



Pediatric Brain Tumörlerinin Tanısında PET/BT ve PET/MRG

PET/CT and PET/MRI in the Diagnosis of Pediatric Brain Tumors

✉ Pınar Akkuş Gündüz, ✉ Çiğdem Soydal

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

Öz

Beyin tümörleri pediatrik popülasyonda en sık görülen solid tümörlerdir ve çocukluk çağında kansere bağlı ölümlerin en büyük kısmını oluşturlar. Pediatrik beyin tümörlerinde tedavi seçimi tümör tipine, lokasyonuna, evresine, yaş ve klinik duruma bağlı olarak belirlenir ve öncelikli tercih primer lezyonun cerrahi rezeksiyonudur. Görüntüleme yöntemi olarak tanı ve cerrahi öncesi değerlendirme amacıyla esas olarak kontrastlı manyetik rezonans (MR) görüntüleme kullanılmaktadır. MR görüntülemenin anatomik çözünürlüğü yüksek olsa da geleneksel teknikler tümör sınırlarını net belirlemede, çevre normal dokudaki infiltrasyonu göstermede yetersiz kalmaktadır. Bu noktada radyonüklid ajanlarla moleküler görüntüleme yöntemlerinin önemi ön plana çıkmaktadır. Pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi (PET/BT) ve PET/MR gibi hibrit görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi, pediatrik araştırmaları ve klinik uygulamaları daha da ileri taşımıştır. Pediatrik beyin tümörlerinin görüntülenmesinde en sık kullanılan PET radyofarmasötiki olan florodeoksiglukoz (FDG); tanıda, evrelemede, prognoz değerlendirmesinde, tedavi planlamada, tedavi yanıtı değerlendirmesinde ve rekürrens tespitinde önemli bilgiler sağlasa da kortikal dokudaki fizyolojik tutulumu nedeniyle kısıtlılıkları mevcuttur. Bu nedenle, FDG'ye ek olarak amino asit bazlı radyofarmasötikler (C-11 MET, F-18 FET, F-18 DOPA) geliştirilmiş ve beyin tümörleri değerlendirmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Amino asit PET, düşük dereceli gliomalar da dahil olmak üzere beyin tümörlerinde yüksek tutulumu ve normal beyinde düşük tutulumu nedeniyle önemli avantajlara sahiptir. Bu da beyin tümörlerinin değerlendirilmesinde ve takibinde tanı doğruluğunu artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PET/BT, PET/MRG, pediatrik beyin tümörleri, amino-asit PET

Abstract

Brain tumors are the most common solid tumors in the pediatric population and account for the largest portion of childhood cancer-related deaths. Treatment choices for pediatric brain tumors depend on tumor type, location, stage, age and clinical status and surgical resection of the lesion is the primary treatment choice. Contrast-enhanced magnetic resonance (MR) imaging is the primary imaging modality used for diagnosis and presurgical evaluation. While MR imaging offers high anatomical resolution, conventional techniques are insufficient to clearly delineate tumor margins and demonstrate infiltration of surrounding normal tissue. This highlights the importance of molecular imaging methods using radionuclide agents. The development of hybrid imaging modalities such as positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) and PET/MR imaging has further advanced pediatric research and clinical practice. Fluorodeoxyglucose (FDG), the most commonly used PET radiopharmaceutical for imaging pediatric brain tumors, provides important information for diagnosis, staging, prognostication, treatment planning, treatment response assessment and recurrence detection; but it has limitations due to its physiological uptake in cortical tissue. Therefore, amino acid-based radiopharmaceuticals (C-11 MET, F-18 FET, F-18 DOPA) have been developed in addition to FDG and are being used in the evaluation of brain tumors. Amino acid PET offers significant advantages due to its high uptake in brain tumors, including low-grade gliomas, and low uptake in normal tissue. This increases diagnostic accuracy in the evaluation and follow-up of brain tumors.

Keywords: PET/CT, PET/MRI, pediatric brain tumors, amino-acid PET

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Dr. Öğr. Üyesi Pınar Akkuş Gündüz, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: pakkus_@hotmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-6336-3066

Geliş Tarihi/Received: 16.09.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 13.11.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 19.11.2025

Cite this article as/Atıf: Akkuş Gündüz P, Soydal Ç. PET/CT and PET/MRI in the diagnosis of pediatric brain tumors. Nucl Med Semin. 2025;11:151-157



Copyright© 2025 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 makaledir.

Copyright© 2025 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.

