



Title	多門振子照射野の合成による凹型線量分布の作成とその評価
Author(s)	横川, 徳造
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2003, 63(9), p. 565-569
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16143
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

多門振り照射野の合成による凹型線量分布の作成とその評価

横川 徳造

帝京大学医学部附属病院放射線科学教室

Creation and Evaluation of a Concave Dose Distribution by Combining Multiple Arc Fields

Tokuzoh Yokokawa

To create a concave dose distribution, a partial shielding radiation technique or intensity-modulated radiation therapy (IMRT) is usually required. However, in the present study we focused on how to create a concave dose distribution using conventional irradiation techniques.

A treatment plan was experimentally created using planning CT scans of the neck. Two target volumes were predefined: planning target volume (PTV) 1, which included macroscopic tumor volume, tonsil, and bilateral retropharyngeal node, and PTV2, which included macroscopic and microscopic tumor volume. The prescribed doses for PTV1 and PTV2 were 66 Gy and 50 Gy, respectively. Nine isocenters, 7 in PTV2 and 2 on the sides of PTV2 were arranged equally spaced. Seven of the 9 arcs were divided in two arcs in order to avoid irradiating the spinal cord and salivary glands. Thus, 9 arcs were used in combination with a field size of 4-5 cm × 9-13 fields. Sixteen Gy was given to each isocenter with 10 MV photons. The plan was compared with a conventional plan (lateral opposing fields with electron boost) by analyzing the dose-volume histogram and dose distributions.

The horseshoe-like distribution exceeding 66 Gy becomes conformal to PTV1, and the V95 of PTV1 (volume receiving 95% of the prescribed dose) was compatible with the conventional plan. On the other hand, maximum spinal cord dose decreased from 51 Gy with the conventional plan to 40 Gy with the 9-arc plan, and parotid gland volume (%) irradiated with >32 Gy was reduced from 99% with the conventional plan to 72% with the 9-arc therapy.

Lower normal tissue doses to the spinal cord and salivary gland, while maintaining the target dose, are achieved using the multiple arc plan, and the technique presented may be convenient and useful for facilities that do not yet have full access to IMRT.

Research Code No.: 601.1

Key words: Multiple isocenter, Multiple arc therapy, Concave dose distribution

Received Dec. 11, 2002; revision accepted Sep. 4, 2003

Department of Radiology, University of Teikyo, School of Medicine

別刷請求先

〒173-8606 東京都板橋区加賀2-11-1

帝京大学医学部放射線科

横川 徳造

はじめに

腫瘍組織への線量集中と周囲正常組織の被曝量減少は放射線治療の重要課題である。頭頸部では、その解剖学的特徴から脊髄線量を耐容線量内に抑え腫瘍に十分な線量を投与するため馬蹄形の線量分布が必要となるが、従来の照射法では実現困難である。近年、強度変調放射線治療¹⁾により複雑な線量分布が作成可能となったが、現在ある照射装置や技術で可能であれば今までの経験を生かすこともできる。一方で頭頸部の小線源治療では、複数線源によって凹型を含め標的形狀に合った三次元的な線量分布を得ている。

今回、この線源配置を振り照射の軸に置き換え凹型線量分布作成を試みたので報告する。

対象および方法

対象として、中咽頭側壁と両側咽頭後リンパ節を主病変とする中咽頭癌を仮想ターゲットとした。主病変を中心としてPlanning target volume 1 (PTV1)、ルビエールリンパ節および両側頸部リンパ節領域をClinical target volumeとして1cmのSafety margin (SM)を加えてPTV2と設定し、処方線量はPTV1、PTV2に各66Gy、50Gyとした。またリスク臓器として脊髄、耳下腺および顎下腺を設定し耐容線量は脊髄47Gy、唾液腺32Gyとした²⁾。

照射野と線量は、主観的手法で条件を仮設定し、算出された線量分布を目標に達するまで修正と再計算を繰り返すことで決定した。具体的には、CTシミュレーションを用いて水平断上のPTV2内に2cmの等間隔に7個とその両端に各1個、計9個の回転中心を∩型に配置し、PTV2は頸部リンパ領域で8個、ルビエールリンパ節では7個の回転中心を配置した。また体軸方向の照射野の大きさはPTV2に各1cmを加えて設定し、その各中点をアイソセンターとした (Fig. 1A, B, C)。コリメーター開度はPTV2の前後径に各0.5cmを加え4cm、頭尾方向の大きさは9~13cmとし、振り照射の回転角度は、線量軽減目的に脊髄と唾液腺の範囲を避けて設定した (Fig. 2, Table 1)。また当院のリニアツ

