

最新型トモセラピー装置による放射線治療

信州大学医学部附属病院放射線部

小岩井 慶一郎

I はじめに

放射線治療は悪性腫瘍に対する有力な治療手段の一つであり、「がん」の標準治療を行う上で不可欠なものとなっている。放射線治療において、治療効果を高めると同時に副作用を軽減するためには病巣にできるだけ線量を集中させる必要がある。近年、デジタル工学技術の進歩により従来よりも高い精度で照射を行う手法が開発され、これらは総称して高精度放射線治療と呼ばれる。この高精度放射線治療の代表格が強度変調放射線治療 (intensity-modulated radiation therapy : IMRT) である。これは、照射されるX線ビームに意図的に強弱をつけることにより高い線量集中度を実現するものであり、当院は2013年から同治療を開始した。

当院は2台の外部放射線治療装置 (リニアック) を有してきたが、IMRT が実施できる装置はこのうち1台のみであった。2022年5月、20年近く使用した旧装置をIMRTを得意とする最新型トモセラピー装置「ラディザクト」に更新した。本稿ではこの新装置を用いた放射線治療の概要と今後の展開について述べる。

II 「トモセラピー」とは

通常のリニアックはX線撮影装置のような形をしている。患者は動かない寝台の上に寝て、装置から放出される円錐形のX線ビームを照射される (図1 a)。トモセラピー装置は通常のリニアックとは見た目が全く異なっており、X線CTに酷似している (図1 b)。事実、トモセラピー装置はCTの原理を応用して生み出されたX線治療装置であり¹⁾、移動寝台に寝ている患者に対し「らせん状」にビームを照射する。この特徴的な機構により、通常のリニアックでは実現できない広範囲の治療や、より線量集中度の高いIMRTの実現が可能となり、一部の悪性腫瘍においては治療成績の向上が報告されている²⁾。

III 最新型装置「ラディザクト」の特徴

ラディザクトは米国アキュレイ社が提供するトモセラピーシリーズの最新にして最上位の機種である。従来の装置よりも高性能化が図られており、特に線量率 (単位時間当たりのX線の放出量) の向上や、様々な

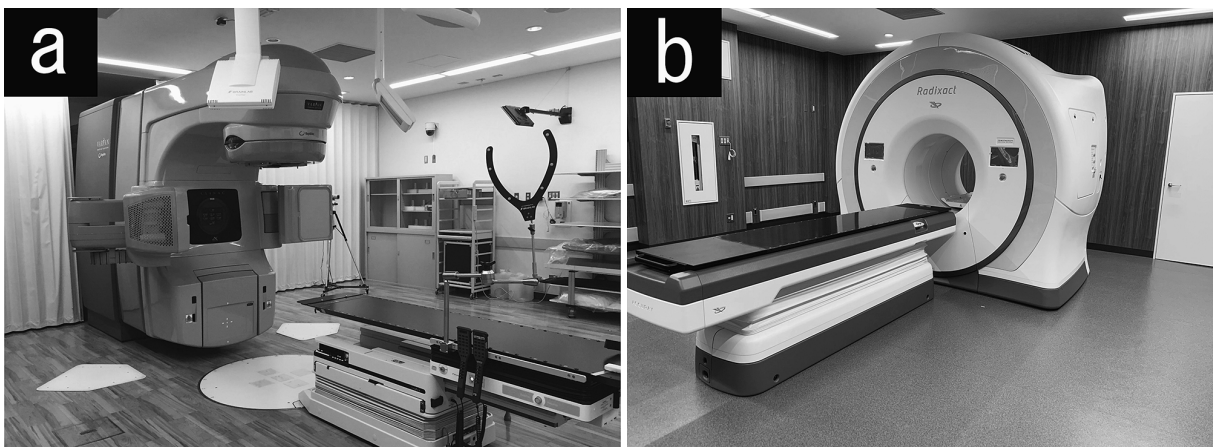


図1 当院の放射線治療装置 (リニアック)

a : 通常型リニアック (バリアン社製 Clinac iX)

b : トモセラピー装置 (アキュレイ社製ラディザクト X9)

