

27 MAYIS 2005 CUMA / 27 MAY 2005 FRIDAY

08.00-10.00

Kurs II:

Nörokognisyonda SPECT ve PET / Course II: SPECT and PET in Neurocognition

M. Ali Özgüven

Gülhane Askeri Tıp Akademisi ve Askeri Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı

FONKSİYONEL RADYONÜKLİD BEYİN GÖRÜNTÜLEME

I. Fonksiyonel Görüntüleme Nedir?

Hücre, tüm yaşayan organizmaların temel yapı taşıdır. İnsan vücudu yaklaşık 100 trilyon kadar hücreden oluşmuştur. Bu dev sistem tek bir prekürsör hücrenin (kök hücre) bölünüp çoğalması, çoğalan hücrelerin değişik uyaranlarla farklılaşarak doku ve organ sistemlerini oluşturması sonucunda meydana gelmiştir. İnsan vücudunda 200'ün üzerinde tanımlanmış hücre tipi vardır. Ancak bu hücreler birbirlerinden ne kadar farklılaşırsa farklılaşırsınlar bazı temel ortak özellikler korunmaktadır. Bu ortak özelliklerin başında hücre içi normal koşulların korunarak canlılığın sürdürülebilmesi için gerekli metabolik reaksiyonlara olanak sağlamak, üremek, diğer hücrelerle iletişim kurmak ve çevreden gelecek tehditlere karşı kendisini savunmaktır.

Erişkin bir insanın vücudunun %56'sı sudan oluşmuştur. Bunun önemli bir kısmı hücre içerisindedir (intrasellüler). Üçte biri ise hücre dışında (ekstrasellüler) bulunur ve hücreler arasında hareket halindedir. Ekstrasellüler sıvı, hücreler arasında yaşam için gerekli iyon (sodyum, klor ve bikarbonat gibi) ve enerji kaynaklarının (oksijen, glikoz, yağ asitleri, amino asitler gibi) taşınmasından sorumludur.

Yaşam, çok sayıdaki biyokimyasal ve fizyolojik olayın devamlılığı, tüm doku ve organ sistemlerinin gerektiği şekilde ve uyum içerisinde çalışması ile mümkündür.

Hastalık "normal fizyoloji veya biyokimyadan sapma" olarak tanımlanmaktadır. Bir hastalığın ortaya çıkışındaki ilk aşama, hücrenin normal fonksiyonlarını sürdürmesine engel teşkil edecek hücre içi veya dışı olumsuz etkenler (hipoksi, enfeksiyon, toksik ajanlar, immünolojik reaksiyonlar, genetik bozukluklar, beslenme

bozuklukları gibi) nedeniyle hücre yapısı (morfolojisi) ve fonksiyonlarında değişikliklerin meydana gelmesidir. Hücrenin bu olumsuz etkenlerin üstesinden gelmesi halinde hastalık oluşmaz. Bu amaçla bazı hücre adaptasyon mekanizmaları (atrofi, hipertrofi, hiperplazi, metaplazi gibi) devreye girer. Tehdidin devam etmesi ve hücre hasarının geri dönüşümsüz bir durum alması halinde ise hücre ölümü, yapısal değişiklikler ve klinik bulgular ortaya çıkar. Yapısal (morfolojik) değişiklikler hemen her zaman biyokimyasal ve fizyolojik değişiklikleri takip eder.

Nükleer Tıp, kontrollü ve çok sınırlı miktarlarda radyoaktif maddeler kullanmak suretiyle canlılarda süre giden bu biyokimyasal ve fizyolojik olayların, doğal seyirlerini etkilemeksizin, izlenmesine, ölçülmesine ve görüntülenmesine olanak sağlayan bir bilim dalıdır. Nükleer Tıp kapsamında radyoaktif maddeler kullanılmak suretiyle hastalıkların tedavisi ve bazı analitik laboratuvar uygulamaları da bulunmakla birlikte bu başlıklar konumuz dışındadır.

Nükleer Tıpta; görüntüleme amacıyla elektromanyetik özellikte (gama), tedavi amacıyla ise iyonizasyon gücü yüksek, partiküler özellikte (alfa ve beta) ışınlar yayan radyoaktif maddeler kullanılır.

Görüntülemeye kullanılacak radyoaktif maddenin (radyonüklid) görüntülenmesi arzu edilen biyokimyasal/fizyolojik olaya ve/veya organ/organ sistemine yönlendirilmesi de ayrı bir laboratuvar çalışmasını (radyofarmasi) gerektirir. Bazı radyonüklidler kimyasal yapıları ve/veya elektrik yükleri gereği görüntülenmesi arzu edilen sisteme, herhangi bir yönlendirmeye gerek kalmaksızın, kendiliklerinden giderken [Örn: Radyoaktif iyot izotopları (I-123, I-124I-131 gibi) ve Teknesyum-99m (Tc-99m)'in tiroid hormonu sentez aşamalarına

Kullanılan Radyofarmasötik	Kullanılan Mekanizma	Görüntülenen Sistem
Tc-99m MAA	Kapiller Blokaj	Akciğer Perfüzyonu
Xe-133, Xe-127, Kr-81m	Alveolar Transit, Kapiller Diffüzyon	Akciğer Ventilasyonu
Tc-99m Sülfür Koloid	Retiküloendotelial Fonksiyon	KC, Dalak, Kemik İliği
I-123, I-131	Tiroid Fonksiyonu	Tiroid
Tc-99m Perteknetat	Tiroid Fonksiyonu	Tiroid
Tc-99m MDP, HDP	Kemik Formasyonu	İskelet Sistemi
Tc-99m DTPA	Glomerüler Filtrasyon	Böbrek
	KBB Hasarı	Beyin Tümörleri
	BOS Dolaşımı	BOS Kompartmanı
In-111 DTPA	BOS Dolaşımı	BOS Kompartmanı
In-111 Lökosit	Hücre migrasyonu ve fagositoz	Enfeksiyon Odağı
Tc-99m Eritrosit	Kardiyak Fonksiyon, Kan Havuzu	Kardiyak Ejeksiyon Fraksiyon (EF), Hemanjioma, GIS Kanaması
Tc-99m HMPAO	Kan Akımı	Beyin
I-123 Iomazenil	GABA/Benzodiazepin Kompleksi	Beyin
I-123 _-CIT	Serotonin Reseptörleri	Beyin Serotonin Reseptör Dağılımı
In-111 Trombosit	Trombüs Oluşumu	Trombüs
I-123 IBZM, C-11 Raclopride	Dopamin D2 Reseptörleri	Beyin D2 Reseptör Dağılımı
F-18 FDG	Tümör Viabilitesi, Glukoz Metabolizması	Tümör Görüntüleme Beyin ve Kalp Metabolizması
C-11 veya I-123 Metil Tyrosine	Protein Sentezi, Protein Up-Regülasyonu	Beyin Tümörleri
C-11 Thymidine	DNA Sentezi, Hücre Proliferasyonu	Beyin Tümörleri
C-11 Methionine	Amino Asit Transportu	Beyin ve Pankreas Tümörleri

Tablo 1.

Nükleer Tıp görüntülemeye kullanılan baz fizyolojik/biyokimyasal mekanizmalar, görüntüleme ajanları ve görüntülenmiş organ/organ sistemleri

girerek tiroid bezinde tutulması ve tiroidin görüntülenmesine olanak sağlaması gibi], bazı radyonüklidlerin bir kimyasal veya biyolojik molekül ile entegre edilerek (radyofarmasötik) bu kılavuz molekül eşliğinde ilgili sisteme yönlendirilmesi gerekir.

Fonksiyonel görüntülemeye örnek teşkil etmek üzere kullanılan bazı fizyolojik/biyokimyasal mekanizmalar, görüntüleme ajanları ve görüntülenen organ/organ sistemleri Tablo-1 de gösterilmiştir. Fonksiyonel görüntüleme hastalıkların oluşma sürecinde, geri dönüşebilir (reversible) aşamada ve henüz yapısal bozukluklar oluşmaksızın erken tanısında önemli rol oynar.

