

核医学担当業務に必要な知識と技術 腫瘍 PET

社会医療法人 禎心会 セントラル CI クリニック
越智 伸司

1. はじめに

^{18}F -FDG PET は保険適用と共に普及し、現在では早期胃がん以外の悪性腫瘍に適用拡大され広く用いられる検査となった。診療放射線技師が ^{18}F -FDG PET 検査に携わるためには、撮影技術に関する基礎的な知識に加え、近年では画像診断における読影補助という大きな役割が与えられ、読影力が求められていることから、放射性薬剤の生体機序を理解し、生理学的な集積と異常集積を区別する知識が必要となってきた。当院は ^{18}F -FDG PET の保険適用と同時に診断医の読影支援として診療放射線技師による一次読影をこれまで行ってきたため、過去十数年の取り組みと実績についても併せて報告する。

2. 放射性薬剤の生体機序

FDG はグルコーストランスポータ (GLUT) を介して腫瘍細胞膜から細胞質へ取り込まれた後、ヘキソキナーゼによりリン酸化されるが FDG はグルコースと異なり FDG-6-リン酸のまま解糖系に進むことなく腫瘍細胞内に留まるため集積として得られる。したがって、GLUT の過剰発現やヘキソキナーゼの活性が亢進すると、より高集積となる。また、脱リン酸化を引き起こすグルコース-6-ホスファターゼの活性が低下することも高集積の要因となる (図 1)。これとは逆に高分化

型肝細胞癌はグルコース-6-ホスファターゼが豊富なため、脱リン酸化が促進されるために集積となりにくい。このように PET 陰性癌も生体機序を併せて考えると理解しやすい。

FDG の各臓器への取り込みは時間と共に変化する。脳の集積は時間と共に上昇し 1~2 時間でプラトーとなり、肝臓の集積は投与直後に最も高く時間と共に低下する。一般的に正常組織のほとんどは 1 時間以内に取り込みのピークがあるが、悪性腫瘍の集積ピークは 1 時間以降にあり、集積は経時的に増大する事が多いため、待機時間は 60 分前後が推奨されており、一定とすることが望ましい (図 2)。

3. 生理的集積

脳や心臓、肝臓などブドウ糖を取り込む臓器は正常でも集積が見られる。また、排泄経路である腎臓、尿管、膀胱などにも生理的集積が見られる。子宮や卵巣では月経開始からの日数により、子宮内膜や卵巣に集積が見られることが知られており、月経から 14~24 日目では卵巣に、5 日目までは子宮内膜に強い集積を示す場合があるため、子宮癌や卵巣癌の診断を目的に行う場合は、この期間での ^{18}F -FDG PET 検査は避けるべきである (図 3)。また、検査前の問診では最終月経を確認し、集積が見られた場合には問

診内容と照らし合わせて判断することが必要である。大腸へは正常であっても強い集積を示すことがあり、腫瘍との鑑別が難しい場合があるため、必要によっては遅延像の撮像を追加して比較判断することも有用である。

FDG-PET では最低でも 4 時間以上の絶食が必要となるが、絶食の協力が得られない場合には筋肉に著しく多くの FDG が取り込まれて全身分布が乱れてしまうため、腫瘍の描出能も低下し、SUV も低下することが知られている。また、血糖値によっても臓器への集積が変化するため、高血糖の場合には正常値にコントロールした後に検査を施行する方が良い(図 4)。

4. 至適撮像条件と画質評価

PET の画質は主に画像再構成、収集時間、投与量に大きく依存するが、撮像条件の標準化を目的に FDG-PET/CT 撮像法ガイドラインが策定された。したがって、腫瘍検査を目的とする ^{18}F -FDG PET 検査を行うためには装置に応じた至適撮像条件を決定した上で検査を行うことが望まれる(図 5)。ただし、ファントムによる評価は一定の体格を模擬したものであり、PET の画質は体格による劣化が知られているため、体格に応じた収集時間も検討する必要がある。最近の PET/CT 装置では list mode 収集が行えるため、体格の異なる被験者 Raw data から、収集時間を可変したデータを切り出して画像再構成し、臨床画像として耐え得る画像かどうか評価することもひとつの方法である(図 6)。

5. アーチファクト

PET 画像ではしばしばアーチファクトが見られる。PET/CT 装置の場合は CT 画像と PET 画像の位置ずれによるもの、画像再構成法や装置トラブルにより発生するものがある。位置ずれにおいては、CT 画像と PET 画像の呼吸位相のずれにより、肺の集積消失や肝臓集積が肺野に突出するなど、他病変のように見られることがある。特に横隔膜近傍では注意が必要で、その場合、呼吸同期や呼吸止め収集が有用である。装置によっては CT 値による減弱係数の変換テーブルが異なる場合もあり、その装置の特性を理解しておくことも必要となる。ポジショニングも重要で、長時間の収集に耐え得る体位で検査を行わなければ体動アーチファクトの原因にもなり得る(図 7)。

