

# FDG-PET と body diffusion-weighted MR imaging

中島崇仁, 遠藤啓吾

群馬大学大学院医学研究科病態腫瘍制御学講座画像核医学

## はじめに

PET 画像や核医学の手法は形態学を主としてきた画像診断に、生体内代謝を画像化する機能画像としての新しい分野を生んだ。特に FDG-PET では腫瘍組織で糖代謝が亢進していることを利用し、糖代謝の亢進した腫瘍組織を画像化することができるようになった<sup>1)</sup>。このため、腫瘍の存在診断・ステージングや検診などに広く用いられるようになってきている<sup>2)~5)</sup>。拡散強調画像も組織の性質という観点からすれば、機能画像としての意味合いが強いと思われる。病変部と正常組織とのコントラストが高いことも FDG-PET との類似点となっている。FDG-PET は保険適応前後から急速に検査のできる施設が増えてきており、その利点と問題点がよりはっきりし始めている。これらのことを踏まえ、体幹部に応用される拡散強調画像は臨床利用の観点で一步先を進んでいる FDG-PET と対比し、その良い点・悪い点を参考にすれば、拡散強調画像の今後の発展がより良い方向へ向かうと考えられる。

当施設では 20 年前より FDG をはじめとする PET 画像の研究を進めてきた。他のモダリティやトレーサーとの比較検討の背景が存在するため、比較的容易に拡散強調画像と FDG-PET 画像を比較できる土壌が整っている<sup>6)~10)</sup>。いくつかの基礎的実験も含め、その取り組みと拡散強調画像の今後の展開について概説する。

## 病変の検出感度

<sup>18</sup>FDG はブドウ糖代謝を画像化するトレーサーとして有名であり、腫瘍や炎症などに取り込まれる。PET 用のトレーサーには他にもいろいろなものがあり、現在も研究が進められている。しかし、その中でも FDG-PET 検査が今日のように急速に広まった理由の一つとして、生体の正常組織と病変部とのコントラストの高さがあると思われる。病変だけに「色」がつくことで、正確な診断は別にしても、誰でも病変を認識できる分かりやすさが一般の方にもなじみやすい。今回のテーマである拡散強調画像も背景の信号が抑制されており、病変のみが強い信号を呈して描出される。病変と正常組織のコントラストの高さについては FDG-PET との類似点である。

体幹部への拡散強調画像の応用は初期の段階ではいろいろな病変が描出されてくることに驚かされた。そしてその画像の様相が FDG-PET の画像に似ているため、両者の関係に関心もたれている。そこで拡散強調画像と FDG-PET ではどちらの方が病変の検出感度が高いかという疑問がわいてくる。

検出感度が高くあるためには、正常組織とのコントラスト差・腫瘍自体の信号の高さが問題となる。FDG-PET には SUV (standardized uptake value) という指標がある。これは全身に均一に分布したとする FDG が局所にどれだけ異常集積したかという指標であり、悪性腫瘍

キーワード diffusion-weighted image, DWI, FDG-PET, body, PET

や強い炎症では高い値になる<sup>11)~15)</sup>。

我々は一般に悪性腫瘍と良性腫瘍の閾値と考  
えられている SUV2.5 以上の病変とそれ未満  
の病変で、各臓器ごとの病変数の検出能を比較  
した (Fig. 1)。症例は何らかの悪性腫瘍 (内  
訳: 食道癌 1 人・乳癌 1 人・内分泌癌 3 人・  
膵癌 1 人・大腸癌 8 人・肉腫 2 人・卵巣癌 2  
人・胃癌 1 人) をもつ 19 症例で、1 か月以内  
に FDG-PET と拡散強調画像を撮像したもの  
を対象とした。多発肝転移や腹膜播種などは病  
巣数を数えることが難しかったため、のべ患者  
数での比較となった。結果としては SUV 値に  
かかわらず、FDG-PET で指摘できている病変  
に関してはすべて拡散強調画像で描出ができ  
るという結果になった (Table)。FDG-PET でも  
SUV 値によらず、低い SUV 値の病変も視覚

的に指摘可能なものがあった。むしろ、PET  
診断に慣れた者であれば、視覚的診断の方が病  
変の検出率が高かった。しかし、いずれの部位  
でも拡散強調画像と比較すると、拡散強調画像  
の方が検出率は高い傾向にあった。特に MRI  
の高い分解能から、小さな病変の集簇像はは  
っきりと観察できることが多かった。また、CT  
や MRI の検査では病変が指摘されているの  
にもかかわらず、FDG-PET 検査で指摘でき  
ない病変も複数認められた。これらの病変にお  
いても拡散強調画像では描出が可能であった。  
リンパ節に関しては FDG-PET で集積があるも  
のに関しては基本的に異常と判定ができるの  
に対し、拡散強調画像ではあまりにも多くの  
リンパ節が描出されてしまい、異常であるか  
ないかの判定に苦慮している。現状では大き  
さでの判定

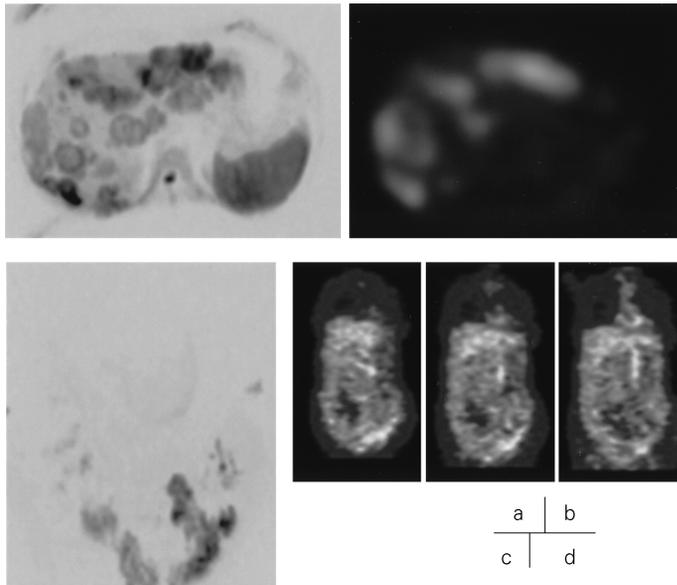


Fig. 1. Multiple lesions on diffusion-weighted imaging and FDG-PET  
(a and b) Multiple liver metastases with SUVs greater than 2.5. (c and  
d) Peritoneal dissemination with SUVs less than 2.5. (a and c) Diffusion-  
weighted image. (b and d) FDG-PET image.

