



Title	腫瘍FDG-PETの臨床
Author(s)	佐々木, 雅之
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2001, 61(8), p. 414-420
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19059
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

腫瘍FDG-PETの臨床

佐々木 雅之

九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

Clinical Usefulness of FDG-PET in Oncology

Masayuki Sasaki

The clinical diagnosis of tumors is mainly performed using conventional radiography, CT, MRI, and ultrasonography, which provide anatomic and morphologic information. On the other hand, nuclear medicine imaging, which exploits the biochemical aspects of tissue, is considered to be useful for the characterization of tumors but is still clinically underutilized. Positron emission tomography (PET) with 2-deoxy-2-[¹⁸F] fluoro-D-glucose (FDG), an *in-vivo* imaging method that measures glucose metabolism, has been used to detect tumors with increased glucose metabolism. Over the past 20 years, numerous reports have demonstrated the usefulness of FDG-PET in diagnosing tumors, although FDG-PET has only been performed at a small number of institutions. Since FDG-PET has been shown to be superior to other morphologic imaging modalities in diagnosing tumors, FDG-PET has now become widespread at many institutions and has also been incorporated into the clinical pathways for disease management. FDG-PET is a safe and cost-effective method with several advantages over morphologic imaging and is already covered by many insurance companies in a variety of countries. This article discusses the current application of FDG-PET in oncology, especially regarding lung cancer, malignant lymphoma, and thyroid cancer. In addition, practical approaches for the clinical use of FDG-PET are discussed.

Research Code No.: 705.9

Key words: FDG, PET, Oncology, Lung cancer, Malignant lymphoma, Thyroid cancer

Received May 25, 2001

Department of Clinical Radiology, Graduate School of Medical Sciences, Kyushu University

本論文は第60回日本医学放射線学会学術発表会(2001年4月)の一般教育講演として、「腫瘍FDG-PETの臨床」の演題で発表されたもので、日本医学放射線学会誌編集委員会より執筆依頼した。

別刷請求先

〒812-8582 福岡市東区馬出3-1-1

九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

佐々木 雅之

はじめに

日常診療における腫瘍の診断は、一般にはX線写真、CT、MRI、USなどの形態診断を主体に進められ、病理診断をもって最終診断とされる。一方、核医学検査では病変の性格診断が可能であることから、形態に依存せず早期に診断できる可能性、特異的に診断できる可能性、治療方針の決定や予後推定ができる可能性などが期待される。しかし、核医学検査の多くは形態診断に比して空間分解能が劣ること、限られた施設でのみ施行可能なことから重要視されていない。

FDGはブドウ糖類似物質であり代表的な代謝診断薬であり¹⁾、FDG-PETが腫瘍の診断に有用であることが報告されて20年以上がたつ²⁾。従来は院内サイクロトロンと合成装置にて合成し、撮影範囲の狭いPET装置で目的を絞って撮影するという、限られた施設で研究的に行われる検査であった。しかし、形態診断を凌駕する成績の報告、全身撮影が可能PET装置の開発により、ここ数年で全世界で広く行われるようになり欧米では保険適応も認められた。日本でも近い将来には保険適応となり飛躍的に普及する検査と期待されている。

ここでは、FDG-PETの腫瘍診断における有用性を紹介し、実際の臨床の場においてFDG-PETを行う場合に遭遇する問題点、考慮すべき点などについて考えたい。

FDG-PETとは

臨床の現場では「FDG-PET」、「FDG」、「PET」などさまざまな呼び方をされるが、しかし「FDG=薬剤名」、「PET=装置(システム)名」であるので、「FDG-PET」と呼ばれるべきである。

「FDG」とは2-deoxy-2-[¹⁸F] fluoro-D-glucoseの略であり、「¹⁸F-FDG」や「¹⁸FDG」と略されることもある。FDGは前駆体であるトリフレートと院内サイクロトロンの¹⁸O(p, n)¹⁸F反応より得たTBA ¹⁸Fを反応させ、HClにて加水分解して合成されたもので、グルコースの2位の水酸基を¹⁸Fで置換したブドウ糖類似物質である。

FDGの生体内挙動は、グルコース類似であることから①血液中、②非特異的集積、③リン酸化され停留した集積の三つのコンパートメントに分けて考え、各コンパートメント間の移行を計四つの速度定数として考える方法が一般的である。細胞内にはglucose transporterを介して取り込まれ、細胞内でhexokinaseによって6位のリン酸化を受けFDG-6-Pとなる。FDG-6-PはG-6-Paseによる脱リン酸は受けずその後の代謝を受けることなく細胞内に滞留するため(metabolic trapping)、糖代謝の活発な細胞に強く集積することになる。多くの腫瘍細胞は糖代謝が活発なためブドウ糖類似物質であるFDGは強く集積し、糖代謝の低い全身組織とのコントラストで高感度の診断が可能となる。

一方、「PET」とはpositron emission tomographyの略であるが陽電子そのものを測定するわけではなく、陽電子の消滅放射線を測定する。消滅放射線は511keVの電磁波2本が180°反対方向に放出されるという特徴から、消滅放射線を同時計数することによって得られるLOR (line of response) より陽電子放出核種の体内分布を決定できる。このためPETは高い分解能と優れた定量性を特徴とする。

