



Karaciğer Tümörlerinde PET/MR Görüntüleme

PET/MR Imaging in Liver Tumors

© Nuriye Özlem Küçük, © Gizem İnal, © Çiğdem Soydal

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

Öz

Pozitron emisyon tomografisi (PET) rutin onkolojik görüntüleme yöntemi olarak uzun yıllardır anatomik korelasyon ve atenüasyon düzeltmesi amacıyla bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleme ile birlikte hibrit bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Ancak son 10 yılda PET görüntüleme özellikle yüksek yumuşak doku rezolüsyonuna ihtiyaç duyulan organların değerlendirilmesinde BT yerine manyetik rezonans (MR) görüntüleme ile hibrit şekilde önce araştırma düzeyinde son yıllarda ise klinik pratikte uygulanır hale gelmiştir. Karaciğer malignitelerinin görüntülenmesinde günümüzde altın standart olarak kabul edilen görüntüleme yönteminin MR görüntüleme olması nedeniyle hibrit PET/MR görüntüleme sistemlerinin başarısının en çok merak edildiği malignite gruplarından biri karaciğer tümörleri olmuştur. Bu derlemede olgu örnekleri ile primer ve metastatik karaciğer malignitelerinde PET/MR uygulamalarına ait literatür bilgisini sunmayı amaçladık.

Anahtar Kelimeler: Karaciğer tümörleri, pozitron emisyon tomografisi, manyetik rezonans görüntüleme

Abstract

Positron emission tomography (PET) has routinely been performed as a hybrid imaging method with computed tomography (CT) for attenuation correction and anatomical localization. However, in the last decade, PET imaging has been utilized with magnetic resonance imaging (MRI) instead of CT in the evaluation of organs that is needed a high soft tissue resolution, firstly in research and in the last years in clinical practice. Since MRI is the gold standard method of the evaluation of liver malignancies, liver tumors have become one of the most interested malignancies for the potential of the hybrid PET/MRI systems. In this review we aimed to present the literature of PET/MRI in liver tumors with case examples.

Keywords: Liver tumors, positron emission tomography, magnetic resonance imaging

Giriş

Son 10 yılda bir araştırma aracı olmaktan çıkıp rutin klinik uygulamada kendine yer bulmaya çalışan bir hibrit görüntüleme yöntemi olarak pozitron emisyon tomografisi/manyetik rezonans (PET/MR) görüntüleme uygulamaları için en ilgi çekici malignite gruplarından biri karaciğer tümörleri olmuştur. Bu derleme makalesinde şüpheli karaciğer lezyonlarının değerlendirilmesinden

primer ve metastatik karaciğer tümörlerine kadar farklı hasta gruplarında PET/MR görüntüleme uygulamalarına ait literatür bilgisini derlemeyi amaçladık. Ancak mevcut olan literatür bilgisinin sınırlı sayıda olması nedeniyle pek çok alanda PET/MR görüntülemenin potansiyel bir yeri olduğu ancak henüz yeterli bilimsel kanıtı ulaşamadığı kanısındayız. Bu nedenle ülkemizde sayılı PET/MR sistemlerinden birine sahip olan bir Nükleer Tıp

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Nuriye Özlem Küçük, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: kucuko68@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-7717-2439

Geliş Tarihi/Received: 23.08.2024 Kabul Tarihi/Accepted: 14.10.2024



Copyright© 2024 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makedir.

Copyright© 2024 The Author. Published by Galenos Publishing House on behalf of Turkish Nuclear Medicine Society. This is an open access article under the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

kliniği olarak arada yeri geldiğinde kendi olgularımızdan örnek görüntüler paylaşmayı uygun bulduk. Bizim rutin protokolümüzde karaciğer PET/MR görüntülemesinde standart MR protokolü kapsamında koronal T2A *single-shot fast spin eko*, aksiyel T2A propeller, aksiyel T2A propeller yağ baskılı *fast spin eko* (FSE), aksiyel dual eko, eko planar görüntüleme ve $b=50, 400, 800 \text{ s/mm}^2$ değerleri ile difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) ve postkontrast 3D GE T1 (Disco) sekansları yer alınmaktadır. Mevcut kanımız gelecekte yapılacak prospektif büyük olgu serileri içeren bilimsel çalışmaların karaciğer tümörlerinde PET/MR görüntüleme uygulamalarının başarısını destekleyeceği ve PET/MR'ın bu hasta grubunda rutin kullanımda yerini alacağı yönündedir.

Karaciğer Lezyonlarının Değerlendirilmesi

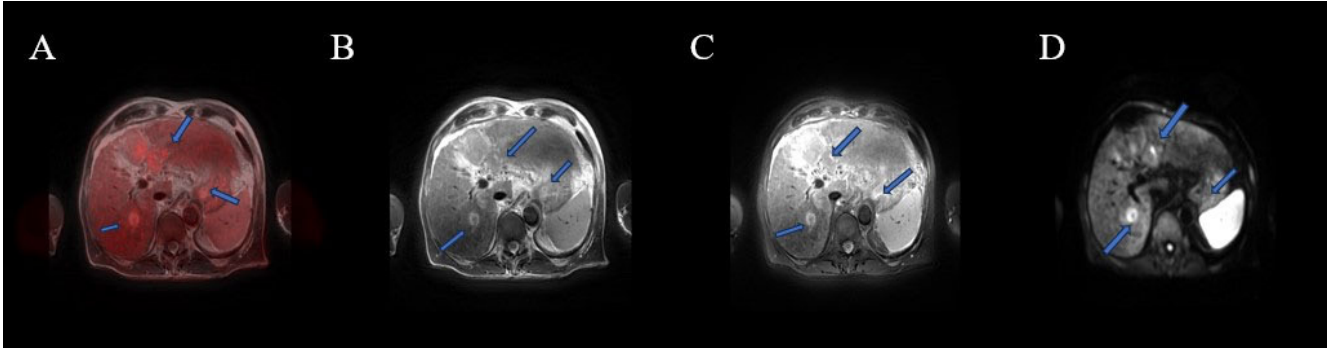
MR görüntülemenin yüksek yumuşak doku kontrastı ve DAG'ın verdiği fonksiyonel bilgiyle karaciğer lezyonlarının karakterizasyonunda ve küçük boyutlu lezyonların saptanmasında bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülemeye göre üstün olduğu bilinmektedir. BT görüntüleme PET/BT'de sıklıkla kullanıldığı şekilde kontrast ajan kullanılmadan tek başına kullanıldığında bazen küçük karaciğer kistleri, hemanjiomlar ve metastazların ayrımı konusunda yetersiz kalmaktadır. PET/MR görüntülemesinde PET/BT'ye göre daha uzun görüntüleme süresi sayesinde karaciğerde izlenen yüksek fizyolojik zemin aktivite nedeniyle oluşan gürültü azaltılarak daha iyi lezyon karakterizasyonu sağlanabilmektedir. Rutin pratikte, mevcut çalışmalar PET/MR'ın PET/BT'ye göre karaciğer lezyonlarının karakterizasyonundaki başarısının PET görüntüleme ile MR komponentinin yüksek yumuşak doku çözünürlüğünün bir arada değerlendirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (1). PET/MR görüntülemenin bu konudaki başarısı özellikle dinamik kontrastlı MR kullanıldığında ön plana çıkmaktadır. PET/MR görüntülemenin asıl ön plana çıktığı alan BT ve MR görüntüleme ile benign/malign ayrımı yapılamayan lezyonların değerlendirilmesidir. Sıklıkla izlenen benign karaciğer lezyonları genellikle karaciğer ile benzer düzeyde florodeoksiglukoz (FDG) tutulumu gösterirken malign lezyonların büyük kısmı ise karaciğere göre artmış tutulum gösterirler (2).