2005年8月22日受理

別刷請求先 〒371-8511 群馬県前橋市昭和町3-39-22 群馬大学医学部画像核医学科 中島崇仁

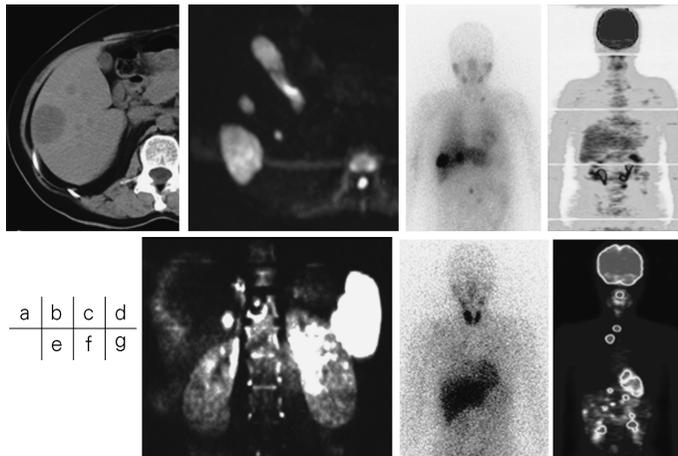
以外に良い検討方法が見あたらない。ただし、これらの検討は組織の得られているものは少なく、画像のみでの比較であり、拡散強調画像の

**Table.** The Number of Patients with Lesions Depicted in Each Organ Was Compared between Diffusion-weighted Imaging and FDG-PET

SUV : more than 2.5					
	intestine	liver	bone	peritoneal/ retroperitoneal	lymph node
FDG-PET	2	5	2	2	5
DWI on MR	2	5	2	2	5
%	100	100	100	100	100
SUV : less than 2.5					
	intestine	liver	bone	peritoneal/ retroperitoneal	lymph node
FDG-PET	0	1	1	6	3
DWI on MR	0	1	1	6	3
%	100	100	100	100	100
FDG-PET negative ; detectable lesion on CT or ordinary MR imaging					
	intestine	liver	bone	peritoneal/ retroperitoneal	lymph node
DWI on MR	0	3	1	1	8

みで指摘できて、その他のモダリティでははっきりしない病変に関しては擬陽性ではないと言い切れない。このようなゴールドスタンダードのない比較では擬陽性率や特異度などを出すことはできず、科学的根拠の少ない検討になってしまう。このような実験からは拡散強調画像の感度の高さは実感できるが、意味のある実験にするためにはさらに工夫が必要と考えられる。

我々は悪性褐色細胞腫の患者 5 症例に対して FDG-PET・<sup>123</sup>I-MIBG・拡散強調画像の三者で病変の検出感度をみる実験も行っている (Fig. 2)。結果としては悪性褐色細胞腫ではその分化度や悪性度により、FDG-PET でのみもしくは MIBG でのみしか、取り込みのない病変が認められた<sup>16),17)</sup>。どちらかの検査のみでは病変が見落とされる可能性があることが分かった。そこで、FDG-PET・<sup>123</sup>I-MIBG のどちらか一方もしくは両方で認められた病変を陽性とした場合に、拡散強調画像での病変の検出を検討した。拡散強調画像ではほぼすべての病変を検出可能であった。悪性褐色細胞腫の患者



**Fig. 2.** Pheochromocytomas on CT, diffusion-weighted imaging, <sup>123</sup>I-MIBG and FDG-PET  
 (a-d) Lesions can be depicted on <sup>123</sup>I-MIBG imaging, not on FDG-PET.  
 (e-g) Lesions can be depicted on FDG-PET, not on <sup>123</sup>I-MIBG imaging.  
 (a) CT image. (b and e) Diffusion-weighted images. (c and f) <sup>123</sup>I-MIBG images. (d and g) FDG-PET images

に関してはヨード造影剤の使用が難しいこともあり、拡散強調画像が病変の進展を正確に把握するための重要な手段になる可能性が示せた。拡散強調画像は治療前の治療方針・評価のための重要な検査になると考えられた。

### 画像処理と画像の特徴

FDG-PET では画像およびその処理の特徴からも病変の検出能を高くしている要因がある。一つめは最大値投影法の利用であり、もう一つは集積の高い病変は実際の解剖学的な大きさよりも大きく描出されるという事実である。

まず、MIP (maximum intensity projection) 法はうまく使用すると、病変検出を補助する画像になる<sup>18)</sup>。もともと PET では数枚のスライスを重ね合わせて最大値投影をする画像処理を行っており、背景と病変とのコントラストの高い画像では複数のスライスで病変を観察することができ、病変の検出がより容易になる。拡散強調画像でも病変を検出する画像処理として MIP 法がよいと考えられる。いわゆる脳の MRA に用いられるような全体的な MIP 法ではなく、target MIP や partial MIP といった一定の厚さの範囲内だけの MIP 法が有効である。そして、核医学画像の特徴として、トレーサーの集積の強い病変は実際の大きさよりも大きく描出される。このことは解剖学的位置が不明瞭になりやすいことや、実施の病変の大きさを反映していないなど、形態学的には不利な点があるが、病変の発見という意味では他のモダリティにない強みである。対照的に拡散強調画像では病変の大きさを比較的正確に反映しており、形態情報の豊富な他のシーケンスなどと組み合わせでの判定が行いやすい。病変の拡大描出のない拡散強調画像では、発見のしやすさを考えると、MIP 画像が必須かと思われる。

