Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı 2015 Aralık-2017 Şubat PET/MRG'nin Kullanımına Yönelik Deneyimimiz: İlk 1000 Olgudan Klinik Örnekler

Gazi Medical Faculty Nuclear Medicine Department's Experiences for Usage of PET/MRI Between December 2015-February 2017: Clinical Examples of First 1000 Cases

Uğuray Aydos, Ümit Özgür Akdemir, Mahsun Özçelik, Seda Gülbahar, Neşe İlgin Karabacak, Lütfiye Özlem Atay

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda Aralık 2015 ile Şubat 2017 tarihleri arasında toplam 1243 PET/MR görüntülemesi yapılmış olup, bunların 306'sı tüm vücut görüntüleme, 937'si ise bölgesel görüntüleme şeklinde olmuştur. Bölgesel PET/MR görüntülemelerinde en sık yapılan ilk üç görüntüleme; beyin (nöroloji-nöroonkoloji), abdomen ve meme görüntülemeleridir. En sık PET/MR görüntülemesi yapılan ilk üç endikasyon; akciğer nodülü ve akciğer kanserleri, gastrointestinal sistem kanserleri ve meme kanserleridir. Yazıda çeşitli klinik olgu örnekleri gösterilmiştir. Tecrübelerimiz sonucunda, simültane PET/MR'nin görüntüleme süresi nedeniyle hasta toleransının daha iyi olduğu, iyonize radyasyona daha az maruz bırakması nedeni ile pediatrik grupta tercih edilebileceği, primer/metastatik beyin tümörlerinde, abdominopelvik tümörler ile yumuşak doku sarkomlarında yüksek rezolüsyonu nedeniyle PET/BT'ye göre daha başarılı olduğu, FDG dışı yeni ajanların multiparametrik MR ile birlikte kullanımının hastalara spesifik yaklaşım potansiyelini artırabileceği düşünülmüştür. Klinik olarak PET/MR'nin etkin biçimde kullanılabilmesi için, tüm vücut ve bölgesel görüntülemelere göre uygun endikasyonların belirlenmesi ve görüntüleme protokollerinin optimizasyonu gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Onkoloji, PET/MR, PET/BT

Abstract

During December 2015 and February 2017, 1243 PET/MR images had been taken in Gazi Medical Faculty Nuclear Medicine Department. From those; 306 of them were whole body imaging and 937 of them were regional imaging. Most commonly taken regional imaging areas are brain (neurology-neurooncology), abdomen and breast. When we look at the most common PET/MRI indications: lung nodules and cancers, gastrointestinal cancers and breast cancers detected. There are several clinical case examples on the article. Our experiences showed that; simultaneous PET/MR imaging tolerated better by patients due to shorter duration. In pediatric patients because of lower ionizing radiation exposure PET/MRI can be chosen. In primary/metastatic brain tumors, abdominopelvic tumors and soft tissue sarcomas PET/MRI is better than PET/CT due to high resolution in those areas. Also multiparametric MR usage with non FDG tracers could bring specific approaches to patients. Clinically, for efficient use of PET/MRI, proper indications has to be made according to whole and regional body imaging and protocols need to optimized for imaging.

Keywords: Oncology, PET/MR, PET/CT

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Uğuray Aydos, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: uguray23@gmail.com

©Telif Hakkı 2017 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

Giriş

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda PET/MR ünitesi 29 Eylül 2015 tarihinden itibaren hasta görüntülemeye başlamıştır. Aralık 2015 ile Şubat 2017 tarihleri arasında geçen yaklaşık 14 aylık zaman diliminde toplam 1243 PET/MR görüntülemesi yapılmış olup, bunların 306'sı tüm vücut görüntüleme, 937'si ise bölgesel görüntüleme şeklinde olmuştur. Yapılan tüm vücut ve bölgesel görüntülemelerin 1135'i (%91) F-18 FDG, 71'i (%6) Ga-68 PSMA, 37'si (%3) ise Ga-68 DOTATATE kullanılarak yapılan görüntülemelerdir. PET/MR görüntülemeleri genellikle rutin tüm vücut PET/BT görüntülemesinden sonra yapılmış olup, enjeksiyon sonrası ortalama bekleme süresi 110 ± 56 dakikadır. PET/MR ünitesinde görüntülenen hastaların 1146'sı (%92) erişkin, 97'si (%8) ise pediatrik yaş grubundan hastalardır. Hastaların ortalama yaşı, 52 ± 18 'dir.

Bölgesel F-18 FDG PET/MR görüntülemelerinde en sık yapılan ilk üç görüntüleme; beyin (nöroloji-nöroonkoloji), abdomen ve meme görüntülemeleridir. Yapılan bölgesel görüntülemelerin vücut bölgelerine göre dağılımı Grafik 1'de verilmiştir.

