



Nörolojik Görüntüleme - Epilepsi

Neurologic Imaging - Epilepsy

© Eser Lay Ergün, © Bilge Volkan Salancı

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

Öz

Epilepsi hastalarının çoğunda ilaç ile nöbet kontrolü sağlanmakla birlikte bu grup hastanın 1/3 kadarı ilaca dirençlidir. İlaça dirençli epilepsi hastasında öncelikli olarak cerrahi tedavi düşünülür. Erken çocuklukta hastalar cerrahi rezeksiyonu iyi tolere eder; erken cerrahi ile beyindeki gelişimsel etkilenme en aza indirilebilir. Bu nedenle ilaca dirençli hastalar öncelikle cerrahi aday olma olasılığı ile ileri inceleme, ilaca direncin gerçek direnç olup olmadığının araştırılması ve ileri tedavi yöntemleri için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir. Bu hastalarda epilepsi semiyolojisi ve video- elektroensefalografi monitörizasyonu ile nöbet sınıflaması; manyetik rezonans (MR) görüntüleme ile yapısal değerlendirme yapılır. Tüm sonuçlar birbiri ile uyumlu değilse veya MR'de yapısal lezyon saptanmamışsa Nükleer Tıp yöntemleri [tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve pozitron emisyon tomografi (PET)] ile araştırma önemli rol oynar. Bu grup hastada SPECT ve PET epileptojenik bölgenin lokalizasyonu/lateralizasyonunda, tedaviye yön vermede, cerrahi planlamasında, intrakraniyal elektrot yerleştirilecek bölge için yönlendirmede, çocukluk çağı epilepsi sendromlarını değerlendirmede yardımcı olarak tedavi seçiminde ve beyin fonksiyonel bütünlüğünü göstermede önemli rol oynar. İlaça dirençli epilepsi hastaları tüm bu incelemelerin sonuçları ile birlikte rezektif/palyatif cerrahi, diğer tedavi yöntemleri ve izlemleri açısından multidisipliner epilepsi toplantısında tartışılır.

Anahtar Kelimeler: Pediatrik nöroloji, epilepsi, beyin perfüzyon SPECT, FDG PET

Abstract

Although appropriate anti-epileptic medication control seizures in epilepsy patients, 1/3 of the patients are drug resistant. In this intractable patient group, surgical resection is the primarily preferred treatment option. In early childhood, patients tolerate surgery better and surgery significantly influences good neurological development. Therefore, every drug-resistant case should be promptly referred to the relevant center as a potential candidate for surgery and for detailed investigation and further treatment. Seizure type is classified with clinical status and video- electroencephalography monitoring (VEM); magnetic resonance (MR) imaging detects structural causes for epilepsy. If semiology, VEM and MR findings are discordant or there is no structural lesion on MRI, Nuclear Medicine techniques [single photon emission computerized tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET)] play key roles in the investigation. SPECT and PET are important for lateralization/localization of the epileptogenic zone, therapy planning, guidance for subdural electrode placement, evaluation of epilepsy syndromes in childhood by showing abnormal brain regions and demonstrating the functional status of the brain in intractable epilepsy. Finally, all the findings of these procedures should be discussed in multidisciplinary team for better surgical approach or palliative procedures individually.

Keywords: Pediatric neurology, epilepsy, brain perfusion SPECT, FDG PET

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Bilge Volkan Salancı, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: bilgev@hacettepe.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0002-1488-6012

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Lay Ergün E, Volkan Salancı B. Neurologic imaging - epilepsy. Nucl Med Semin. 2025;11:71-80



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.

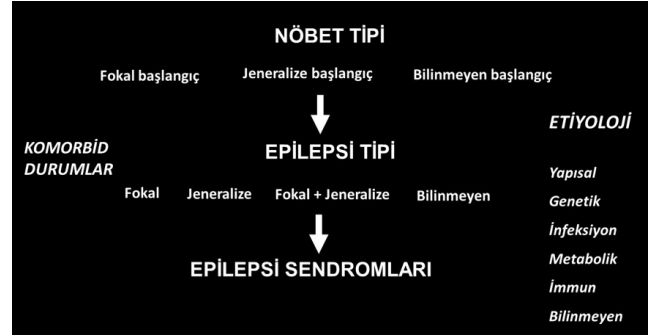
Giriş

Epilepsi dünyada 50 milyondan fazla insanı etkileyen heterojen bir grup beyin hastalığını kapsamaktadır (1). Epilepsilerin 2/3'ü nöbet için uygun ilaçlara cevap verirken, 1/3 kadarında farklı ilaç kombinasyonlarına rağmen tedavi sağlanamamaktadır. Bu grup hasta ilaca dirençli kabul edilir (2,3,4). İlaça dirençli epilepsi hastaları cerrahi aday olma olasılığı açısından ileri değerlendirme için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir.

Çocukluk çağında klinik ve elektrografik nöbetler kontrol altına alınamadığında ve devam edilen ilaçların da yan etkisi ile erken çocuklukta nörolojik gelişim önemli düzeyde etkilenmektedir. Yaşamın ilk 5-7 yılında motor ve dil-konuşma önem arz etmektedir; bu dönemde plastisite gecikmiş veya bozuk gelişime neden olabilir (2). Bu nedenle özellikle çocukluk döneminde ilaca dirençli epilepsi hastaları cerrahi aday olma olasılığı ile epilepsi merkezine gecikmeden yönlendirilmelidir. Çocuk hastalar erken dönemde cerrahi rezeksiyonu iyi tolere eder ve cerrahi sonrası o bölgenin işlevinin gelişmekte olan sağlam beyin bölgelerine transferi sağlanır (3,4). Ayrıca, yine erken çocuklukta, ilaca direnç gerçek direnç olmayabileceğinden bunun net olarak aydınlatılması için de epilepsi merkezinde değerlendirme önem arzeder.

Klinik Yaklaşım

Epilepsi hastasının epilepsi uzmanı nörolog tarafından muayenesi, semiyoloji ve klinik nöbet durumunun değerlendirmesi yapılır. Bu kapsamda Uluslararası Epilepsi ile Savaş Derneği (*The International League Against Epilepsy* - ILAE) sınıflaması revize edilmiştir ve bu sınıflama hastaların klinik yönetimi için etiolojinin önemini vurgulamaktadır (5). Etiyoloji yapısal, genetik, enfeksiyöz, metabolik, immün bir durum olabilir veya bilinmeyebilir. ILAE sınıflaması sadeleştirilmiş biçimde Şekil 1'de gösterilmiştir. Epilepsi sadece nöbetten ibaret olmayıp epilepsili hastalarda nörodavranışsal ve nöropsikiyatrik semptomlar da eşlik edebilmektedir. Bu nedenle ILAE 2017 sınıflaması hastalığı yönetici bir sınıflama imkanı vermektedir. Son kılavuzda epilepsinin patofizyolojik mekanizmaları dikkate alınmakta ve epilepsinin sadece bir semptom değil beyindeki bir "network" hastalığı olduğu vurgulanmaktadır. Cerrahi düşünülen ilaca dirençli hastada cerrahi rezeksiyonun başarısı ve cerrahi sonrası klinik-elektroensefalografi (EEG) takibi için sadece anatomik planlama değil bu network ağı da göz önünde bulundurulmalıdır. ILAE sınıflaması hastaları tedavi için gruplamaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 1. ILAE 2017 sınıflaması

ILAE: Uluslararası Epilepsi ile Savaş Derneği (*The International League Against Epilepsy*)

ve sınıflamada, prognozu ön görmede, hasta takibi ve tedavisine yaklaşımda etkin rol oynamaya başladığıdır (1).