### 全身検索と局所評価

FDG-PET の利点として一回の検査で全身の検索が可能であることが挙げられる。このことから FDG-PET では癌のステージングや検診目的の検査として用いられる可能性もある。リンパ節転移だけでなく、原発巣の全身検索の際に偶然発見された double cancer の検出報告も増えてきている。MRI の世界では全身を数回にわけて撮像した後にうまく合成して全身の画像を作るというソフトウェア技術が開発されている。ただし、拡散強調画像では辺縁部のひずみの問題があるのかもしれないが、きれいな画像をルーチン検査で全身画像を出すことのできる装置・ソフトなどを含むシステムはまだ汎用化されていない。拡散強調画像を一回の検査で複数の部位を撮像している施設はまだまだ少なく、必ず撮像されていない領域が存在することが多い。このような状況では全身検索の意味では拡散強調画像は FDG-PET との競争において、同じ土俵にまだ上がっていない。Siemens 社製の Tim システムなど、装置的には比較的現実化してきており、今後アプリケーションが整理されれば、FDG-PET 同様に全身の画像を得ることができ、本当の意味で比較検討ができるようになると思われる。全身のシステムを企業に開発してもらうには臨床的有用性の根拠が必要となる。局所評価でどの程度の有用性が引き出せるかが、現状の課題と考えている。しかし、実際には FDG-PET も拡散強調画像も局所の組織学的な評価はやや苦手分野である。FDG-PET には SUV という半定量的な指標があり、病変に対してある程度悪性の可能性が高いのか低いのかを判定できる。高い SUV 値を示しているものは悪性である可能性が高い。この場合も炎症との区別は困難であるし、経時的な変化や他のモダリティとの比較が必要となることが多い。SUV 値は絶対的なものではなく、悪性と良性の境界を 2.5 や 3 などいろいろと工夫しているが、実際には境界領域のものも

多く、視覚的判断が有効なことも多い。最近 FDG-PET 画像の分解能を上げる工夫として 3D 収集法というものがあり、患者の体軸方向の  $\gamma$  線も観測し、画像化している。また、検診目的の画像ではトランスミッションスキャンという体内を  $\gamma$  線が通過した際の減衰を補正する検査を省略している施設がある。3D 収集法やトランスミッションスキャンを省略した検査では定量性が損われるため、SUV 値はあてにならない。ただし、FDG が特徴的に強く集積する病変も存在している。全身のリンパ節が SUV 値 7 程度まで高く集積する場合は悪性リンパ腫やサルコイドーシスが鑑別診断の上位に存在する。FDG-PET では SUV を用いてある程度の組織推測が可能である。

一方、拡散強調画像では信号はほぼ飽和しており、信号の強弱では病変の悪性度を評価できない<sup>19)~24)</sup>。ADC を測定することで、腫瘍と炎症の鑑別が可能な印象 (Fig. 3) があり、今

後の検討次第では FDG-PET が苦手な炎症と腫瘍とを区別できる可能性があると思われる。ただし、拡散強調画像では組織の診断に関しては、CT や MRI でのダイナミック検査 (血流情報) や Dexon 法などのシーケンスによる早期肝細胞癌の診断など、他に有効な手段が多い。治療とのコラボレーションのところでも紹介するが、直腸癌における FDG-PET と拡散強調画像の比較において、拡散強調画像の分解能の高さに驚かされることが多い (Fig. 4)。FDG-PET であれば、病変が存在しており、活動性が高いことはわかるが、病変の局在ははっきりしない。拡散強調画像では特に重ね合わせ画像を作成すると、その病変の存在範囲がはっきりしてくる。大きな腫瘍においても拡散強調画像で微小結節が複数集合しているような像に遭遇することがよくあり、多結節性に病変が存在している印象をうける (Fig. 5)。実際の組織との対比は得られていないが、このことも今

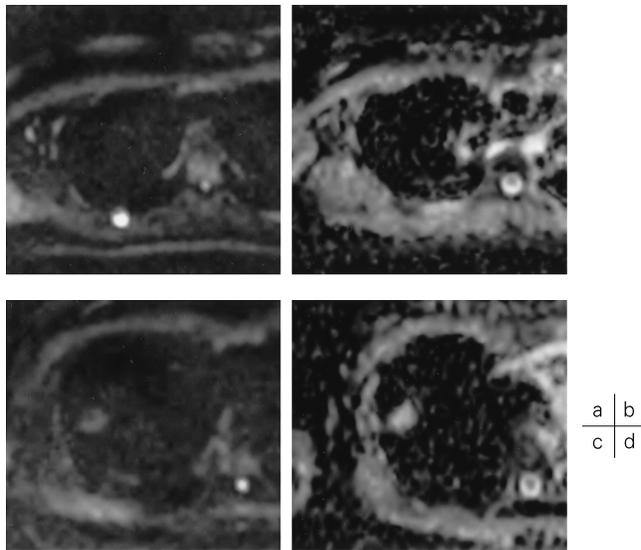


Fig. 3. Diffusion-weighted imaging (a and c) and ADC map (b and d) before and after radiofrequency ablation therapy (a and b) Lung tumor before radiofrequency ablation therapy. (c and d) Lung tumor after radiofrequency ablation therapy. Hyperintensity on diffusion-weighted imaging remains.

