

## レビュー

## 腹部・骨盤部領域におけるF-18-FDG PET/CT検査の意義

菅 一能

セントヒル病院 セムイPET検診・放射線治療サイト 宇部市今村北3丁目7-18 (〒755-0155)

Key words : F-18-FDG PET/CT, 腹部, 骨盤部, 悪性腫瘍, 良性病変

## 和文抄録

ブドウ糖代謝機能診断とCTによる形態診断を同一断面上で同時に行えるF-18-2-Fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) positron emission tomography (PET)/CTスキャンは、腫瘍診断と治療戦略において必要不可欠なモダリティになりつつある。全身検索が可能な本検査は、原発腫瘍の検出/ステージング/予後予測、集約的治療における効果判定や予後予測さらに他の重複する病変をone stop shopping的に評価できる点で有用性が高い。但し、悪性腫瘍の種類によりFDGに対する親和性やブドウ糖代謝は異なり、PET/CT検査の用いられ方は一様ではなく、各腫瘍の性質に基づいた使い分けが必要である。本稿では、腹部・骨盤部領域のPET/CT検査の腫瘍診断と治療戦略に必要な基礎的知識、および各種腫瘍の性質に基づいた使われ方を合計3シリーズに掲載し、自験例を基に文献的にレビューする。

## はじめに

ブドウ糖代謝機能診断とCTによる形態診断を同一断面像上で同時に行える2-[fluorine-18] fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) PET/CT検査は、全身を一度に検索でき腫瘍診断と治療戦略において必要不可欠な検査法になりつつある<sup>1-8)</sup>。本検査は、良悪

鑑別診断<sup>1)</sup>、悪性腫瘍の検出/ステージング/予後予測<sup>1-4)</sup>、放射線治療計画における照射野の決定<sup>9)</sup>、術後や集学的治療の効果判定と再発巣の検出、予後評価<sup>3, 9)</sup>、原発不明癌の原発巣検索<sup>10)</sup>、癌スクリーニング<sup>11-14)</sup>に使用されている。悪性腫瘍の種類によりFDGに対する親和性やブドウ糖代謝は異なり、用いられ方は一様ではなく各腫瘍の性質に基づいた使い分けが必要である<sup>1)</sup>。FDGは悪性腫瘍でも細胞量/密度が乏しい場合や脱リン酸化酵素の活性が高い腫瘍では集積し難い場合があり、炎症性病変や良性腫瘍にも集積し得るなど腫瘍診断において知っておくべきピットホールもある<sup>1, 4)</sup>。本稿では、腹部・骨盤部領域のPET/CT検査の腫瘍診断と治療戦略に必要な基礎的知識、および各種腫瘍の特徴にも基づいた使われ方を3シリーズに掲載し、自験例を基に文献的にレビューを行う。

## 1. F-18 FDGの腫瘍集積メカニズム

F-18 FDGは、ブドウ糖の2位の水酸基をポジトロン核種F-18 (物理学的半減期110分, 180度方向に1対の511-keVの消滅放射線を放出)で置換したブドウ糖誘導体で、細胞内には細胞膜にあるグルコーストランスポーター [GLUT; GLUT 1: 血液系細胞, 肝, 腫瘍, GLUT 2: 肝, 膵, 消化管, 腎, GLUT 3: 神経系, GLUT 4: 心筋, 骨格筋 (インスリンにより誘導), GLUT 5: 小腸] の働きにより入り、ヘキソキナーゼの作用でグルコース6リン酸へと変化する<sup>3, 15)</sup>。ブドウ糖と異なりその後の反

応は進まず細胞内に蓄積され、一定濃度以上に蓄積したFDGは脱リン酸化酵素による脱リン酸化反応によって逆方向への反応も働き平衡状態に達する<sup>1, 3)</sup>。ただし、脳、心臓においては脱リン酸化酵素の活性は低く、脱リン酸化反応は無視できる。増殖能の高い癌細胞では糖代謝が亢進しGLUTは過剰に発現しており、かつ脱リン酸化酵素の働きが弱いため正常組織に比べ高い濃度で平衡状態に達す、いわゆるメタボトラッピングという状態になる<sup>3, 15)</sup> (図1)。FDGはブドウ糖と異なり尿管管にて再吸収されず尿路系へ排泄される。FDGは消化管では平滑筋肉と粘膜に摂取されるが、糞便中にはごく少量のみが排泄されるのみである。FDGは悪性病変のみならず、活性化された炎症性細胞のブドウ糖消費量が非活性化状態の50倍程度に増加するため炎症組織や肉芽腫にも高度に集積する<sup>16)</sup>。



図1 悪性腫瘍のFDG異常集積機序

増殖能の高い癌細胞では糖代謝が亢進し、細胞膜のGLUTは過剰に発現しており、かつ脱リン酸化酵素の働きが弱く正常組織に比べ高濃度で平衡状態に達する。

## 2. F-18 FDG PET/CT検査

### (i) PET/CT撮像法と工夫

検査前は5-6時間絶食で過度の運動は控え、F-18 FDGを4.4MBq/kgを静注し、50分間の安静の後、全身の早期像を安静呼吸下に撮像し、必要に応じて2-3時間後の遅延像を追加する。過度の運動や食事摂取した場合、筋肉の集積が上昇し、また病変の集積が低下するため検出能は低下する。検査時には、利尿がバックグラウンドとなる体組織の放射能を減じ病変とのコントラストを上昇させ、放射線被曝線量の低減を行う<sup>1-3)</sup>。PET/CTのCTスキャンは、通常、

管電流を下げて撮像されるため放射線被曝線量は通常4-12mSv (平均9mSv程度)で、通常のCT検査に比し格段に少ない<sup>1, 4, 17, 18)</sup>。しかし、肺結節など病変の形態の詳細な評価が診断能の向上に必要と考えられる際には、撮像条件を上げることもある。血糖値が180-200mg/dl以上では画質の劣化により診断能が低下するので、場合により検査中止の判断も必要である<sup>1, 3)</sup>。

遅延像の追加撮像は、主に腸管の生理的集積と病変の集積の区別と同時に、悪性腫瘍と正常組織のコントラストの上昇(悪性腫瘍ではFDG集積は時間経過とともに亢進するが、正常組織や良性病変では一旦集積したFDGが次第に減少して行く傾向がある)が図られ、病変の検出能の向上や良悪鑑別にも役立つ<sup>17-19)</sup>。当施設で腹部・骨盤部の悪性病変群(N=151)と良性病変群(N=20)のFDG集積動態を早期像(静注1時間後)と遅延像(静注2時間後)で検討すると、悪性病変のSUVmax変化率は26.8%±34.2で良性病変の6.0%±17.3に比し有意に高く(P=0.0082)、遅延像撮像により両者の集積の差異が広がることが確認された。遅延像SUVmaxが4.5以上を良悪鑑別の閾値とすると、感度74.8%、特異度70%の診断能が得られた。

PET/CT合体装置では、PETとCTを同一テーブルで同じ体位で撮像するため位置ずれの少ないPET-CT融合像が得られ、異常集積部の正確な局在の判定と、生理的集積と病変の異常集積の鑑別に役立つ<sup>4-6, 20)</sup>。また、CT値を使用したPET吸収補正が行え撮像時間の短縮が図られる<sup>4-6, 21-27)</sup>。CT像の提供する詳細な形態像は腫瘍診断に役立ち、PET単独検査に比し診断能は向上する<sup>4-6, 24, 29)</sup>。特に異常集積と腸管や尿管の生理的集積との区別、後腹膜腔内や小骨盤部の複雑な解剖構造の中での異常集積の位置同定において有利である<sup>5, 6)</sup>。ただし、CTとPET間の呼吸相の違いによる位置ずれにより吸収補正アーチファクトが生じ、呼吸の動きの大きい肝臓や下肺野では小病変の異常集積が部分体積効果により不明瞭化する例があり注意が必要である<sup>4, 23-27)</sup>。撮像の工夫として、胃の生理的集積と病変による異常集積の鑑別を容易にするため、検査直前に水かミルクを300-500mlを飲用させ、胃の伸展により生理的集積の抑制し、比較的小さい病変の検出能を改善する処置もとられる<sup>29, 30)</sup>。フロセミドなどによる

強制利尿は腹部・骨盤部領域の悪性病変の検出能を向上させる<sup>31)</sup>。以前の透視検査によりバリウムが腸管に残存しているとアーチファクトによるhot spotsが出現する例があるが、非吸収補正のPET元画像で判断すると良い<sup>5, 32)</sup>。卵巣癌などの腹膜播種の検出にPET/CT検査はCTより優れるが<sup>5, 33)</sup>、腸管の蠕動で播種巣の移動があるため融合画像とCT像の詳細な対比を要する。最近の動向として、PET/CT検査時に造影CT検査も行い、詳細な形態診断を同時に行う方法が提唱されている<sup>22, 33, 34)</sup>。肺結節を標的とする場合には呼吸同期/息止め撮像も行われる<sup>35)</sup>。新しいPETスキャナーとして、消滅放射線の飛程距離の差異を検出して画像を作成するTime-of-Flight方式の装置も登場しており、体重の大きい被検者の小病変の検出能の向上と撮像時間の短縮、および定量生の向上が図られる<sup>36, 37)</sup>。