Epilepsi hastalarında nöbet semiyolojisi ve klinik değerlendirme bulgularının EEG bulguları ile ilişkilendirilmesi önemlidir. Video-EEG monitörizasyonu (VEM) özel ekipman ile donatılmış odada, sürekli ve kesintisiz EEG kaydı ile eş zamanlı video kaydının alındığı bir inceleme yöntemidir (6). VEM epileptik ve epileptik olmayan olayları ayırt etmek, nöbet semiyolojisi ve eş zamanlı EEG bulgularını incelemek, epilepsi sendrom sınıflaması yapmak, dirençli epilepsisi olan hastalarda ameliyat öncesi hazırlık döneminde nöbet başlangıç yeri ve/veya epileptojenik bölgenin yerini belirlemeye çalışmak için çok önemli bir basamaktır.

Nöbet semiyolojisi ve VEM değerlendirmesiyle birlikte yüksek çözünürlüklü manyetik rezonans (MR) görüntüleme, epilepsi etiolojisinin aydınlatılmasında önemli görüntüleme yöntemidir (3,4,7,8). Epilepsi hastalarında MR ile fokal olarak nöbetten sorumlu patolojinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. MR hipokampal skleroz ve kortikal gelişim bozukluklarını tespit eder. MR spektroskopi hücresel düzeydeki fonksiyon bozukluklarını ortaya koyar. Fonksiyonel MR (fMR) beyin önemli fonksiyonel merkezlerini non-invazif olarak belirleyebilir. Görev bazlı ve istirahat halindeki fMR, beyin aktivitelerini ve fonksiyonel bağlantıları ortaya çıkarır. Özellikle cerrahi rezeksiyon düşünülen hastalarda cerrahi öncesinde bu yöntemler ile beyindeki aktivasyon bölgelerini belirlemek cerrahi sonrası durumu öngörmek ve cerrahiye kesin karar verebilmek için önemlidir. Diffüzyon tensor görüntüleme ve traktografi, sinir yollarının görselleştirilmesini sağlar. Epilepsi cerrahisi sonrasında da fMR ve traktografi ile fonksiyonel değişiklikler ve traktus hasarları değerlendirilebilir.

Nükleer Tıp görüntülemeleri fonksiyonel ve metabolik görüntüleme yöntemleridir (3). Nöbet semiyolojisinin video-EEG bulguları ile uyumlu olduğu, MR'de de sorumlu lezyonun gösterilebildiği hastalar epilepsi cerrahisi için uygun adaylardır. Ancak, bunların sonuçlarının birbiri ile uyumsuz olduğu ya da MR'de net bir lezyonun gösterilemediği durumlarda, epilepsi temelinde fonksiyonel bir bozukluk olduğundan, bu hastaların değerlendirilmesinde Nükleer Tıpta kullanılan fonksiyonel görüntüleme yöntemleri olan beyin perfüzyon tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve florodeoksiglukoz (FDG) ile yapılan pozitron emisyon tomografisi (PET) uygulamaları önemli rol oynar.

İlaça dirençli epilepside beyin perfüzyon SPECT ve F-18 FDG PET'in kullanım amaçları şöyle özetlenebilir:

1. Epileptojenik korteksin tespit edilmesi ve lateralizasyonu.
2. Klinik gereklilik durumunda subdural elektrot yerleştirilecek ve özellikle MR normal ise bu işlem için rehberlik etmek, elektrotların yerleştirileceği bölge için yol göstermek veya nöbet bölgesini göstererek invazif EEG uygulamalarının sayısını azaltmak.
3. Beyindeki fonksiyonel bütünlüğü göstermek.
4. Epilepsi patofizyolojisine ışık tutmak.
5. Geçirilmiş epilepsi cerrahisi sonrasında ilaca dirençli fokal epilepsisi devam eden hastaları değerlendirmek.
6. Çocukluk çağı epilepsi sendromu olan hastaların değerlendirilmesi.
7. Hastanın cerrahi şansının olup olmadığı hakkında tamamlayıcı bilgi vermek.

Dolayısıyla son yıllarda epilepside Nükleer Tıp uygulamaları beyindeki fonksiyonel ağı ve fonksiyonel bütünlüğünü gösterdiğinden öne çıkmakta; hastayı yorumlamada, sınıflamada, tedavi seçeneğine yön vermede ve cerrahi sonrası sonucu öngörmede önemi artmaktadır.

Beyin Perfüzyon SPECT

Beyinde bölgesel kan akımı değişken beyin fonksiyonlarına bağlı ve anlık olarak yeniden düzenlenir. Daha fazla çalışan kortikal kesimlerde bölgesel beyin kan akımı gereksinim duyulan metabolitlerin ve oksijenin karşılanabilmesi için artırılır. Beyin kan akımının bu özelliği nöbet sırasında artan metabolik ihtiyaca bağlı bölgesel hiperperfüzyona; nöbetin olmadığı zamanlarda

normale oranla azalan hipoperfüzyona neden olur. Beyin perfüzyon çalışmaları ile hem iktal hem de interiktal dönemde görüntüleme yapılarak nöbet odağının belirlenmesi sağlanabilir.

