



# 종양환자에서 $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose PET/CT: 대한핵의학회 절차지침 v2.0

( $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose PET/CT for Oncological Patients: Procedural Recommendations by the Korean Society of Nuclear Medicine)

오진경<sup>1</sup>, 임채홍<sup>2</sup>, 최준영<sup>3</sup>, 한은지<sup>4\*</sup>

가톨릭의대 인천성모병원 핵의학과<sup>2</sup>, 순천향대학교 부속 서울병원 핵의학과<sup>3</sup>, 성균관의대 삼성서울병원 핵의학과<sup>4</sup>, 가톨릭의대 여의도성모병원 핵의학과

\* 저자 순서는 가나다순을 따름.

Jinkyong Oh<sup>1</sup>, Chae Hong Lim<sup>2</sup>, Joon Young Choi<sup>3</sup>, Eun Ji Han<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, Incheon St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Nuclear Medicine, Soonchunhyang University Seoul Hospital, Seoul, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Republic of Korea

<sup>4</sup>Department of Nuclear Medicine, Yeouido St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Republic of Korea

## 서문(Preamble)

대한핵의학회는 대한민국 핵의학의 임상 및 기술적 발전을 도모하기 위해 1961년 창립되었으며, 핵의학 의사와 관련 과학자를 중심으로 현재 약 600여 명의 회원으로 구성되어 있다. 대한핵의학회는 주기적으로 핵의학 검사 지침을 제정, 개정하여 핵 의학을 발전시키고 환자 진료의 질을 향상시키기 위해 노력하고 있다. 이 지침은 의료인이 환자에게 보다 적절한 의료를 제공하는 것을 지원하는 목적으로 마련되었으며, 검사 시행 시 변경할 수 없는 규칙이나

시행해야 하는 필수 요건은 아니다. 그러므로, 대한핵의학회는 이 지침을 의료인의 의학적 결정에 이의를 제기하는 법적 소송에 사용하는 것에는 주의해야 한다는 것을 명시한다. 검사의 구체적인 절차나 적절한 조치에 대한 궁극적인 판단은 핵의학 의사가 각각의 독특한 상황을 고려하여 내려야 하며, 어떤 절차가 이 지침과 다르다고 하여 의료행위가 표준에 미치지 못한다는 의미는 아니다. 오히려, 환자의 상태, 제한적인 자원, 지침 이후 지식 또는 기술의 발전에 따라 합리적인 판단을 하여 이 지침에 제시된 내용과 다른 적절한 조치를 수행할 수 있다. 정도관리의 구체적인 항목은 학회 정도관리지침을 따른다. 환자의 다양성과 복잡성으로 인해 가장 적절한 진단 및 치료에 대한 특정 반응을 항상 정확하게 예측하기는 어렵다. 따라서, 이 지침을 준수하는 것이 항상 정확한 진단과 성공적인 결과를 보장하는 것은 아니다.

이 지침의 목적은 2013년 제정된 '중양 환자에서  $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose PET/CT: 대한핵의학회 절차지침'을 개정하여  $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose ( $^{18}\text{F}$ -FDG) positron emission tomography(PET)/CT 검사를 시행하는 데 있어서 현재의 의학 지식, 유용 가능한 자원과 환자의 필요에 근거하여 의료인이 합리적인 조치를 취하고 효과적이고 안전한 검사를 제공하는 목표를 달성하는 데 도움을 주는 데 있다.

## I. 서론(Introduction)

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT는 조직의 당 대사 정도를 영상화하는 기법으로, 다양한 악성 종양에서 진단, 병기 설정, 재발 진단, 치료 효과 판정 등에 유용하게 사용되고 있다. 이 지침은 종양에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사에 대한 미국/유럽 핵의학분자영상의학회(SNMMI/EANMMI) 가이드라인 및 현재까지의 의학적 근거들을 전문가들이 검토한 후, 국내 현실에 맞게 수정/검토하였다[1, 2]. 지침에는 검사 적응증, 검사 시행 절차, 영상 판독 및 보고, 영상 장비의 성능 및 품질 관리 등 임상적으로 적용될 수 있는 일반적인 정보를 포함시켰다. 또한, 이전 지침에서는 없었던 소아 종양 환자에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사 시행에 대한 내용도 포함시켰다.

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사는 염증 및 감염 영상, 심장학 및 신경학 분야에서 점점 더 중요한 역할을

하고 있지만, 이러한 분야에서  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 절차는 이 지침에서는 다루지 않는다.

## II. 지침의 목적(Goals)

이 지침은 종양에서  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사의 임상적 적응증, 시행, 영상 판독 등에 대한 일반적인 정보를 제공한다. 이를 통하여 검사를 수행하는 핵의학 의료인 및 직원들에게 실제적인 도움을 주고, 적절한 검사의 시행 및 검사의 질을 높이는 데 목적을 두고 있다. 나아가서는 종양 환자에게 적절한 핵의학 의료 기술 제공, 삶의 질 향상 및 건강 개선에 도움을 주고 보건 의료 정보의 효율적 사용에 기여하는 것이 궁극적인 목표이다. 의학은 계속 발전하고 있는 분야이므로, 이 지침의 내용은 현재 시점의 참고자료로 받아들이고, 완성된 불변의 지침으로 간주해서는 안 된다. 또한, 종양  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT를 시행하는 61개의 국내 기관들의 79대의 PET/CT 스캐너를 대상으로 2024년 6월 실시한 설문조사 결과를 바탕으로 국내 종양  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 시행과 관련된 정보들도 함께 제공하고자 하였다.

## III. 용어의 정의(Definitions)

1. PET: 양전자를 방출하는 방사성의약품을 체내에 주입한 뒤, 이로부터 발생하는 511 KeV의 감마 방사선을 PET 스캐너로 검출하여, 주입한 방사성의약품의 체내 분포를 재구성하여 영상화하는 기법이다.
2. PET/CT 스캐너: PET과 CT를 함께 촬영하는 장비인데, 여기에서 CT는 PET 영상의 감쇠 및 산란을 보정하고 높은 공간적 해상도의 해부학적 영상 정보를 제공하는 목적으로 이용된다. PET과 CT의 융합 영상을 얻음으로써 PET 영상만으로는 알기 어려웠던 정확한 병소의 위치나 형태 정보를 진단에 이용할 수 있다.
3. PET/CT 영상획득: 영상획득의 범위는 특정 적응증에 적합하도록 변경할 수 있다.
  - 1) 전신(whole body): 두개골 정수리부터 발끝까지 포함하는 영상
  - 2) 토르소(torso): 두개골 기저에서 허벅지 중간까지 포함하는 영상
  - 3) 부분(regional): 국한된 부위(예로 흉부영상 또는 두경부 영상만 얻는 경우)만 얻는 영상

4) 추가(additional): 전신 또는 토르소 영상을 얻은 뒤 지연 또는 다른 부위의 영상을 추가로 얻는 경우

#### IV. 검사 적응증(Clinical indications)

##### 4-1. 성인

종양 환자에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 영상은 적절한 의료행위 방침을 결정하는 데 도움이 된다. 검사 결과가 환자를 치료하는 데에 있어 영향을 줄 것이라는 합리적인 기대치가 있을 때에 검사를 시행한다. 그러나  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 종양의 유형별로 다양하게 나타나기 때문에 유효성 증거가 충분하지 않은 예에서  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사를 시행하는 경우에는 검사와 관련된 부작용 및 잠재적 위험에 대한 정보를 제공하는 것이 권장된다. 일반적으로 성인 암환자에서  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 적응증의 예는 다음을 포함한다.

- 1) 양성 병변과 악성 병변의 구분
- 2) 알려진 악성 종양을 가진 환자의 병기 설정
- 3) 알려진 악성 종양에 대한 치료효과 모니터링
- 4) 치료 후 다른 영상검사법에 나타나는 잔존 이상 소견이 종양인지 치료와 관련된 변화(염증, 섬유화, 괴사)인지를 구분
- 5) 암의 첫 발현 징후로 전이성 질환이 발견된 경우 알려지지 않은 원발암의 발견
- 6) 암표지자의 상승과 같은 임상적 적응증이 있을 경우 "잠복" 암질환의 발견
- 7) 방사선 치료 계획을 위한 병변의 범위 설정
- 8) 생검을 위해 진단 정보를 가장 잘 제공할 것으로 예상되는 종양 부위의 선택.