腫瘍FDG-PETの検査方法

1. 薬剤投与

FDGは一般的には185~370MBq程度を単回静脈内投与するが、撮像装置の感度、数え落とし補正の有無、投与から

撮像までの時間などによって増減が必要である。施設によっては185MBq/体重50kgと体重によって投与量を規定しているところもある。

2. 撮像時期

Fig. 1に肺癌患者のFDG投与1時間後の画像と時間放射能曲線を示す。腫瘍のFDG集積は経時的に漸増していく場合が多いが、筋肉のFDG集積は投与後早期から一定して低値を示す。また、血中FDG濃度や肺のFDG集積は投与直後にピークを示し、以後漸減する。撮像はFDG投与約1時間後に行うのが標準的である。30分以内の撮像は血流の影響があることや病変と非特異的集積のコントラストが悪いことから不適切である。コントラストは投与1時間以降も拡大することが多く、投与約2時間後に撮像する方法もある。

3. 前処置

FDG集積は血糖値の影響を受けるため、検査前4~6時間以上の絶食が必要である。当然この絶食の意味は糖分禁止であるから、糖分のない水・茶などは問題ない。点滴や注射の内容にも注意が必要である。血糖値の問題については後述する。

FDG投与後は安静を保ち筋肉への集積を軽減させる。場合によってはdiazepamなどの鎮静剤を用いる場合もある。また、FDGの排泄経路である腎臓~尿管~膀胱への高集積を軽減するために、撮像前の排尿が必要である。特に骨盤内の検索を主目的とする場合は尿カテーテル留置や膀胱洗

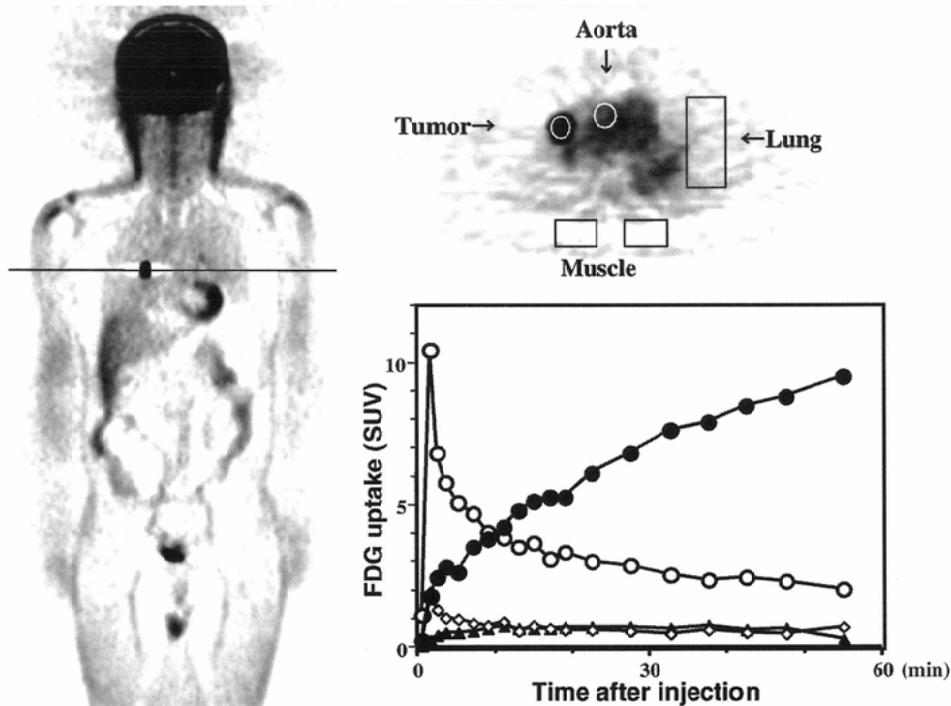


Fig. 1 57-year-old man with right lung cancer. High FDG uptake is seen in the right lung hilar tumor (left and right upper). The time course of FDG uptake in tissues demonstrates gradual increase of FDG uptake in the tumor (right lower). (● : lung cancer, ○ : aorta, ◇ : normal lung, ▲ : muscle)

浄を行う。また、点滴によるhydrationや利尿剤投与を行う場合もある。

4. 評価方法

定性的評価：視覚的に集積程度を判定する最も簡便な評価方法である。バックグラウンド集積や血液プールを指標として用いる。

定量的評価：糖代謝率や速度定数を算出するためには、連続動態測定を行うとともに動脈血中のFDG濃度変化を実測する必要がある。このため、日常臨床検査としては煩雑であること、検査件数が限定されることから実用的ではない。

半定量的評価：以下の三つの方法がよく用いられる。

① standardized uptake value (SUV).

