

高精度放射線治療技術

信州大学医学部画像医学教室

酒井 克也

I はじめに

近年の放射線治療技術における進歩は目覚ましく、とくに定位放射線治療や強度変調放射線治療に代表される高精度の放射線治療技術により、安全に高線量の投与が可能となったことは刮目に値する。これらにより、放射線治療成績の向上が得られている。

従来の放射線治療技術には、病変への投与線量を増加させると周囲の正常臓器が照射される範囲や線量が拡大、増加するため、有害事象の発生リスクが増加するという問題があった。このため、病変制御に十分な線量を投与することがしばしば困難であった。定位放射線治療や強度変調放射線治療はこのジレンマを解決するべく開発が進められてきた技術である。本稿ではこれらの高精度放射線治療技術について解説する。

II 定位放射線治療

定位放射線治療は以前より脳内病変に対して行われていたが、近年は体幹部の病変に対しても積極的に行われるようになってきている。この体幹部定位放射線治療がわが国で本格的に行われるようになったのは平成16年の診療報酬改定において「直径が5 cm 以内で転移巣のない原発性肺癌または肝癌、および3個以内で他病巣の無い直径5 cm 以内の転移性の肺癌または肝癌」に対する定位放射線治療の保険適用が認められたからである。

定位放射線治療は高い位置精度のもとに行われるべき治療である。俗に「ピンポイント」と称されるが、照射中心位置のずれは体幹部治療の場合で5 mm 以内、頭頸部（脳を含む）治療の場合で2 mm 以内としなければならない。また、治療中の患者の体動にも配慮する必要がある。固定フレームあるいはシェル等を用いて患者の体動を抑制する。呼吸等による臓器の体内移動にも配慮が必要である。こうした配慮を行うことにより、極限まで照射範囲を縮小させることが可能で、有害事象の発生リスクを減少させることができる。

定位放射線治療は治療回数により名称が異なる。一

回照射の場合を定位放射線手術（stereotactic radiosurgery: SRS）、分割照射の場合を（狭義の）定位放射線治療（stereotactic radiotherapy: SRT）という。脳内病変はSRSで治療されることが多いが、体幹部病変は通常SRTで治療される。分割とはいっても、通常回数程度であり、30回程度に分割する従来の照射法に比べればその回数は少ない（その分一度に投与する線量を増加させる）。定位放射線治療は通常の分割照射に比べて生物学的な効果が高いとされる。その理由は十分解明されているわけではないが、一度に投与する線量を増加させると、腫瘍を栄養する血管のダメージが増加することが大きな意義をもっているものと考えられている。

III 強度変調放射線治療

今日の放射線治療計画はほぼすべてコンピューターシミュレーションのもとに行われる。まず患者のCT画像を撮像し、コンピューター上の仮想三次元空間内にCTデータを用いた“仮想患者人体”を作成する。この仮想患者人体において標的となる病変やリスク臓器（ある一定量以上の放射線が照射されると重篤な有害事象を呈する近接臓器）の輪郭を入力、描出する。その後、標的となる病変にフィットさせた照射野を作成、線量計算を行い、線量分布を確認する。これがいわゆる三次元原体放射線治療（three-dimensional conformal radiotherapy: 3DCRT）の計画である。この方法により線量集中性の高い放射線治療が可能となるが、線量分布は必ず外側に凸になるため、治療標的とリスク臓器がきわめて近接するような領域に対して放射線治療を行う場合、治療計画に難渋することがある。この問題を解決するべく、3DCRTを発展させた方法が強度変調放射線治療（intensity-modulated radiation therapy: IMRT）である。