Grafik 1. Bölgesel FDG PET/MR görüntülemelerinin dağılımı

Endikasyonlara göre PET/MR görüntülerinin dağılımına bakıldığında, PET/MR görüntülemesi yapılan ilk üç endikasyon; akciğer nodülü ve akciğer kanserleri, gastrointestinal sistem kanserleri ve meme kanserleridir. Bununla ilgili dağılım yüzdesi Grafik 2'de verilmiştir:

Grafik 2. Endikasyonlara göre PET/MR görüntülemelerinin dağılımı

Klinik Olgu Örnekleri

Primer ve Metastatik Beyin Tümörleri

1. Altmış dört yaş, erkek hasta. Primer akciğer kanseri tanılı hastada evreleme amacıyla, enjeksiyon sonrası 60. dakikada tüm vücut FDG PET/BT görüntülemesine ek olarak alınan beyin PET/BT görüntülemesi. BT görüntülerinde sağ temporal bölgede ödem ile uyumlu geniş hipodens alan izlenmekte olup, FDG PET görüntülerinde bu bölgede fizyolojik beyin aktivitesine göre minimal rölatif artmış FDG tutulum odağı izlenmektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan 100 dakika sonra alınan beyin PET/MR görüntülerinde fizyolojik beyin aktivitesine göre rölatif artmış FDG tutulum odağı izlenirken, alınan T2 ve T1 ağırlıklı MR görüntüleri ile arterial spin labeling (ASL) görüntüsünde beyinde aktivite tutulum odağı ile uyumlu bölgede metastatik tümör lezyonu net olarak izlenebilmektedir.

2. Yetmiş bir yaş, kadın hasta. Opere glioblastoma multiforme (GBM) tanılı hastada rezidü/nüks tümör araştırılması amacıyla enjeksiyondan 160 dakika sonra yapılan beyin FDG PET/MR görüntülemesinde T2 ağırlıklı MR görüntülerinde cerrahi rezeksiyon sahası komşuluğunda sağ frontal bölgede ödem alanı içerisinde tümör lezyonu ile uyumlu görünüm saptanmakla birlikte, tümörün sınırlarının ve radyoterapi alanının daha net belirlenebilmesi için FDG PET görüntülemenin sağladığı metabolik aktivite bilgisi tanıya katkı sağlamaktadır.

3. Altmış sekiz yaş, erkek hasta. Opere GBM tanısı ile takipli hastada rezidü/nüks tümör varlığının araştırılması amacıyla yapılan beyin FDG PET/BT görüntüsü. FDG PET görüntülerinde sol temporal bölgede operasyon loju medial komşuluğunda rölatif artmış FDG tutulumu izlenirken, BT görüntülerinde aynı bölgede ödem ile uyumlu yaygın hipodens görünüm dikkati çekmektedir.

Aynı hastadan, enjeksiyondan yaklaşık 100 dakika sonra alınan PET/MR görüntüleri. T1 ve T2 ağırlıklı görüntüler ile aksiyel FLAIR görüntüsünde sol temporal bölgede kortikal alanda operasyon lojunda izlenen lezyonda FDG tutulumu izlenmezken (postoperatif değişiklik?), operasyon loju medial komşuluğunda ve ödem alanı içerisinde izlenen ikinci bir lezyonda metabolik aktivite izlenmektedir. FDG PET görüntülemesi, tedavi sonrası dönemde tümör lezyonlarının değerlendirilmesi ve radyoterapi planlamasında tanıya katkı sağlamaktadır.

4. Altmış dört yaş, kadın hasta. Akciğer kanseri tanılı hastada primer evrelemede tüm vücut FDG PET görüntülerine ek olarak enjeksiyondan yaklaşık 60 dakika sonra alınan beyin PET/MR görüntüsü. Beyin FDG PET görüntülerinde tümör ile uyumlu olabilecek fokal aktivite tutulumu izlenmezken, T1 ağırlıklı görüntüde ve ASL görüntüsünde beyinde tümör lezyonuna ait görünüm izlenmektedir. FDG tutulum düzeyi, beyin tümörlerinde tümörün derecesi ile korelasyon gösterir. Bulgu düşük dereceli primer beyin tümörü olarak histopatolojik açıdan da doğrulanmıştır.

5. Elli sekiz yaş, erkek hasta. Malign melanom tanısı ile takipli ve beyin metastazı öyküsü bulunan hastada alınan beyin FDG PET/MR görüntüleri. FDG PET görüntülerinde metastaz düşündürecek aktivite tutulum odağı izlenmezken, postkontrast T1 MR görüntülerinde milimetrik metastatik odaklar izlenebilmektedir.

