

総特集「攻め」の核医学が高める病院力

放射線治療の精度向上に果たす PET 画像の位置づけ

医療法人社団葵会
広島平和クリニック 院長

廣川 裕

2010年 **3** 月号より抜刷

2010 March VOL.37 NO.3

◆Summary

The role of PET imaging for improved accuracy in radiation therapy

We have been providing PET/CT imaging as a free-standing diagnostic center for 4 years. And now, we found a radiation therapy facility focusing on SRT, IMRT and IGRT. We also install a multi-purpose PET imaging compound synthesis system to start our research activity in oncologic imaging for radiation therapy.

普及・進展への 核心に迫る

放射線治療の精度向上に果たす PET画像の位置づけ

廣川 裕 ◆医療法人社団 葵会

広島平和クリニック 院長

要旨…当院は、PET/CT検査を診療機能の中心として約4年間運用したが、このたび高精度放射線治療に特化した治療部門を新設した。同時にPET薬剤合成用多目的自動合成装置なども導入して、放射線治療に役立つ腫瘍イメージングの臨床研究を開始する。

当院は、2005年7月に広島県内初のPET/CT装置を導入してがんドック先端医療健診センターを開設した。PET/CT装置以外にも最新鋭の画像診断装置を揃えるとともに、ゆったりとくつろげる空間と接遇を重視して「高品質で快適ながん健診」を目指してきた。一方、がん医療の臨床現場においてPET/CT検査の有用性評価が急速に進み、県内を中心とした各医療機関から保険適用での検査依頼件数がん健診の受診者数を大きく凌駕して、今ではPET/CT検査数の75%は保険適用症例が占める状況になっている。

PET/CT検査は、がん診療の各領域でそれぞれ重要な役割を果たしつつあるが、特に放射線治療はその具体的な有用性を発揮できる領域である。すなわちPET/CT検査で肉眼的な病変の広がりや転移再発の検索などにおいて標的体積の輪郭入力を行うという放射線治療計画における役割に加えて、放射線治療終了後の治療効果判定や転移再発の検索などにおける役割など、PET/CT検査と放射線治療とは切っても切れない関係が構築されつつある。

当院では、09年10月に高精度放射線治療システムの最高峰である新型ノバリス「ノバリスTX」を国内で最初に設置し治療を開始した。これを機に、PET薬剤合成用多目的自動合成装置を導入するなどして、FDG以外の薬剤を用いるPET/CT検査による分子イメージングの研究的な臨床応用を開始する予定である。

放射線治療における標的決定と 画像診断

放射線治療は、従来から手術療法と化学療法と並んでがん治療の3本柱の1つとされているが、近年その期待度が高まっている「切らずに治すがん治療」の中核として、今まで以上にがん治療の中で重要な役割を果たすことが期待されている。放射線治療は、基本的には局所療法であるので、正確な解剖学的知識と個々の症例における精密な病巣の位置情報を持つことは、放射線治療の計画立案の上で必須の条件となる。

放射線治療の標的（照射範囲）を決定するためにX線シミュレータが使われてきたが、最近の放射線治療施設ではX線シミュレータ室に新たに放射線治療計画用CTを設置して、CT画像に基づいた3次元的な放射線治療を計画し、治療を実施することがごく一般