그러나  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT의 임상적 활용은 종양학에서 계속 확대되고 있으므로 적절한 적응증의 전체 목록을 제공하는 것은 가능하지 않으며 적응증은 위에서 제시한 예에 국한되지 않는다. 또한, 우리나라에서는 종양에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT가 건강보험에서 정한 요양급여의 적용기준에

따라 시행이 되어야 되므로, 관련된 문서들을 참고하여 시행하는 것이 필요하다.

#### 4-2. 소아

소아 종양환자에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT의 임상 적응증은 성인과 크게 다르지 않으며, 소아에서 호발하는 대표적인 암종에 대한 적응증은 다음과 같다.

- 1) 악성 림프종: 초기 병기 설정, 치료 반응 평가, 병기 재설정, 방사선 치료 계획 수립, 예후 평가[3-6]
- 2) 육종(골육종, 유잉 육종, 횡문 근육종 및 기타 연조직 육종): 초기 병기 설정, 치료 반응 평가, 병기 재설정, 예후 평가[7-13]
- 3) 신경모세포종: 예후 평가[14-17]
- 4) 중추 신경계 종양: 등급 분류, 치료 반응 평가, 예후 평가, 생존 종양조직과 방사선 치료 후 변화 구분[18-20]
- 5) 두경부 종양[21]
- 6) 랑게르한스 세포 조직구증[22-24]
- 7) 이식 후 림프증식성 질환[25]
- 8) 생식세포종양: 병기 설정 및 재발 확인[26]
- 9) 윌름 종양[27, 28]
- 10) 신경섬유종증 유형1: 신경 섬유종의 악성 변화 의심 시[29, 30]

#### V. 자격요건과 종사자의 책무(Qualifications and responsibilities of personnel)

방사성의약품을 사용하는 진단 절차의 대한핵의학회 기술적 표준안 자격을 준수한다[31].

#### VI. 검사 시행 절차(Procedure/specifications of the examination)

##### 6-1. 방사성의약품(Radiopharmaceuticals)

$^{18}\text{F}$ -FDG는 중앙 PET에 가장 일반적으로 사용되는 방사성의약품이다.  $^{18}\text{F}$ 는 사이클로트론에서 생산된 방사성동위원소로, 약 110분의 반감기를 가진다.  $^{18}\text{F}$ -FDG는 세포막의 포도당 수송체를 통해 세포 내로 흡수되고 생리학적 포도당 대사 경로의 첫번째 단계에 결합되는 포도당의 유사체이다. 따라서,  $^{18}\text{F}$ -FDG의 흡수 정도는 세포의 포도당 대사 활동 정도를 나타낸다[32]. 다른 PET용 방사성의약품도 중앙 분야에서 사용되어 왔으나, 이 절차 지침은  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT에 대해서만 국한된다. 다른 PET용 방사성의약품의 사용, 뇌 PET 및 PET/MRI의 사용은 이 절차 지침에서 논의되지 않는다.

$^{18}\text{F}$ -FDG 권장량은 성인의 경우 2.5–5.0 MBq/kg ( $\pm 10\%$ )로 정한다. 즉, 60 kg의 성인의 경우 150–300 MBq를 투여한다. 국내 설문조사 상으로는 성인의 경우 평균 4.0 MBq/kg (중위값: 3.7 MBq/kg; 범위: 1.9–5.2 MBq/kg)가 투여되고 있었다. 소아의 경우 3.7–5.2 MBq/kg (최소용량 26 MBq 또는 0.7 mCi)을 투여한다. 소아에게 투여되는 용량은 체중을 기반으로 설정되어야 하며, 진단 영상에 합리적으로 가능한 한 낮아야 한다. 스캐너의 사양 또는 영상 프로토콜에 따라 용량을 조정할 수 있다. 소아 투여량에 대한 세부 내용은 2016년 북미 합의 지침 개정판 및 유럽핵의학회의 소아 권고 투여량을 참조하도록 한다[33, 34]. 우리나라의 경우 조사된 병원을 대상으로 약 70%가 3.7–5.2 MBq/kg의 권장 용량을 투여하고 있으며 그 외에 대부분은 3.7 MBq/kg 미만으로 투여되고 있었다.

PET의 유효선량은 투여된 방사능과 환자의 연령에 따라 다르다. 투여 방사능 MBq당 유효선량은 성인은 0.0192 mSv/MBq, 15세는 0.022 mSv/MBq, 10세는 0.0323 mSv/MBq, 5세는 0.0482 mSv/MBq, 1세는 0.0801 mSv/MBq이다[35, 36]. CT의 유효선량은 진단용 CT인지 저선량 CT인지를 포함한 여러 요인에 따라 달라질 수 있으며 대략 1–10 mSv (장비에 따라 그 이상)이다[2].

## 6-2. 환자의 준비 및 주의사항(Patient preparation and precautions)

의사, 간호사 또는 담당 방사선사는 안전하고 정확한 검사를 위해 환자에게 아래의 검사 전

주의사항 및 검사 과정에 대하여 자세한 설명을 제공하고 환자를 준비시킨다.

### 1) 검사 전 금식 및 수분 섭취

환자는 일반적으로  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 영상 촬영 전 4시간 이상 금식을 유지해야 하며 당분 또는 포도당이 포함된 물질의 경구 및 정맥 투여를 금지한다. 검사 1-2시간 전부터 충분한 수분을 공급하여(예: 0.5 L 이상의 생수 섭취, 필요 시 포도당이 포함되지 않은 정맥 수액 투여)  $^{18}\text{F}$ -FDG의 신장 배설을 촉진하도록 한다.

### 2) 임신과 모유 수유

여성 환자의 경우 검사 전 필요 시 임신 검사를 시행한다. 임신 중이거나 임신이 의심되는 여성 환자의 경우  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사로 인한 이득과 가능한 위험을 고려하여 임상적 판단 하에 검사를 시행할 수 있다.  $^{18}\text{F}$ -FDG는 모유로 적게 분비되기 때문에 ICRP 권고 사항에 따라 수유를 중단하지 않아도 무방하다. 그러나, 수유 중인 유방에  $^{18}\text{F}$ -FDG가 축적될 수 있으므로 수유 유아에 대한 방사선 노출을 피하기 위해  $^{18}\text{F}$ -FDG 투여 후 12시간 동안 수유부와 유아의 근접 접촉을 제한하는 것이 좋다.  $^{18}\text{F}$ -FDG 투여 전에 수유하는 것을 권장하며, 다음 수유까지의 시간 간격을 최대화한다. 그 동안은 미리 짜낸 모유를 젖병 수유하는 것이 수유부와 유아 간의 근접 접촉을 최소화하는 데 도움이 될 수 있다.

### 3) 혈당 관리 및 당뇨 환자에서의 주의사항

$^{18}\text{F}$ -FDG 주사 직전에 혈당 검사를 시행하고 혈당치를 기록으로 남긴다. 검사 전 혈당치는 가급적  $<11 \text{ mmol/L}$ ( $<200 \text{ mg/dL}$ )을 권장하지만 이보다 높더라도 검사의 절대적 금기는 아니다. 인슐린 치료 중인 당뇨 환자의 경우, 초속효성 인슐린 투여 후 4시간 이상, 속효성 인슐린 투여 후 6시간 이상 경과한 후에  $^{18}\text{F}$ -FDG 주사를 권고한다. 중간형 또는 지속형 인슐린은 검사 당일  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 전에 투여하면 안된다.

#### 4) 검사 전 영상 해석에 영향을 미칠 수 있는 약물 투여

검사 전 약물 투여 또한 검사에 영향을 미칠 수 있으므로 관리 및 기록이 필요하다. 우선 화학요법 후 발생하는 백혈구 감소증을 치료하기 위해 과립구 콜로니 자극인자(G-CSF)를 투여하면 생리적인 골수  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 증가할 수 있으므로 G-CSF 투여 후 최소한 10일간의 간격을 두어 그 영향을 최소화할 것을 권장한다[37]. 특히, 지속형 과립구 콜로니 자극인자(long acting G-CSF)인 경우는 골수  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 더 오랫동안 증가할 수 있어 주의가 필요하다. 어깨 삼각근에 예방주사 접종 후 4-6 주간 동측 액와, 쇄골 상부, 하경부 림프절에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 일시적으로 나타날 수 있다[38, 39]. 특히, 유방암이나 두경부 암과 같이 액와 또는 하경부 림프절에 대한 평가가 중요할 경우 이러한 영향이 고려되어야 한다[40]. 당뇨 환자에서 메트포르민 복용은 위장관에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 흡수를 증가시킬 수 있지만 검사 전에 반드시 중단할 필요는 없다.