Giriş

Beyin tümörleri pediatrik popülasyonda en sık görülen solid tümörlerdir ve çocukluk çağında kansere bağlı ölümlerin en büyük kısmını oluşturlar (1). Sıfır-14 yaş grubunda lösemiler, santral sinir sistemi (SSS) tümörleri, lenfomalar, nöroblastom, böbrek tümörleri ve malign kemik tümörleri en sık görülürken, ergenlik çağındaki çocuklarda (15-19 yaş) SSS tümörleri ve lenfomalar en sık görülür, bunu lösemiler ve diğer kanserler izler (2). Çocuklarda en sık görülen beyin tümörü pediatrik gliomalardır. Embriyonel tümörler ve pilositik astrositomlar, 9 yaşından önce daha sık görülürken, grade II-III gliomalar 19 yaşına kadar en sık görülen tümörlerdir. Beyin tümörü olan çocukların genel sağkalımı (OS) 10 yılda %70'tir, ancak bu rakam tam rezeksiyonun mümkün olduğu düşük dereceli tümörleri de içermektedir. Bazı pediatrik yüksek dereceli gliomalar için OS (5 yılda %10-15'ten az) çok düşüktür (3,4). Tedavi seçimi tümör tipine, lokasyonuna, evresine, yaş ve klinik duruma bağlı olarak belirlenir ve öncelikli tercih primer lezyonun cerrahi rezeksiyonudur. Bu nedenle tanı aşamasında bu özelliklerin doğru belirlenmesi gerekir. Görüntüleme yöntemleri genel olarak pediatrik beyin tümörlerinin tanısında, tedavi yanıtı değerlendirmesinde ve takibinde çok önemli bir rol oynar. İlk aşamada tanı ve cerrahi öncesi değerlendirme amacıyla esas olarak kontrastlı manyetik rezonans (MR) görüntüleme (gradient echo, T2W, FLAIR, T1W sekansları ile) kullanılmaktadır. Her ne kadar MR görüntülemenin anatomik rezolüsyonu yüksek olsa da geleneksel MR görüntüleme ile tümör sınırlarını net belirlemede, çevre normal dokudaki infiltrasyonu göstermede yetersiz kalmaktadır. En önemli kısıtlılıkları, anormal sinyalin spesifik bir bulgu olmamasıdır (5). Ayrıca geleneksel görüntüleme teknikleri pediatrik beyin kanserini tespit etmede iyi olsa da tedavi sonrası yanıt değerlendirmesinde etkinliği sınırlıdır. Yeni hedefe yönelik kemoterapi ajanları ve radyoterapi morfolojik değişikliklere neden olarak geleneksel görüntüleme teknikleri ile değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır (6). Bu nedenle, difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DWI), perfüzyon görüntüleme, MR spektroskopisi (MRS) ve difüzyon tensör görüntüleme gibi ileri MR teknikleri de kullanılmaktadır (7). Ayrıca pediatrik hastalarda düşük dereceli gliomalar daha yaygındır, ancak yetişkin popülasyondaki düşük dereceli gliomalardan farklı biyolojik ve klinik özellikler gösterir. Düşük dereceli gliomalar kontrastlı MR görüntülemesinde tipik kontrastlanma paterni göstermeyebilir. Bu

noktada radyonüklid ajanlarla moleküler görüntüleme yöntemlerinin önemi ön plana çıkmaktadır.

Günümüzde onkolojik görüntülemede en yaygın kullanılan yöntem olan PET, radyoaktif işaretli ajanlar kullanılarak enzim ve reseptör düzeyleri, kan akımı ve metabolizma gibi çeşitli biyolojik süreçlerin gerçek zamanlı olarak kantitatif değerlendirmesine olanak sağlayan güçlü bir görüntüleme yöntemidir. PET'in pediatrik hasta grubunda kullanımı hızla artmaktadır. PET/BT ve PET/MR görüntüleme gibi hibrit görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi, pediatrik araştırmaları ve klinik uygulamaları daha da ileri taşımıştır. Pediatrik beyin tümörlerinin görüntülenmesinde en sık kullanılan PET radyofarmasötiti FDG'dir. Tanıda, evrelemede, prognoz değerlendirmesinde, tedavi planlamada, tedavi yanıtı değerlendirmesinde ve rekürrens tespitinde önemli bilgiler sağlar. Ancak, serebral gri maddede yoğun fizyolojik FDG tutulumu olması nedeniyle tümör/normal doku tutulum oranı düşüktür. Düşük dereceli beyin tümörlerinin çoğunda FDG tutulumu düşük düzeyde olduğu için fizyolojik geri plan aktivitesinden ayırt etmek mümkün olmayabilir. Ayrıca, enflamatuvar SSS lezyonlarında spesifik olmayan aktivite tutulumu da mevcuttur ve bu nedenle nöroenflamatuvar durumlarda yanlış pozitif sonuçlar bildirilmiştir (8). Bu nedenle, FDG dışı PET ajanlarının pediatrik beyin tümörleri görüntülenmesinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. FDG'ye ek olarak amino asit bazlı radyofarmasötikler, pediatrik beyin tümörlerinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan PET görüntüleme ajanlarıdır. Amino asit PET, düşük dereceli gliomalar da dahil olmak üzere beyin tümörlerinde yüksek tutulumu ve normal beyinde düşük tutulumu nedeniyle FDG PET'e kıyasla önemli avantajlara sahiptir. Bu da beyin tümörlerinin tespitinde daha fazla özgüllük ve tümör sınırlarının daha hassas bir şekilde belirlenmesini sağlar (9). Bu bölümde pediatrik popülasyonda beyin tümörlerinin tanısında ve değerlendirilmesinde PET/BT ve PET/MR görüntülemelerinin yerinden bahsedilecektir.

