

月刊 **新医療**

MONTHLY SHIN IRYO

PET／CT検査を活用した 高精度放射線治療の実現と相互効果

広島平和クリニック院長

廣川 裕

2012年 **3** 月号より抜刷

2012 March VOL.39 NO.3

◆Summary

Combination and mutual influence of PET/CT imaging and high-precision radiation therapy
PET/CT imaging is a powerful modality for radiation therapy, especially for high-precision radiation therapy. We describe our experience of combined clinical practice of PET/CT imaging and high-precision radiation therapy in our facility.

改めて問う・ 有用性の検証

PET/CT検査を活用した 高精度放射線治療の実現と相互効果

廣川 裕 ◆広島平和クリニック院長



新 医 療 2012年3月号 (50)

要旨・放射線治療、特に高精度放射線治療において、PET/CT検査はその具体的な有用性が十分に発揮できる領域である。本稿では、当院におけるPET/CT検査を活用した高精度放射線治療の実現と相互効果について紹介する。

当院は、小型サイクロトロンを設置しPET用放射性薬剤を製造して、PET撮影を行っている、いわゆるサイクロPET施設に分類される。05年7月に開設して以来、PET/CT検査を中心とした画像診断センターとして地域のがん診療の一翼を担ってきた。09年10月に、PET/CTを定位放射線治療や強度変調放射線治療などの高精度放射線治療に有機的に利用することを目指して、最新の高精度放射線治療装置であるノバリスTXを国内で最初に導入し、治療を開始した。ノバリスTXを用いた高精度放射線治療を開始して2年余りが経過したが、本稿においてはPET/CTを放射線治療、特に高精度放射線治療にどのように応用すべきなのか、

メリットや課題は何か、FDG以外に薬剤利用の有用性はどうかなど、当院における現状を紹介しながら解説する。

地域におけるPET施設の現状

当院は、広島市中心部の平和大通沿いで平和記念公園のごく近くに立地しており、併設する病院を持たない独立型のPET施設である。05年7月にがんドック先端医療健診センターの名称を冠して開設したことも想像できる通り、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」を提供することを目指してきた。

広島県においては、当院の診療開始とほぼ同時に当院から直線距離で500メートルほどの近隣病院にサイクロPET施設が開設された。以来、県内のPET施設はこの2施設のみで合計5台のPET/CTが稼働するという状態で、PET検査総件数が緩やかに漸増する状況が約6年間続いてきた。広島県の

人口は約286万人であるので、全国的に見るとPET施設数が相対的に少ない地域とされている。これは2施設の同時開設により一気にPET検査の供給枠ができたことで、新規のPET施設開設を考えていた病院も含めて地域において「PET検査は外注の形で(院外で)行えばよい」という考えが浸透し、がん専門医の間でPET検査の有用性評価が高まるとともに、各医療機関からの保険適用での医療連携が確立してきたものと思われる。昨年末になって県東部にデリバリーPET施設が開設されたのに続いて、12年度中に広島大学病院などの3病院でもデリバリーFDGでPET検査が開始される予定で、俄かに県内のPET検査の需給バランスに変化が訪れそうな気配である。

最新放射線治療装置 ノバリスTXの導入

当院が、そのような中で導入し09年10月に

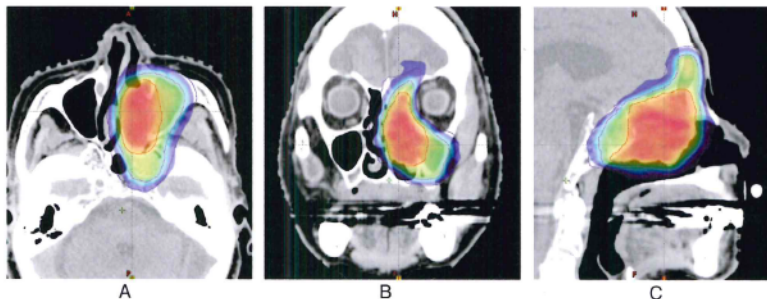


図1 ノバリス Tx による精細で自由度の高い線量分布図の例(FDG 集積を考慮した SIB 法)
A: 横断像 B: 冠状断像 C: 矢状断像

治療開始したノバリスTxは、97年にドイツのブレインラボ社が脳定位放射線治療専用として開発した旧タイプのノバリスの後継機として、07年に米国バリアン社と共同開発したもので、旧タイプのノバリスの弱点を補強すると共に、バリアン社のリニアック最上位機種トリロジーの機能を統合してさらに高機能化



図2 ノバリス Tx に搭載される ExacTrac X-ray の表示画面
治療計画の DRR 像と ExacTrac X-ray 画像を自動照合し、高精度なセッティングを担保する