PET 装置は始業前に外部線源による日常点検を実施する装置があるが、結果の数値やシグナルのみに頼っていると検出器トラブルを見落としてしまうこともあるため、目視的に均一性を評価することも大切である(図 8)。

6. 読影補助への取り組み

診療放射線技師の業務は撮影業務の他に MIP や FUSION の画像作成、CD-R 作成や画像出力など多くの処理を同時に行わなければならない。できる限り読影業務の時間が確保できるようにこれらの処理を簡便かつ正確に行うためのソフトウェアやシステムを導入してきた(図 9)。また、所見を拾い上げるという重要な役割を考慮し、精度管理可能なモニターを導入して読影精度が維持できるよう努め

ている。しかし、画像診断の知識が乏しい診療放射線技師にとって、読影レベルの向上は大きな課題であり、個々のレベルアップにどのように取り組むべきか悩むところでもある。当院ではこれまで読影医とのカンファレンスを通じて用語の統一や所見入力の特標準化を行ってきた(図 10)。また、同一レポートに診断医所見と技師所見の記入を行っているため、空き時間などに報告書確定後の医師所見との比較を行い、個々に読影への理解を深めている。

7. 読影補助の実績

当院は PET 導入当初から診療放射線技師による読影補助業務に取り組んできた。過去 11 年間で行った ^{18}F -FDG PET 検査は 38,707 例、そのうち 37,693 例(97.4%)の読影補助に携わっている。その詳細として、診療放射線技師による見落としは 2,974 例(7.9%)で過剰な拾い上げは 2,083 例(5.5%)であった。その他には用語違い 200 例(0.5%)、SUV 違い 110 例(0.3%)、左右違い 38 例(0.1%)であった(図 11)。さらに詳細を述べると見落としはリンパ節病変 27.6%、肺病変 9.8%、骨病変 8.5%の順で多く、過剰な拾い上げは腸管 38.2%、リンパ節病変 17.2%、骨病変 5.1%の順が多かった。見落としも過剰な拾い上げもリンパ節病変が多く、生理的集積や反応性リンパ節、病的意義のある所見であるかの判断が難しい(図 12)。

8. まとめ

腫瘍の集積を的確に捉えるためには FDG の体内動態を把握すると共に生理学的な集積と異常集積を区別する知識が求められる。保険適用当初と比べて現在では適応疾患が拡大され早期胃がん以外の悪性腫瘍が対象となり、幅広い腫瘍の知識が求められる。PET 画質はガイドラインにより一定の画質が担保できるよう至適撮像条件を決定し、発生するアーチファクトにおいても発生原因を理解して PET 装置、被験者に合わせた撮像を行う必要がある。読影補助業務においては厚生労働省にて推進しているが、そう簡単に行えるものではない。診断医師が求める所見の入力を行うためには病態生理学的な知識の向上が求められる。そのため読影力向上に向けた取り組みと併せて読影を行うための時間の確保、業務環境を整備する必要がある。