後の研究に期待したい。

ところで拡散強調画像における腫瘍の検出限界について一つの実験を試行してみた。Head coilを用いてマウスに植えた大腸癌組織がどの程度の大きさまで拡散強調画像で検出可能かという検討である。実験の結果では15 mg程度の大きさの腫瘍まで検出が可能であるという結果が得られた (Fig. 6)。これは肉眼的には米粒の1/3程の大きさである。このことからコ

イルの感度が高ければ、かなり小さな病変まで描出が可能となることが分かった。今後の一つの方向性として感度を高めていく方向もあるかと思われる。病変の存在は既にわかっている場合に、さらに付加的情報として病変の細胞密度の分布を画像化して、生検や治療などに役立てられるのではないだろうかと考えている。

### 治療とのコラボレーション

我々は経験的に拡散強調画像が、FDG-PETで困難な炎症と腫瘍を区別できる可能性をもっていることに注目している。様々な治療後の比較的早期の評価を拡散強調画像でFDG-PETと比較しながらいくつかの検討を行っている。

漿膜浸潤を伴う直腸癌の治療に温熱療法併用下の化学放射線療法を行っており、その治療前後で拡散強調画像の信号変化とFDG-PETの画像の変化を比較している。10例での検討を行っており、どちらもその治療効果と相関が見

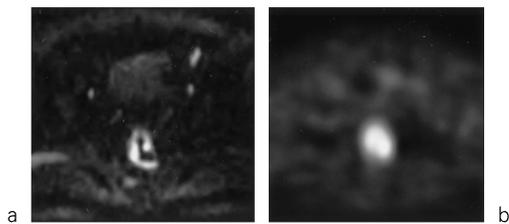


Fig. 4. Comparison of depictability of rectal cancer  
(a) Diffusion-weighted imaging. (b) FDG-PET.

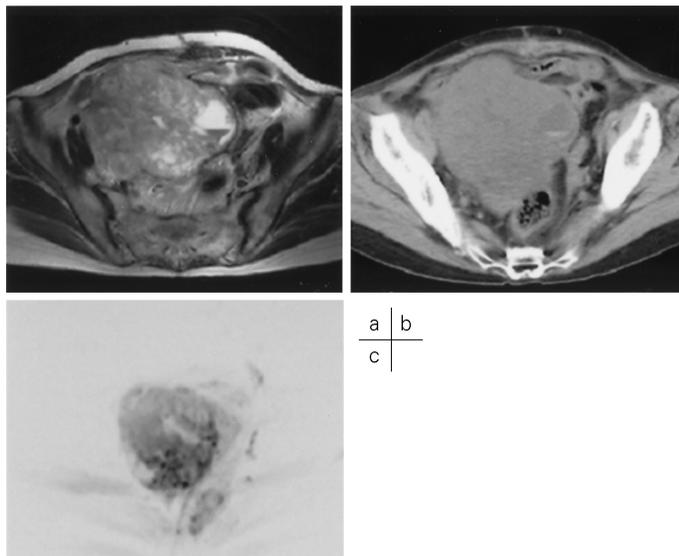


Fig. 5. Signal pattern on diffusion-weighted imaging and cellular density Patient with uterine sarcoma. A granular hyperintensity may be suggestive of a high cellular density.

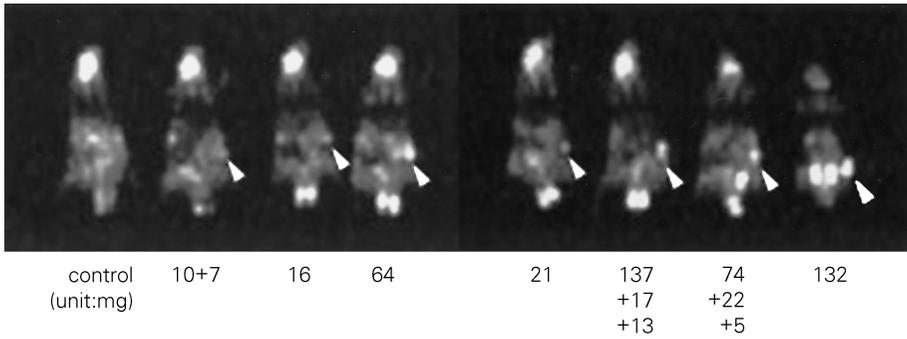


Fig. 6. Lesion size and detectability in diffusion-weighted imaging  
The weights of colon cancer cells implanted subcutaneously in mice were compared to their detectability on diffusion-weighted imaging. A hyperintensity was identified in lesions as small as 15 mg.

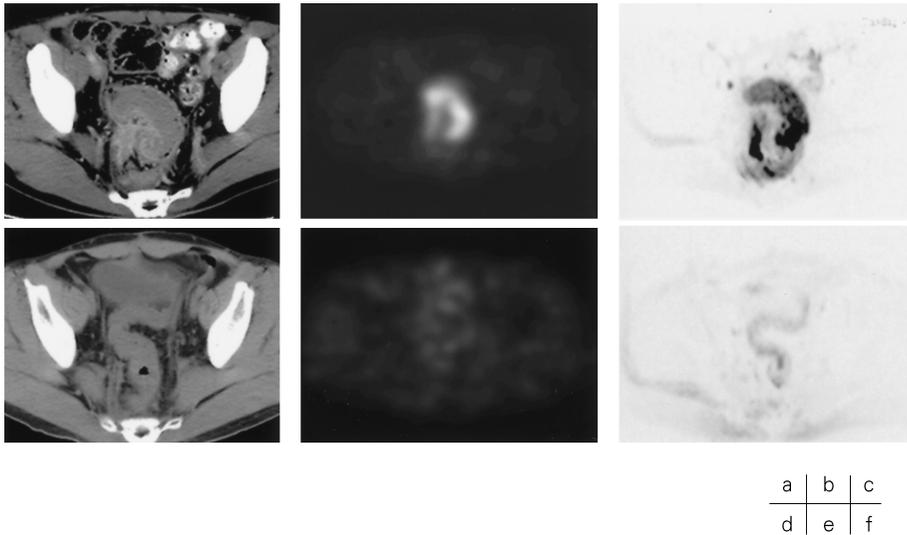


Fig. 7. Changes on diffusion-weighted imaging before and after chemoradiotherapy of rectal cancer  
(a and d) CT images. (b and e) FDG-PET images. (c and f) Diffusion-weighted images. (a-c) Rectal images before chemoradiotherapy. (d-f) Rectal images after chemoradiotherapy.