#### (ii) PET/CT融合像の読影と解釈

FDG/PETの読影にはmaximum intensity projection (MIP) 回転PET画像、吸収補正PET冠状断/横断像、吸収補正用CT横断像、非吸収補正PET像およびPET-CT融合画像により行われる。必要に応じ、CT colonoscopy/broncho-scopyのバーチャル三次元CT像にPET像を融合させた表示もされる<sup>38)</sup>。FDG異常集積の判定や腫瘍集積の程度の評価は、視覚的判定に加え、放射能カウントを投与量、体重で補正したstandardized uptake value (SUV) = 組織F-18濃度 (Bq/ml) / (F-18投与量 (Bq)) / 体重 (g) や関心領域内の画素群が持つ最大ピクセル値のSUVmaxを用い定量的に行われる<sup>5, 9, 15, 39, 40)</sup>。通常は、SUVmaxと平均SUVを並記することが推奨される<sup>9, 15, 39, 40)</sup>。SUV値は、個々の被検者の体重、FDG投与量、撮像タイミング、画像ノイズ、画像再構成法、画像スムージング処理、ピクセルサイズ、使用装置により若干の差異があり<sup>3, 9, 15, 39-41)</sup>、また不均等な集積を示す腫瘍では腫瘍全体の集積分布を表せないことを念頭に置く必要がある。定量の客観性の向上を図るため、異常集積部の最高カウント値の50%または80%の等高線による関心領域を設定し測定する方法や、部分体積効果による小病変の放射能の過少評価を回復補正係数(recovery coefficient)により補正する方法、全自動的に再現性のある関心領域を設定するソフトウェアが開発されている<sup>39, 40)</sup>。

他の定量手法として、ダイナミックデータを収集と頻回の動脈血採血を行い、Patlak plotによるgraphical analysisを使用してブドウ糖代謝定数( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mL}$ )を求める方法もあるが、煩雑な面があり汎用されるに至っていない<sup>43)</sup>。正確なSUV値測定には解決すべき問題はあがるが、SUV値は良悪性病変の鑑別や放射線・化学療法の効果判定を客観的に判定する指標として広く使用されている<sup>1, 3, 4, 19, 41, 42)</sup>。

### 3. 多領域の腫瘍診断に共通するFDG PETの意義と留意事項

#### (i) 生理的集積と病変の異常集積の鑑別

PET/CT診断では、生理的FDG集積(扁桃組織、外眼筋、唾液腺、上顎洞粘膜、咽頭粘膜、咬筋、胸鎖乳、突筋、喉頭筋、心筋、肺門・縦隔リンパ節、乳腺、肝、脾、腎、腸管、副腎、腎、尿管、膀胱、月経時/排卵期の子宮内膜、排卵期の卵巣、精巣、赤色骨髄、褐色脂肪組織など)を認識する必要がある<sup>3, 5, 6, 15, 44)</sup>。生理的集積は、通常、左右対称性の分布を示すが、腫瘍やリンパ節の反回神経圧迫による声帯麻痺例では、喉頭筋の集積に偏りがみられ、病変検出のサインとなる例がある<sup>44)</sup>。褐色脂肪組織の集積は、寒冷時に女性に見られる頻度が高いが、交感神経支配とも関連がある<sup>45-47)</sup>。頸部、両肩、腋窩、縦隔、脊椎周囲、大血管周囲および腎上部周囲に認められ、腎上部周囲の集積は副腎病変の集積との鑑別を要する<sup>47)</sup>(図2)。消化管の生理的集積と腫瘍性病変の異常集積の鑑別には遅延像の追加撮像が有用で、腫瘍性病変の異常集積は早期・遅延像を通じて恒常的に認められ、小さく丸みを帯びる傾向がある<sup>48-51)</sup>(図3)。腎、尿管、膀胱では、病変の異常集積が隠れる場合があり、腸管では下剤などの使用によるびまん性集積や、腫瘍閉塞による集積亢進のため腫瘍範囲の判定が困難となり注意を要する<sup>52-54)</sup>。閉経前の女性では、卵巣や子宮内膜には月経周期に伴う集積変化が見られる<sup>55, 56)</sup>。脾臓のFDG集積亢進が、感染症<sup>57)</sup>、Adult Still disease<sup>58)</sup>、G-CSFの投与<sup>59)</sup>やG-CSF産生腫瘍<sup>60)</sup>で認められ留意する必要がある。

腹部・骨盤部領域のFDG PET検査で偶発的なFDG異常集積が3%程度の頻度で認められ内視鏡などによる精密検査が望まれる。偶発的異常集積の

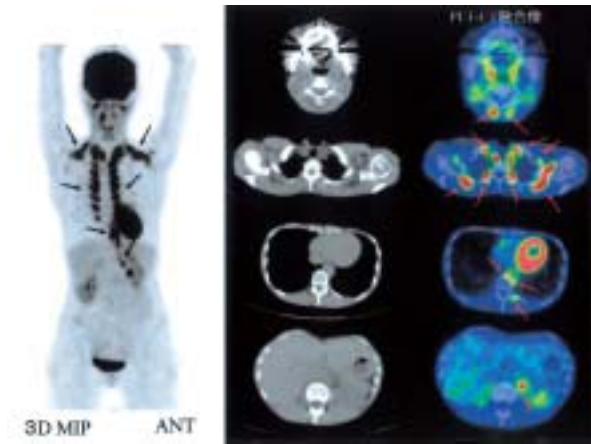


図2 褐色脂肪組織へのFDG集積を呈した例

褐色脂肪組織へのFDG集積は、頸部、両肩、腋窩、縦隔、脊椎周囲、大血管周囲および腎上部周囲に左右対称性に分布している。腎上部周囲の集積では副腎病変の集積との鑑別を要するが、PET/CT検査では鑑別は容易である。

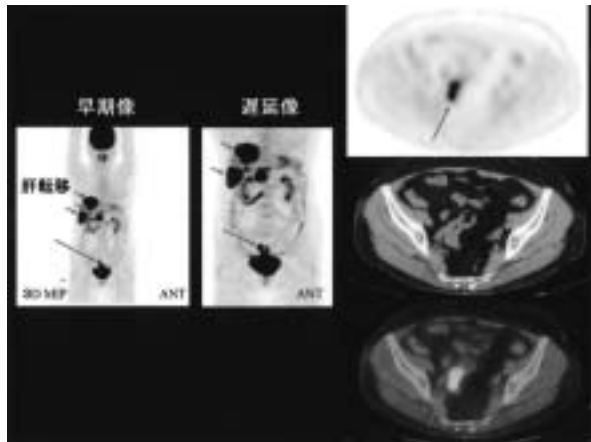


図3 CTで肝転移が検出され原発巣検索のために施行されたPET/CT検査

S状結腸に早期像、遅延像ともに恒常的FDG異常集積が認められ、CT像では腸管壁の肥厚が認められる。内視鏡検査でS状結腸癌が診断された。

約70%は腸管に認められ、その75%が炎症性病変で25%は癌または前癌病変と報告されている<sup>49-51)</sup>。

腹部領域のPET/CT検査において、FDG集積を示し悪性病変と鑑別を要する病変の一覧を表1に示す。

原発巣の検出と良悪鑑別診断

悪性腫瘍はFDG異常集積部として検出されるが、集積程度は腫瘍の大きさや密度、代謝機能、病理学的悪性度、増殖能などに依存し<sup>1, 3-5, 8, 9, 39)</sup>、体組織

表1 腹部・骨盤部領域におけるFDG集積する良性疾患群

疾患名	備考 (良悪鑑別のポイントなど)
結核(非結核性抗酸菌症)	高集積を示す。悪性腫瘍の腹膜播種との鑑別が必要
サルコイドシス	高集積を示す。悪性リンパ腫との鑑別が必要
Helicobacter pylori 感染胃	生理的集積はFornixに多い。他部位での限局性集積は病変による可能性あり。
肝腫瘍	高集積を示す。他画像で悪性病変との鑑別が必要
肝炎性偽腫瘍	高集積を示す。他画像で悪性病変との鑑別が必要
慢性/急性胆嚢炎	活動期に集積。他画像検査で胆嚢癌との鑑別が必要
カテーテルの留置された胆管	炎症反応による集積と推測される
慢性/急性肺炎	活動期に集積。他画像検査で肺癌との鑑別が必要
自己免疫性肺炎	IgG4 測定、びまん性/局所集積
副腎皮質腫瘍	副腎悪性病変に比し集積は低い
褐色細胞腫	良性・悪性腫瘍ともに集積
後腹膜線維症	炎症性動脈炎や自己免疫性肺炎と関連する例あり 水腎症所見を伴う例あり
大腸ポリープ	良性腫瘍にも高率に集積、腺腫の糖代謝はサイズが増大するにつれて亢進。13 mm 以上の腺腫の陽性率は90%であるが、腺腫内癌の検出につながる。
急性憩室炎	高集積を示す。他画像で悪性病変との鑑別が必要
潰瘍性大腸炎	腸管の長軸方向に長い異常集積
クローン病	回腸末端部に多い
虫垂炎	虫垂原発腫瘍との鑑別が必要
便秘傾向の大腸	腫瘍の異常集積が不明瞭となる原因
閉塞による蠕動運動亢進	腫瘍の異常集積が不明瞭となる原因
動脈硬化症	炎症性プラークに集積
大動脈炎	高安病や巨細胞動脈炎に異常集積。 動脈傍リンパ節の異常集積と鑑別が必要
前立腺炎	前立腺癌は集積の乏しいことあり鑑別が必要
放射線照射後の腸管粘膜炎	放射線照射野との対応。3ヵ月以上遷延化例あり。
子宮筋腫	子宮癌に比し集積は低い
子宮腺筋症	MR で子宮癌との鑑別が必要
悪性腫瘍に伴うリンパ節サルコイド反応	最近注目されているリンパ節病変 転移リンパ節判定における偽陽性の原因の1つ
大腸癌近傍リンパ節の炎症性変化	炎症反応により転移リンパ節判定における偽陽性の原因の1つ。遠隔リンパ節には起こり難い。
膠原病、感染、肝硬変症に伴う反応性リンパ節炎	高集積例あり注意が必要。腫瘍マーカーの推移を参照。
異物による肉芽腫	高集積を示す。他画像で悪性病変との鑑別が必要
腹腔内・腸管壁膿瘍 腸管壁脂肪壊死	高集積を示す。血液炎症所見、他画像を参照。
術創、腸管術後部(吻合部) 人工肛門部の肉芽組織	手術歴の確認。再発巣との鑑別が必要
血腫/将液腫	臨床情報との対比
仙骨などの不全骨折 骨折、骨壊死巣	CT像との対比で診断可能。骨折後6ヶ月以内は比較的高い集積、ステロイド投与の有無
G-CSF 投与された赤色骨髄	G-CSF 産生腫瘍で起きる例あり