IMRT物理技術ガイドライン¹⁾では、IMRTを「リスク臓器等に近接する標的への限局的な照射において、空間的・時間的に強度変調を施した線束を利用し、逆

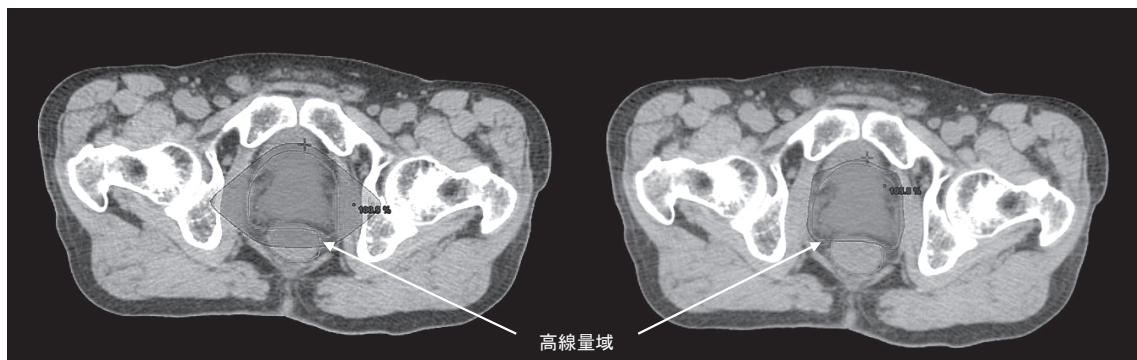


図1 前立腺癌における線量分布 (左:3DCRT, 右:IMRT)
IMRT では前立腺に線量が集中し、リスク臓器である直腸への線量が減少している。

方向治療計画にてリスク臓器等を避けながら標的形狀と一致した最適な三次元線量分布を作成し治療する照射療法」と定義している。3DCRTでは一つの照射野内における線束の強度は均一である。IMRTではその強度に変調を施すことにより、リスク臓器等を避けながら標的に十分な線量を投与することを可能とする。この強度変調を施した線束を作る方法にはいくつかあるが、照射装置に付属しているマルチリーフコリメータを移動させる方法が最も多用される。3DCRTでは、まず照射野を作成したのち、その線量分布を評価する(順方向治療計画)が、IMRTでは、まず理想的な線量分布を規定したのち、そのパラメーターをコンピューターに入力して最適化計算を行い、可能な限り理想に近い線量が投与される治療計画を作成する。これは前出の順方向治療計画に対し、逆方向治療計画と呼ばれる。複数の条件で最適化された複数の計画を作成、それぞれの計画における線量指標を医師がチェックし、最終的に採用する計画を決定する。

IMRTは脳腫瘍、頭頸部癌、前立腺癌などに対して用いられているが、今回は前立腺癌への使用を例としてあげる。前立腺癌では、投与線量を増加させると生化学的無再発率が上昇することが示されている²⁾。しかしながら前立腺は頭側では膀胱、背側では直腸と接しており、3DCRTで治療計画を行った場合、膀胱や直腸への線量増加を抑制することが困難である。そ

のため前立腺への投与線量を一定程度以下にせざるを得なくなる。IMRTを用いることで、前立腺に線量を集中させながら直腸や膀胱への線量を減少させるよう最適化することにより、3DCRTの限界を超えた線量を安全に投与可能となる³⁾(図1)。

IMRTを実践するためには、本治療が可能な放射線治療設備は無論のこと、専門知識をもつ人員の十分な配置が必須である。本治療の診療報酬算定の要件として、専従の常勤放射線治療医師2名以上、専従の常勤診療放射線技師1名以上、機器の精度管理・治療計画の検証・照射計画補助作業を専属に行う技術者(医学物理士、放射線治療品質管理士等)1名以上の配置が求められている¹⁾。

IV おわりに

近年、目覚ましい進歩を遂げている高精度の放射線治療技術を中心に解説した。従来と比較してはるかに高度な放射線治療が可能となった結果、個々の治療計画は複雑化している。治療計画とその実施、および精度管理には多大な労力と時間が必要であり、人員の不足はスタッフの疲弊や医療事故を生じさせる恐れがある。しかしながら当院も含めた我が国において、放射線治療に関わる医師、技師、そして看護師の充足状況は決して十分であるとはいえない。高精度の放射線治療を安全かつ適切に行うには、これらの人員の質的、量的充足が喫緊の課題といえよう。

文 献

- 1) IMRT物理QAガイドライン専門小委員会：日本放射線腫瘍学会QA委員会：強度変調放射線治療における物理・技術ガイドライン 2011
- 2) Viani GA, Stefano EJ, Afonso SL: Higher-than-conventional radiation doses in localized prostate cancer treatment: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74: 1405-1418, 2009
- 3) 日本放射線腫瘍学会：放射線治療ガイドライン 2016年版