II. GELENEKSEL RADYONÜKLİD BEYİN GÖRÜNTÜLEME

Geleneksel radyonüklid beyin sintigrafisi, bilgisayarlı tomografinin rutin kullanıma girmesinden önce SSS (santral sinir sistemi) patolojilerinin değerlendirilmesinde sıkça başvurulan bir görüntüleme yöntemi iken günümüzde sadece KBB (kan beyin bariyeri)'nin bütünlüğünün değerlendirilmesi ile BOS (beyin omurilik sıvısı) dolaşım bozuklukları ve kaçaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Görüntüleme Prensipleri

KBB bütünlüğünün değerlendirilmesi amacıyla kullanılan görüntüleme ajanları normal fizyolojik koşullarda (KBB'nin intakt olması halinde) KBB'yi geçerek beyin parankimine ulaşacak moleküler özelliklere (molekül büyüklüğü 500 Dalton'dan küçük, lipofilik ve nötr) sahip değildir. Ancak KBB yıkımına neden olacak bir SSS patolojisinin (primer ve metastatik beyin tümörleri, enfeksiyöz hastalıklar, arterio-venöz malformasyonlar, serebro-vasküler hastalıklar, travma, sub-dural hematoma gibi) varlığında beyin parankimine geçerler ve patolojinin görüntülenmesine olanak sağlarlar.

BOS dolaşım bozuklukları ve kaçaklarının belirlenmesinde kullanılan görüntüleme ajanları ise BOS boşluğuna LP (lomber ponksiyon) yoluyla intra-tekal olarak uygulandıktan sonra normal fizyolojik koşullarda bu boşluğu terk etmeyecek moleküler özelliklere sahiptir. LP yoluyla subaraknoid mesafeye uygulanan görüntüleme ajanının normal BOS sirkülasyonu doğrultusunda spinal kanal boyunca yükselerek 1-2. saatlerde bazal sisternalara, 2-6. saatlerde frontal lob ve Sylvian fissüre, 12. saatte serebral konveksiteler ve 24. saatte sagittal sinüse ulaşması beklenir. Ventriküllerin normalde izlenmemesi gerekir, ancak geçici olarak hafif bir reflünün izlenmesi patolojik kabul edilmez.

Görüntüleme Ajanları

KBB bütünlüğünün değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan görüntüleme ajanları Tc-99m Perteknetat ve Tc-99m DTPA'dır. KBB'ni geçebilme özelliğine sahip perfüzyon ajanlarından olan Tc-99m HMPAO da beyin sapı ve serebellum perfüzyonunu daha iyi gösterdiği için son zamanlarda tercih edilmektedir.

BOS'un görüntülenmesinde (sisternosintigrafi) ise Tc-99m DTPA ve In-111 DTPA kullanılmaktadır.

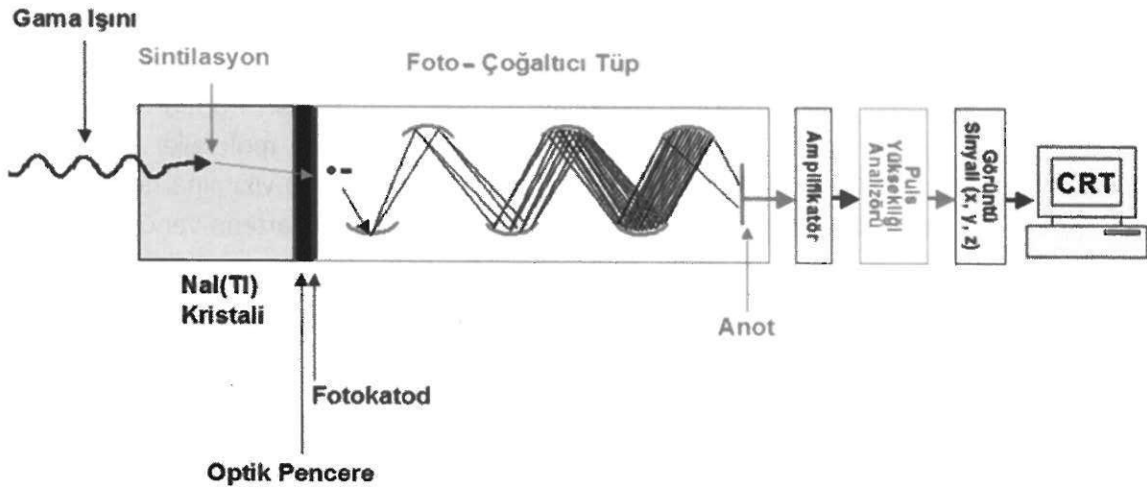
Görüntüleme Sistemleri

Geleneksel radyonüklid beyin görüntülemesinde Nükleer Tıbbın temel görüntüleme aygıtı olan gama kameralar (geliştiren bilim adamının ismine atfen Anger Kamera olarak da anılır) kullanılmaktadır. Hastaya uygulandıktan sonra görüntülenmek istenen organ/organ sistemine giderek orada lokalize olan (statik

görüntüleme) görüntüleme ajanından yayılan gama ışınları, gama kameraların detektörlerinin ön yüzünde bulunan ve iyonizan özellikteki elektromanyetik radyasyonla teması halinde görünebilir bir ışık saçılımı (sintilasyon) yapabilecek kimyasal yapıya sahip sintilasyon kristaline [NaI(Tl) kristali] gelir. Oluşan düşük parlaklıktaki ışık huzmeleri hemen kristalin arkasında yer alan fotokatod aracılığı ile elektrik akımına çevrilir. Foto-çoğaltıcı tüpler ve amplifikatör tarafından yükseltilecek elektronik sistemler tarafından algılanabilecek düzeylere getirilen elektrik sinyalleri puls yüksekliği analizöründe filtre edildikten sonra sistem bilgisayarına aktarılacak yatay (x), dikey (y) lokalizasyon ve yoğunluk (z) bilgilerini içeren elektronik sinyallere çevrilir. Daha sonra x, y ve z bilgilerini taşıyan bu elektronik sinyaller değişik projeksiyon yöntemleri kullanılmak suretiyle sintigrafik görüntüler oluşturulur (Şekil-1).

Gama kameralar detektör sayılarına (tek, çift veya çok detektörlü) veya detektör şekillerine (sirküler ve dikdörtgen) göre de adlandırılmaktadır.

Şekil 1. Gama kamera görüntüleme prensipleri



Gama kameralarda, sintilasyon kristalinin önünde yer alan, sadece görüntülenmek istenen organ/organ sistemlerinden gelen gama ışınlarının kristale ulaşmasına izin veren, vücudun diğer bölgelerinden gelen gama ışınlarını elimine etmek üzere kurşun veya tungsten gibi yoğun metallere imal edilen, üzerinde bal peteği tarzında çok sayıda delik içeren aparatlar (kolimatör) kullanılmaktadır.

Gama kameralarda statik görüntülemenin yanısıra radyofarmasötüğün uygulanması ile birlikte görüntülemenin başlatılarak, çok kısa aralıklarla (1-2 saniyelik) ardışık görüntülerin alındığı ve görüntüleme ajanının vücut içerisindeki seyrinin izlenerek, ilgili organ/organ sisteminin perfüzyonu ve fonksiyonları hakkında bilgi edinildiği görüntülemeler (dinamik görüntüleme) yapmak da mümkündür.

Endikasyonları

Geleneksel dinamik ve statik beyin sintigrafisinin günümüzdeki en önemli belki de tek kullanım endikasyonu beyin ölümünün saptanmasıdır. Beyin ölümünün saptanması potansiyel organ donörlerinin belirlenmesinde önemlidir. Anjiyografiye oranla daha az invaziv olması, doppler sonografiden daha güvenilir ve kesin sonuç vermesi, gereken durumlarda mobil gama kameralar kullanmak suretiyle tetkikin hasta yatağında yapılabilmesi tercih nedenleridir.