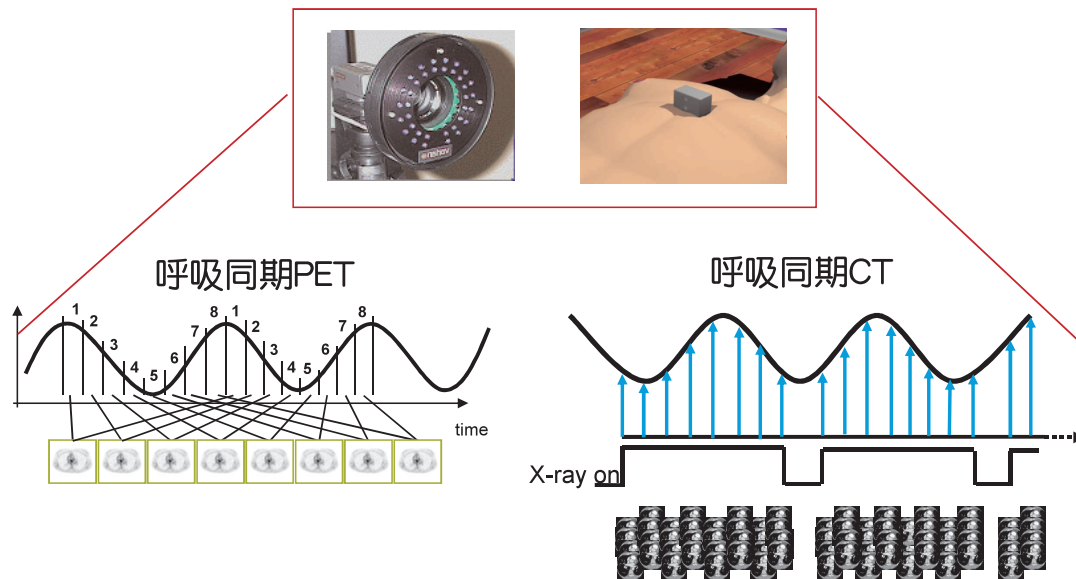


図1 呼吸同期 PET と呼吸同期シネ CT を用いて、各分割呼吸相で吸収補正を行う (Motion Free PET : GE Healthcare)