Hepatoselüler Karsinoma

Hepatoselüler karsinoma (HCC) karaciğerin en sık izlenen primer tümörüdür. Kontrastlı BT sıklıkla

kullanılsa da HCC görüntülemesinde altın standart yöntem ekstraselüler ya da hepatobiliyer kontrast ajan ile uygulanan MR görüntülemesidir (3). Geleneksel açıdan PET/BT, HCC lezyonlarının değerlendirilmesinde önemli bir yere sahip değildir. FDG dışında başta C-11 veya F-18 işaretli kolin olmak üzere farklı ajanlar denense de klinik pratikte en yaygın kullanılan ajan hala FDG'dir. İyi diferansiye HCC alt tiplerinin diğer malign tümörlere göre daha düşük glikolitik aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca iyi diferansiye alt tiplerin sahip oldukları yüksek glukoz dehidrogenaz aktivitesi nedeniyle FDG'nin hücre içinde kalış süresi de kısadır. Bu iki mekanizmanın kombinasyonu nedeniyle iyi diferansiye HCC alt tipleri düşük FDG tutulumu gösterirler. Bu limitasyon nedeniyle FDG PET HCC tanısında %36 ile %70 arasında bir duyarlılığa sahiptir (4). Halbuki kötü diferansiye HCC alt tipleri yüksek glikolitik aktivite ve düşük enzim aktivitesi nedeniyle yoğun FDG tutulumu gösterirler (5). Ayrıca kötü diferansiye HCC'ler metastaz ve nüks açısından da yüksek potansiyele sahiptir ki bu da bir tüm vücut görüntüleme yöntemi olarak FDG PET'i ön plana çıkarmaktadır (Şekil 1). FDG tutulumunun düzeyi ile tümör diferansiyasyonu arasındaki bu ilişki HCC tanısı olan hastaların prognozlarını da ön görmeye olanak sağlar (5). HCC tanısındaki yüksek tanısal performansı ile MR görüntüleme, PET ile kombine edildiğinde yüksek tanısal ve prognostik potansiyele sahip ve ekstrahepatik hastalığı da başarı ile değerlendiren bir kombine görüntüleme yöntemi haline gelmektedir. FDG PET'deki standart tutulum değerleri (SUV) ile multiparametrik MR görüntülemedeki görünür difüzyon katsayısı, k-trans ve DAG gibi sayısal değerlerin arasındaki ilişki bilinmektedir (6).

FDG PET, HCC'de radyofrekans ablasyon (RFA), transkateter arteriyel kemoembolizasyon ve transarteriyel radyoembolizasyon (TARE) gibi lokal tedavilerin yanıtlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir (Şekil 2). FDG PET'in bu endikasyon ile kullanımında en önemli avantajı SUV değişimdeki kantitatif değerlendirme ile yanıtın daha erken dönemde değerlendirilmesine izin vermesidir (7,8,9). FDG PET'in bir diğer avantajı RFA sonrası rekürrens saptanmasında BT ve MR'a göre daha yüksek duyarlılığa sahip olmasıdır (10). Lokal tedaviler sonrasında yanıtın değerlendirilmesinde PET/MR görüntülemenin rolüne ait birkaç çalışma mevcuttur. Teorik olarak DAG görüntülemeyi içeren bir dinamik MR görüntüleme ile FDG PET'in kombinasyonu yanıt değerlendirmesinde potansiyel avantajlara sahip olacaktır. Ek olarak TARE



Şekil 1. Hepatit B ile takip edilen ve tedavi altında olan hastanın AFP değerinin yüksek izlenmesi üzerine PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Aksiyel kesit PET/T2 yağ baskılı MR füzyon görüntüsü B. Aksiyel kesit T2 MR görüntüsü C. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüsü D. Aksiyel kesit DAG MR görüntüsü

MR görüntülerinde T2A da hiperintens görünümlü karaciğer segment II, VI ile IVa ve IVb de büyüğü yaklaşık 5x4,5 cm boyutlu birbiri ile birleşme eğilimi gösteren HCC ile uyumlu kontrastlanma izlenen lezyonlar mevcuttur. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğer segment II, IV ve VI mevcut lezyonlarda patolojik F-18 FDG birikimi saptanmıştır

AFP: Alfa fetoprotein, PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, DAG: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme, HCC: Hepatoselüler karsinoma, FDG: Florodeoksiglukoz

planlanan hastalarda PET/MR görüntüleme dozimetri amacıyla kullanılabilir. Kolorektal kanser karaciğer metastazı nedeniyle TARE yapılan hastalarda tedaviye yanıt veren hastaların Y-90 PET/MR görüntüleme ile yapılan tedavi sonrası dozimetri ile elde edilen doz hacim histogramlarının yanıt vermeyenlere göre belirgin yüksek olduğu bildirilmiştir (11). Bu bilgi tedavi yanıtını öngörebilecek bir belirteç olarak kullanılabilir ve HCC hasta grubunda da benzer çalışmalara ihtiyaç olacaktır.

FDG PET/MR aynı zamanda portal vende mevcut olan trombüsün malign olup olmadığının ayırt edilmesinde, reaktif ve metastatik lenf nodlarının ayırımında da önemli bir yere sahip olabilir (4). Ayrıca FDG tutulum düzeyi tedavi yanıtının öngörülmesinde ve cerrahi ya da transplant sonrası nüksün öngörülmesinde role sahiptir (4). Ortotopik karaciğer transplantasyonu öncesi FDG tutulumu serum alfa fetoprotein değerleri ile kombine edildiğinde transplant sonrası erken rekürrensi öngörebildiği gösterilmiştir (12).