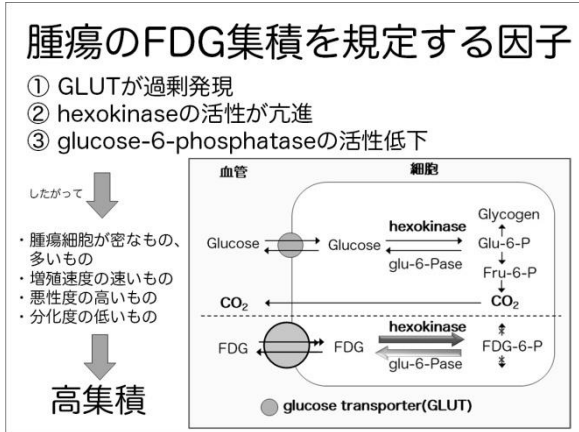


図 1 FDG 集積を規定する因子

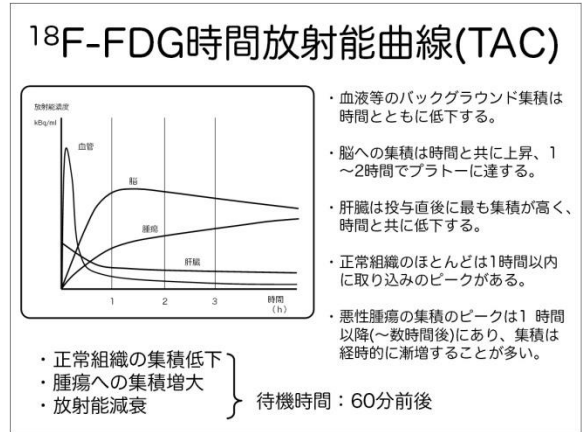


図 2 ¹⁸F-FDG 時間放射能曲線

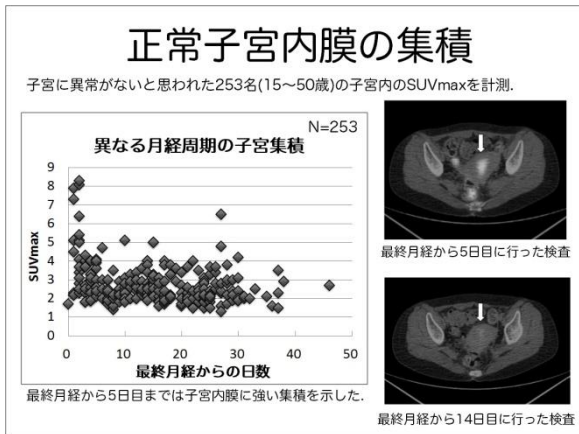


図 3 正常子宮内膜の生理的集積

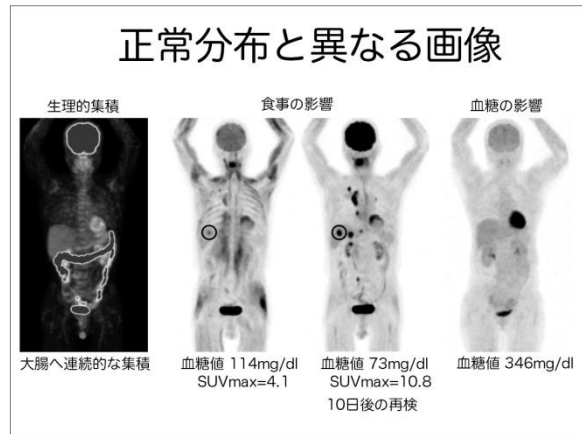


図 4 大腸集積と食事・血糖の影響

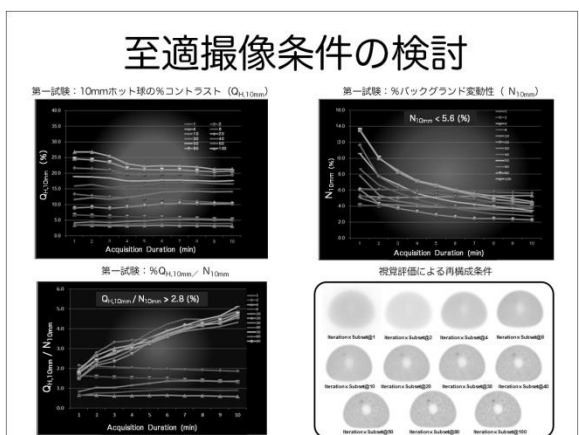


図 5 画像再構成条件の検討

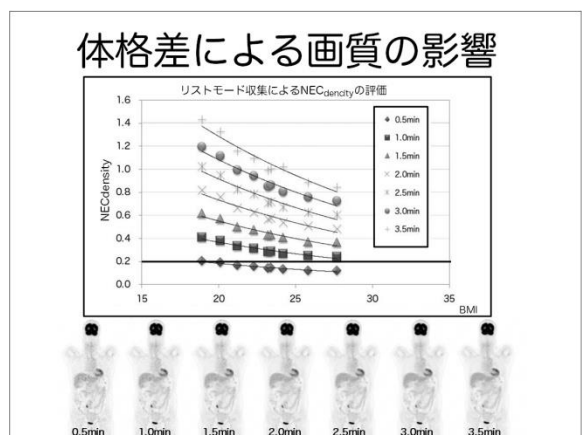


図 6 体格差による画質の検討

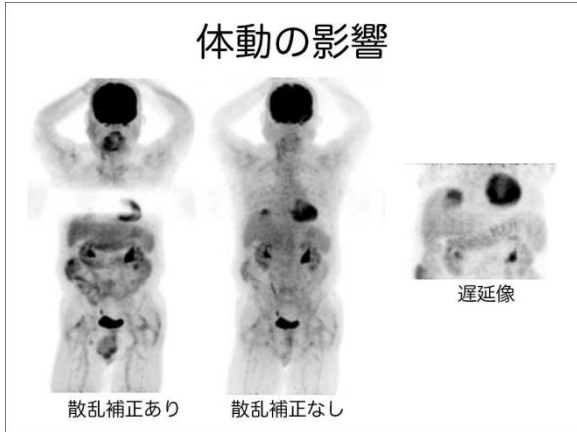


図 7 体動による画像への影響



図 8 始業点検結果の目視評価

環境整備

できる限り読影の時間を確保したい！

- 装置から読影端末までの画像の自動転送化。
画像サーバーへは身長・体重の再入力後に転送。
- 画像参照はメーカー付属のワークステーションからVIEW FUSIONに変更。
装置メーカーが異なっても操作が統一された。
- 医師と同一のVIEWERを使用することで、SUVの精度が向上。
また、VOI (球形ROI)を使用することでSUVmaxの計測が簡便。
使用するVIEWERのSUV精度を確認する必要がある。
- ディスクデュプリケーターを導入し、CD-Rのラベル作成、書き込みを半自動化。
作成精度が向上、書き損じも削減。
- 異常所見の拾い上げは診断医師と同じ。
JESRA管理グレード2に対応したモニタを導入して読影精度を維持。
モニタ管理するための手間は増加。

図 9 読影環境の整備

カンファレンスでの決定事項の例

悪性リンパ腫