#### 5) 검사 전 생리적 섭취 감소

골격근, 심근 및 비뇨기계 등의 정상 조직에서의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 정확한 영상 해석에 영향을 주기 때문에 이를 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 근육의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취를 감소시키기 위하여 환자는 주사 전 24시간 동안 격렬한 신체 활동을 피해야 한다. 대기실은 적절한 실내 온도를 유지해야 하며, 너무 춥거나 바람이 통하지 않게 하여 갈색 지방의 섭취를 피하도록 한다. 필요한 경우 검사 전 베타 차단제나 다이아제팜을 사용하여 갈색 지방의 섭취를 줄일 수 있다. 그 외에 환자가 PET/CT 검사대에 오르기 직전에 배뇨를 유도함으로써 비뇨기계의 섭취를 줄일 수 있다.

#### 6) 방사선 치료 또는 항암치료 후 반응평가

외부 방사선 치료는 조사된 영역 내에 국소적인 염증을 유발함으로써  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취를 증가시킬 수 있다. 이러한 섭취의 영향을 최소화하기 위해 방사선 치료 후 최소 12주가 지난 후  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT를 시행할 것을 권장한다[41-44]. 또한 방사선 치료를 받은 환자의 경우 조사 범위에 포함된 정상 조직에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취의 감소 및 증가 소견을 보일 수 있으므로 해석에 주의를

필요로 한다. 조사된 영역 내의 골수, 뇌, 편도 등에서는 생리적 기능의 손상으로 인해  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 낮게 나타날 수 있다. 반면 근육이나 피하지방 등의 연조직에서는 섭취가 증가되어 보일 수 있으며 폐나 간 등의 장기에서는 방사선 유발성 폐렴이나 간염으로 인해 염증을 동반하는 섭취증가 소견이 보일 수 있다[45]. 항암 화학 요법 이후에도 치료에 의한 염증성 섭취를 최소화하여 정확한 치료 반응 평가를 도모하기 위해 화학 요법 종료 후 최소 3주 후에  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT를 시행할 것을 권장한다[46]. 또한 항암 화학 요법 이후에도 일부 기관에서  $^{18}\text{F}$ -FDG의 생리적인 섭취증가가 보일 수 있다. 화학 요법으로 인한 골수 억제 후 몇 개월 동안 정상적인 조혈 작용의 증가로 인해 적골수에서 미만성의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 증가가 보일 수 있다[47]. 또한 화학 요법 후 생리적 반응과 연관되어 흉선과 편도에서 수개월 동안  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 증가가 보일 수 있다[48-50]. 면역관문억제제(immune check point inhibitor)와 같은 면역 항암 요법 후에는 초기 단계에서 종양 부위로의 면역세포 이동으로 인하여 실제 명백한 효능이 있음에도 불구하고 종양의 포도당 섭취 정도가 증가하거나 새로운 병변의 출현과 같은 유사 진행(pseudoprogression)이 일어날 수 있어 해석에 주의를 기울여야 한다[51].

## 7) 진정

환자 상태에 따라 필요하면 진정 상태에서 검사를 시행할 수 있다. 일반적으로 마취는 피한다. 진정 또는 마취가 필요한 경우는 각 병원의 정책에 따라 시행한다[2].

### 6-3. 검사 시행을 위한 사전정보(Required clinical information)

검사 시행 전에 아래의 관련 정보들을 확인하는 것은 정확한 영상 판독에 도움을 줄 수 있다.

- 금식 상태
- 당뇨의 과거 병력 및 혈당 수준
- 환자의 체중과 신장
- 병태생리학적 이상 및 증상이 있는 부위
- 발열이나 급성 염증성 지표(예: C-반응성 단백질 또는 적혈구 침강 속도)의 상승

- 외상, 최근 수술 또는 침습적 진단 시술 여부
- 악성 질환의 병력, 최근의 항암 또는 방사선 치료
- 알려진 감염이나 염증성 상태 또는 면역 억제 상태
- 조직 증식이 높은 양성 질환의 존재
- 임신 또는 임신 의심, 수유, 마지막 월경 날짜
- 예방주사 접종력

#### 6-4. 방사성의약품 투여 및 영상획득(Tracer administration and imaging)

##### 1) <sup>18</sup>F-FDG 투여

(1) <sup>18</sup>F-FDG의 권장 투여량은 성인의 경우 일반적으로 2.5–5 MBq/kg body weight ( $\pm 10\%$ )로 한다. 소아의 경우 3.7–5.2 MBq/kg(최소용량 26 MBq 또는 0.7 mCi)을 투여한다. 환자의 체중, PET 장비 시스템(PET bed 중첩, 검출기 구성 등), bed 당 영상 획득 시간을 고려하여 영상의 품질을 저해하지 않는 적절한 용량이 투여되도록 한다.

(2) 환자의 체중이 75kg 이상인 경우, 계산값보다 약간 더 많은 용량을 투여하는 것은 과도한 감쇠로 인하여 영상의 품질이 낮아지는 것을 보상할 수 있다. 또한, 과체중 환자에서는 <sup>18</sup>F-FDG 투여량을 권고 용량 내로 유지하기 위해 bed 당 영상 획득 시간을 늘려서 보상할 수 있다.

(3) 방사성의약품은 가급적 이미 알려진 또는 의심되는 병소의 반대측에 정맥 주사로 주입할 것을 권장한다.

(4) PET/CT 촬영은 <sup>18</sup>F-FDG 투여 약 60분 후에 시작하며, 영상 촬영 바로 직전에 배뇨를 하도록 한다.

##### 2) PET 영상 획득

(1) 촬영은 PET/CT 장비(PET/CT 스캐너, 소프트웨어 등), 스캔의 적응증, 의뢰 임상과의 요청사항, 관심 부위 등 많은 변수에 따라 달라진다. 촬영 프로토콜은 기관 정책을 준수해야 한다. 따라서, 각 기관은 자체 고유한 PET/CT 프로토콜을 가질 수 있다.

(2) 영상은 일반적으로 환자를 누운 자세로 두고 두개골 기저부터 허벅지 중간까지 획득하는 토르소 PET/CT 영상을 얻는다.

(3) 토르소 부위 이외에 병변이 의심되는 경우에는 정수리부터 발까지 포함하여 전신 PET/CT 영상 또는 토르소+추가 영상을 얻는다. 일반적으로 림프종과 같이 전신 침범이 흔한 암종이나 악성 흑색종 또는 피부암과 같이 피부 말단 부위에서 발생할 수 있는 암종의 경우 이러한 전신 PET/CT 영상 촬영이 정확한 병변의 범위 설정 및 반응 평가에 도움을 줄 수 있다.

(4) PET 영상 획득 시간은 대개 bed 당 1-3분 또는 더 길 수 있으며 이는 주사된 방사성의약품의 방사능, 환자의 몸무게, PET 장비의 민감도(주로 검출기 구성과 영상 획득 방식에 의해 결정됨)에 근거한다.

(5) PET과 CT 영상내의 움직임에 의한 계측오차를 줄이고, PET/CT 영상의 위치를 정확히 일치시키기 위해 일부 기계에서 움직임을 보정하기 위한 소프트웨어를 사용하거나, gated PET과 같은 움직임 검출 시스템과 같은 하드웨어를 이용한 보정방법을 이용할 수 있다. 현재 우리나라에서는 약 38%에서 움직임 보정 방법을 시행하여 PET/CT 영상을 얻는 것으로 조사되었다.

(6) 필요한 경우  $^{18}\text{F}$ -FDG 투여 후 약 90-120분 후에 관심 영역에 대한 1-2 bed의 지연 영상을 추가로 촬영하여 병변의 평가에 이용할 수 있다[1, 52]. 지연 영상은 종양 조직과 정상 조직에서 시간에 따른 청소율(clearance)의 차이로 인해 목표 대 배경 비율(target-to-background)을 증가시켜 종양의 평가에 도움을 줄 수 있다. 그러나  $^{18}\text{F}$ 의 붕괴로 인한 잡음 증가 등으로 영상 대조도가 저해될 수 있어 병변 및 평가 목적에 따라 이득을 고려하여 시행되어야 한다.

