

## <sup>18</sup>F-FDG-PET検査の基礎 —「気づき」で検査の質を高めましょう—

岩手医科大学附属病院 中央放射線部 三浦 頌太(Miura Shota)

### 【はじめに】

今回は、<sup>18</sup>F-FDG-PET検査にこれから携わる方やローテータ向けに、検査の中で見落としがちなポイントをお伝えできればと考える。なお、講演の内容の一部については、誌面の都合上割愛させていただきます。

### 【集積機序と正常像】

<sup>18</sup>F-FDG (以下、FDG) は、グルコース (ブドウ糖) の類似物質であり、脳、心臓、活動中の筋肉、悪性腫瘍などといった糖を多く代謝する組織に集まる。特に、がん細胞は正常組織の3~8倍糖を多く取り込むと言われており、この特性を利用している<sup>1)</sup>。また、FDGは尿路系排泄であるが、グルコースの構造式の2位の水酸基を<sup>18</sup>Fに置換することで尿管管にて再吸収されずに尿排泄を高めている。

Fig.1にFDGの集積機序を示す。グルコースは、グルコーストランスポーター (GLUT) に乗って細胞膜を通過して細胞内に入り、ヘキソキナーゼによってリン酸化されて解糖系の回路へ進み、エネルギーとして代謝される。一方、FDGはグルコースと同様の振る舞いで細胞内に入り、リン酸化されるが、その後は代謝されず細胞内に留まる。これがFDGの

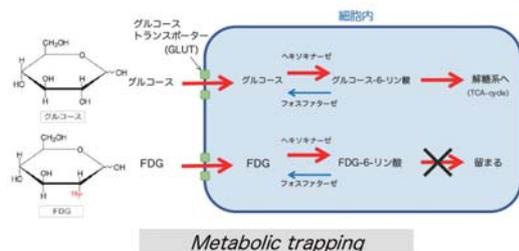


Fig.1 <sup>18</sup>F-FDG の集積機序

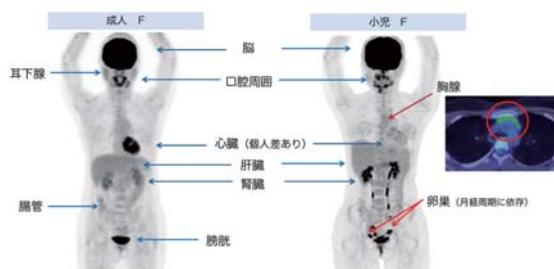


Fig.2 FDG-PETの正常像

集積となり、このメカニズムをメタボリックトラッピングという<sup>1)</sup>。

Fig.2にFDG-PETの正常像を示す。糖代謝が盛んな部位ほど高集積となっている。尿排泄に関わる腎臓や膀胱にも集積を示している。女性においては、月経、排卵周期に依存して卵巣、子宮内膜への集積が見られる<sup>2)</sup>。また、小児においては、胸腺への集積も見られる<sup>3)</sup>。このように、正常像をよく知ることが気づきを生む上でとても重要となる。

### 【Delay撮像について】

Delay撮像の意義は、大きく2つある。1つ目は、生理的集積と特異的集積との鑑別である<sup>4)</sup>。鑑別目的は主に、腸管と腫瘍、尿管とリンパ節である。Delay像にて、集積が消失や移動、形状の変化を認めることができれば、生理的集積と判断できる。2つ目は、腫瘍の悪性度の評価である<sup>4)</sup>。正常細胞はFDGの集積が投与後1時間以内にプラトーとなるのに対して、腫瘍やアグレッシブな病巣は、投与1時間後にはプラトーにならずさらに増加することが多い<sup>5)</sup>。膵臓癌や肝細胞癌においては、投与後1時間より2時間、3時間の方が高集積となる報告がある<sup>6-8)</sup>。しかし、当院では、検査のスループットの低下が問題となるため、前者を目的に撮像を施行している。

また、当院におけるDelay撮像は、Early撮像の直後に施行する (Short Delay)。さらに、膀胱周辺の高集積に対しては、排尿後に撮像を施行する。Fig.3にShort Delay撮像の有用例を示す。リンパ節転移への集積 (Fig.3a)、腫瘍の集積 (Fig.3b) が疑われた症例において、Short Delayを施行することにより形状の変化を認めたことで、それぞれ尿管、腸管の生理的集積と判断できた症例である。

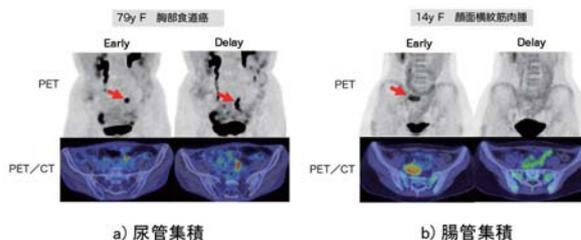


Fig.3 Short Delay撮像の有用例

## 【FDG-PET検査のピットフォール】

FDG-PET画像は、全身のブドウ糖代謝の分布を示した画像であるが故、さまざまな偽陽性、偽陰性が存在することにも留意しておく必要がある。ここでは、そのいくつかを挙げる。