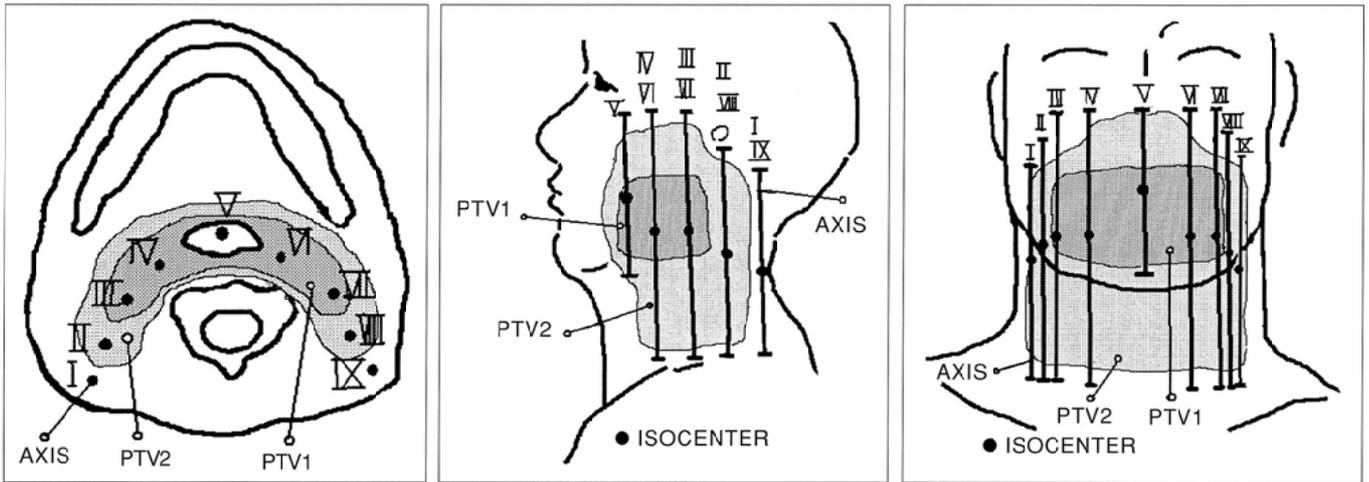


Fig. 1 Beam arrangements in the axial (A), sagittal (B), and coronal (C) plane. All fields are used with a rotational therapy technique.

A | B | C

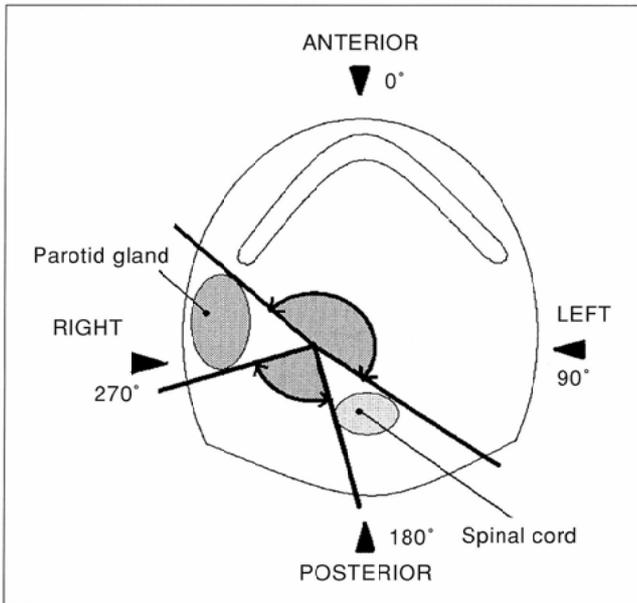


Fig. 2 Schemae of the beam splitting to spare the spinal cord and parotid gland.

