

総説

CT付PET装置(PET-CT)と腫瘍診断

吉川 京燦

放医研重粒子医科学センター病院

The combined PET-CT scanner as a new tool for clinical oncology

Kyosan Yoshikawa

Clinical Diagnosis Section, Research Center Hospital for Charged Particle Therapy,
National Institute of Radiological Sciences.

要旨

近年、解剖学的画像と機能画像を同時に撮像できるCT付PET装置(PET-CT)が開発され、2002年4月に日本で1号機であるSiemens社製のBiographが放医研に導入された。この装置はSiemens社のPET装置であるHR+とスパイラルCT(Somatom Emotion Duo)が合体した装置である。CTで得られたデータはPETとCTの重ね合わせ表示(fusion imaging)およびPETの吸収補正に用いられる。日本では2003年末にGE社のPET-CT装置が初めて医療用具の承認を得て通常臨床に利用できるようになった。今後他社の装置が続々と承認され、近い将来にPET-CTはPET腫瘍診断分野で中心的な役割を担うものと期待している。

Abstract

Recently, combined PET-CT scanners that simultaneously reveal both anatomical images and metabolic images within the body have been developed, and the first PET-CT in Japan, the Biograph of Siemens, was installed at NIRS at April in 2002. The Biograph system integrates Siemens PET (HR+) and spiral CT (SOMATOM Emotion Duo) technologies with the multimodality computer platform. The CT data obtained with PET-CT is also used for fusion imaging and attenuation correction of PET. Japanese government has approved the marketing of the first PET-CT, Discovery of GE medical Systems, at the end of 2003. we expect that the PET-CT will be a major diagnostic tool for oncology imaging in near future.

Key words: Combined PET-CT, fusion imaging

1. はじめに

日本におけるFDGの保険適応を受けてか、ここ数年のPETに対する関心と、その導入に対する動きが、非常に活発になってきた。特に腫瘍診断に関する分野でこの傾向が強いようである。一方、欧米ではPETとX線CTを合体させたCT付PET装置(以下PET-CT)の普及がめざましく、2003年末には世界で推定約300台以上が稼働するに至っているという。日本では医療用具承認の問題があり普及が遅れていたが、2003年末にようやくGE社のPET-CT装置が医療用具の承認を得たが、他社の装置も直ぐに順次承認されると思われる。放医研では2002年4月より日本第一号機が研究目的で稼働しているが、今後腫瘍診断分野を中心に普及が予想される。

2. PETによる腫瘍診断

PET検査は治療前の悪性度診断、癌の浸潤範囲や転移病巣の検出などによる臨床病期の診断、治療中・治療直後の癌治療に対する反応性(治療効果)の判定・評価、治療後の予後予測や再発診断など、癌診断について精度の高い情報が提供されるとして癌臨床への応用が広がっている。放医研では重粒子線加速器(HIMAC)を使った癌治療の臨床試験が施行されているが、炭素イオン線の病巣への線量集中性が高いという特徴は必然的にそれに見合う治療領域設定の高精度化が要求され、それを支える高度な診断精度が求められている。これに対し最新のCT・MRI技術を駆使するとともに、PET診断から得られる機能情報の活用が行われている。しかし、癌浸潤範囲の正確な診断という観点では、PET画像のみでは生体臓器や組織の正確な位



図1 放医研に設置されているPET-CT装置全体の外観。Siemens社製のBiograph。ガントリー部はベッド側からCT部、PET部と並んでいる。



図2 PET-CTのガントリー部。装置のメンテナンス時にはPET部がレール上をスライドして後方に移動してガントリーが分離できるようになっている。PET部はSiemens社のECAT EXACT HR+をマイナーチェンジした装置で3次元収集専用で内部線源を持たない。X線CT部はSiemens社のCT装置 Somatom Emotion Duo相当の装置で2列検出器のスパイラルCTである。