Kolanjiyel Karsinoma

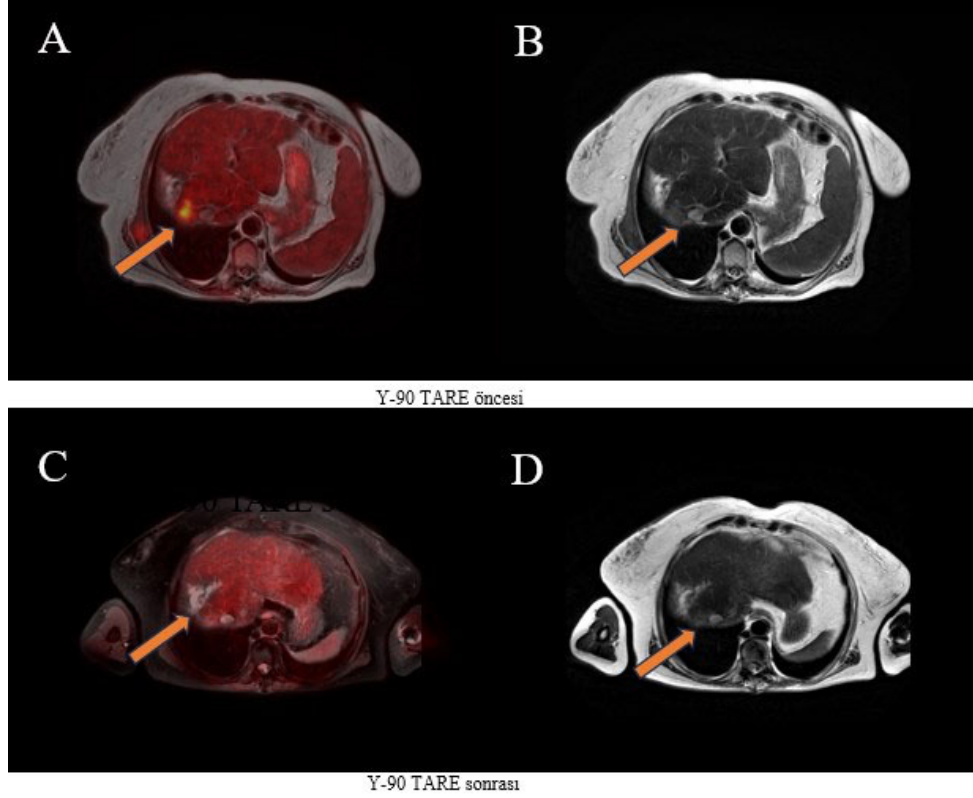
Kolanjiyel karsinoma (KSK), biliyer epitelden kaynaklanan bir malignitedir ve lokalizasyonuna göre intrahepatik, ekstrahepatik ve perihiler olarak veya morfolojisine göre intraduktal, kitle formasyonu yapan ve periduktal infiltrate olarak alt gruplara ayrılır. Tek küratif tedavi seçeneği cerrahi rezeksiyondur ve bu nedenle küratif tedaviye uygun hastaların seçiminde

hastalığın doğru evrelemesi önem arz etmektedir. Cerrahi girişim öncesi tümörün lokal yaygınlığı ve komşu organlar ile ilişkisinin değerlendirilmesi, lenf nodu ve uzak organ tutulumlarının değerlendirilmesi amacıyla BT, MR kolanjiyopankreatografi (MRKP) ve PET ile yapılan kombine bir değerlendirme gereklidir (Şekil 3) (13). Ulusal Kanser Bakım Ağı rehberinde KSK tanı ve evrelemesinde BT ve MR görüntüleme önerilmektedir (14). FDG PET KSK hastalarında lenf nodu metastazı ve uzak metastazların tüm vücut evrelemesinde ve rekürren hastalığın saptanmasında önemli bir yere sahiptir (Şekil 4). FDG PET'in MR görüntüleme ile kombinasyonu her iki yöntemin tanısal performansını artırır (15).

KSK histolojik olarak bir adenokarsinoma tipidir ve tüm adenokarsinoma tipleri gibi yüksek FDG tutulumu gösterir. Ancak KSK'ler yüksek oranda fibröz stroma da içerir ki bu durum FDG tutulumunu bir miktar azaltır. Sonuç olarak FDG PET'in KSK'deki tanısal performansı papiller duktal ve intrahepatik kitle formasyonu yapan tiplerde periduktal infiltrate tipe göre daha yüksektir (16).

Bazı KSK olgularında primer infiltratif tümörün çevre biliyer yapılardan konvansiyonel görüntüleme yöntemleri ile ayırt edilmesi mümkün olmayabilir. Bu olgularda PET/MR görüntüleme primer tümörün çevredeki yapılardan ayırımında yararlı olabilir (12,17).

FDG tutulumu genellikle primer malignite ile ilişkili olarak yorumlansa da biliyer girişimler ve stent uygulamaları nedeniyle oluşan enflamasyon



Şekil 2. 2003 yılında HCC tanısı alan hastaya, karaciğer segment VII rezeksiyonu yapılmış ve takiplerinde sol humerusta saptanan metastaza rezeksiyon uygulanmıştır. Tedavi altında operasyon lojunda ve segment II de yeni lezyonlar izlenmesi üzerine PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Y-90 TARE tedavi öncesi aksiyel kesit PET/T2 MR füzyon görüntüsü B. Y-90 TARE tedavi öncesi aksiyel kesit T2 MR görüntüsü C. Y-90 TARE tedavi sonrası aksiyel kesit PET/T2 MR füzyon görüntüsü D. Y-90 TARE tedavi sonrası aksiyel kesit T2 MR görüntüsü

Y-90 TARE tedavi öncesi MR görüntülerinde sağ lobda parsiyel rezeksiyona sekonder defektif görünüm izlenmiştir. Bu düzey posteriorunda vena kava inferior komşuluğunda yaklaşık 2,5x2 cm boyutlu HCC lezyonu izlenmiştir. PET/MR füzyon görüntülerinde sağ lobda rezeksiyon sınırında patolojik F-18 FDG birikimleri saptanmış. Görüntüleme sonrasında hastanın karaciğer sağ lobdaki tümörüne Y-90 TARE tedavisi uygulanmış olup Y-90 TARE tedavi sonrasında MR görüntülerinde sağ lobda rezeksiyon bölgesi posteriorunda bir önceki çalışmada izlenen lezyon tümüyle kaybolmuştur. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğerde patolojik aktivite birikimi saptanmamıştır. Görüntüleme sonrasında hastanın sağ lobdaki tümöre ve sol lob tümöre Y-90 TARE tedavisi uygulanmış olup, tedavi yanıtı PET/MR görüntülerinde patolojik odak saptanmamıştır.