### 3) CT 영상 획득

(1) 감쇠 보정과 해부학적 위치 파악을 위해 CT를 촬영한다.

(2) CT 영상은 다양한 매개변수(예: 관류 전류, 전압, 슬라이스 두께, 회전 시간 및 피치)로 획득될 수 있다. 이러한 획득 매개변수는 환자의 방사선 노출을 최소화하면서 필요한 진단 정보를 얻을 수 있는 적절한 용량으로 선택되어야 한다.

(3) CT 검사 시에는 가급적 환자 피폭 선량을 줄이기 위하여 자동선량조절장치, 환자크기에

다른 관전압선택, 반복적 재구성 알고리즘 등 가능하다면 피폭 저감화 프로그램을 사용하는 것이 권고된다. 현재 우리나라에서는 조사된 79개 장비 중 96%(n=76)가 CT 피폭 저감화 프로그램을 탑재하여 사용하고 있다.

(4) 임상적 필요에 따라 조영제를 투여하여 CT 영상을 얻을 수 있다. 이때 조영제에 대한 알레르기 병력, 신기능(예: 사구체 여과율, 혈청 크레아티닌 수준) 등의 사항이 조영제 투여 전에 고려되어야 한다.

### 6-5. 영상 처리(Image processing)

PET 스캐너에서 수집한 초기 획득 자료는 몸의 조직과 장기에 있는 정확한 방사성의약품의 분포를 나타내기 위해 재구성되어야 한다. 3D 모드에서 획득한 데이터는 3D 재구성 알고리즘을 사용하여 직접 재구성하거나 2D 데이터로 재결합한 후 2D 재구성 알고리즘을 사용하여 재구성할 수 있다. 영상 재구성 알고리즘으로는 Ordered-Subset Expectation Maximization(OSEM)과 같은 반복적인 재구성 방법 또는 여과후 역투사법(Filtered Back Projection, FBP) 방법이 사용되는데, 보다 잡음이 적고 예민도가 높은 반복적인 재구성 방법이 선호된다. 여과후 역투사법은 반복적인 재구성 방법을 얻은 영상이 정량치에 오류가 의심될 경우 사용해 볼 수 있다. 영상 재구성 중에는 감쇠, 산란, 무작위, 불응시간 보정은 물론 측정기 감도 정규화를 포함하여 정량적 해석을 위한 모든 보정이 필요하다. 재구성된 영상에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 정도의 반정량적 평가를 위해, 측정된 국소 방사능 농도와 체중, 제지방량(lean body mass) 또는 체표면적(body surface area)을 이용하여 표준섭취계수(standardized uptake value, SUV)를 산출할 수 있다.

Time-of-Flight(TOF) 등의 최신기법을 사용하면 PET 스캔의 정확도와 영상 품질을 향상시킬 수 있다[53]. 또한 point-spread function(PSF) 재구성 알고리즘은 향상된 등방성 공간 해상도, 감소된 스텔 인/스텔 아웃 및 궁극적으로 작은 병변에서의 방사능 농도(Bq/mL) 또는 표준섭취계수(SUV) 증가로 인해 병변을 더 쉽게 탐지하고 잘 평가할 수 있게 한다[53]. 현재 우리나라에서는 TOF가 78%(n=62)에서 PSF는 68%(n=54)의 장비에서 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

## VII. 영상 판독 및 보고(Image interpretation and reporting)

### 7-1. 생리학적인 $^{18}\text{F}$ -FDG 분포

$^{18}\text{F}$ -FDG의 섭취는 주사 60분 후에 뇌, 심장, 신장 및 요로 등에서 정상적으로 관찰될 수 있다 [54, 55]. 심근의 섭취는 공복 상태에서 일반적으로 낮지만(심근은 공복상태에서 포도당 대신 유리 지방산을 주에너지원으로 사용하기 때문) 일부 환자에서는 높을 수 있다.  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 근육에서도 관찰될 수 있는데, 이는 최근의 운동 여부 및 인슐린 사용과 관련이 있다. 위장관의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 환자마다 다양하며, 특히 메트포르민을 복용하는 환자에서 보일 수 있다[56]. 발다이어 고리(Waldeyer's ring) 및 말초 림프 조직에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 증가될 수 있다. 어린이와 청소년에서는 흉선의 생리학적인  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취가 관찰될 수 있다[57]. 갈색 지방의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 주로 젊은 환자 및 낮은 온도 환경에서 관찰될 수 있다[58].

빈혈 또는 염증이 있는 환자에서 반응성 변화로서 골수의  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 증가가 가변적으로 관찰될 수 있다. 항암화학요법 또는 과립구 집락자극인자(granulocyte colony-stimulating factor, G-CSF) 투여 후에 골수에 전반적인  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 증가가 보일 수 있다[59].

### 7-2. 영상 판독(Image interpretation)

#### 1) PET/CT 영상의 기술적 조건

PET/CT 영상은 방사성 의약품이 신체의 대사 활동을 반영하여 섭취된 부분을 보여주는 PET 이미지, 해부학적인 구조를 제공하는 CT 이미지, PET과 CT 영상을 결합하여 대사 활동과 해부학적 구조를 동시에 보여주는 PET/CT fusion 이미지, 각 단면 영상의 투영선상의 화소 중 최대 신호강도 부분만을 선택하여 2차원 PET영상을 3차원 영상으로 재구성한 Maximum Intensity Projection (MIP) 이미지로 구성된다. PET 영상은 적절한 범위의 값을 제공하기 위해 최소 16비트 깊이의 픽

셀을 가져야 하며 적절한 이미지 스케일링을 사용해야 하고, 컬러 스케일을 사용할 수 있다. PET 영상은 축상(axial) 방향으로 표시되어야 하며, 관상면(coronal) 및 시상면(sagittal)의 형태학적 이미지와 상관관계가 있어야 한다. 이러한 영상들을 의료영상저장전송시스템(Picture Archiving and Communication System, PACS)로 전송할 때, Digital Imaging and Communications in Medicine(DICOM) 표준을 따라야 한다. 또한 PET/CT 영상을 PACS에 전송할 때 PET axial, CT axial, PET/CT fusion axial, MIP 영상을 필수적으로 포함시킬 것을 권고한다. PET/CT fusion과 MIP 영상을 만들 때 상하한 원도 SUV 수치는 일정값을 유지하여, 영상간 비교가 가능하게 한다. 국내 설문조사 결과에 따르면, 61개 참여 기관 모두가 PACS에 PET/CT fusion axial 및 MIP 영상을 올리고 있으나, PET axial 영상은 97%(n=59), CT axial 영상은 98%(n=60) 기관에서 올리고 있다. PACS 상 MIP 영상의 상하한 원도 SUV 수치는 0-7(28%), 0-10(21%), 0-5(15%) 순으로 빈번했고, PET/CT fusion 영상의 상하한 원도 SUV 수치는 0-7(26%) 또는 0-10(26%)가 과반수 이상이었고, 0-5(15%) 순이었다.

## 2) 육안적 판독

$^{18}\text{F}$ -FDG 섭취는 육안적으로 분석한다. 섭취의 패턴을 초점형(focal), 선형(linear), 확산형(diffuse)으로 구분할 수 있으며, 섭취 강도를 평가하고 생리학적 섭취와 감별한다.  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취의 정도를 경미(mild), 중간(intermediate) 또는 강렬(intense)로 기술할 수 있다. PET 영상의 정보는 CT의 해부학적 정보와 비교한다.

## 3) 정량 분석

다음과 같이 다양한 정량분석 방법들이 알려져 있다.

- 최대 SUL 또는 SUV(SULmax, SUVmax): SULmax와 SUVmax는 특정 병변 내에서 가장 높은

섭취를 가진 단일 복셀의 측정값이다.

- SUVpeak 또는 SULpeak: 3D 1.2 cm 직경(1.0 mL 부피)의 구형 관심영역(volume-of-interest, VOI)를 사용하여 병변 내 모든 위치의 평균 값을 최대가 되도록 위치시킨다[60].

- 평균 SUV, 대사적종양체적(metabolic tumor volume, MTV), 총해당능(total lesions glycolysis, TLG): 평균 SUV는 VOI안의 각 복셀들 SUV의 평균값이고, MTV는 각 VOI를 체적으로 환산한 값이고, TLG는 평균 SUV와 MTV를 곱한 값이다. 이 체적기반 PET 파라미터들은 관심영역인 3D VOI의 경계 설정을 해야 한다. 크게 다음과 같은 3가지 방법이 사용될 수 있으나 아직 합의된 방법은 없다.