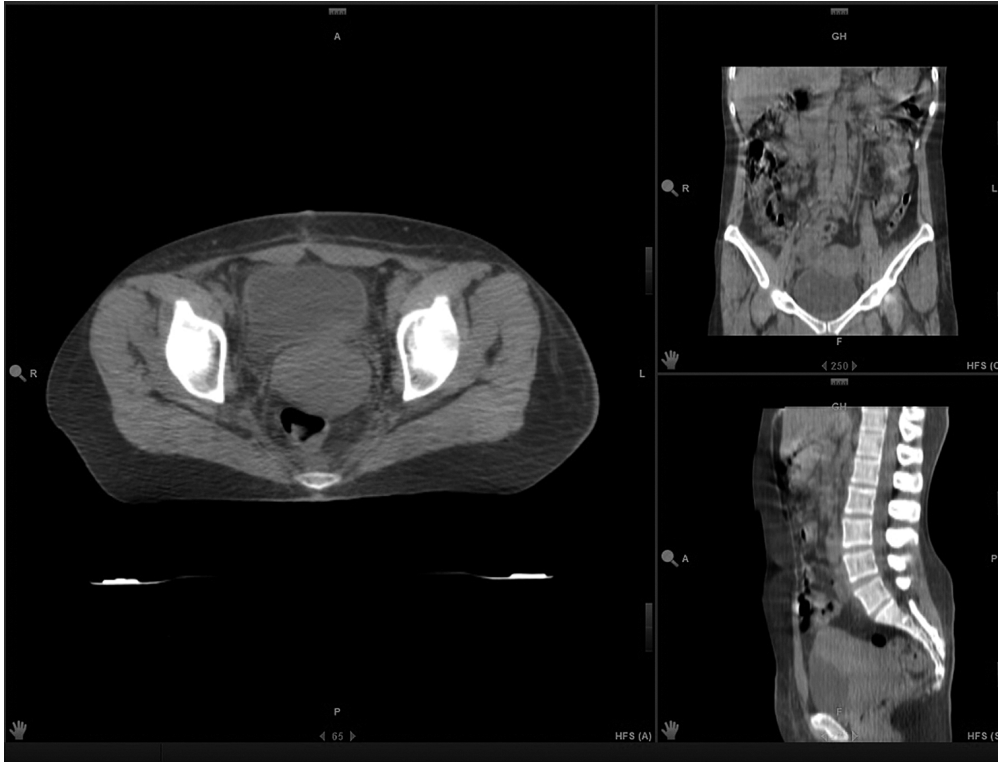


図2 Clear RT で取得された画像
通常のCT画像と遜色ない画質をもち、高精度な画像誘導の実現に寄与する。

オプション機能が搭載可能となったことにより、従来のトモセラピー装置よりも高い精度の治療を迅速に実施できるようになった。

IV 進歩した治療計画ソフトウェア

トモセラピー治療は治療装置本体のみならず、放射線治療を計画するソフトウェア（radiotherapy planning system：RTPS）においても進歩している。当院に導入されたRTPSである「Precision」には、IMRTを計画する際に用いられる「VOLO Ultra」なる最適化オプションが導入されている。IMRTの計画には多大な労力が伴うが、この最適化オプションは計画者の労力をかなり削減する機能を提供する。

V 画像誘導装置の威力

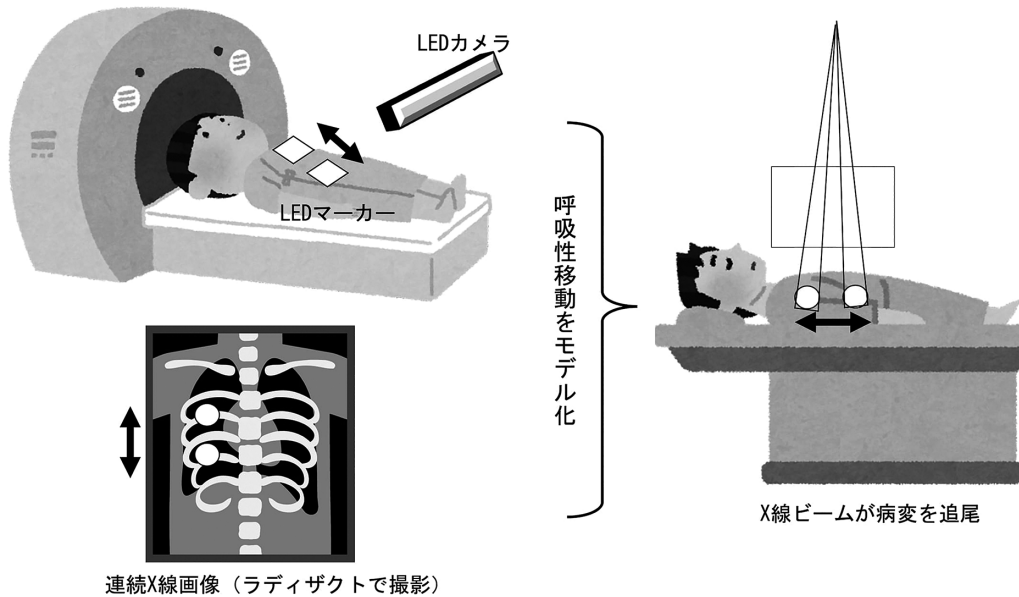
ラディザクトのオプション機能の中で最も有用性が高いものが、画像誘導装置である「ClearRT」である。画像誘導放射線治療（image-guided radiation therapy：IGRT）は毎回の治療セッションの際に撮影される何らかの画像を用いて患者の位置ズレを検出、修正する手法であり、高精度放射線治療を行う上で欠かせない技術となっている。ClearRTはCT画像を撮影