置情報が得にくいという欠点がある。一方、X線CT装置は生体の解剖学的な詳細情報を正確に描出でき、医療分野において広く利用されているが、PETのような代謝機能に関する解析能は備わっていない。癌診断という観点からCT診断の限界およびPET診断の限界をそれぞれまとめると表1のような点があげられる。このPET装置とX線CT装置との互いの欠点を補い、両者の優れた特徴を利用した新しい癌診断法が切望されている。

表1 CT診断の限界およびPET診断の限界

CT診断の限界

悪性と良性の鑑別に限界、特にリンパ節治療に対する反応の判定に限界
全身評価に限界
治療後の変化と残存腫瘍との鑑別に限界

PET診断の限界

空間分解能の限界
解剖学的局在診断の限界
生理学的集積との鑑別に限界
薬剤合成から検査に至るシステム全体が高価

3. PET-CT装置の現状

CT付PET装置(PET-CT)は、PET装置とX線CT装置を合体し、患者が同一ベッド上で移動することなく両検査を受けることを可能とした装置である。この装置によって、患者は同一ベッドに寝たまま移動することなしに、PET検査とほぼ同時にCT検査を受けることができ、生体の代謝機能過程(PET)と解剖学的詳細構造(X線CT)を同時にかつ明瞭に描出し、両情報の正確な重ね合わせ表示(fusion imaging)を可能にするなど、癌診断の精度を飛躍的に向上させるものと期待される。現在世界で販売されているPET-CT装置は主に3社で、Siemens社とCTI社がOEM販売しているBiographシリーズ(Siemens社)あるいはrevealシリーズ(CTI社)、GE Medical SystemsのDiscoveryシリーズ、そしてPhilips Medical SystemsのGEMINI(販売は日立メディコ)である。このうち、Siemens社のPET-CT装置が平成14年4月より日本で第1号機として研究目的に放医研に導入され使用が開始されている。

4. PET-CT装置の構成と特徴

放医研に設置されているPET-CTは米国Siemens社製のBiographで、全身PET装置とX線CT装置を合体し機能的に融合させた装置である。装置全体はガント

リシステムとベッドシステムから構成されており、ガントリーの一部はベッド側からCT部、PET部と並んでいる(図1)。装置のメンテナンス時にはPET部がレール上をスライドして後方に移動してガントリーが分離するようになっている(図2)。本装置のPET部はSiemens社のECAT EXACT HR+をマイナーチェンジした装置で基本的性能はECAT EXACT HR+と同じであるが、2次元収集のためのセプタは無く3次元収集専用となっている。また内部線源を持たず、吸収補正データはX線CT情報を使う仕様となっている。これによって元のPET装置よりはコンパクト化が図られている。基本仕様は表2の通りである。またX線CT部はSiemens社のCT装置Somatom Emotion Duo相当の装置で2列検出器のスパイラルCTである。

表2 BiographのPET部基本仕様

Detector	BGO
Number of Slices	63
Number of Crystals	18,432
Crystal size (mm)	4.04×4.39×30
Axial FOV (mm)	155
3次元収集専用(セプタ無し)	
トランスミッション線源無し	

PET-CT装置の特徴は(1)PETとX線CT装置を機能的に合体させ、(2)同一寝台に寝たままPETとX線CT検査を施行でき、(3)機能画像と解剖学的画像の同時収集と重ね合わせ表示(fusion image)が可能な装置である。その特徴は i) PET検査所要時間の短縮、ii) 容易で正確なPET検査部位の設定、iii) X線CTを用いた吸収補正による画質向上の可能性、iv) 容易かつ精巧なPET画像とCT画像の重ね合わせ表示(fusion imaging)が可能などである。その結果、画質の向上と体のどこの位置にPET集積があるか正確な診断が可能となり、従来のPET診断の精度をより向上させると期待される(表3)。また、患者検査負担の軽減、患者スループットの向上などが図られる。