1. Pediatrik Beyin Tümörlerinin Tanısında F-18-FDG PET

F-18-FDG, çocuklarda beyin tümörü değerlendirilmesinde kullanılan ilk PET radyofarmasötitidir. Diğer malign tümörlerde olduğu gibi yüksek dereceli malign gliomalarda da glikoz tüketimi belirgin artmıştır. Yoğun olarak artmış FDG tutulumu, gliomalarda daha agresif seyirle ilişkilidir (10). Örneğin,

posterior fossa tümörleri (medulloblastom vb.) ve beyin sapı tümörleri gibi. FDG PET, düşük dereceli gliomaların (astroitom vb.) değerlendirmesinde de rol oynayabilir. Düşük dereceli bile olsa belirgin FDG tutulumu göstermesi hastalığın progresif bir seyir göstereceğine işaret edebilir (11). Ancak, progresyon riski daha yüksek olan hastaları belirleyebilecek kesin bir FDG tutulum eşiği tanımlanmamıştır. Bununla birlikte, düşük dereceli tümörleri yüksek dereceli tümörlerden ayırt etmek sıcak nokta/beyin indeksi [yani $2 + 2 * (\text{ilgilenilen bölge (region of interest - ROI) tümör-ROI beyaz madde} / (\text{ROI gri madde-ROI beyaz madde}))$] için en iyi sınır olarak 1,83'lük bir değer önerilmiştir (10). On sekiz hastayla yapılan bir çalışmada optik yol gliomaları ve plexiform nörofibroma lezyonlarında FDG tutulum yoğunluğu ile hastalık seyri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada pleksiform nörofibromalarda FDG PET/BT'nin malign transformasyonu %100 duyarlılık ve %85,7 özgüllük oranı ile gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca asemptomatik ve semptomatik optik yol gliomalarının FDG tutulum derecelendirmesi ile başarılı bir şekilde ayırt edilebildiği gösterilmiştir (12). Pediatrik beyin tümörlerinde FDG yoğunluğu, homojenitesi gibi tutulum paternleri ile tümörün histopatolojik tipi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar mevcuttur. Ancak, yüksek FDG tutulumu yalnızca glioblastomalar ve medulloblastoma gibi agresif tümörlerde değil, aynı zamanda pilositik astroitomlar gibi düşük dereceli lezyonlarda da bulunabilir. Bu nedenle bu konuda FDG PET'in tanısal güvenilirliği azdır (13).

FDG PET, çocuklarda MR görüntüleri ile uygun şekilde birleştirilerek sterotaksik biyopsi bölgesini belirlemek amacıyla da kullanılabilir. Özellikle infiltratif paternde rezektabl olmayan tümörlerde MR'da kontrastlanan bölge veya FLAIR sekansta yüksek sinyal veren bölge biyopsi alanını belirleyemediği için bu olgularda FDG PET yol göstericidir. Ayrıca FDG tutulum paterni tümör heterojenitesini gösterdiği için uygun biyopsi alınacak en yüksek aktivite tutulumu gösteren anaplastik dokuyu belirleyerek hastaya sonuç vermeyecek gereksiz invaziv işlem yapılmasının da önüne geçebilir (14). Ancak bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar her zaman uyumlu sonuçlar vermemiştir. Son yapılan çalışmalarda, FDG PET ve manyetik rezonans spektroskopik görüntüleme (MRSI) ile pediatrik beyin tümörlerinin metabolik olarak heterojen olduğu gösterilmiştir. Ancak iki görüntüleme yöntemi farklı biyolojik mekanizmalar üzerinden çalıştığı için tümör heterojenitesini göstermede iki yöntem arasındaki uyum