ステージング目的

| 項目 | 1期 | 2期 | 3期 | 4期 |
|----|----|----|----|----|
| 1 | 頸部 | 頸部 | 頸部 | 頸部 |
| 2 | 頸部 | 頸部 | 頸部 | 頸部 |
| 3 | 頸部 | 頸部 | 頸部 | 頸部 |
| 4 | 頸部 | 頸部 | 頸部 | 頸部 |

現行の所見の記入方法

- 頸部両側に複数の集積を認めます。
①最大SUV = Max 16.2, Mean 15.5
- 肋骨下から縦隔及び両腋窩に複数の集積を認めます。
①SUV = Max 7.6, Mean 5.0
② SUV = Max 15.7, Mean 12.1
- 脾臓に集積を認めます。
SUV = Max 6.7, Mean 5.6
- 腹部骨盤から両鼠径部にかけて複数の集積を認めます。
①SUV = Max 12.3, Mean 9.7
②SUV = Max 13.1, Mean 9.3

その他、明らかな異常集積を認めません。

Ann Arbor病期分類

| | |
|----|--|
| 1期 | 単独のリンパ節病変のみ |
| 2期 | リンパ節病変が2つ以上のリンパ節病変に限定され、かつ同側のリンパ節病変に限定される |
| 3期 | リンパ節病変が2つ以上のリンパ節病変に限定され、かつ同側のリンパ節病変に限定され、かつ同側のリンパ節病変に限定される |
| 4期 | リンパ節病変が2つ以上のリンパ節病変に限定され、かつ同側のリンパ節病変に限定され、かつ同側のリンパ節病変に限定される |

ステージング評価に合わせる所見記入に変更

図 10 院内カンファでの決定事項

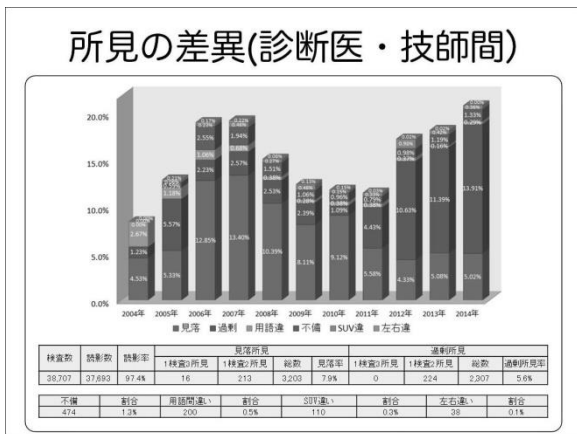


図 11 読影補助の実績とその評価

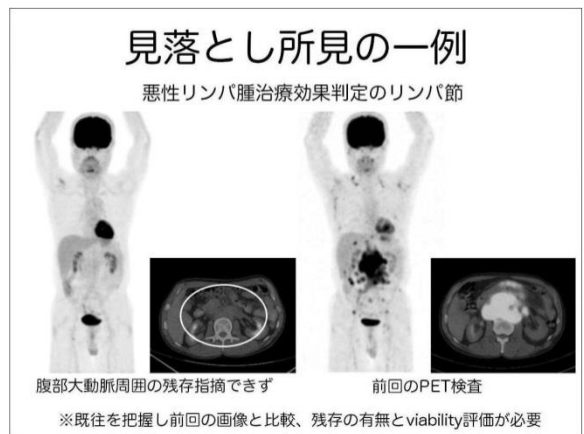


図 12 リンパ節病変の見落とし例