



TNTD, F-18 FDG Beyin PET Görüntüleme Uygulama Kılavuzu

TSNM Procedure Guideline for PET Brain Imaging using F-18 FDG

Olga Yaylalı¹, Pınar Makineci Koç², Funda Aydın³, Bilge Volkan Salancı⁴, Meryem Kaya⁵, Özgür Akdemir, Tansel Çakır

¹Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

²Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye

³Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye

⁴Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

⁵Medicana International İstanbul Hastanesi, İstanbul, Türkiye

⁶Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

⁷Medipol Üniversitesi Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Özet

Bu kılavuzda kısaca F-18 FDG ile beyin görüntülemenin nasıl yapılması gerektiği konusunda bu günkü bilgilerimiz ve Türkiye Nükleer Tıp Derneği tarafından oluşturulan "Nöropsikiyatri" çalışma grubunun düşünceleri özetlenmiştir. Bu kılavuzun amacı F-18 FDG ile beyin PET görüntülemeye standart bir yaklaşım sağlamak ortak protokollerle ve raporlama örnekleriyle sonuçlarımızın birbiriyle karşılaştırılabilir hale gelmesine yardımcı olmaktır. Bu kılavuz daha önce Nükleer Tıp Derneği'nin oluşturduğu kılavuzların ve EANM kılavuzlarının yenilenmiş versiyonu olup özellikle yeni hibrid görüntüleme yöntemleri (PET/BT ve PET/MR) ile güncellenen parametreleri de içermektedir. Bu kılavuzda görüntüleme yöntemleri, uygulamalar ve raporlamalar ile ilgili tüm ayrıntılar hakkında bilgiler özetlenmiş olup verilen tavsiyelerde ülkemiz yasa ve yönetmelikleri dikkate alınmıştır.

Anahtar kelimeler: FDG, demans, epilepsi

Çıkar Çatışması: Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

Abstract

This guideline summarizes our recent knowledge and the opinions of the Brain Interest group, created by the Turkish Society of Nuclear Medicine, about how to perform F-18 FDG brain imaging briefly. The aim of this guideline is to help to generate similar results by providing a standardized approach in F-18 FDG brain imaging with common protocols and report sampling. This guideline contains information of previous guidelines by the Turkish Society of Nuclear Medicine and the European Association of Nuclear Medicine latest versions and additionally updated parameters about new hybrid modalities (PET/CT and PET/MR). The information about the imaging modalities, applications, and reporting details are summarized in this guideline and the recommendations are composed according to the laws and regulations in our country.

Key words: FDG, dementia, epilepsy

Conflicts of Interest: The authors reported no conflict of interest related to this article.

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Olga Yaylalı, Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

E-posta: olgataskaya@yahoo.com

© Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından basılmıştır. / © Nuclear Medicine Seminars, published by Galenos Publishing.

I. Amaç

Bu kılavuzun amacı, nükleer tıp doktorlarına Flor-18 Florodeoksiglukoz (F-18 FDG) beyin metabolik görüntüleme uygulaması, yorumlaması ve sonuçlarının raporlanmasında yol göstermektir.

II. Genel Bilgi ve Tanımlar

Bu kaynak, Türkiye Nükleer Tıp Derneği (TSNM), Nöropsikiyatri Çalışma grubu tarafından, edinilmiş kişisel tecrübeler ve Kuzey Amerika Nükleer Tıp ve Moleküler Görüntüleme Derneği (SNMMI) FDG Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) beyin görüntüleme uygulama kılavuzu (v 1,0, 2009) ile Avrupa Nükleer Tıp Derneği (EANM) F-18 FDG ile PET beyin görüntüleme için uygulama kılavuzu (v2, 2009), göz önünde tutularak hazırlandı (1,2).

III. Beyin fonksiyonu için gerekli olan Adenozin trifosfat (ATP) ihtiyacının yaklaşık %95 kadarı glukoz metabolizması tarafından sağlanır. Normal fizyolojik şartlarda olduğu kadar beyni etkileyen değişik hastalıklarda da, glukoz metabolizması nöronal aktivite ile sıkı ilişkilidir. Bu nedenle, glukoz metabolizmasındaki değişiklikler, hastalıklar sonucunda nöronal aktivitede oluşan değişiklikleri yansıtır. Bölgesel beyin glukoz tüketiminin PET ile görüntülenmesinde, glukozun kolaylaştırılmış taşınmasına ve hegzokinaz aracılı fosforilasyona bağlı olarak beyin dokusunda akümüasyonu nedeni ile F-18 FDG uygundur. Günümüzde F-18 FDG-PET, sağlıklı insanda veya hastalık durumunda, bölgesel insan beyin metabolizmasını in-vivo incelemede, en doğru yöntemdir.

Klinikte F-18 FDG'nin kullanımı, nöroloji, nörocerrahi ve psikiyatri tanısına yönelik sorular esas alınarak yapılır (3-7). Tanısal amaçlı beyin çalışmalarında giderek artarak kullanılmaktadır. Buna yönelik bilgiler genellikle BT veya MR gibi yapısal görüntüleme yöntemlerinden elde edilen anatomik detaylara tamamlayıcıdır. Ancak, fonksiyonel bozukluk sıklıkla yapısal değişikliklerden önce gelişir ve aynı zamanda tek başına gözlenir. Bu nedenle, PET görüntüleme, sıklıkla, anatomik görüntüleme bilgilerini tamamlayıcı, değerli bilgiler sağlar.

1. Görüntüleme: Statik olarak belirli bir alandan tomografik görüntüleme; tek bir alandan enjeksiyondan belirli süre sonra alınan görüntü.

2. Dinamik tomografik görüntüleme; bir alandan ardışık çoklu görüntü alınması ile yapılan ve kantifikasyona da imkan tanıyan görüntüleme türü.

3. 2D/3D görüntüleme modları; yeni PET/BT sistemleri daha ziyade 3D modunda görüntüleme yapar. Bazı sistemlerin hem 2D hem 3D modunda görüntüleme yapabilme özelliği vardır. İki yöntem arasındaki fark birisinin yalnızca aynı hat üzerindeki koincidansların dedeksiyonunu yapması (2D), diğerinin ise görüntü alanında oblik olanlar dahil olmak üzere tüm koincidansları dedekte etmesidir. Yeni LSO ve BGO kristalli sistemler daha çok verileri 3D olarak görüntüler. 3D modda sensitivite oldukça artırılmış ve çekim süresi de kısaltılmış olur.

4. Atenüasyon düzeltme: Mutlaka bir şekilde PET görüntülerine atenüasyon düzeltme sağlanmalıdır. Bu atenüasyon düzeltme şu yöntemlerle yapılabilir;

a. Transmisyon görüntüleme: Emisyon görüntüleri ile aynı pozisyonda eksternal bir kaynak ile gerçekleştirilen görüntüleme. Bu görüntülemeye kullanılan eksternal kaynak Ge-68/Ga-68 kaynağı olabileceği gibi bazı sistemlerde Cs-137 kaynağı da kullanılır.

b. Hibrid atenüasyon düzeltme: Kısa bir transmisyon görüntülemenin ardından görüntü segmentasyonu ile atenüasyon düzeltme görüntüsü hesaplanır.

c. BT ile atenüasyon düzeltme: Yeni PET/BT sistemleri atenüasyon düzeltme için BT'yi kullanır. Bu tür düzeltmenin en büyük avantajı sürenin transmisyon görüntülemeyle ölçülemeyecek düzeyde kısılma sağlaması (10 s/5-10 dk) olup diğer bir avantajı X ışınlarının emisyon görüntülerinden etkilenmemesinden dolayı enjeksiyon yapıldıktan sonra da atenüasyon düzeltme görüntülemenin yapılabilmesidir. PET/BT görüntülemeye BT çekimi iki amaçla yapılabilir. Biri tanısal BT'dir ve eğer klinik ihtiyaç varsa yapılabilir. Diğer ise düşük doz tüp akımı (10-30 mAs) ile yapılan atenüasyon düzeltme amaçlı taramadır. Düşük doz BT kullanımının en önemli avantajı radyasyon dozunun çok fazla azaltılmasıdır. Ülkemizde yasal kurallar çerçevesinde yapılan BT çekimlerinin çoğu atenüasyon düzeltme amaçlıdır. Ayrıca özellikle beyin patolojisi düşünülen hastalarda

PET/BT çekimine yönlendirilen hastaların çoğu daha önce tanısız amaçlı görüntüleme yapılmış olarak gelmektedir.

d. Matematiksel atenüasyon düzeltme: Emisyon görüntülerindeki organların projeksiyonları dikkate alınarak özel bazı düzeltme prosedürleri geliştirilmiştir (Chang). Kafatası atenüasyonu düzeltilmesi özellikle faydalı olabilir.

e. MR ile atenüasyon düzeltme: Yeni olarak PET/MR görüntüleme prosedürleri oluşturulmaktadır. Bu yeni hibrid cihazların en önemli problemi atenüasyon düzeltmede BT kadar kolay bir yöntemle karşı karşıya olmamamızdır. Ancak yeni formülasyonlar ile yöntemler geliştirilmektedir.