Beyin perfüzyon sintigrafisi için literatürde iki farklı radyofarmasötik bulunmaktadır: Tc-99m hegzametilpropilenaminoksim (HMPAO) ve 99mTc-etilensistein dimer (ECD). Tc-99m-HMPAO'nun bağlandıktan sonra *in vitro* stabilitesinin düşük olması nedeni ile günümüzde rutinde beyin perfüzyon SPECT çalışmalarında Tc-99m ECD kullanılmaktadır. Tc-99m ECD lipofilik yapısına bağlı olarak hızla kan beyin bariyerini geçer, beyin kan akımı ile doğru orantılı olacak şekilde nöronlarca alınır. Hücre içinde enzimatik olarak lipofilik forma dönüşür ve bu şekilde hücre içerisinde tuzaklanarak kalır. İntravenöz enjeksiyon sonrasında ilk bir dakika içerisinde radyoaktif maddenin beyindeki tutulumunun hızla arttığı, sonrasında ise platoya erişerek sabit kaldığı gösterilmiştir. Beyinde bölgesel kan akımı değişken beyin fonksiyonlarına bağlı, anlık olarak yeniden düzenlenir. Epileptik nöbet sırasında kontrolsüz deşarjlardan sorumlu nöronların bulunduğu bölgelerde nöronların artan enerji ihtiyacı ile orantılı olarak bölgesel kan akımı artmaktadır. Beyin perfüzyon SPECT çalışmaları yüksek zamansal rezolüsyona sahip olduğu için hem nöbet sırasında (iktal) hem de nöbetsiz zamanda (interiktal) uygulanabilir. Bu ikili görüntüleme sayesinde epileptojenik odak daha doğru olarak belirlenebilir.

İktal beyin perfüzyon çalışmalarında Tc-99m ECD enjeksiyonu klinik olarak nöbet başladığında ve EEG'de nöbete bağlı değişiklikler izlendiği sırada yapılır. Bu şekilde nöbetin başlangıcı zamansal olarak yakalandığında beyindeki epileptojenik odakta artmış perfüzyonu gözlenebilir. Ancak Tc-99m ECD enjeksiyonunun yapılması nadir olmayarak gecikebilir, bu durumda post-iktal bir görüntü elde edilmiş olur. Özellikle nöbet jeneralize olduktan sonra enjeksiyon yapılırsa nöbetin yayıldığı kortikal bölgelerde hiperperfüzyon gözlenir. Bu sırada epileptojenik odakta perfüzyon azalmaya başlar ve bu alan hipoperfüze olarak bile gözlenebilir.

Bebeklik ve çocukluk çağında beyin perfüzyonunda belirgin değişiklikler olmaktadır. Bu nedenle bu yaş grubunda gerek tetkiklerin yapılması gerek ise yorumlanması özellik arz eder. Doğumdan sonraki ilk aylarda frontal lobun perfüzyonu beynin diğer kesimlerine göre daha düşük olup ön-arka oranı posteriorda oksipital lob lehine bozulmuştur (9). Frontal lobun perfüzyonu 2

yaşına kadar giderek artar. Global beyin perfüzyonu 5-6 yaşlarda maksimuma ulaşır ve daha sonra perfüzyon 15-19 yaşlarına kadar giderek azalır ve erişkin paternine döner.

Beyin perfüzyon çalışmalarının nöbet odağını belirlemedeki rolü çoğunlukla erişkinler üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır. İktal, postiktal ve interiktal beyin perfüzyon çalışmasının değerlendirildiği bir metaanalizde sırası ile iktal, postiktal ve interiktal beyin perfüzyon SPECT çalışmalarının duyarlılığı %96, %75 ve %44 olarak bulunmuştur (10). Yalancı pozitiflik diğer tanısal testler ile karşılaştırıldığında interiktal çalışmalarda %7,4, postiktal çalışmalarda %4,4 iken cerrahi sonrası değerlendirme ile karşılaştırıldığında interiktal çalışmalar için %4,4 bildirilmiştir. Bu çalışmada özellikle çocuk hastalar için bir alt grup analizi de yapılmış olup pediatrik popülasyonda interiktal çalışmaların duyarlılığı %53, postiktal çalışmalarınki ise %73 bulunmuştur. İktal çalışmalarda enjeksiyon zamanı ne kadar erken yapılırsa doğru lezyon lokalizasyon başarısının da o kadar yüksek olduğu gösterilmiştir (11).

Çocukluk yaş grubunda iktal ve interiktal beyin perfüzyon çalışmalarının birbirinden çıkartılarak MR görüntüleri üzerine çakıştırıldığı “*Subtraction Ictal SPECT Coregistered to MR imaging (SISCOM)*” algoritması ile lezyon lokalizasyonu, bu tetkiklerin tek tek görsel olarak değerlendirilmesinden daha başarılı sonuçlar vermektedir. MR’nin, FDG PET’in, ve SISCOM algoritması kullanılarak yorumlanan beyin perfüzyon çalışmalarının pediatrik hastalarda epilepsi odağının lokalizasyon başarısının değerlendirildiği bir çalışmada sadece MR’nin lokalizasyon başarısı %39 iken, FDG PET’in ve SISCOM’un tek tek lezyon saptama oranları sırası ile %67 ve %57; SISCOM ve FDG PET’in ortak kullanıldığı durumda ise %76 olarak bulunmuştur (12). Hem görsel değerlendirmenin hem de SISCOM algoritmasının karşılaştırıldığı bir çalışmada enjeksiyon zamanı 20 saniye altında olan hastalarda lezyon lokalizasyon başarısı görsel değerlendirme ve SISCOM için sırası ile %67,6 ve %80,7 iken enjeksiyon zamanı geciken hastalarda bu oran %52’ye düşmüştür (11). Ancak enjeksiyon zamanı aslında başka faktörler ile de ilişkilidir. Pediatrik yaş grubundan toplam 118 hasta üzerinde retrospektif olarak yapılan bir çalışmada radyofarmasötik enjeksiyon zamanı iktal ya da periiktal network dinamikleri ve iktal lezyon lokalizasyon başarısı arasındaki ilişki araştırılmış olup EEG’de lokalizasyon yapılamayan hastaların %57’sinde iktal beyin perfüzyon çalışmaların odaksal olarak raporlandığı,

bu hastaların %67,5’inde hiperperfüze odağın cerrahi eksizyonun yapılabilirdiği, bu hastaların da %74,1’inde cerrahi sonuçlar ile SPECT sonuçlarının uyumlu olduğu gösterilmiştir (13). Video-EEG değerlendirmelerinde fokal başlayan ve yavaş gelişen, aurası olan ya da EEG’de öncü değişikliklerin gözlemlendiği, jeneralizasyon olsa bile bunun belirli bir kural doğrultusunda geliştiği hastalarda iktal radyofarmasötik enjeksiyonu daha erken yapılabilirmekte, dolayısı ile hiperperfüzyon alanı ile nöbet odağı ilişkisi daha doğru kurulabildiği için lezyon lokalizasyonu da daha doğru yapılabilirmektedir (13). Benzer şekilde nöbet ile ilişkili kortikal networkün karmaşık olduğu durumlarda hem EEG ya da nöbet semiyolojisi ile doğru lokalizasyon ve lateralizasyon yapılamamakta hem de iktal beyin perfüzyon çalışmalarında radyofarmasötik enjeksiyon zamanı gecikmektedir. Başka bir deyişle enjeksiyon zamanı optimal olsa bile kompleks nöronal networkün olduğu karmaşık nöbet tiplerinde iktal beyin perfüzyon sintigrafisinin odaksal bir hiperperfüzyon göstermesi olasılığı da düşük olacaktır.