られている (Fig. 7). 詳しい検討はこれからであるが、直腸は解剖学的に膀胱の近くに位置しており、FDGは尿路排泄が主な経路であることから、詳細な観察が難しいことがある。また、空間分解能を考えると、明らかに拡散強調画像の方が詳細な検討が可能になる。この検討

は直腸のみであるが、FDG-PETでは大腸に生理的な集積があることがあり、腫瘍との鑑別が困難なことがある。この場合も拡散強調画像では正常組織が高信号になることはあまりなく、腫瘍の広がり・存在を正確に評価可能である。

我々の施設では転移性肺腫瘍に対して、CT

ガイド下にラジオ波焼灼術治療を行っている。治療前の転移性肺腫瘍が選択的脂肪抑制法を併用した拡散強調画像で高信号に認められることがわかった。そこで、Le Veen 針という展開針を用いた CT ガイド下ラジオ波焼灼術の治療前後 1 週間以内に拡散強調画像を撮像する検討をしている。17 病変での検討で、プロトコルに則った治療が完遂できたものに関しては、ほとんどの症例で治療後に信号が完全に消失している。最も短い時間に確認できたものは治療後 2 時間で、この短時間に信号の消失が得られた。いくつかの症例では治療前と治療後 1 か月程度に FDG-PET が施行されている。治療前の評価では、拡散強調画像および FDG-PET 共に描出される転移性病変も存在するが、CT や拡散強調画像で描出されているにもかかわらず、FDG-PET で指摘できない病変も存在していた (Fig. 8)。FDG-PET で治療前に FDG の集積が存在するものに関しては、ラジオ波焼灼術により、病変への集積が消失していたことが確認できた (Fig. 9)。我々はラジオ波焼灼術の治療直後に FDG-PET を撮像した症例はないが、いくつかの報告では直後から二

週間程度の間では周囲の炎症に FDG が取り込まれてしまい、腫瘍の活動性を正確に評価できないと言われている。ラジオ波焼灼術前後でマウスに植えた腫瘍への FDG の集積率を測定した我々の実験では、治療直後に FDG の値が低下しており、FDG 自体は腫瘍の活動性を正確に評価している (Fig. 10)。しかし、その画像の分解能の低さから腫瘍と炎症が区別つかないものと考えられる。原理的に FDG-PET の空間分解能が飛躍的に向上することはあまり望めず、現状では炎症の治まった治療後 1 か月程度に評価の FDG-PET 検査を施行し、腫瘍の残存の評価をしていることが多い。

では、拡散強調画像では治療効果判定はどの程度正確なのであろうか？ 初期の段階では片側精巣を用いた治療の実験を行った。精巣動静脈の結紮や蒸留水の注入・エタノールの注入である。おそらく、これらいずれも精巣細胞はいずれ壊死するはずであるが、早期に拡散強調画像で信号変化が得られたのは、エタノール注入のみであった。また、大腸癌細胞ではエタノール注入による治療前後の信号変化が見られなかった。これは臨床的に HCC には全体的に腫

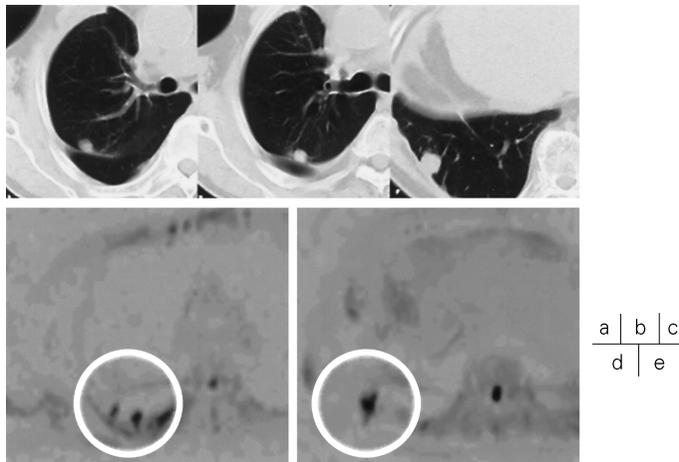


Fig. 8. A small lung tumor not detected on FDG-PET (a-c) CT images. (d and e) Diffusion-weighted images.

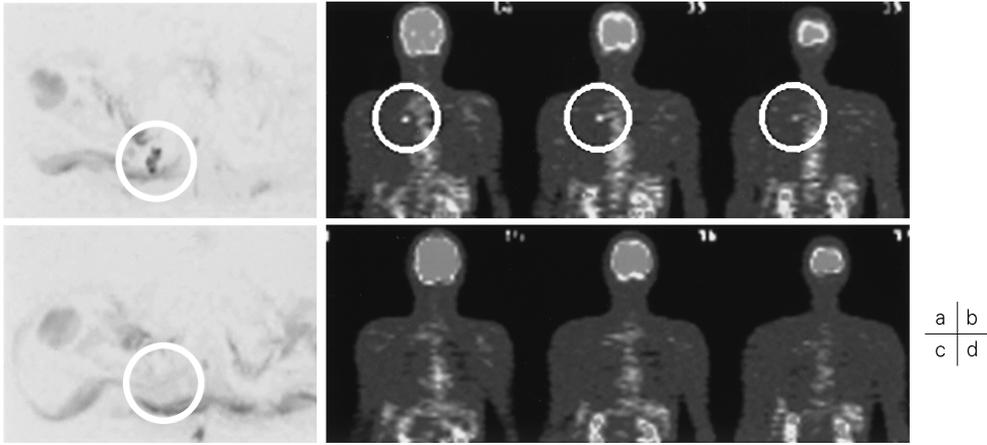


Fig. 9. Comparison of pre and post radiofrequency ablation therapy of lung tumor  
 (a) Diffusion-weighted image before radiofrequency ablation therapy. (b) FDG-PET image before radiofrequency ablation therapy. (c) Diffusion-weighted image after radiofrequency ablation therapy. (d) FDG-PET image after radiofrequency ablation therapy.