Bu noktada şu önemlidir; farklı düzeltme prosedürleri farklı sonuçlara yol açabilir ve oluşan veriler karşılaştırılabilir halde olmayabilir.

Endikasyonlar

Aşağıda belirtilen listenin dışında kalan endikasyonlar da mevcuttur.

a. Sık endikasyonlar:

a.1. Demansiyel bozukluklar: Endikasyonlar içinde erken tanı ve demansiyel bozuklukların ayırıcı tanısı (Alzheimer hastalığı ve frontotemporal demans gibi) yer alır (8,9,10). Hipometabolizmanın tipik topografik özellikleri, hafif kognitif bozukluk (MCI) gibi predemansiyel fazdaki ana nörodejeneratif hastalıkların tanısında yardımcıdır (11).

a.2. Nöroonkoloji: FDG PET, serebral yer kaplayan lezyonların ayırıcı tanısında kullanılabilir, canlı tümör dokusunu (rekürrens gibi) ayırt edebilir. Noninvaziv-grade belirleme için de kullanılabilir.

a.3. Epilepsi: Parsiyel epilepsili çocuk ve yetişkinlerde preoperatif değerlendirme yaparak (interiktal enjeksiyon) fonksiyonel bozukluk olan bölgenin belirlenmesi, en sık endikasyondur.

a.4. Hareket bozuklukları: Parkinson hastalığı ve atipik parkinson sendromlarının ayırıcı tanısında FDG PET kullanılabilir.

b. Kontrendikasyonlar:

b.1. Hamilelik

b.2. Emzirme; emziren annelere PET endikasyonu varsa, emzirmeye 24 saat ara vermeleri gerekir.

b.3. Uygulama için kooperasyon eksikliği veya hiç koopere olamama.

IV. Uygulama

Hasta Hazırlığı

Hasta çekime gelmeden önce, yapması gereken hazırlık ile ilgili bilgilendirilmelidir. Serum glukoz düzeyinin artışından serebral FDG tutulumunun etkilenmemesi için hasta çekimden önce 4-6 saat aç kalmalıdır. Oral hidrasyon su ile yapılmalıdır. Kafein, alkol ve beyin glukoz metabolizmasını etkileyebilecek ilaçların kullanılması engellenmelidir. Kullanılması zorunlu ilaçlar su ile alınmalıdır. İntravenöz yoldan dekstroz içeren veya paranteral beslenme sıvıları, çekim öncesi, 4-6 saat uygulanmamalıdır.

Doğurganlık yaşında olan kadınlara, hamilelik ve emzirme durumu olup olmadığı sorulmalıdır. Elektif uygulama ise, hastanın hamileliği ve emzirme durumu sona erinceye kadar tetkik ertelenmelidir. Elektif olmayan uygulamalarda mümkün olduğu kadar düşük

Tablo 1. Yetişkindeki radyasyon dozimetrisi

Radyofarmasötik	Uygulanan aktivite* MBq (mCi)	En yüksek radyasyon dozunu alan organ** mGy/MBq (rad/mCi)	Effektif doz** mSv/MBq (rem/mCi)
Flor-18 Florodeoksiglukoz	185-740 (5-20)	Mesane 0,16 (0,59)	0,019 (0,070)

*Kullanılan malzemelerin kısıtlılıklarına, spesifik uygulamalara ve hasta uyumuna bağlı

Tablo 2. Çocuktaki radyasyon dozimetrisi

Radyofarmasötik	Uygulanan aktivite* MBq (mCi)	En yüksek radyasyon dozunu alan organ** mGy/MBq (rad/mCi)	Effektif doz** mSv/MBq (rem/mCi)
Flor-18 Florodeoksiglukoz	5,18-7,4 (0,14-0,20)	Mesane 0,32 (1,2)	0,050 (0,18)

*International Commission on Radiation Protection; Elsevier; 2000: 49, ICRP Publication 80

fetal doz uygulanmalıdır. Ancak, radyasyon dozu azaltılmasına yönelik modifikasyon, tanısal doğruluğu da azaltmayacak şekilde yapılmalıdır. Emzirme çekim sonrası 24 saat süresince kesilmelidir ve bu süre içinde anne sütü sağılarak atılmalıdır. Güncel radyasyondan korunma düzenlemelerine göre, emziren annelere, infantın alacağı potansiyel radyasyon dozu; 5 mSv (500 mrem) üzerinde olması durumunda yazılı bilgilendirme, 1 mSv (100 mrem) üzerinde olması durumunda sözel bilgilendirme yapılması gerekmektedir.

Hasta, FDG enjeksiyonundan en az 30 dakika öncesinde ve enjeksiyondan itibaren tutulum fazında (en az 30 dakika) hareketsiz kalmalıdır. Hasta sessiz ve loş odada dinlenmelidir. Gözler açık durumda iken geri plan gürültü kabul edilebilir. Alternatif olarak, karşılaştırmalı görüntüler düzenli olarak alınıyorsa, gözler kapalı durumda da çalışma uygulanabilir. Hasta rahat bir şekilde oturmalı veya yatmalıdır. İntravenöz kateter, hastanın rahatlama için, enjeksiyondan en az 10 dakika önce takılmalıdır. Hastanın gevşemesi, konuşmaması, hiçbir şey okumaması ve hareket etmemesi istenir. Enjeksiyondan önceki ve sonraki 30 dakika süresince ve enjeksiyon sırasında hasta ile iletişim mümkün olduğunca kesilmelidir.

Hastanın kan glukoz düzeyi FDG uygulamasından önce ölçülmelidir. Kan glukozu >150-200 mg/dL ise hastanın çalışması ertelenebilir. Çünkü hiperglisemi durumunda, yükselen plazma glukoz düzeyi ile FDG arasında taşıyıcı enzim için yarışma artar ve sıklıkla intrasellüler glukoz seviyesi artarken, sirkülasyondaki insülin düzeyleri FDG kas içine yönlendirir ve beyindeki tutulum azalır, stokastik gürültü artar. Buna ilaveten, tanısal doğruluğun azalmasına yol açabilecek olan beyaz ve gri cevher tutulumu arasındaki kontrast azalabilir. İnsülin uygulayarak kan glukoz seviyesi düşürülmesi kabul edilebilir, ancak insülin uygulamasını takiben FDG enjeksiyonu geciktirilmelidir (bu geciktirme süresi yapılan insülinin tipi ve uygulama yoluna bağlıdır). Çünkü olasılıkla, yükselmiş olan intrasellüler glukoz seviyesi, plazma glukoz seviyesinin düzeltilmesinden sonra düzeldir. Diabetik hastaların beyin FDG klinik görüntülemesinde en iyi sonuçlar, hasta stabil, düzgün tedavi altında ve normoglisemik durumda iken elde edilir (12,13). Beyin tümörlerinde, hipergliseminin düzeltilmesine gerek yoktur ve hatta daha iyi saptanmasını da sağlayabilir.