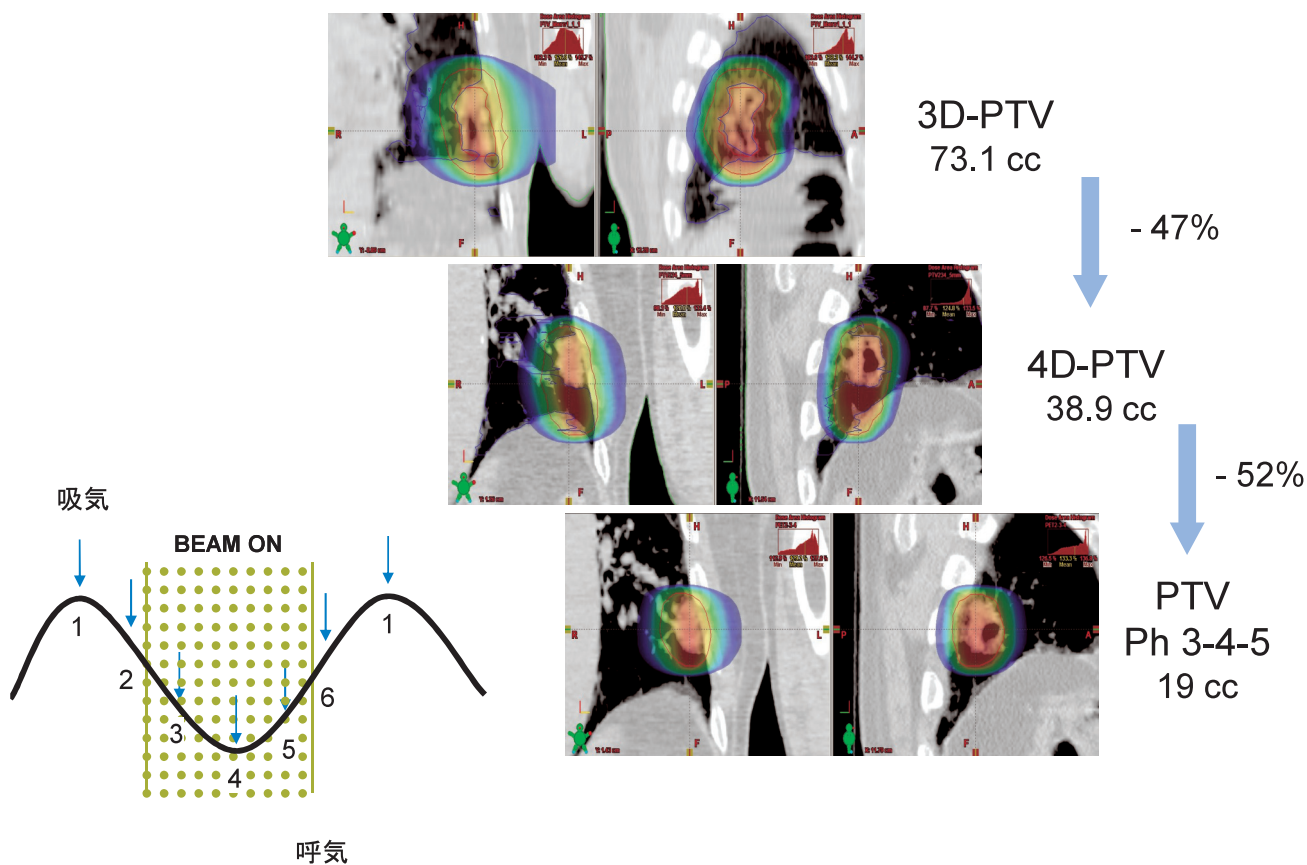


図2 肺癌の放射線治療計画：自由呼吸下の PET/CT・標的体積 (3D-PTV) と呼吸性移動を考慮した標的体積 (4 D-PTV) と呼吸同期放射線治療における標的体積 (PTV Ph3-4-5) の比較 (F. Fioroni)

的になっている。すなわち、骨あるいは造影した消化管や膀胱を指標として2次元に標的を決めていた時代から、軟部組織濃度の立体的な標的の特定に基づいて、ビーム方向の選択などの照射条件を治療計画コンピュータ上で決定するCTシミュレーションの時代に変遷しつつある。

これにつれて、標的あるいは治療範囲の捉え方も照射野という2次元的な用語から、肉眼的標的体積(GTV)、臨床的標的体積(CTV)、計画標的体積(PTV)という3次元的な用語定義により治療計画を行うことが一般化している。

正確な病期診断のためのPET/CT検査

FDGを用いたPET検査の情報は、病期診断、特にリンパ節転移、遠隔転移の検索には、重要な役割を果たす。放射線治療を受ける予定の患者が、あらかじめPET/CT検査をすることにより、ルーチンの病期診断検査では発見できなかった遠隔転移を発見できる症例が少なからず存在することが、肺癌、悪性リンパ腫、大腸癌など多くの腫瘍で報告されている。

遠隔転移の発見は、手術療法、放射線療法、化学療法の治療選択肢の決定に重要な影響を及ぼすし、根治目的の治療が緩和目的の治療に変更せざるを得ないことも起こり得る。また重複癌診断におけるPET/CT検査の役割も忘れてはならない。悪性腫瘍の治療開始

時に、他臓器に偶発的に重複している同時性重複癌を効率的に発見するためにPET/CT検査は有用であり、時には1次癌の治療方針を変更につながることも起こり得る。

PET/CTによる標的体積の決定

PET/CTががん医療にもたらした恩恵は数々あるが、画像をベースに治療計画を行う放射線治療にとって、特にその有用性が高い。3次元的に標的体積を決定するためには、正確な病変の広がり診断が必須であるが、従来からのCT画像あるいはMRI画像による標的体積決定に対して、PET画像あるいはPET/CT画像の情報がより正確で的確である。

無気肺を伴う肺癌例でのPET画像の有用性で知られるように、PET画像で決定したGTVは、CT画像だけで決定したGTVに比べて小さく限定的になるとの報告が多い。転移リンパ節領域の特定におけるPET画像の有用性は、非小細胞肺癌、頭頸部癌、食道癌、悪性リンパ腫などで報告されているが、なおその役割は限定的であるとの考えが一般的である。

例えば、頭頸部癌でリンパ節転移陰性とPET画像あるいはPET/CT画像で診断されていても、顕微鏡的なリンパ節転移の可能性を否定できるわけではないので、疑わしい領域は臨床的標的体積(CTV)には十分に含んで放射線治療を行うという臨床判断がなされることが多い。

