

がん診断・治療融合のための 次世代PET装置 およびシステムの研究

安心・確実な「見える」放射線がん治療を目指して

山谷 泰賀

独立行政法人放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター
チームリーダー



研究の背景

いまだ死亡原因一位のがんにに対し、放射線を活用した医療への期待は大きい。放射線が持つ透過性は診断に欠かせないし、放射線を強く集中させればがんを根絶することもできる。そのため、陽電子断層撮影法(PET)や重粒子線がん治療などに代表されるように、放射線を活用したがんの診断法および治療法の技術革新が積極的に進められてきたが、診断と治療の組み合わせがもつポテンシャルについてはほとんど研究されてこなかった。

一般的なPET検査では、陽電子放出核種であるフッ素の同位体(^{18}F 、半減期約110分)でブドウ糖を標識したフルデオキシグルコース(FDG)という薬剤を少しだけ注射する。がん細胞は、正常な細胞よりも多くのエネルギーを消費するので、1時間ほど経つと、がんにFDGが集中した状態になる。そして、核種の崩壊に伴って同時にほぼ正反対に発生する一対の放射線を同時計数の原理で計測することで、薬剤の体内分布を断層像として画像化する。アルツハイマー病の早期診断に有効なPET薬剤の開発も注目されている。FDG-PETは、保険適用を受けここ10年で大きく普及が進んだ検査であるが、PET装置はまだPETのもつ潜在能力を活かしきれておらず、次世代装置の研究開発は世界的な競争下にある。

一方、炭素イオンを光速の7割近くにまで加速して照射する重粒子線がん治療は、たとえ深部のがんでもピンポイントで治療できるという、数ある放射線がん治療法の中で、最も線量集中性の高い治療法であり、現在は先進医療として承認されている。放射線医学総合研究所(放医研)のHIMAC(ハイ

マック)と呼ばれる施設は、世界一の登録患者数(約6000名)を誇る。最近では、三次元的に複雑な形状を持つがんに対してもなぞるように照射できる、スポットスキャンングと呼ばれる技術が実用化するなど、照射技術は日々進歩している。しかし未だに解決されていない課題は、治療ビームが患部に計画通りに届いているかどうかをその場で観測する方法である。すなわち、線量集中性が高いということは、万が一照射がずれてしまうと、がんは根治できず、かつ周辺の正常組織にダメージを与えてしまうリスクと隣り合わせであるため、重粒子線がん治療のポテンシャルを最大限に引き出すためには、この照射野イメージングが不可欠である。

研究の成果

さて、もし開放型のPET装置が出来た

ら、PETの世界はどのように変わるだろうか? 1970年代に、X線CT装置に続いてPET装置が登場して以来、PET装置の研究開発は、主に、高解像度化、高感度化、PETとCTを合体させたPET/CT、さらにはPETとMRIを合体させたPET/MRIへと進められてきた。しかし、PET装置の開放化については誰も考えてこなかった。これに対して我々は、物理的に開放された空間を3次元画像化できる、世界初となる開放型PET装置「OpenPET」を考案し、その具現化を進めている。

2008年に提案した初期アイデアは、図1中央に示すように、体軸方向に2分割した検出器リングを離して配置することで、解像度や感度を犠牲にすることなく物理的に開放された視野領域を実現するものであった[1, 2]。2012年には、図2に示すような、円筒を平行な2つの斜面で切り取っ