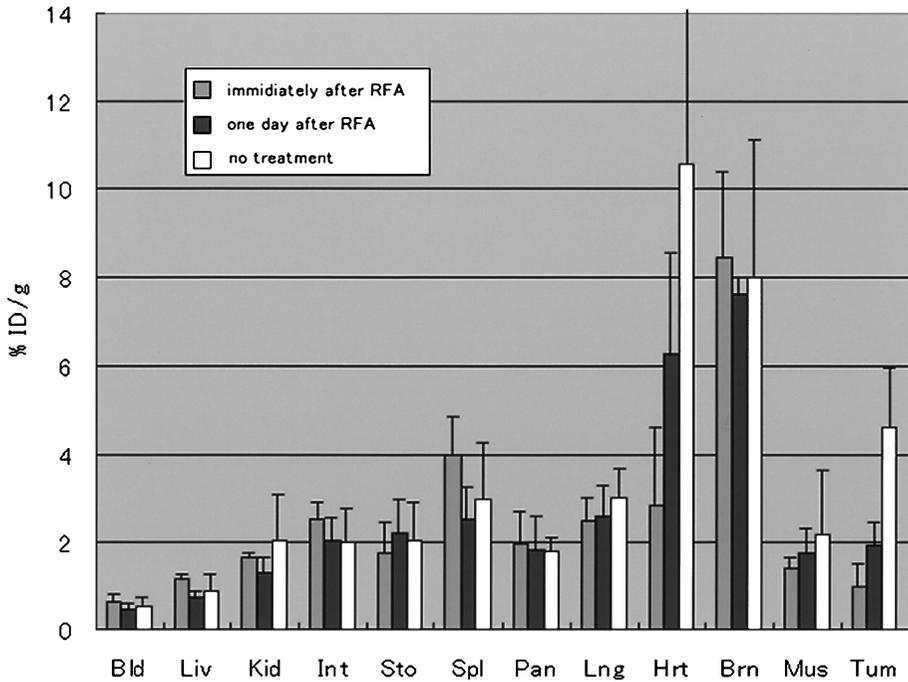


Fig. 10. Cancer bearing mice underwent radiofrequency ablation. FDG counts before and after treatments were compared  
 Cancer bearing mice before radiofrequency ablation therapy (white bar), immediately (light gray bar), and one day after radiofrequency ablation (dark gray bar) was injected with FDG. One hour post injection, counts for each organ and tumor were taken. Counts of the tumors are decreased immediately after radiofrequency ablation.

瘍細胞にエタノールが広がるが、大腸癌肝転移には広がらないのと同じような現象が起きているのかと推測している。

そこで、皮下にヒト大腸癌を植えた担癌マウスでエタノールの注入や虚血・切除・冷却して組織温度を上げずにラジオ波焼灼術を行うといった実験も行っている。その結果からは、ラジオ波焼灼術による治療効果と拡散強調画像における信号低下との間には比較的良好な相関関係が認められている。ただし、治療直後には信号の変化が認められなかった<sup>25)</sup>。

ところで、冷却下でのラジオ波焼灼術では、ラジオ波による熱ではなく、腫瘍のアポトーシスを誘導して腫瘍死を得ていることが知られている。実際に治療1日後の腫瘍へのFDGの集積は低下しているのに対し、拡散強調画像では腫瘍は高信号のまま描出される。2週間程度したところで、治療がうまくいけば信号が消失する (Fig. 11)。治療1日後の腫瘍組織を観察すると、HE染色では治療後には核の濃縮が存在しているが、細胞自体は壊死を起こしていない (Fig. 12)。アポトーシスを見るssDNA染色ではアポトーシスを起こしているのがわかる。このような状態では腫瘍の拡散強調画像で信号低下が得られないことがわかった。これらの実験からはFDGはミクロの世界では早期に治療効果・腫瘍の活動性を反映しており、細胞壊死が起きてから画像の変化が起こる拡散強調画像に勝っていることがわかる。しかし、画像化ということになると、FDG-PETでは治療に伴う周囲正常組織の反応性変化と腫瘍部位がわかりにくくなり、拡散強調画像に軍配が上がる。

これらのことを考える際に、炎症に対する感度と腫瘍に関する感度を別々にして考えてみると良いかもしれない。拡散強調画像は腫瘍に関する感度は高いが、炎症に関する感度は膿瘍のようなものを作らない限り、通常の炎症性細胞浸潤程度では高信号にならない印象をもっている。一方、FDG-PETでは炎症に対する感度も高く、通常の肺炎でもかなり強い高集積を示し

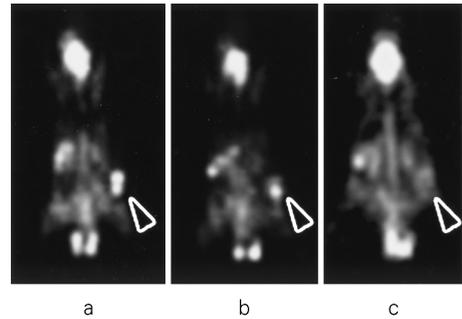


Fig. 11. Temporal changes after radiofrequency ablation therapy

One day post radiofrequency ablation, tumor hyperintensity can still be seen. The hyperintensity has disappeared two weeks later.

Cancer bearing mice images on diffusion-weighted imaging (a) before radiofrequency ablation, (b) one day post radiofrequency ablation, (c) two weeks post radiofrequency ablation.

てしまう。肺炎患者群と肺癌患者群でFDG-PETと拡散強調画像を撮像することができれば、両者の炎症に関する感度と腫瘍に関する感度の違いがよりはっきりしてくると思われる。

#### 拡散強調画像 vs. FDG-PET

結局、病気の診断方法として、FDG-PETと拡散強調画像ではどちらが良いのであろうか。MRIと核医学・CTとの比較で必ず問題になる被曝の問題であるが、大まかに言えば、単純胸部写真で0.3mSv・FDG-PETで3mSv・CTで30mSvと考えられている。注射を行う術者被曝には問題があるが、被検者としての被曝はそれほど多くない。わずかに拡散強調画像に軍配が上がるが、それほど大きなものではない。拡散強調画像ではその空間分解能に関しては確実にFDG-PETに勝っている。その分解能を生かして、治療に役立つ情報を引き出すことができるようになるかもしれない。しかし、FDG-PETは最近ではPET-CTの方向へシフトしてきており、CTの高い分解能と併せて利