バックグラウンド(血糖値・腎機能の影響)の強さや部分体積効果、呼吸の動きに影響される<sup>1, 4, 21, 25, 39)</sup>。主病巣の検出感度は、腫瘍のFDG親和性により異

なるが、現状では腫瘍径5 mm以下の病変は、一般に検出困難である<sup>4, 5, 6, 21, 43</sup>。特に呼吸性移動の比較的影響を受け易い下肺野や肝臓の腫瘍の小さい腫瘍では、集積部位の位置誤認や集積程度の過少評価が起きる<sup>4, 14, 21</sup>。気管支肺胞型腺癌（高分化型肺腺癌）、消化管表在癌、線維化の強いスキルス癌、粘液産生/嚢胞性腫瘍では、細胞量や密度が少なく、一般に集積は乏しい<sup>1, 6, 14, 21</sup>。高分化肝細胞癌や腎癌では、一旦蓄積したFDGが脱リン酸化酵素により分解され流出するため集積は乏しく、約50%は集積陰性となる<sup>4, 5</sup>。同一腫瘍群の中でも、組織型により集積の程度は異なり、例えば、食道癌では扁平上皮癌には高率に集積するが、高分化腺癌では20%程度しか集積陽性とならない<sup>61</sup>。カルチノイド、前立腺癌の原発巣のFDG集積程度には幅がある<sup>1</sup>。

良悪鑑別診断では、一般に悪性病変の方が良性病変に比べ集積程度は高く、視覚的またはSUV値で判定される<sup>1-3</sup>。生理的集積を示す卵巣でも、生理的集積のSUV値〔5.7±1.5 (range, 3.8-8.2)〕は、悪性病変〔9.1±4 (range, 4.5-15.6)〕に比し高値である<sup>62</sup>。前述したように、遅延像の追加撮像が鑑別に有効なことは多い<sup>19, 63-66</sup>。鑑別診断を絞りきれない場合でも、病変のFDG集積分布から生検の適切な部位選択に役立つ<sup>67</sup>。偽陽性病変は各領域で認められ、臨床所見、他画像所見、臨床検査データ、経過観察などを考慮した慎重な鑑別が必要で、生検による病理組織学的検討が望まれる<sup>1, 5</sup>。

悪性腫瘍の原発巣の進達度の判定は、一般にはPET像の空間分解能の低さから困難と考えられるが<sup>4, 21, 34, 68</sup>、局所に原発巣が局限しているかどうかの判断は可能であり、手術適応の決定などに有用である<sup>1, 21, 69-72</sup>。子宮頸癌では、腫瘍近傍の子宮内膜に腫瘍浸潤のない場合にもFDG集積亢進所見が認められ注意を要する<sup>73</sup>。

悪性腫瘍のFDG集積程度は、腫瘍増殖能<sup>1, 8, 15, 41, 61, 74</sup>、リンパ節転移や遠隔転移の来たし易さ、治療後再発の来たし易さと相関する傾向があり、SUVmax値が一定の閾値以上に高い場合は、低い群に比較して予後が悪い傾向がある<sup>1, 3, 5, 8, 75-77</sup>。

標的とする悪性病変のPET/CT検査に、他の新たな悪性腫瘍（異時性または重複癌）が1.2%程度の割合で検出され患者管理に大きな影響を及ぼす。この点でも全身検索の可能な本検査の意義は大きい<sup>78</sup>。

## ステージング

PET/CT検査は、他臓器やリンパ節転移など広範な領域の検索が可能で、腹部・骨盤部の悪性腫瘍のステージングにおける有用性は高い<sup>1, 4, 5, 79-90</sup>（図4）。ただし、リンパ節転移巣の検出において腫瘍細胞量が少ないとFDG集積が乏しいことがあり、前回CTとの比較や腫瘍マーカーの推移を参考に判断する必要もある<sup>23, 41</sup>。一般に腫瘍近傍リンパ節の評価は、原発巣のFDG放射能の影響で検出し難いことに注意が必要である<sup>91</sup>。喫煙の影響による肺門・縦隔リンパ節の集積亢進や、膠原病などでリンパ節に強い集積例もある<sup>28, 91</sup>。このため、現時点では、一般にはCT、MRや超音波内視鏡（EUS）検査、腫瘍マーカーの推移、経過観察により相補的に判定する必要がある。一方、予期せぬ遠隔転移巣や再発巣が検出され、造影CTやMRIで転移巣か否かの確定が困難なリンパ節の診断が正しく行える例は多い<sup>1, 4, 5, 91</sup>。ただし、肺転移の検出は一般にCTの方が優れ、CTによる追加評価は必要である<sup>1, 2, 21</sup>。なお、悪性腫瘍原発巣にFDG集積が乏しい場合でもリンパ節転移巣や遠隔転移巣の集積は強く診断可能になる例は比較的多い。これは転移巣では組織構築や悪性度が増えるためと考えられる<sup>4, 5, 21</sup>。最近、遅延像の追加撮像によりリンパ節転移の診断能が向上することが、食道癌や子宮頸癌などで報告されており、試みるべき方法と考える<sup>19, 91-93</sup>。

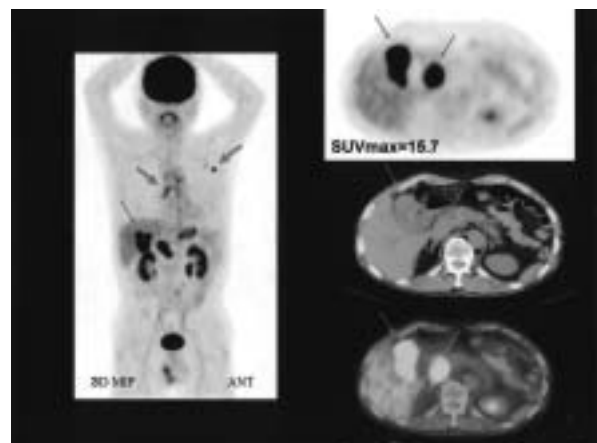


図4 予期しない多発性の転移巣が検出された胆嚢癌例  
CTで指摘されていた胆嚢癌の原発巣と肝門部リンパ節に異常集積に加え、右肺門・縦隔リンパ節転移巣へのFDG異常集積が認められる。

### 放射線/化学療法の治療効果判定

前述したように、PET/CT検査は、悪性腫瘍の放射線・化学療法、あるいは動脈塞栓術やラジオ波焼却術の治療効果判定に有用である<sup>94-98</sup> (図5, 6)。悪性腫瘍は、治療により代謝障害と細胞死が起き、自己融解/壊死に陥った後、壊死の吸収により腫瘍が縮小さらには線維化・瘢痕へと進むが、形態CTでは腫瘍の縮小が起きる前の段階における代謝障害を検出することで、治療効果判定と予後判定を早期

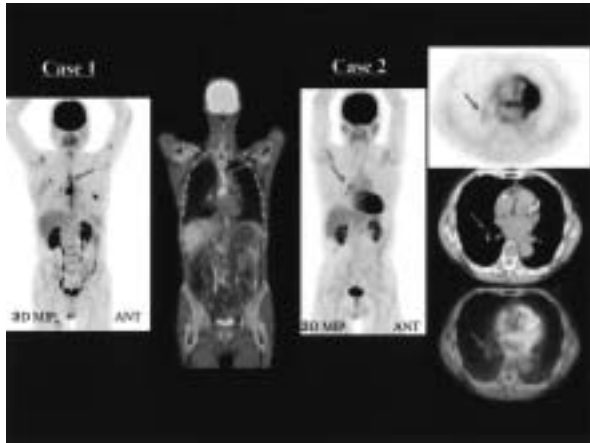


図5 放射線治療が行われた食道癌の2例

両症例とも放射線照射後3ヵ月以上の間隔をあけてPET/CT検査が行われたが、照射された食道粘膜や、心房壁やリンパ節、肺野などにFDG集積亢進が認められる。症例1では、照射された食道粘膜の集積より高い集積を原発巣集積残存に認める。