Görüntüleme işlemi başlamadan önce hastanın idrarını yapması istenerek çalışma sırasında maksimum rahat etmesi sağlanır. Çekim sonrasında da hastanın hemen idrarını yapması istenerek radyasyon maruziyetinin azaltılması sağlanır.

Epilepsi öncesi preoperatif değerlendirme yapılacak hastalarda sürekli EEG monitörizasyonu olması önerilir. FDG enjeksiyonunun post-iktal fazda uygulanmadığından emin olunması için, bu EEG monitörizasyonu, ideal şartlarda, enjeksiyondan 2 saat önce başlamalıdır ve enjeksiyon sonrasında en az 20 dakika devam etmelidir. Görüntünün uygun olarak yorumlanabilmesi için, görüntüleme öncesi nöbet geçirildiyse bilinmelidir.

V. İşlemin Uygulanmasında İhtiyaç Duyulan

Bilgiler

Geçmişte veya yakın zamanda kullanılan ilaçlar, özellikle nörolojik ve psikiyatrik olmak üzere geçirilmiş hastalıklar, yeni psikolojik ve nörolojik durumu gösteren nörolojik ve psikiyatrik testler (mental durum incelemesi), hafıza kaybı, inme, geçici iskemik atak (TIA) veya epilepsi (tipi, lokalizasyonu), kafa travması ile ilgili hasta bilgilerini içeren anamnez alınmalıdır. Beyin tümörü (tipi ve lokalizasyonu), şant uygulamalarını da içeren geçirilmiş beyin operasyonları sorgulanmalıdır. Yakın zamanda yapılmış morfolojik görüntüleme yöntemleri (BT, MR veya eski PET ya da SPECT beyin çalışmaları) olduğu kadar aktif hastalık döneminde yapılmış fonksiyonel beyin çalışmaları (EEG, nöropsikolojik testler) varsa öğrenilmelidir.

Yeni başlanan tedavi ve en son ne zaman aldığı öğrenilmelidir. Bunlar psikotropik ilaçlara ek olarak anti-epileptik medikasyon, beyin tümörüne yönelik kemoterapi, radyoterapi, hafıza bozukluğu için antikolinesteraz içeren ilaçları içermelidir. Bunlar bölgesel glukoz metabolizma hızını etkileyebilir (14). Eğer mümkünse, santral etkili ilaçlar kesilmelidir.

Hastanın diabetik olup olmadığı, eğer varsa kortikosteroid kullanımı (hipergliseminin yaptığı aynı etkiyi yapar), hastanın açlık süresi bilinmelidir. Hastanın çekim süresince hareketsiz kalabilme durumu (30 dakika-1 saat) bilinmelidir. Eğer sedasyon gerekli ise (demans hastaları veya çocuklarda), FDG uptake periyodundan mümkün olduğu kadar geç dönemde, çekimden önce yapılmalıdır.

Parkinson hastalarında ölçümlerin yapıldığı zaman hastanın klinik olarak "off" dönemde (ilaç etkisini gözlenmediği dönem) olduğunun bilinmesi önemlidir. Çünkü levodopa uygulanması durumunda bölgesel glukoz metabolizmasında azalma izlenebilir (15,16). Santral etkili ilaçlar, hastanın klinik durumu göz önüne alınarak, PET çalışmasının yapılacağı gün kesilmelidir.

VI. Alınması Gereken Önlemler ve Sedasyon Uygulama

Uygulama sırasında hasta devamlı gözetim altında olmalıdır. Bu özellikle epilepsi ve demansiyel bozukluklarda önemlidir. Glukoz metabolizmasına fonksiyonel aktivasyonuna etkilerini önlemek için minimum iletişim olmalıdır. FDG tutulum periyodu ve çekim sırasında istirahat durumu bozulursa kaydedilmeli ve görüntüler yorumlanırken göz önüne alınmalıdır. Koopere olmayan hastalarda (örn. demans gibi davranış ve kognitif bozukluklarda) zorunlu sedasyon gerekebilir (örn. IV midazolam gibi kısa etkili benzodiazepin). Sedatif ilaçlar FDG enjeksiyonundan en az 20 dakika sonra, tercihen çekime başlamadan birkaç dakika önce yapılmalıdır. Uygun monitörizasyon (pulsoksimetri) yapılarak olası kardiyopulmoner depresyon gözlenmeli ve uygun antidot/acil müdahale seti hazır bulundurulmalıdır. Yaşlı hastalarda sedasyon dozu azaltılmalıdır.

VII. Uygulanan Radyofarmasötik ve Önerilen Doz

Flor-18 Florodeoksiglukoz (F-18 FDG)

Yetişkin için:

- 2-D mode için 300-600 MBq (370 MBq)
- 3-D mode için 125-250 MBq (150 MBq)

Çocuk için: (EANM doz ayarlama kartı v.1.5.2008, çocukta özellikle önerilen 3-D mod):

- 2-D mode için 25,9MBq bazal aktivite (minimum 26 MBq)
- 3-D mode için 14,0MBq bazal aktivite (minimum 14 MBq)
- Uygulanan aktivite=bazal aktivite×multipl (doz ayarlama kartı)

VIII. Radyasyon Dozimetrisi

İnfant ve küçük çocuklarda, radyasyonun etkilerini azaltmak için, çekim 3D modunda yapılmalıdır.

İnfantlarda (%10) yetişkinlere (%2) göre beyin kütlesi daha fazladır, bu nedenle enjekte edilen FDG'nin tutulum oranı daha yüksektir. Yeni doğanlarda yeterli görüntü kalitesini elde etmek için en düşük 10 MBq aktivite enjekte edilmelidir (17). Burada önerilen aktiviteler tam halka PET kameraları için geçerli olup, uygulanan aktivite, farklı sensitivitelere sahip olan diğer sistemlerde değişebilir. Çocuk ve yetişkinlerdeki radyasyon dozları Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Beyin Transmisyon Görüntüleme için Radyasyon Dozimetrisi

- Ge-68 için efektif doz oranı 3,5×10–6mSv/MBq/dakika.
- BT için efektif doz, kollimasyon ve görüntüleme tipine (aksiyel, helikal) bağlı (18).
- 10 dakikalık transmisyon görüntüleme ve 5-10 saniyelik BT çekimi için çekim başına efektif dozlar:
 - Germanyum transmisyon için 20-30 µSv;
 - Yüksek kaliteli BT için 220 ve 450 µSv arasında;
 - Düşük doz, yüksek hızlı BT için yaklaşık 20 µSv.

IX. Görüntü Çekimi

Hastanın Pozisyonlanması

Beyin uzunluğu boyunca veya daha küçük görüş alanını kapsayan tomografik kameralarda, hastanın başının pozisyonlanması çok önemlidir. Pozisyonlamanın standardizasyonunda sıklıkla orbitomeatal hat kullanılır. Hareket artefaktlarını engellemek için başın hareket ettirilmemesi (istemli) istenir ve hasta başı sabitlenebilir.

Klinik soruna ve mevcut cihazın tipine bağlı olarak, FDG görüntülemeler çeşitli şekilde olabilir:

a. Statik kısıtlı alan tomografik görüntüler: Radyoaktif ajan beyinde tutulduktan sonra tek bir tomografik görüntü alınır.

b. Dinamik tomografik görüntüler:

- Tek görüş alanında multipl ardışık görüntüler; genellikle tüm beyin bölgesini içerir.
- Eğer, glukozu ait bölgesel metabolik hızın tam kantifikasyonuna ihtiyaç duyulursa uygulanır.

c. 2D mod: Tek bir dedektör halkasında ve bitişik dedektör halkaları arasında koincidenslar (halkalar arasındaki septanın yerleştirilmesi aracılığı ile) detekte edilir. Septa genellikle küçük halka gruplarını ayırır.

d. 3D çekim modu: Son model PET cihazları ve yeni PET/BT sistemleri görüntüleri 3D modda alırlar.

Görüş alanındaki tüm koincidens deteksiyonlar (oblik plandakileri de içerir) ya da tüm dedektör halkalarında koincidenslerin deteksiyonu. Halkalar arasında septa yoktur.

e. Diğer özel PET sistemleri (örn. sektör tomografileri), tam dedektör halkalarına dayalı değil, eşdeğer çekim modları mevcuttur.