Yenidoğan ve infantlarda yapılan bir çalışmada iktal-interiktal beyin perfüzyon SPECT ile nöbet odağı lokalizasyonu yapılabilen hastalardan cerrahi olarak tam rezeksiyonu yapılabilen 5 hasta nöbetsiz iken SPECT ile gösterilmiş hiperperfüze alan cerrahi olarak çıkarılamamış hastaların cerrahi sonrası nöbetlerinin devam ettiği bildirilmiştir (14). Bu nedenle beyin perfüzyon çalışmaları cerrahinin yapılabilirliği, eksize edilecek alanın genişliği ve cerrahi sonrası prognoz hakkında önemli işlevsel bilgiler vermektedir.

Pozitron Emisyon Tomografisi

F-18 FDG PET: İlaça dirençli epilepsi değerlendirmesinde beyinde glukoz metabolizmasındaki değişiklikleri görüntülemek için kullanılır (3). FDG’nin beyinde tutulması 45-60 dakikalık bir sürede gerçekleşir. Bu nedenle F-18 FDG PET beyinde hızlı yayılımın olduğu iktal/periiktal dönemde kullanıma uygun değildir; interiktal dönemde uygulanır. Beyindeki FDG tutulumu glukoz metabolizmasını, nöronların canlılığını, nöronal bütünlüğü ve sinaptik yoğunluğu gösterir. Enjeksiyon zamanından çekime kadar olan 45-60 dakikalık bekleme sürecinde (loş-sakin PET hasta odasında) hasta nöbet açısından yakın takip edilir; mümkünse hastanın EEG kaydı alınabilirse bu süreçteki metabolizma değişiklikleri ile EEG aktivitesi ilişkisi görüntüyü yorumlamada fayda sağlar.

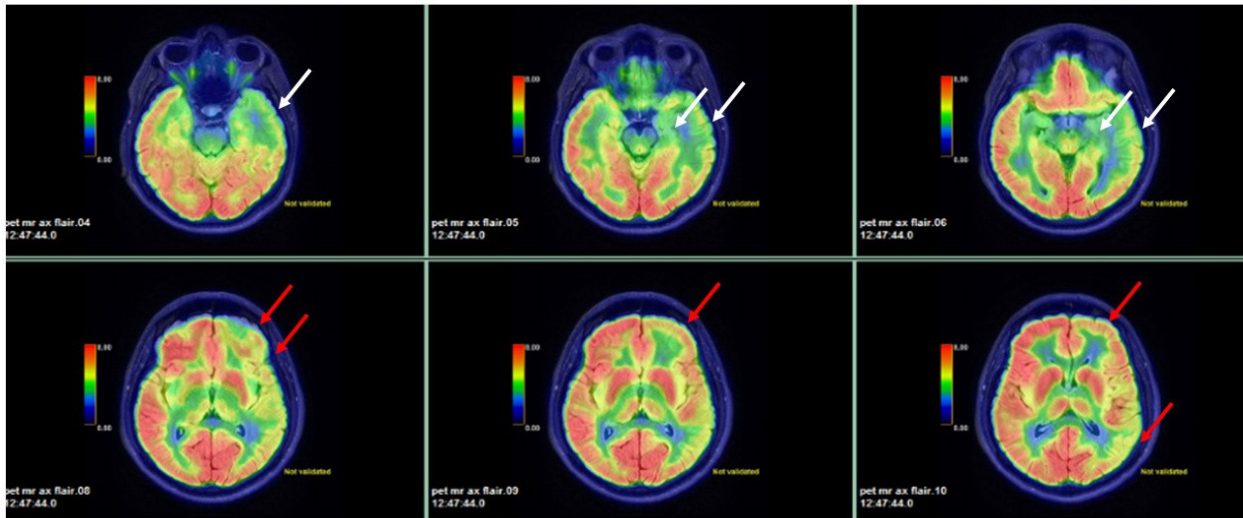
Epileptojenik zon, nöbet odağı (“*ictal onset zone*”) ve hemen çevresindeki etkilenen alandır (3,8). F-18

FDG PET çalışmasında epileptik alan-lateralizasyonu bölgesinde beklenen bulgu o bölgede hipometabolizma olmasıdır. F-18 FDG PET görüntüsünde hipometabolik bölge genellikle gerçek epileptojenik zondan ve MR'de saptanan lezyondan daha geniş olarak izlenir (Şekil 2). Bu hipometabolik bölge nöbetlere bağlı olarak sinaptik uyarıdaki kayıp ve serebral disfonksiyonun şiddeti ile ilişkili olarak epileptojenik zon ile fonksiyonel “defisit zone”, “irritative zone”, semptomatolojik “zone” olarak adlandırılan ve nöbet odağı ile etkileşim içerisinde olan beyin alanlarını da içerebilir. Yani ilaca dirençli epilepside beyinde FDG tutulumundaki bu azalma hem epileptojenik zondaki hipometabolizmayı hem de çeşitli epileptik yolların aktivasyonu nedeni ile etkilenmiş korteks bölgelerinin gösterilmesini sağlar (8). Bu bilgi cerrahi için hasta seçiminin daha doğru yapılmasına katkıda bulunur. Epileptojenik zon dirençli nöbette başarı elde etmek için çıkarılması yeterli olan beyin bölgesidir. F-18 FDG PET çalışmasında tamamlayıcı bulgu olarak; ipsilateral talamusta (Şekil 3), bazal ganglionda, parietal-frontal hatta karşı temporal kortekste hipometabolizma; kontralateral serebellumda hipometabolizma (diaşizis) izlenebilir

(Şekil 3). Çocukluk çağında band heterotopi, çift korteks gibi anomalilerde ise FDG tutulumu normal düzeyde olabilir veya rölatif hipermetabolizma gözlenebilir. Çocuklarda bilateral temporal hipometabolizma ve prefrontal lob hipometabolizması agresif davranış ile ilişkilendirilebilmektedir (3). Ayrıca, temporal lob epilepsisinde parietal ve frontal hipometabolizma da eşlik edebilmektedir; bu bilişsel disfonksiyon veya diaşizis nedeni ile olabilir. F-18 FDG PET hem temporal hem de ekstrapetal neokortikal nöbet bölgelerini (“dual” patoloji) göstermede yardımcıdır.

F-18 FDG PET’in temporal lob epilepsilerinde epileptojenik beyin bölgesini tespitteki duyarlılığı yüksektir (%85-90); ekstrapetal lob epilepsilerinde de duyarlılığı (%45-92) iyidir (3,15). Epileptik lezyonların metabolik aktivitesinin değerlendirilmesi için PET ve MR görüntülerinin karşılaştırılması veya PET-MR ile görüntüleme yorumlanmada yarar sağlamaktadır.

