

NÜKLEER TIPTA PET/MR UYGULAMALARI

Yazar
M. Fatih BEYTUR



© Copyright 2026

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN 978-625-375-923-0	Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı Nükleer Tıpta PET/MR Uygulamaları	Yayıncı Sertifika No 47518
Yazar M. Fatih BEYTUR ORCID iD: 0000-0001-6636-9749	Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık
Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN	Bisac Code MED080000
	DOI 10.37609/akya.4059

Kütüphane Kimlik Kartı

Beytur, M. Fatih.

Nükleer Tıpta PET/MR Uygulamaları / M. Fatih Beytur

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2026.

107 s. tablo ; 135x210 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253759230

UYARI

Bu üründe yer alan bilgiler sadece lisanslı tıbbi çalışanlar için kaynak olarak sunulmuştur. Herhangi bir konuda profesyonel tıbbi danışmanlık veya tıbbi tanı amacıyla kullanılmamalıdır. Akademisyen Kitabevi ve alıcı arasında herhangi bir şekilde doktor-hasta, terapist-hasta ve/veya başka bir sağlık sunum hizmeti ilişkisi oluşmaz. Bu ürün profesyonel tıbbi kararların eşleniği veya yedeği değildir. Akademisyen Kitabevi ve bağlı şirketleri, yazarları, katılımcıları, partnerleri ve sponsorları ürün bilgilerine dayalı olarak yapılan bütün uygulamalardan doğan, insanlarda ve cihazlarda yaralanma ve/veya hasarlardan sorumlu değildir.

İlaçların veya başka kimyasalların reçete edildiği durumlarda, tavsiye edilen dozunu, ilacın uygulanacak süresi, yöntemi ve kontraendikasyonlarını belirlemek için, okuyucuya üretici tarafından her ilaca dair sunulan güncel ürün bilgisini kontrol etmesi tavsiye edilmektedir. Dozun ve hasta için en uygun tedavinin belirlenmesi, tedavi eden hekimin hastaya dair bilgi ve tecrübelerine dayanarak oluşturması, hekimin kendi sorumluluğundadır.

Akademisyen Kitabevi, üçüncü bir taraf tarafından yapılan kitaba dair değişikliklerden sorumlu değildir.

GENEL DAĞITIM Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A
Yenişehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ/MANYETİK REZONANS (PET/MR) GÖRÜNTÜLEMENİN

TARİHÇESİ VE GELİŞİMİ..... 1

- 1.1. Hibrit Görüntülemenin Doğuşu..... 1
- 1.2. PET/MR Fikrinin Ortaya Çıkışı 2
- 1.3. PET/MR Entegrasyonundaki Teknik Zorluklar 2
- 1.4. PET/MR Sistemlerinin Klinik Kullanıma Girişi 3
- 1.5. Güncel Durum ve Gelecek Perspektifi..... 3

BÖLÜM 2

POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ VE MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN FİZİK PRENSİPLERİNİN ENTEGRASYONU..... 5

- 2.1. PET Görüntülemenin Temel Fizik Prensipleri..... 5
- 2.2. MR Görüntülemenin Temel Fizik Prensipleri..... 6
- 2.3. PET ve MR Fiziksel Etkileşimleri 7
- 2.4. Atenüasyon Düzeltmesi Açısından PET/MR Entegrasyonu..... 7
- 2.5. Eşzamanlı Görüntülemenin Klinik ve Fiziksel Avantajları 8

BÖLÜM 3

PET/MR SİSTEM TİPLERİ VE DEDEKTÖR TEKNOLOJİLERİ..... 9

- 3.1. PET/MR Sistemlerinin Gelişim Süreci 9
- 3.2. PET/BT–MR Shuttle (Tri-modality) Sistemler 9
- 3.3. Eş-Düzlemli (Co-planar) PET/MR Sistemler..... 10
- 3.4. Tam Entegre (Simültan) PET/MR Sistemler..... 10
- 3.5. PET Dedektör Teknolojilerindeki Evrim 11
- 3.6. PET/MR Sistemlerinin Klinik ve Operasyonel Özellikleri 12

BÖLÜM 4

PET/MR GÖRÜNTÜLEMEDE MR TABANLI ATENÜASYON

DÜZELTME VE KANTİTATİF PET ANALİZİ 13

- 4.1. Atenüasyon Düzeltmenin PET Görüntülemedeki Önemi.....13
- 4.2. MR Tabanlı Atenüasyon Düzeltme Yaklaşımları14
- 4.3. Kemik Atenüasyonu ve Güncel Çözüm Yaklaşımları14
- 4.4. Donanım ve Aksesuar Kaynaklı Atenüasyon15
- 4.5. PET/MR’da Kantitatif PET Parametreleri15
- 4.6. Kantitatif Analizde Hareket ve Zaman Uyumu Avantajı16