Baş/Boyun Tümörleri

1. Yetmiş beş yaş, erkek hasta. Larinks kanseri tanılı hastada evreleme amacıyla yapılan PET/BT görüntülemesi. Hastanın boyun BT görüntülerinde

sağ vokal kordda minimal asimetrik düzensizlik izlenirken, FDG PET görüntülerinde larinks anterior kommissür komşuluğunda hafif artmış aktivite tutulumu izlenmektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan yaklaşık 130 dakika sonra ek olarak alınan boyun PET/MR görüntüleri. Eş zamanlı alınan PET/MR görüntüleri daha iyi registrasyon sağlamakta, larinkste sağ vokal kord yerleşimli lezyonun lokal değerlendirmesi, yüksek anatomik çözünürlüklü MR görüntüleri ile daha iyi bir şekilde yapılabilmektedir.

Meme Kanseri

1. Primer evreleme amacıyla alınan FDG PET/BT görüntüsü. Sol meme saat 12 hizasında BT görüntülerinde izlenen düzensiz sınırlı yumuşak doku lezyonunda FDG tutulumu izlenmektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan yaklaşık 90 dakika sonra meme koilleri yardımıyla alınan PET/MR görüntüleri. Alınan T2 STIR ve yağ baskılı T2 ağırlıklı meme görüntülerinde, MR'nin yüksek yumuşak doku kontrastı nedeniyle primer lezyon komşuluğunda ikinci bir tümör odağı saptayabildiği dikkati çekmektedir. Time of flight (TOF) teknolojisine sahip PET görüntülemenin artan rezolüsyonu da bu görüntülerde izlenebilmektedir.

2. Primer evreleme amacıyla meme koilleri yardımıyla enjeksiyondan 60 dakika sonra yapılan meme FDG PET/MR görüntüleri. Yüksek rezolüsyonlu MR görüntülerine ek olarak, difüzyon ağırlıklı MR görüntüleri ve ADC haritası izlenmektedir. PET görüntülerinde FDG tutulum alanları, difüzyon ağırlıklı görüntülemeye izlenen sinyal artışları ve ADC haritasında difüzyon kısıtlaması gösteren bölgelerle koreledir.

Akciğer Kanseri ve Pulmoner Nodüller

1. Yetmiş bir yaş, erkek hasta. Yeni tanı akciğer kanseri (yassı hücreli karsinom) tanılı hastada primer evreleme amacıyla enjeksiyondan 60 dakika sonra alınan FDG PET/BT görüntüleri. Sol akciğer üst lob anterior segmentte yoğun FDG tutulumu gösteren ve BT görüntülerinde kostal plevraya hafif uzanım gösteren kitle lezyonu izlenmektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan 160 dakika sonra alınan toraks PET/MR görüntüleri. T1 ağırlıklı su ve yağ görüntüleri primer kitle lezyonunun anatomik değerlendirmesinde BT ile yakın görüntüler sunarken, yüksek çözünürlüklü solunum tetiklemeli T2 ağırlıklı (T2 propeller) görüntüde sinyal artışı gösteren ve plevra tutulumu daha net olarak saptanan kitle lezyonu dikkati çekmektedir. MR görüntüleme, yüksek yumuşak doku rezolüsyonu sayesinde primer tümörün lokal değerlendirmesinde ve T evrelemede daha yüksek tanılabilir performansa sahiptir.

Aynı olguda nodal evrelemede ise, sağladığı metabolik bilgi ve yüksek duyarlılığı ile FDG PET görüntüleme tanıya ve primer evrelemeye katkı sağlamaktadır.

2. Dört yaş, erkek hasta. Opere germ hücreli tümör ile takipli hastada AFP yüksekliği nedeniyle rekürren hastalık varlığının araştırılması amacıyla enjeksiyondan 60 dakika sonra alınan FDG PET/MR ve 160 dakika sonra alınan PET/BT görüntüleri. PET MIP görüntülerde karaciğerde izlenen multipl metastatik lezyonların yanı sıra sağ akciğer üst lob posterior segmentte paramediastinal alanda izlenen 5 mm çapındaki pulmoner nodülde fokal FDG tutulumu dikkati çekmektedir. BT görüntülerinin milimetrik pulmoner nodüllerin değerlendirilmesindeki başarısına rağmen, MR görüntülerinde de fokal aktivite tutulumu gösteren metastatik nodül izlenebilmektedir. Zamansal rezolüsyonu artıran TOF bilgisinin de katkısıyla yüksek rezolüsyonlu toraks PET/MR görüntülerinde milimetrik pulmoner metastatik lezyonlar başarılı bir şekilde saptanabilir.