- (1) 2.5, 3.5 등과 같은 특정 SUV 또는 SUL을 경계 설정에 사용하는 방법[61].

- (2) SUVmax 또는 SULmax 임계값의 특정 백분율을 경계 설정에 사용하는 방법(예. 최대 픽셀 값의 50%에서 3D 등고선, VOI<sub>50%</sub>)[62, 63].

- (3) gradient-based method 로 경계를 설정하는 방법[64].

- 텍스처 분석법(texture analysis): 종양 내의 대사적 이질성을 정량적 수치로 표현하기 위해 VOI 내에서 섭취의 공간적 분포에 기반한 텍스처 분석을 수행할 수 있다. 텍스처 변수들은 3차원 이미지 픽셀(voxel)의 개수와 그들의 공간적 관계에 따라서 1차, 2차 및 고차로 분류된다. 1차 텍스처 변수는 주로 섭취 강도의 빈도를 기반으로 한 히스토그램에서 계산된다. 2차 텍스처 변수는 주로 GLCM(Gray-Level Co-Occurrence Matrix)에서 계산된다. 고차 텍스처 변수는 여러 voxel 간의 상호 관계를 기반으로 계산된다. NGTM(Neighborhood Gray-Tone Difference Matrix)은 높은 차수 텍스처 매트릭스 중 하나이며, 특정 거리 내의 인접 voxel과의 차이를 계산한다. GRLM(Gray-Level Run-Length Matrix)과 GLSZM(Gray-Level Size Zone Matrix)은 각각 주어진 방향으로 동일한 회색조를 가진 voxel의 런 길이와 동일한 회색조를 가진 연속된 voxel의 크기를 고려한다[65-67]. 이러한 텍스처 분석은 종양 내의 대사적 이질성을 정량적으로 표현하기 위해 유용하지만 VOI의 크기와 위치, 분석에 사용된 소프트웨어

의 구현 방식, 스캐너의 종류와 이미지 재구성 방법, 그리고 히스토그램 기반 분석에서 고정된 bin 크기(fixed bin-size)의 선택 등에 따라 크게 영향을 받는다. 이러한 요인들은 텍스처 변수의 계산 결과에 변동을 초래할 수 있으며, 분석의 재현성과 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 또한, 현재 표준화된 프로토콜이 부족하여 다기관 연구나 다른 연구 간의 비교에 제한을 갖는다. 따라서 향후 다양한 기술적 요인과 표준화 부족의 해결이 텍스처 분석법의 임상적 유용성을 확장하는 데에 있어 요구된다[68, 69]

참고 기관(reference organ)의 섭취를 측정하는 것이 PET/CT 품질 평가와 반정량적 평가에 많이 사용된다. 많이 사용되는 참고 기관들은 종격동 혈액풀(mediastinal blood pool)과 간(liver)이다. 가장 많이 사용되는 간의 섭취 측정법은 간 상엽 우측에 3 cm 직경의 구형 VOI를 배치하여 평가하는 것이며, 악성종양 및 장기 경계를 피해야 한다. 간의 평균 SUL은 1.0에서 2.2 사이(평균 SUV는 1.3에서 3.0 사이)로 알려져 있다[70]. 이 범위를 벗어나는 간 SUL은 잘못된  $^{18}\text{F}$ -FDG 투여 또는 기술적 문제를 나타낼 수 있다. 종격동 혈액풀의 측정은 흉부 대동맥 내부에 여러 VOI를 그려서 혈관 내부의 평균 섭취를 측정하는 방법으로 계산되며, VOI에 혈관 벽이 포함되지 않도록 주의해야 한다. 혈액 풀 SUL 측정값은 약 1.2(혈액 풀 SUV는 약 1.6)로 예상된다[60, 70, 71]. 이 수치들은 장비 및 영상재구성법에 따라 다를 수 있다.

#### 4) 일반적인 해석 기준

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 영상을 평가하기 위해 다음 사항을 고려해야 한다.

- 임상적 촬영 목적 및 요청
- 촬영 프로토콜 및 영상 재구성 방법(감쇠 보정 유무 포함)
- $^{18}\text{F}$ -FDG의 생리학적 분포 및 환자의 개인적인 변이

- 임상 정보, 생화학 검사 및 다른 영상 소견
- 위음성의 가능성(병소의 크기가 작은 경우, 조직학적으로 포도당 대사가 낮은 암종, 고혈당, 주변의 강한 생리적 섭취로 인해 병소가 가려진 경우, 대사 저하, 섭취에 영향을 약물 사용 등)
- 위양성의 가능성(방사성의약품의 주사 부위 섭취 및 외부 오염, 과도한 감쇠 보정, 생리학 섭취, 종양과 관련이 없는 이상 섭취 등)

PET 영상의 감쇠 보정에 저선량 CT 영상을 사용한 경우(특히 금속 장치 또는 임플란트가 있는 경우) PET 영상 판독 시 주의가 필요하다. 필요한 경우 감쇠 보정 및 비감쇠 보정 영상 모두를 평가하는 것이 권장된다.

### 7-3. 영상 보고(Reporting)

판독문은 아래의 정보를 포함해야 하며, 제기된 특정 임상 질문에 답하기 위한 간결하고 구조화된 보고서를 제공하는 것이 권고된다[72].

#### 1) 검사와 관련된 기본 정보

보고서에는 기본 정보로 검사명, 환자의 전체 성명, 병원 등록번호, 검사 수행일과 시간이 기재되어야 하며 환자의 성별, 연령 또는 생년월일, 검사 의뢰과, 의뢰의사명이 추가적으로 포함될 수 있다.

#### 2) 임상 정보

검사 의뢰과/의뢰의사가 제시하는 검사를 수행하는 목적과 해결해야 할 구체적 요청이 포함된다. 환자의 병력으로는 진단명과 간단한 치료 병력이 포함된다. 관련된 다른 진단 검사 결과, 비

교할 만한 영상 검사 및 이전 PET/CT 소견을 명시할 수 있다.

### 3) 절차 설명

방사성의약품의 이름, MBq 또는 mCi로 표시된 투여 용량, 투여 경로(정맥주사), 투여 일시, 투여 부위(주사부위)가 포함된다. 전처치로 진정제 등의 약물을 투여하는 경우는 약물의 종류, 투여량, 투여 시간 등에 대하여 기록을 한다. 촬영에 관련해서는 촬영시간, 촬영범위를 명시하며, 환자의 자세(누워 있는 자세, 팔의 위치 등)이 비표준적인 경우 명시되어야 한다. 감쇠 보정 및 방출 영상의 해부학적 위치 파악을 위해 저선량 CT 스캔을 함께 촬영한 점이 명시되어야 한다. 기타 판독에 영향을 미칠 수 있는 사건 또는 정보(예. 자세, 움직임, CT관련 인공산물, CT 조영제 사용여부, 경구 조영제 사용 여부 등)가 있으면 이를 명시한다. 움직임 보정과 같이 추가 처리가 필요한 특수한 상황이라면 이에 대한 설명이 필요하다. 구체적인 PET/CT 장비에 대한 정보는 선택적으로 기술할 수 있다.

### 4) 진단, 소견 기술

각 임상 적응증에 적합한 해석 기준에 따라 소견이 보고되어야 한다. 영상 소견은 해부학적 관점과 기능적/대사적 관점 모두에서 설명되어야 하며 가능한 한 환자의 임상 징후와 연관되어야 한다. 이 때 여러 소견들은 중요한 순서대로 또는 부위별로 그룹화하여 기술할 수 있으며, 중요한 소견은 논리적인 방식으로 기술되어야 한다. 스캔에 포함된 각 부위에서 비정상적인 병변의 유무, 병변의 위치,  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 양상 및 정도, CT에서의 비정상적 병변 유무를 평가해야 한다(검사 목적과 상관없이 예상치 못하게 발견된 소견 포함). 소규모 병소, 저등급 악성 병변, 인공산물 등의 데이터 품질 또는 진단 정확도를 낮출 우려가 있는 요소들 또한 명시되어야 한다. 검사가 정상인지 비정상 소견으로 보이는지 기술하고 가능한 경우 명확한 진단을 제시해야 한다. 또는 진단 가능성의 정성적 추정과 감별 진단을 제시하도록 한다. 비교 가능한 이전 PET 영상이 있는 경우를

이를 명시하고 비교하여 판독한다. 필요시 적절한 추가 검사 또는 후속 PET/CT 검사 권고 등을 기술할 수 있다.