単位体重当たりの投与量に対する集積比であり、現在最も広く用いられている。動物実験で用いられる%投与量(% ID/g)と同じ考え方であり、standardized uptake ratio (SUR), differential absorption ratio (DAR), differential uptake ratio (DUR)も同義語である。欧米では脂肪の多い肥満患者では体重で補正すると過補正になるためにlean body massでの補正が推奨されているが、ほとんどの文献は体重による補正を用いている。また日本人の場合は問題になる程の高度肥満患者は少なく、われわれも体重で補正したSUVを用いている。

② 対筋肉比(tumor-to-muscle ratio: TMR).

非特異的組織である筋肉に対する集積比であり、SUVと良く相関する安定した指標であるが最近あまり用いられない。

③ 対側比(lesion-to-normal ratio: L/N).

対側の正常組織に対する集積比で簡便な方法である。吸収補正を行っていない場合にしばしば用いられるが、構造が複雑な領域では問題がある。

腫瘍FDG-PETの臨床的有用性

FDGは多くの悪性腫瘍に集積し、欧米ではすでに保険適応も認められている。米国のMedicareでは肺癌、大腸・直腸癌、リンパ腫、黒色腫について細かな限定付きで認められていたが、2000年12月15日に発表された新方針では適応が拡大され、肺癌、食道癌、大腸・直腸癌、リンパ腫、黒色腫、頭頸部癌(中枢神経と甲状腺は除く)の診断・病期分類・再発病期診断が認められた。ここでは、肺癌、悪性リンパ腫、甲状腺癌を例に挙げ、FDG-PETの有用性について述べる。

1. 肺癌とFDG-PET

肺癌診断におけるFDG-PETの有用性については数多くの報告があり、肺結節の良悪性の鑑別については、sensitivity 83~100%, specificity 52~90%と報告されている³⁾⁻⁶⁾。いずれの報告にても偽陽性は結核、ヒストプラズマ症、サルコイドーシスなどの炎症性疾患、偽陰性はサイズの小さい腫瘍、脂肪成分の多い腫瘍、腺癌などであった。特に

bronchiolo-alveolar carcinomaはFDG-PET陰性となりやすく、これらの腫瘍は増殖能が低く増殖速度も遅いことが報告されている⁷⁾。Fig. 2にFDG-PETにて検出した径12mmの腺癌を示す。

縦隔リンパ節転移のFDG-PETによる検出の感度は76~100%, 特異度は81~99%と報告されており、サイズに依存したCTによる感度47~67%, 特異度44~96%よりも明らかに優れている⁸⁾⁻¹¹⁾。われわれの施設で手術を施行した29例71領域の縦隔リンパ節について検討したところ、sensitivity/specificityは、FDG-PETは76/98%であり、CTの65/87%よりも優れていた¹⁰⁾。検出できた最小の転移リンパ節は短径7mmであったが、短径10mm以下では偽陰性が多かった。また、病変部位を正確に判定できなかった例が偽陽性となり、判定上注意が必要と思われた。Fig. 3にFDG-PETにて検出した肺門・縦隔リンパ節転移の一例を示す。

遠隔転移の診断についても、肝臓、副腎、骨、胸膜、皮膚などの転移診断に有用であったと報告されている^{12), 13)}。骨転移検出について骨シンチグラフィと比較した場合、特異度には優れているが感度は同等といわれている¹⁴⁾。しかし、骨シンチグラフィで指摘できない病変も検出できることがある¹⁵⁾。Fig. 4にFDG-PETにて検出した多発性骨転移の1例を示す。われわれの施設にて悪性腫瘍47例の骨転移の有無をFDG-PETと骨シンチグラフィとを比較したところ、sensitivity/specificityは、FDG-PET: 93.0/100.0%, 骨シンチグラフィ: 75.9/98.9%とFDG-PETが優れていた¹⁶⁾。ただし、生理的集積の高い脳やFDG排泄臓器である腎・泌尿器の近傍では判定上注意を要する。

また、治療効果の予測と判定¹⁷⁾、治療後の残存・再発の診断^{18), 19)}、予後推定^{20), 21)}についての有効性も報告されている。

2. 悪性リンパ腫とFDG-PET

悪性リンパ腫の病巣検出と病期診断におけるFDG-PETの有用性は確立されているといっても過言ではない。FDG-PETによるリンパ節病変の検出率は80~100%²²⁾⁻²⁷⁾と報告されており、CTによる82~91%²²⁾⁻²⁴⁾、⁶⁷Gaシンチグラフィによる40~95%²⁵⁾⁻²⁷⁾よりも明らかに優れている。また、節外病変に関しても同様である。Fig. 5に多数のリンパ節と胃病変に異常集積を認めた1例を示す。

われわれは悪性リンパ腫の診断におけるFDG-PETの有用性を検討するために、核医学検査を行わないnon-RI法(理学所見、CT、MRI、US、消化管造影、骨髄穿刺など)と、⁶⁷Gaシンチグラフィの追加およびFDG-PETの追加にてどの程度診断能が向上するかを比較した²⁸⁾。リンパ節病変検出のsensitivityはnon-RI法69.0%で、⁶⁷Gaシンチグラフィの追加にて77.0%とわずかに改善したのに対し、FDG-PETの追加では100%と著明に改善した。一方、節外病変検出のsensitivityはnon-RI法でも⁶⁷Gaシンチグラフィを追加しても90.0%であったのに対し、FDG-PETの追加では100%であった。この結果、病期診断を正しくできたものはnon-RI法および⁶⁷Gaシンチグラフィの追加ではそれぞれ72.4%, 75.8%