Beyin ölümü gelişmiş olgularda dinamik görüntülerde, arteriel fazda, eksternal karotis kan akımının izlenmesine karşın internal karotis kan akımının izlenmemesi; venöz fazda ise sinüs aktiviteleri izlenmemesi tanı koydurucudur. Bunun nedeni beyin ölümü sonrası artmış kafa içi basıncıdır.

Radyonüklid sisternografinin en önemli endikasyonları; a) Hidrosefali ayırıcı tanısı (özellikle obstrüktif komünike tip hidrosefali olgularında), b) Normal basınçlı hidrosefali tanısı, c) Demans ve serebral atrofi etiolojisinin araştırılması, d) Porensfalik ve leptomeningeal posterior fossa kistlerinin tanısı, e) Otore ve rinore gibi BOS kaçaklarının araştırılması ile, f) Şant açıklığının araştırılmasıdır.

Obstrüktif komünike tip hidrosefalide, ventriküler sisteme doğru radyofarmasötik geri kaçı ve radyofarmasötiğin serebral konveksitelere ulaşmasında gecikme izlenir.

Normal basınçlı hidrosefali, demans, idrar inkontinansı ve ataksi ile birlikte seyreder. Tedavi edilebilen demans tiplerinden olması nedeniyle tanısı önem arz eder. Sintigrafide ventriküler sistemde erken ve kalıcı reflünün izlenmesi, radyofarmasötiğin serebral konveksitelere gecikmeli veya hiç ulaşmaması söz konusudur.

BOS kaçaklarının en sık rastlanılan iki nedeni kafa travması ve cerrahidir. Intermitant olabilmesi nedeniyle her zaman tanı konamayabilir. Bu durumda hastaya Val Salva manevrası yaptırılarak BOS kaçağı provake edilmelidir. Değerlendirme görsel olarak yapılabileceği gibi tampon/plazma sayım oranlarının hesaplanması (>1.3-1.5 olması halinde pozitif) ile de yapılabilir.

Şant açıklığının sisternosintigrafik değerlendirilmesinde, mevcut şantın yerleşimi ve tipi hakkında mutlaka bilgi sahibi olunmalıdır. Şantın distal kateterinin yanısıra mutlaka proksimal kateterinin de değerlendirilmesi gerekir. Geçiş izlenmemesi halinde hasta pozisyonunun değiştirilmesi, rezervuara bası uygulanması gibi manüplasyonlardan sonra tetkikin tekrarı önerilmektedir. Direne olan radyofarmasötiğin direne olduğu kompartmanda serbest yayılımının izlenmesi gerekmektedir. Fokal lokalizasyonlar psödokist oluşumunu düşündürmelidir.

III. SİNTİ-TOMOGRAFİK (SPECT) BEYİN GÖRÜNTÜLEME

SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography) görüntüleme tekniğine ait teorik matematiksel temeller 1900'lü yılların başlarında tanımlanmış olmasına karşın yöntemin rutin olarak uygulanabilir hale gelmesi 1970'li yılları bulmuştur.

SPECT görüntülemeye önceki bölümde tartışılan planar (tek boyutlu) görüntülemenin aksine iki boyutlu kesitsel (sinti-tomografik) bir görüntüleme söz konusudur. SPECT görüntülemeye geleneksel planar sintigrafik yöntemlere oranla daha yüksek çözünürlüklü (rezolüsyonlu) (~14-17 mm) ve kantitatif değerlendirmeler yapmaya uygun görüntüler elde etmek mümkündür. Yöntemin bir diğer avantajı da elde edilen tomografik (kesitsel) görüntüler sayesinde planar görüntülerin değerlendirilmesinde problemlere neden olan organ süperpozisyonlarının ortadan kalkmasıdır.

Görüntüleme Prensipleri

Beyin SPECT görüntüleme intakt KBB'yi geçme özelliğine sahip görüntüleme ajanlarıyla yapılmakta olup beyin parankimine geçen ajanlar burada bölgesel kan akımına rölatif olarak tutuluma uğrarlar. Bu surette bölgesel beyin kan akımının aynı zamanda bölgesel nöronal aktivite ve metabolizmayı da yansıtır olması nedeniyle

beyin fonksiyonları hakkında değerli bilgiler edinilir. Bu yöntem hastalıkların erken tanısında önemli olduğu kadar tedavinin yönlendirilmesinde ve tedaviye yanıtın takibinde de önemli rol oynar.

Görüntülemelerde bölgesel kan akımı kadar önemli diğer bir yöntem de reseptör görüntülemesidir. Beyin patolojilerini daha özgün olarak belirleyebilmek amacıyla beyinde bulunan reseptörlere spesifik görüntüleme ajanları geliştirme çalışmaları 1970'li yıllarda başlamış ve ilk kez 1980'li yılların başında insan beyindeki dopaminerjik reseptörler görüntülenerek Parkinson Hastalığının tanısı konulmuştur. Daha sonraki yıllarda ise muskarinik, benzodiazepin, serotonerjik, adrenerjik, histamin ve opioid reseptörlerinin görüntülenmesi mümkün olmuştur.

Görüntüleme Ajanları

Beyin perfüzyon SPECT görüntülemesinde en sık kullanılan radyofarmasötikler Tc-99m işaretli HMPAO (hexamethylpropylene amine oxime) ve ECD (ethyl cysteinate dimer)'dir. Bu görüntüleme ajanları lipofilik özellikte olup i.v. olarak enjekte edildiklerinde intakt KBB'yi geçebilecek moleküler yapıya sahiptir. Beyin parankimine geçen görüntüleme ajanları ilk 1-2 dk. da bölgesel kan akımı ile orantılı olarak maksimum oranda tutulurlar ve yeniden dağılıma (redistribüsyon) uğramazlar. Bunun nedeni lipofilik yapıdaki bu görüntüleme ajanlarının KBB'yi geçtikten sonra hidrofilik yapıya dönüşmeleridir. Bu sayede enjeksiyondan 1-2 saat sonra enjeksiyon anındaki beyin perfüzyonunun görüntülenmesi mümkün olabilmektedir.

Sık kullanılan bir diğer perfüzyon ajanı da I-123 IMP (iodo isopropylamphetamine)'dir. Bu görüntüleme ajanı Tc-99m işaretli ajanlardan farklı olarak serotonin reseptörlerine bağlanır ve maksimum tutulumu 20. dk. da ulaşılır. Bu görüntüleme ajanının redistribüsyon özelliği vardır.

TI-201 DDC (diethyl dithiocarbamate), I-123 IMP'ye alternatif olarak geliştirilmiştir. Beyindeki maksimum tutulumu 1-2 dk. da tamamlanmakta ve ilk geçişte hemen hemen tamamı beyin parankimi tarafından ekstrakte edilmektedir. TI-201 DDC in vivo olarak çok çabuk bozunur ve vücutta TI-201 anyonu gibi dağılır. DDC, TI-201'e lipofilik özellik kazandırarak, intakt KBB'yi geçmesini sağlar.

Xenon-133 asal bir gaz olup lipofilik yapıya sahiptir. Beyin parankiminde hiçbir kimyasal değişikliğe uğramaz ve mutlak bölgesel kan akımının ölçülmesine olanak sağlar. Ancak kısa biyolojik yarı-ömrü ve beyin parankiminden hızlı geçişi nedeniyle görüntülenmesi için yüksek duyarlılıklı ve hızlı görüntüleme yapabilen dedike görüntüleme sistemlerini gerektirmesi kullanımını kısıtlar.

I-123 B-CIT [n-methyl-2 beta-carbomethoxy-3 beta-(iodophenyl) tropane] dopamin ve serotonin reseptörlerinin görüntülenmesinde kullanılan yeni bir ajan olup Parkinson Hastalığının tanısında ve tedaviye yanıtın takibinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Görüntüleme Sistemleri

SPECT görüntülemesinde gama kamera ile görüntülenmek istenen organ/organ sisteminin farklı açılardan alınan iki boyutlu görüntüleri özel bilgisayar yazılımları aracılığı ile tomografik kesitlere ve üç boyutlu görüntülere dönüştürülür (rekonstrüksiyon). En yaygın kullanılan rekonstrüksiyon yöntemlerinin başında filtrelenmiş geri projeksiyon (filtered back projection) yöntemi gelir. Benzer rekonstrüksiyon yöntemleri BT, MR ve PET'te de kullanılmaktadır.