HCC: Hepatoselüler karsinoma, PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, TARE: Transarteriyel radyoembolizasyon, FDG: Florodeoksiglukoz

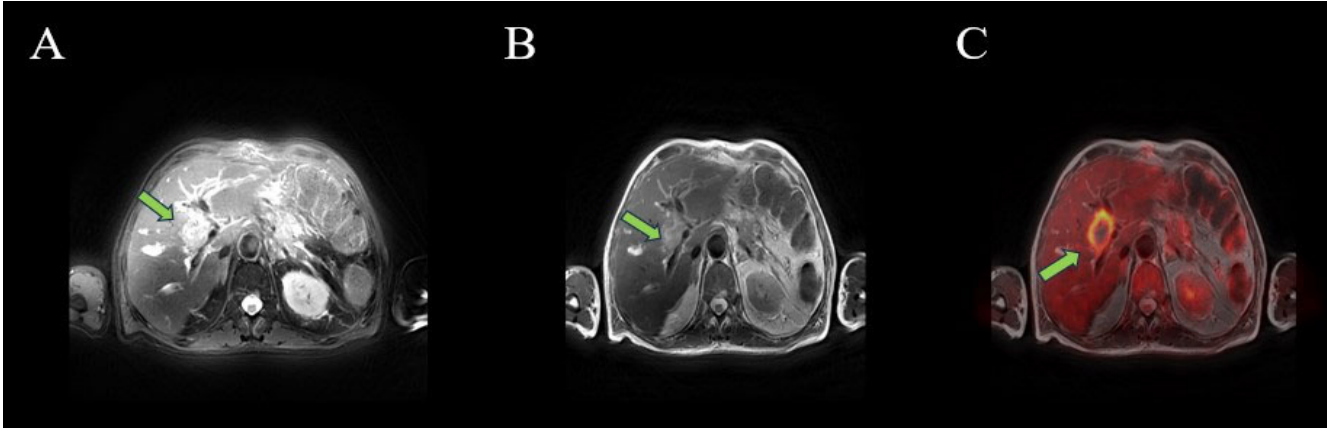
yalancı pozitifliklere neden olabilir. Benzer bir zorluk primer sklerozan kolanjit zemininde gelişen KSK'lerin değerlendirmesinde de söz konusudur. Bu durumda PET/MR görüntüleme tanısal performansı artırmaktadır (18).

Hiler KSK'lerde rezektabilitenin değerlendirilmesi için lokal evreleme kritik yere sahiptir. MRKP ve endoskopik retrograd kolanjiyopankreatografi ile yapılan lokal evreleme duktal tutulumu değerlendirmek için kullanılan ancak orta düzeyde duyarlılığa sahip yöntemlerdir (19). Teorik olarak PET/MR bu endikasyonda potansiyel bir yere sahip olabilir ancak bu düşüncüyü destekleyecek bir literatür verisi henüz mevcut değildir. Kitle formasyonu yapan KSK'ler, kötü diferensiye HCC'ler ile benzer

düzeyde FDG tutulumu gösterdiğinden FDG PET bu iki malignitenin ayrımı amacıyla kullanılamaz. Ancak PET/MR şeklinde uygulanırsa HCC ve KSK'nin multiparametrik MR görüntülemesindeki farklı karakteristikleri ayırtıcı tanı açısından faydalı olabilir.

Safra Kesesi Kanseri

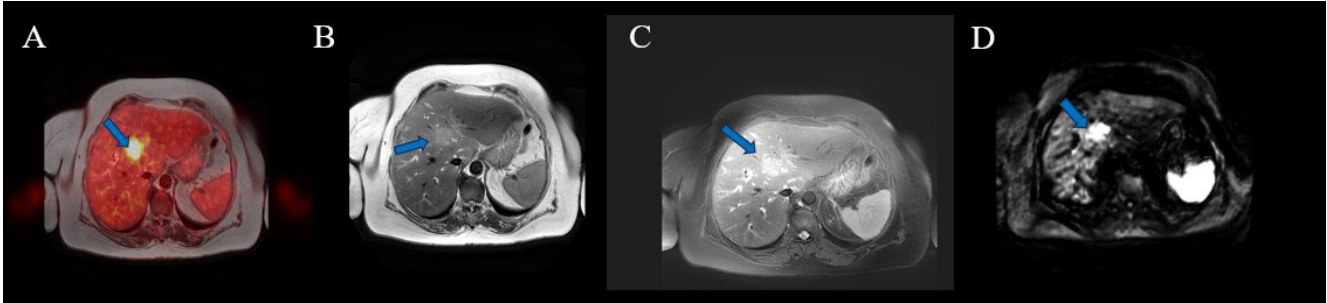
Safra kesesi kanseri, biliyersistemin en sık malignitesidir. Agresif doğası ve nonspesifik klinik bulguları nedeniyle genellikle ileri evrede tanı alır bu nedenle de prognozu kötüdür (20). Uzun dönem sağkalım ve kür sağlayabilecek tek tedavi seçeneği cerrahidir (21). Ancak bu aşamada tümör evresi, lenf nodu metastazı ve uzak organ



Şekil 3. Sarılık şikayetiyle hastaneye başvuran hastaya yapılan BT görüntülemesinde safra yollarında dilatasyon izlenmesi üzerine tanı ve evreleme amacıyla PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüsü B. Aksiyel kesit T2 MR görüntüsü C. Aksiyel kesit PET/T2 MR füzyon görüntüsü

MR görüntüsünde karaciğer sağ lob segment IV'te yaklaşık 44 mm boyutlu T2A'da santrali hipointens görünümde izlenen lezyon mevcuttur. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğer santralde segment IV'te orta kesimi nekrotik özellikte olan halo tarzında patolojik F-18 FDG birikimi saptanmıştır

PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz

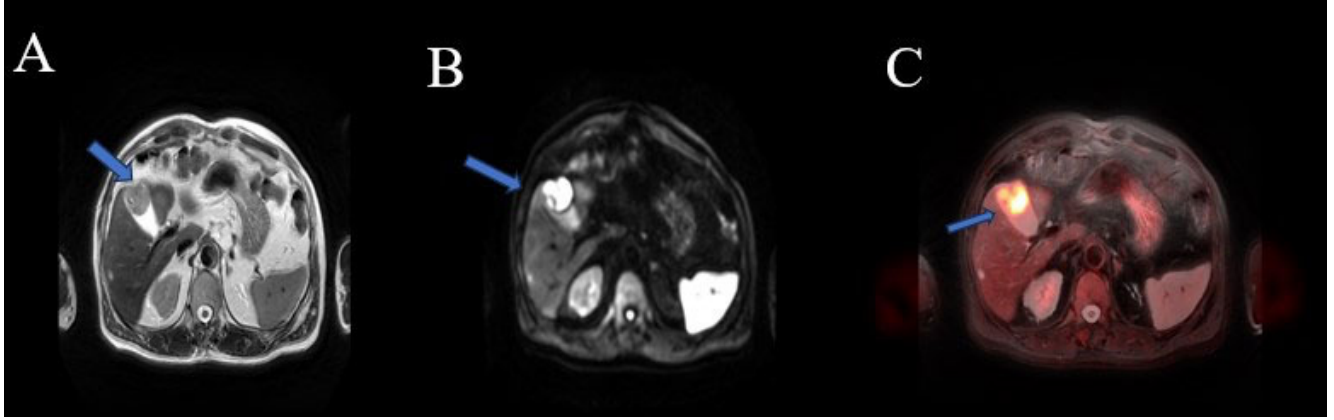


Şekil 4. Kolesistektomi operasyonu sonrası kolanjiyosellüler karsinom tanısı alan takip edilen hastada direkt bilirubin yüksekliği saptaması üzerine yeniden evreleme amacıyla PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Aksiyel kesit PET/T2 MR füzyon görüntüsü B. Aksiyel kesit T2 MR görüntüsü C. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüsü D. Aksiyel kesit DAG MR görüntüsü. MR görüntülerinde ana hepatik kanal ve sağ-sol ana safra kanallarını ilgilendiren aksiyel düzlemde yaklaşık 3,6 cm boyutlu kitle gözlenmiştir. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğerde ana safra yollarına ve vasküler yapılar çevresinde mevcut yumuşak doku yapılanmasında patolojik F-18 FDG birikimleri saptanmıştır

PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, DAG: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme, FDG: Florodeoksiglukoz

metastazlarının doğru şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Safra kesesindeki primer tümörün saptanmasında PET %75-100 duyarlılık ve %80-89 özgüllüğe sahiptir (5). Ultrasonografi, BT veya MR görüntülemesinde saptanmış olan safra kesesi duvar kalınlaşmalarının benign/malign ayrımında FDG tutulumun bulunup bulunmaması faydalı olacaktır (22). Ancak FDG PET'in safra kesesi kanserlerinde primer kullanım amacı uzak metastaz ve rekürren hastalık araştırılmasıdır. Safra kesesi kanserinde evreleme amacıyla rutin kullanılan görüntüleme yöntemleri

ultrason, BT, MR ve MRKP'dir. Evrelemede hastaların az bir kısmında uygulansa da PET/BT'nin uzak metastazları saptamada BT'den üstün olduğu gösterilmiştir. Ayrıca safra kesesi kanserlerinin büyük kısmı kolesistektomi sonrası patolojik değerlendirme ile tesadüfen saptandığı için PET/BT konvansiyonel görüntüleme yöntemleri ile değerlendirilmesi zor olan laparoskopi traktına ekimi de saptayabilir (23). MR ise biliyer anatomisinin ve tümörün karaciğer parankimine lokal infiltrasyonunun ve olası lenf nodu metastazlarının değerlendirilmesi için etkin bir



Şekil 5. Hastaya yapılan BT görüntülemesinde safra kesesinde lezyon izlenmesi üzerine evreleme amacıyla PET/MR yapılmıştır. A. Aksiyel kesit T2 MR görüntüsü B. Aksiyel kesit DAG MR görüntüsü C. Aksiyel kesit PET/T2 yağ baskılı MR füzyon görüntüsü. MR görüntülerinde safra kesesi fundusta lümene protrüde görünümlü yaklaşık 37x28 mm boyutlu lezyon izlenmiştir. PET/MR füzyon görüntülerinde, safra kesesi fundus bölgesinde lümene uzanımı olan lezyonda patolojik F-18 FDG birikimi saptanmıştır. Görüntüleme sonrası yapılan kolesistektomi operasyonu sonrası patolojisi safra kesesi karsinomu ile uyumlu gelmiştir

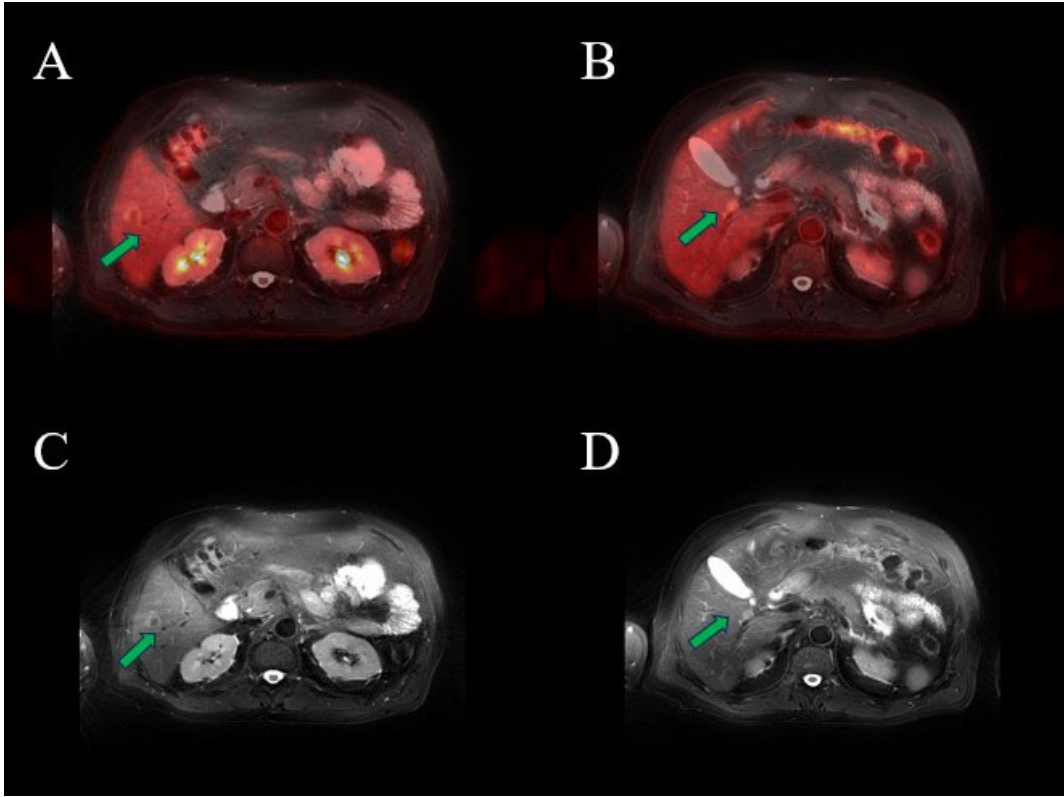
PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, DAG: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme, FDG: florodeoksiglukoz

görüntüleme yöntemidir. Bu nedenle PET/MR safra kesesi kanserlerinin hem lokal evrelemesinde hem de olası metastatik hastalığın saptanmasında potansiyel bir role sahiptir (Şekil 5).