sınırlıdır (15). Pirotte ve ark. (16), pediatrik beyin tümörü grubunda (15 supratentorial ve 20 infratentorial) biyopsi için sterotaktik hedefi belirlemek amacıyla MR ile birlikte F-18 FDG veya C-11 MET kullanmışlardır. Yirmi üç adet MR kılavuzluğunda yapılan biyopsinin 7'sinde tanısal olmayan sonuç verirken, F-18 FDG veya C-11 MET PET görüntüleme kılavuzluğunda yapılan 35 biyopsinin tamamında tanısal doku örneği alınarak daha iyi tanısal sonuçlar sağlamıştır. Ayrıca, F-18 FDG PET kılavuzluğunda yapılan biyopsiler MR ile karşılaştırıldığında, 11 karşılaştırmanın 6'sında yüksek dereceli tümörleri daha iyi ayırt edebilmiştir (16).

2. Pediatrik Beyin Tümörlerinin Tanısında FDG Dışı Radyofarmasötiklerle PET

2.1. C-11 MET PET

L-[metil-11C]Metionin ([11C]MET), pediatrik beyin tümörlerinde kullanılmaya başlayan en eski amino asit radyofarmasötikleridir. Hücrede tutulum; hücre çoğalması, Ki-67 ekspresyonu, canlı tümör hücrelerinin sayısı ve vasküler ağ yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu nedenlerden dolayı, beyin tümörü proliferasyonunu gösteren güvenilir bir biyobelirteç olarak kabul edilir (17). Normal beyin dokusundaki düşük fizyolojik tutulumu ve yukarıda belirtilen tutulum mekanizması nedeniyle, C-11 MET'in tümör tanısında hassas bir radyofarmasötik olduğu ve genellikle FDG ile tespit edilemeyen düşük dereceli gliomaları bile tespit edebildiği kanıtlanmıştır. Çocuklarda malign lezyonları benign lezyonlardan ayırmada, özellikle geleneksel morfolojik görüntülemenin belirsiz olduğu durumlarda, yüksek tanı performansı ile yararlı olduğu gösterilmiştir (18). Bir çalışmada, C-11 MET PET görüntülemesinin, lezyonel epilepsi hastalarında fokal kortikal displazi, disemبریoplastik nöroepitelyal tümör (DNT) ve ganglioglioma ayırıcı tanısında lezyon-gri cevher oranı üzerinden yapılan değerlendirme ile klinik olarak yararlı olabileceği gösterilmiştir (19). Yetmiş yedi pediatrik hasta ile yapılan bir başka çalışmada ise C-11 MET PET ile yapılan görsel değerlendirme ile DNT'ler ve epileptojenik beyin neoplazmları başarılı bir şekilde ayırt edilebilmiştir (20).

C-11 MET kontrast tutmayan düşük dereceli gliomalarda bile daha agresif biyolojik davranışa sahip biyopsi için uygun alanı gösterebilir. Ayrıca, pediatrik yüksek dereceli glioma hastalarında yapılan bir çalışma, tümör nüksünün tespiti açısından C-11 MET PET'in kontrastlı MR'dan daha üstün olduğunu bildirmiştir (21,22). C-11 MET PET pediatrik yüksek dereceli gliomalarda hastalık prognozunu ön görmede de rol oynamaktadır. Pediatrik

yüksek dereceli glioma, MR görüntülemesinde klasik agresif tümör paterni göstermeyebilir. Bu durumda yoğun C-11 MET tutulumu, yüksek tümör proliferasyonu ve neo-anjiyogenezi göstererek klinik agresif seyirli olacak tümör hakkında önemli bilgiler sağlayabilir (23,24).