F-18 FDG PET nöbet başlangıç yerini tam göstermede düşük özgüllüğe sahip olsa da epileptojenik bölgeyi göstermede MR’nin normal olduğu durumlarda önem



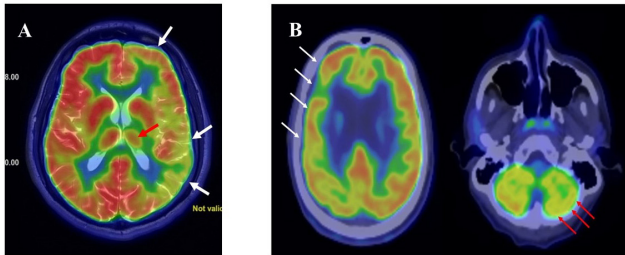
Şekil 2. Semiyolojisi ve VEM bulgularıyla temporal ve frontotemporal nöbetleri sınıflanan hastanın beyin MR’sinde solda hipokampal skleroz tespit edildi. Hastanın frontotemporal bulguları da olduğundan “dual” patoloji veya bulguların frontal bölge ile ilişkisini aydınlatmak için F-18 FDG PET görüntülemesi yapıldı. F-18 FDG PET görüntülerinde sol temporal lobda lateralde-mezialde belirgin hipometabolizma (beyaz oklar) gösterilmektedir. Ayrıca, sol frontal-sol parietal lobda da hipometabolizma görülmektedir (kırmızı oklar). F-18 FDG PET hastanın semiyolojisi ve VEM bulguları ile uyumlu sonuç vermiş olup, multidisipliner epilepsi toplantısında MR’deki skleroz bulgusu ve hastanın temporal nöbetlerinin baskın olması göz önüne alınarak öncelikle sol temporal lobektomi önerildi. Bu hastada F-18 FDG PET çalışmasında hipometabolik bölgenin genellikle gerçek epileptojenik zondan ve MR’de saptanan lezyondan daha geniş saptanabileceği gösterilmekte ve F-18 FDG PET semiyolojik bulgulara açıklık getirmektedir

MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, VEM: Video- elektroensefalografi monitörizasyonu

arzeder (Şekil 4). Ayrıca, F-18 FDG PET bulguları normal yapısal nörogörüntüleme bulgusuna sahip hastalarda invaziv elektrot yerleştirilecek bölge için yol göstermede önemli rol oynar (Şekil 4). Hastanın epilepsisine bağlı beyindeki metabolik fonksiyonel ağı yani beyindeki fonksiyonel bütünlüğü gösterir (Şekil 2).

Flumazenil (FMZ) benzodiazepine antagonistidir ve “ γ -aminobutyric acid (GABAA)” reseptör kompleksinin α alt ünitesine bağlanır. İntererikital FMZ-PET beyinde nöronal kayıp ve GABAA reseptör dansitesini yansıtır (3,4). Epileptik odakta FMZ bağlanması azalır (3,16,17). FMZ-PET, F-18 FDG PET’e göre nöbet fokusunu daha doğru sınırlayarak gösterir. MR’nin gösteremediği kortikal displazi alanlarını belirleyebilir. Hipokampal sklerozu göstermede duyarlıdır. Hastada “dual” patoloji var ise bunu göstermede başarılıdır.

Alpha-(C-11/F-18)methyl-L-tryptophan (AMT) beyinde α -(C-11/F18)methyl serotoninine dönüşür; monoaminoksidad için substrat değildir ve serotenerjik terminallerde akumule olur. AMT-PET tüberoskleroziste ve multifokal kortikal displazide epileptojenik ve non-epileptojenik odakları ayırmada kullanılır (3). Epileptojenik odak/odaklarda AMT tutulumu olurken nonepileptojenik odaklarda AMT tutulmaz. Böylece bu grup hastada nöbetten sorumlu odakların belirlenmesinde ve cerrahi açısından değerlendirmede önemli rol oynar. “Quinolic acid” triptofan metabolizmasının az bir bölümünü oluşturur ve kuvvetli konvülzan bir maddedir. AMT’nin bu grup epilepsi hastasında epileptojenik odakta bu yolağı daha aktif kullandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. A. F-18 FDG PET görüntülemesinde epilepsi açısından sol lateralizasyon ile uyumlu sol parietal ve sol frontal hipometabolizması olan (beyaz oklar) hastada ipsilateral talamusta hipometabolizma (kırmızı ok) izlenmektedir. **B.** İlaça dirençli epilepsi hastasının F-18 FDG PET görüntülemesinde sağ frontal ve sağ parietal lobda yaygın hipometabolizma (beyaz oklar) izlenmektedir. Bu hipometabolik bölge ile ilişkili olarak sol serebellumda diazisiz ile uyumlu görece hipometabolizma gösterilmektedir (kırmızı oklar)

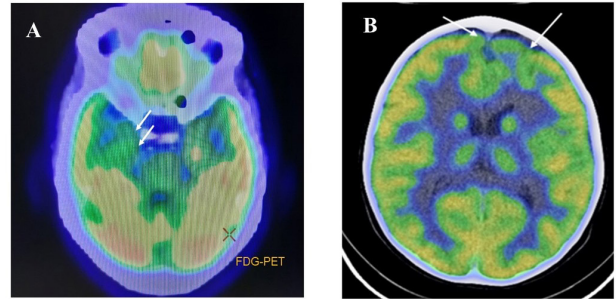
FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi

Ayrıca, epilepside PET ile serotonin, asetilkolin, dopamin ile reseptör bağlanma araştırmaları ve beyin perfüzyon çalışmaları da yapılmaktadır (3,8). Serotonin PET ile yapılan çalışmalarda mezial temporal bölgeyi de içeren temporal alan ile diğer kortikal ve limbik bölgelerde azalmış bağlanma olduğu bildirilmiştir. Epilepsi hastalarındaki azalmış serotonin bağlanması ile bu hastalardaki depresif semptomlar arasında ilişki olduğu gösterilmiştir.

Çocukluk Çağı Epilepsi Sendromları

Bu grup hastada deneyimlerin çoğu PET ile elde edilmiştir (3,4). Bu grupta Nükleer Tıp yöntemleri aşağıdaki konularda önemli rol oynar.