Karaciğer Metastazları

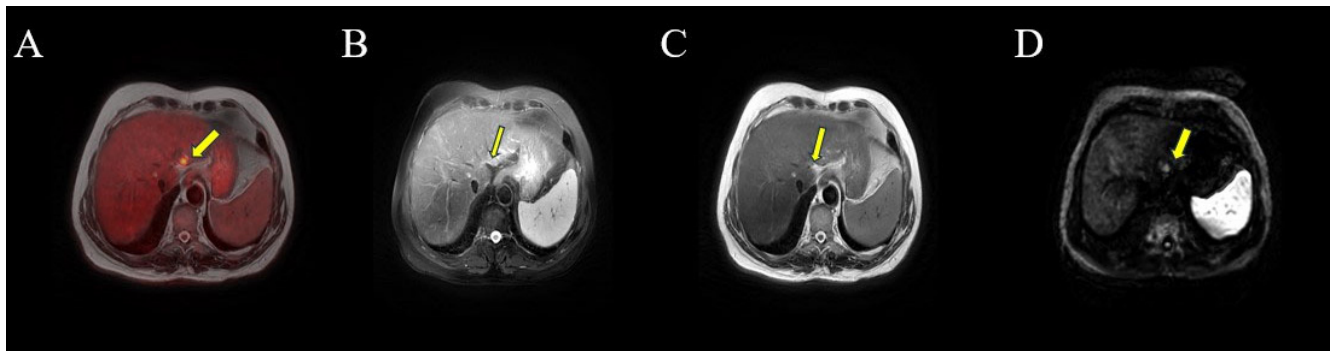
Karaciğer en sık metastaz izlenen organdır ve bu nedenle karaciğer metastazlarının belirlenmesi, PET/MR görüntülemenin en sık çalışıldığı endikasyondur. Karaciğer metastazlarının FDG tutulum paterni primer tümörün histolojik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Genellikle FDG tutulumu gösteren primer tümörlerin karaciğer metastazları da FDG tutulumu gösterirler. Ancak karaciğer metastazının FDG tutulumu metastazların boyutu, içinde hemorajik ya da nekrotik komponent içerip içermemesi ile de yakından ilişkilidir. Kontrastlı MR görüntüleme, özellikle DAG ve hepatobiliyer faz görüntüleri ile birlikte uygulandığında karaciğer metastazlarının saptanmasında kontrastlı BT'ye göre daha başarılıdır ve hibrit görüntüleme açısından özellikle FDG tutmayan metastazlarda PET görüntülemeye çok daha belirgin katkı sunmaktadır (24,25,26). Özellikle kolorektal kanser karaciğer metastazlarının optimal olarak görüntülenmesi cerrahi rezeksiyon, ablasyon ve embolizasyon gibi yöntemler içinden en uygun olanın seçilmesi açısından gereklidir. PET/BT'nin kolorektal kanser hastalarında evreleme amacıyla kullanıldığında ekstrahepatik hastalığı saptamada BT ve MR görüntülemeye göre daha yüksek

tanısal performans gösterdiği bilinmektedir (27). Ancak cerrahi öncesi karaciğer metastazlarının evrelemesinde düşük uzaysal rezolüsyonu ve yüksek fizyolojik karaciğer zemin aktivitesi nedeniyle yeterli duyarlılığa sahip değildir. Bu endikasyon ile PET'in tanısal bir MR görüntüleme ile kombine edilmesi en yüksek tanısal performansa sahip seçenektir (Şekil 6) (28). Daha önce yapılan bir çalışmada PET/MR'ın yalnızca T1/T2W sekansları ile uygulandığında kontrastlı BT ile birlikte yapılan PET çalışması ile benzer düzeyde tanısal performans gösterdiği ancak dinamik kontrastlı sekanslar eklendiğinde karaciğer lezyonlarının karakterizasyonundaki başarısının belirgin şekilde arttığı gösterilmiştir (29). PET/MR'ın karaciğer metastazlarını saptamadaki başarısı pek çok çalışma ile gösterilmiştir. Özellikle DAG ve hepatobiliyer faz görüntüleme eklendiğinde %99 duyarlılık ve %97 özgüllüğe ulaşmaktadır (Şekil 7) (13,14,30). PET/MR'ın yüksek özgüllüğü PET'in BT ve MR görüntülemesinde metastaz ile karışan benign lezyonlara ait yalancı pozitif bulguları azaltmasına bağlanabilir (31). Yüksek duyarlılığı ise PET görüntülemenin rezolüsyon sınırı altında kalan küçük lezyonların MR görüntüleme ile saptanmasına ilişkin olabilir (31). PET/MR kanserli hastalarda karaciğer metastazlarının saptanmasında etkin olmanın yanında primer tümörün T evrelemesi açısından da yararlı bilgiler verebilir. Başta gastroenteropankreatik nöroendokrin tümörler olmak üzere nöroendokrin tümörler de karaciğere sıklıkla metastaz yaparlar (32).