Görüntüleme Cihazları

a. Özel PET Cihazları:

- Çeşitli tam halka dedektörler içeren, BGO (Bizmut Germanat Ortosilikat) veya LSO (Lutesyum Ortosilikat) veya GSO (Gadolinium Ortosilikat) veya LYSO (Lutesyum Yttrium Ortosilikat) kristalli, tüm vücut PET cihazları: Sadece 3D modda görüntü alınır. 3D moddaki sensitivite büyük ölçüde geliştirilmiş olup özellikle kısa çekim zamanı gerektiğinde önerilir.

- Parsiyel halka BGO içeren özel PET cihazları ve 6 pozisyonlu sensitif sodyum iyodid dedektörlü özel PET cihazları gibi bazal dizaynda değişiklikler yapılmış cihazlar

b. Özel PET Cihazlarına Alternatif Olanlar:

- Tek sintilasyon görüntüleme yapan 511 keV kollimatörlü gama kamera (tercih edilmez).

- Koincidens görüntüleme için çift başlı gama kamera (kollimatörsüz). Son derece sınırlı performans özellikleri vardır.

- PET/BT Cihazı: BT cihazı tam halka BGO/LSO/GSO/LYSO PET cihazı ile kombine edilir. PET görüntülerinin BT atenüasyon verileri ile düzeltilmesine olanak sağlar ve fonksiyonel PET görüntüleri ile eş zamanlı morfolojik BT görüntülerinin kaydedilmesini sağlar.

- Özel beyin PET cihazları: Çok üstün performans özellikleri olan bu özel cihazlar, tüm vücut cihazları ile karşılaştırıldığında, genellikle araştırma çalışmalarında kullanılırlar.

Koincidens cihazların, özel PET cihazları ile karşılaştırıldığında, sensitivite, sayım hızı, görüş alanı dışındaki aktiviteyi içeren, tanısal doğruluğunu etkileyen performans kısıtlılıkları vardır. Klinik açıdan güvenilirlikleri de, tam halka BGO/LSO/GSO/LYSO cihazlardan düşüktür. Uluslararası Nükleer Tıp Cemiyetleri'nin fikir birliğinde olduğu, PET için standart olan, mükemmel fiziksel ve klinik performanslı, dünya genelinde beyin çalışmaları uygulamalarında ileri klinik tecrübenin bulunduğu, tam halka BGO/

LSO/GSO/LYSO PET dedektörlü özel cihazlardır. Bu nedenle uygulama kılavuzu bu sistemler üzerine odaklı hazırlanmıştır.

Atenüasyon düzeltme F-18 FDG beyin görüntüleme için zorunludur.

Sınırlı Alan Tomografik Görüntüler

Bu statik görüntüleme emisyon ve transmisyon görüntüsü içerir.

a. Emisyon çekimi, enjeksiyon sonrası 30-60 dakikada başlar, enjekte edilen aktivite, cihaz tipi ve çekim protokolüne (2D veya 3D) göre, 5-60 dakika sürer. Yeni PET/BT cihazlarında azaltılmış dozda FDG ile (185 MBq) atenüasyon düzeltmeyi içeren yeterli görüntüler 5 dakikada elde edilir. Günümüzde kullanılan çoğu sistemler 3D çekim moduna sahiptir. 2D ile çekim yapılırsa yeterli sayım dansitesine ulaşmak için çekim süresi uzar. Emisyon verilerinden koincidens olmayan olaylar atılarak saçılım düzeltmesi yapılabilir.

b. Transmisyon çekiminde: Emisyon görüntülerine uyan pozisyonlarda, görüntüler eksternal kaynak kullanılarak görüntülenir. Tam halka PET sistemleri için standart uygulama FDG enjeksiyonundan önce atenüasyon ölçümüdür. Eğer segmentasyon gibi yeniden bir ek işleme yapılacaksa FDG enjeksiyonu sonrası görüntüler alınabilir. Standart tam halka, 16 cm'den büyük aksiyel görüş alanlı PET cihazlarında 10-20 dakika gibi veya daha fazla sürelerde 100 milyondan fazla olay dedekte edilir.

- Soğuk transmisyonda, eski jenerasyon tam halka PET sistemleri için standart uygulama FDG enjeksiyonundan önce atenüasyon ölçümüdür. Genellikle bu görüntüler PET kameranın kendisi ile alınır. Ge-68/Ga-68 kaynağı, eksternal radyasyon kaynağı olarak, en sık kullanılır ve ardışık emisyon görüntülerinin atenüasyon düzeltmesinde kullanılır. Alternatif olarak bazı PET sistemlerinde transmisyon kaynağı olarak Sezyum-137 (Cs-137) kullanılır.

- Sıcak transmisyonda ise FDG enjeksiyonunu takiben Ge-68/Ga-68 kaynağı ile transmisyon görüntüleri alınması, özellikle subkortikal alanlar gibi yüksek tutulum gösteren yapıların atenüasyonunun daha düşük saptanabilmesi nedeni ile daha az tercih edilir.

Emisyon Öncesi Atenüasyon Düzeltme

İki görüntünün aralığı (görüntüleme protokolü) ve uygulanan transmisyon görüntüleme tekniği mevcut tomografik sisteme göre değişir ve oldukça zaman alır. Eksternal işaret kullanarak hasta kafasının doğru pozisyonlanması sağlanır. Bazı cihazlarda lazer işaretleme sistemleri bulunmaktadır. Hastanın en az 30 dakika hareketsiz yatacak şekilde koopere olması önemlidir. Eğer gerekirse immobilizasyon için, elastik kafa bandı gibi aletler kullanılır.

Emisyon Sonrası Atenüasyon Düzeltme

Sezyum-133 veya BT X-ışını kaynağı kullanılıyorsa, emisyon verisinden kaynaklı yüksek foton akımı nedeni ile FDG enjeksiyonu sonrasında atenüasyon yapılabilir. Düzeltme faktörleri; boş görüntü (hasta olmadan alınan görüntü) ve transmisyon görüntüsü (pozisyonlanmış hastada eksternal kaynak uygulanarak) arasındaki oran ölçülerek elde edilir. Pozisyonel farklılıklar önemli artefaktlara neden olur. Eğer hastayı yeniden pozisyonlamak gerekirse, pozisyon farklarının az olması için çok dikkat edilmelidir.

Hibrid atenüasyon düzeltme (bir segmentasyon görüntüsünü takiben ölçülen transmisyonun hesaplanan atenüasyon haritası): Bu yöntem segmentasyon görüntüsünü takiben ölçülen kısa transmisyona dayalı atenüasyon görüntüsü hesaplar.

Beyin PET/BT görüntüleme BT ile atenüasyon düzeltme: BT görüntünün avantajı, BT görüntülerinden X ışınlarının deteksiyonu emisyon fotonlarından etkilenmez. Bu nedenle, BT görüntüsü radyofarmasötik enjeksiyonundan sonra alınabilir ve atenüasyon düzeltmenin doğruluğu etkilenmez. Tanısal amaçlı BT görüntüsü, regüler tüp akımı ile veya sadece atenüasyon düzeltme amaçlı düşük tüp akımı (10-30 mAs) ile (yani düşük doz BT görüntüleme) alınabilir. Bunun avantajı, radyasyon maruziyetini büyük ölçüde, neredeyse germanyum transmisyon ölçümlerine yakın düzeyde, azaltır. Genellikle tüp voltajı da 140 kV civarında ayarlıdır. Görüntüleme parametreleri BT cihazının tipine göre değişir. BT görüntü tipinin seçimi, klinik endikasyona ve görüntülemenin amacına bağlıdır. Anatomik bilgi zaten mevcut ise, atenüasyon düzeltme için düşük doz BT görüntüsü alınması yeterli olur, ancak yeni anatomik görüntü bilgisi yoksa,

tanısal BT görüntüleme tercih edilir. Transmisyon görüntüleme çekimi yapmak için gereken sürenin, özellikle yeni çok kesitli BT sistemlerinde, belirgin kısalması da BT görüntünün avantajıdır (<10 s, 5-10 dak). Bu kısalması görüntüleme zamanı özellikle uyumsuz hastalarda (demans hastaları gibi) faydalı olabilir. PET ile eş zamanlı değerlendirilen BT taramasından ölçülen düzeltme matriksinin aracılığı ile foton atenüasyon düzeltmesi sağlanır. BT haritası, segmentasyon ve absorpsiyon düzeltme ile, 511 keV'lik atenüasyon haritasına ve atenüasyon düzeltme verisi olarak kullanılmak üzere, veri ileri projeksiyonuna dönüştürülür.