まず、偽陽性について述べる。FDGが高集積を呈しても悪性腫瘍とは限らない。良性腫瘍にも高集積を呈するものが存在する。主に、大腸腺腫、甲状腺腫、下垂体腺腫、ワルチン腫瘍、神経鞘腫などである<sup>9)</sup>。Fig.4に腸管の集積亢進例を示す。腸管への生理的集積の機序は諸説ある。腸管粘膜の集積、腸管内へのFDGの分泌、平滑筋への集積、腸管の収縮による部分容積効果などあるが、解明されていない<sup>3)</sup>。血糖降下薬のメトホルミンによる集積亢進の報告も知られている<sup>10)</sup>。メトホルミンは、大腸のGLUTを活性化させて血糖降下を行うため、大腸の集積が亢進する。どちらの集積においても腸管の走行に沿った集積パターンを示すことが多い。問診票にて使用の有無を確認することが大切である。Fig.5に骨髄の集積亢進例を示す。この症例は、赤色骨髄へのびまん集積と脾臓への高集積を呈しているが、検査3日前にGranulocyte Colony Stimulating Factor (G-CSF) 製剤を使用していた。G-CSFは顆粒球コロニー形成刺激因子であり、顆粒球産出の促進や好中球の機能を高める作用がある。がん化学療法などによって起こる好中球減少症などに対して使用される<sup>11)</sup>。このG-CSFにより顆粒球系の増殖能が上昇し、骨髄のFDGの集積も亢進すると考えられている。なお、G-CSFによる骨髄集積は、投与後から2~3週間は持続するため、PET検査日との間隔には十分注意すべきである<sup>12)</sup>。したがって、臨床現場では、患者本人やカルテで製剤の使用歴を確認を行い、誤って骨髄への転移と診断しないように留意する。Fig.6に副腎の集積亢進例を示す。症例は、FDG投与の際に血管迷走神経反射 (Vasovagal reaction: VVR) を起こした症例である。これは、VVRの際の副腎におけるカテコールアミン産生・分泌による代謝亢進へFDGが集積したものである<sup>13)</sup>。よって、我々は検査時の患者の情報を読影医に伝えることで、副腎転移等の誤診を防ぐ必要がある。

次に、偽陰性について述べる。FDGが集積しにくい病変が存在する。1つ目は、GLUTやヘキソキナーゼの活性が緩やかな腫瘍である。主に、高分化肺腺癌や前立腺癌など高分化や細胞密度の低い腫瘍は、低集積となる。2つ目は、フォスファターゼ (脱リン酸化酵素) が多い腫瘍である。これは、



Fig.4 腸管の集積亢進



Fig.5 骨髄の集積亢進



Fig.6 副腎の集積亢進

FDGが細胞内に留まれないため集積しにくいためである<sup>14)</sup>。主に、肝細胞癌、腎癌である。よって、低集積だからと言って良性腫瘍というわけではない。見えにくい場所への集積も偽陰性となる。生理的集積の強い脳内や排泄される尿路系は、病変が埋もれてしまうため指摘困難な場合がある。

## 【実践! 気づきで検査の質を高めましょう】

ここでは、臨床例を提示して検査中における気づきのポイントを解説する。

1例目は、66歳女性の卵巣癌の再発診断目的でPET検査を施行した症例である (Fig.7)。Early

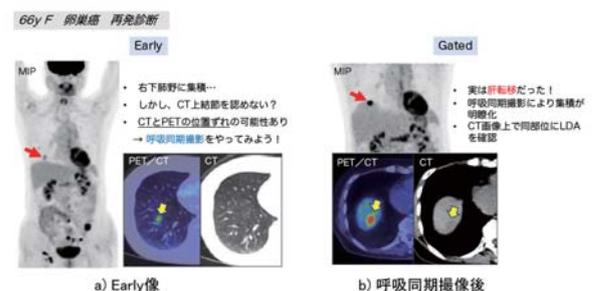


Fig.7 集積部位はCT画像も確認しましょう

像において右下肺野に集積を認めているが、CT画像上では結節病変を確認できない。この時、PET画像とCT画像の位置ずれを考える。そこで、呼吸同期撮像を施行すると、Early像で認めた集積は、実は肝転移の集積であった。CT画像においてもPET画像と同部位に低濃度領域を認める。このように、集積部位はCT画像でも確認することが大切である。

2例目は、71歳男性の胃癌術後の再発診断の症例である (Fig.8)。Early像のPET/CT画像上、CTとPETの腹壁の高さのずれや減弱補正のエラーを認めた。さらに、Coronal像にてbanana artifact<sup>15)</sup>を認めている。この所見から、患者の呼吸がCT撮影時に深吸气となっていたことが考えられた。よって、すぐにCTの再撮影を行い、その吸収補正データを用いてPETの画像再構成を行ったところ、Early像で認められたPETとCT画像の腹壁の高さのズレが解消し、banana artifactも解消した。このように、最後の画像確認を怠ってしまうと、全く診断価値のない画像のまま検査を終えてしまうことになる。したがって、検査終了時は、一度全ての画像に目を通すことを強く奨める。