Şekil 6. Altmış bir yaşında erkek hastaya dış merkezde kolonoskopide sigmoid kolonda kitle saptanması üzerine PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A, B. Aksiyel kesit PET/T2 yağ baskılı MR füzyon görüntüleri C, D. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüleri. MR görüntülerinde karaciğer segment V'te 18 mm boyutlu santrali T2A da hipointens görünümlü, periferik kontrastlanma gösteren lezyon izlenmiştir. Ayrıca segment V'te 14x9 mm boyutlu T2A da hiperintens özellikle ikinci bir lezyon gözlenmiştir. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğer sağ lobda segment V'te yerleşimli iki adet lezyonda patolojik F-18 FDG birikimleri saptanmıştır

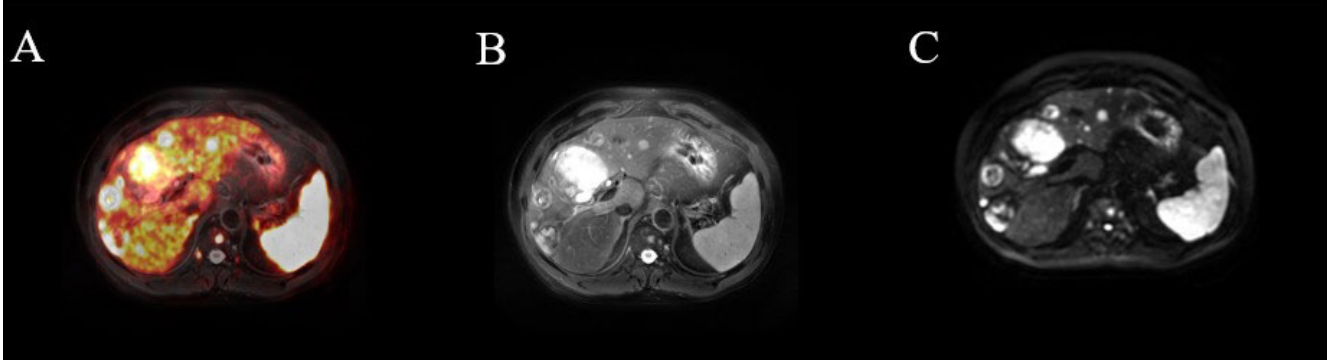
PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz



Şekil 7. 2020 yılında kolonoskopi sonrası inen kolonda kitle saptanması üzerine hasta ameliyat edilmiş ve kolon kanseri tanısı konulmuştur. Operasyon sonrası KT uygulanan hastada karaciğer metastazı saptanması üzerine karaciğer rezeksiyonu ve RF ablasyon uygulanmıştır. Takipte radyolojik progresyon saptanması üzerine hastanın sağ lobundaki lezyona Y-90 TARE tedavisi verilmiştir. Ancak tedavi sonrasında progresyon şüphesi ile yeniden evreleme PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Aksiyel kesit PET/T2 MR füzyon görüntüsü B. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüsü C. Aksiyel kesit T2 MR görüntüsü D. Aksiyel kesit DAG MR görüntüsü

MR görüntüsünde segment II'de posteriorda subkapsüler yerleşimli, yaklaşık 12 mm boyutlu ablasyon alanı komşuluğunda yaklaşık 12 mm boyutunda lezyon izlenmiştir. PET/MR füzyon görüntülerinde karaciğer segment II'de mevcut lezyonda patolojik F-18 FDG birikimleri izlenmiştir

KT: Kemoterapi, RF: Radyo frekans, PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans, DAG: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme, FDG: Florodeoksiglukoz



Şekil 8. Elli sekiz yaşında erkek, terleme ve flushing atakları nedeniyle tetkik edilen hastanın karaciğerinde kitle saptanması üzerine biyopsi yapılmış ve patolojisi iyi diferansiye NET ile uyumlu olarak gelmiştir. Hastaya Ga-68 DOTATATE PET/MR görüntülemesi yapılmıştır. A. Aksiyel kesit PET/T2 yağ baskılı MR füzyon görüntüsü B. Aksiyel kesit T2 yağ baskılı MR görüntüsü C. Aksiyel kesit DAG MR görüntüsü. MR görüntülerinde karaciğer tüm parankimini ilgilendiren değişik boyutlarda izlenen, en büyüğü sağ lobda segment V'te 9x8 cm boyutlu, lezyonlar mevcuttur. PET/MR füzyon görüntülerde karaciğerde multipl kitlelerde patolojik Ga-68 DOTATATE birikimi saptanmıştır

PET: Pozitron emisyon tomografi, MR: Manyetik rezonans DAG: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme

Ga-68 DOTATATE ABD'de Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi onayı almasının ardından nöroendokrin tümörlerin tüm vücut görüntülemesinde yaygın olarak kullanılan ajan haline gelmiştir. Ga-68 DOTATATE PET'in BT ve MR görüntülemeye göre tanısal başarısının daha yüksek olduğuna dair pek çok çalışma mevcuttur (33,34). Pek çok nöroendokrin tümör hastasında evreleme aşamasında hem PET hem MR görüntüleme yapılmaktadır ki bu da PET/MR'ı bu hastalarda potansiyel görüntüleme yöntemi haline getirmektedir (Şekil 8) (35).

Sonuç

PET/MR görüntülemenin son yıllarda gösterdiği hızlı evrim onu araştırma aracı olmaktan çıkarp rutin klinik uygulamaya yerleştirmiştir. Karaciğer görüntülemesinde PET/MR'ın en büyük avantajı PET görüntülemesindeki teknolojik gelişmelerin MR görüntülemenin BT görüntülemeye göre olan yüksek yumuşak doku rezolüsyonu ile birlikte kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Tümör heterojenitesi, hareket düzeltmesindeki karmaşıklıklar ve bio-informatik alanındaki araştırmalar yeni geliştirilecek PET radyofarmasötikleri ile birleştirildiğinde PET/MR'ın klinik uygulamaları daha da yaygınlaşacaktır.

Kaynaklar

1. Mayerhoefer ME, Prosch H, Beer L, et al. PET/MRI versus PET/CT in oncology: a prospective single-center study of 330 examinations focusing on implications for patient management and cost considerations. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;47:51-60.
2. Tan GJ, Berlangieri SU, Lee ST, Scott AM. FDG PET/CT in the liver: lesions mimicking malignancies. *Abdom Imaging*. 2014;39:187-195.
3. Hope TA, Fowler KJ, Sirlin CB, et al. Hepatobiliary agents and their role in LI-RADS. *Abdom Imaging*. 2015;40:613-625.
4. Lu RC, She B, Gao WT, et al. Positron-emission tomography for hepatocellular carcinoma: Current status and future prospects. *World J Gastroenterol*. 2019;25:4682-4695.
5. Murakami K. FDG-PET for hepatobiliary and pancreatic cancer: Advances and current limitations. *World J Clin Oncol*. 2011;2:229-236.
6. Hectors SJ, Wagner M, Besa C, Huang W, Taouli B. Multiparametric FDG-PET/MRI of hepatocellular carcinoma: initial experience. *Contrast Media Mol Imaging*. 2018;2018:5638283.
7. Bonekamp S, Jolepalem P, Lazo M, Gulsun MA, Kiraly AP, Kamel IR. Hepatocellular carcinoma: response to TACE assessed with semiautomated volumetric and functional analysis of diffusion-weighted and contrast-enhanced MR imaging data. *Radiology*. 2011;260:752-761.
8. Kim HO, Kim JS, Shin YM, Ryu JS, Lee YS, Lee SG. Evaluation of metabolic characteristics and viability of lipiodolized hepatocellular carcinomas using 18F-FDG PET/CT. *J Nucl Med*. 2010;51:1849-1856.
9. Kim SH, Won KS, Choi BW, et al. Usefulness of F-18 FDG PET/CT in the evaluation of early treatment response after interventional therapy for hepatocellular carcinoma. *Nucl Med Mol Imaging*. 2012;46:102-110.
10. Chen W, Zhuang H, Cheng G, Torigian DA, Alavi A. Comparison of FDG-PET, MRI and CT for post radiofrequency ablation evaluation of hepatic tumors. *Ann Nucl Med*. 2013;27:58-64.
11. Fowler KJ, Maughan NM, Laforest R, et al. PET/MRI of hepatic 90Y microsphere deposition determines individual tumor response. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2016;39:855-864.