필요시는 병변의 정량적, 반정량적 지표를 판독문에 기술할 수 있다. 특히, 치료반응 평가에서는 이러한 지표들이 도움이 될 수 있다. 예로, 고형암에서는 PET Response Criteria for Solid Tumors (PERCIST)가 대표적이며[60], 악성 림프종에서는 5점 척도 기반의 Deauville criteria가 대표적이다[73-75].

#### 5) 결론

가장 중요한 영상 소견 및 가능성이 높은 진단을 우선적으로 기술하며 적절한 감별 진단들을 함께 제시할 수 있다. 필요한 경우, 결론을 명확히 하기 위해 후속 PET/CT 촬영 또는 추가적인 다른 진단 검사 권고 문구를 넣을 수 있다.

### VIII. 영상 장비의 제원(Equipment specifications)

PET 방출 데이터의 감쇠 및 산란 보정에 사용할 수 있는 저선량 CT 가 탑재된 3D PET/CT 스캐너가 권고된다. 영상 획득 시스템은 3D 모드에서 정적/동적 또는 list mode의 PET 방출 데이터를 모두 수집할 수 있어야 하고, 단일 또는 다중 프레임에서 감쇠 보정 전/후 영상을 모두 재구성할 수 있어야 한다. 감쇠 보정이 없는 PET 영상은 1차 해석에 사용해서는 안 되지만 감쇠 보정된 PET 영상에서 인공산물을 인식하는 데 유용할 수 있다. 또한 이 영상 획득 시스템은 온라인 랜덤 보정, 산란 보정, 감쇠 보정, 불응시간 보정 및 정규화가 가능해야 한다[76]. 반도체 검출기를 이용한 디지털 PET 스캐너는 기존 PET 장비보다 높은 공간해상도, 빠른 데이터 획득과 처리 등의 장점이 있다[77]. 2024년 6월 현재 우리나라에서 디지털 PET/CT 스캐너의 비율은 34%(n=27 of 79)로 조사되었다.

## IX. 품질보증, 안전, 감염관리 및 환자교육(Quality assurance, safety, infection control, and patient education)

### 9-1. 품질보증 및 안전(Quality assurance and safety)

핵의학 영상검사의 수행에 있어서 고도의 효율성과 신뢰성을 얻기 위해서 적절한 품질 보증 체계가 필요한데 이를 정도관리(Quality Controls, QC)라 한다. 핵의학 영상장비의 정도관리는 설치 후 품질관리를 보증하는 하나의 방법이며 진료의 질을 향상시키고 환자의 안전을 도모하는 데 필수적이다.

각 기관은 공급업체 제공 유지보수 및 적절한 정도관리 절차를 따라야 하며, 모든 환자의 검사는 점검을 마친 후 이상 유무가 확인된 경우에만 진행해야 하고, 점검은 정도관리지침서를 준수해야 한다. 정도관리의 구체적인 항목은 학회 정도관리지침을 따른다[78].

### 9-2. 감염관리(Infection control)

이 지침서의 감염관리는 대한의료관련감염관리학회에서 발간한 의료기관의 감염관리(제5판)을 기준으로 작성되었다[79].

환자 접촉과 관련된 매 단계 손위생을 실시하며, 사용한 주사기는 뚜껑을 덮지 않고 needle box에 처리한다. 검사 전 환자의 감염 여부를 확인하고, 감염이 확인된 경우 장갑/마스크/비닐앞치마/고글 등의 적절한 보호장구를 착용한다. 감염의 종류에 따라 아래 분류에 맞는 행동지침을 수행한다[79].

공통적으로 장비의 테이블에 환자 접촉으로 인한 오염을 줄일 수 있게 시트를 이용하여 덮으며, 검사 종료 후 환경소독제(예: 설파니오스 등)를 사용하여 장비 테이블과 환자와 접촉한 기구를 소독한 후 다음 검사를 진행하며, 검사 종료 후 사용된 시트와 오염물은 따로 보관 처리한다.

### 9-3. 환자교육(Patient education)

검사 담당자는 아래의 내용을 환자에게 설명하여 환자들의 검사에 대한 두려움과 궁금증을 해소하고 검사에 잘 협조할 수 있도록 한다.

- 이 검사는  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사로 병의 진단을 위해 시행된다.
- 검사 전 최소 4시간 이상의 금식이 필요하다.
- $^{18}\text{F}$ -FDG를 정맥주사 하게 되며, 주사 후 약품이 몸에 잘 퍼지도록 약 60분 정도 대기실에서 편안히 누워있다.
- 검사 직전 소변을 본 뒤 검사를 진행한다.
- 검사 소요 시간은 10-30분 정도이며, 검사 과정 중 통증이 동반되지는 않는다.
- 검사가 끝난 후 검사가 잘 끝났는지 확인 후 검사를 마치게 되며, 필요 시 추가 촬영이 있을 수 있다.
- 검사 후 특별한 조치는 필요하지 않는다.
- 폐소공포증이 있으면 미리 의료진에게 알려준다.

#### X. 이해관계(Conflict of interest)

대한핵의학회 의무위원회 위원들은 이 지침과 관련된 이해 상충이 없음을 선언한다.

#### XI. 승인(Acknowledgement)

이 지침은 SNMMI/EANMMI 가이드라인 및 관련 문헌을 기준으로 작성되었으며, 대한핵의학회 의무위원회 및 회원들의 의견과 제안을 토대로 국내 사정에 적합하게 작성되었고, 대한핵의학회 이사회에서 2024년 2월 5일에 승인되었다.

#### XII. 참고문헌(References)

1. Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJ, Giammarile F, Tatsch K, Eschner W, et al. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2015;42:328-54.
2. Vali R, Alessio A, Balza R, Borgwardt L, Bar-Sever Z, Czachowski M, et al. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline on Pediatric  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT for Oncology 1.0. J Nucl

- Med. 2021;62:99-110.
3. London K, Cross S, Onikul E, Dalla-Pozza L, Howman-Giles R. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in paediatric lymphoma: comparison with conventional imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011;38:274-84.
  4. Kluge R, Kurch L, Georgi T, Metzger M. Current Role of FDG-PET in Pediatric Hodgkin's Lymphoma. *Semin Nucl Med*. 2017;47:242-57.
  5. Weiler-Sagie M, Bushelev O, Epelbaum R, Dann EJ, Haim N, Avivi I, et al. <sup>18</sup>F-FDG avidity in lymphoma readdressed: a study of 766 patients. *J Nucl Med*. 2010;51:25-30.
  6. Flerlage JE, Kelly KM, Beishuizen A, Cho S, De Alarcon PA, Dieckmann U, et al. Staging Evaluation and Response Criteria Harmonization (SEARCH) for Childhood, Adolescent and Young Adult Hodgkin Lymphoma (CAYAHL): Methodology statement. *Pediatr Blood Cancer*. 2017;64.
  7. Hurley C, McCarville MB, Shulkin BL, Mao S, Wu J, Navid F, et al. Comparison of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT and Bone Scintigraphy for Evaluation of Osseous Metastases in Newly Diagnosed and Recurrent Osteosarcoma. *Pediatr Blood Cancer*. 2016;63:1381-6.
  8. Tateishi U, Hosono A, Makimoto A, Sakurada A, Terauchi T, Arai Y, et al. Accuracy of <sup>18</sup>F fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in staging of pediatric sarcomas. *J Pediatr Hematol Oncol*. 2007;29:608-12.
  9. Völker T, Denecke T, Steffen I, Misch D, Schönberger S, Plotkin M, et al. Positron emission tomography for staging of pediatric sarcoma patients: results of a prospective multicenter trial. *J Clin Oncol*. 2007;25:5435-41.
  10. Im HJ, Kim TS, Park SY, Min HS, Kim JH, Kang HG, et al. Prediction of tumour necrosis fractions using metabolic and volumetric <sup>18</sup>F-FDG PET/CT indices, after one course and at the completion of neoadjuvant chemotherapy, in children and young adults with osteosarcoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012;39:39-49.
  11. Brenner W, Conrad EU, Eary JF. FDG PET imaging for grading and prediction of outcome in chondrosarcoma patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004;31:189-95.
  12. Costelloe CM, Macapinlac HA, Madewell JE, Fitzgerald NE, Mawlawi OR, Rohren EM, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT as an indicator of progression-free and overall survival in osteosarcoma. *J Nucl Med*. 2009;50:340-7.
  13. Raciborska A, Bilska K, Drabko K, Michalak E, Chaber R, Pogorzala M, et al. Response to chemotherapy estimates by FDG PET is an important prognostic factor in patients with Ewing sarcoma. *Clin Transl Oncol*. 2016;18:189-95.
  14. Sharp SE, Shulkin BL, Gelfand MJ, Salisbury S, Furman WL. <sup>123</sup>I-MIBG scintigraphy and <sup>18</sup>F-FDG PET in neuroblastoma. *J Nucl Med*. 2009;50:1237-43.
  15. Kushner BH, Yeung HW, Larson SM, Kramer K, Cheung NK. Extending positron emission tomography scan utility to high-risk neuroblastoma: fluorine-18 fluorodeoxyglucose