Matematiksel atenüasyon düzeltme: Emisyon verisine dayalı tahmini atenüasyon düzeltme; emisyon verisinden organın uzaklığının tahminine dayalı atenüasyon düzeltme uygulanmasıdır. Yani, emisyon verisinde organ dansitesinin tahminine dayalı, atenüasyonun tahmini ile düzeltme yapılır. Günümüzde post-emisyon atenüasyon sistemleri mevcut olduğu için sık kullanılmaz. Doğruluğunu arttırmak için kafatası atenüasyonunu içermelidir. Doğru kafatası atenüasyonunda eksiklik olabilir. Eğer mevcut ise şekil konturlama kullanılır. Konturlar sadece gri cevher değil, kafatasını da içermelidir. Her bir transaksyonel kesit için konturlar belirlenmelidir. Düzeltmiş kesitler hesaplanmadan önce konturların şekil ve pozisyonunun doğru olduğu gözden geçirilmelidir. Farklı matematik düzeltme yöntemlerinin elde edilen görüntülerde sistematik farklılıklara yol açacağı bilinmesi önemlidir. Farklı düzeltme yöntemleri ile elde edilen görüntüler direkt karşılaştırılmaz (örn. voxel bilgisi bazında istatistiksel çıkarma analizi ile). Özellikle oksipital ve serebellar bölgelerde farklılıklar gözlenebilir (19). Tam halka PET sistemlerinde matematiksel atenüasyon düzeltme, klinik amaç için yeterli sonuç sağlayabilir. Daha az zaman gerektiren uygulama olsa da dikkatli ve tutarlı şekilde kullanılmalıdır. Özellikle eğer post-emisyon yöntemler kullanılıyorsa ölçülmüş atenüasyon düzeltme hesabı tercih edilir.

Dinamik çalışmalar sınırlı bir alanda ardışık seri imajları içerir, FDG uygulaması ile başlar ve 60-90 dakika sürer. Klinik çalışmalarda pek kullanılmadığından çekim yöntemlerinden detaylı bahsedilmeyecektir. Bu çekim yöntemi, uygun kinetik oran veya akım sabitlerini belirlenmesi ile, bölgesel FDG metabolizma hızını

kantitatif olarak değerlendirmede kullanılır. Arteriyel akım fonksiyonunun belirlenmesi, FDG ve glukoz plazma düzeylerinin ölçülmesi gereklidir. Cihazlar ve in vitro aktivite arasındaki kalibrasyon faktörü gereklidir ve fantom görüntüleme ile elde edilir. Statik görüntüleme kullanılan FDG'nin bölgesel metabolik hızlarını hesaplamada basit yöntemler ve arteriyolize venöz kan örnekleri, tam metabolik hesaplama ile FDG tutulumunun hesaplanması arasında, beyindeki referans bölgeye yakın, uzlaşma sağlar.

X. Görüntü İşlemesi

Görüntüler 128x128 veya 256x256 matrikste, transaksiyel şekilde yapılandırılır. Tipik piksel boyutu 2-4 mm, PET sistemin rezolüsyonuna bağlı olarak final görüntü rezolüsyonu 2,5-10 mm FWHM arasında olur. Bu genellikle yeterli görüntü rezolüsyonunu ve hedef/gürültü oranını sağlar. Yeniden yapılandırmada geri projeksiyon rekonstrüksiyonu (FBP) kullanılır ve sıklıkla kullanılan filtreler Hanning ile Shepp-Logan'dır. İteratif rekonstrüksiyon kullanımı da giderek artmaktadır. Gama kamera görüntü işlenmesinde koinsidens saptama verileri genelde iteratif rekonstrüksiyon yöntemleri ile yapılır.

XI. Veri Görüntüleme

Rekonstrüksiyon yapılmış transvers görüntüler kalite kontrol ve yorumlamak üzere görüntülenebilir. Buna ilaveten, lezyonları daha iyi tanımlanmasına yardımcı olan, koronal ve sagittal kesitler rutin olarak görüntülenebilir. Volüme dayalı yeniden kesitlendirme yazılımı kullanılırken, genellikle transvers kesitler alınarak her iki komissür hattı uygun hale getirilir (anterior ve posterior komissürlerden geçen hat, beyin anterior ve posterior bölgesi boyunca geçen hat olarak da tanımlanabilir). Olası temporal lob epilepsilerini değerlendirmede yeniden kesitlendirmenin, hipokampal aks boyunca (temporal loba paralel), yapılması tercih edilir.

Rekonstrükte görüntülerin yeniden kesitlendirilmesi görüntülerin yorumlanmasında uygun oryantasyon elde edilmesini sağlar. Aksiyel projeksiyonlar ile birlikte sagittal ve koronal görüntüler, spesifik anatomik bölgelerin gösterilmesinde önemlidir. Volüm oluşturmak bazı klinik uygulamalarda

doğru topografik oryantasyon için yardımcıdır. Ancak, böyle görüntüler artefaktlara neden olabileceğinden dikkatli kullanılmalıdır. 3D ile yapısal MR verisinin birlikte kaydedilmesi anatomik doğru raporlamayı kolaylaştırır.

XII. Görüntü Yorumlanması

Yorumlama sırasında hareket ve atenüasyon artefaktları çok itina ile değerlendirilmelidir. Normal veri tabanı mevcut ise, aynı tip cihazda, aynı çekim protokolünde (gözler açık/kapalı), aynı tip rekonstrüksiyon ve atenüasyon düzeltme kullanılarak yapılmış olması tercih edilir. Optimal veritabanı kullanımı için gereken en önemli parametre uzaysal rezolüsyonun uyumudur. Bu, bölgesel FDG tutulumunun normal değişkenlerinin değerlendirilmesi ve tanısallı doğruluğun artmasını sağlar. Görüntü yorumlanması sırasında normal değişkenliklerin yaygınlığı değerlendirilmelidir. Normal olgular arasında ve tek olgunun farklı zamanda alınan görüntüleri arasında önemli değişkenler not edilmelidir. Tomografik kesitlere bakmadan önce işlenmemiş projeksiyon görüntüleri sinematik olarak gözden geçirilmelidir. Hasta hareketinin, hedef-zemin aktivite oranının ve diğer potansiyel artefaktların varlığı ve derecesinin belirlenmesi için projeksiyon verileri incelenmelidir. Projeksiyon verilerinin sinogram fazında incelenmesi de faydalı olabilir.

Görüntüler, renk skalası, zemin aktivite çıkartılması, kontrast gibi ayarlamalara izin vermesi nedeni ile film veya kağıt üzerinden değil de bilgisayar ekranından bakılmalıdır. Kontrast ayarlanması ve zemin aktivite çıkartılmasında dikkatli olunmalıdır. Devamlılık göstermeyen renk skalaları, beklenen gri cevher aktivite oranında gözlenen beklenmedik renk değişikliklerine yol açarak, karışıklık ve yanlış yorumlamalara neden olabilir. Eşik ayarlama yapılacaksa (thresholding) çalışmanın yapıldığı cihaz ve FDG normal görüntü verisine ait bilgiye dayalı olmalıdır. Uygun olmayan eşik görüntülerinde artefaktlar ortaya çıkar. Kötüleşme veya iyileşmeyi değerlendirmek için seri görüntülerin karşılaştırılmasında, artifisyel olarak oluşan farklılıkları önlemek için uygun normalizasyon teknikleri gerekir. Eşik değer ayarlamadaki farklılıklar, renk ve gri skala penceresi ayarlaması, referans bölgenin SUV'larının azaltılması gereklidir. Hastalığın genel özelliklerini ayırt etmede üç boyutlu görüntü incelenmesi faydalı olabilir.