2.2. F-18 FET PET

F-18 FET, yetişkinlerde PET görüntüleme için iyi bilinen bir amino asittir ve son dönemde kullanımı artmıştır. Tutulum mekanizması, diğer amino asit PET radyofarmasötikleri gibi spesifik amino asit taşıyıcı sistemler aracılığıyla olur. F-18 FET, katekolamin öncüsü olan L-tirozinin bir analogu olmasına rağmen herhangi bir metabolik yola dahil değildir (25). Benzer tutulum mekanizması göz önüne alındığında, yetişkin beyin tümörlerinde yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, C-11 MET ve F-18 FET'in yakın sonuçlar verebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, F-18 FET'in avantajı, daha uzun yarı ömürlü olması (110 dakika vs. 20 dakika) ve bu sayede üretimin mümkün olmadığı merkezlere rahat bir şekilde tedarik edilebilmesi, üretim başına daha fazla hasta değerlendirilebilmesi ve zaman-aktivite eğrisini (TAC) sayesinde ek bilgi sağlamasıdır (26). F-18 FET, kontrast tutmayan ve/veya düşük dereceli gliomalarda daha agresif biyolojik davranışa sahip bölgeyi göstererek biyopsi bölgesinin belirlenmesine olanak sağlar. Statik değerlendirme parametrelerinden Tümör-arka plan oranı $[TBR_{maks} = \frac{\text{tümörün maksimum standart tutulum değeri (SUV}_{maks})}{\text{normal beyin dokusu (SUV}_{ortalama})}]$ değerlendirmeye ek katkı sağlayabilir. Yapılan bir çalışmada MR ile birlikte F-18 FET PET/BT kullanılmış ve $TBR > 1,6$ eşliğinin tedavi edilmiş ve edilmemiş lezyonlarda tümör tespitinin başarısını artırdığı gösterilmiştir (27). Dinamik parametreler ise ilk tanıda düşük dereceli ve yüksek dereceli glioma ayrımı yapmaya ve tedavi sonrası değişiklikler ile hastalık nüksü arasındaki ayrımı yapmaya yardımcı olabilir. TAC değerlendirmesinde, erken dönemde pik yapan (≤ 20 dakika) ve ardından sabit bir düşüş gösteren eğriler nüksle ilişkilendirilmiştir (27,28). Öte yandan, geç dönemde pik yapan veya sürekli artış gösteren eğriler genellikle enflamasyon/enfeksiyon, demiyelinizan veya iskemik lezyonlar gibi neoplazik olmayan süreçleri gösterir (29). Genel olarak konvansiyonel görüntüleme yöntemlerine ek olarak yapılan F-18 FET PET, hastaların %8'inde klinik yaklaşımda değişikliğe neden olurken yaklaşık %26'sında ek olarak önemli klinik bilgi sağlamaktadır (15). Özellikle hastalık nüksünü saptamada özgüllüğü yüksektir.

2.3. F-18 DOPA PET

F-18 DOPA'nın beyin tümörlerindeki tutulum mekanizması tam olarak anlaşılamamakla birlikte gliomalarda L tipi amino asit taşıyıcı 1 (LAT1) ekspresyonunda önemli bir artış tespit edilmiştir ve F-18 DOPA tutulumu ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Ancak, tutulum mekanizması tamamen LAT1 ekspresyonuna bağlı değildir. Glutamin taşıyıcı sodyum-bağlı nötr amino asit taşıyıcı 1'in (Slc38a1) DOPA tutulumunda rol oynadığı bildirilmiştir (30,31). H3K27M mutasyonu olan pediatrik ve yetişkin diffüz orta hat gliomaları, tümör büyümesini destekleyen G proteini ile fonksiyonel olarak bağlantılı olduğu gösterilen dopamin reseptörü D2'yi eksprese etmektedir. Ayrıca, glioblastoma hücrelerinde dopamin sentezinde DOPA bir öncüdür ve tutulumu, dopamin sentezleyen ve salgılayan hücrelerin spesifik bir göstergesidir (32). Yapılan çalışmalarda pediatrik infiltratif gliomalarda F-18 DOPA PET görüntüleme sonuçları ile WHO tümör derecesi ve hastalığın klinik seyrinin ilişkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, biyopsi planlaması ve tedavi yanıtı değerlendirmesi için de kullanılabilir (33). Ancak, pediatrik grupta neoplazik olmayan lezyonlar ile supratentoryal infiltratif gliomaların ayırıcı tanısında MRSI, F-18 DOPA PET'e kıyasla daha yüksek duyarlılık ve tanı doğruluğuna sahiptir. Bunun nedeni, pediatrik düşük dereceli diffüz astrositomların yetişkin gruba kıyasla daha az agresif tümörler olması ve büyük oranda F-18 DOPA negatif sonuçlar vermesi olarak açıklanmaktadır. Diffüz astrositik tümörlü pediatrik hastalarda F-18 DOPA tutulumu, DWI ve arteriyel spin etiketleme perfüzyon görüntüleme ile karşılaştırıldığında progresyonsuz sağkalımı bağımsız olarak öngörmektedir (34). Ayrıca F-18 DOPA PET, MR görüntüleme teknikleri ile karşılaştırıldığında H3K27M mutasyonlu olanlar ile vahşi tip diffüz orta hat gliomaları arasında ayrım yapabilmektedir.