であったのに対して、FDG-PETの追加が84.8%と最も優れていた。悪性リンパ腫のように病期によって治療法が明らかに異なる疾患では、FDG-PETを積極的に利用すべきである。

3. 甲状腺癌とFDG-PET

甲状腺癌のFDG集積には高いものと低いものの両者がみられる。われわれの検討では、甲状腺のFDG集積は、癌>腺腫>正常甲状腺、の順に高かったが、癌のなかにもFDG集積が低い症例もみられた²⁹⁾。甲状腺の分化型腺癌(乳頭癌・濾胞癌)は分裂・増殖も遅いため“low grade malignancy”と呼ばれ、FDG-PETの結果もまさにこれを反映していると考えられる。甲状腺癌のFDG集積の程度とヨード集積の程度は逆の関係にあるといわれており、FDGが集積しヨードが集積しないということは脱分化のサインと考えられる^{30),31)}。Fig. 6にその1例を示す。

甲状腺癌の診断一般にFDG-PETを施行する必要性はなく、米国の保険適応でも認められていない。ではどのように利用するか?最近の報告は治療後の再発・転移の診断における有用性の報告が多い。Grünwaldらによれば、FDG-PETによる分化型癌の術後再発診断の感度は75%であるが、ヨード集積がない症例のみに関しては85%であったと報告している³²⁾。分化型癌ではサイログロブリン高値などで再発が疑われながら形態診断で再発の確認が困難な場合、特にヨード集積がない症例

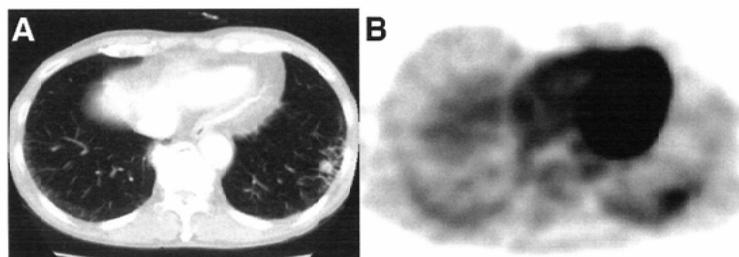


Fig. 2 71-year-old man with Stage I moderately differentiated adenocarcinoma (pT1N0M0).

A: On X-ray CT, the tumor is demonstrated in the left lower lobe.
B: On FDG-PET, high FDG uptake is seen in the tumor.

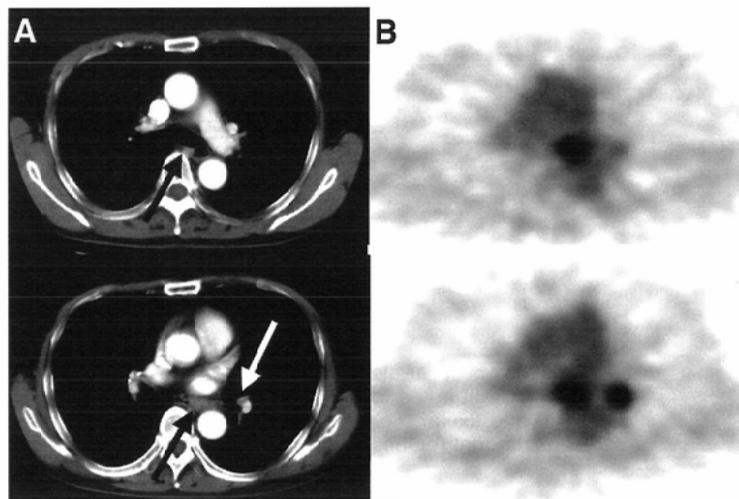


Fig. 3 70-year-old man with Stage III A adenosquamous cell carcinoma (pT1N2M0).

A: X-ray CT shows, the lymph nodes in the subcarinal, paraesophageal, and left hilar regions. Their short axis diameters are less than 10 mm.
B: FDG-PET demonstrates high FDG uptake in the lymph nodes.