Verileri yorumlarken kısmi kortikal hipometabolizma ve bölgesel azalmış ya da artmış FDG tutulumu gibi global değişiklikler dikkate alınmalıdır. Artmış tutulum, aktif epileptik odak, tümör ve inflamasyonda izlenebilir.

Normal veritabanı olmasa da yüzey projeksiyonlarının değerlendirilmesi (örn. 3D-SSP) doğruluğu ve bireysel hasta verilerinin tutarlılığını arttırır. Bunun için çeşitli ticari donanımlar piyasada mevcuttur.

Görüntüler, yeni anatomik beyin görüntüleri (BT, MR) referans alınarak değerlendirilmelidir. Morfolojik defekt alanları ile ilişkili olan metabolik anormallikler olduğu kadar atrofi ve parsiyel volüm efektine bağlı olası etkilere özellikle çok dikkat edilmelidir. PET/BT sistemlerinde, PET/BT füzyon görüntüleri, görüntü rekonstruksiyonu sonrası hemen, görüntü kaydı için herhangi bir spesifik yazılıma ihtiyaç olmadan, görüntülenebilir. Görüntü füzyonunun zorunlu olduğu durumlar:

- Beyin tümörlerinin doğru değerlendirilmesi ve biyopsi öncesi beyin tümörünün metabolik olarak en aktif kısmının saptanması.
- Tümör rezeksiyonu öncesinde Broca merkezi gibi bazı önemli kortikal alanların lokalizasyonu.
- Epilepsi cerrahisi planlanması için EEG odağı ile MR'daki morfolojik anomalilerin, kortikal hipometabolizma ile karşılaştırılması.

Kantitatif Yorumlama

Kantifikasyon, takip çalışmalarındaki değişiklikleri semikantitatif olarak değerlendirmede veya normal değerlerdeki sapmalarda, görsel yorumlamaya yardımcı olur. Anatomik olarak ayarlanmış ilgi alanı veya voxel bilgisine dayalı olarak kantifikasyon uygulanabilir. Normal veritabanı ile karşılaştırmak için, sonuçlar görsel inceleme ile kombine edilerek yorumlanmalı ve sadece, normal (tercihen sağlıklı, yaş uyumlu kontrollerden elde edilen) veriye göre ortalama \pm iki standart deviasyon olması durumunda, anormal kabul edilmelidir.

Tam Glukoz Metabolizması

Zamana karşı arteriyel FDG konsantrasyon eğrisini hesaplamak (arteriyel input fonksiyonu) mümkün olduğu durumlarda kantitatif analiz yapılabilir.

Arteriyel kanın direk örnekleme gerektirir (seri ölçümler). Sıklıkla dinamik veri işleme ile kombine edilir, ancak statik görüntülerle de kombine edilebilir.

Arteriyel kan örnekleme bazı noninvaziv alternatifler çalışmalar uygulanmıştır:

(1) Arteriyelize venöz kan örnekleme.

(2) PET görüntülerinden, aorta veya sol ventrikül kullanılarak, elde edilen input fonksiyonu.

Kompartman modeli ile veya grafiksel analitik uygulamalardan saptanan içeri akım (influx) sabiti ile hız sabitleri tahmin edilebilir. Düzeltme faktörleri (toplu sabit "lumped constant": $LC = 0,42-0,82$) ile FDG değerleri glukoz metabolizmasını yansıtan değerlere dönüştürülebilir (20,21). Bu yolla glukoz metabolizma hızı kesin birimler ile ölçülebilir (örn. mol dak-1 g-1).

Klinik amaçlı tam kantifikasyon uygulamaları tipik olarak gerekli değildir, kısmi olarak kesin serebral glukoz metabolizmasının bireyler arası yüksek değişiklikleri saptanacaksa kullanılır. Ek olarak, çoğu diagnostik uygulamalar, glukozun kantitatif metabolik hızına değil, göreceli olarak bölgesel anomalilerin özelliklerine bağlıdır.

Yaş uyumlu normal kontrollerin verisi mevcut ise, stereotaktik normalizasyon uygulanması ve 3D-SSP gibi voxel bazlı analitik uygulamalar veya istatistiksel parametrik haritalama ile FDG tutulum anomalilerini belirlemek; gözlemciden bağımsız olarak mümkündür ve tanısal doğruluğu arttırır (22-24).

Beyin haritalama araştırmasında geliştirilen görüntü işleme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde otomatik veya yarı-otomatik beyin haritalama teknikleri rutin klinik çalışmalarda kullanılabilir. Normal kontrol verisi veya veri tabanının piksel bilgisi ile karşılaştırılması ile bağlantılı olguların istatistiksel haritaları (Z skoru haritaları gibi), konvansiyonel görüntü yorumlamasına ek bilgi sağlamak için kullanılabilir. Teknikler genellikle kesit görüntüsü (alışıldığı üzere aksiyel) veya stereotaktik alan projeksiyon görüntüsüne dayanır. Bu yöntemler, sıklıkla, iki-kommissural stereotaktik sistem ve anatomik standardizasyon içinde görüntünün otomatik yeniden düzenlenmesini kapsar. Görüntü yorumlamada bu tip analiz kullanıldığında, bilimsel literatürde yayınlanan ve kabul edilen yöntemleri kullanmak önemlidir. Normal veritabanını oluşturan olgular ve bazı olgular

arasında görüntü özelliklerindeki farklılıklar tanısıl doğruluğu etkileyebilir. Normal veritabanının kalitesi de tanısıl doğruluğu etkileyebilir. Normal veritabanı ve bazı olgular arasındaki hatalı hizalama nedeni ile Morphing artefaktlar oluşabilir. Bu komplike analizler hataya ve artefakt oluşumuna çok yatkın olduğu için, böyle analizlerin kalite kontrolü doğru tanı konulabilmesi için çok gereklidir. Tam otomatik tanı sistemleri geliştirilmekte olup böyle sistemler bilimsel olarak geçerliliği ile klinik kullanımı kabul edilene kadar ve potansiyel kullanıcılar tarafında artefaktlar, olası hatalar tam anlaşılana kadar dikkatli kullanılmalıdır.

XIII. Raporlama

Beyin PET ve PET/BT görüntüleme için klinik raporlar aşağıdaki klinik bilgileri içermelidir:

- a. Hastanın adı-soyadı ve doğum tarihi,
- b. İsteği yapan doktorun (doktorların) adı-soyadı,
- c. Uygulanacak çalışmanın tipi ve tarihi,
- d. Çalışma için endikasyon,
- e. Çalışma için ana nedeni (hafıza kaybı gibi) vurgulayan kısa hikaye,
- f. Mevcut yakınmanın süresi,
- g. Kullanılan ilaçları da içeren diğer önemli klinik bilgiler,
- h. Önceki nükleer tıp çalışmasına ait bulgular,
- i. Diğer görüntüleme modalitelerine ait (MR vb.) bulgular,
- j. Çalışmanın tekniği: Radyofarmasötüğün adı, doz ve uygulama yolu ve uptake periyodu, kan glukoz düzeyi,
- k. Transmisyon görüntüleme tipi (germanyum bazlı veya Cs-137 gibi diğer kaynaklar veya BT) ve emisyon görüntüleme, 2D ya da 3D modda elde edilip edilmediği, arteriyel kan örnekleme gibi, uygulanan yöntem, görüntü çekiminin tanımlanması atenüasyon düzeltme yapılmış PET, transmisyon düzeltme yapılmış PET, BT ile yapılmış atenüasyon düzeltme gibi kullanılan diğer yöntemler,
- l. Eğer cihaz tipinde kısıtlı görüş alanı alındı ise, görüntüye giren alanların tanımlanması,
- m. Eğer sedasyon uygulandı ise, yöntemi kısaca tanımlanması, kullanılan ilacın tipi ile radyofarmasötik enjeksiyonu ile ilişkili olarak sedasyon zamanı, epileptik hastalarda eğer yapıldıysa EEG kayıt yönteminin kısaca tanımlanması,