1. Beyindeki epileptik-fonksiyonel bozukluk olan bölgenin tespiti,
2. Bu bölge tek veya sınırlı ise hastaya cerrahi şansı tanınması,
3. Cerrahi olamayacak hastalarda hangi tedavi yöntemlerinin kullanılabileceğinin öngörülmesi,



Şekil 4. A. Semiyolojisi sağ temporal lob epilepsisi açısından şüpheli olan ve MR’sinde belirgin patoloji izlenmemekle birlikte sağ amigdalada şüpheli hafif kalınlık izlenen hastada bu bulguları netleştirmek için yapılan F-18 FDG PET çalışmasında sağ mezial temporal kortekste hipometabolizma (beyaz oklar) saptandı. F-18 FDG PET çalışması ile sağ temporal lob epilepsisi tanısı netleşen hasta multidisipliner epilepsi toplantısında cerrahi rezeksiyona yönlendirildi. **B.** İlaça dirençli epilepsi hastasında semiyolojik olarak sol taraf frontal nöbet sınıflaması ve sağ frontal tip nöbet açısından şüpheli semiyolojik yorumlama yapıldı. VEM bulguları sol frontale işaret etmekteydi. MR’de sol frontal geniş sulkus ve çevresinde kortikal displazi alanı mevcuttu. Sağ frontal şüpheli semiyolojik bulgusu olan hastaya uygulanan F-18 FDG PET çalışmasında sol prefrontal hipometabolizma ve sağ prefrontal-mezial hipometabolizma izlendi (beyaz oklar). Multidisipliner epilepsi toplantısında FGD-PET sonucu dikkate alınarak hem sol hem sağ prefrontal bölge için invaziv elektrot ile inceleme yapılması önerildi

MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, VEM: Video- elektroensefalografi monitörizasyonu

4. Hastalığın fonksiyonel açıdan progresyonunun takibi,
5. Biyopsi gerektiren durumlarda biyopsi yapılacak bölgenin tespiti.

İnfanıl spazmlar (West sendromu): Bir yaş altında ciddi klinik spazmlar ve EEG'de hipsaritmi bulguları ile seyreder (3,18,19). Gelişimsel ve nörokognitif geriliklerine neden olur. Etiyolojide serebral malformasyonlar, kromozomal anomaliler ve hipoksik/hemorajik ensefalopatiler bulunur. İlaça dirençli infanıl spazmda seçilmiş hastalarda epilepsi cerrahisi önemli bir tedavi seçeneğidir. İlk görüntüleme yöntemi MR'dir. F-18 FDG PET, MR negatif/şüpheli olgularda önemli rol oynar. F-18 FDG PET tutulum paternine göre medikal/cerrahi yaklaşım için yardımcıdır. F-18 FDG PET tek bölgede hipometabolizma gösterirse hastanın cerrahi şansı yüksektir; erken cerrahi ile prognozda fayda sağlanabilir. Bilateral, multifokal hipometabolizma görülen hastalarda cerrahi rezeksiyon şansı azalır. İktal SPECT veya AMT-PET bu hastalarda rezektif cerrahi şansı için ayrıntılı-dikkatli inceleme imkanı verir. Bu hastalarda cerrahi sonrasında farklı nöbet tipleri görülebilmekte veya gelişimsel yavaşlama devam edebilmektedir. Simetrik hipometabolizma mevcut olan hastalarda nörometabolik, nörolojik bozukluk akla gelir ve lezyon etiyojisinden uzaklaşılır. Başlangıçta MR negatif yorumlansa da F-18 FDG PET görüntülerinde hipometabolizma saptanması durumunda MR'de farklı sekanslar alınarak ve görüntülerin yeniden değerlendirilmesi ile MR'de ilk yorumlamada gözden kaçabilecek belirsiz lezyonların saptanması mümkün olmaktadır.

Sturge-Weber sendromu: Genellikle ilk yaş içerisinde görülen, embriyonik damarsal anomaliler ve glokomla seyreden gelişimsel bir hastalıktır (3,18,20). Hastalar çocuklukla ilaca dirençli epilepsi, hemipleji/hemiparezi ve görsel defisit ile başvurur. MR beyinde damarsal patolojinin gösterilmesinde önemlidir. Hastalarda anjiyomatöz lezyon olan kortikal alanda belirgin hipometabolizma görülür. Hastaların prognozunu bu hipometabolik alanın genişliği etkiler. Hipometabolizma gösteren alan ne kadar genişse hastaların klinik tablosu-nörogelişimsel gerileme o kadar kötü seyreder. F-18 FDG PET bu grup hastada fokal kortikal rezeksiyona yol gösterir; erken hemisferektomi adaylarının belirlenmesine yardımcı olur. F-18 FDG PET takiplerinde hafif-orta derecede yavaş ilerleyen hipometabolizma daha kötü prognozludur. Bunun tersine hızlı ilerleyen hipometabolizma hızlı kortikal

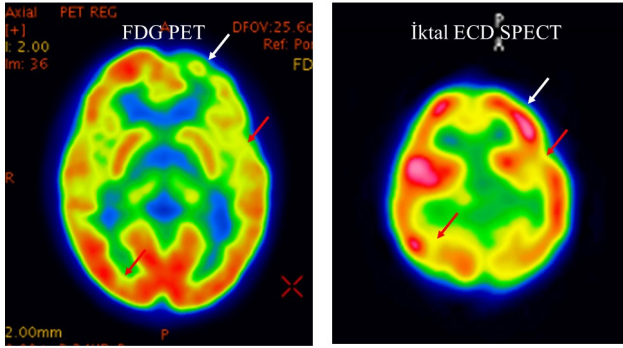
destrüksiyon nedeniyle nöbetlerde azalma ve rölatif iyi prognoz ile seyretmektedir. Erken yaşlarda yapılan F-18 FDG PET çalışmalarında Sturge-Weber sendromlu hastalarda yer yer hipermetabolik alanlar görülebilir. Bu hipermetabolik alanların ilk klinik nöbet öncesinde görüldüğü, epileptogeneze önemli olduğu, izlemde hipometabolik karakter kazandığı düşünülmektedir.

Tüberoskleroz: Konjenital bir sendrom olan tüberosklerozda hastaların çoğunda epilepsi görülmektedir (1,3,18). Hastalarda birden fazla odakta kortikal ya da subkortikal tüberler görülebilir ve bunlar MR ile saptanabilir. F-18 FDG PET çalışmalarında bu tüberlere uyan alanlarda hipometabolizma izlenir. Bu tüberlerden biri ya da birkaç epilepsi ile ilişkili olup, epilepsiden sorumlu olan tüberlerin saptanmasında AMT-PET faydalıdır. Epileptik tüberde AMT tutulumu olur. Bu tüberin cerrahi olarak çıkarılması ile hastanın nöbetsiz kalması sağlanabilmektedir. İktal SPECT bu özel grup hastada önemli yere sahip olup, epileptik tüber bölgesinde hiperperfüzyon gösterilebilir (Şekil 5).