BÖLÜM 5

PET/MR GÖRÜNTÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE

RAPORLAMA İLKELERİ 17

- 5.1. PET/MR Görüntü Değerlendirmesine Genel Yaklaşım17
- 5.2. Görüntü Kalitesinin Değerlendirilmesi.....17
- 5.3. Anatomi ve Metabolik Bulguların Entegrasyonu18
- 5.4. Fonksiyonel MR Sekanslarının Yorumlamaya Katkısı19
- 5.5. Kantitatif PET ve MR Parametrelerinin Birlikte Kullanımı19
- 5.6. PET/MR Raporlamasında Temel İlkeler.....20

BÖLÜM 6

PET/MR GÖRÜNTÜLEMEDE TEMEL MR SEKANSLARI VE

PROTOKOL YAKLAŞIMLARI 21

- 6.1. PET/MR Protokol Planlamasına Genel Bakış.....21
- 6.2. T1-Ağırlıklı MR Sekansları.....21
- 6.3. T2-Ağırlıklı MR Sekansları.....22
- 6.4. Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme.....22
- 6.5. Dinamik Kontrastlı MR Sekansları23
- 6.6. PET/MR Protokollerinde Sekans Seçimi ve Optimizasyon23

BÖLÜM 7

PET/MR’DA KLİNİK UYGULAMALARA GENEL YAKLAŞIM VE

PET/BT İLE KARŞILAŞTIRMA 25

- 7.1. PET/MR’ın Klinik Konumlandırılması.....25
- 7.2. PET/MR Endikasyonlarının Genel İlkeleri25
- 7.3. PET/MR ve PET/BT Arasındaki Temel Farklılıklar.....26
- 7.4. Görüntüleme Süresi ve İş Akışı Açısından Karşılaştırma26

7.5.	Klinik Tanısal Performansın Karşılaştırılması.....	27
7.6.	Klinik Karar Sürecine Etkisi	27
7.7.	Güncel Klinik Yaklaşım ve Gelecek Perspektifi	28

BÖLÜM 8

ONKOLOJİK PET/MR GÖRÜNTÜLEMeye

GENEL YAKLAŞIM.....29

8.1.	Onkolojik Görüntülemeye PET/MR'ın Yeri	29
8.2.	Onkolojik PET/MR'da Temel Klinik Endikasyonlar	30
8.3.	Primer Tümör Değerlendirmesinde PET/MR.....	30
8.4.	Lenf Nodu ve Metastaz Değerlendirmesi	31
8.5.	Tedavi Yanıtının Değerlendirilmesinde PET/MR.....	31
8.6.	Rekürrens ve Rezidüel Hastalık Değerlendirmesi.....	32
8.7.	Onkolojik PET/MR'da Sınırlılıklar ve Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar.....	32

BÖLÜM 9

BAŞ VE BOYUN KANSERLERİNDE PET/MR

GÖRÜNTÜLEME.....35

9.1.	Baş ve Boyun Kanserlerinde Görüntülemenin Önemi	35
9.2.	PET/MR'ın Baş ve Boyun Kanserlerindeki Klinik Avantajları	36
9.3.	Primer Tümör Evrelemesinde PET/MR.....	36
9.4.	Lenf Nodu Değerlendirmesi.....	37
9.5.	Uzak Metastaz ve İkinci Primer Tümörlerin Değerlendirilmesi.....	37
9.6.	Tedavi Sonrası Rezidüel ve Rekürren Hastalık	38
9.7.	Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	38

BÖLÜM 10

MEME KANSERİNDE PET/MR GÖRÜNTÜLEME.....41

10.1.	Meme Kanserinde Görüntülemenin Rolü.....	41
10.2.	PET/MR'ın Meme Kanserindeki Klinik Avantajları	41
10.3.	Primer Tümör ve Lokal Evrelemede PET/MR.....	42
10.4.	Aksiller Lenf Nodu Değerlendirmesi	42
10.5.	Uzak Metastazların Değerlendirilmesi.....	43
10.6.	Tedavi Yanıtının Değerlendirilmesi.....	43
10.7.	Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	44