SPECT görüntüleme sağladığı bazı avantajların yanısıra pek çok teknik ve ekonomik güçlüğü de beraberinde getirir.

İyi bir görüntü elde edebilmek için birçok önkoşulun sağlanması gerekir. Görüntüleme sisteminin çok parametrelili kalite kontrollerinin aksatılmadan yapılması, kullanılacak görüntüleme ajanlarının pahalı ve özellikli olması, görüntüleme öncesinde hastanın çevresel etkenlerden izole edilmesinin gerekliliği, her bir çalışmada minimum 5 milyon toplam sayım alınmasının gerekmesi, her bir olgu ve kullanılan görüntüleme ajanına göre rekonstrüksiyon parametrelerinin yeniden belirlenmesinin gerekmesi bunlardan bazılarıdır. Beyin SPECT yapmak üzere geliştirilmiş çok detektörlü (3-4 detektörlü) dedike sistemler ile daha yüksek çözünürlüklü (~8-10 mm) görüntüler elde etmek mümkün olsa da bu sistemler oldukça pahalıdır.

Elde edilen veriler üzerinde mutlak (absolü) kantitatif değerlendirmeler ancak Xe-133 ile alınan görüntülerde mümkün olabilmektedir. Ancak bu yöntemin yaygın olarak kullanılmaması nedeniyle Tc-99m ile işaretli ajanlarla alınan görüntülerde uygulanabilen yarı-kantitatif yöntemler tercih edilmektedir. Yarı-kantitatif yöntemde kesitsel görüntüler üzerindeki özel anatomik ve fonksiyonel bölgelere ilgi alanları (ROI) çizilmek suretiyle karşı taraf korteksteki (kontralateral) simetriği ve belirlenecek diğer referans noktaları ile karşılaştırması yapılmaktadır.

Endikasyonları

Beyin SPET görüntülemenin en sık kullanılma endikasyonları, a) Epilepsi, b) Stroke (İnme), c) Demans, d) AIDS, e) Parkinson Hastalığı, f) Kafa travmaları, g) Beyin Tümörleri, h) Beyin ölümü, ı) Psikiyatrik hastalıklar, i) Ensefalopatiler, j) Ensefalitler ve k) Pediatrik gelişme bozuklarıdır (Serebral palsi, otizm, dikkat eksikliği, hiperaktivite, Down sendromu).

Epileptik olgularda, epileptik sendromun tanısında SPECT görüntüleme önemli rol oynar. Epileptik odak iktal dönemde hiperaktif, inter-iktal dönemde ise hipoaktif olarak izlenir. SPECT görüntüleme tedaviye dirençli olan ve epileptik odağın cerrahi olarak çıkartılması planlanan olgularda epileptik odağın lokalize edilmesinde katkı sağlar.

Stroke (İnme) da; yapısal değişikliklerin henüz oluşmadığı, BT ve MR gibi morfolojik görüntüleme yöntemlerinin tanısız değerinin bulunmadığı erken dönemde tanıda önemli rol oynar. Lüks perfüzyon (otoregülasyon mekanizmalarındaki lokal bozukluklara bağlı olarak lezyon bölgesindeki perfüzyonun artışı) ve diaskizis (lezyon bölgesinden uzak ancak lezyon bölgesi ile nöronal ilişkide bulunan bölgelerde izlenen hipoperfüzyon) gibi morfolojik görüntüleme yöntemlerinin gösteremediği fonksiyonel değişimleri ortaya koyar.

Alzheimer Hastalığında bilateral posterior parietal ve temporal kortekslerde simetrik, Fronto-temporal Demansta bilateral veya tek taraflı olarak pre-frontal kortekste, Multi-enfarkt Demansta bilateral veya tek taraflı olarak talamus, bazal ganglia, frontal ve temporal kortekslerde multipl, Huntington Hastalığında kaudat çekirdek ve putamende, Wilson Hastalığında bakır birikimine bağlı olarak bazal gangliyalarda, Progresif Supranükleer Palside kaudat çekirdek, putamen, talamus, pons ve serebral kortekslerde, Pick Hastalığında ise frontal kortekslerde hipoperfüzyon izlenir.

HIV Enfeksiyonlu olgularda %11-65 oranında demans gelişme riski vardır. Bu hastalarda SPECT görüntülemede serebral kortekste ve peri-ventriküler alanlarda bilateral ve simetrik hipoperfüzyon izlenir.

Erken ve pre-septomatik evrede Parkinson Hastalığının tanısında, tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde ve hastanın takibinde SPECT görüntülemenin önemli rolü vardır. Tedavi almayan olgularda korpus striatumda hipoperfüzyon izlenir. L-DOPA tedavisine başlanılmasıyla birlikte bu bölgedeki kan akımının arttığı saptanmıştır.

Kafa travmalarında travmaya sekonder olarak oluşan diffüz aksonal hasar nedeniyle serebral kortekste perfüzyon defektleri izlenir. Bu defektler %40 sıklıkla sol temporal, temporo-parietal ve fronto-temporal kortekste izlenir.

SPECT görüntüleme Beyin Tümörlerinde evrelendirmede, biyopsi yerinin belirlenmesinde, prognostik tahminlerde, nüks/radyasyon nekrozu ayırıcı tanısında kullanılmaktadır. Yüksek evreli tümörlere görüntüleme ajanının tutulumu daha yüksek oranlarda olmaktadır.

Beyin Ölümünde, Tc-99m HMPAO ile yapılacak SPECT görüntülemeye serebral (supratentorial) ve serebellar (infratentorial) perfüzyonun izlenmemesi (boş kafa görünümü) tanı koydurucudur.

Psikiyatrik Hastalıklardan; Şizofreni'de semptomatik dönemde temporal kortekste hiperperfüzyon, asemptomatik dönemde ise frontal kortekste hipoperfüzyon; Alkolizm'de frontal kortekste ve sol hemisferde hiperperfüzyon; Depresyon'da global hipoperfüzyon, Obsesif-Kompulsif Bozukluklarda bazal ganglionlarda hipoperfüzyon, frontal kortekste hiperperfüzyon, Post-Travmatik Stres Sendromun'da frontal ve parietal kortekslerde hipoperfüzyon, Otizm'de ise medial pre-frontal ve temporal kortekslerde hipoperfüzyon saptanmıştır.

Akut HSV Ensefalitinde fronto-temporal kortekste, tek taraflı fokal hipoperfüzyon izlenir.

IV. POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ (PET) İLE BEYİN GÖRÜNTÜLEME

Pozitron görüntüleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950 ve 60'lı yıllarda başlamış, bu amaçla başlangıçta Anger kamera ve iki detektörlü görüntüleme sistemleri kullanılmış, ancak çok yüksek maliyetler nedeniyle sınırlı sayıda laboratuvar da uygulama olanağı bulunmuştur.

1970'li yılların başında Hounsfield ve Ambrose'nin x-ışınli bilgisayarlı tomografiyi keşfi ile tıbbi görüntüleme alanında yeni bir dönem başlamış, aynı yıllarda bazı önemli tıp merkezlerinin (Massachusetts General Hospital, Sloan Kettering Institute, California University ve Ohio State University gibi) siklotron kullanarak pozitron salıcısı radyonüklidlerin üretimine başlaması ve üretilen radyonüklidlerin biyomedikal araştırmalarda kullanılması pozitron görüntülemeye de ivme kazandırmıştır.

Günümüzde yüksek çözünürlüklü PET görüntülemenin mümkün olması tıptaki gelişmelerin yanı sıra diğer alanlardaki teknolojik ve bilimsel gelişmelerin (çekirdek fiziği, radyofarmasi, elektrik-elektronik, matematik, biyomedikal ve bilgisayar teknolojisi gibi) de ortak bir sonucudur.