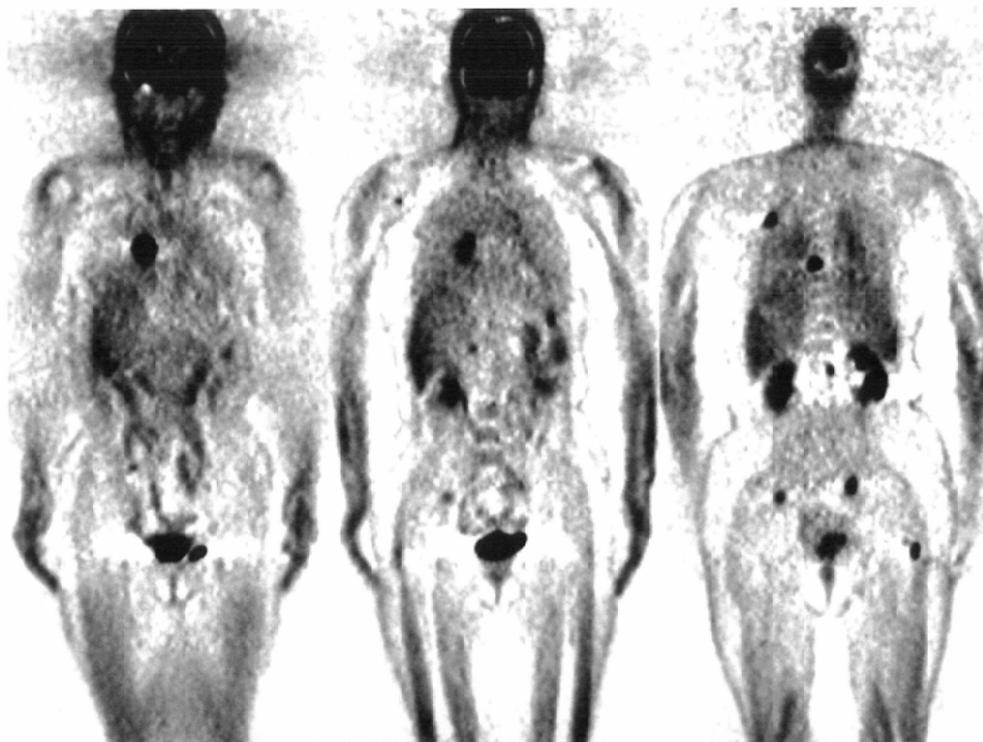


Fig. 4 68-year-old woman with Stage IV squamous cell carcinoma (T2N0M1). FDG-PET demonstrates high FDG uptake in the right lung tumor and multiple bone metastasis.

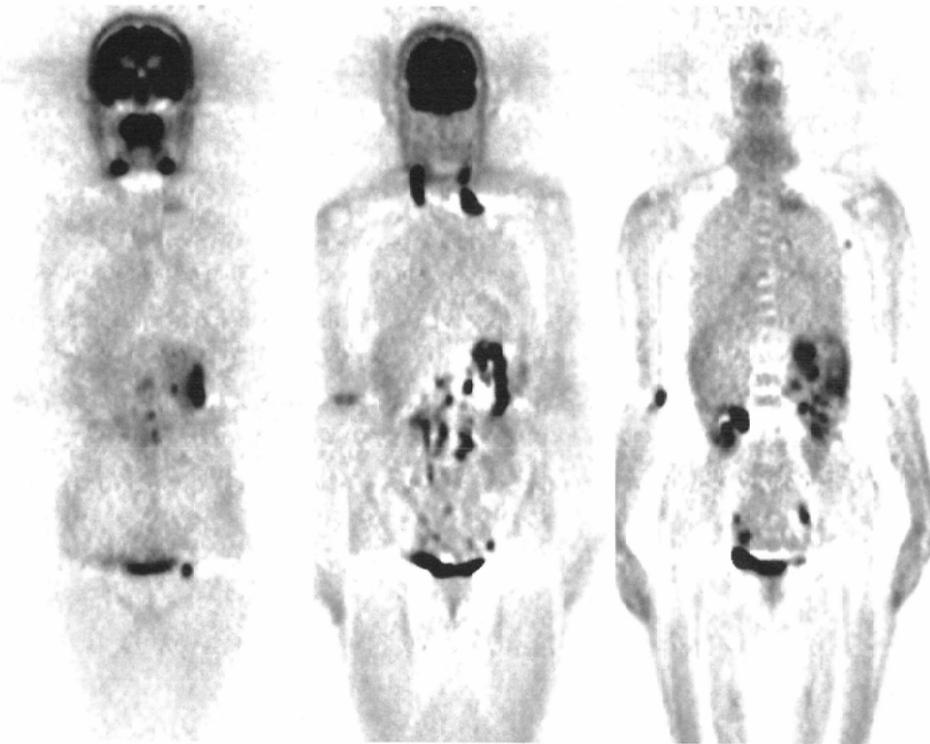


Fig. 5 59-year-old woman with Stage III non-Hodgkin's lymphoma. On FDG-PET, nodal uptake is present in the following regions: bilateral submandibular and deep cervical, left supraclavicular and axillar, right elbow, abdominal para-aortic, bilateral para-iliac and left inguinal. Among extranodal regions, high FDG uptake is also seen in the stomach.

