

## RECENT ADVANCES OF RADIOTHERAPY FOR CANCER: STEREOTACTIC RADIOTHERAPY AND INTENSITY MODURATED RADIOTHERAPY

Shogo Yamada<sup>A)</sup>, Kenji Nemoto<sup>A)</sup>, Yoshihiro Ogawa<sup>A)</sup>, Hisanori Ariga<sup>A)</sup>, Ken Takeda<sup>A)</sup>, Toru Sakayauchi<sup>A)</sup>, Keisuke Fujimoto<sup>A)</sup>, Keiichi Jingu<sup>A)</sup>, Eiko Nakata<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Department of Radiation Oncology,

Tohoku University Graduate School of Medicine, Sendai 980-8574, Japan

<sup>B)</sup> Department of Radiological Sciences,

Tohoku University School of Health Science, Sendai 980-8575, Japan

### Abstract

Recent advances of radiotherapy are rapid. Stereotactic irradiation elevated the level of accuracy of radiotherapy technique extremely. The progress of computer fed 3-D irradiation technique rapidly. Although conformal radiation therapy is an excellent 3-D radiation method, it can only make a convex radiation field because intensity of radiation fields is homogeneous at every point. Intensity modulated radiotherapy is able to make any shape of radiation field including concave shape by means of changing the intensity of radiation fields intentionally. As a result, frequency of complication by radiotherapy is decreasing, and outcomes of radiotherapy are highly improved because of the escalation of radiation dose. The usefulness of radiation therapy for cancer is now increasing.

### がんに対する放射線治療の進歩：定位放射線治療と強度変調放射線治療

#### 1. はじめに

がんに対する主たる治療は手術、放射線、抗がん剤である。放射線は局所療法であるが臓器の機能温存ができる点、効果が抗がん剤より高い点で優れており、“切らずに治す”治療として近年脚光を浴びている。放射線も他の治療と同様にがんのみを選択的に破壊することができないので、治療成績向上のためには工夫が必要である。がんに限局して照射する技術の開発（物理）およびがんと正常組織の反応の差を大きくする方法の開発（生物）の両面で研究が行われている。ここでは物理面での開発の進歩を概説する。

#### 2. リニアックの開発

20世紀初頭に始まった癌に対する放射線治療は、20世紀中期の直線型加速管(Linear Accelerator: Linac)による高エネルギー放射線の導入により飛躍的に発展した。従来の高圧X線治療は深部線量のピークが皮膚表面であったのに対し、100倍のエネルギーを有するリニアックのそれは皮下数cmのbuild up点であって、皮膚表面線量は数10%にすぎず、皮膚の合併症なしに体内深部に十分な放射線を投与することが可能となったことによる。深部臓器がんの放射線治療による治癒率は約倍に改善した(表1)。

癌腫	5年生存率	
	200KVp X線	高エネルギーX線
ホジキン病	30 ~ 35%	70 ~ 75%
上咽頭癌	20 ~ 25%	40 ~ 50%
中咽頭癌	25 ~ 30%	40 ~ 50%
子宮頸癌	35 ~ 45%	55 ~ 65%
膀胱癌	0 ~ 5%	25 ~ 35%
前立腺癌	5 ~ 15%	55 ~ 60%

表1: 高圧X線と高エネルギーX線による放射線治療成績の比較

#### 3. 定位放射線治療

(SRT: Stereotactic Radiotherapy)

1950年ころよりスウェーデンではじめられ1968年カロリンスカ研究所で開発されたガンマユニットは、201個の<sup>60</sup>Co線源を半球状に配列し、各線源から放出される線をそれぞれ細いビームにして中心の一点を照射する方法で、ガンマナイフと称され脳血管奇形や脳腫瘍の治療にすさまじい威力を発揮した。ガンマナイフによって照射される中心部の線量を100%とすると周囲は201分の1の線量しか照射されないため周辺正常組織の有害事象は著しく減少する。しかも<sup>60</sup>Co線源は固定されているため、照射精度は高く、設定位置精度は

0.3cm以内である。通常子どもは正常組織の有害事象を許容範囲に抑えるために1回2 Gyで60～70 Gyの照射を行うのであるが、正常組織の有害事象を著減させるガンマナイフ用いれば1回20 Gyという大線量の照射が可能であり、従来の1回2 Gyでコントロールできなかった腫瘍のコントロールが可能となった。しかし、ガンマナイフは体幹部腫瘍の治療ができないという欠点を有しているため、リニアックによる同一治療の開発が行われ、ガンマナイフと同一の線量分布を得るために、寝台を回転させながら、リニアックのガントリを回転して照射するという方法で、0.3～0.5cmという驚異的な設定位置精度での照射が可能となった。これを定位放射線治療（SRT）という。東北大学において3 cm以下の肺腫瘍に対し、1回15 Gyで3回の定位放射線治療を行った症例の局所制御率は約90%と、極めて良好であった<sup>[1]</sup>。全国集計の結果を見ても3cm以下の肺癌の局所制御率は90%前後で、生存率も手術の治療成績に比較して遜色ないものであった<sup>[2]</sup>。