表3 精巧なPET画像とCT画像の重ね合わせ表示による臨床上的利点

- ・異常集積と正常集積がより区別し易い
- ・腫瘍か否かの判断がより向上する
- ・正確な部位診断によって臨床病期診断がより正確になる

- ・読影者間の読影結果の違いがPET単独より減少する
- ・腫瘍の広がりより正確に評価でき放射線治療計画精度が向上する

4.1. PET検査時間の短縮

従来のPET検査では吸収補正のための測定(transmission scan)をPET本体に装備された γ 線源(Ge-68など)を用いて行う。この吸収補正は体内から導出するガンマ線が体に吸収され減弱するのを補正し定量性に優れた画像を得るために行われる。通常このtransmission scanには数十分(我々の施設では10~20分)を要する。一方、PET-CTではX線CTデータを用いて吸収補正を行う。X線CT検査は数10秒と非常に短時間で終了する。我々の装置では通常8~16秒で目的の検査範囲のX線CTを施行している。従ってこの差の分、検査時間が短縮する。また、X線CTは体内にポジロン製剤が注射されていても影響を受けないので、注射後任意の時点で検査可能であるのも利点の一つである。検査薬剤と検査方法によっては30~40分で目的の検査が終了できる。

4.2. 容易で正確なPET検査部位の設定

PET全身像を撮像して検査を終了する場合はあまり重要ではないが、ある特定の臓器や局所を目的に精査する場合、たとえば臓腑などを検査する場合、従来のPETではrect linear scanと呼ばれる簡易画像を作成して検査部位を決定していたが、簡易画像のため画質も悪くPETの検査部位を設定するのはなかなか困難な場合があった。また、この操作のために10分前後の余分な時間が必要であった。しかし、PET-CTではX線CTによるtopographyが容易に得られるため、これを利用して検査部位の設定が容易で正確かつ短時間に行える。我々の施設ではX線CTによる被曝を考慮し、現在のところ一度のPET-CT検査では約30~45cm領域の局所に限った検査を施行しているが、topographyの撮像と検査部位決定は数分の短時間で完了する。

4.3 X線CTデータによる吸収補正の利点

PET-CTでは吸収補正のためのデータとしてX線CT画像データ(μ 値のマップ)が用いられる。そのため検査時間が短縮される利点があるが、他の利点としてPET画像の画質向上の可能性がある。X線CT画像は従来の外部線源を用いたtransmissionデータに比べると非常にノイズが少なくS/N比の高い画像である。そのため最終的に処理されて得られるPET画像もよりアーチファ