することにより画像誘導を実現するものであり、その画像は治療に用いるX線発生装置とは別のX線管を用いて取得される。このX線は撮影専用であるため、非常に鮮明なCT画像を得ることができ（図2）、高精度な画像誘導を安定的に実現できる³⁾。

VI 動体追尾システムの可能性

体内で移動する病変を標的として放射線治療を行う際、移動範囲をカバーするように照射野を広げると、正常組織が照射される範囲が広がるため、合併症のリスクが増強するというジレンマがある。特に肺は放射線に脆弱な臓器であり、かつ呼吸により移動するためこのジレンマが大きい。このジレンマをできる限り解消する対策は呼吸性移動対策と呼ばれ、早期肺癌への定位放射線治療等において非常に重要な技術である。これには様々な方法が考案されているが、最も先進的といえるものが動体追尾法である。

ラディザクトには「Synchrony」と呼ばれる動体追尾システムがオプション機能として搭載されている。これは、連続的に撮影されるX線画像および体表に貼付したLEDマーカーからの信号により病変の呼吸性移動モデルを構築し、照射ビーム位置をモデルとサン



連続X線画像（ラディザクトで撮影）

図3 Synchrony の概念図

X線画像およびLED マーカーからの信号により病変の呼吸性移動モデルを構築し、照射位置をモデルとサンプリングデータをもとに補正、病変の動きにXビームを追尾させる。

プリングデータをもとに補正することで病変の動きにXビームを追尾させるものである（図3）。これにより、正常肺への線量を極力低減しながら病変に十分な線量投与を行うことが可能となる⁴⁾。

Synchrony は非常に先進的な技術であるため本稿執筆時点では当院での臨床導入がなされていないが、今後更なるラディザクトへの習熟を経たうえで、使用を目論みたいと考えている。

Ⅶ 最後に

ラディザクトは従来当院が保有してきた装置と様々な面で異なっていたため、当院での導入にあたっては少なからず苦勞もあったが、治療開始から本稿執筆時点までの症例数は100例を超えており、日常臨床に定着しつつある。スタッフは治療計画の融通性や優れた

画像誘導機能を実感しながらこの装置を使っている。

今後はIMRTの更なる適応拡大に尽力していくとともに、上述のSynchronyの運用に加え、骨髄移植の前処置としての全身照射を本装置で実施できるような体制を整えていく必要があると考えている。こうした課題を一つ一つ克服していくことにより本装置を更に有効活用していけるものと考えているが、それには放射線治療に携わるスタッフ全員が力を合わせていくことが絶対的に不可欠である。装置がどんなに立派になってもそれを扱う人の力が伴わなければよい治療は生み出せない。高精度放射線治療は良好なチーム医療の実践なくして成り立ちえない治療である⁵⁾。今後も放射線治療部門一丸となってラディザクトに取り組むことにより、様々ながん患者さんに対し、より良い放射線治療を提供していくことができればと考えている。

文 献

- 1) Welsh JS: Helical tomotherapy: a fascinating technological concept that has matured into clinical reality. *Technol Cancer Res Treat* 7: 415-416, 2008
- 2) Bibault JE, Dussart S, Pommier P, et al: Clinical Outcomes of Several IMRT Techniques for Patients With Head and Neck Cancer: A Propensity Score-Weighted Analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 99: 929-937, 2017
- 3) Yang B, Geng H, Chang TYA, et al: Clinical implementation of kVCT-guided tomotherapy with ClearRT. *Phys Eng Sci Med* 45: 915-924, 2022
- 4) Ferris WS, Kissick MW, Bayouth JE, et al: Evaluation of radixact motion synchrony for 3D respiratory motion: Modeling accuracy and dosimetric fidelity. *J Appl Clin Med Phys* 21: 96-106, 2020
- 5) McNair HA, Adams EJ, Clark CH, et al: Implementation of IMRT in the radiotherapy department. *Br J Radiol* 76: 850-856, 2003