標的体積の輪郭入力

標的体積が確定すると、放射線治療医は治療計画コンピュータに病変の輪郭入力作業を行う。輪郭入力において、放射線治療医の個人差が指摘されているが、PET/CT画像をルーチンで利用することで、輪郭入力の個人差はかなり小さくできるものと期待される。しかしPET画像からの輪郭入力は、バックグラウンド放射能のばらつきや標的境界のあいまいさなどにより、さほど容易な作業ではない。特に生理的集積や炎症性集積の問題などは、標的体積の輪郭入力を困難なものにしている。

高集積の範囲を自動的に輪郭入力するために、SUVの閾値で決定する方法などが提案されているが、自動的あるいは半自動的な集積境界の決定には多くの誤差要因が含まれるので、現時点で最も信頼性が高いのは、PET/CT画像の読影に習熟した画像診断医と協議しながら、放射線治療医が視覚的な評価による輪郭入力を行う方法と考えられる。

標的体積の決定と4次元PET/CT

標的体積の決定において、もう1つの重要な課題が呼吸性移動など臓器の動きによる位置の変動である。呼吸停止で撮像される通常のCT画像は、撮像の瞬間の病変の位置と形状を示すものであり、呼吸相の相違による位

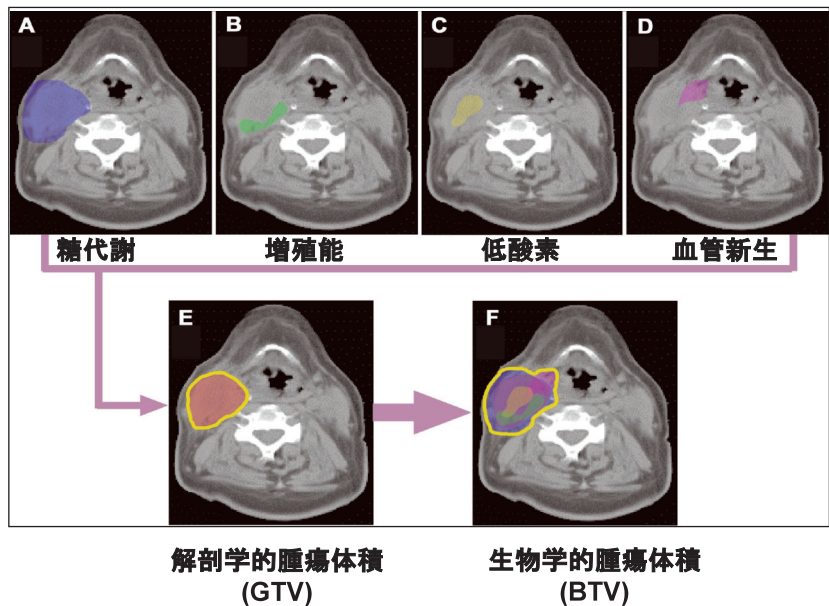


図3 放射線治療計画における解剖学的腫瘍体積 (GTV) と糖代謝・増殖能・低酸素・血管新生を考慮した生物学的腫瘍体積 (BTv) (S. Apisarnthanarax)

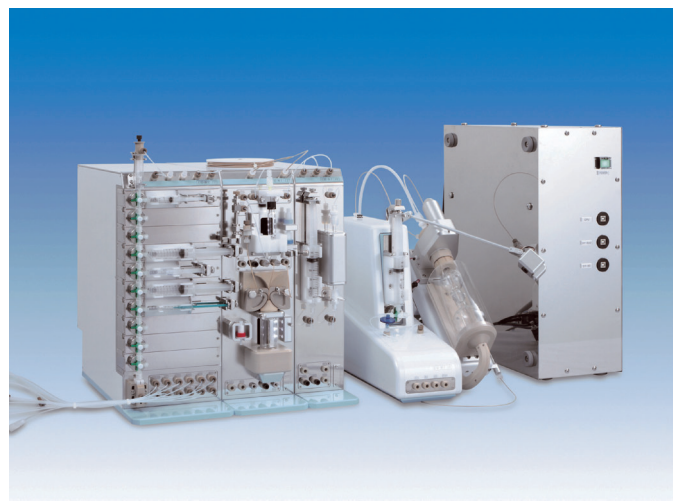


図4 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F を標識する種々の標識化合物が製造できる PET 薬剤合成用多目的自動合成装置 (UG-M1、ユニバーサル技研)