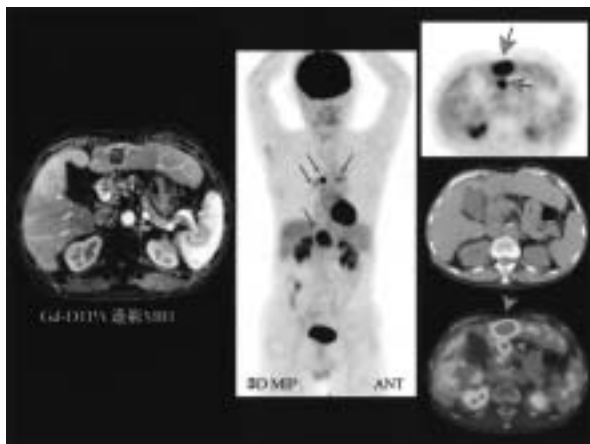


図6 Radiofrequency ablation (RFA)/transarterial embolization (TAE)が施行された大腸癌の肝転移例

6ヵ月前に大腸癌の肝転移巣に対しRFA/TAEが施行され、経過観察造影CTやMRでは腫瘍の大きさや造影効果に変化は乏しいが、PET/CT検査でFDG異常集積が認められる。同時に腹腔動脈根部や肺門・縦隔リンパ節転移巣の異常集積も指摘される。

に行なえる可能性がある<sup>1, 98</sup>。しかし、腫瘍の種類により、治療に反応したFDG集積低下の程度や反応速度一律でなく、各種腫瘍で統一した治療効果の判定時期や基準が設けられるべきである<sup>98, 99</sup>。判定に当たっては、化学療法後に腫瘍のFDG集積が血流の影響などを強く受け、残存腫瘍組織のviabilityと比例しない集積低下が起きる可能性や、逆に“metabolic flare”と呼ばれる反応性に一過性の集積増加が起きる可能性もあり注意を要する<sup>98, 99-101</sup>。放射線治療や動脈塞栓術やラジオ波焼却術の影響により、腫瘍周囲組織の反応性集積増加も起きる可能性がある<sup>102</sup> (図5)。このため、通常、治療後一定期間の間隔（一般には化学療法では2-3週、放射線治療では最低6-8週または3ヵ月）をあけた効果判定が推奨される<sup>9, 41</sup>。一般には、放射線治療後6ヵ月経過した時点で認められる異常集積は再発を示唆する所見である<sup>41, 76, 101, 102</sup>。

治療効果をSUV値で定量評価する上で、治療前ベースラインの評価は必要で、治療前後のSUV値測定も可能な限り再現性のある方法で厳密に行う必要があり、個々の腫瘍群の治療に対する感受性に応じた適切な閾値を設定する必要も有る<sup>103, 104</sup>。既にコンセンサスの得られた治療効果判定基準の例を挙げると、GISTの分子標的治療（イマチニブ）による判定基準（World Health Organization, Response Evaluation Criteria in Solid Tumorsと European Organisation for Research and Treatment of Cancer Criteria）がある。ここでは、完全寛解（CR）をすべての病変のSUV値が周囲組織より低下したもの、部分寛解（PR）を集積減少が25%以上認められたもの、進行（PD）をSUV値が25%以上増加した場合などの基準が使用されている<sup>105</sup>。今後、他腫瘍群でも統一された判定基準が整えられていくと考えられる。客観的な治療効果判定基準の設定は、動脈硬化症の不安定プラークの抗炎症薬の効果判定でも試みられている<sup>106</sup>。

### 術後、治療後の再発巣検出

PET/CT検査は、術後や放射線化学療法後の再発巣の検出に優れ早期に検出できる利点がある<sup>107-110</sup>。本検査をCTやMRIなどの他画像検査に加えて行う意義は大きく、予期せぬ遠隔転移巣や再発巣が検出

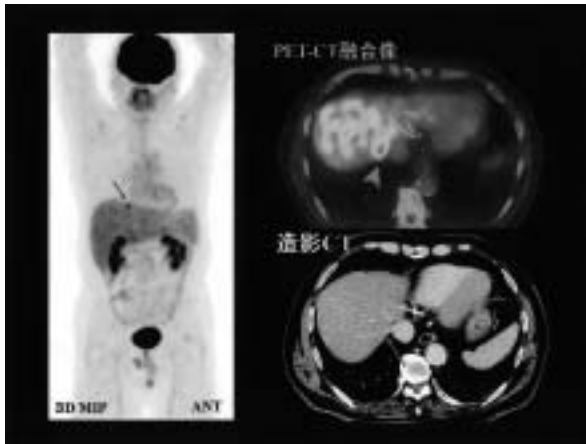


図7 腫瘍マーカー上昇を呈するも再発巣の不明例  
術後の経過観察で、腫瘍マーカーの上昇を認め、CT、内視鏡検査が行なわれたが再発巣は不明であった。PET/CTでは肝ドーム部に肝転移巣へのFDG異常集積が指摘される。造影CTでは転移巣は不明瞭である。

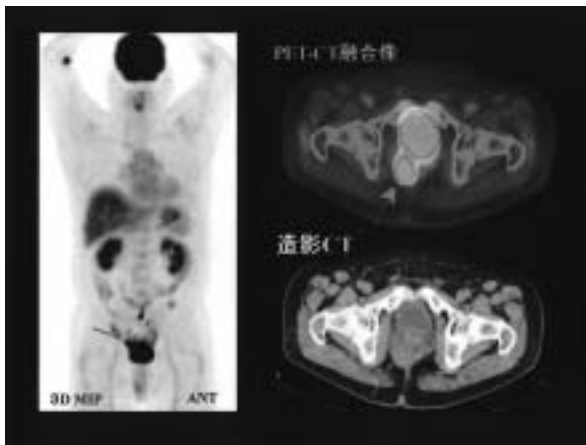


図8 直腸癌術後、再発例  
術後の経過観察で、腫瘍マーカーの上昇は認められなかったがCTで膀胱背側に径2.5cmの腫瘍が指摘された。針生検されるも診断が確定されず、PET/CT検査が行なわれた。腫瘍にFDG異常集積を認め再発巣と診断された。

される(図7)。腫瘍マーカーが上昇し他画像検査で検索しても異常所見が認められない場合では特に有効とされる<sup>111)</sup>。直腸・大腸癌では、仙骨前スペースで術後癒痕巣と腫瘍再発の鑑別な困難な場合にPET/CT検査は鑑別に有用とされる(図8)。子宮癌、子宮内膜癌、卵巣癌の術後再発の検出では、PET検査はMRやCTより診断能は優れる<sup>112)</sup>。腸管では術後吻合部の集積が偽陽性となり慎重な鑑別を要する。原発巣と同様、多種の悪性腫瘍において術後再発巣のFDG集積程度は予後に相関することが多い<sup>113)</sup>。

#### 4. 原発不明癌の原発巣検索

原発不明癌は、初発病巣より転移巣が先に発見された場合や、腫瘍マーカーの上昇など悪性腫瘍の存在が強く疑われる場合をさすことが多い<sup>8)</sup>。FDG-PETは十分に精査された患者における原発巣検出率には限界があるが、一度の検査で全身を検索できるという利点があり、原発部位の探索を単純化する意義もある。原発不明癌の原発巣検出感度は、通常30%程度である<sup>8, 114)</sup>。転移が先行して見つかれば他画像検査で原発巣が検出されていない例では、PET/CT検査で57%に検出され(肺、睪丸、扁桃、卵巣、胆道系、大腸、下咽頭など)、PET単独の成績24-40%よりも優れている<sup>115)</sup>。多発性肝転移の検出が契機となり発見される悪性腫瘍は稀ではないが、大部分は肺と消化管の検査で原発巣が発見される場合が多い(図3)。女性で、腫瘍マーカーCA19-9が上昇を伴う原発不明癌では、膵臓癌などの消化器癌および子宮体癌/卵巣癌を念頭に置く<sup>8)</sup>。但し、カルチノイドや前立腺がんの原発巣ではFDGが乏しいことがある点には留意しておく必要がある<sup>8)</sup>。正常大卵巣症候群のように、腹膜播種が先行して見つかれば、原発巣が検出されない場合、卵巣癌や膵粘液癌が原発巣であることが多い<sup>8, 115)</sup>。

#### 5. 癌スクリーニング

PET検査による癌スクリーニングは、超音波やMRI、腫瘍マーカーを併用して行われることが多く、異常があれば精密検査が行われるが、癌の検出率は、2施設の大規模スクリーニングの報告で、47/3,631例(1.3%)と526/40,000例(1.32%)であった<sup>115-116)</sup>。発見された癌は甲状腺癌、肺癌、大腸癌、前立腺癌、乳癌の順に多く、PET検査単独で異常集積として発見されたのは約2/3で、大腸癌、甲状腺癌、乳癌、肺癌、胃癌、食道癌、膵臓癌の順である(図9)。PET検査単独では、悪性腫瘍の大きさや性状により検出困難なものがあり、卵巣癌、腎癌、前立腺癌、膀胱癌はPET検査以外の画像検査で検出される頻度が高いことは留意すべきである。なお、他の悪性病変を標的としたPET検査で約1.2%の頻度で別の悪性病変が発見される可能性があり、別の悪性病変の存在にも注意を払う必要がある<sup>117)</sup>。