Yeni tanı konan diffüz intrinsik pontin gliomalarda F-18 DOPA PET görüntüleme, geleneksel MR görüntüleme ile karşılaştırıldığında tümör metabolizmasının değerlendirilmesinde önemli bilgiler sağlar. Hedef/kontralateral striatum oranı (TSR) genel sağkalımı bağımsız olarak öngörebilir ve DOPA tutulum derecesi tedaviye az yanıt veren daha agresif tümörü gösterir (35). Yapılan bazı çalışmalarda, F-18 DOPA PET/MR görüntülemenin, anti-anjiyojenik ajanlarla tedavi edilen hastalarda tümör "psödo-yanıtını" ve hastalık progresyonunu erken dönemde tespit etmede önemli bir role sahip olduğu gösterilmiştir.

Bir başka çalışmada ise F-18 DOPA PET'in nüks eden glioma hastalarında bevacizumab'a erken tedavi yanıtını değerlendirmede faydalı olduğu bildirilmiştir (36,37). F-18 DOPA, striatumdaki fizyolojik tutulumu nedeniyle bazal ganglion infiltrasyonunu değerlendirme konusunda dezavantajlıdır. Ancak, gliomalı hastalarda, TSR >1 olan lezyonlarda striatum tümör infiltrasyonunu doğru bir şekilde tespit ettiği bildirilmiştir (38).

PET/MR Görüntüleme

PET/MR sistemleri ile yapılan hibrit görüntüleme, özellikle pediatrik hastaların değerlendirmesinde önemli bir yere sahiptir. Beyin tümörlerinin değerlendirmesinde esas olan MR görüntüleme ile metabolik/fonksiyonel değerlendirme sağlayan PET görüntülemenin eş zamanlı elde edilmesi sayesinde iki ayrı çekim yerine tek seferde yüksek yumuşak doku rezolüsyonlu anatomik veri ve ileri metabolik veriler elde edilmiş olur. Çocuklarda görüntülemelerde sıklıkla anestezi gerekebilmesi nedeniyle tek seferde iki ayrı yöntemden faydalanılabilmesi ve tedavi planı öncesi hızlı değerlendirme sağlaması avantajlarıdır. Ayrıca PET/MR, PET/BT ile karşılaştırıldığında daha düşük radyasyon maruziyeti olanağı sağladığı için pediatrik popülasyonda nöro-onkolojik değerlendirmede ön plana çıkmaktadır (39,40,41).

Çocuklarda beyin tümörlerinin klinik yönetimi, moleküler mekanizmaların daha iyi anlaşılması sayesinde gelişmektedir. PET ve MR görüntüleme tarafından sağlanan SUV ve ADC gibi kantitatif tamamlayıcı bilgiler; tümör karakterizasyonunu, dolaylı olarak moleküler hedefli tedavilerin kullanımını ve tedavi başarısını geliştirmektedir. Dahası, PET/MR'dan elde edilen bilgiler bazı çocuklarda yüksek riskli cerrahi prosedürlerden kaçınılmasını sağlayabilir (42,43). Amino asit PET ve MR verilerinin entegre analizi, çocuklarda daha sıklıkla diffüz astrositik tümörler ve diffüz orta hat gliomalarının değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Tümör hücreliliğinin bir belirteci olan MRG minimum ADC (ADC_{min}) ile amino asit alımı arasında anlamlı bir negatif korelasyon bildiren çalışmalar mevcuttur (34,44).

Sonuç

Sonuç olarak PET/MR, pediatrik beyin tümörlerinde farklı tümör tiplerini karakterize etmeyi, yüksek riskli cerrahi müdahaleden kaçınmayı, cerrahi yaklaşım öncesi navigasyon teknikleri ile daha doğru planlama yapabilmeyi, uygun onkolojik tedavi seçeneklerinin

