys Med Biol* 1997; 42: 1965-70. [\[Crossref\]](#)
- [2]. Carrio I, Ros PR. PET/MRI methodology and clinical applications. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2014. [\[Crossref\]](#)
- [3]. Ratib O, Schwaiger M, Beyer T. Atlas of PET/MR imaging in oncology. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2013. [\[Crossref\]](#)
- [4]. Delso G, Ter Voert E, Veit-Haibach P. How does PET/MR work? Basic physics for physicians. *Abdom Imaging* 2015; 40: 1352-7. [\[Crossref\]](#)
- [5]. Broski SM, Goenka AH, Kemp BJ, Johnson GB. Clinical PET/MRI: 2018 update. *AJR Am J Roentgenol* 2018; 211: 295-313. [\[Crossref\]](#)
- [6]. Quick HH, Ladebeck R, Georgi JC. Tüm vücut MR/ PET hibrit görüntüleme ile ilgili dikkate alınması gerekenler ve ilk sonuçlar. *İnovasyon Radyoloji Özel Sayısı*; 2011; 4: 20-32.
- [7]. Beyer T, Kalemis A. MR/PET imaging ready for clinical adoption. In: Whitepaper: MR/PET - Clinical Indications. Siemens Healthineers; 2019.p.2-4.
- [8]. Hirsch FW, Sattler B, Sorge I, Kurch L, Viehweger A, Ritter L, et al. PET/MR in children. Initial clinical experience in paediatric oncology using an integrated PET/MR scanner. *Pediatr Radiol* 2013; 43: 860-75. [\[Crossref\]](#)

PET/MR

İlhan Erden

Sayfa 285

PET/MR'ın PET/BT'ye göre en önemli avantajı radyasyon maruziyetinin düşük olmasıdır. MR'ın mükemmel yumuşak doku kontrastı, yüksek uzaysal ve temporal çözünürlüğü, PET/BT'ye tercih edilmesinde önemli bir etkidir. Ayrıca MR'ın, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, perfüzyon ağırlıklı görüntüleme ve MR spektroskopisi gibi kantitatif veriler sağlayan özellikleri, PET/MR'a önemli üstünlük sağlamaktadır.

Sayfa 286

PET ve MR'ın kombine edilmesi için 3 farklı tasarım geliştirilmiştir:

- PET/BT-MR shuttle sistemi
- Eş düzlemlili (co-planar) PET/MR
- Eş zamanlı (entegre) PET/MR

Sayfa 287

Entegre PET/MR'ın en önemli özelliği, PET ve MR verilerinin eş zamanlı olarak elde edilmesidir.

Sayfa 287

PET/MR'da en önemli teknik gelişme güçlü manyetik alanda dahi gama kuantumunu tespit edebilen ve tespit edilen bulguları sintilasyon ışığından elektrik sinyallerine çevirebilen lütesyum oksitortosilikat (LSO) kristalleri ile avalans fotodiyotlarının (AFD) kombinasyonu olmuştur. LSO ile AFD kombinasyonunun diğer bir avantajı FÇT'lere göre daha az yer kaplaması ve MR cihazının içine entegre edilebilmesidir.

Sayfa 287

Temporal rezolüsyonun 1 nanosaniyenin altında olması, TOF (time of flight) yapabilen sistemlere olanak sağlar (GE-SIGNA PET/MR). TOF teknolojisi; PET kamerasında saptanan sinyalin yeri ile ilgili belirsizliği azaltarak foton sayımlarına bağlı gürültünün azaltılması ve dolayısıyla sinyal-gürültü oranının iki kat artmasını sağlar.

Sayfa 288

MR tabanlı atenuasyon düzeltmesi için, Dixon tekniği kullanılmaktadır.

PET/MR

İlhan Erden

1. PET/MR'ın en önemli klinik uygulama alanı hangisidir?
 - a. Onkolojik hastalarda tümör tanısı ve evrelemesi
 - b. Karaciğer fibrozisinin saptanması ve evrelendirilmesi
 - c. Akciğer lezyonlarının değerlendirilmesi
 - d. Büyümüş lenf nodüllerinde benign-malign ayrımının yapılması
 - e. Nonalkolik yağlı karaciğer hastalığının saptanması
2. PET/MR ile ilgili en önemli teknik gelişme hangisidir?
 - a. Faz görüntüsü sağlama
 - b. Gating teknikleri ve MR tabanlı navigatör işlemi
 - c. Metalik artefakt giderme
 - d. Lütetium oksiyortosilikat kristalleri ile “avalanche” fotodiyotlarının kombinasyonu
 - e. Geriye dönük olarak görüntülerin yeniden segmentasyonu.
3. PET/MR'da atenuasyon düzeltmede kullanılan yöntem hangisidir?
 - a. STIR sekansı
 - b. Dixon tekniği
 - c. Eko planar görüntüleme
 - d. Dual eko yöntemi
 - e. Yağ baskılı T1 ağırlıklı görüntüleme
4. PET/MR'ın PET/BT'ye göre en önemli avantajı hangisidir?
 - a. Kontrast madde kullanılmaması
 - b. Gürültüsüz ve hızlı atenuasyon düzeltmesi
 - c. Radyasyon maruziyetinin olmaması
 - d. Kantitatif veri sağlama
 - e. İncelemenin kısa sürmesi
5. Time of flight (TOF) ile ilgili olarak aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?
 - a. Avalans fotodiyotları TOF yapabilme özelliğine sahiptir.
 - b. Silikon tabanlı foton çoğaltıcı tüpler TOF teknolojisine imkan vermektedir.
 - c. TOF yapılabilmesi için detektörlerinin temporal çözünürlüğünün 1 nanosaniyenin altında olması gerekir.
 - d. TOF tekniğinde SNR yüksektir.
 - e. TOF teknolojisiyle daha düşük dozda, daha kısa sürede kaliteli PET görüntüleri elde edilebilir.