3. Metastatik akciğer karsinoid tümör tanıli hastada yeniden evreleme amacıyla yapılan Ga-68 DOTATATE PET/BT (üstte) ve PET/MR (altta) görüntüleri. Enjeksiyondan 60 dakika sonra alınan PET/BT ve 100 dakika sonra alınan PET/MR görüntülerinde toraksta plevral ve mediastinal tutulumun, kemik ve lenf nodu metastazlarının değerlendirilmesinde BT ile solunum tetiklemeli T2 ağırlıklı MR görüntüleri arasında belirgin fark bulunmamaktadır. Kullanılan yüksek özgülükteki PET radyofarmasötüğü bu incelemenin tanısal doğruluğunu artırmıştır. FDG dışı yeni radyofarmasötik ajanlar, PET görüntülemenin gelecekte kullanım alanını genişletebilecek önemli bir potansiyel taşımaktadır.

4. Akciğerde kitle lezyonu saptanan hastada metabolik karakterizasyon ve primer evreleme amacıyla

yapılan tüm vücut FDG PET/BT görüntülemesi. PET MIP görüntüsü, FDG PET'nin tek bir görüntüleme seansında primer kitle lezyonunun yanı sıra uzak metastaz varlığı hakkında da bilgi sağladığını göstermektedir.

Aynı hastada ek olarak beyin ve karaciğere yönelik alınan PET/MR görüntüleri. MR görüntülemenin yüksek yumuşak doku kontrastı, özellikle metastatik beyin ve karaciğer lezyonlarının değerlendirilmesinde BT'ye göre avantaj sağlamaktadır.

Mide Kanseri

1. Yeni tanı mide kanseri olgusunda primer evreleme amacıyla yapılan FDG PET/MR görüntülemesi. Alınan FDG PET görüntülerinde mide distal kesiminde hafif düzeyde artmış FDG tutulumu izlenirken (SUVmaks: 2,1), aynı alanda T1 ve T2 ağırlıklı MR görüntülerinde duvar kalınlaşması, difüzyon ağırlıklı görüntüde hafif

sinyal artışı, ADC haritasında ise difüzyon kısıtlaması dikkati çekmektedir. Düşük FDG tutulumu gösterebilen primer mide tümörlerinin değerlendirilmesinde yüksek yumuşak doku kontrastına sahip anatomik ve fonksiyonel MR datası, tanısal doğruluğa katkı sunmaktadır.

Primer ve Metastatik Karaciğer Tümörleri

1. Hepatosellüler kanser tanısı ile takipli hastada kemoembolizasyon sonrası yapılan FDG PET/BT görüntüleri. BT görüntülerinde karaciğer kubbesinde hipodens lezyon izlenmekle birlikte FDG PET görüntülerinde zemin aktiviteden ayırt edilebilen tutulum odağı izlenmemektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan 90 dakika sonra alınan PET/MR görüntüleri. Solunum tetiklemeli yağ baskılı T2 görüntülerde karaciğer lezyonu daha net izlenebilirken, dual faz görüntülemenin ve TOF teknolojisinin avantajlarıyla FDG PET görüntüsünde de lezyon içerisinde bir odakta fokal patolojik tutulum odağı dikkati çekmektedir.

2. Altmış dört yaş, erkek hasta. Karaciğerde nöroendokrin karsinom metastazı saptanan hastada primer tümör odağının araştırılması ve primer evreleme amacıyla enjeksiyondan 60 dakika sonra yapılan Ga-68 DOTATATE PET/BT görüntülemesi. PET MIP görüntülerinde karaciğerde yaygın metastatik odaklar izlenirken, aksiyel kesitlerde mide antrum kesimine uyan alanda fokal patolojik aktivite tutulumu izlenmektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan 120 dakika sonra alınan PET/MR görüntüleri. Solunum tetiklemeli ve yağ baskılı T2 görüntüleri ile difüzyon ağırlıklı görüntülerde karaciğer lezyonları izlenmekte olup, alt sıradaki görüntülerde mide antrum kesiminde tümöral yumuşak doku yapılanması yüksek rezolüsyonlu anatomik ve fonksiyonel görüntüleme ile ayırt edilebilmektedir. PET ajanının spesifik tutulumu da primer odağın saptanmasında tanısallık artırılmaktadır.

Kolorektal Bölge Tümörleri

1. Elli sekiz yaş, kadın hasta. Rektum kanseri tanılı hastada yeniden evreleme amacıyla enjeksiyondan 101 dakika sonra yapılan FDG PET/MR görüntüleri. PET görüntülerinde kolonda hepatik fleksura düzeyinde fokal FDG tutulumu izlenmekte olup, bu aktivite tutulumunun yüksek yumuşak doku kontrastına sahip MR görüntülerinde kolon lümenine doğru uzanım gösteren

polipoid lezyona ait olduğu dikkati çekmektedir. Ayrıca alınan difüzyon ağırlıklı görüntüde polipoid lezyonda sinyal artışı, ADC haritasında ise difüzyon kısıtlaması izlenmektedir. Bu olguda, yüksek rezolüsyonlu anatomik ve fonksiyonel MR görüntüleri FDG tutulumu gösteren alanların değerlendirilmesinde katkı sunmaktadır. Kolonoskopik biyopsi sonrasında, lezyonun histopatolojik tanısı tübülovillöz adenom olarak saptanmıştır.