Table 1 Beam configurations of the multiple arc plan

Field No.	Gantry angle (degrees)	Field size (cm ²)
I	5~155	210~320
II	0~270	4x12
III	0~105	130~310
IV	0~120	155~275
V	20~160	200~340
VI	85~205	240~360
VII	50~230	255~360
VIII	90~360	4x12
IX	40~150	205~355

にてPTV2へ左右対向2門で44Gy照射後に脊髄を遮蔽し、50Gyまで照射後、10MVへ変更しPTV1へ計66Gyまで照射した。また両側頸部リンパ節領域には15MeV電子線で6Gy追加した。以上の条件で従来の照射方法(以後、従来法)と多軸振り照射法(以後、本法)での治療計画を線量計算用コンピュータ(PRATO)で最適化計算による線量分布と線量-容積ヒストグラム(Dose-volume histogram, DVH)を作成し検討を行った。

クには原体照射機構がないため照射の際の照射野の形状は固定とした。尚、算出された線量分布は、目標線量と解離が生じるため、照射野の移動やコリメーター開度の再設定が必要となる。今回、照射野IV~VIを3mm前方へずらし、照射野Vの不足分に対しコリメーター開度を5cmと修正した。

各振り照射の線量は、その配置、振り角度、エネルギーで異なり単純分割できないため仮の線量で算出した総線量と処方線量との比で逆演算を行い目標とする線量を得た。今回、エネルギー10MVで各20Gyの場合PTV1の総線量は80Gyとなり、 $20 \times (66/80) = 16.5 \approx 16\text{Gy}$ で再計算しPTV1, PTV2への処方線量とした。

比較対照とした従来の照射方法はリニアック4MV, X線

結 果

PTV1中心での水平断、冠状断、矢状断の線量分布をFig. 3に示すが、側頸部リンパ節領域と脊髄の線量を明瞭化するため本法での冠状断は脊髄中心とした。またDVHの結果はFig. 4A, BとTable 2に示した。ただし、本法は振り照射の集合体のため標的を中心として全周性に中~低線量の線量勾配が生じ照射野へ局限した照射が困難となる。このため処方線量を異時性に投与するとPTV1周囲のPTV2に過線量が生じ線量均一性が損なわれるが、現在この補正法がない