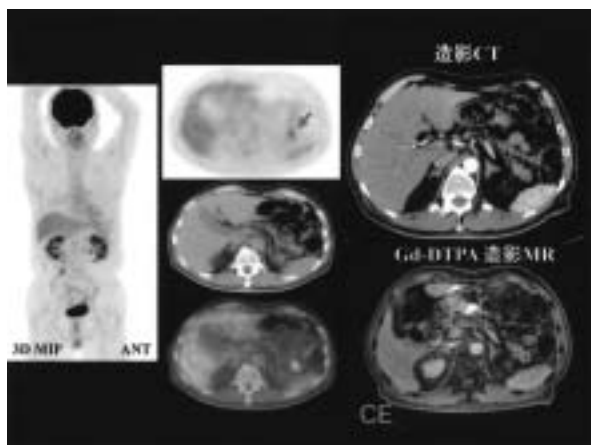


図9 検診で発見された膵癌例

PET/CT検査で、膵尾部にFDG異常集積が認められ、造影CTでは内部に低濃度域を有する腫瘤が指摘される。手術により膵癌が診断された。

## 6. その他

PET/CT検査は、骨転移巣の検出に有用であるが、骨硬化巣を呈する傾向のある乳癌や前立腺癌では、FDG集積が乏しいことがあり注意を要する<sup>118)</sup>。骨折では少なくとも3ヵ月後までは、集積するといわれており<sup>3)</sup>、既往歴の把握は重要である。関節リウマチに伴う関節炎、術後の肋骨、内軟骨腫、巨細胞腫、線維性骨過形成などの良性病変にも集積するため、臨床情報や他画像とも合わせ転移巣との鑑別が必要である。骨病変の良悪の鑑別に、集積程度、集積分布やFDG動態解析の定量評価が有用とされ注目される<sup>119)</sup>。なお、顆粒球刺激コロニー因子(G-CSF)の投与やG-CSF産生腫瘍により骨髄のびまん性集積亢進所見が見られ例があり、骨転移巣との鑑別に注意を要する<sup>58, 59)</sup>。PET/CT検査は、脊柱管内や脊髄の病変の検出にも有用で、脊髄転移巣や脊髄圧迫性病変や放射線照射治療による集積変化が検出される<sup>120, 121)</sup> (図9)。

最近の特記すべきFDG PET/CT検査の動向として、FDGが腫瘍診断のみならず良性病変への活用が挙げられる。FDGが活動性炎症巣やその関連病変に集積する性質を利用して、不明熱や広範囲の軟部組織の感染症のfocusの検出<sup>122)</sup>、血管炎<sup>123, 124)</sup>、動脈壁の活動性プラーク<sup>125)</sup>、関節炎<sup>126)</sup>の検出に使用されている。IgG4関連-自己免疫性膵炎に代表されるように免疫性疾患における病巣の進展臓器の同定にも使用される<sup>127)</sup>。

## 文 献

- 1) Fletcher JM, Djulbegovic B, Soares HP, Siegel BA, Lowe VJ, Lyman GH, R. Coleman E, Wahl R, Paschold CJ, Avril N, Einhorn LH, Suh WW, Samson D, Delbeke D, Gorman M, Shields AF. Recommendations on the use of <sup>18</sup>F-FDG PET in oncology. *J Nucl Med* 2008 ; **49** : 480-508.
- 2) Coleman RE, Delbeke D, Guiberteau MJ, Conti PS, Royal HD, Weinreb JC, Siegel BA, Federle MF, Townsend DW, Berland LL. Concurrent PET/CT with an integrated imaging system: intersociety dialogue from the Joint Working Group of the American College of Radiology, the Society of Nuclear Medicine, and the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 1225-1239.
- 3) Weber WA, Figlin R. Monitoring cancer treatment with PET/CT : Does it make a difference? *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 36S-44S.
- 4) von Schulthess GK, Steinert HC, Hany TF. Integrated PET/CT : Current applications and future directions. *Radiology* 2006 ; **238** : 405-422.
- 5) Wahl RH. Why nearly all PET of abdominal and pelvic cancers will be performed as PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 82S-95S.
- 6) Subhas N, Patel PV, Pannu HK, Jacene HA, Fishman EK, Wahl RH. Imaging of pelvic malignancies with in-line FDG PET-CT : Case examples and common pitfalls of FDG PET. *RadioGraphics* 2005 ; **25** : 1031- 1043.
- 7) Sironi S, Messa C, Mangili G, Zangheri B, Aletti G, Garavaglia E, Vigano R, Picchio M, Taccagni G, Maschio AD, Fazio F. Integrated FDG PET/CT in patients with persistent ovarian cancer : correlation with histologic findings. *Radiology* 2004 ; **233** : 433-440.
- 8) Kalff V, Duong C, Drummond EG, Matthews JP, Hicks RJ. Findings on <sup>18</sup>F-FDG PET scans after neoadjuvant chemoradiation provides



- prognostic stratification in patients with locally advanced rectal carcinoma subsequently treated by radical surgery. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 14-22.
- 9) Weber WA. Use of PET for monitoring cancer therapy and for predicting outcome. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 983-995.
  - 10) Gutzeit A, Antoch G, Köhl H, Egelhof T, Fischer M, Hauth E, Goehde S, Bockisch A, Debatin J, Freudenberg L. Unknown primary tumors: detection with dual-modality PET/CT-Initial experience-. *Radiology* 2005 ; **234** : 227-234.
  - 11) Fujii H, Enomoto K, Ikeda T, Hojo T, Yasuda S, Ide M, Shohtsu A, Kameyama K, Kubo A. Application of positron emission tomography imaging to cancer screening. *Br J Cancer* 2000 ; **83** : 1607-1611.
  - 12) Shen YY, Su CT, Chen GJ, Chen YK, Liao AC, Tsai FS. The value of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography with the additional help of tumor markers in cancer screening. *Neoplasma* 2003 ; **50** : 217-221.
  - 13) Agress H Jr, Cooper BZ. Detection of clinically unexpected malignant and premalignant tumors with whole-body FDG PET : histopathologic comparison. *Radiology* 2004 ; **230** : 417-422.
  - 14) Schöder H, Gönen M. Screening for cancer with PET and PET/CT : Potential and limitations. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 4S-18S.
  - 15) Gillies RJ, Robey I, Gatenby RA. Causes and consequences of increased glucose metabolism of cancers. *J Nucl Med* 2008 ; **49** : 24S-42S.
  - 16) Buscombe J, Signore A. FDG-PET in infectious and inflammatory disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003 ; **30** : 1571-1573.
  - 17) Brix G, Lechel U, Glatting G, Ziegler SI, Münzing W, Müller SP, Beyer T. Radiation exposure of patients undergoing whole-body dual-modality <sup>18</sup>F-FDG PET/CT examinations. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 608-613.
  - 18) Antoch G, Freudenberg LS, Egelhof T, Stattaus J, Jentzen W, Debatin JF, Bockisch A. Focal tracer uptake : a potential artifact in contrast-enhanced dual-modality PET/CT scans. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 608-613.
  - 19) Albelda SM, Alavi A. Dual time point <sup>18</sup>F-FDG PET imaging for differentiating malignant from inflammatory processes. *J Nucl Med* 2001 ; **42** : 1412-1417.
  - 20) Beyer T, Townsend DW, Brun T, Kinahan PE, Charron M, Roddy R, Jerin J, Young J, Byars L, Nutt R. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. *J Nucl Med* 2000 ; **41** : 1369-1379.
  - 21) Blodgett TM, Meltzer CC, Townsend DW. PET/CT : Form and function. *Radiology* 2007 ; **242** : 360-385.
  - 22) Fahey FH, Palmer MR, Strauss KJ, Zimmerman RE, Badawi RD, Treves ST. Dosimetry and adequacy of CT-based attenuation correction for pediatric PET : Phantom study. *Radiology* 2007 ; **243** : 96-104.
  - 23) Yuan S, Yu Y, Chao KS, Fu Z, Yin Y, Liu T, Chen S, Yang X, Yang G, Guo H, Yu J. Additional value of PET/CT over PET in assessment of locoregional lymph nodes in thoracic esophageal squamous cell cancer. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 1255-1259.
  - 24) Vogel WV, van Dalen JA, Wiering B, Huisman H, Corstens FH, Ruers TJ, Oyen WJ. Evaluation of image registration in PET/CT of the liver and recommendations for optimized imaging. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 910-919.
  - 25) Goerres GW, Burger C, Kamel E, Seifert B, Kaim AH, Buck A, Buehler TC, Von Schulthess GK. Respiration-induced attenuation artifact at PET/CT : technical considerations. *Radiology* 2003 ; **226** : 906-910.
  - 26) Soret M, Bacharach SL, Buvat I. Partial-volume effect in PET tumor imaging. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 932-945.
  - 27) Gollub MJ, Hong R, Sarasohn DM, Akhurst T. Limitations of CT during PET/CT. *J Nucl*