belirlenmesi ve klinik takibinin etkili bir şekilde yapılmasını sağlayarak çocukların genel sağkalımına ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Pollack IF, Agnihotri S, Broniscer A. Childhood brain tumors: current management, biological insights, and future directions. *J Neurosurg Pediatr.* 2019;23:261-273.
2. Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, Jemal A. Cancer Statistics, 2021. *CA Cancer J Clin.* 2021;71:7-33. Erratum in: *CA Cancer J Clin.* 2021;71:359.
3. Rineer J, Schreiber D, Choi K, Rotman M. Characterization and outcomes of infratentorial malignant glioma: a population-based study using the surveillance epidemiology and end-results database. *Radiother Oncol.* 2010;95:321-326.
4. Lannering B, Sandström PE, Holm S, et al; Swedish Childhood CNS Tumor Working Group (VCTB). Classification, incidence and survival analyses of children with CNS tumours diagnosed in Sweden 1984-2005. *Acta Paediatr.* 2009;98:1620-1627.
5. Vézina LG. Imaging of central nervous system tumors in children: advances and limitations. *J Child Neurol.* 2008;23:1128-1135.
6. Lee J, Wang N, Turk S, et al. Discriminating pseudoprogression and true progression in diffuse infiltrating glioma using multi-parametric MRI data through deep learning. *Sci Rep.* 2020;10:20331.
7. Shukla G, Alexander GS, Bakas S, et al. Advanced magnetic resonance imaging in glioblastoma: a review. *Chin Clin Oncol.* 2017;6:40.
8. Cistaro A, Albano D, Alongi P, et al. The role of PET in supratentorial and infratentorial pediatric brain tumors. *Curr Oncol.* 2021;28:2481-2495.
9. Juhász C, Dwivedi S, Kamson DO, Michelhaugh SK, Mittal S. Comparison of amino acid positron emission tomographic radiotracers for molecular imaging of primary and metastatic brain tumors. *Mol Imaging.* 2014;13:10.2310/7290.2014.0001.
10. Borgwardt L, Højgaard L, Carstensen H, Laursen H, Nowak M, Thomsen C, Schmiegelow K. Increased fluorine-18 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) uptake in childhood CNS tumors is correlated with malignancy grade: a study with FDG positron emission tomography/magnetic resonance imaging coregistration and image fusion. *J Clin Oncol.* 2005;23:3030-3037.
11. Kruer MC, Kaplan AM, Etzl MM Jr, et al. The value of positron emission tomography and proliferation index in predicting progression in low-grade astrocytomas of childhood. *J Neurooncol.* 2009;95:239-245.
12. Moharir M, London K, Howman-Giles R, North K. Utility of positron emission tomography for tumour surveillance in