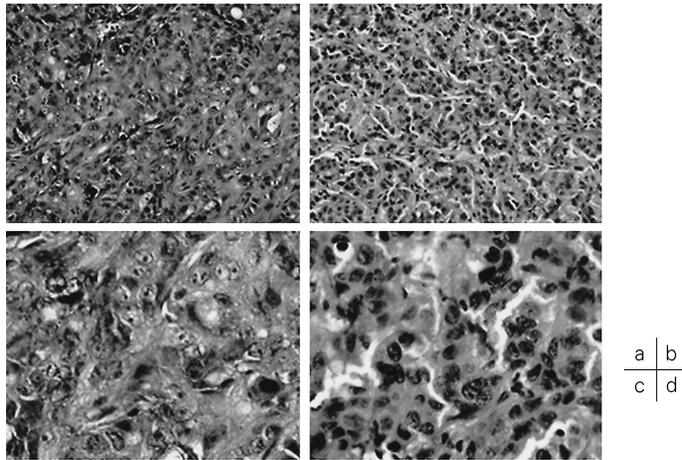


Fig. 12. Histological changes immediately after radiofrequency ablation. Immediately radiofrequency ablation, there is concentration of the nucleus, but no destruction of the cell itself. (Hematoxylin-Eosin stain)  
 (a) Image before radiofrequency ablation with low power magnification.  
 (b) Image after radiofrequency ablation with low power magnification.  
 (c) Image before radiofrequency ablation with high power magnification.  
 (d) Image after radiofrequency ablation with high power magnification.

用すれば、分解能の面でもある程度は解剖学的な情報を引き出すことができる。FDG-PETの分解能については現在も高くなってきており、今後もいろいろな工夫がされると思われる。単純にFDGの投与量を増やすだけではノイズが増えてしまうことになり、空間分解能はあがらない。検出器の感度を高くしたり、時間分解能を高くしたりすることで、ノイズを減らすことができる。FDG-PETでも拡散強調画像でも重ね合わせというものがさらに重要視されるようになってくるため、比較的元の画像の分解能が問題にならないかもしれない。拡散強調画像で治療とのコラボレーションのようにその分解能を生かした検査が発展すれば別であるが、現状の利用方法では将来的に空間分解能の違いは問題にならないかもしれない。

感度と特異度に関しては拡散強調画像が批判される際に問題にされる。感度は高いが特異度は低いのが、拡散強調画像であるというのが一

般的な主張である。しかし、リンパ節などを除けば、正常組織とのコントラスト比はかなり高く、脂肪さえうまく抑制できていれば、特異度もある程度の高さになるのではないと思われる。もしくはリンパ節でも大きさなどのファクターなどとあわせた場合に特異度が高くなるなど、特異度を上げる工夫はできるとと思われる。FDG-PETでも大腸や胃への生理的な集積・尿路系への排泄など問題となる点は多い。これら生理的な集積が除かれた上での特異度ということになっており、純粹に画像を比較しただけであれば、あまり拡散強調画像とFDG-PETの間に変化がないのではないだろうか。また、診断医が拡散強調画像の診断に慣れてくれば、ある程度の生理的な高信号などの見分けはつくようになってくると思われる。

拡散強調画像とFDG-PETとの比較で一番大切なのはやはり全身の画像が一度に得られるかということと考えている。FDG-PETでは既

に全身を検査対象にしており、病変の広がりを確認できる。検査前に関心のあった領域以外に病変が存在（知らなかった転移巣があったり、検診で癌がみつかったり）した場合、その偶然性からのインパクトはかなり強い。PET firstという言葉もあり、装置が普及してきた場合、まずスクリーニングとしてPET検査をするのはどうかという提案もある。被曝や装置の普及率・コストのことを考えると、DWI firstはかなりの確率であり得ることだと思う。拡散強調画像は非常に感度が高い検査であり、スクリーニングには非常に向いている検査と思われる。しかし、実際に全身の拡散強調画像をルーチンの検査で行えるかという点、現時点では装置・ソフトの面から不可能な点が多く、全身をルーチンにしている施設は少ない。その意味では拡散強調画像はFDG-PETとの競争のスタートラインにも立っていないのかもしれない。

## ま と め

当施設では1997年にトランスミッションスキャンとエミッションスキャンの同時収集が可能なPETカメラ（SHIMAZU社）が導入されている。当時は世界的にもFDG-PETの研究は現在の拡散強調画像のように局所でのみ利用されており、頭部での利用が中心で、体幹部の腫瘍に対しても有効であるというデータが出されるようになってきていた状況であった。この同時収集が可能な装置の導入により、トランスミッションのための時間が大幅に短縮できたことにより、全身のスキャンが臨床ベースで可能になった。（これ以前は $\gamma$ 線の吸収補正のために薬剤投与前にトランスミッションスキャンを施行し、薬剤投与後にエミッションスキャンを施行していたため、2倍以上の時間がかかっていた。）大阪大学での基礎的研究を元に、群馬大学でFDG-PETを利用した大規模な全身検索が行われるようになった。当時は年間1000件程度の腫瘍PET検査は、国内はもとより世

界的にも症例数が豊富で、このデータが今日のクリニカルPETの基礎の一角を担っている。このようにFDG-PETが全身応用されるようになったのは、たった8年前である。放射線診断分野の進歩が早いとはいえ、8年前には現在のようなクリニカルPETの状況は誰も予想ができなかった。拡散強調画像の現状も1997年以前のPETに大変良く似ており、装置やソフトウェアのブレイクスルーがあれば、FDG-PETの倍以上の速度で広まっていくことが予想される。

今後の方向性として、拡散強調画像は確実に全身の検査に移行していくと思われる。その時になれば、現在のFDG-PETの果たしている役割を拡散強調画像が担うようになってくる可能性が十分ある。しかし、そのままFDG-PETを置き換えることにはならないと思われる。拡散強調画像は高い病変の検出能力だけでなく、その利用方法についても多くの検討課題を残している。FDG-PETにはない利用のされ方もたくさん出現する可能性があり、非常に面白い分野と考えられる。