BÖLÜM 11

TORAKS TÜMÖRLERİNDE PET/MR GÖRÜNTÜLEME45

- 11.1. Toraks Tümörlerinde Görüntülemenin Klinik Önemi45
- 11.2. PET/MR'ın Toraks Tümörlerindeki Genel Konumu.....46
- 11.3. Akciğer Kanseri PET/MR46
- 11.4. Mediastinal Tümörler ve Lenf Nodu Değerlendirmesi47
- 11.5. Göğüs Duvarı ve Plevral Tümörler.....47
- 11.6. Uzak Metastaz ve Sistemik Değerlendirme.....48

BÖLÜM 12

GASTROİNTESTİNAL SİSTEM VE KARACİĞER

TÜMÖRLERİNDE PET/MR GÖRÜNTÜLEME..... 51

- 12.1. Gastrointestinal Sistem ve Karaciğer Tümörlerinde
Görüntülemenin Önemi51
- 12.2. Karaciğer Tümörlerinde PET/MR.....51
- 12.3. Kolorektal Kanseri ve Karaciğer Metastazları52
- 12.4. Özofagus ve Mide Kanseri PET/MR.....53
- 12.5. Pankreas ve Safra Yolu Tümörlerinde PET/MR53
- 12.6. Tedavi Yanıtı ve Rekürrens Değerlendirmesi54
- 12.7. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım54

BÖLÜM 13

JİNEKOLOJİK MALİGNİTELERDE PET/MR

GÖRÜNTÜLEME..... 55

- 13.1. Jinekolojik Malignitelerde Görüntülemenin Klinik Önemi.....55
- 13.2. Serviks Kanseri PET/MR.....55
- 13.3. Endometrium Kanseri PET/MR.....56
- 13.4. Over Kanseri PET/MR56
- 13.5. Lenf Nodu ve Uzak Metastazların Değerlendirilmesi57
- 13.6. Tedavi Yanıtı ve Rekürrens Değerlendirmesi57

BÖLÜM 14

PROSTAT KANSERİNDE PET/MR GÖRÜNTÜLEME59

- 14.1. Prostat Kanseri Görüntülemenin Klinik Önemi59
- 14.2. PET/MR ve Multiparametrik Prostat MR Entegrasyonu.....59
- 14.3. PSMA PET/MR ve Klinik Uygulamaları.....60
- 14.4. Lokal Evreleme ve Ekstraprostatik Yayılım.....60

14.5. Lenf Nodu ve Uzak Metastazların Değerlendirilmesi.....	61
14.6. Biyokimyasal Nüks ve Tedavi Yanıtının Değerlendirilmesi.....	61
14.7. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	62

BÖLÜM 15

HEMATOLOJİK MALİGNİTELERDE PET/MR

GÖRÜNTÜLEME.....63

15.1. Hematolojik Malignitelerde Görüntülemenin Önemi.....	63
15.2. Lenfomalarda PET/MR.....	63
15.3. Kemik İliği Tutulumunun Değerlendirilmesi.....	64
15.4. Tedavi Yanıtının Değerlendirilmesinde PET/MR.....	64
15.5. Rezidüel ve Rekürren Hastalık Değerlendirmesi.....	65
15.6. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	65

BÖLÜM 16

NÖROLOJİK VE NÖROONKOLOJİK PET/MR

UYGULAMALARI.....67

16.1. Nörolojik Görüntülemede PET/MR'ın Klinik Önemi.....	67
16.2. Primer Beyin Tümörlerinde PET/MR.....	68
16.3. Tedavi Yanıtı ve Rekürrens Değerlendirmesi.....	68
16.4. Beyin Metastazlarında PET/MR.....	69
16.5. Epilepsi ve Fonksiyonel Nörolojik Uygulamalar.....	69
16.6. Radiomics ve Yapay Zeka Tabanlı Yaklaşımlar.....	69
16.7. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	70

BÖLÜM 17

KARDİYAK PET/MR UYGULAMALARI71

17.1. Kardiyak Görüntülemede PET/MR'ın Klinik Önemi.....	71
17.2. Kardiyak PET/MR Teknik Yaklaşımı.....	71
17.3. Kardiyak Sarkoidozda PET/MR.....	72
17.4. Miyokardiyal Canlılık ve İskemi Değerlendirmesi.....	72
17.5. İnflamatuvar ve İnfiltratif Kardiyak Hastalıklar.....	73
17.6. Kantitatif Analiz ve Klinik Karar Süreci.....	73
17.7. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım.....	74

BÖLÜM 18

KAS-İSKELET SİSTEMİNDE PET/MR GÖRÜNTÜLEME75

18.1. Kas-İskelet Sistemi Görüntülemesinde PET/MR'ın Yeri.....	75
18.2. Kemik Metastazlarında PET/MR.....	75

18.3. Primer Kemik ve Yumuşak Doku Tümörlerinde PET/MR	76
18.4. İnflamatuvar ve Enfeksiyöz Kas-İskelet Sistemi Hastalıklarında PET/MR	76
18.5. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım	77