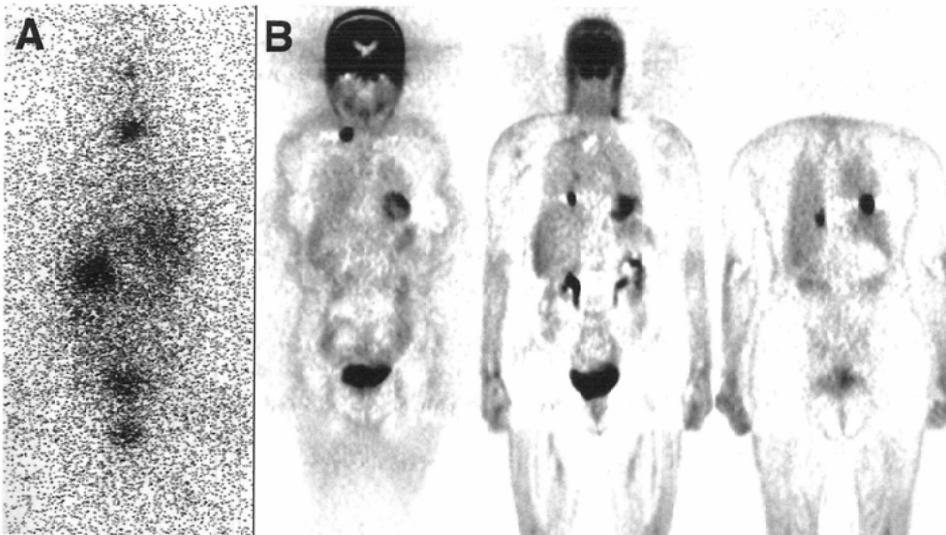


Fig. 6 70-year-old woman with follicular thyroid carcinoma.
A: I-131 NaI scan shows high uptake in the locoregional recurrent tumor.
B: On FDG-PET, high FDG uptake is seen in the multiple metastatic tumors (right supraclavicular lymph node, bilateral lung, and right lobe of the liver) but no FDG uptake is visible in the local recurrence.

の腫瘍の検出においてFDG-PETが威力を発揮すると考えられる^{30), 31), 33)}.

4. その他の腫瘍

FDG-PETの有用性はそのほかにも多くの腫瘍で報告されている。日本アイソトープ協会による全国調査では、肺腫瘍、乳腺腫瘍、肝腫瘍、脾腫瘍、大腸・直腸癌再発、頭頸

部腫瘍、脳腫瘍などの臨床的有用性と医療経済効果に関する報告がなされている³⁴⁾。また、上述した肺癌、悪性リンパ腫、甲状腺癌のほかにも、悪性黒色腫、子宮卵巣癌、骨軟部腫瘍などの診断や原発不明癌の検索についても有用といわれている。

FDG-PETでは検出しにくい腫瘍としては、分裂・増殖の

遅い高分化癌，FDG排泄臓器である腎・泌尿器系の腫瘍，生理的集積の高い脳や消化器系の腫瘍があり，偽陰性となりやすい。また，FDGは活動性の炎症に強く集積することが知られており^{35), 36)}，偽陽性的原因となるので注意が必要である。

日常遭遇する問題点

1. 血糖値

高血糖では腫瘍のFDG集積が低下することが知られている³⁷⁾。この原因については，高血糖によりGlut-1発現が低下すること，血糖とFDGがhexokinaseに競合することが報告されている³⁸⁾。さらに高血糖では筋肉や肝臓の集積が高くなるため，コントラストがますます低下するといわれている。また，糖尿病では糖代謝自体に異常があるため，インスリンを用いても腫瘍FDG集積は改善せず，対肝比・対肺比は改善しても対筋肉比は改善しないとされている³⁹⁾。

SNM2000の教育講演では，絶食4時間以上で血糖値200mg/dl以下であること，糖尿病患者ではインスリン投与後4時間以上であることが提案されていた。しかし，血糖値150mg/dl以上では腫瘍FDG集積が予想外に低い症例もみられることから，われわれの施設では，絶食6時間以上(最低4時間以上)で血糖値120mg/dl以下を目標としている。

2. 吸収補正

PETは外部線源を用いて放射線の吸収を実測でき，構造の複雑な体部でも体深部のRI分布を正確に測定できる。しかし従来の吸収補正用のデータ収集(transmission scan)はRI投与前に行う必要があること，データ収集に1部位10～15分間を要することから検査時間がかかり，患者の苦痛を伴うとともに検査の効率も悪かった。このため初期の全身FDG-PETでは吸収補正なしで行われることが多く，基本的には吸収補正をすべきと思われるながらも吸収補正を行うべきか否かに関する議論もなされていた。

しかし近年，emission and transmission同時収集法やpost-emission transmission法が開発されRI投与後に吸収補正用データ収集が可能となった。さらに，短時間のデータ収集にて得られた粗い吸収データをsegmentationを行って吸収マップを推定する方法の開発により短時間での全身検査が可能となった。この結果30～60分間程度で全身の撮像ができる

ようになり，患者の苦痛の軽減と検査効率の改善がなされるとともに吸収補正を行うか否かの論議も必要なくなった。さらに最近ではCT画像からの吸収マップの作成も試みられている。