- positron emission tomography as sole imaging modality in follow-up of patients. *J Clin Oncol*. 2001;19:3397-405.
16. Li C, Zhang J, Chen S, Huang S, Wu S, Zhang L, et al. Prognostic value of metabolic indices and bone marrow uptake pattern on preoperative <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in pediatric patients with neuroblastoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018;45:306-15.
  17. Papathanasiou ND, Gaze MN, Sullivan K, Aldridge M, Waddington W, Almuhaideb A, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT and <sup>123</sup>I-metaiodobenzylguanidine imaging in high-risk neuroblastoma: diagnostic comparison and survival analysis. *J Nucl Med*. 2011;52:519-25.
  18. Borgwardt L, Højgaard L, Carstensen H, Laursen H, Nowak M, Thomsen C, et al. Increased fluorine-18 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) uptake in childhood CNS tumors is correlated with malignancy grade: a study with FDG positron emission tomography/magnetic resonance imaging coregistration and image fusion. *J Clin Oncol*. 2005;23:3030-7.
  19. Williams G, Fahey FH, Treves ST, Kocak M, Pollack IF, Boyett JM, et al. Exploratory evaluation of two-dimensional and three-dimensional methods of FDG PET quantification in pediatric anaplastic astrocytoma: a report from the Pediatric Brain Tumor Consortium (PBTC). *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2008;35:1651-8.
  20. Pirotte BJ, Lubansu A, Massager N, Wikler D, Van Bogaert P, Levivier M, et al. Clinical impact of integrating positron emission tomography during surgery in 85 children with brain tumors. *J Neurosurg Pediatr*. 2010;5:486-99.
  21. Cheuk DK, Sabin ND, Hossain M, Wozniak A, Naik M, Rodriguez-Galindo C, et al. PET/CT for staging and follow-up of pediatric nasopharyngeal carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012;39:1097-106.
  22. Kaste SC, Rodriguez-Galindo C, McCarville ME, Shulkin BL. PET-CT in pediatric Langerhans cell histiocytosis. *Pediatr Radiol*. 2007;37:615-22.
  23. Garcia JR, Riera E, Bassa P, Mourelo S, Soler M. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in follow-up evaluation in pediatric patients with Langerhans histiocytosis. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol*. 2017;36:325-8.
  24. Albano D, Bosio G, Giubbini R, Bertagna F. Role of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in patients affected by Langerhans cell histiocytosis. *Jpn J Radiol*. 2017;35:574-83.
  25. Wareham NE, Lundgren JD, Da Cunha-Bang C, Gustafsson F, Iversen M, Johannesen HH, et al. The clinical utility of FDG PET/CT among solid organ transplant recipients suspected of malignancy or infection. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:421-31.
  26. Hart A, Vali R, Marie E, Shaikh F, Shammas A. The clinical impact of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in extracranial pediatric germ cell tumors. *Pediatr Radiol*. 2017;47:1508-13.
  27. Begent J, Sebire NJ, Levitt G, Brock P, Jones KP, Ell P, et al. Pilot study of F(18)-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/computerised tomography in Wilms'

- tumour: correlation with conventional imaging, pathology and immunohistochemistry. *Eur J Cancer*. 2011;47:389-96.
28. Moinul Hossain AK, Shulkin BL, Gelfand MJ, Bashir H, Daw NC, Sharp SE, et al. FDG positron emission tomography/computed tomography studies of Wilms' tumor. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:1300-8.
  29. Treglia G, Taralli S, Bertagna F, Salsano M, Muoio B, Novellis P, et al. Usefulness of whole-body fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in patients with neurofibromatosis type 1: a systematic review. *Radiol Res Pract*. 2012;2012:431029.
  30. Azizi AA, Slavic I, Theisen BE, Rausch I, Weber M, Happak W, et al. Monitoring of plexiform neurofibroma in children and adolescents with neurofibromatosis type 1 by <sup>18</sup>F-FDG PET imaging. Is it of value in asymptomatic patients? *Pediatr Blood Cancer*. 2018;65.
  31. 대한핵의학회. 방사성의약품을 사용하는 진단절차에 대한 대한핵의학회 기술표준 v1.0. 2014.09.
  32. Gatenby RA, Gillies RJ. Why do cancers have high aerobic glycolysis? *Nat Rev Cancer*. 2004;4:891-9.
  33. Treves ST, Gelfand MJ, Fahey FH, Parisi MT. 2016 Update of the North American Consensus Guidelines for Pediatric Administered Radiopharmaceutical Activities. *J Nucl Med*. 2016;57:15N-8N.
  34. European Association of Nuclear Medicine (EANM). Dosage card (version 5.7.2016). EANM website. [https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM\\_Dosage\\_Card\\_040214.pdf](https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM_Dosage_Card_040214.pdf). 2016. Accessed September 22, 2020.
  35. Stabin MG, Siegel JA. RADAR Dose Estimate Report: A Compendium of Radiopharmaceutical Dose Estimates Based on OLINDA/EXM Version 2.0. *J Nucl Med*. 2018;59:154-60.
  36. Mattsson S, Johansson L, Leide Svegborn S, Liniecki J, Nosske D, Riklund KA, et al. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: a Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. *Ann ICRP*. 2015;44:7-321.
  37. Hanaoka K, Hosono M, Usami K, Tatsumi Y, Yamazoe Y, Komeya Y, et al. Fluorodeoxyglucose uptake in the bone marrow after granulocyte colony-stimulating factor administration in patients with non-Hodgkin's lymphoma. *Nucl Med Commun*. 2011;32:678-83.
  38. Eshet Y, Tau N, Alhoubani Y, Kanana N, Domachevsky L, Eifer M. Prevalence of Increased FDG PET/CT Axillary Lymph Node Uptake Beyond 6 Weeks after mRNA COVID-19 Vaccination. *Radiology*. 2021;300:E345-7.
  39. Advani P, Chumsri S, Pai T, Li Z, Sharma A, Parent E. Temporal metabolic response to mRNA COVID-19 vaccinations in oncology patients. *Ann Nucl Med*. 2021;35:1264-9.
  40. Lehman CD, D'Alessandro HA, Mendoza DP, Succi MD, Kambadakone A, Lamb LR.