n. Çalışmanın teknik kalitesinin değerlendirilmesi (iyi, yeterli, zayıf),

o. Potansiyel artefaktlar: Hasta hareketi, beyin metabolizmasını etkileyen ilaçlar (bu ilaçlar aşağıda hata kaynakları bölümünde verilmiştir), izlenen nöbet aktivitesi,

p. Bulgular: FDG PET bulgularının normal veya anormal olduğu tanımlanmalı. Anormal bulgular varsa, lokalizasyon, yaygınlık, yoğunluk, simetri veya asimetrisinin belirtilmesi, kantitatif değerlendirme uygulanacaksa normal veritabanının referans alınması, beyinde belirli bölgeler referans alınarak (serebellum, tüm beyin, pons, bazal ganglion veya talamus) normalizasyon yapılması. Anatomik tanımlamalar olduğu kadar fonksiyonel topografiler de kullanılabilir. Eğer uygulanırsa kantitatif ya da semikantitatif ölçümler belirtilmeli,

q. Karşılaşılan çalışma kısıtlılıkları raporda belirtilmelidir: Nerede uygunsa, çalışmanın sensitivite ve spesifitesini sınırlayan faktörlerin belirtilmesi: Çekim zamanının kısaltılması, enjeksiyonu takiben değişiklikler gibi protokol sapmaları, hareket, küçük lezyonlar, FDG tutulum ve dağılımını etkileyebilecek diğer sapmalar,

r. Rapor, görüntüleme çalışmasını gerektiren ilgili klinik soruna yanıt veya yol göstermeli,

s. Önceki çalışmalar ve raporlar karşılaştırılmalı. Ayrıca, morfolojik görüntüleme yöntemleri (BT, MR) yorumlama sırasında dikkate alınmalıdır. Nondiagnostik BT görüntüleri yalnızca PET/BT atenüasyonu için kullanılır, yapısal yorumlamalarda dikkatli kullanılmalıdır.

Yorumlama ve Sonuçlar

İncelemeye ve genel olarak kabul görmüş hastalığa spesifik özelliklere dayalı sonuç kısmında en olası tanıyı işaret eden ifade kullanılmalıdır. Mevcut bulgular ile mümkünse, en uygun şekilde ayırıcı tanı yapılmalıdır. Diğer yorumlamalar (kişisel) açıkça ifade edilir ve hipotez olarak kabul edilir. Şüpheli tanıyı açıklığa kavuşturmak veya desteklemek için, uygunsa, takip veya ek çalışmalar önermek gerekir.

Hastanın hikayesi, laboratuvar bilgisi, eşlik eden durumlar, ilaçlar, cerrahi veya radyoterapi gibi yeni uygulanmış tedaviler, BT, MR veya EEG gibi ek tanısıl çalışmalar gibi tüm ilgili bilgileri değerlendirmelidir.

Atrofi veya yapısal lezyonların etkisi yanı sıra parsiyel volüm etkisi göz önüne alınmalıdır.

Eğer klinik bilgi veya ek test sonuçlarında eksiklik varsa sonuç kısmında bu kısıtlılıkları belirtmek ve endikasyondaki ek testleri önermek gerekir.

Sık tanımlanmayan özellikler nedeni ile çalışmayı yorumlamada güçlükler olursa kabul görmüş kriterleri kullanarak, raporda bu çekimi isteyen doktorun spesifik tanıyı neden tanımlayamadığımızı en iyi anlayacağı şekilde belirtilmelidir.

Kantitatif bulgulara dayalı normal veya anormal raporu yazmadan önce, kantitatif bilgilerin raporlanmasında, kantitatif tekniğin kısıtlılıklarının yorumlayan doktor tarafından çok iyi bir şekilde anlaşılması sağlanmalıdır.

XIV. PET Kalite Kontrolü

(Detaylar için TSNM PET kalite kontrol uygulama kılavuzuna bakınız)

Aşağıdaki spesifik performans testlerini kapsayan tam bir kalite kontrol programı, klinik görüntülemeye eşlik etmelidir:

a. Normalizasyon işlemi: Dedektörlerin kristalleri arasındaki verim değişikliklerinin yeterli şekilde düzeltilmesinin sağlanması. Bu yöntem birkaç saat sürer ve dedektör hatası olmamasını sağlamak için her ay yapılabilir.

b. Kurulum taraması: Tüm dedektörlerin düzgün şekilde çalıştığı gösterilmesi. Bu test, olası sapmaları modifiye eder. Yaklaşık 2 saat sürer ve haftalık yapılabilir.

c. Boş (Blank) tarama: Son normalizasyon sonrası dedektörlerde sapma olmadığının gösterilmesi. Bu, aynı zamanda atenüasyon düzeltmesine de hizmet eder. Süresi kısadır (30 dakika) ve günlük yapılabilir.

d. Pek çok çalışmada morfolojik karşılaştırma ve füzyon için BT kullanıldığından, atenüasyon düzeltmede BT kalite kontrolünü eğitilmiş BT teknolojist ve fizikçisi yapılmalıdır.

e. Performans testleri genellikle uluslararası öneriler doğrultusunda uygulanabilir: Amerikan uygulama kılavuzu National Electrical Manufacturer Association (NEMA) tarafından yayınlanmıştır. Avrupa uygulama kılavuzu da International Electrotechnical Committee (IEC) tarafından yayınlanmıştır.

XV. Hatalar, Artefaktlar ve Hata Kaynakları

1. Serebral metabolizmayı etkileyen ilaçlar:

- Sedatifler
- Amfetamin ve kokain benzeri ilaçlar
- Narkotikler
- Anti-psikotik ilaçlar
- Kortikosteroidler

İlaçların çoğu esas global beyin metabolizmasını etkilerken, bölgesel beyin metabolizmasına hafif etkilemektedir.

2. Hiperglisemi olması.

3. Artefaktlar (çekim sırasında hastanın hareket etmesi, cihaz ile ilişkili, uygun olmayan işleme nedeni ile) görüntüyü yorumlanamaz hale getirir.

4. İstenmeyen serebral aktivasyonlar (vizüel veya motor aktivasyon).

5. Emisyon ve transmisyon görüntüleri arasındaki hatalı yerleşme.

6. Yetersiz atenüasyon düzeltilmesi veya olmaması. Atenüasyon hesaplamalarındaki hatalar beyinde yanlılıkla artmış aktivite izlenmesine yol açar.

7. Beyin veya kafatası bölgesine ait cerrahiye takiben kafatası veya yumuşak dokudaki tutulum.

8. Hesaplanmış atenüasyonlarla kafatası kalınlığındaki değişiklikler düzeltilmez. Hiperosteozeofrontalis olanlarda frontal aktivite hatalı olarak düşük izlenebilir.

9. Kesin metabolik kantitasyon olmadan, sadece kısmi bilgiler elde edilebilir. Çalışmadaki çoğu aktif bölgeler, kesin sonucu etkileyecek şekilde, aslında hipo veya hipermetabolik alanlar olabilir.

10. Yeni uygulanmış radyoterapi veya kemoterapi (25).

XVI. Aydınlanması Gereken Konular

1. Normal veritabanını ne oluşturur?

- Kaç tane olgu?
- Yaş uyumu önemli mi?
- Cinsiyet uyumu önemli mi?
- Nörofizyolojik testlerin yapılmış olması gerekir mi?
- Nörolog tarafından değerlendirilmesi gerekli mi?
- Olguların başka bir cihazda alınması veya farklı PET/ atenüasyon sisteminden elde edilmiş normaller ile kantifikasyon yapılabilir mi?
- Yapısal görüntüleme gerekli mi?

2. Normal gönüllü olgular için yeterli dışlama kriterleri?

3. Parsiyel volüm etkisini düzelten yöntemlerin ve MR ile atenüasyon düzeltme yönteminin klinik tanının yapılmasında tam rolü?