図1 研究開発の全体像

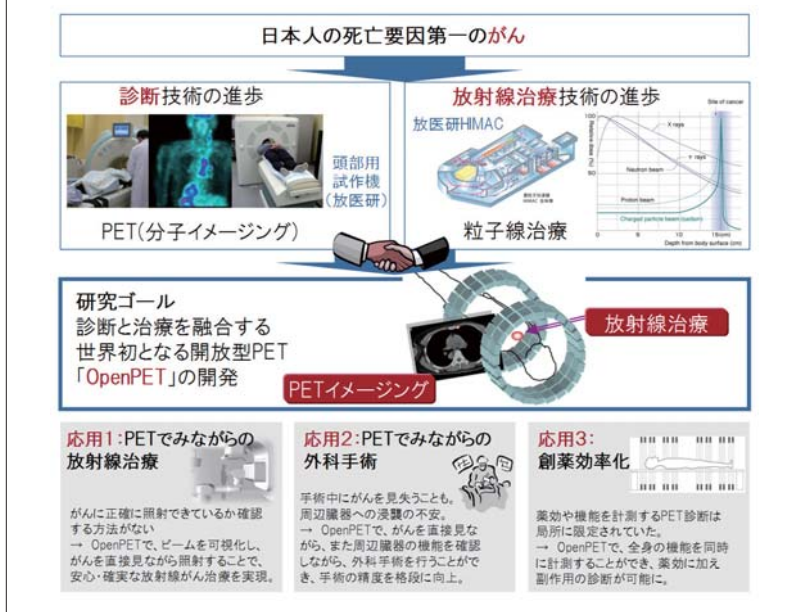


図2 放射線がん治療の照射野イメージングに特化した第二世代型OpenPETの概念図

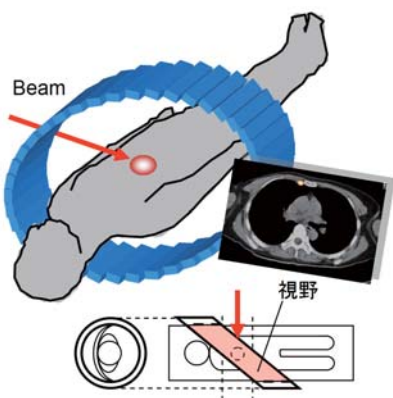
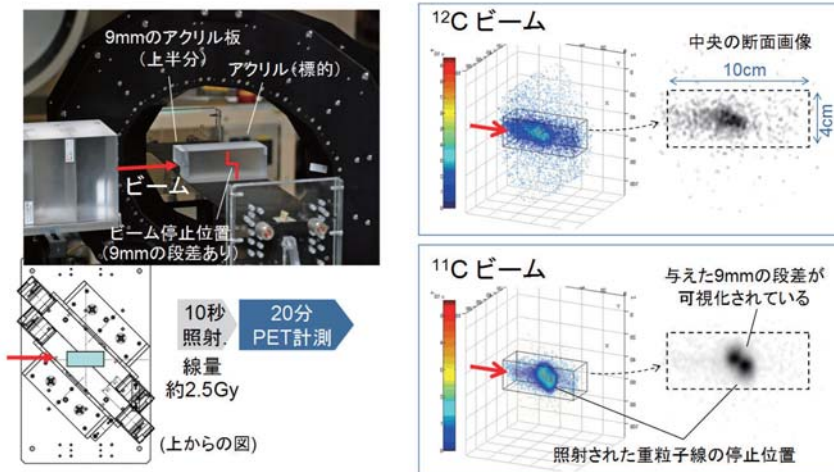


図3 OpenPETの小型試作機を用いて重粒子線がん治療を可視化するコンセプト実証実験の一例



たような第二世代型のOpenPETを発表した[3]。

開放型PETができれば、ビームを開放空間に通すようにして、重粒子線を照射しながらPETイメージングすることが可能になり、その場での照射野イメージングが可能になる。その原理を説明する。患者に照射された重粒子線ビーム(炭素の安定核である ^{12}C)の一部は、核破砕反応という原子核反応によって、陽電子放出核種である ^{11}C (半減期約20分)や ^{10}C (半減期約19秒)に変化する。よって、これらの核種の体内分布をPETで画像化すれば、患者体内でのビームの停止位置を可視化できる。ただし、生成される陽電子放出核種の数が微量であるなど効率に課題があるため、平行して、治療ビームそのものをはじめから ^{11}C にする方法も検討した。

このコンセプトを実証するために、小型試作機を開発し、HIMACでアクリル模型を照射する実験を行った[4]。アクリルの模型に対して、通常重粒子線ビーム(^{12}C 照射)に加えて、試行中の ^{11}C ビーム照射も行った。図3は、照射直後から20分間PET計測を行って、画像化した結果である。これより、あらかじめ設定した9mmのビーム停止位置の差が画像化されていることが分かる。特に、 ^{12}C 照射で可視化しているものは二次的に発生した粒子であることに対して、 ^{11}C 照射では治療ビームそのものが可視化されている点も特筆すべきである。以上より、OpenPETのコンセプトが実証された。

将来の展望

OpenPETの応用として、3つの構想を紹介する(図1下)。

1. PETでみながらの放射線治療

小型試作機でのコンセプト実証実験の成功を受け、現在、2016年3月までにヒトサイズのOpenPET実証機を開発するプロジェクトを進めている。これと平行して、FDGなどの注射を併用して、標的であるがん自体も同時に可視化するトラッキング法の検討も行っている。これは特に、肺がんなど呼吸等で動くがんの治療に有効であるが、その実現ためには、現在数分かかる画像処理時間をほぼ実時間にするという、大きな壁を乗り越えなくてはならない[5]。

2. PETでみながらの外科治療

がんのトラッキングが現実のものになれば、OpenPETは外科治療にも役立つと期待される。医師の被ばくの観点から見ると、ロボット治療との組み合わせが最良であろう。

3. 創薬効率化

OpenPETは、PET診断自体をも変えるポテンシャルを持つ。具体的には、二重リング方式のOpenPETのアイデアを拡張すれば、検出器数、すなわちコストをむやみに増大することなく、一度に計測できる視野を広げることができる[6]。すなわち、20cm程度に限られてきた体軸視野を、全身サイズにまで拡張することができる。これが実現すれば、これまで脳など局所に限定されてきた生体機能の研究対象が全身に広がるほか、たとえば新薬の開発過程において薬効に加えて副作用の診断も同時に出来るなど、創薬の効率化にも貢献できるだろう。

最後に、OpenPETの具現化には、放射線検出器の改善や画像処理アルゴリズムの高速化など、他分野にわたる要素技術開発が重要である。また、学術面に加え、産業的な観点からも、最先端医療機器の多くを輸入に頼っている現状の打破に貢献したいと思う。

本研究開発は、放医研分子イメージング研究センターを中心とし、多くの研究者および技術者との共同研究の成果である。あらためて関係者各位に感謝する。

References(参考文献)

- [1] T. Yamaya, T. Inaniwa, S. Minohara, et al., *Phy. Med. Biol.*, 53, 757-773, 2008.
- [2] T. Yamaya, E. Yoshida, T. Inaniwa, et al., *Phys. Med. Biol.*, 56, 1123-1137, 2011.
- [3] H. Tashima, T. Yamaya, E. Yoshida, et al., *Phys. Med. Biol.*, 57, 4705-4718, 2012.
- [4] T. Yamaya, E. Yoshida, S. Kinouchi, et al., 2012 IEEE NSS-MIC Conf. Rec., M06-2, 2012.
- [5] H. Tashima, E. Yoshida, S. Kinouchi, et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 59, 40-46, 2012.
- [6] T. Yamaya, E. Yoshida, N. Inadama, et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 56, 2644-2650, 2009.