Pozitron salıcısı radyonüklidlere olan ilgi ise 1940 yılında Kamen ve Ruben'in Karbon-14'ü keşfi ile başlamıştır. 1950'li yılların sonlarına doğru Ter-Pogossian karbon, oksijen, azot gibi vücudun temel yapı taşlarını oluşturan kısa yarı ömürlü pozitron salıcısı radyonüklidlerle bölgesel metabolik çalışmaların yapılabileceği fikrini ortaya atmış ancak bu fikir 1970'li yılların ortalarına dek pek ilgi görmemiştir.

Başlangıçta sadece bilimsel araştırmalar amacıyla kullanılan PET daha sonraki yıllarda yüksek tanısıl potansiyeli ile rutin klinik uygulamalar arasına girmiştir. PET görüntüleme cihazlarının ticari anlamda piyasaya sürülmesi 1970'li yılların sonuna doğru gerçekleşmiş, gelişim süreci içerisinde sisteme daha çok sayıda detektör, ring ve foton çoğaltıcı tüp (PMT) eklenmesi sistem duyarlılığı ve çözünürlüğü arttırmış, görüntüleme süresini ise kısaltmıştır.

Görüntüleme Prensipleri

PET dokuların perfüzyon, metabolik aktivite ve canlılığını (viabilite) yansıtan kesitsel görüntüler ve kantitatif parametrelerin kullanıldığı, non-invaziv ve fonksiyonel bir görüntüleme yöntemidir.

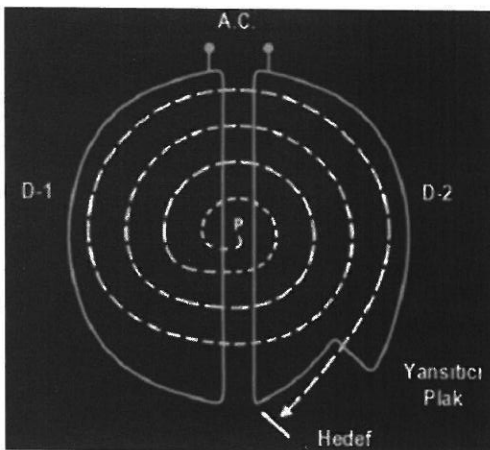
PET de diğer Nükleer Tıp uygulamalarında olduğu gibi, görüntüleme ajanı olarak radyoaktif işaretli bileşikler (F-18 DOPA, C-11 Kokain gibi) veya direkt olarak radyoaktif maddenin kendisi (O-15 gibi) uygulandıktan (intra-venöz, intra-arteriyel, per-oral, inhalasyon gibi) sonra görüntülenecek organ/organ sistemine gitmekte ve görüntüleme yapılmaktadır.

PET görüntülemede uygun yöntem ve görüntüleme ajanları kullanılarak, örneğin doku perfüzyonunun, glikoz metabolizmasının, reseptör aktivitelerinin görüntülenmesi mümkün olmaktadır.

Pozitron (β^+), negatron (β^-) olarak da adlandırılan elektron ile aynı kütleyle sahip ancak pozitif yüklü, partiküler bir radyasyondur.

Pozitron salıcısı radyoaktif maddeler, kararlı izotopların yüklü partiküller (proton, döteron, helyum çekirdeği gibi) ile bombardımanı sonucunda elde edilirler. Bu amaçla siklotron adı verilen parçacık hızlandırıcıları kullanılır.

onda, yüklü partiküller değişken elektromanyetik alanlar yardımıyla dairesel bir eksen üzerinde hızlandırılır ve hedefe yerleştirilmiş kararlı izotoplara doğru yönlendirilirler. Bu işlem sonunda hedefte bulunan kararlı



şekil 2. Siklotron

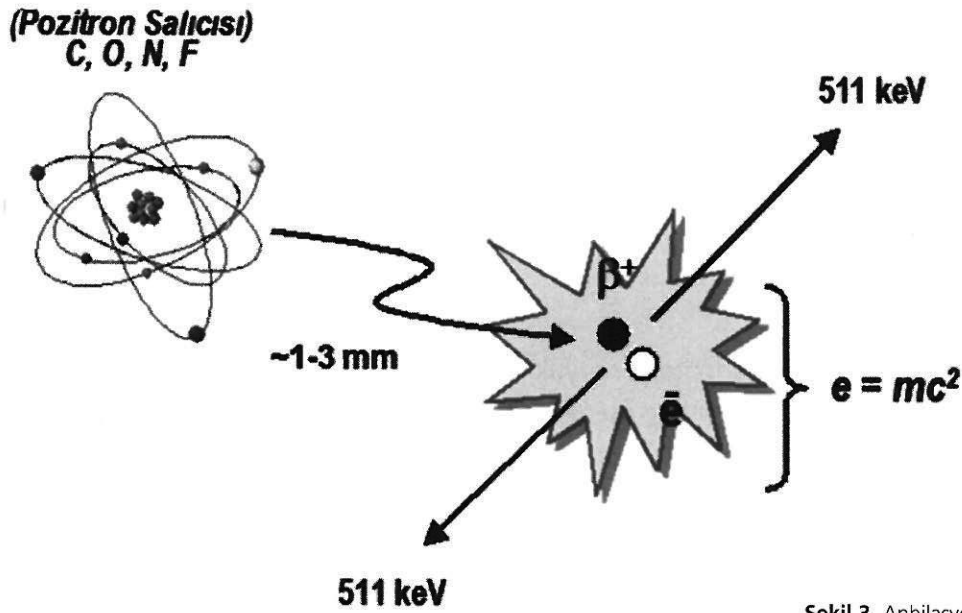
izotoplar çekirdeklerinde artan proton sayısı nedeniyle kararsız hale geçerler ve tekrar kararlı hale dönmek üzere pozitron yaymaya başlarlar.

proton " nötron + pozitron (β^+) + nötrino (ν)

Atom çekirdeğinin indirgenmesi sürecinde salınan pozitron bulunduğu ortam içerisinde yaklaşık 1-3 mm kadar ilerleyerek ortamda mevcut serbest bir elektron ile birleşir. Bu birleşme sonrasında her iki partikül de enerjiye dönüşür ($e=mc^2$) ve ortaya birbiri ile 180° açı yapan, 511 keV (kilo elektron volt) enerjiye sahip iki gama fotonu çıkar. Bu olaya Anhilasyon (pozitron yok olması) adı verilir.

Pozitronun salındıktan sonra anihilasyon oluşuncaya kadar geçen sürede kat ettiği mesafe PET tarayıcının çözünürlüğünü belirleyen önemli bir faktördür. Bu mesafenin artması çözünürlüğü olumsuz yönde etkilediği gibi kantitasyon (sayısallaştırma) hatalarına da neden olur.

PET tarama sistemlerinde, hastaya uygulanarak vücut içerisindeki biyodağılımını tamamlayan görüntüleme ajanından kaynaklanan, aralarında 180° açı bulunan 511 keV'lik gama fotonu çiftlerini tespit etmek üzere



Şekil 3. Anihilasyon (pozitron yok olması) Olayı

farklı sayı ve konfigürasyonlarda detektör halkaları mevcuttur. Birbiri ile 180° açı yapacak şekilde konuşlanmış detektör çiftleri, belirlenen zaman limiti içerisinde (nano saniye mertebesinde) tespit edilecek her bir gama foton çiftini sistem bilgisayarında x, y ve z eksen koordinatları ile birlikte tek bir nokta olarak kaydederler. Bu zaman limiti dışında detektörlere ulaşan fotonlar ise sayıma dahil edilmezler. Bu noktalar radyoaktivitenin yoğun olduğu bölgelerden daha çok, az olduğu bölgelerden ise daha az sayıda kaydedilir. Bu ham veriler sistem bilgisayarları tarafından işlenilerek kesitsel PET görüntüleri oluşturulur.

Görüntüleme Ajanları

PET görüntülemede kullanılan radyofarmasötik ve radyonüklidlerin en önemli özelliği vücudun temel altyapı taşları olan C (karbon), O₂ (oksijen), F (flor), N₂ (azot) gibi elementleri içermeleri ve vücutta biyolojik olarak bu moleküller gibi davranmalarıdır.