3. 画像再構成法

これまでのPETの画像再構成はフィルター逆投影法(filtered back projection, FBP)を用いていたが，近年になって最尤推定-期待値最大化法(maximum likelihood expectation maximization: ML-EM)を実用化したordered subsets EM(OS-EM)が使用可能となった。腫瘍核医学におけるOS-EM法の利点は，高集積による放射状アーチファクトの改善，高集積周囲の欠損の改善，複数の高集積部位の分離，低カウント領域での滑らかな再構成などによる画質の改善といわれている。しかし，OS-EM法の定量性に関する検討はまだ十分にはなされていない。われわれの施設にて19症例の腫瘍FDG-PETをFBP法とOS-EM法の両方で再構成し腫瘍のSUV値を比較したところ，OS-EM法ではFBP法に比較してやや高値を示したが，両者は相関係数： $r=0.998$ と良好な相関を示した(私信)。すなわち，FBP法かOS-EM法のいずれかの方法に統一していれば，どちらの方法を用いても同等の検査結果が得られると考えられた。

今後の展望

腫瘍診断におけるFDG-PETの役割には，代謝測定による腫瘍研究と高い検出感度を利用した腫瘍シンチグラフィの二つの方向性が考えられる。その臨床的有用性は明らかであるとともに医療経済効果への貢献も確認されていることから，今後はその利点を臨床の場いかに広げることが重要であり早期の保険適応が待たれる。特にFDG-PET普及の最大の問題点はFDGの供給であるため，製薬企業からの供給開始が待望されるとともにサイクロトロン設置施設と製薬企業との連携なども望まれる。またPET専用装置は感度や分解能に優れているものの高価で汎用性が低いため一般診療においては効率が悪い。このためPET/SPECT汎用装置であるコインシデンスカメラの活用が考えられている。さらに，撮像方法や画像再構成法の進歩によってより臨床的な，より施行しやすい検査となり広く普及することが期待される。

文 献

- 1) Som P, Atkins HL, Bandoyadhyay D, et al: A fluorinated glucose analog, 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (F-18): Nontoxic tracer for rapid tumor detection. *J Nucl Med* 21: 670-675, 1980
- 2) Yonekura Y, Benua RS, Brill AB, et al: Increased accumulation of 2-deoxy-2-[¹⁸F]fluoro-D-glucose in liver metastases from colon carcinoma. *J Nucl Med* 23: 1133-1137, 1982
- 3) Kubota K, Matsuzawa T, Fujiwara T, et al: Differential diagnosis of lung tumor with positron emission tomography: a prospective study. *J Nucl Med* 31: 1927-1932, 1990
- 4) Gupta NC, Maloof J, Gunel E, et al: Probability of malignancy in solitary pulmonary nodules using fluorine-18-FDG and PET. *J Nucl Med* 37: 943-948, 1996
- 5) Sazon DA, Santiago SM, Soo Hoo GW, et al: Fluorodeoxyglucose-positron emission tomography in the detection and staging