3例目は、36歳男性の精巣腫瘍の再発診断の症例である (Fig.9)。脳の集積を確認すると、一部に違和感を感じる。濃度を通常のSUV<sub>max</sub>5から15に変えてみると、低集積な箇所を認め、脳転移が示唆された。後日、MRI検査を施行し、脳転移を指摘されてすぐに治療へ進むことができた。脳は生理的集積が強く評価困難な部位ではあるが、いつもと違う画像の違和感に気づけるかが重要となる。そのためには、正常像をしっかりと学ぶことが大切である。

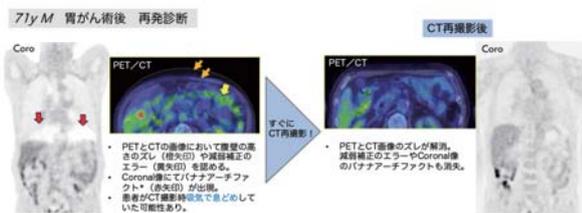


Fig.8 検査終了時は一度画像を確認しよう

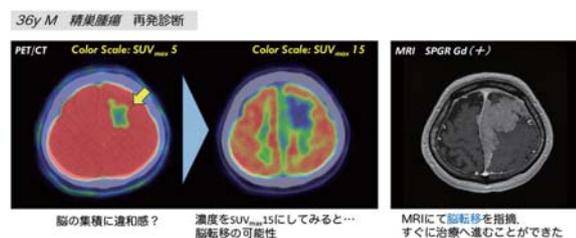


Fig.9 濃度を変化させてみよう

## 【最後に】

検査の質を向上させるためには、「あれっ?」という気づきから「なぜ?」と行動に移せるかが重要となる。日々の業務に追われて、出力された画像に目を通すことを疎かにしてしまっている方もいるのではないだろうか。我々の一手間によって、「悩ましい集積」のまま終わることを減らし、患者に有益な情報を提供することができる。違和感に気づける力を日々養い、検査の質を高めましょう。

## 【参考文献】

- 1) 日本メジフィジックス株式会社: デリバリーPETの基礎と臨床, 2013.
- 2) Lerman H, et al. Normal and abnormal 18F-FDG endometrial and ovarian uptake in pre-and postmenopausal patients: assessment by PET/CT. J nucl Med 2004; 45: 266-271.
- 3) 日本放射線技術学会: アーチファクトアトラス (MRI, CT, SPECT, PET), 2021.
- 4) 和田竜太 他: 腫瘍FDG-PET/CT検査における遅延像収集に関する教育資料お作成と評価, 日放技学誌 2017; 73(11):1119-1124.
- 5) 西村恒彦 他: クリニカルPET 一望千里, メジカルレビュー, 2004.
- 6) Nakamoto Y, et al. Delayed <sup>18</sup>F-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography scan for the differentiation between malignant and benign lesions in the pancreas. Cancer 2000; 89(12):2547-2554.
- 7) Nishiyama Y, et al. Evaluation of delayed additional FDG PET imaging in patients with pancreatic tumour. Nucl Med Commun 2005; 26(10):895-901.
- 8) Lin WY, et al. Value of delayed <sup>18</sup>F-FDG-PET imaging in the detection of hepatocellular carcinoma. Nucl Med Commun 2005; 26(4):315-321.
- 9) Master U, et al. Increased (18)F-fluorodeoxyglucose uptake in benign, non physiologic lesions found on whole-body positron emission tomography/computed tomography (PET/CT): accumulated data from four years of experience with PET/CT. Se min Nucl Med 2007; 37: 206-222.
- 10) Gontier E, et al. High and typical <sup>18</sup>F-FDG bowel uptake in patients treated with metfor min. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008; 35(1):95-99.
- 11) 高橋萌々子 他: G-CSF製剤の歴史 Drug

Delivery System 2017.

- 12) 村上康二: 総論—前処置, 検査法, 画像作成, 読影法などで注意すること. 臨床放射線 2019; 64(9):1109-1117.
- 13) Otomi Y, Shinya T, Otsuka H, et al. Increased 18F-fluorodeoxyglucose accumulation in bilateral adrenal glands of the patients suffering from vasovagal reaction due to 55 blood vessel puncture. Ann Nucl Med 2016; 30: 501-505.
- 14) Lee JW, et al. Prediction of tumor recurrence by 18F-FDG PET in liver transplantation for hepatocellular carcinoma. J Nucl Med 2009; 50: 682-687.
- 15) Nehmeh SA, et al. Respiratory motion in positron emission tomography/computed tomography: a review. Semin Nucl Med 2008; 38: 167-176.