- Med* 2007 ; **48** : 1583-1591.
- 28) Cohade C, Osman M, Leal J, Wahl RL. Direct Comparison of <sup>18</sup>F-FDG PET and PET/CT in patients with colorectal carcinoma. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 1797-1803.
  - 29) Kamimura K, Fujita S, Nishii R, Wakamatsu H, Nagamachi S, Yano T, Ogita M, Umemura Y, Fujimoto T, Nakajo M. An analysis of the physiological FDG uptake in the stomach with the water gastric distention method. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007 ; **34** : 1815-1818.
  - 30) Zhu Z, Li F, Mao Y, Cheng W, Cheng X, Dang Y. Improving evaluation of primary gastric malignancies by distending the stomach with milk immediately before <sup>18</sup>F-FDG PET scanning. *J Nucl Med Technol* 2008 ; **36** : 25-29.
  - 31) Kamel EM, Jichlinski P, John O, Prior JO, Meuwly JY, Delaloye JF, Vaucher L, Malterre J, Castaldo S, Leisinger HJ, Delaloye AB. Forced diuresis improves the diagnostic accuracy of <sup>18</sup>F-FDG PET in abdominopelvic malignancies. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 1803-1807.
  - 32) Drieskens O, Stroobants S, Gysen M, Vandenbosch G, Mortelmans L, Vergote I. Positron emission tomography with FDG in the detection of peritoneal and retroperitoneal metastases of ovarian cancer. *Gynecol Obstet Invest* 2003 ; **55** : 130-134.
  - 33) Pfannenbergl AC, Aschoff P, Brechtel K, Muller M, Klein M, Bares R, Claussen CD, Eschmann SM. Value of contrast-enhanced multiphase CT in combined PET/CT protocols for oncological imaging. *Br J Radiol* 2007 ; **80** : 437-445.
  - 34) Kuehl H, Veit P, Rosenbaum SJ, Bockisch A, Antoch G. Can PET/CT replace separate diagnostic CT for cancer imaging? Optimizing CT protocols for imaging Cancers of the chest and abdomen. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 45S-57S.
  - 35) Nehmeh SA, Erdi YE, Meirelles GSP, Squire O, Larson SM, Humm JL, Schöder H. Deep-inspiration breath-hold PET/CT of the thorax. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 22-26.
  - 36) Surti S, Kuhn A, Werner ME, Perkins AE, Kolthammer J, Karp JS. Performance of Philips Gemini TF PET/CT scanner with special consideration for its time-of-flight imaging capabilities. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 471-480.
  - 37) Karp JS, Surti S, Daube-Witherspoon ME, Muehllehner G. Benefit of Time-of-Flight in PET : Experimental and clinical results. *J Nucl Med* 2008 ; **49** : 462-470.
  - 38) Quon A, Napel S, Beaulieu CF, Gambhir SS. "Flying through" and "flying around" a PET/CT scan : Pilot study and development of 3D integrated <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for virtual bronchoscopy and colonoscopy. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 1274-1280.
  - 39) Weber WA, Ziegler SI, Thodtman R, Hanauske AR, Schwaiger M. Reproducibility of metabolic measurements in malignant tumors using FDG PET. *J Nucl Med* 1999 ; **40** : 1771-1777.
  - 40) 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** : 1519-1527.
  - 41) Shankar LK, Hoffman JM, Bacharach S, Graham MM, Karp J, Lammertsma AA, Larson S, Mankoff DA, Siegel BA, Van den Abbeele A, Yap J, Sullivan D. Consensus recommendations for the use of <sup>18</sup>F-FDG PET as an indicator of therapeutic response in patients in National Cancer Institute Trials. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 1059-1066.
  - 42) Dimitrakopoulou-Strauss A, Strauss LG, Heichel T, Burger HWC, Bernd L, Ewerbeck V. The role of quantitative <sup>18</sup>F-FDG PET studies for the differentiation of malignant and benign bone lesions. *J Nucl Med* 2002 ; **43** : 510-518.
  - 43) Blake MA, Singh A, Setty BN, Slattery J,

- Kalra M, Maher MM, Sahani DV, Fischman AJ, Mueller PR. Pearls and pitfalls in interpretation of abdominal and pelvic PET-CT. *RadioGraphics* 2006 ; **26** : 1335-1353.
- 44) Kamel EM, Goerres GW, Burger C, von Schulthess GK, Steinert HC. Recurrent laryngeal nerve palsy in patients with lung cancer : Detection with PET-CT image fusion ; report of six cases. *Radiology* 2002 ; **224** : 153-156.
- 45) Hadi M, Chen CC, Whatley M, Pacak K, Carrasquillo JA. Brown fat imaging with <sup>18</sup>F-6-fluorodopamine PET/CT, <sup>18</sup>F-FDG PET/CT, and <sup>123</sup>I-MIBG SPECT : A study of patients being evaluated for pheochromocytoma. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 1077-1083.
- 46) Yeung HWD, Grewal RK, Gonen M, Schöder H, Larson SM. Patterns of <sup>18</sup>F-FDG uptake in adipose tissue and muscle : A potential source of false-positives for PET. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 1789-1796.
- 47) Tatlidil R, Jadvar H, Bading JR, Conti PS. Incidental colonic fluorodeoxyglucose uptake: correlation with colonoscopic and histopathologic findings. *Radiology* 2002 ; **224** : 783-787.
- 48) Kamel EM, Thumshirn M, Truninger K, Schiesser M, Fried M, Padberg B, Schreiber D, Stoeckli SJ, von Schulthess GK, Stumpe KD. Significance of incidental <sup>18</sup>F-FDG accumulations in the gastrointestinal tract in PET/CT : Correlation with endoscopic and histopathologic results. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 1804-1810.
- 49) Israel O, Yefremov N, Bar-Shalom R, Kagana O, Frenkel A, Keidar Z, Fischer D. PET/CT detection of unexpected gastrointestinal foci of <sup>18</sup>F-FDG uptake : incidence, localization patterns, and clinical significance. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 758-762.
- 50) Prabhakar HB, Sahani DV, Fischman AJ, Mueller PR, Blake MA. Bowel hot spots at PET-CT. *RadioGraphics* 2007 ; **27** : 145-159.
- 51) Israel O, Yefremov N, Bar-Shalom R, Kagana O, Frenkel A, Keidar Z, Fischer D. PET/CT detection of unexpected gastrointestinal foci of <sup>18</sup>F-FDG uptake: incidence, localization patterns, and clinical significance. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 758-762.
- 52) Lerman H, Metser U, Grisaru D, Fishman A, Lievshitz G, Even-Sapir E. Normal and abnormal <sup>18</sup>F-FDG endometrial and ovarian uptake in pre-and postmenopausal patients : assessment by PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 266-271.
- 53) Nakamoto Y, Chin BB, Cohade C, Osman M, Tatsumi M, Wahl RL. PET/CT : Artifacts caused by bowel motion. *Nucl Med Commun* 2004 ; **25** : 221-225.
- 54) Purcell DD, Coakley FV, Franc BL, Hawkins RA, Boddington SE, Yeh BM. Anterior layering of excreted <sup>18</sup>F-FDG in the bladder on PET/CT : Frequency and cause. *Am J Roentgenol* 2007 ; **189** : W96-W99.
- 55) Rman H, Metser U, Grisaru D, Fishman A, Lievshitz G, Even-Sapir E. Normal and abnormal <sup>18</sup>F-FDG endometrial and ovarian uptake in pre-and postmenopausal patients : assessment by PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 266-271.
- 56) Love C, Din AS, Tomas MB, Kalappambath TP, Palestro CJ. Radionuclide bone imaging : an illustrative review. *Radiographics* 2003 ; **23** : 341-58.
- 57) Funauchi M, Ikoma S, Kishimoto K, Shimazu H, Nozaki Y, Sugiyama M, Kinoshita K. A case of adult onset Still's disease showing marked accumulation in the liver and spleen, on positron emission tomography-CT images. *Rheumatol Int* 2008 ; **28** : 1061-1064.
- 58) Sugawara Y, Zasadny KR, Kison PV, Baker LH, Wahl RL. Splenic fluorodeoxyglucose uptake increased by granulocyte colony-stimulating factor therapy : PET imaging results. *J Nucl Med* 1999 ; **40** : 1456-1462.
- 59) Ruiz-Hernández G, Scaglione C, Delgado-