Lenoux-Gastaud sendromu: Gelişimsel epileptik ensefalopati sendromudur (3,18,21). Farklı epileptik nöbet tipleri bir arada görülebilir. Bazal EEG'de yavaş diken-dalga paterni saptanır. Nöbetler tedaviye dirençlidir; öğrenme zorluğu ve davranış sorunları görülebilmektedir. F-18 FDG PET ile normal metabolizma, unilateral odaksal hipometabolizma, unilateral diffüz hipometabolizma veya bilateral simetrik hipometabolizma şeklinde dört farklı tipte bulgu tanımlanmıştır. Unilateral odaksal hipometabolizması olan hastalar bölgesel cerrahi rezeksiyondan; unilateral diffüz hipometabolizma izlenen hastalar ise korpus kallozektomi ya da hemisferektomi operasyonlarından fayda görebilmektedir. Bu hastalarda adaptif davranışlar ile F-18 FDG PET çalışmasındaki frontal loblarda hipometabolizmanın yaygınlığının ters orantılı olduğu bilinmektedir. Sendromda epileptik lezyonların bazı nöral bağlantı ağları üzerinden epilepsi geliştirdikleri düşünülmektedir. Epilepsi cerrahisi sonrasında hastalarda epileptik deşarjların giderek söndüğü, bu deşarjlara bağlı olarak dengesizlik gösteren nöral bağlantı ağlarında stabilizasyon olduğu düşünülmektedir.

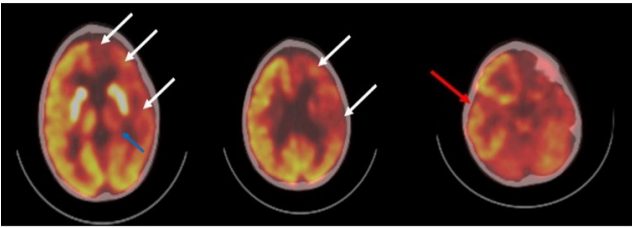
Rasmussen sendromu: Nadir gözlenen bir çocukluk çağı sendromudur. Hastalarda değişken hemiparezi, kognitif yetersizlik ve progressif ensefalopati görülebilir. Sendrom viral ya da otoimmün ensefalit sonrasında gelişebilir. Hastalarda beklenen tipik bulgu progresif hemisferik atrofi ve bu alanda belirgin FDG hipometabolizmasıdır. Hastanın

epileptik durumuna göre F-18 FDG PET'te hipometabolizma veya hipermetabolizma görülebilir. MR'de yapısal görünüm oturmadan önce erken dönemde F-18 FDG PET ile hipometabolizma gösterilmesi yüksek tanısal performans ile kliniği yönlendirebilmektedir. Beyinde bir hemisferde F-18 FDG PET ile yaygın hipometabolizmanın



Şekil 5. Tüberoskleroz tanılı epilepsi hastasında F-18 FDG PET çalışmasında beyaz ok ile hipoaktif gösterilen tüber bölgesi iktal Tc-99m ECD SPECT çalışmasında beyaz ok ile hiperaktif olarak izlenmekte olup; multidisipliner epilepsi toplantısında, semiyoloji ve EEG bulguları da göz önüne alındığında, bu tüberin nöbetten sorumlu odak olduğu düşünülmüştür. Hastanın F-18 FDG PET çalışmasında kırmızı olarak gösterilen diğer tüber bölgelerinde iktal Tc-99m ECD çalışmasında hipoperfüzyon (kırmızı oklar) izlenmektedir

FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, EEG: Elektroensefalografi, ECD: Etilestisistein dimer



Şekil 6. Kliniğinde Rasmussen ensafalitinden şüphelenilen ve MR'sinde bu durum ile ilişkili bulguları bulunmayan hastada F-18 FDG PET çalışmasında sol hemisferde yaygın hipometabolizma (beyaz oklar), sol talamusta hipometabolizma (mavi ok), sağda temporal lob ön kesiminde hipometabolizma (kırmızı ok) izlenmektedir. Kliniğinde sol hemisfer bulguları olan ve son birkaç günde sağda da klinik bulgular yerleşmeye başlayan hastada F-18 FDG PET bulguları yapısal bulgular oluşmadan kliniğin Rasmussen sendromu ön tanısını desteklemiş; tanısal performans sağlayarak klinisyeni yönlendirmiştir

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

gösterilebilirse hastalar hemisferektomiden fayda görebilir. Biyopsi planı var ise biyopsi yeri için yön vermede ve hastanın seyrini takipte F-18 FDG PET önerilmektedir. F-18 FDG PET hastanın semptomatolojisinin açıklanmasında fayda sağlar ve karşı hemisfere yayılım durumunu erken safhada gösterir (Şekil 6).

Hemimegalensefali: Beyinde unilateral, kongenital, geniş-defektif, hemisferik gelişimsel bir malformasyondur. Kontralateral hemisfer normal ise erken dönemde hemisfer diskonneksiyonundan fayda sağlanabilir. F-18 FDG PET'in bu durumdaki yeri cerrahi öncesi kontralateral hemisferdeki fonksiyonel bütünlüğü göstermek ve cerrahiden sağlanabilecek faydayı ön görmektir.

İlaça Dirençli Epilepsi Hastalarının Değerlendirilmesi

İlaça dirençli epilepsi hastalarının öncelikle cerrahi rezeksiyon ile nöbet kontrolünün sağlanması veya hastanın durumuna göre diğer tedavi olasılıklarının değerlendirilmesi açısından epilepsi merkezlerine yönlendirilmeleri gerekmektedir. Erken çocukluk çağında ilaca dirençli hastaların epilepsi merkezinde incelenmesi ayrıca önem taşır. Epilepsi merkezinde hastalar klinik, EEG, MR, SPECT ve PET bulguları ile multidisipliner hasta konseyinde tartışılır. Çünkü bu grup hastada hastaya özel yaklaşım önemlidir. Epilepsi merkezi medikal ve cerrahi/ilacı dışı tedavilerin gerektirdiği alt yapıya (VEM, MR-BT, PET-SPECT, anjiyogram ve intrakarotid amobarbital testi, fonksiyonel beyin haritalama vb.) ve bu alanda uzmanlaşmış nörolog, nörogörüntüleme uzmanları, epilepsi cerrahı, nöropsikolog, psikiyatrist, epilepside uzman hemşire, EEG teknisyeni, nöroanestezi, sosyal hizmet uzmanı, fizyoterapistten oluşan ekibe sahip merkezdir. Epilepsi merkezleri birincil sağlık hizmeti hekimleri, nörologlar ile iş birliği içinde olarak onlara danışmanlık ve hasta ile bakıcının eğitime yön vermektedir.