- children with neurofibromatosis type 1. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:1309-1317.
13. Zukotynski K, Fahey F, Kocak M, et al. 18F-FDG PET and MR imaging associations across a spectrum of pediatric brain tumors: a report from the pediatric brain tumor consortium. *J Nucl Med*. 2014;55:1473-1480.
 14. Pirotte BJ, Lubansu A, Massager N, Wikler D, Goldman S, Levivier M. Results of positron emission tomography guidance and reassessment of the utility of and indications for stereotactic biopsy in children with infiltrative brainstem tumors. *J Neurosurg*. 2007;107(5 Suppl):392-399.
 15. Piccardo A, Albert NL, Borgwardt L, et al. Joint EANM/SIOPE/RAPNO practice guidelines/SNMMI procedure standards for imaging of paediatric gliomas using PET with radiolabelled amino acids and [18F]FDG: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;49:3852-3869.
 16. Pirotte BJ, Lubansu A, Massager N, et al. Clinical impact of integrating positron emission tomography during surgery in 85 children with brain tumors. *J Neurosurg Pediatr*. 2010;5:486-499.
 17. Kracht LW, Friese M, Herholz K, et al. Methyl-[11C]-L-methionine uptake as measured by positron emission tomography correlates to microvessel density in patients with glioma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2003;30:868-873.
 18. Galldiks N, Kracht LW, Berthold F, et al. [11C]-L-methionine positron emission tomography in the management of children and young adults with brain tumors. *J Neurooncol*. 2010;96:231-239.
 19. Phi JH, Paeng JC, Lee HS, et al. Evaluation of focal cortical dysplasia and mixed neuronal and glial tumors in pediatric epilepsy patients using 18F-FDG and 11C-methionine pet. *J Nucl Med*. 2010;51:728-734.
 20. Rheims S, Rubi S, Bouvard S, et al. Accuracy of distinguishing between dysembryoplastic neuroepithelial tumors and other epileptogenic brain neoplasms with [11C]methionine PET. *Neuro Oncol*. 2014;16:1417-1426.
 21. Preuss M, Werner P, Barthel H, et al. Integrated PET/MRI for planning navigated biopsies in pediatric brain tumors. *Child's Nerv Syst*. 2014;30:1399-1403.
 22. Bag AK, Wing MN, Sabin ND, et al. [11 C]-methionine PET for identification of pediatric high-grade glioma recurrence. *J Nucl Med*. 2021;63:664-671.
 23. Singhal T, Tanjore KN, Martin PJ, Bal C, Mantil JC. 11C-methionine PET for grading and prognostication in gliomas: a comparison study with 18F-FDG PET and contrast enhancement on MRI. *J Nucl Med*. 2012;53:1709-1715.
 24. Lucas JT, Serrano N, Kim H, et al. 11C-Methionine positron emission tomography delineates non-contrast enhancing tumor regions at high risk for recurrence in pediatric high-grade glioma. *J Neurooncol*. 2017;132:163-170.
 25. Langen KJ, Hamacher K, Weckesser M, et al. O-(2-[18F]fluoroethyl)-L-tyrosine: uptake mechanisms and clinical applications. *Nucl Med Biol*. 2006;33:287-294.
 26. Grosu AL, Astner ST, Riedel E, et al. An interindividual comparison of O-(2-[18F] fluoroethyl)-L-tyrosine (FET)- and L-[methyl- 11C]methionine (MET)-PET in patients with brain gliomas and metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2011;81:1049-1058.
 27. Marner L, Lundemann M, Sehested A, et al. Diagnostic accuracy and clinical impact of [18F]FET PET in childhood CNS tumors. *Neuro Oncol*. 2021;1:2107-2116.
 28. Elahmadawy MA, El-Ayadi M, Ahmed S, et al. F18-FET PET in pediatric brain tumors: integrative analysis of image derived parameters and clinico-pathological data. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2023;67:46-56.
 29. Dunkl V, Cleff C, Stoffels G, et al. The usefulness of dynamic O-(2-[18F]-fluoroethyl)-L-tyrosine PET in the clinical evaluation of brain tumors in children and adolescents. *J Nucl Med*. 2015;56:88-92.
 30. Youland RS, Kitange GJ, Peterson TE, et al. The role of LAT1 in 18F-DOPA uptake in malignant gliomas. *J Neurooncol*. 2013;111:11-18.
 31. Obara-Michlewska M, Szeliga M. Targeting glutamine addiction in gliomas. *Cancers (Basel)*. 2020;29:310.
 32. Caragher SP, Shireman JM, Huang M, et al. Activation of dopamine receptor 2 prompts transcriptomic and metabolic plasticity in glioblastoma. *J Neurosci*. 2019;39:1982-1993.
 33. Morana G, Piccardo A, Puntoni M, et al. Diagnostic and prognostic value of 18F-DOPA PET and 1H-MR spectroscopy in pediatric supratentorial infiltrative gliomas: a comparative study. *Neuro Oncol*. 2015;17:1637-1647.
 34. Morana G, Piccardo A, Tortora D, et al. Grading and outcome prediction of pediatric diffuse astrocytic tumors with diffusion and arterial spin labeling perfusion MRI in comparison with 18F-DOPA PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:2084-2093.
 35. Morana G, Tortora D, Bottoni G, et al. Correlation of multimodal 18F-DOPA PET and conventional MRI with treatment response and survival in children with diffuse intrinsic pontine gliomas. *Theranostics*. 2020;10:11881-11891.
 36. Morana G, Piccardo A, GarreÄÄ ML, Nozza P, Consales A, Rossi A. Multimodal magnetic resonance imaging and 18F-L-dihydroxyphenylalanine positron emission tomography in early characterization of pseudoresponse and nonenhancing tumor progression in a pediatric patient with malignant transformation of ganglioglioma treated with bevacizumab. *J Clin Oncol*. 2013;31:e1-e5.
 37. Gauvain K, Ponisio MR, Barone A, et al. 18F-FDOPA PET/ MRI for monitoring early response to bevacizumab in children with recurrent brain tumors. *NeuroOncology Pract*. 2018;5:28-36.
 38. Morana G, Bottoni G, Mancardi MM, Verrico A, Piccardo A. Seizure-induced increased 18F-DOPA uptake in a child with diffuse astrocytoma and transient brain MRI abnormalities related to status epilepticus. *Clin Nucl Med*. 2018;43:e149-e150.

39. Fraioli F, Shankar A, Hargrave D, et al. 18F-fluoroethylcholine (18F-Cho) PET/MRI functional parameters in pediatric astrocytic brain tumors. *ClinNucl Med*. 2015;40:e40-e45.
40. Veit-Haibach P, Ahlström H, Boellaard R, et al. International EANM-SNMMI-ISMIR consensus recommendation for PET/MRI in oncology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2023;50:3513-3537.
41. 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.
42. Hirsch FW, Sattler B, Sorge I, et al. PET/MR in children. Initial clinical experience in paediatric oncology using an integrated PET/MR scanner. *Pediatr Radiol*. 2013;43:860-875.
43. Pirotte B, Goldman S, Dewitte O, et al. Integrated positron emission tomography and magnetic resonance imaging-guided resection of brain tumors: a report of 103 consecutive procedures. *J Neurosurg*. 2006;104:238-253.
44. Beuriat PA, Flaus A, Portefaix A, et al. Preoperative 11 C-methionine PET-MRI in pediatric infratentorial tumors. *Clin Nucl Med*. 2024;49:381-386.