#### 4．強度変調放射線治療

(IMRT: Intensity Modulated Radiotherapy)

近年のコンピュータの進歩は目覚ましく、CTやMRIは放射線医学領域におけるコンピュータ応用の代表例である。治療においてもコンピュータの発達により3次元放射線治療が現実のものとなった。1960年に3次元放射線治療である原体照射法が子どもの教室の先輩である高橋信次により提唱されたが、その普及にはコンピュータの進歩が必要であった。定位放射線治療がリニアックによる放射線治療精度を格段に向上させたことと相俟って、現在は高精度3次元放射線治療が花盛りで、その最先端が強度変調放射線治療(IMRT)である。

原体照射法もリニアックのガントリを回転させながら照射する方法で、全てのスライスで照射野を形成するコリメータ（絞り）をがんの形状と一致させることにより3次元的にがん同一輪郭の照射野を形成するという方法である(図1)。しかし、各照射野の線量強度はどの点においても均一であるため、理論的に外に凸の照射野しか形成できない。各照射野の線量強度を部分的に変えることで、凸の照射野に加えて凹の照射野の形成も可能にしたのがIMRTである(図2)。IMRTに至るともはや人間が治療装置に指示して目的の線量分布を得ることは不可能で、線量分布を人間が入力してコンピュータに最適な照射方法を計算させるという方法がとられる。従って、治療計画、検証、また実際の治療に時間がかかるため、治療できる患者数に制限がかかる。現在は他の照射方法で不可能な凹型の線量分布が必要な頭頸部

癌や前立腺癌がもっぱらIMRTで治療されており、合併症の軽減と同時に治癒率向上が報告されている。とくに前立腺癌では、従来の治療方法では合併症としての直腸出血が問題で1回2Gyの照射しかできなかったが、IMRTで直腸を外すことにより1回2.5Gyの大線量照射が可能となり、直腸出血が減ると同時に治癒率の飛躍的向上が報告されている<sup>3)</sup>。

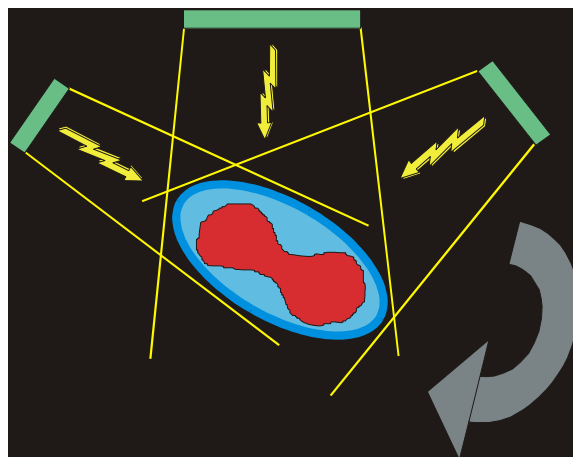


図1:原体照射法の概念図

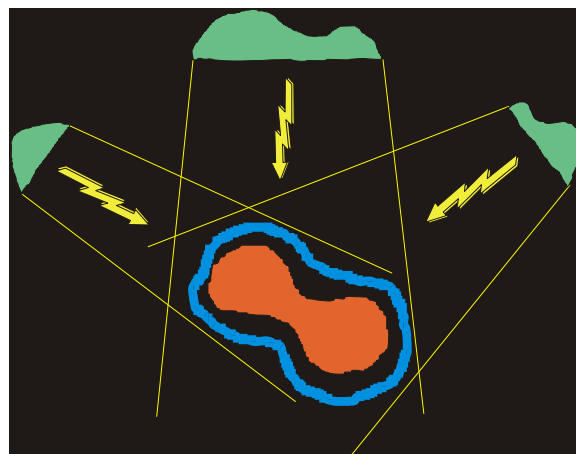


図2:強度変調放射線治療(IMRT)の概念図

#### 5．まとめ

定位放射線治療は3cm以下の癌にきわめて有効である。IMRTはどのような立体形状の癌に対してもその輪郭に一致した照射野を形成することが可能で、リニアックによる究極の治療方法といえる。しかし、IMRTにおいても標的を通過したあとの放射線が課題として残る。重粒子線はある深さで放射線が停止するために標的を超えては照射しないというすぐれた性質を有している。また、生物学的効果もリニアックX線の2～3倍高く、今後の普及が望まれる。

高度高齢化社会、QOL重視の風潮の中、“切らずに治す”放射線の有用性は今後益々増加するものと考えられる。

### 参考文献

- [1] 高井良尋、他．定位放射線療法の適応と長期予後．治療学38 (6): 671-675. 2004.
- [2] Onishi H, et al. Stereotactic hypofractionated high-dose irradiation for stage I non small cell lung carcinoma: clinical outcomes in 245 subjects in a Japanese multiinstitutional study. Cancer. 101: 1623-31, 2004.
- [3] Kupelian PA, et al. Hypofractionated intensity-modulated radiotherapy (70 Gy at 2.5 Gy per fraction) for localized prostate cancer: long-term outcomes. Int J Radiat Biol Phys 63: 1463-1468, 2005.