Radyoaktif olmayan karbon, azot, oksijen ve flor molekülleri ile aynı fizyolojik ve metabolik yolları izleyen bu

moleküller saldıkları uygun enerjideki ışınlar yoluyla vücut içerisinde izlenebilmekte ve dahil oldukları fizyolojik ve metabolik yolların moleküler düzeyde görüntülenmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla pozitron salıcısı radyonüklidlerle yapılan PET görüntüleme çalışmalarında işaretlenmiş glikoz, amino asit, hormon molekülleri veya metabolik prekürsörler kullanılmaktadır.

PET görüntülemede kullanılan radyonüklidlerin fizik yarı ömürleri 1.3 ile 110 dakika arasında değişmektedir. Fizik yarı ömür ($t_{1/2}$) bir radyonüklidin başlangıç aktivitesinin yarıya düşmesi için gereken süre olup her bir radyonüklid için karakteristiktir. PET ajanlarının kısa fizik yarı-ömürlere sahip olması merkezleri kendi üretimlerini yapmaya zorlamaktadır. Ancak bir siklotronun işletimi, çok yüksek personel ve işletim giderlerini, çok sayıda kalifiye personeli ve ek mesaiyi gerektirmektedir.

PET çalışmalarında %90 oranında Flor-18 işaretli bileşikler kullanılmaktadır. F-18'in fizik yarı-ömrünün yaklaşık 2 saat civarında olması görüntüleme ajanının üretim yapan merkezlerden satın alınıp kullanılmasına olanak vermektedir. PET görüntülemede en sık kullanılan radyonüklidlerin fizik yarı-ömürleri ve elde edilme yöntemleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Görüntüleme Sistemleri

PET tarayıcıları başlangıçta tek kesitlik görüntüler alan ve ortalama 32 NaI(Tl) detektöründen oluşan sistemler iken (çözünürlük ~2 cm) takip eden yıllar içerisinde, farklı kristal (LSO, BGO gibi) yapısında ve daha çok sayıda detektörden oluşan, aynı anda birkaç kesit görüntü alabilen sistemler haline dönüşmüştür. Bu gelişmeler sonrasında çözünürlük 2 cm'den 1 cm'nin altına inmiştir.

Tablo 2. En sık kullanılan pozitron salıcısı radyonüklidler

Radyonüklid	Fizik Yarı-ömür (dk)	Üretim Yöntemi
Oksijen-15	2.07	Siklotron
Azot-13	9.96	Siklotron
Karbon-11	20.4	Siklotron
Galyum-68	68.3	Jeneratör
Flor-18	109.7	Siklotron
Rubidyum-82	1.25	Jeneratör

Detektörlerde sintilasyon teknolojisi kullanılmaktadır. Farklı kimyasal yapılarıdaki [NaI(Tl), BGO, LSO gibi] sintilasyon kristallerinin özelliği radyasyon ile etkileştikleri zaman bir ışık oluşturmalarıdır. Bu ışık parıltısı sintilasyon kristalinin arkasında bulunan ve pozisyon belirleme özelliği olan foton çoğaltıcı tüpler (photo multiplier tube) tarafından algılanır ve amplifiye edilerek sistem bilgisayarına gönderilir. İdeal bir PET

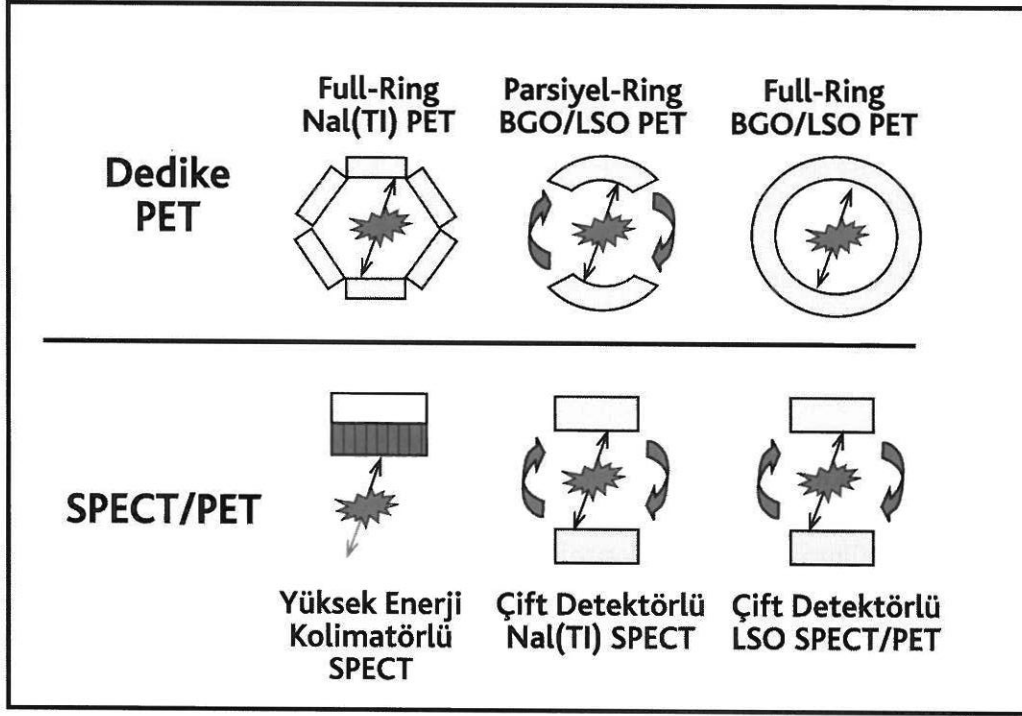
Tablo 3. PET Beyin Görüntüleme Ajanları ve Kullanım Alanları

Görüntüleme Ajanı	Kullanım Alanı
F-18 Florodeoksiglikoz	Bölgesel glikoz metabolizması
C-11 Metionin	Amino asit uptake/Protein sentezi
C-11 Deoksiglikoz	Bölgesel beyin metabolizması
O-15 Oksijen	Oksijen ekstraksiyon fraksiyonu
C-11 Karbon monoksit	Beyin kan hacmi
O-15 Karbon monoksit	Beyin kan hacmi
O-15 Su	Beyin kan akımı
O-15 Karbon dioksit	Beyin kan akımı
C-11 Bütanol	Beyin kan akımı
C-11 N-metil spiperon	Dopamin D2, Serotonin S2 reseptörleri (post-sinaptik)
F-18 N-metil spiperon	Dopamin D2, Serotonin S2 reseptörleri
C-11 Raclopride	Dopamin D2 reseptörleri (post-sinaptik)
F-18 Spiperon	Dopamin D2 reseptörleri
Br-76 Bromospiperon	Dopamin D2 reseptörleri
C-11 Karfentanil	Opiat mü reseptörleri
C-11 Timidin	DNA/ protein sentezi
C-11 Lösin	DNA/ protein sentezi
C-11 Floro-2-deoksiüridin	Nükleik asit metabolizması
F-18 floro-L-DOPA	Transmitter uptake/sentezi
C-11 Kokain	Dopaminerjik sistem (dopamin geri alınımı)
C-11 WIN	Dopaminerjik sistem (dopamin geri alınımı)
C-11 metilbromo-LSD	Serotonin reseptörleri
C-11 Skopolamin	Kolinerjik (muskarinik) sistem
C-11 Flumazenil	Benzodiazepin (GABA) reseptörleri

En sık kullanılan PET beyin görüntüleme ajanları ve kullanım alanları ise Tablo-3 de özetlenmiştir

detektörünün gelen gama fotonunu tam olarak durdurabilmesi, kısa süreli ve yüksek şiddette bir ışık huzmesi oluşturması arzu edilir. Dedike PET tarama sistemlerinde tam bir halka boyunca binlerce detektör bulunur. Detektörlerin küçük ve çok sayıda olması sistemin uzaysal çözünürlüğüne olumlu yönde katkıda bulunur.