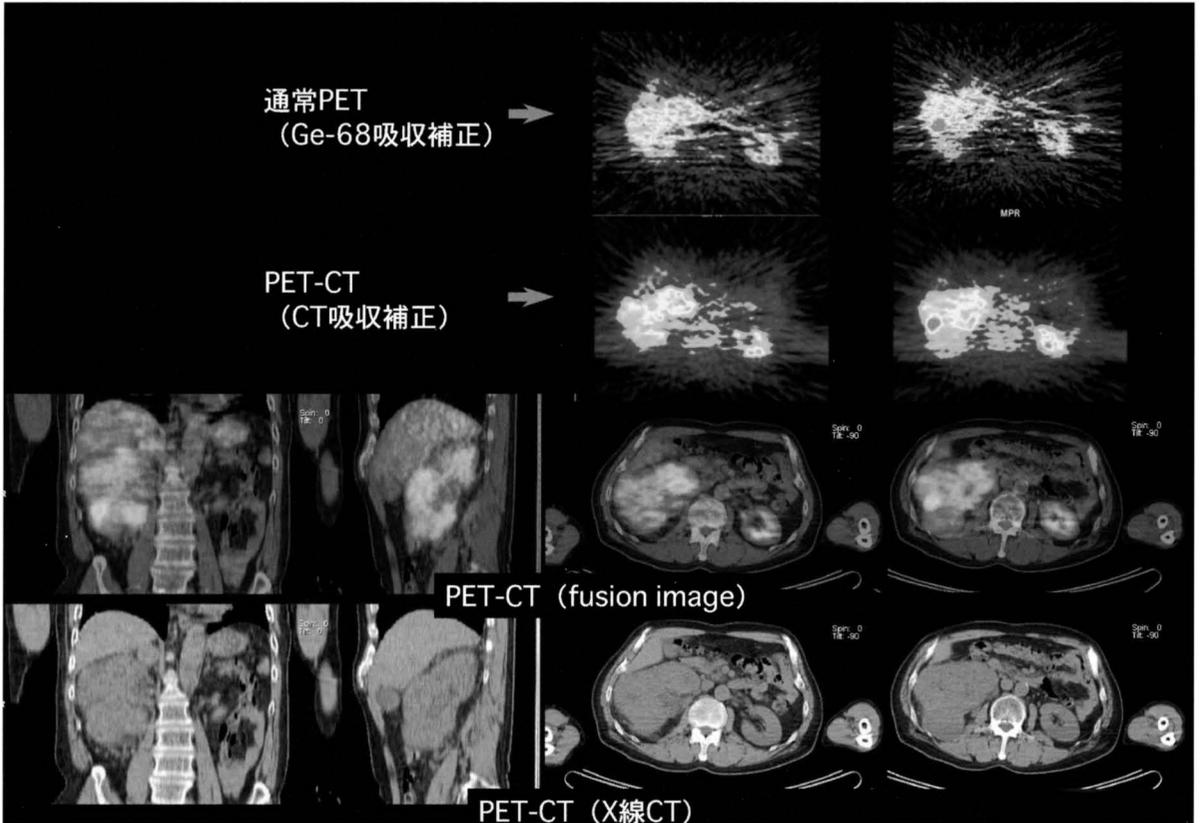


図3 Ge-68吸収補正とX線吸収補正による画像の比較。
 右腎腫瘍のFDG検査、通常PETとPET-CTを同時に施行。図右最上段は通常PET画像（Ge-68線源による吸収補正，FBPリコン）でアーチファクトが目立つが、右上2段目のPET-CT画像（X線CT画像による吸収補正）ではアーチファクトが少ない。ノイズの少ないX線CT画像による吸収補正によってPETの画質が向上する可能性がある。図の3段目と4段目はPET-CT fusion imageとX線CT像。

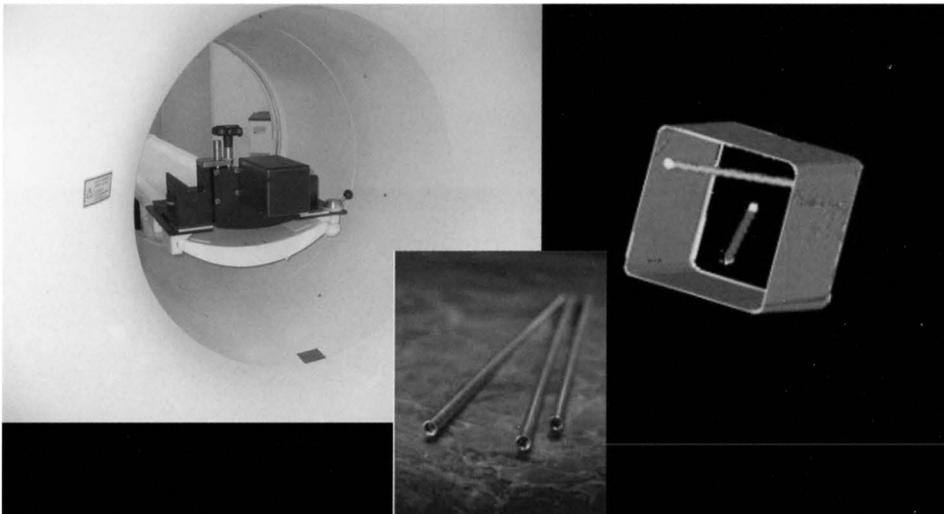


図4 重ね合わせ精度管理のためのPET部とX線CT部のガントリーoffset調整。
 図左はPET-CT装置にセットされたクロスロッドファントム。内部には図中央に示したLine線源2本が3次的にクロスしてセットされている（図右シェーマ）。得られたガントリーoffset値は画像ヘッダーに記録され、画像表示時に自動的に補正される。