Prostat Kanseri

1. Altmış altı yaş, erkek hasta. Prostat spesifik antijen yüksekliği bulunan ve tekrarlayan negatif biyopsi hikayesi olan prostat kanseri ön tanılı hastada biyopsi odağının belirlenmesi ve primer evreleme amacıyla enjeksiyondan 50 dakika sonra yapılan Ga-68 PSMA PET/MR görüntülemesi. Alınan PET görüntülemesinde, spesifik radyofarmasötüğün prostat bezi sol yarısında periferik zonda tutulumu izlenirken, yüksek çözünürlüklü aksiyel T2 görüntüsünde izlenen hipointens odak ile difüzyon ağırlıklı görüntüde izlenen sinyal artışı, aktivite tutulum odağı ile koreleir.

2. Altmış dört yaş, erkek hasta. Yeni tanı prostat kanseri olgusunda (Gleason skoru 7) primer evreleme amacıyla enjeksiyondan 50 dakika sonra alınan Ga-68 PSMA PET/BT görüntüleri. Alınan PET görüntülerinde

prostat bezi sağ periferik zonda ve santral kesiminde radyofarmasötüğün tutulumu izlenirken BT görüntülerinde anatomik lezyon ayırt edilememektedir.

Aynı hastada enjeksiyondan 90 dakika sonra alınan PET/MR görüntüleri. Yüksek anatomik çözünürlüklü T2 görüntüsünde prostat bezi sol yarısı posterior kesiminde hipointens odak izlenirken, alınan difüzyon ağırlıklı görüntüde bu bölgede sinyal artışı, ADC haritasında difüzyon kısıtlaması ve PET görüntülerinde de spesifik fokal aktivite tutulumu dikkati çekmektedir. Ga-68 PSMA PET/MR görüntüleme, yüksek çözünürlüklü multiparametrik MR ve spesifik PET ajanının birlikte sunduğu bilgiler ile prostat kanserinin primer tanısında ve biyopsi yerinin saptanmasında ciddi bir potansiyel barındırmaktadır.

Kemik ve Yumuşak Doku Sarkomları, Metastatik Kemik Tümörleri

1. Tibial osteosarkom tanılı hastada evreleme amacıyla yapılan FDG PET/MR görüntüleri. Alt ekstremitelerde aksiyel T1, T2, koronal T1, sagittal STIR görüntüleri ile füzyon görüntüleri izlenmektedir. MR görüntüleri, primer tümör odağının ve intramedüller alanın lokal değerlendirilmesinde yüksek yumuşak doku kontrastı nedeniyle üstün tanısal performans göstermektedir.

2. On dört yaş, erkek hasta. Ewing sarkom tanısıyla takipli hastada yeniden evreleme amacıyla enjeksiyondan

160 dakika sonra alınan FDG PET/MR görüntüleri. PET MIP görüntülerinde (solda) intramedüller alanlarda yaygın multifokal FDG tutulumları izlenirken, tüm vücut difüzyon ağırlıklı görüntülerde de (sağda) kemik iliğinde farklı bölgelerde multifokal sinyal artışı alanları izlenmektedir. PET ve MR görüntülemelerin sağladığı metabolik ve fonksiyonel veriler birbirini tamamlamakta, hücre metabolizması ve hücre sayısal yoğunluğuna ilişkin bilgi aynı görüntüleme seansında elde edilebilmektedir.

3. Altmış dört yaş, kadın hasta. Akciğer kanseri tanılı hastada primer evreleme amacıyla enjeksiyondan 60 dakika sonra alınan FDG PET/BT görüntüleri. PET MIP görüntüde toraks ve boyunda multipl metastatik odakların yanı sıra sağ humerus başına uyan alanda düşük düzeyde fokal FDG tutulumu izlenmektedir. BT görüntülerinde ise sözü edilen alanda anatomik bir lezyon izlenmemektedir.

Enjeksiyondan 90 dakika sonra alınan PET/MR görüntülerinde ise T2 ağırlıklı koronal, STIR koronal ve aksiyel difüzyon ağırlıklı MR görüntülerinde sağ humerus başında intramedüller alanda metastaz ile uyumlu lezyon izlenmekte olup, tanımlanan lezyonda FDG PET görüntülerinde de fokal aktivite tutulumu izlenmektedir.