PET tarayıcılarında farklı sintilasyon kristalleri kullanılabilirdiği gibi farklı mekanik ve konfigürasyonlar da söz konusudur. Bunların en basiti genel amaçlı, tek detektörlü bir gama kamerada 511 keV'lik bir kolimatör, uygun kalınlıkta NaI(Tl) kristali ve yazılım ile yapılabilecek olan görüntülemedir. Spektrumun diğer ucunda ise tam halkalı dedike PET görüntüleme sistemleri yer almaktadır (Şekil-4).



Şekil 4. Temel detektör yapıları

Günümüzde PET tarayıcısı ile birlikte aynı sistem içerisinde BT veya MR içeren, eş zamanlı olarak ve aynı pozisyonda hastanın görüntülenmesine olanak sağlayan sistemler de mevcut olup bu sistemler "Hibrid Sistemler" olarak adlandırılmaktadır. Bu tür cihazlar sayesinde aynı seansta hem yapısal hem de fonksiyonel görüntüler elde edilebilmekte, daha gerçekçi ve detaylı değerlendirmeler yapmak mümkün olmaktadır.

PET taramalarını 2 (2-D) veya 3 (3-D) boyutlu olarak yapmak mümkündür. 2-D görüntülemelerde detektörler arasına kurşun veya tungsten septalar konulmak suretiyle saçılmış radyasyonun detektörlere ulaşması önlenir. Bu şekilde yapılan taramalarda toplam sayım yaklaşık %10-15 oranında azalmakla birlikte görüntü kalitesinde belirgin iyileşme sağlanır. PET görüntüleme genel bir kural olarak; toplam sayımın yeterli olduğu durumlarda mutlaka 2-D tarama yapılır.

Detektörler arasında septalar olmaksızın yapılan taramalara ise 3-D tarama adı verilir. Bu tip taramalarda her bir detektör daha geniş bir alandan sayım alır ve sayım hızı yaklaşık 5-6 katına çıkar. Bu nedenle 3-D taramalarda daha az miktarlarda görüntüleme ajanı kullanarak daha kısa süreler içerisinde tetkiki tamamlamak mümkündür.

3-D taramalar genellikle Santral Sinir Sistemi görüntülemelerinde ve çocuk hastalarda kullanılır. Daha çok bilgisayar hafızası gerektirmesi ve veri işlemlerinin uzun sürmesi, elde edilen toplam sayımların daha fazla oranda saçılmış radyasyon içermesi nedeniyle görüntü kalitesinin 2-D taramaya göre daha düşük olması, sayım hızının çok yüksek olması sonucu sistemin paralizi olma olasılığının artması, 3-D taramanın dezavantajlarını teşkil eder. 3-D taramalarda LSO ve NaI(Tl) kristalli tarama sistemleri ile BGO kristalli sistemlere oranla daha verimli sonuçlar elde etmek mümkündür.

Görüntüleme ajanının enjekte edilmesi sonrasında vücut içerisindeki organlardan kaynaklanan gama fotonları (emisyon görüntüleme) detektörlere ulaşmak üzere yolları üzerindeki değişik yoğunluktaki dokulardan geçerler ve bu esnada belli oranlarda soğurulurlar. Soğurulma miktarı fotonun kat ettiği mesafe ve içerisinden

geçtiği dokunun yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Örneğin gama fotonları kemik dokudan geçerken, akciğer dokusunda soğurulduğundan daha çok soğurulur.

PET görüntülemesinde kullanılan gama fotonlarının enerjilerinin yüksek olması (511 keV) soğurulmanın belli bir oranda sınırlı kalmasını sağlasa da yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için bir düzeltmenin yapılması gerekir. Bu işleme soğurulmanın düzeltilmesi (attenuation correction) adı verilir.

Bu düzeltmeyi yapmak için fotonların yolu üzerindeki farklı dokulara ait düzeltme katsayılarının belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler PET tarama öncesi 511 keV enerjili bir nokta kaynak (Ge-68 gibi) veya x-ışınlı bilgisayarlı tomografi görüntüleri alınarak (transmisyon görüntüleme) sağlanır ve her bir görüntüye bilgisayar tarafından otomatik olarak uygulanır.

Sintigrafik Yöntemlere Olan Avantajları

PET Görüntülemenin SPECT Görüntülemeye Olan Avantajları

- PET ile perfüzyon, metabolizma ve reseptörler hakkında fonksiyonel kantitatif bilgiler edinmek mümkündür.
- PET'in uzaysal çözünürlüğü (yaklaşık 4-6 mm) SPECT'e oranla (>1 cm) oldukça yüksektir.
- SPECT için gerçek anlamda mümkün olmayan attenuation correction PET de mümkündür.
- PET ile sağlanan yüksek sayım istatistiği (temporal çözünürlük) sayesinde dinamik görüntüleme yapmak mümkündür.

PET Görüntülemenin Avantajları

- Hastalıkların oluşumu sürecinde fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler yapısal değişikliklerden daha önce ortaya çıkar. Bu nedenle PET ile erken tanı, dolayısıyla etkin tedavi ve uzun sağ kalım süreleri sağlanır.
- Hastanın uygulanan tedaviye yanıtı erken dönemde değerlendirilerek daha etkin tedavi alternatifleri araştırılır, gereksiz yatak işgali önlenirken hastalar ilaçların komplikasyon ve yan etkilerinden korunur.
- Onkolojik olguların evrelendirilmesinde birden fazla test ile sağlanabilecek veriler tek bir görüntülemeye sağlanarak hasta mağduriyeti önlenir, ekonomik kazanç sağlanır, hastanın alacağı iyonizan radyasyon dozu minimuma indirgenir.
- Cerrahi tedaviden yarar görmeyecek hastalar elimine edilerek gereksiz masraf, iş gücü ve zaman kaybı önlenir; hastalar gereksiz cerrahinin getireceği mortalite ve morbiditeden korunur.
- Gerçek kantitatif verilerle [Örneğin serebral kan akımı (ml/dk/gr doku), glikoz metabolizması (mg/dk/gr doku), kan hacmi (ml) gibi] daha doğru klinik değerlendirmeler yapılır.
- Yaygın hastalıkta en uygun biyopsi yeri tespit edilir.
- Tümör rekürrensi ve radyasyon nekrozunun ayırıcı tanısı kolaylıkla yapılarak uygun tedavi yöntemi seçilir.

Endikasyonları

PET ile görüntüleme yaklaşık 35 yıl önce başlamış olmakla birlikte gelişim süreci halen devam etmektedir. Özellikle daha hızlı görüntüleme, daha stabil bir mekanik oluşturma, daha yüksek çözünürlük sağlama, daha kolay anlaşılır ve kullanılabilir bir yazılım oluşturmak ve maliyetleri daha aşağılara çekmek üzere çalışmalar sürdürülmektedir.

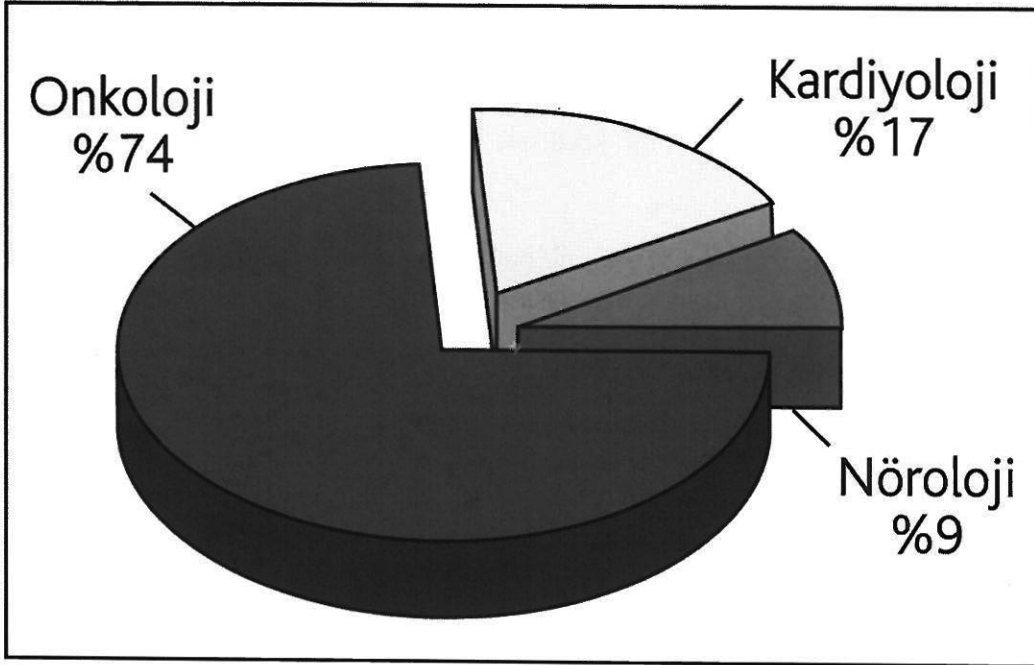
PET görüntüleme günümüzde en çok onkoloji, daha sonra sırasıyla kardiyoloji ve nöroloji/psikiyatri alanlarında

kullanılmaktadır (Şekil-6).