- Unilateral Lymphadenopathy After COVID-19 Vaccination: A Practical Management Plan for Radiologists Across Specialties. *J Am Coll Radiol*. 2021;18:843-52.
41. Dejanovic D, Specht L, Czyzewska D, Kiil Berthelsen A, Loft A. Response Evaluation Following Radiation Therapy With  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT: Common Variants of Radiation-Induced Changes and Potential Pitfalls. *Semin Nucl Med*. 2022;52:681-706.
  42. Metser U, Miller E, Lerman H, Even-Sapir E. Benign nonphysiologic lesions with increased  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake on PET/CT: characterization and incidence. *AJR Am J Roentgenol*. 2007;189:1203-10.
  43. Isles MG, McConkey C, Mehanna HM. A systematic review and meta-analysis of the role of positron emission tomography in the follow up of head and neck squamous cell carcinoma following radiotherapy or chemoradiotherapy. *Clin Otolaryngol*. 2008;33:210-22.
  44. Gupta T, Master Z, Kannan S, Agarwal JP, Ghosh-Laskar S, Rangarajan V, et al. Diagnostic performance of post-treatment FDG PET or FDG PET/CT imaging in head and neck cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011;38:2083-95.
  45. Okuyama C, Higashi T, Ishizu K, Saga T. FDG-PET findings associated with various medical procedures and treatments. *Jpn J Radiol*. 2023;41:459-76.
  46. Barrington SF, Kluge R. FDG PET for therapy monitoring in Hodgkin and non-Hodgkin lymphomas. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:97-110.
  47. Lin EC. FDG PET/CT flip flop phenomenon in treated lymphoma of bone. *Clin Nucl Med*. 2006;31:803-5.
  48. Brink I, Reinhardt MJ, Hoegerle S, Althoefer C, Moser E, Nitzsche EU. Increased metabolic activity in the thymus gland studied with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET: age dependency and frequency after chemotherapy. *J Nucl Med*. 2001;42:591-5.
  49. Goethals I, Hoste P, De Vriendt C, Smeets P, Verlooy J, Ham H. Time-dependent changes in  $^{18}\text{F}$ -FDG activity in the thymus and bone marrow following combination chemotherapy in paediatric patients with lymphoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:462-7.
  50. Okuyama C, Matsushima S, Nishimura M, Yamada K. Increased  $^{18}\text{F}$ -FDG accumulation in the tonsils after chemotherapy for pediatric lymphoma: a common physiological phenomenon. *Ann Nucl Med*. 2019;33:368-73.
  51. Wolchok JD, Hoos A, O'Day S, Weber JS, Hamid O, Lebbé C, et al. Guidelines for the evaluation of immune therapy activity in solid tumors: immune-related response criteria. *Clin Cancer Res*. 2009;15:7412-20.
  52. Kuker RA, Mesoloras G, Gulec SA. Optimization of FDG-PET/CT imaging protocol for evaluation of patients with primary and metastatic liver disease. *Int Semin Surg Oncol*. 2007;4:17.
  53. Surti S. Update on time-of-flight PET imaging. *J Nucl Med*. 2015;56:98-105.
  54. Blodgett TM, Fukui MB, Snyderman CH, Branstetter Bft, McCook BM, Townsend DW, et al.

- Combined PET-CT in the head and neck: part 1. Physiologic, altered physiologic, and artifactual FDG uptake. *Radiographics*. 2005;25:897-912.
55. Fukui MB, Blodgett TM, Snyderman CH, Johnson JJ, Myers EN, Townsend DW, et al. Combined PET-CT in the head and neck: part 2. Diagnostic uses and pitfalls of oncologic imaging. *Radiographics*. 2005;25:913-30.
56. Israel O, Yefremov N, Bar-Shalom R, Kagana O, Frenkel A, Keidar Z, et al. PET/CT detection of unexpected gastrointestinal foci of  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake: incidence, localization patterns, and clinical significance. *J Nucl Med*. 2005;46:758-62.
57. Shamas A, Lim R, Charron M. Pediatric FDG PET/CT: physiologic uptake, normal variants, and benign conditions. *Radiographics*. 2009;29:1467-86.
58. Park JY, Lim JS, Park EY, Cho AR, Kim BI, Cheon GJ, et al. The Prevalence and Characteristics of Brown Adipose Tissue in an  $^{18}\text{F}$ -FDG PET Study of Koreans. *Nucl Med Mol Imaging*. 2010;44:207-12.
59. Oliveira M, Lasnon C, Nganoa C, Gac AC, Damaj G, Aide N. Comprehensive analysis of the influence of G-CSF on the biodistribution of  $^{18}\text{F}$ -FDG in lymphoma patients: insights for PET/CT scheduling. *EJNMMI Res*. 2019;9:79.
60. Wahl RL, Jacene H, Kasamon Y, Lodge MA. From RECIST to PERCIST: Evolving Considerations for PET response criteria in solid tumors. *J Nucl Med*. 2009;50 Suppl 1:122s-50s.
61. Tatewaki Y, Terao CM, Ariake K, Saito R, Mutoh T, Shimomura H, et al. Defining the Optimal Method for Measuring Metabolic Tumor Volume on Preoperative  $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose-Positron Emission Tomography/Computed Tomography as a Prognostic Predictor in Patients With Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *Front Oncol*. 2021;11:646141.
62. Boellaard R, Krak NC, Hoekstra OS, Lammertsma AA. Effects of noise, image resolution, and ROI definition on the accuracy of standard uptake values: a simulation study. *J Nucl Med*. 2004;45:1519-27.
63. Krak NC, Boellaard R, Hoekstra OS, Twisk JW, Hoekstra CJ, Lammertsma AA. Effects of ROI definition and reconstruction method on quantitative outcome and applicability in a response monitoring trial. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2005;32:294-301.
64. Geets X, Lee JA, Bol A, Lonneux M, Grégoire V. A gradient-based method for segmenting FDG-PET images: methodology and validation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2007;34:1427-38.
65. Hatt M, Majdoub M, Vallières M, Tixier F, Le Rest CC, Groheux D, et al.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET uptake characterization through texture analysis: investigating the complementary nature of heterogeneity and functional tumor volume in a multi-cancer site patient cohort. *J Nucl Med*. 2015;56:38-44.

66. Hatt M, Tixier F, Pierce L, Kinahan PE, Le Rest CC, Visvikis D. Characterization of PET/CT images using texture analysis: the past, the present... any future? *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:151-65.
67. Ha S, Choi H, Paeng JC, Cheon GJ. Radiomics in Oncological PET/CT: a Methodological Overview. *Nucl Med Mol Imaging*. 2019;53:14-29.
68. Cheng NM, Fang YH, Yen TC. The promise and limits of PET texture analysis. *Ann Nucl Med*. 2013;27:867-9.
69. Ketabi A, Ghafarian P, Mosleh-Shirazi MA, Mahdavi SR, Rahmim A, Ay MR. Impact of image reconstruction methods on quantitative accuracy and variability of FDG-PET volumetric and textural measures in solid tumors. *Eur Radiol*. 2019;29:2146-56.
70. Boktor RR, Walker G, Stacey R, Gledhill S, Pitman AG. Reference range for intrapatient variability in blood-pool and liver SUV for <sup>18</sup>F-FDG PET. *J Nucl Med*. 2013;54:677-82.
71. Meignan M, Barrington S, Itti E, Gallamini A, Haioun C, Polliack A. Report on the 4th International Workshop on Positron Emission Tomography in Lymphoma held in Menton, France, 3-5 October 2012. *Leuk Lymphoma*. 2014;55:31-7.
72. Niederkoher RD, Greenspan BS, Prior JO, Schöder H, Seltzer MA, Zukotynski KA, et al. Reporting guidance for oncologic <sup>18</sup>F-FDG PET/CT imaging. *J Nucl Med*. 2013;54:756-61.
73. Hasenclever D, Kurch L, Mauz-Körholz C, Elsner A, Georgi T, Wallace H, et al. qPET - a quantitative extension of the Deauville scale to assess response in interim FDG-PET scans in lymphoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2014;41:1301-8.
74. Barrington SF, Mikhaeel NG, Kostakoglu L, Meignan M, Hutchings M, Müller SP, et al. Role of imaging in the staging and response assessment of lymphoma: consensus of the International Conference on Malignant Lymphomas Imaging Working Group. *J Clin Oncol*. 2014;32:3048-58.
75. Meignan M, Gallamini A, Meignan M, Gallamini A, Haioun C. Report on the First International Workshop on Interim-PET-Scan in Lymphoma. *Leuk Lymphoma*. 2009;50:1257-60.
76. Law I, Albert NL, Arbizu J, Boellaard R, Drzezga A, Galldiks N, et al. Joint EANM/EANO/RANO practice guidelines/SNMMI procedure standards for imaging of gliomas using PET with radiolabelled amino acids and [<sup>18</sup>F]FDG: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46:540-57.
77. Schillaci O, Urbano N. Digital PET/CT: a new intriguing chance for clinical nuclear medicine and personalized molecular imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46:1222-5.
78. 대한핵의학회. PET 및 PET-CT 정도관리 수행 항목 및 측정 방법에 관한 지침서. 2020; [https://www.ksnm.or.kr/bbs/index.html?code=quality&category=&gubun=&page=1&number=2225&mode=view&order=%20sid&sort=%20desc&keyfield=&key=&page\\_type=](https://www.ksnm.or.kr/bbs/index.html?code=quality&category=&gubun=&page=1&number=2225&mode=view&order=%20sid&sort=%20desc&keyfield=&key=&page_type=).
79. 대한의료관련감염관리학회. 의료기관의 감염관리 (제5판): 도서출판 한미의학; 2017.