- Bolton RC, Gutiérrez-García A, Madero L, Jiménez-Vicioso A, Carreras-Delgado JL. Splenic and bone marrow increased  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake in a PET scan performed following treatment with G-CSF. *Rev Esp Med Nucl* 2004 ; **23** : 124-126.
- 60) Kouba M, Maaloufova J, Campr V, Belohlavek O, Drugova B. G-CSF stimulated islands of haematopoiesis mimicking disseminated malignancy on PET-CT and MRI scans in a patient with hypoplastic marrow disorder. *Br J Haematol* 2005 ; **130** : 807.
- 61) Heeren PAM, Jager PL, Bongaerts F, van Dullemen H, Sluiter W, Plukker JTM. Detection of distant metastases in esophageal cancer with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 980-987.
- 62) Lerman H, Metser U, Grisaru D, Fishman A, Lievshitz G, Even-Sapir E. Normal and abnormal  $^{18}\text{F}$ -FDG endometrial and ovarian uptake in pre-and postmenopausal patients : assessment by PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 266-271.
- 63) Higashi T, Saga T, Nakamoto Y, Ishimori T, Mamede MH, Wada M, Doi R, Hosotani R, Imamura M, Konishi J. Relationship between retention index in dual-phase  $^{18}\text{F}$ -FDG PET, and hexokinase-II and glucose transporter-1 expression in pancreatic cancer. *J Nucl Med* 2002 ; **43** : 173-180.
- 64) Zhuang H, Pourdehnad M, Lambright ES, Yamamoto AJ, Lanuti M, Li P, Mozley PD, Rossman MD, Albelda SM, Alavi A. Dual time point  $^{18}\text{F}$ -FDG PET imaging for differentiating malignant from inflammatory processes. *J Nucl Med* 2001 ; **42** : 1412-1417.
- 65) Nishiyama Y, Yamamoto Y, Fukunaga K, Kimura N, Miki A, Sasakawa Y, Wakabayashi H, Satoh K, Ohkawa M. Dual-time-point  $^{18}\text{F}$ -FDG PET for the evaluation of gallbladder carcinoma. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 633-638.
- 66) Ma SY, See LC, Lai CH, Chou HH, Tsai CS, Ng KK, Hsueh S, Lin WJ, Chen JT, Yen TC. Delayed  $^{18}\text{F}$ -FDG PET for detection of paraaortic lymph node metastases in cervical cancer patients. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 1775-1783.
- 67) Israel O, Kuten A. Early Detection of Cancer Recurrence :  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT can make a difference in diagnosis and patient care. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 28S-35S.
- 68) Delbeke D, Rose DM, Chapman WC, Pinson CW, Wright JK, Beauchamp RD, Shyr Y, Leach SD. Optimal interpretation of FDG PET in the diagnosis, staging and management of pancreatic carcinoma. *J Nucl Med* 1999 ; **40** : 1784-1791.
- 69) Meltzer CC, Luketich JD, Friedman D, Charron M, Strollo D, Meehan M, Urso GK, Dachille MA, Townsend DW. Whole-body FDG positron emission tomographic imaging for staging esophageal cancer comparison with computed tomography. *Clin Nucl Med* 2000 ; **25** : 882-887.
- 70) Czernin J, Allen-Auerbach M, Schelbert HR. Improvements in cancer staging with PET/CT : Literature-based evidence as of September 2006. *J Nucl Med* 2006 ; **48** : 78S-88S.
- 71) Milam RA, Milam MR, Iyer RB. Detection of early-stage Ovarian cancer by FDG-PET-CT in a patient with BRCA2-positive breast cancer. *J Clin Oncol* 2007 ; **25** : 5657-5658.
- 72) Heeren PAM, Jager PL, Bongaerts F, Dullemen H, Sluiter W, Plukker JTM. Detection of distant metastases in esophageal cancer with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 980-987.
- 73) Ryu SY, Kim MH, Choi SC, Choi CW, Lee KH. Detection of early recurrence with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET in patients with cervical cancer. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 347-352.
- 74) Buchmann I, Haberkorn U, Schmidtman I, Brochhausen C, Buchholz HG, Bartenstein P, Hansen T. Influence of cell proportions and proliferation rates on FDG uptake in

- squamous-cell esophageal carcinoma : a PET study. *Cancer Biother Radiopharm* 2008 ; **23** : 172-180.
- 75) Cheze-Le Rest C, Metges JP, Teyton P, Jestin-Le Tallec V, Lozac'h P, Volant A, Visvikis D. Prognostic value of initial fluorodeoxyglucose-PET in esophageal cancer : a prospective study. *Nucl Med Commun* 2008 ; **29** : 628-635.
- 76) Miller TR, Pinkus E, Dehdashti F, Grigsby PW. Improved prognostic value of <sup>18</sup>F-FDG PET using a simple visual analysis of tumor characteristics in patients with cervical cancer. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 192-197.
- 77) Pandit-Taskar N. Oncologic imaging in gynecologic malignancies. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 1842-1850.
- 78) Ishimori T, Patel PV, Wahl RL. Detection of unexpected additional primary malignancies with PET/CT. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 752-757.
- 79) Soyka JD, Veit-Haibach PV, Strobel K, Breitenstein S, Tschopp A, Mende KA, Lago MP, Hany TF. Staging pathways in recurrent colorectal carcinoma : Is contrast-enhanced <sup>18</sup>F-FDG PET/CT the diagnostic tool of choice? *J Nucl Med* 2008 ; **49** : 354-361.
- 80) Guo H, Zhu H, Xi Y, Zhang B, Li L, Huang Y, Zhang J, Fu Z, Yang G, Yuan S, Yu J. Diagnostic and prognostic value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for patients with suspected recurrence from squamous cell carcinoma of the esophagus. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 1251-1258.
- 81) Choi JY, Jang HJ, Shim YM, Kim K, Lee KS, Lee KH, Choi Y, Choe YS, Kim BT. <sup>18</sup>F-FDG PET in patients with esophageal squamous cell carcinoma undergoing curative surgery : Prognostic implications. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 1843-1850.
- 82) Yoshioka T, Yamaguchi K, Kubota K, Saginoya T, Yamazaki T, Ido T, Yamaura G, Takahashi H, Fukuda H, Kanamaru R. Evaluation of <sup>18</sup>F-FDG PET in Patients with Advanced, Metastatic, or Recurrent Gastric Cancer. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 690-699
- 83) Gayed I, Vu T, Iyer R, Johnson M, Macapinlac H, Swanston N, Podoloff D. The Role of <sup>18</sup>F-FDG PET in Staging and Early Prediction of Response to Therapy of Recurrent Gastrointestinal Stromal Tumors. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 17-21.
- 84) Wong TZ, Jones EL, Coleman RE. Positron emission tomography with 2-deoxy-2- [<sup>18</sup>F] fluoro-D-glucose for evaluating local and distant disease in patients with cervical cancer. *Mol Imaging Biol* 2004 ; **6** : 55-62.
- 85) Lin WC, Hung YC, Yeh LS, Kao CH, Yen RF, Shen YY. Usefulness of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography to detect para-aortic lymph nodal metastasis in advanced cervical cancer with negative computed tomography findings. *Gynecol Oncol* 2003 ; **89** : 73-76.
- 86) Yeh LS, Hung YC, Shen YY, Kao CH, Lin CC, Lee CC. Detecting para-aortic lymph nodal metastasis by positron emission tomography of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose in advanced cervical cancer with negative magnetic resonance imaging findings. *Oncol Rep* 2002 ; **9** : 1289-1292.
- 87) Garcia Velloso MJ, Boan Garcia JF, Villar Luque LM, Aramendia Beitia JM, Lopez Garcia G, Richter Echeverria JA. F-18-FDG positron emission tomography in the diagnosis of ovarian recurrence : comparison with CT scan and CA 125. *Rev Esp Med Nucl* 2003 ; **22** : 217-223.
- 88) Bristow RE, del Carmen MG, Pannu HK. Clinically occult recurrent ovarian cancer : patient selection for secondary cytoreductive surgery using combined PET/CT. *Gynecol Oncol* 2003 ; **90** : 519-528.
- 89) Yoshida Y, Kurokawa T, Kawahara K. Incremental benefits of FDG positron emission tomography over CT alone for the preoperative staging of ovarian cancer. *Am J Roentgenol* 2004 ; **182** : 227-233.