MR, yüksek yumuşak doku kontrastı sayesinde intramedüller alanın değerlendirilmesinde başarılıdır. Tüm vücut PET görüntülemesinde görülen şüpheli tutulum alanları lezyon karakterizasyonu bakımından anatomik ve fonksiyonel MR görüntülemenin sağladığı tamamlayıcı bilgilerle birlikte değerlendirilebilir.

4. Altmış beş yaş, erkek hasta. Hormon refrakter metastatik prostat kanseri (Gleason skoru 5+4) olgusunda enjeksiyondan 97 dakika sonra yapılan tüm vücut Ga-68 PSMA PET/MR görüntülemesi. PET MIP görüntüde kemik yapılar ve karaciğerde yaygın metastatik aktivite tutulum odakları izlenmektedir. Kemik yapıların ve intramedüller alanların değerlendirilmesi için alınan koronal T2 ve STIR görüntülerinde intramedüller alanlarda yaygın sinyal artışları izlenmekte olup, vertebra, pelvis ve sol femurda izlenen aktivite tutulum odakları ile koreledir. Koronal T2 görüntülerinde sağ femur proksimal kesiminde sinyal artışı izlenmekle birlikte PET görüntülerinde bu alanda spesifik radyofarmasötik tutulumu izlenmemiştir (Tedaviye bağlı değişiklikler?). MR tedavi sonrası dönemde yanlış pozitif bulgular verebilmekte, metabolik veya reseptör görüntüleme tedavi sonrası dönemde tanısız doğruluğu artırıcı bilgiler sunmaktadır.

5. On beş yaş, erkek hasta. Nöroblastom tanısıyla takipli hastada yeniden evreleme amacıyla enjeksiyondan 120 dakika sonra yapılan FDG PET/MR görüntülemesi. PET MIP görüntülerinde intramedüller

alanlarda yaygın FDG tutulumu izlenirken, alınan STIR görüntülerinde de intramedüller alanlarda hastalık tutulumu ile uyumlu olarak yaygın sinyal artışı dikkati çekmektedir. Hastada kemik iliği tutulumu histopatolojik olarak da gösterilmiştir.

Hematolojik Maligniteler

1. Marjinal zon lenfoma tanılı hastada evreleme amacıyla yapılan FDG PET/MR görüntülemesi. PET MIP görüntülerinde splenomegali ve dalakta diffüz artmış FDG tutulumu izlenmektedir.

Aynı görüntüleme seansı içerisinde alınan difüzyon ağırlıklı görüntülemelerde vertebral kolonda difüzyon ağırlıklı görüntülerde sinyal artışı, ADC haritasında ise

yaygın difüzyon kısıtlaması izlenmekte olup, hastada intramedüller hastalık tutulumu histopatolojik olarak gösterilmiştir. Düşük FDG tutulumu gösteren ve sıklıkla kemik iliği tutulumuna neden olan lenfoma türlerinde PET ve MR görüntülemenin tamamlayıcı nitelikteki bilgileri tanısal doğruluğu artırır.

2. On sekiz yaş, kadın hasta. Hodgkin lenfoma tanısı ile takipli hastada tedavi sonrası yanıt değerlendirme amacıyla enjeksiyondan 110 dakika sonra yapılan FDG PET/MR görüntülemesi. Tedavi sonrası FDG PET görüntülerinde kahverengi yağ dokusuna ait aktivite tutulumları izlenirken, diğer bölgelerde patolojik aktivite tutulumu saptanmamıştır. Difüzyon ağırlıklı MR görüntülerinde ise intramedüller alanlarda yaygın sinyal artışı izlenmektedir. Kemik iliğinde tedaviye bağlı değişiklikler DWI'da yanlış pozitif sinyal artışlarına neden olabilmekte; PET görüntüleme sağladığı metabolik aktivite bilgisiyle tedavi sonrası yanıtın daha doğru değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır.

3. Dokuz yaş, erkek hasta. Burkitt lenfoma tanılı hastada primer evreleme amacıyla yapılan FDG PET/MR görüntülemesi. Hastada yaygın kemik iliği, dalak ve bilateral böbrek tutulumu dikkati çekmektedir.

Aynı hastada kemoterapi sonrası alınan FDG PET/MR görüntülemesi. PET görüntülemesinde patolojik tutulumların kaybolduğu, MR görüntülemesinde de böbrek parankim kalınlığının normale döndüğü dikkati çekmektedir. Pediatrik olgularda, özellikle de tekrarlayan PET görüntülemelerinin gerektiği durumlarda radyasyon dozunun azaltılması için PET/MR görüntüleme uygundur.