BÖLÜM 19

PEDİATRİK PET/MR GÖRÜNTÜLEME

19.1. Pediatrik Görüntülemeye PET/MR'ın Önemi	79
19.2. Pediatrik Onkolojide PET/MR	79
19.3. Lenfoma ve Hematolojik Malignitelerde PET/MR	80
19.4. Pediatrik Nörolojik ve Nöroonkolojik Uygulamalar	80
19.5. Pediatrik İnflamatuvar ve Enfeksiyöz Hastalıklar	81
19.6. Teknik ve Operasyonel Hususlar	81
19.7. Sınırlılıklar ve Klinik Yaklaşım	81

BÖLÜM 20

PET/MR'DA RADIOMICS, YAPAY ZEKA VE GELECEK

PERSPEKTİFLERİ

20.1. PET/MR'da Nicel Görüntülemeye Radiomics'e Geçiş	83
20.2. PET ve MR Radiomics Özelliklerinin Birlikte Kullanımı	83
20.3. Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Yaklaşımları	84
20.4. Klinik Uygulamalarda Radiomics ve Yapay Zeka	84
20.5. Teknik ve Metodolojik Zorluklar	85
20.6. Gelecek Perspektifleri	85
20.7. Klinik Entegrasyon ve Etik Yaklaşım	86

BÖLÜM 21

PET/MR GÖRÜNTÜLEMENİN SINIRLILIKLARI, TUZAKLAR VE

PRATİK ÖNERİLER

21.1. PET/MR'ın Klinik Kullanımındaki Genel Sınırlılıklar	87
21.2. MR Tabanlı Atenuasyon Düzeltmeye Bağlı Tuzaklar	87
21.3. Hareket Artefaktları ve Fizyolojik Faktörler	88
21.4. Yanlış Pozitif ve Yanlış Negatif Bulgular	88
21.5. Protokol Karmaşıklığı ve Standartizasyon Sorunları	89
21.6. Eğitim ve Deneyim Gereksinimi	89
21.7. Klinik Pratik İçin Öneriler	90

BÖLÜM 22	
SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME	91
22.1. PET/MR Görüntülemenin Nükleer Tıptaki Yeri.....	91
22.2. Klinik Katma Değerin Doğru Tanımlanması	91
22.3. Multidisipliner Yaklaşımın Önemi.....	92
22.4. Eğitim, Standartizasyon ve Gelecek Gereksinimleri	92
22.5. Geleceğe Bakış	93
22.6. Genel Sonuç	93
KAYNAKLAR	95

KAYNAKLAR

1. Ankara Universitesi Tip Fakultesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, Erden I. PET/MR. Trd Sem. 2020 Oct 13;8(2):285–93.
2. Demir M. PET/MRI Systems: What is the Difference from PET/CT? nts. 2024 Dec 16;10(3):206–12.
3. Camoni L, Mansi L, editors. Nuclear Medicine Hybrid Imaging for Radiographers & Technologists [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-86228-1>
4. Sönmezoğlu K, Şahin OE. Basic Principles in PET/MRI Evaluation. nts. 2024 Dec 16;10(3):213–32.
5. Semmler W, Schwaiger M. Molecular imaging. Berlin: Springer-Verlag; 2008. (Handbook of experimental pharmacology).
6. Umutlu L, Kirchner J, Bruckmann NM, Morawitz J, Antoch G, Ingenwerth M, et al. Multiparametric Integrated 18F-FDG PET/MRI-Based Radiomics for Breast Cancer Phenotyping and Tumor Decoding. Cancers. 2021 Jun 11;13(12):2928.
7. Hu Z, Yang W, Liu H, Wang K, Bao C, Song T, et al. From PET/CT to PET/MRI: Advances in Instrumentation and Clinical Applications. Mol Pharmaceutics. 2014 Nov 3;11(11):3798–809.
8. Rausch I, Quick HH, Cal-Gonzalez J, Sattler B, Boellaard R, Beyer T. Technical and instrumental foundations of PET/MRI. European Journal of Radiology. 2017 Sep;94:A3–13.
9. Şahin OE. Positron Emission Tomography/Magnetic Resonance Imaging (PET/MRI): Common Pitfalls and Limitations in Clinical Practice. nts. 2024 Dec 16;10(3):249–56.
10. Asa S. Principal MRI Sequences Applied in PET/MRI Oncologic Imaging. nts. 2024 Dec 16;10(3):233–40.
11. Nevo E, Kamvosoulis P, Currie G. PET/MRI, Part 3: Protocols and Procedures. J Nucl Med Technol. 2022 Mar;50(1):17–24.
12. Toplutaş KN, Uslu Beşli RL. Use of Contrast Agents in Positron Emission Tomography/Magnetic Resonance Imaging. nts. 2024 Dec 16;10(3):241–8.
13. Dursun E, Özkan E. PET/MR Imaging in Head and Neck Cancers. nts. 2024 Dec 16;10(3):274–83.
14. Sağır SM, Şahin K. PET/MRI in Colorectal Cancers. nts. 2024 Dec 16;10(3):322–8.
15. Soydal Ç, İnal G, Küçük Ö. PET/MR Imaging in Gynecological Malignancies. nts. 2024 Dec 16;10(3):344–52.