## 文 献

- 1) Inoue T: Present status of PET images: clinical FDG PET in oncology. Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi 1999; 59: 737-744
- 2) Nakasone Y, Mogi K, Endo K: Current status of nuclear medicine clinical application of FDG-PET for cancer diagnosis. Head and neck cancer. Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi 2002; 62: 258-264
- 3) Oriuchi N, Endo K: Diagnostic accuracy of FDG PET imaging for the detection of recurrent or metastatic gynecologic cancer. Ann Nucl Med 2005; 19: 137-145
- 4) Okumura W, Oriuchi N, Endo K, et al.: Usefulness of fasting 18F-FDG PET in identification of cardiac sarcoidosis. J Nucl Med 2004; 45: 1989-1998
- 5) Mochiki E, Kuwano H, Endo K, et al.: Evalua-

- tion of 18F-2-deoxy-2-fluoro-D-glucose positron emission tomography for gastric cancer. *World J Surg* 2004 ; 28 : 247-253
- 6) Inoue T, Koyama K, Endo K : Detection of malignant tumors : whole-body PET with fluorine 18 alpha-methyl tyrosine versus FDG—preliminary study. *Radiology* 2001 ; 220 : 54-62
  - 7) Tian M, Zhang H, Endo K : Comparison of 11C-choline PET and FDG PET for the differential diagnosis of malignant tumors. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004 ; 31 : 1064-1072
  - 8) Yanagawa T, Watanabe H, Endo K, et al. : Carbon-11 choline positron emission tomography in musculoskeletal tumors : comparison with fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Comput Assist Tomogr* 2003 ; 27 : 175-182
  - 9) Zhang H, Tian M, Endo K : 11C-choline PET for the detection of bone and soft tissue tumours in comparison with FDG PET. *Nucl Med Commun* 2003 ; 24 : 273-279
  - 10) Tian M, Zhang H, Endo K et al. : Oncological diagnosis using (11)C-choline-positron emission tomography in comparison with 2-deoxy-2-[(18)F] fluoro-D-glucose-positron emission tomography. *Mol Imaging Biol* 2004 ; 6 : 172-179
  - 11) Aoki J, Watanabe H, Endo K : FDG-PET in differential diagnosis and grading of chondrosarcomas. *J Comput Assist Tomogr* 1999 ; 23 : 603-608
  - 12) Aoki J, Watanabe H, Endo K : FDG PET of primary benign and malignant bone tumors : standardized uptake value in 52 lesions. *Radiology* 2001 ; 219 : 774-777
  - 13) Inoue T, Oriuchi N, Endo K : Accuracy of standardized uptake value measured by simultaneous emission and transmission scanning in PET oncology. *Nucl Med Commun* 1999 ; 20 : 849-857
  - 14) Kato K, Aoki J, Endo K : Utility of FDG-PET in differential diagnosis of benign and malignant fractures in acute to subacute phase. *Ann Nucl Med* 2003 ; 17 : 41-46
  - 15) Aoki J, Watanabe H, Endo K : FDG-PET for preoperative differential diagnosis between benign and malignant soft tissue masses. *Skeletal Radiol* 200 ; 32 : 133-138
  - 16) Ezuddin S, Fragkaki C : MIBG and FDG PET findings in a patient with malignant pheochromocytoma : a significant discrepancy. *Clin Nucl Med* 2005 ; 30 : 579-581
  - 17) Menzel C, Graichen S, Berner U, et al. : Monitoring the efficacy of iodine-131-MIBG therapy using fluorine-18-FDG-PET. *Acta Med Austriaca* 2003 ; 30 : 37-40
  - 18) Coakley FV, Cohen MD, Johnson MS, et al. : Maximum intensity projection images in the detection of simulated pulmonary nodules by spiral CT. *Br J Radiol* 1998 ; 71 : 135-140
  - 19) Moteki T, Ishizaka H, Matsumoto M, et al. : Differentiation between hemangiomas and hepatocellular carcinomas with the apparent diffusion coefficient calculated from turbo FLASH MR images. *J Magn Reson Imaging* 1995 ; 5 : 187-191
  - 20) Moteki T, Ishizaka H : Evaluation of cystic ovarian lesions using apparent diffusion coefficient calculated from turboFLASH MR images. *Br J Radiol* 1998 ; 71 : 612-620
  - 21) Moteki T, Ishizaka H : Evaluation of cystic ovarian lesions using apparent diffusion coefficient calculated from reordered turboflash MR images. *Magn Reson Imaging* 1999 ; 17 : 955-963
  - 22) Moteki T, Ishizaka H : Diffusion-weighted EPI of cystic ovarian lesions : evaluation of cystic contents using apparent diffusion coefficients. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 12 : 1014-1019
  - 23) Moteki T, Horikoshi H, Endo K : Evaluation of hepatic lesions and hepatic parenchyma using diffusion-weighted reordered turboFLASH magnetic resonance images. *J Magn Reson Imaging* 2002 ; 15 : 564-572
  - 24) Moteki T, Horikoshi H, Endo K : Diffusion coefficient and signal intensity in endometrial and other pelvic cysts. *Magn Reson Imaging* 2002 ; 20 : 463-470
  - 25) Roth Y, Tichler T, Kostenich G, et al. : High-b-value diffusion-weighted MR imaging for pretreatment prediction and early monitoring of tumor response to therapy in mice. *Radiology* 2004 ; 232 : 685-692

## **FDG-PET and Diffusion-weighted MR Imaging**

Takahito NAKAJIMA, Keigo ENDO

*Department of Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine, Gunma Graduate School of Medicine  
3-39-22 Showa-machi, Maebashi, Gunma 371-8511*

Diffusion-weighted MR imaging enables noninvasive characterization of biologic tissue and is potentially useful in detecting extension of tumors and predicting response of tumors to treatment. However, its role in tumor research has not been determined. A comparison of diffusion-weighted MR imaging with positron emission tomography with  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose (FDG-PET), one of the most important modalities for tumor assessment, will help improve diagnosis and establish clinical research methodology.