12. Cascales-Campos PA, Romero PR, Schneider MA, et al. Positron emission tomography/computed tomography in patients with hepatocellular carcinoma undergoing liver transplantation. Useful, necessary or irrelevant? *Eur J Radiol.* 2017;91:155-159.
13. Hennemig TP, Neo WT, Venkatesh SK. Imaging of malignancies of the biliary tract- an update. *Cancer Imaging.* 2014;14:14.
14. American Society for Gastrointestinal Endoscopy (ASGE) Standards of Practice Committee; Anderson MA, Appalaneni V, Ben-Menachem T, et al. The role of endoscopy in the evaluation and treatment of patients with biliary neoplasia. *Gastrointest Endosc.* 2013;77:167-174.
15. Jiang L, Tan H, Panje CM, Yu H, Xiu Y, Shi H. Role of 18F-FDG PET/CT imaging in intrahepatic cholangiocarcinoma. *Clin Nucl Med.* 2016;41:1-7.
16. Sacks A, Peller PJ, Surasi DS, Chatburn L, Mercier G, Subramaniam RM. Value of PET/CT in the management of primary hepatobiliary tumors, part 2. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;197:W260-W265.
17. Choi EK, Yoo IeR, Kim SH, et al. The clinical value of dual-time point 18F-FDG PET/CT for differentiating extrahepatic cholangiocarcinoma from benign disease. *Clin Nucl Med.* 2013;38:e106-e111.
18. Prytz H, Keiding S, Björnsson E, et al. Dynamic FDG-PET is useful for detection of cholangiocarcinoma in patients with PSC listed for liver transplantation. *Hepatology.* 2006;44:1572-1580.
19. Vilgrain V. Staging cholangiocarcinoma by imaging studies. *HPB (Oxford).* 2008;10:106-109.
20. Reid KM, Ramos-De la Medina A, Donohue JH. Diagnosis and surgical management of gallbladder cancer: a review. *J Gastrointest Surg.* 2007;11:671-681.
21. Mekeel KL, Hemming AW. Surgical management of gallbladder carcinoma: a review. *J Gastrointest Surg.* 2007;11:1188-1193.
22. Oe A, Kawabe J, Torii K, et al. Distinguishing benign from malignant gallbladder wall thickening using FDG-PET. *Ann Nucl Med.* 2006;20:699-703.
23. Lomis KD, Vitola JV, Delbeke D, et al. Recurrent gallbladder carcinoma at laparoscopy port sites diagnosed by positron emission tomography: implications for primary and radical second operations. *Am Surg.* 1997;63:341-345.
24. Low G, Tho LM, Leen E, et al. The role of imaging in the pre-operative staging and post-operative follow-up of rectal cancer. *Surgeon.* 2008;6:222-231.
25. van Kessel CS, van Leeuwen MS, van den Bosch MA, et al. Accuracy of multislice liver CT and MRI for preoperative assessment of colorectal liver metastases after neoadjuvant chemotherapy. *Dig Surg.* 2011;28:36-43.
26. Kulemann V, Schima W, Tamandl D, Kaczirek K, Gruenberger T, Wrba F, Weber M, Ba-Ssalamah A. Preoperative detection of colorectal liver metastases in fatty liver: MDCT or MRI? *Eur J Radiol.* 2011;79:e1-e6.
27. Llamas-Elvira JM, Rodríguez-Fernández A, Gutiérrez-Sáinz J, et al. Fluorine-18 fluorodeoxyglucose PET in the preoperative staging of colorectal cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2007;34:859-867.
28. Sotoudeh H, Sharma A, Fowler KJ, McConathy J, Dehdashti F. Clinical application of PET/MRI in oncology. *J Magn Reson Imaging.* 2016;44:265-276.
29. Reiner CS, Stolzmann P, Husmann L, et al. Protocol requirements and diagnostic value of PET/MR imaging for liver metastasis detection. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014;41:649-658.
30. Hong SB, Choi SH, Kim KW, et al. Diagnostic performance of [18F]FDG-PET/MRI for liver metastasis in patients with primary malignancy: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol.* 2019;29:3553-3563.
31. Schulz A, Viktil E, Godt JC, et al. Diagnostic performance of CT, MRI and PET/CT in patients with suspected colorectal liver metastases: the superiority of MRI. *Acta Radiol.* 2016;57:1040-1048.
32. Berzaczky D, Giraudo C, Haug AR, et al. Whole-body 68Ga-DOTANOC PET/MRI versus 68Ga-DOTANOC PET/CT in patients with neuroendocrine tumors: a prospective study in 28 patients. *Clin Nucl Med.* 2017;42:669-674.
33. Jackson T, Darwish M, Cho E, Nagatomo K, Osman H, Jeyarajah DR. 68Ga-DOTATATE PET/CT compared to standard imaging in metastatic neuroendocrine tumors: a more sensitive test to detect liver metastasis? *Abdom Radiol (NY).* 2021;46:3179-3183.
34. Desai K, Watkins J, Woodward N, Quigley AM, Toumpanakis C, Bomanji J, Caplin M. Use of molecular imaging to differentiate liver metastasis of colorectal cancer metastasis from neuroendocrine tumor origin. *J Clin Gastroenterol.* 2011;45:e8-e11.
35. Sawicki LM, Deuschl C, Beiderwellen K, et al. Evaluation of 68Ga-DOTATOC PET/MRI for whole-body staging of neuroendocrine tumours in comparison with 68Ga-DOTATOC PET/CT. *Eur Radiol.* 2017;27:4091-4099.