クトの少ない画質のよい画像となることが期待され、診断精度が向上する可能性がある。図3に右腎腫瘍のFDG検査の通常PET画像(Ge-68線源による吸収補正)とPET-CT画像(X線CT画像による吸収補正)を示す。PET-CTの方がよりアーチファクトの少ない画像であるのが明瞭である。

4.4. PET画像とCT画像の重ね合わせ表示(fusion imaging)

胸部や腹部では患者が一端検査台から起きあがると体内臓器の相対位置が変化してしまい、別々の時期に撮ったX線CT画像とPET画像は必ずしも正確に重ね合わせることはできない。特に腹部では腸管の動き(重力による移動、ガスの移動などによる)や肝臓などの柔らかな臓器の位置移動の影響は大きい。一方PET-CT

ではこの点、検査寝台上に寝たまま短時間に両検査を施行するため良好なfusion imageが得られる。このようにPET-CTでは同一寝台上に寝たままで、X線CTとPETの撮像が行えるため簡単な画像処理によって容易に両者の重ね合わせ表示(fusion image)を得ることが出来るが、重ね合わせ精度を保証するため、PET部とX線CT部のガントリーoffsetの調整を2本のLine線源を3次元的にクロスさせたファントム(クロスロッドファントム)測定によって行う(図4)。得られたガントリーoffset値は画像ヘッダーに記録され、画像表示時に自動的に補正される。