している。

一方、糖代謝のイメージングでは十分な情報が得られない領域、特に中枢神経系と頭頸部領域では、 ^{11}C -メチオニンなどのアミノ酸薬剤の有用性が知られており、わが国においても限られた施設ではあるが多くの臨床例が蓄積されている。腫瘍の分子イメージングは、各種の腫瘍の性質を反映する特異度の高い検査として急速に発展しつつある期待の領域である。

放射線治療に関連する薬剤としては、核酸代謝イメージング薬剤である ^{18}F -FLT や、低酸素イメージング薬剤の ^{18}F -MISO など、新しい PET 検査薬によるイメージングが、生物学的な標的体積 (BTv) の決定や強度変調放射線治療 (IMRT) により標的体積内の線量加重を変化させた治療計画など、新たな治療手法のヒントを生み出す可能性を持っている (図3)。

PET/CT 検査と高精度放射線治療のシームレスな統合

当院では、PET/CT 検査による分子イメージングと新型ノバリスによる高精度放射線治療をシームレスに機能統合した専門性の高い放射線診療に特化し、地域でがん診療に従事する先生方と緊密に連携しながらがん診療の一翼を担うことを目指している。

09 年 10 月のノバリス TX 導入を機に、PET/CT 検査の画像情報を高精度放射線治療に応用するために、いくつかの PET/CT

置変動などは反映されない。これに対して、PET 画像は自由呼吸下で撮像されるために、得られる画像は撮像時間内の動きを反映した累積画像である。したがって病変の大きさは見かけ上大きく描出され、集積は平均化されて見かけ上低下する。

PET 画像で標的体積の大きさを決定する場合は、病変の動きを考慮する必要がある、SUV 閾値は低めに設定するなどの読影上の注意が必要である。

呼吸同期システムを用いて PET と CT の

FDG 以外の PET 薬剤と放射線治療

同じ呼吸相で吸収補正を行い、時間的な呼吸性移動を考慮した 4 次元 PET/CT 画像が得られれば、正確な病巣の同定が可能であり、呼吸性移動の影響が大きい部位の標的体積の決定に有用性が高い (図1、図2)。

FDG を診断薬として用いる FDG-PET は、多くの腫瘍で有用な診療情報をもたら

装置に関連するソフトウェアやハードウェアを新たに導入した。すなわち、PET/CT装置のバージョンアップ、具体的にはPET/CT装置に新しい3次元逐次近似画像再構成法 (VUE Point Plus) を導入することにより、S/Nを飛躍的に改善し、高精度な診断を可能とした。

さらにPET/CT装置ならびにCT装置に放射線治療用ワークステーション (Advantage-Sim) をそれぞれ増設して、精度の高い放射線治療計画を行い、ノバリスTXに画像情報を直接フィードバックできる体制を確立した。

4次元PET/CT画像により放射線治療計画における病変部の輪郭入力精度を大幅に向上させることが期待されている。今後は、呼吸性移動を考慮した4次元データ収集による放射線治療計画と、ノバリスTXによる同期照射の実現も理論的には可能となる。

さらにPET薬剤合成用多目的合成装置も導入して、FDG以外の腫瘍代謝や低酸素などのPET検査薬の研究的な臨床応用を開始して、放射線治療など地域のがん診療に研究レベルでも役立てたいと考えている (図4)。

※

※

廣川 裕 (ひろかわ・ゆたか) ●52年広島県生まれ。77年広島大医卒。同大医学部放射線科助教授、順天堂大医学部放射線科教授を歴任、05年9月より、医療法人社団葵会広島平和クリニックがんドック先端医療健診センターに勤務。09年4月より、広島平和クリニック院長。09年10月高精度がん放射線治療センターを開設。