Üniversite hastanemizde 30 yıla yakın süredir alanında uzman ekip ve donanımlar ile merkezimizde hastalarımıza hizmet vermekteyiz. Her hafta düzenli olarak hastalarımızı multidisipliner epilepsi toplantısında tartışmaktayız. Bu toplantılarda ilaca dirençli hastalar nöbetlerinin temporal/ekstratemporal, odaksal/yaygın, bilateral/unilateral olup olmadığı açısından tartışılır. Semiyoloji ve VEM kayıtları ile nöbet sınıflandırması yapılır. Hastaların nöbetlerini açıklayacak epileptojenik lezyon/lezyonlar açısından MR görüntüleri incelenir. Bir

lezyon saptanması durumunda bunun primer motor alana, görme ya da konuşma merkezlerine yakınlığı vb. durumları değerlendirilir. Lezyon saptanmadığı durumlarda o hasta özelinde uygun olacak fonksiyonel Nükleer Tıp uygulamaları kararlaştırılır. Bazı hastalarda değerlendirme sonuçlarına göre epileptojenik odağın tam olarak sınırlandırılabilmesi için intrakraniyal elektrotların yerleştirilmesine ve nereye yerleştirileceğine karar verilebilir. Hastalar nöropsikolojik değerlendirme ve fMR tetkikleri ile ayrıca incelenir. Bu bilgiler ile hastaların bellek durumları, olası cerrahi sonrasında etkilenebilecek işlevleri (görme, konuşma, motor vb.) gözden geçirilir. Tüm değerlendirmelerin sonucunda hastaya cerrahi uygulanabilecek ise uygulanacak cerrahinin tipi (lobektomi, lezyonektomi, hemisferotomi vb.) kararlaştırılır. Eğer bulgular hastanın epilepsi cerrahisi için uygun olmadığını gösteriyorsa diğer tedavi seçenekleri ile palyatif yöntemler (ketojenik diyet, vagal sinir stimülasyonu, korpus kallosotomisi vb.) ve bu tedavilerin sonuçları tartışılır.

Sonuç

İlaça dirençli epilepsi hastaları öncelikle olası cerrahi rezeksiyon ile nöbet kontrolü sağlanması açısından değerlendirilir. Özellikle çocukluk çağında erken epilepsi cerrahisi ile iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle bu hastalar ileri değerlendirme ve tedavi planlaması için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir. Burada hasta semiyolojik olarak ve VEM ile değerlendirilir; MR incelemeleri yapılır. Bunların sonuçları uyumsuz ise veya lezyon saptanamıyorsa hasta özelinde beyin perfüzyon SPECT ve/veya F-18 FDG PET çalışmaları gündeme gelir. Nükleer Tıp uygulamaları epileptojenik bölgenin lokalizasyonu/lateralizasyonunu göstermede, hastanın nöbet tipini sınıflamada, tedaviye yön vermede, cerrahi planlamasında, intrakraniyal elektrot yerleştirilecek bölge için yönlendirmede, çocukluk çağı epilepsi sendromlarının değerlendirmesinde ve bu fonksiyonel bozuklukta beyin fonksiyonel bütünlüğünü göstermede önemli rol oynamaktadır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Perucca P, Bahlo M, Berkovic SF. The genetics of epilepsy. *Annu Rev Genomics Hum Genet.* 2020;21:205-230.
2. Türkdoğan. Pediatrik nörologdan pediatrik epileptoloğa: Hangi hasta ne zaman yönlendirilmeli? In: Yalnızoğlu D, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:1-7.
3. Ergun EL, Saygi S, Yalnizoglu D, Oguz KK, Erbas B. SPECT-PET in Epilepsy and clinical approach in evaluation. *Semin Nucl Med.* 2016;46:294-307.
4. Ergün E, Salancı VB. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler:Nükleer tıp. . In: D Y, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:25-33.
5. Fisher RS, Cross JH, French JA, et al. Operational classification of seizure types by the International league against epilepsy: position paper of the ILAE commission for classification and terminology. *Epilepsia.* 2017;58:522-530.
6. Öztoprak Ü, Turanlı G. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler: video EEG monitörizasyon. In: Yalnızoğlu D, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:8-18.
7. Koç A, Ucar M. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler: Nöroradyoloji. In: D Y, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi* Ankara; 2024:19-24.
8. Traub-Weidinger T, Arbizu J, Barthel H, et al. EANM practice guidelines for an appropriate use of PET and SPECT for patients with epilepsy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024;51:1891-1908.
9. Chiron C, Raynaud C, Maziere B, et al. Changes in regional cerebral blood flow during brain maturation in children and adolescents. *J Nucl Med.* 1992;33:696-703.
10. Devous MD Sr, Thisted RA, Morgan GF, Leroy RF, Rowe CC. SPECT brain imaging in epilepsy: a meta-analysis. *J Nucl Med.* 1998;39:285-293.
11. Lee SK, Lee SY, Yun CH, Lee HY, Lee JS, Lee DS. Ictal SPECT in neocortical epilepsies: clinical usefulness and factors affecting the pattern of hyperperfusion. *Neuroradiology.* 2006;48:678-684.
12. Perissinotti A, Setoain X, Aparicio J, et al. Clinical role of subtraction ictal SPECT coregistered to MR imaging and (18) F-FDG PET in pediatric epilepsy. *J Nucl Med.* 2014;55:1099-1105.
13. Stamoulis C, Connolly J, Axen E, et al. Non-invasive seizure localization with ictal single-photon emission computed tomography is impacted by preictal/early ictal network dynamics. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018.
14. Kudr M, Krsek P, Maton B, et al. Ictal SPECT is useful in localizing the epileptogenic zone in infants with cortical dysplasia. *Epileptic Disord.* 2016;18:384-390.
15. la Fougere C, Rominger A, Forster S, Geisler J, Bartenstein P. PET and SPECT in epilepsy: a critical review. *Epilepsy Behav.* 2009;15:50-55.
16. Juhasz C, Chugani DC, Muzik O, et al. Electroclinical correlates of flumazenil and fluorodeoxyglucose PET abnormalities in lesional epilepsy. *Neurology.* 2000;55:825-835.
17. Juhasz C, Nagy F, Muzik O, Watson C, Shah J, Chugani HT. [11C] Flumazenil PET in patients with epilepsy with dual pathology. *Epilepsia.* 1999;40:566-574.

18. Kumar A, Chugani HT. The role of radionuclide imaging in epilepsy, part 2: epilepsy syndromes. *J Nucl Med Technol.* 2017;45:22-29.
19. Pavone P, Striano P, Falsaperla R, Pavone L, Ruggieri M. Infantile spasms syndrome, West syndrome and related phenotypes: what we know in 2013. *Brain Dev.* 2014;36:739-751.
20. De la Torre AJ, Luat AF, Juhasz C, et al. A multidisciplinary consensus for clinical care and research needs for Sturge-Weber syndrome. *Pediatr Neurol.* 2018;84:11-20.
21. Archer JS, Warren AE, Stagnitti MR, Masterton RA, Abbott DF, Jackson GD. Lennox-Gastaut syndrome and phenotype: secondary network epilepsies. *Epilepsia.* 2014;55:1245-1254.