Sonuçlar ve Öneriler

Simültane PET/MR cihazları ile tüm vücut görüntüleme süresi daha optimal seviyelere çekilebilme olanağına sahip olmuştur. Hasta toleransının zorlanmaması, verilen radyoaktivitenin optimum biçimde değerlendirilebilmesi açısından görüntüleme protokolleri, toplam tüm vücut PET/MR görüntüleme süresi 30-45 dakika arasında olacak şekilde düzenlenmelidir (1). Tüm vücut PET/BT görüntülemesi sonrasında alınacak ek bölgesel PET/MR görüntülerinde ise görüntüleme protokolleri ve seçilecek MR sekansları hastanın kliniğine ve görüntülenecek bölgenin özelliklerine göre belirlenmelidir (1,2).

Primer ve metastatik beyin tümörlerinin değerlendirilmesinde, milimetrik metastaz odaklarının tüm vücut ile aynı görüntüleme seansında saptanabilmesinde, tedavi sonrası rezidü/nüks beyin lezyonlarının değerlendirilmesinde F-18-FDG ve FDG dışı ajanlarla intravenöz kontrast enjeksiyonu ile

birlikte yapılan beyin PET/MR görüntülemesi, PET/BT görüntülemeye göre üstün tanısal performans göstermektedir (3). Nöroonkolojik, nörodejeneratif ve epileptik olguların tümünde yapılması planlanan PET görüntülemelerinin PET/MR ile yapılması, ayrıca patolojik ve normal hasta görüntülerinin karşılaştırılabilmesi için her bölümün kendisine ait normal hasta görüntüsü veri tabanını oluşturması önerilebilir.

Baş-boyun tümörlerinde tüm vücut PET görüntülemeye ek olarak primer tümörün lokal yayılımını (T evresini), perinöral invazyon varlığını değerlendirmek amacıyla alınan kontrastlı ve yüksek çözünürlüklü bölgesel PET/MR görüntülemesi, aynı görüntüleme seansı içerisinde lokal yayılım ve uzak metastaz varlığının birlikte değerlendirilmesinde etkilidir.

Meme kanserlerinde primer evrelemede PET/BT ve PET/MR görüntülemeleri arasında anlamlı bir fark olmamakla birlikte, primer evrelemede meme tümörlerinin lokal değerlendirilmesinde, sayı ve boyutlarının daha doğru biçimde belirlenmesinde, aksiller lenf nodu durumu hakkında daha iyi bilgi elde edilmesinde meme koilleri ile alınan bölgesel PET/MR görüntülemeleri faydalı olmaktadır.

Kitlesel ve nodüler primer akciğer lezyonlarının değerlendirilmesinde PET/BT ve PET/MR arasında hasta bazında önemli bir farklılık saptanmamakla birlikte, primer evreleme amacıyla PET görüntülemesi yapılan her hastada ek beyin PET/MR görüntülerinin alınması, henüz bilinmeyen beyin metastazı varlığının araştırılmasında etkilidir.

Abdominal ve pelvik tümörlerde, yumuşak doku sarkomlarında yüksek yumuşak doku kontrastı nedeniyle MR görüntülemenin BT'ye olan üstünlüğü, bu bölgelerde primer ve metastatik tümörlerin değerlendirilmesinde PET/MR'yi PET/BT'ye göre üstün kılmaktadır (4,5,6). Kolorektal tümörlerin lokal yayılımının değerlendirilmesi, karaciğerde metastatik lezyonların sayı ve boyutlarının daha doğru biçimde saptanabilmesi, tüm vücut PET görüntüleme ile aynı seansta alınabilecek bölgesel yüksek çözünürlüklü PET/MR görüntüleri ile mümkündür.

Prostat kanserlerinin lokal ve tüm vücut görüntülemelerinde spesifik Ga-68 PSMA ajanı ile yapılan PET görüntülemeleri etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Tüm vücut PET değerlendirmesinin yanı sıra primer prostat patolojilerinin, lokal nüks olgularının, primer tanı öncesi biyopsi odağının tespit edilmesinde yüksek çözünürlüklü anatomik MR görüntüleri ile

birlikte, fonksiyonel MR görüntüleri ve Ga-68 PSMA PET görüntüleri bütüncül bir multiparametrik değerlendirme olanağı sunmaktadır (7,8,9).

Hematolojik malignitelerde PET görüntülemenin metabolik açıdan aktif tümöral odakları göstermesinin yanında, primer evrelemede özellikle F-18-FDG tutulumu düşük olan lenfoma tiplerinin evrenlenmesinde, lenfoma, lösemi ve multipl miyelom olgularında intramedüller alanın daha doğru biçimde değerlendirilmesinde yağ baskılı STIR MR sekansları ve difüzyon ağırlıklı görüntülemeler ile alınacak tüm vücut PET/MR görüntüleri değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (10,11). Bunun yanında, tedavi sonrası dönemde reaktif süreçler nedeniyle yanlış pozitiflik oranı yüksek MR bulgularının daha doğru değerlendirilmesinde ve multipl miyelomlarda aktif kemik tutulum odaklarının ve sayılarının belirlenmesinde PET görüntüleme MR görüntüleme ile tamamlayıcı bir niteliğe sahiptir (12).