- 90) Schiepers C, Filmont JE, Czernin J. PET for staging of Hodgkin's disease and non-Hodgkin's lymphoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003 ; **30** : S82-S88.
- 91) Yun M, Lim JS, Noh SH, Hyung WJ, Cheong JH, Bong JK, Cho A, Lee JD. Lymph node staging of gastric cancer using <sup>18</sup>F-FDG PET : A comparison study with CT. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 1582-1588.
- 92) Hu Q, Wang W, Zhong X, Yuan S, Fu Z, Guo H, Yu J. Dual-time-point FDG PET for the evaluation of locoregional lymph nodes in thoracic esophageal squamous cell cancer. *Eur J Radiol* 2008 Jul 2 (Epub ahead of print).
- 93) Ma SY, See LC, Lai CH, Chou HH, Tsai CS, Ng KK, Hsueh S, Lin WJ, Chen JT, Yen TC. Delayed <sup>18</sup>F-FDG PET for detection of paraaortic lymph node metastases in cervical cancer patients. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 1775-1783.
- 94) Dizendorf DV, Baumert BG, von Schulthess GK, Lütolf UM, Steinert HC. Impact of whole-body <sup>18</sup>F-FDG PET on staging and managing patients for radiation therapy. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 24-29.
- 95) Konski A, Doss M, Milestone B, Haluszka O, Hanlon A, Freedman G, Adler L. The integration of 18-fluoro-deoxy-glucose positron emission tomography and endoscopic ultrasound in the treatment-planning process for esophageal carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005 ; **61** : 1123-1128.
- 96) van Loon J, Offermann C, Bosmans G, Wanders R, Dekker A, Borger J, Oellers M, Dingemans AM, van Baardwijk A, Teule J, Snoep G, Hochstenbag M, Houben R, Lambin P, De Ruyscher D. <sup>18</sup>FDG- PET based radiation planning of mediastinal lymph nodes in limited disease small cell lung cancer changes radiotherapy fields : a planning study. *Radiother Oncol* 2008 ; **87** : 49-54.
- 97) Vrieze O, Haustermans K, De Wever W. Is there a role for FGD-PET in radiotherapy planning in esophageal carcinoma? *Radiother Oncol* 2004 ; **73** : 269-275.
- 98) Weber WA. Use of PET for monitoring cancer therapy and for predicting outcome. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 983-995.
- 99) Weber WA. PET for response assessment in oncology : radiotherapy and chemotherapy. *Br J Radiol* 2005 ; **28** : 42-49.
- 100) Grigsby PW, Siegel BA, Dehdashti F, Rader J, Zoberi I. Posttherapy [<sup>18</sup>F] fluorodeoxyglucose positron emission tomography in carcinoma of the cervix : response and outcome. *J Clin Oncol* 2004 ; **22** : 2167-2171.
- 101) Schaefer NG, Taverna C, Strobel K, Wastl C, Kurrer M, Hany TF. Hodgkin disease : diagnostic value of FDG PET/CT after first-line therapy -is biopsy of FDG-avid lesions still needed?-. *Radiology* 2007 ; **244** : 257-262.
- 102) Kostakoglu L, Goldsmith SJ. <sup>18</sup>F-FDG PET Evaluation of the response to therapy for lymphoma and for breast, lung, and colorectal carcinoma. *J Nucl Med* 2003 ; **44** : 224-239
- 103) Metser U, Miller E, Lerman H, Lievshitz G, Avital S, Even-Sapir E. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the evaluation of adrenal masses. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 32-37.
- 104) Metser U, Miller E, Kessler A, Lerman H, Lievshitz G, Oren R, Even-Sapir E. Solid splenic masses : Evaluation with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 52-59.
- 105) Antoch G, Kanja J, Bauer S, Kuehl H, Renzing-Koehler K, Schuette J, Bockisch A, Debatin JF, Freudenberg LS. Comparison of PET, CT, and Dual-modality PET/CT imaging for monitoring of Imatinib (STI571) therapy in patients with gastrointestinal stromal tumors. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 357-365.
- 106) Ogawa M, Magata Y, Kato T, Hatano K, Ishino S, Mukai T, Shiomi M, Ito K, Saji H. Application of <sup>18</sup>F-FDG PET for monitoring the therapeutic effect of antiinflammatory drugs on stabilization of vulnerable

- atherosclerotic plaques. *J Nucl Med* 2006 ; **47** : 1845-1850.
- 107) Bural GG, Kumar R, Mavi A, Alavi A. Reflux esophagitis secondary to chemotherapy detected by serial FDG-PET. *Clin Nucl Med* 2005 ; **30** : 182-183.
- 108) Bhargava P, Reich P, Alavi A, Zhuang H. Radiation-induced esophagitis on FDG PET imaging. *Clin Nucl Med* 2003 ; **28** : 849-850.
- 109) Israel O, Mor M, Guralnik L, Hermoni N, Gaitini D, Bar-Shalom R, Keidar Z, Epelbaum R. Is <sup>18</sup>F-FDG PET/CT useful for imaging and management of patients with suspected occult recurrence of cancer? *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 2045-2051.
- 110) Guo H, Zhu H, Xi Y, Zhang B, Li L, Huang Y, Zhang J, Fu Z, Yang G, Yuan S, Yu J. Diagnostic and prognostic value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for patients with suspected recurrence from squamous cell carcinoma of the esophagus. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 1251-1258.
- 111) Lordick F, Ott K, Krause BJ, Weber WA, Becker K, Stein HJ, Lorenzen S, Schuster T, Wieder H, Herrmann K, Breidenkamp R, Höfler H, Fink U, Peschel C, Schwaiger M, Siewert JR. PET to assess early metabolic response and to guide treatment of adenocarcinoma of the oesophagogastric junction : the MUNICON phase II trial. *Lancet Oncol* 2007 ; **8** : 797-805.
- 112) Subhas N, Patel PV, Pannu HK, Jacene HA, Fishman EK, Wahl RL. Imaging of pelvic malignancies with in-line FDG PET-CT : Case examples and common pitfalls of FDG PET. *Radio Graphics* 2005 ; **25** : 1031-1043.
- 113) Tarik Z, Belhocine TZ. <sup>18</sup>F-FDG PET imaging in posttherapy monitoring of cervical cancers: From diagnosis to prognosis. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 1602-1604.
- 114) Pandit-Taskar N. Oncologic imaging in gynecologic malignancies. *J Nucl Med* 2005 ; **46** : 1842-1850.
- 115) Jungehülsing M, Scheidhauer K, Damm M, Pietrzyk U, Eckel H, Schicha H, Stennert E. <sup>18</sup>F]-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography is a sensitive tool for the detection of occult primary cancer (carcinoma of unknown primary syndrome) with head and neck lymph node manifestation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000 ; **123** : 294-301.
- 116) Chen YK, Ding HJ, Su CT, Shen YY, Chen LK, Liao AC, Hung TZ, Hu FL, Kao CH. Application of PET and PET/CT imaging for cancer screening. *Anticancer Res* 2004 ; **24** : 4103-4108.
- 117) Schöder H, Gönen M. Screening for cancer with PET and PET/CT : Potential and limitations. *J Nucl Med* 2007 ; **48** : 4S-18S.
- 118) Metser U, Lerman H, Blank A, Lievshitz G, Bokstein F, Even-Sapir E. Malignant involvement of the spine : Assessment by <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 279-284.
- 119) Dimitrakopoulou-Strauss A, Strauss LG, Heichel T, Wu H, Burger C, Bernd L, Ewerbeck V. The role of quantitative <sup>18</sup>F-FDG PET studies for the differentiation of malignant and benign bone lesions. *J Nucl Med* 2002 ; **43** : 510-518.
- 120) Esik O, Emri M, Szakáll S Jr, Herzog H, Sáfrány G, Lengyel E, Boér A, Liszky G, Trón L, Lengyel Z, Repa I. PET identifies transitional metabolic change in the spinal cord following a subthreshold dose of irradiation. *Pathol Oncol Res* 2004 ; **10** : 42-46.
- 121) Uchida K, Kobayashi S, Yayama T, Kokubo Y, Nakajima H, Kakuyama M, Sadato N, Tsuchida T, Yonekura Y, Baba H. Metabolic neuroimaging of the cervical spinal cord in patients with compressive myelopathy : a high-resolution positron emission tomography study. *J Neurosurg Spine* 2004 ; **1** : 72-9.
- 122) Sahlmann CO, Scheel AK. <sup>18</sup>F-FDG PET and PET/CT in fever of unknown origin. *J Nucl*

*Med* 2007 ; **48** : 35-45.

- 123) Rudd JHF, Myers KS, Bansilal S, Machac J, Pinto CA, Tong C, Rafique A, Hargeaves R, Farkouh M, Fuster V, Fayad ZA. Atherosclerosis inflammation imaging with <sup>18</sup>F-FDG PET : Carotid, iliac, and femoral uptake reproducibility, quantification methods, and recommendations. *J Nucl Med* 2008 ; **49** : 871-878.
- 124) Otsuka H, Morita N, Yamashita K, Nishitani H. FDG-PET/CT for diagnosis and follow-up of vasculitis. *J Med Invest* 2007 ; **54** : 345-349.
- 125) Ben-Haim S, Kupzov E, Tamir A, Israel O. Evaluation of <sup>18</sup>F-FDG uptake and arterial wall calcifications using <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2004 ; **45** : 1816-1821.
- 126) Tatsumi M, Cohade C, Nakamoto Y, Wahl RL. Fluorodeoxyglucose uptake in the aortic wall at PET/CT : Possible finding for active atherosclerosis. *Radiology* 2003 ; **229** : 831-837.
- 127) Nakajo M, Jinnouchi S, Fukukura Y, Tanabe H, Tateno R, Nakajo M. The efficacy of whole-body FDG-PET or PET/CT for autoimmune pancreatitis and associated extrapancreatic autoimmune lesions. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007 ; **34** : 2088-2095.



# Feasibility of F-18-FDG PET/CT Scan in Abdominopelvic Regions

Kazuyoshi SUGA

*Site of Semui PET Cancer Screening and Radiation Therapy, 3-7-18 Imamura-kita, Ube, Yamaguchi  
755-0155, Japan*

## SUMMARY

F-18-2-Fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) positron emission tomography (PET)/CT scan, which simultaneously provides metabolic function and morphology on the same tomographic section, is being the key imaging modality for diagnosis and treatment strategy of malignancies in various organs. FDG PET/CT scanning of the whole body beneficially allows the assessment of primary tumor and regional lymph nodes, and distant metastases and co-existed benign/other malignant lesions, as "one stop shopping" fashion. This technique contributes to the selection of the optimal treatment in individual patients, and also can predict histopathologic response to treatment and postoperative/post chemo-radiation therapeutic prognosis. In this paper, we describe the fundamental knowledge required for accurate interpretation of FDG PET/CT scan, and review the utility of this technique for diagnosis and treatment strategy of malignancies in abdominal and pelvic regions.