- of lung cancer. *Am J Respir Crit Care Med* 153: 417-421, 1996
- 6) Lowe VJ, Duhaylongsod FG, Patz EF, et al: Pulmonary abnormalities and PET data analysis: a retrospective study. *Radiology* 202: 435-439, 1997
 - 7) Higashi K, Ueda Y, Seki H, et al: Fluorine-18-FDG PET imaging is negative in bronchioloalveolar lung carcinoma. *J Nucl Med* 39: 1016-1020, 1998
 - 8) Wahl RL, Quint LE, Greenough RL, et al: Staging of mediastinal non-small cell lung cancer with FDG PET, CT and fusion images: preliminary prospective evaluation. *Radiology* 191: 371-377, 1994
 - 9) Scott WJ, Gobar LS, Terry JD, et al: Mediastinal lymph node staging of non-small cell lung cancer: a prospective comparison of computed tomography and positron emission tomography. *J Thorac Cardiovas Surg* 111: 642-648, 1996
 - 10) Sasaki M, Ichiya Y, Kuwabara Y, et al: The usefulness of FDG positron emission tomography for the detection of mediastinal lymph node metastases in patients with non-small cell lung cancer: a comparative study with X-ray computed tomography. *Eur J Nucl Med* 23: 741-747, 1996
 - 11) Vansteenkiste JF, Stroobants SG, De LPR, et al: Lymph node staging in non-small cell lung cancer with FDG-PET scan: a prospective study on 690 lymphnode stations from 68 patients. *J Clin Oncol* 16: 2142-2149, 1998
 - 12) Bury T, Dowlati A, Paulus P, et al: Staging of non-small cell lung cancer by whole-body fluorine-18 deoxyglucose positron emission tomography. *Eur J Nucl Med* 23: 204-206, 1996
 - 13) Erasmus JJ, Patz EF Jr, McAdams HP, et al: Evaluation of adrenal masses in patients with bronchogenic carcinoma using 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *AJR* 168: 1357-1360, 1997
 - 14) Bury T, Barreto A, Daenen F, et al: Fluorine-18 deoxyglucose positron emission tomography for the detection of bone metastases in patients with non-small cell lung cancer. *Eur J Nucl Med* 25: 1244-1247, 1998
 - 15) Sasaki M, Ichiya Y, Kuwabara Y, et al: Fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in technetium-99m-Hydroxymethylenediphosphate negative bone tumors. *J Nucl Med* 34: 288-290, 1993
 - 16) 中川 誠, 桑原康雄, 佐々木雅之, 他: 骨転移検出における全身FDG PETと骨シンチグラフィとの比較. *核医学* 37: 540, 2000
 - 17) Ichiya Y, Kuwabara Y, Sasaki M, et al: A clinical evaluation of FDG-PET to assess the response in radiation therapy for bronchogenic carcinoma. *Ann Nucl Med* 10: 193-200, 1996
 - 18) Patz EF Jr, Lowe VJ, Hoffman JM, et al: Persistent or recurrent bronchogenic carcinoma: detection with PET and 2-[F-18]-2-deoxy-D-glucose. *Radiology* 191: 379-382, 1994
 - 19) Inoue T, Kim EE, Komaki R, et al: Detecting recurrent or residual lung cancer with FDG-PET. *J Nucl Med* 36: 788-793, 1995
 - 20) Ahuja V, Coleman RE, Herndon J, et al: The prognostic significance of fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging for patients with nonsmall cell lung carcinoma. *Cancer* 83: 918-924, 1998
 - 21) Vansteenkiste JF, Stroobants SG, Dupont PJ, et al: Prognostic importance of the standardized uptake value on ¹⁸F-fluoro-2-deoxy-glucose positron emission tomography scan in non-small cell lung cancer: an analysis of 125 cases. *Leuven Lung Cancer Group. J Clin Oncol* 17: 3201-3206, 1999
 - 22) Newman JS, Francis IR, Kaminski MS, et al: Imaging of lymphoma with PET with 2-[¹⁸F] fluoro-2-deoxy-D-glucose: correlation with CT. *Radiology* 190: 11-116, 1994
 - 23) Hoh CK, Glaspy J, Rosen P, et al: Whole-body FDG-PET imaging for staging of Hodgkin's disease and lymphoma. *J Nucl Med* 38: 343-348, 1997
 - 24) Buchmann I, Reinhardt M, Elsner K, et al: 2-(fluorine-18) fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography in the detection and staging of malignant lymphoma. *Cancer* 91: 889-899, 2001
 - 25) Paul R: Comparison of fluorine-18-2-fluorodeoxyglucose and gallium-67 citrate imaging for detection of lymphoma. *J Nucl Med* 28: 288-292, 1987
 - 26) Okada J, Yoshikawa K, Imazeki K, et al: The use of FDG-PET in the detection and management of malignant lymphoma: correlation of uptake with prognosis. *J Nucl Med* 32: 686-691, 1991
 - 27) Kostakoglu L, Leonard JP, Coleman M, et al: Comparison of FDG-PET and Ga-SPECT in staging of lymphoma. *J Nucl Med* 41: 118p, 2000
 - 28) 佐々木雅之, 桑原康雄, 中川 誠, 他: 悪性リンパ腫診断におけるFDG-PETの有用性の検討. *核医学* 37: 550, 2000
 - 29) Sasaki M, Ichiya Y, Kuwabara Y, et al: An evaluation of FDG-PET in the detection and differentiation of thyroid tumor. *Nucl Med Commun* 18: 957-963, 1997
 - 30) Grünwald F, Schomburg A, Bender H, et al: Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the follow-up of differentiated thyroid cancer. *Eur J Nucl Med* 23: 312-319, 1996
 - 31) Feine U, Lietzenmayer R, Hanke J-P, et al: Fluorine-18-FDG and iodine-131-iodide uptake in thyroid cancer. *J Nucl Med* 37: 1468-1472, 1996
 - 32) Grünwald F, Külicke T, Feine U, et al: Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography in thyroid cancer: results of a multicentre study. *Eur J Nucl Med* 26: 1547-1552, 1999
 - 33) Schlüter B, Bohusvizki KH, Beyer W, et al: Impact of FDG PET on patients with differentiated thyroid cancer who present with elevated thyroglobulin and negative ¹³¹I scan. *J Nucl Med* 42: 71-76, 2001
 - 34) (社)日本アイソトープ協会医学・薬学部サイクロトロン核医学利用専門委員会FDG-PETワーキンググループ: FDG-PET検査の臨床的有用性と医療経済効果に関する全国調査報告. *Radioisotope* 49: 77-115, 2000
 - 35) Sasaki M, Ichiya Y, Kuwabara Y, et al: Ringlike uptake of [¹⁸F] FDG in brain abscess: A PET study. *J Comput Assist Tomogr* 14: 486-487, 1990
 - 36) Ichiya Y, Kuwabara Y, Sasaki M, et al: FDG-PET in infectious lesions: the detection and assessment of lesion activity. *Ann Nucl Med* 10: 185-191, 1996
 - 37) Lindholm P, Minn H, Leskinen-Kallio S, et al: Influence of the blood glucose concentration on FDG uptake in cancer - A PET study. *J Nucl Med* 34: 1-6, 1993
 - 38) Torizuka T, Clavo AC, Wahl RL: Effect of hyperglycemia on in vitro tumor uptake of tritiated FDG, thymidine, L-methionine and L-leucine. *J Nucl Med* 38: 382-386, 1997
 - 39) Torizuka T, Fisher SJ, Wahl RL: Effect of insulin on uptake of FDG by experimental mammary carcinoma in diabetic rats. *Radiology* 208: 499-504, 1998