した、現時点での世界最高水準の高精度放射線治療装置と言えるシステムである。
具体的には、リニアック本体駆動系の機械的な高精度化や世界最小幅(2・5mm)のマイクロMLCによる精細で鮮鋭なビーム形成、世界最高水準のX線高出力(1000MU/分)と最新の強度変調放射線治療の照射技術(RapidArc)を、ステレオX線撮影(ExacTrac X-ray)ならびにOBI (On Board Imaging)を用いたCT撮影機能による位置情報の取得と、6軸ロボット寝台による自動位置照合をフィードバックする最先端の画像誘導技術(IGRT)と統合することにより、頭

標的体積の輪郭入力

放射線治療、特に高精度放射線治療の計画立案においては、異なるモダリティの画像を正確にレジストレーションすることにより、治療計画コンピュータの画面上でPET画像も含めたマルチモダリティ画像を同一断面で、しかも同一拡大率で比較表示できるので、それぞれの特長を生かした標的ならびに関心臓器の特定と輪郭入力が可能である。このようなマルチモダリティの比較画面の利用は、参照したいPET画像を隣のパネルで見ながら治療計画装置のCT画面上に輪郭入力する場合に比べて、精度が高まるだけでなく効

率が高まる。このような高精度な新技術を担保するためにはIGRTによる正確な照準機能が必須であるが、ノバリスTxでは頭頸部領域など治療計画CTデータで作成した2方向再構成画像(DRR)をExacTrac X-rayで得られた画像と自動照合してサブミリの高精度なセッティングが完了する(図2)。

蓋内病変はもとより、頭頸部、脊椎、肺、肝臓、前立腺などの幅広い領域の病変に対して、IGRT併用の定位放射線治療ならびに強度変調放射線治療を短時間にかつ高精度に実施できるのがノバリスTxの特長である(図1)。旧タイプのノバリスが狭い照射範囲しか治療できなかったのに対して、ノバリスTxでは高精度なビーム形成が45cm×22cmの範囲で可能であり、全脳照射併用の定位放射線治療など従来の放射線治療装置では不可能であった新たな照射技術も施行可能である。

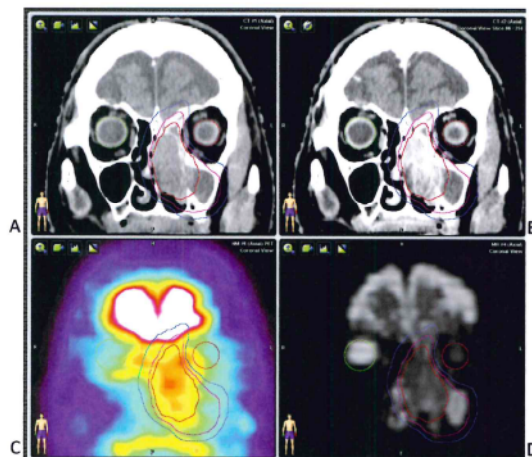


図3 PET画像などマルチモダリティを用いた標的体積の決定（レジストレーション完了後の画像比較画面）
A：単純CT B：造影CT C：FDG-PET D：MRI（拡散強調）

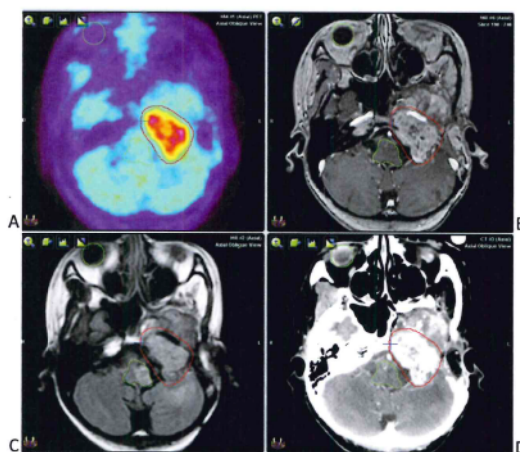


図4 ^{11}C -メチオニンPETを利用した標的体積を決定（頭蓋底軟骨肉腫、術後再発、再照射例における各種モダリティの利用）
A： ^{11}C -メチオニンPET B：MRI（造影SPGR） C：MRI（FLAIR） D：造影CT

率も改善されるので、ぜひ整備したい環境である。

図3は、89歳女性の鼻腔悪性黒色腫症例における標的体積の決定のためのレジストレーション完了後の画像比較画面である。本例においては治療計画CTだけでは病変の広がり不明瞭なので、造影CT領域、PETの高集積領域、MRIの脂肪抑制T1造影領域、MRIの拡散強調画像高信号領域のそれぞれを参考に、FDG-PETで高集積、拡散強調画像で高信号を示す領域をPTV1に、CT・MRI像で軟部陰影の存在する領域をPTV2に、5mmマージン領域をPTV3に、治療計画装置の画像比較画面を用いてCTV輪

郭、PTV輪郭を決定した。

PET画像を用いた生物学的標的体積の設定

FDG-PET検査において高集積を示す領域は、腫瘍組織の糖代謝が活発であり腫瘍の細胞密度も高いと考えられるので、CTやMRIで得られる解剖学的画像で判明している腫瘍内部のFDG高集積領域を3次元的に特定して生物学的な情報に基づく標的体積を確定することができる。これが生物学的標的体積という考え方である。