Pediyatrik onkoloji olgularının tüm vücut PET görüntülemelerinde, tedavi sonrası dönemde tekrarlayan PET görüntülemeleri planlanan adolesan ve genç erişkin olgularda iyonize radyasyon dozunun azaltılabilmesi amacıyla PET/MR tek görüntüleme yöntemi olarak tercih edilebilir. İyonize radyasyon dozunun azaltılmasındaki katkılarının yanı sıra, yüksek yumuşak doku kontrastı ile PET/MR görüntülemesi yağ dokunun az olduğu pediyatrik olgularda abdominopelvik bölgenin ve intramedüller alanların değerlendirilmesinde lezyon karakterizasyonunda PET/BT'ye göre daha başarılıdır (3,13).

Klinik olarak PET/MR'nin etkin biçimde kullanılabilmesi için, tüm vücut ve bölgesel görüntülemelere göre uygun endikasyonların belirlenmesi ve görüntüleme protokollerinin optimizasyonu gereklidir. Buna ek olarak gelecekte farklı biyolojik süreçlerle ilişkili FDG dışı yeni PET ajanları ile yapılacak moleküler görüntülemelerin multiparametrik MR görüntüleri ile birlikte değerlendirilmesi, onkolojik tanıda ve tedavi planlamasında hastaya ve hastalığa özel daha spesifik yaklaşımları olanaklı hale getirecektir (3,14).

Kaynaklar

1. Bailey DL, Antoch G, Bartenstein P, et al. Combined PET/MR: The real work has just started. Summary report of the third international workshop on PET/MR Imaging; February 17-21, 2014, Tübingen, Germany. Mol Imaging Biol 2015;17:297-312.
2. Kwon HW, Becker AK, Goo JM, Cheon GJ. FDG Whole-Body

- PET/MRI in Oncology: a Systematic Review. *Nucl Med Mol Imaging* 2017;51:22-31.
3. Bailey DL, Pichler BJ, Gückel B, et al. Combined PET/MRI: from Status Quo to Status Go. Summary Report of the Fifth International Workshop on PET/MR Imaging; February 15-19, 2016, Tübingen, Germany. *Mol Imaging Biol* 2016;18:637-650.
 4. Gavra M, Syed R, Fraioli F, Afaq A, Bomanji J. PET/MRI in the Upper Abdomen. *Semin Nucl Med* 2015;45:282-292.
 5. Paspulati RM, Partovi S, Herrmann KA, Krishnamurthi S, Delaney CP, Nguyen NC. Comparison of hybrid FDG PET/MRI compared with PET/CT in colorectal cancer staging and restaging: a pilot study. *Abdom Imaging* 2015;40:1415-1425.
 6. Wetter A, Grueneisen J, Umutlu L. PET/MR imaging of pelvic malignancies. *Eur J Radiol* 2017.
 7. Eiber M, Weirich G, Holzapfel K. Simultaneous 68Ga-PSMA HBED-CC PET/MRI improves the localization of primary prostate cancer. *Eur Urol* 2016;70:829-836.
 8. Hartenbach M, Hartenbach S, Bechtloff W, et al. Combined PET/MRI improves diagnostic accuracy in patients with prostate cancer: a prospective diagnostic trial. *Clin Cancer Res* 2014;20:3244-3253.
 9. Maurer T, Gschwend JE, Rauscher I, et al. Diagnostic efficacy of 68 gallium-PSMA positron emission tomography compared to conventional imaging for lymph node staging of 130 consecutive patients with intermediate to high risk prostate cancer. *J Urol* 2016;195:1436-1443.
 10. Ferdová E, Ferda J, Baxa J. 18 F-FDG-PET/MRI in lymphoma patients. *Eur J Radiol* 2017.
 11. Valls L, Badve C, Avril S, et al. FDG-PET imaging in hematological malignancies. *Blood Rev* 2016;30:317-331.
 12. Sachpekidis C, Hillengass J, Goldschmidt H, et al. Comparison of (18)F-FDG PET/CT and PET/MRI in patients with multiple myeloma. *Am J Nucl Med Mol Imaging* 2015;5:469-478.
 13. Schäfer JF, Gatidis S, Schmidt H, et al. Simultaneous whole-body PET/MR imaging in comparison to PET/CT in pediatric oncology: initial results. *Radiology* 2014;273:220-231.
 14. Bailey DL, Pichler BJ, Gückel B, et al. Combined PET/MRI: Multi-modality Multi-parametric Imaging Is Here: Summary Report of the 4th International Workshop on PET/MR Imaging; February 23-27, 2015, Tübingen, Germany. *Mol Imaging Biol* 2015;17:595-608.