5. PET-CTの臨床例

図5は舌右辺縁腫瘍(扁平上皮癌)の術前評価でメチオニンによるPET-CT検査が施行された症例である。

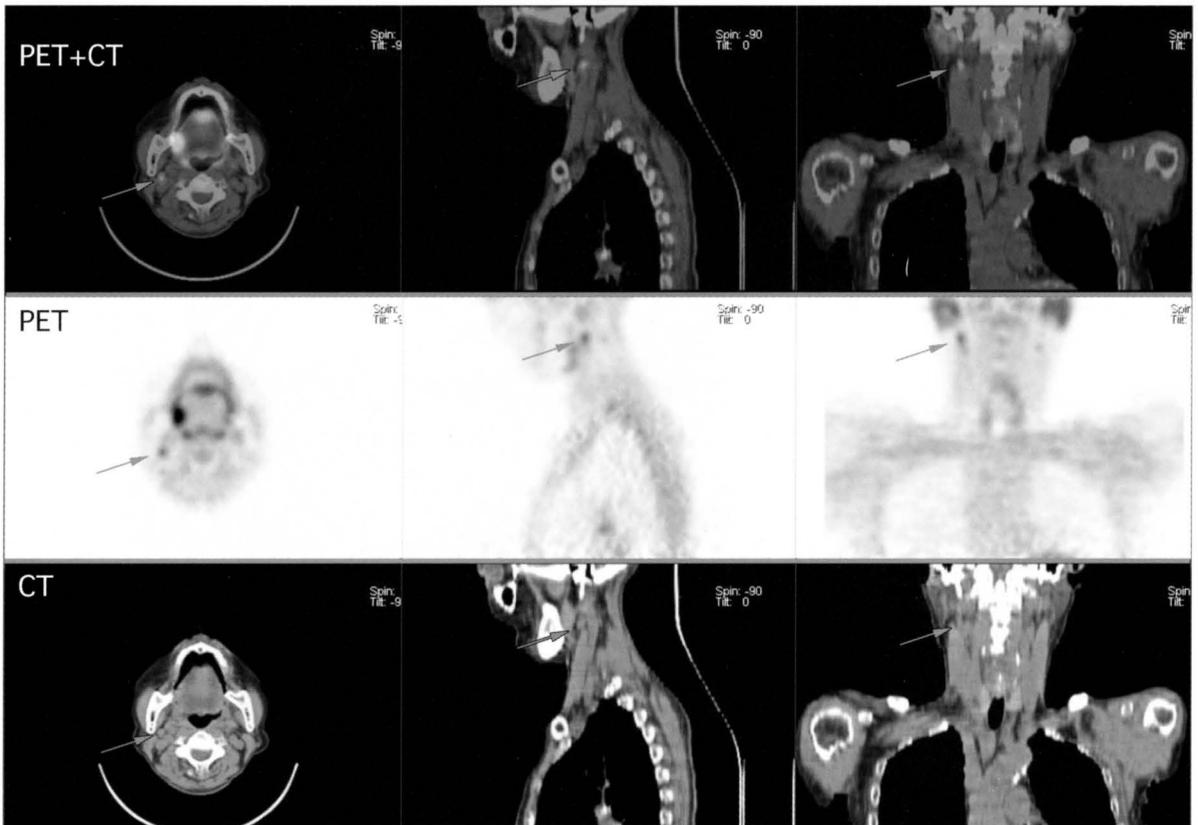


図5 舌右辺縁腫瘍(扁平上皮癌)の術前評価。メチオニンによるPET-CT検査施行。舌の右辺縁腫瘍に高集積を認めると共に、fusion imageで、右上内深頸リンパ節への転移の可能性が示唆された。原発巣に対して舌半側切除と大胸筋皮弁による再建が計画され施行された。右上内深頸リンパ節領域の小結節に対しては術中迅速病理診断により径4mmの転移リンパ節と診断され機能的頸部廓清術が施行された。PET-CTが腫瘍の局所進展とリンパ節転移診断に有用であった。

腫瘍の局所進展および全身検索を目的に検査を施行した。PET画像では舌の右辺縁腫瘍にメチオニンの高集積を認めると共に、右頸部リンパ節への小集積が疑われた。PET-CTによるPETとX線CTのfusion imageでは、この頸部の小集積はX線CTにて右上内深頸リンパ節領域に認められる小結節に一致する集積と診断され、同リンパ節への転移の可能性が示唆された。また、原発巣に関しても、fusion imageから舌深部の筋層に腫瘍浸潤が疑われた。このため原発巣に対しては単純な腫瘍切除でなく、舌半側切除と大胸筋皮弁による再建が計画され施行された。右上内深頸リンパ節領域の小結節に対してはPET-CTにて転移の可能性が示唆されたため、術中迅速病理診断が施行された。その結果径4mmの転移リンパ節と診断され機能的頸部廓清術が施行された。PET-CTが腫瘍の局所進展とリンパ節転移診断に有用であった。

まとめ

現在ようやく各社のPET-CT装置の医療用具承認が始まり、環境は整い、各社のPET-CTが日本でも導入可能となってきた。満を持してPET-CT導入を検討している施設は多々あることと推察される。欧米では既に多くのPET-CTが稼働あるいはその準備中であり、今後しばらくはPET腫瘍診断分野の中心をPET-CTがなすであろうと思われるが、日本においても確実に近い将来PET-CTは腫瘍PETの主要なモダリティとなり、癌診療の臨床に大きな貢献を果たすと期待される。

参考文献

1. 吉川京燦：「IV. 先端医療を支える基礎及び臨床研究 4.診断 PET-CTの有効性」. 第2回重粒子医科学センター 第1回フロンティア研究センター 合同シンポジウム報文集. 放医研, 2002.12.
2. 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 Aug;41(8):1369-79.
3. Townsend DW, Beyer T: A combined PET/CT scanner: the path to true image fusion. Br J Radiol. 2002 Nov;75 Spec No:S24-30.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619