強度変調放射線治療においては、標的体積

内の異なる領域に異なる線量を照射することができるので、FDG高集積領域で得られた生物学的標的体積に基づいて標的体積の内部に高線量領域を設定して治療することにより、局所制御率を改善しようという治療方法がdose paintingという考え方である。予防的な照射領域と肉眼的病変が明らかで高線量を必要とする領域を、それぞれ処方線量を変えて同時に治療するSBI (simultaneous integrated boost) 法も同様の治療法である。

図1は、ノバリスTxの鼻腔悪性黒色腫に対する強度変調放射線治療の線量分布図を示している。89歳女性の本症例では、FDG-PETで高集積を示す左鼻腔内の肉眼的腫瘍の領域をPTV1として87・5 Gy/25回/5週を、CTやMRIで軟部陰影の広がりがある領域をPTV2として75 Gy/25回/5週を、さらにその外側に5mmマージンをとった領域をPTV3として50 Gy/25回/5週を処方し（図3）、ノバリスTxのRapidArcによる回転IMRTで治療を行った。

放射線治療装置の高精度化や画像誘導による高精度な照準技術により、腫瘍の内部にある低酸素領域・血管新生領域・細胞増殖領域など放射線抵抗性の領域をPET画像により特定して生物学的標的体積を設定できれば、それぞれの領域に一致した線量分布をdose paintingすることが可能になりつつある。

FDG以外のPET薬剤と放射線治療

FDGを診断薬として用いるFDG-PET

T検査は、糖代謝のイメージングとして多くの腫瘍で有用な診療情報をもたらしている。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、 ^{18}F -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、わが国においても保険適用が認められていないが、多くの臨床例が経験されつつある。特に神経腫瘍の術前診断や術後再発診断の他、放射線治療後病変の脳壊死と再燃との鑑別などに有用性が高いことが知られている。当院でも ^{18}F -メチオニンPET検査を10年4月から臨床研究として運用を開始し、放射線治療の適応決定と標的体積決定に役立てている(図4)。

FDGや ^{18}F -メチオニン以外の放射線治療に関連するPET薬剤として、前述の放射線抵抗性の原因となっている腫瘍内の低酸素・血管新生・細胞増殖などの分布を画像化する目的で、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である ^{18}F -MISOなどの新薬剤の臨床応用が期待されている。これらを用いた機能的画像が得られることにより腫瘍の病態や治療による変化の情報が得られ、放射線治療における生物学的標的体積の決定や標的体積内の線量加重を変化させた強度変調放射線治療の治療計画など、新たな放射線治療技術の導入やそれに伴

う治療成績の向上につながる可能性が期待されており、当院でも積極的に取り組んでいきたいと考えている。

PET/CT検査と放射線治療の相互効果で高品質ながん診療を実現

当院は、PET/CT検査を中心とした画像診断センターとして開設した後、約4年でノバリス社を導入して高精度放射線治療も開始した。当初の4年間のPET/CT検査を中心とした診療では、地域のがん診療の中で新規開業の当院がどのような形でプレゼンスを高めていけるのかを模索してきた。

高精度放射線治療を開始してからは、「いかに適切にPET/CT検査を活用した高精度放射線治療を実現するか」を最大の課題と考え、診療に当たってきた。地域の先生方からは「PET/CTによる肺がんの再発診断をお願いします。高精度放射線治療の適応についてもご教示ください」というような診療情報提供書をいただく機会も増えている。

一方、PET/CT検査の報告書に「定位放射線治療のよい適応と考えられます」というコメントを付記することもあり、PET/CT検査が新たな高精度放射線治療の患者紹介に直結することもしばしば経験するように

なっている。

今後とも、診療の柱であるPET/CT検査を適切に活用して、高精度放射線治療の有用な領域を開発していくとともにもう1本の柱として育成し、両者の相互効果によって高品質のがん診療を実現して地域がん診療の一翼を担いたいと考えている。

参考文献

- 1 廣川 裕：最新型放射線治療装置を導入し、世界最高水準の高精度放射線治療を行うがん専門クリニックをオープン。月刊新医療 12月号：10-14, 2009。
- 2 廣川 裕：放射線治療の精度向上に果たすPET画像の位置づけ。月刊新医療 3月号：5-10, 2010。
- 3 廣川 裕：PET/CTと最新放射線治療装置の導入、稼働が生む治療精度と経済力の向上。月刊新医療 12月号：5-10, 2010。
- 4 廣川 裕、他：PET/CT画像の放射線治療への応用。臨床放射線 55：1155-1204, 2011。
- 5 廣川 裕、他：PET画像の高精度放射線治療への応用。PETジャーナル 16：263, 2011。

※ ※

廣川 裕(ひろかわ ゆたか) ●52年広島県生まれ。77年広島大卒。同大医学部放射線科教授、順天堂大医学部放射線科教授を歴任、05年より医療法人社団英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。開業型のがん専門放射線科クリニックを目指す。