4. Kantifikasyon teknikleri

a. Araştırma çalışmalarına karşı klinik kullanımdaki kısıtlılıklar?

b. Multiple karşılaştırmalar için düzeltmeler gerekli mi?

c. Bu teknikler Morphing hatalara yol açar mı?

d. Doğrulanması ile ilgili endişeler

e. Anormal çalışmayı ne oluşturur?

f. Her bir teknik için sensitivite, spesifite, doğruluk konularının açıklığa kavuşturulması ve tanısız eşik değerlerin belirlenmesi için objektif yöntemlere ihtiyaç vardır.

g. Eş zamanlı kayıt teknikleri.

h. Görüntü rekonstrüksiyon teknikleri.

i. Yazılıma karşı donanım füzyonları.

Kaynaklar

- Waxman AD, Herholz K, Lewis DH, Herscovitch P, Minoshima S, Ichise M, Drzezga AE, Devous M, Mountz JM. Society of Nuclear Medicine procedure guideline for FDG PET brain imaging. Version 1.0. Society of Nuclear Medicine; February 8, 2009. Available at <https://www.snmmi.org/ClinicalPractice/content.aspx?ItemNumber=6414>.
- Varrone A, Asenbaum S, Vander Borgh T, Booi J, Nobili F, Någren K, Darcourt J, Kapucu OL, Tatsch K, Bartenstein P, Van Laere K; European Association of Nuclear Medicine Neuroimaging Committee. EANM procedure guidelines for PET brain imaging using [18F]FDG, version 2. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009; 36:2103-2110.
- Kuwert T, Bartenstein P, Grünwald F, Herholz K, Larisch R, Sabri O, Biersack HJ, Moser E, Müller-Gärtner HW, Schober O, Schwaiger M, Büll U, Heiss WD. Clinical value of positron emission tomography in neuromedicine. Position paper on results of an inter disciplinary consensus conference. *Nervenarzt* 1998;69:1045-1060.
- Asenbaum S. Guideline for the use of FDG PET in Neurology and Psychiatry. Austrian Society of Nuclear Medicine 2001; www.ogn.at.
- Schelbert HR, Hoh CK, Royal HD, Brown M, Dahlbom MN, Dehdashti F, Wahl RL. Procedure guideline for tumor imaging using fluorine-18-FDG. Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med* 1998;39:1302-1305.
- Society of Nuclear Medicine Brain Imaging Council. Ethical clinical practice of functional brain imaging. *J Nucl Med* 1996;37:1256-1259.
- Messa C, Fazio F, Costa DC, Ell PJ. Clinical brain radio nuclide imaging. *Semin Nucl Med* 1995;25:111-143.
- Herholz K, Salmon E, Perani D, Baron JC, Holthoff V, Frölich L, Schönknecht P, Ito K, Mielke R, Kalbe E, Zündorf G, Delbeck X, Pelati O, Anchisi D, Fazio F, Kerrouche N, Desgranges B, Eustache F, Beuthien-Baumann B, Menzel C, Schröder J, Kato T, Arahata Y, Henze M, Heiss WD. Discrimination between Alzheimer dementia and controls by automated analysis of multicenter FDG PET. *Neuroimage* 2002;17:302-316.
- Herholz K, Carter SF, Jones M. Positron emission tomography imaging in dementia. *Br J Radiol* 2007;80:160-167.
- Mosconi L, Tsui WH, Herholz K, Pupi A, Drzezga A, Lucignani G, Reiman EM, Holthoff V, Kalbe E, Sorbi S, Diehl-Schmid J, Perneczky R, Clerici F, Caselli R, Beuthien-Baumann B, Kurz A, Minoshima S, de Leon MJ. Multicenter standardized 18F-FDG PET diagnosis of mild cognitive impairment, Alzheimer's disease, and other dementias. *J Nucl Med* 2008;49:390-398.
- Dubois B, Feldman HH, Jacova C, Dekosky ST, Barberger-Gateau P, Cummings J, Delacourte A, Galasko D, Gauthier S, Jicha G, Meguro K, O'Brien J, Pasquier F, Robert P, Rossor M, Salloway S, Stern Y, Visser PJ, Scheltens P. Research criteria for the diagnosis of Alzheimer's disease: revising the NINCDS-ADRDA criteria. *Lancet Neurol* 2007;6:734-746.
- Hasselbalch SG, Knudsen GM, Videbaek C, Pinborg LH, Schmidt JF, Holm S, Paulson OB. No effect of insulin on glucose blood-brain barrier transport and cerebral metabolism in humans. *Diabetes* 1999;48:1915-1921.
- Cranston I, Marsden P, Matyka K, Evans M, Lomas J, Sonksen P, Maisey M, Amiel SA. Regional differences in cerebral blood flow and glucose utilization in diabetic man: the effect of insulin. *J Cereb Blood Flow Metab* 1998;18:130-140.
- Spanaki MV, Siegel H, Kopylev L, Fazilat S, Dean A, Liow K, Ben-Menachem E, Gaillard WD, Theodore WH. The effect of vigabatrin (gamma-vinylGabA) on cerebral blood flow and metabolism. *Neurology* 1999;53:1518-1522.
- Berding G, Odin P, Brooks DJ, Nikkhah G, Matthies C, Peschel T, Shing M, Kolbe H, van Den Hoff J, Fricke H, Dengler R, Samii M, Knapp WH. Resting regional cerebral glucose metabolism in advanced Parkinson's disease studied in the off and on conditions with [18F]FDG-PET. *Mov Disord* 2001;16:1014-1022.
- Feigin A, Fukuda M, Dhawan V, Przedborski S, Jackson-Lewis V, Mentis MJ, Moeller JR, Eidelberg D. Metabolic correlates of levodopa response in Parkinson's disease. *Neurology* 2001;57:2083-2088.
- Ruotsalainen U, Suhonen-Polvi H, Eronen E, Kinnala A, Bergman J, Haaparanta M, Teräs M, Solin O, Wegelius U. Estimated radiation dose to the newborn in FDG-PET studies. *J Nucl Med* 1996;37:387-393.
- Wu TH, Huang YH, Lee JJ, Wang SY, Wang SC, Su CT, Chen LK, Chu TC. Radiation exposure during transmission measurements: comparison between CT- and germanium-based techniques with a current PET scanner. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:38-43.

19. Setani K, Schreckenberger M, Sabri O, Meyer PT, Zeggel T, Büll U. Comparison of different methods for attenuation correction in brain PET: effect on the calculation of the metabolic rate of glucose. *Nuklearmedizin* 2000;39:50-55.
20. Graham MM, Muzi M, Spence AM, O'Sullivan F, Lewellen TK, Link JM, Krohn KA. The FDG lumped constant in normal human brain. *J Nucl Med* 2002;43:1157-1166.
21. Lucignani G, Schmidt KC, Moresco RM, Striano G, Colombo F, Sokoloff L, Fazio F. Measurement of regional cerebral glucose utilization with fluorine-18-FDG and PET in heterogeneous tissue: theoretical considerations and practical procedure. *J Nucl Med* 1993;34:360-369.
22. Van Paesschen W, Dupont P, Sunaert S, Goffin K, Van Laere K. The use of SPECT and PET in routine clinical practice in epilepsy. *Curr Opin Neurol* 2007;20:194-202.
23. Minoshima S, Frey KA, Koeppe RA, Foster NL, Kuhl DE. A diagnostic approach in Alzheimer's disease using three-dimensional stereotactic surface projections of fluorine-18-FDG PET. *J Nucl Med* 1995;36:1238-1248.
24. Drzezga A, Arnold S, Minoshima S, Noachtar S, Szecsi J, Winkler P, Römer W, Tatsch K, Weber W, Bartenstein P. F-18 FDG-PET studies in patients with extratemporal and temporal epilepsy: evaluation of an observer-independent analysis. *J Nucl Med* 1999;40:737-746.
25. Cook GJ, Maisey MN, Fogelman I. Normal variants, artefacts and interpretative pitfalls in PET imaging with 18-fluoro-2-deoxyglucose and carbon-11 methionine. *Eur J Nucl Med* 1999;26:1363-1378.