16. Araz M. PET/MR in Breast Cancers. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):284–92.
17. Aydos U, Erbil Çapçı EN. Positron Emission Tomography/Magnetic Resonance Imaging in Thoracic Tumors. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):293–312.
18. Küçük NÖ, İnal G, Soydal Ç. PET/MR Imaging in Liver Tumors. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):313–21.
19. Ehman EC, Johnson GB, Villanueva-Meyer JE, Cha S, Leynes AP, Larson PEZ, et al. PET/MRI: Where might it replace PET/CT? *Magnetic Resonance Imaging*. 2017 Nov;46(5):1247–62.
20. Evangelista L, Zattoni F, Cassarino G, Artioli P, Cecchin D, Dal Moro F, et al. PET/MRI in prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021 Mar;48(3):859–73.
21. Gammel MCM, Solari EL, Eiber M, Rauscher I, Nekolla SG. A Clinical Role of PET-MRI in Prostate Cancer? *Seminars in Nuclear Medicine*. 2024 Jan;54(1):132–40.
22. Li M, Huang Z, Yu H, Wang Y, Zhang Y, Song B. Comparison of PET/MRI with multiparametric MRI in diagnosis of primary prostate cancer: A meta-analysis. *European Journal of Radiology*. 2019 Apr;113:225–31.
23. Şahin OE. Positron Emission Tomography/Magnetic Resonance Imaging in Hematologic Malignancies. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):353–62.
24. Ateş SG, Akdemir ÜÖ. PET/MR Imaging in Neurooncology. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):257–73.
25. Currie GM, Leon J, Nevo E, Kamvosoulis P. PET/MRI, Part 4: Clinical Applications. *J Nucl Med Technol*. 2022 Jun;50(2):90–6.
26. Sun J, Cong C, Li X, Zhou W, Xia R, Liu H, et al. Identification of Parkinson's disease and multiple system atrophy using multimodal PET/MRI radiomics. *Eur Radiol*. 2023 Aug 3;34(1):662–72.
27. Kazimierczyk R, Kaminski KA, Nekolla SG. Cardiac PET/MRI: Recent Developments and Future Aspects. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2024 Sep;54(5):733–46.
28. Aizaz M, Moonen RPM, Van Der Pol JAJ, Prieto C, Botnar RM, Kooi ME. PET/MRI of atherosclerosis. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2020 Aug;10(4):1120–39.
29. Whittington B, Dweck MR, Van Beek EJR, Newby D, Williams MC. PET-MRI of Coronary Artery Disease. *Magnetic Resonance Imaging*. 2023 May;57(5):1301–11.
30. Kogan F, Broski SM, Yoon D, Gold GE. Applications of PET-MRI in musculoskeletal disease. *Magnetic Resonance Imaging*. 2018 Jul;48(1):27–47.
31. Guja KE, Behr G, Bedmutha A, Kuhn M, Nadel HR, Pandit-Taskar N. Molecular Imaging with PET-CT and PET-MRI in Pediatric Musculoskeletal Diseases. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2024 May;54(3):438–55.
32. Telli T, Desaulniers M, Pyka T, Caobelli F, Forstmann S, Umutlu L, et al. What Role Does PET/MRI Play in Musculoskeletal Disorders? *Seminars in Nuclear Medicine*. 2025 Mar;55(2):277–89.

33. Ateş SG, Atay LÖ. PET/MR Imaging in Pediatric Oncology. *nts*. 2024 Dec 16;10(3):369–82.
34. Romeo V, Kapetas P, Clauser P, Baltzer PAT, Rasul S, Gibbs P, et al. A Simultaneous Multiparametric 18F-FDG PET/MRI Radiomics Model for the Diagnosis of Triple Negative Breast Cancer. *Cancers*. 2022 Aug 16;14(16):3944.