Alzheimer Hastalığında, serebral kan akımındaki bozukluklar glikoz ve oksijen metabolizması bozuklukları ile birlikte seyrederek. Bu hastalarda posterior parietal ve temporal kortekslerde aktivite tutulumunda simetrik azalma izlenir. Erken dönem ve hafif olgularda asimetri izlenebilir. Frontotemporal demansta ise frontal mezial ve lateral korteksler ile frontotemporal kortekste metabolik bozukluklar izlenir.

Beyin tümörlerinde yüksek FDG tutulumu tümörün daha agresif (high-grade) olduğunun bir göstergesidir. Low-grade beyin tümörleri ise beyin korteksi düzeyinde veya biraz daha yüksek FDG tutulumu gösterir. Benzer durum amino asit ve nükleik asit metabolizmasını görüntüleyen ajanlarda da söz konusudur. Beyin

Şekil 6. PET kullanım alanları



tümörlerinde biyopsi yerinin belirlenmesinde ve rekürrens/radyasyon nekrozu ayırıcı tanısında da PET'in önemli katkısı bulunmaktadır.

Parkinson Hastalığında, pre-sinaptik görüntüleme ajanları ile (F-18 DOPA) striatumda (kaudat çekirdek ve putamen) aktivite tutulumunda azalma, post-sinaptik görüntüleme ajanları olan F-18 FDG de normal veya minimal artmış metabolik aktivite izlenirken, C-11 Raclopride ile D2 reseptörlerinin up-regüle olduğu gösterilmiştir.

Epilepside SPECT bulguları ile benzer bulgular izlenir. Ancak PET'in özellikle interiktal dönemde SPECT'den daha duyarlı olduğu gösterilmiştir. Epileptik odağın doğru olarak saptanmasının epilepsi cerrahisinde de büyük önemi vardır.

Stroke (İnme) da; akut dönemde O-15 ve N-13 işaretli ajanlarla yapılan görüntülemelerde; etkilenen alanda kan akımı azalırken oksijen ekstraksiyonunun arttığı, iyileşme sürecinde ise bu bölgeye olan kan akımının arttığı (Lüks Perfüzyon Sendromu) gösterilmiştir.

Huntington Hastalığı'nda; kaudat çekirdekte azalmış metabolik aktivite ve D2 reseptör yoğunluğu saptanmıştır.

Şizofreni'de; hastanın yaşı, hastalığın süresi, şizofreninin alt grubu, uygulanan tedavi, görüntüleme anında hastalığın klinik evresi gibi parametrelere bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilmekle birlikte genellikle frontal loblarda azalmış perfüzyon ve metabolik aktivite izlenmektedir. Bazı çalışmalarda ise sol hemisferde artmış perfüzyon ve metabolizma ile sub-kortikal / kortikal aktivite oranında artış gösterilmiştir.

Depresyonlu hastalarda, özellikle de unipolar ve bipolar depresyonlu hastalarda değişken PET bulguları elde edilebilmekle birlikte genellikle global olarak azalmış beyin perfüzyonu ve metabolizması ile karşılaşılmaktadır.

Obsesif-Kompulsif Bozukluklar'da; orbito-frontal kortekste metabolik aktivitenin (F-18 FDG) arttığı, buna karşın bazal ganglionlarda azaldığı dikkati çekmiştir.

Kronik Alkolizm'de; bilateral medial frontal kortekslerde F-18 FDG metabolizmasının azalmış olduğu gösterilmiştir.

Kokain Bağımlılığın'da; ilacın vazokonstriktif etkisine bağlı olarak beyin perfüzyonunun (O-15) geniş odaklar tarzında azaldığı, dopamin metabolizmasının (F-18 DOPA) da normale göre düşük olduğu gösterilmiştir.

Opiat Bağımlılığın'da; anterior cingulate'de azalmış metabolik aktivite saptanmıştır.

Uçucu Madde Bağımlılığı olanlarda ise pre-frontal kortekste perfüzyonun azaldığı gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Elgazzar A (Ed). The Pathophysiologic Basis of Nuclear Medicine, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2001.
2. Kaya M, Durak H, Çapa Kaya G, Kapucu Ö, Akdemir Ö, Sarıkaya A et al. Statik-Kinetik Beyin Sintigrafisi. Türkiye Nükleer Tıp Derneği Beyin Çalışma Grubu. Turk J Nucl Med, 10:5-6, 2001.
3. Durak H, Çapa Kaya G, Kapucu Ö, Akdemir Ö, Kaya M, Sarıkaya A et al. Radyonüklid Sisternografi. Türkiye Nükleer Tıp Derneği Beyin Çalışma Grubu. Turk J Nucl Med, 10:11-13, 2001.
4. Sönmezoğlu K, Kapucu Ö (Eds). Türkiye Klinikleri Psikiyatri Dergisi, Nükleer Nöro-Psikiyatri Özel Sayısı, 4 (1), 2003.
5. Herholz K, Herscovitch P, Heiss W-D (Eds). NeuroPET: Positron Emission Tomography in Neuroscience and Clinical Neurology, Berlin Heidelberg, Springer, 2004.
6. Nutt R. 1999 ICP Distinguished Scientist Award. The History of PET. Mol Imaging Biol; 4: 11-26, 2002.
7. European Association of Nuclear Medicine (EANM) web-sitesi. (<http://www.eanm.org>)
8. Society of Nuclear Medicine (SNM) web-sitesi. (<http://www.snm.org>)
9. Sorenson JA, Phelps ME. Physics in Nuclear Medicine, 2nd Ed., Orlando, FL, Grune & Stratton Inc, 1987.
10. Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM Jr, Bone JM. The Essential Physics of Medical Imaging. Baltimore, MD, Williams & Wilkins, 1994.
11. Fahey FH. PET Instrumentation. Radiol Clin N Am; 39: 919-929, 2001.
12. Humm JL, Rosenfeld A, Del Guerra A. From PET Detectors to PET Scanners. Eur J Nucl Med Mol Imaging; 30: 1574-1597, 2003.
13. Phelps ME, Cherry SR. The Changing Design of Positron Imaging Systems. Clin Positron Imaging; 1: 31-45, 1998.
14. Wahl RL (Ed). Principles and Practice of PET. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
15. Aunt Minnie web-sitesi. (www.auntminnie.com/ScottWilliamsMD2/nucmed/PET)
16. Mazziotta JC, et al. The use of PET in the clinical assessment of dementia. Semin Nucl Med; 22: 233-246, 1992.
17. Sandler MP, Coleman RE, Wackers FJ, Patton JA, Gottschalk A, Hoffer PB (Eds). Diagnostic Nuclear Medicine, 3rd Ed., Baltimore, Williams & Wilkins, 1996.
18. Datz FL. Handbook of Nuclear Medicine, 2nd Ed., St. Louis, Mosby & Year Book, Inc, 1993.
19. Wilson MA. Textbook of Nuclear Medicine, New York, Lippincott-Raven Publishers, 1998.