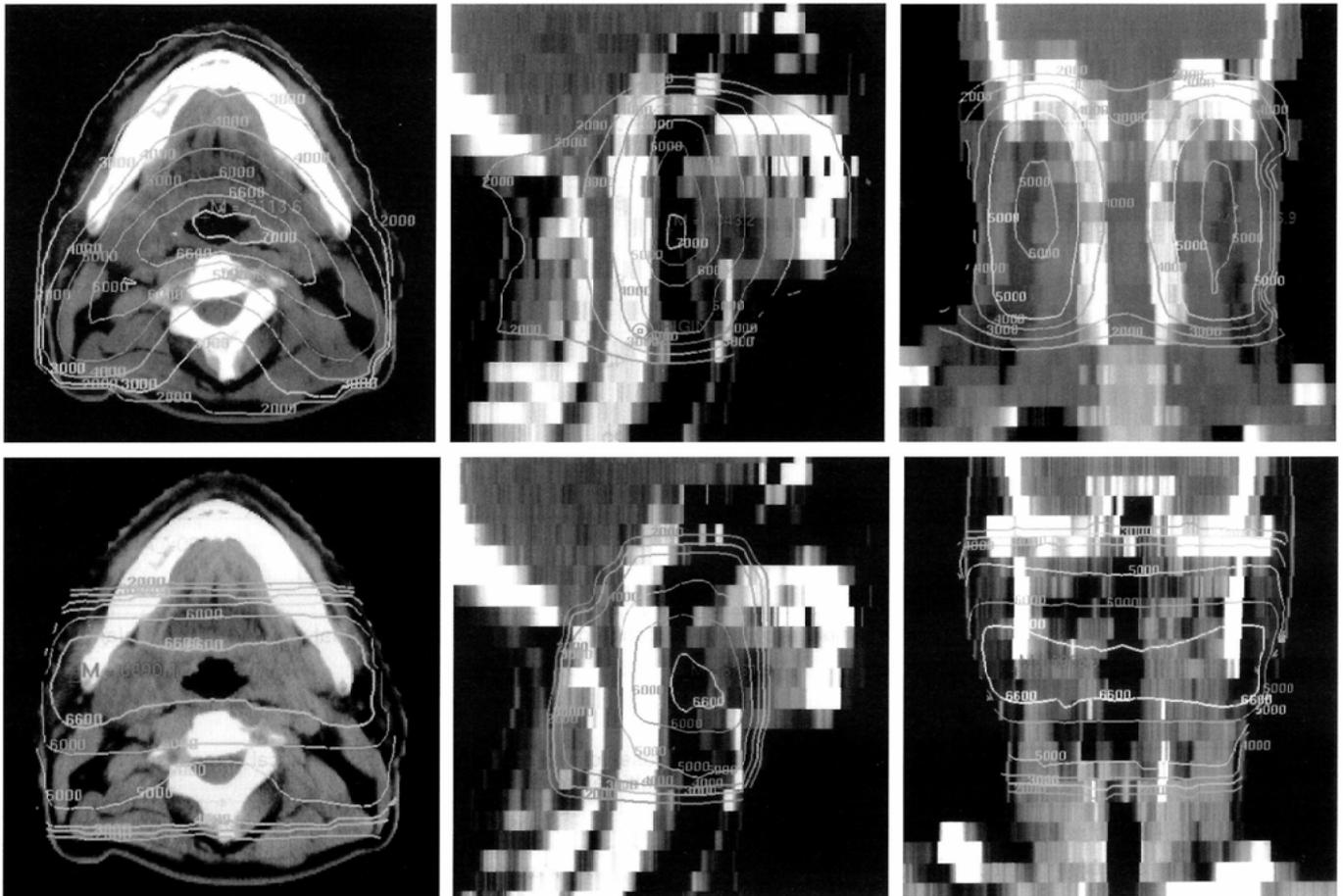


Fig. 3 Isodose display on axial (A, D), sagittal (B, E) and coronal (C, F) sections. A, B, C: multiple arc plan, D, E, F: standard plan. The isodose lines of 70, 66, 60, 50, 40, 30 and 20Gy are displayed. Concaved dose distributions that conform to PTV1 can be created in a horseshoe shape. The dose to the spinal cord is reduced to 40 Gy or less.

A	B	C
D	E	F

ため前項で示したPTV1とPTV2へ異なる1回線量で同時投与した結果について記した。またPTV2とPTV1のDVHを個別に算出できないためPTV2に関しては線量分布のみ表示した。

PTV1の平均、最大、最小線量は従来法の65.7Gy, 67.9Gy(平均線量の+3.3%), 61.1Gy(平均線量の-7.0%)に対し、本法では各67.3Gy, 71.0Gy(+5.5%), 60.5Gy(-10.1%)と線量の均一性で軽度劣り、それに伴いDVH曲線の勾配も若干緩やかとなった。しかし両者の平均、最大、最小線量は±5%以内の差に収まり、処方線量の95%以上が照射される体積(V62.7Gy)はともに99%以上、100%以上の照射体積(V66Gy)では従来法の37.7%に比し本法では71.3%とcoverageは良好であった。また最大線量点は、従来法では顎下腺内だが、本法ではPTV1の中心近傍に位置した。

一方、PTV2では両側頸部リンパ節領域とルビエールリンパ節は50~60Gyの線量分布となった。特にPTV1周囲で過線量となったが、形状の異なる二つの標的への治療計画も同時照射で可能であることが示された。

脊髄のDVH曲線は本法により低線量に移動し、水平断の線量分布で処方線量は脊髄を避けて馬蹄形に分布しPTV1の

前方と比べて後方、脊髄にかけての線量勾配は急峻となっている。このため最大、平均線量は40.4Gy, 34.3Gyと減少しPTV1の最小線量と比べ20Gyほど耐容線量に余裕ができた。一方、従来法では脊髄防護のため44Gyで電子線に変更のため、ほとんどが50Gy未満となったが、最大、平均線量は51.4Gy, 46.5Gyとなり、4.7cc(照射野に含まれる脊髄体積の41%)が耐容線量以上であった。

顎下腺では従来法で最大、最小、平均線量は68.5Gy, 56.9Gy, 64.2Gyと腫瘍線量と近似し、均一な線量分布となる対向2門照射の特徴を示した。本法では最大、平均線量は61.1Gy(従来法と比し-10%), 48.0Gy(-26%), と軽減は得たが、最小線量が32.9Gy(-42%)と耐容線量を超えていた。また耳下腺においても従来法では最大、平均線量は67.6Gy, 55.2Gyと最小線量(22.9Gy)を除き腫瘍線量に近く99%体積が耐容線量以上であったが、本法では最大、最小、平均線量ともに55.5Gy(-18%), 19.2Gy(-16%), 37.4Gy(-33%)と軽減し32Gy未満の体積を28%残した。しかしその線量分布は耳下腺浅葉に向かい減少しDVH曲線の傾きも従来法より緩やかで線量均一性は低い結果となった。

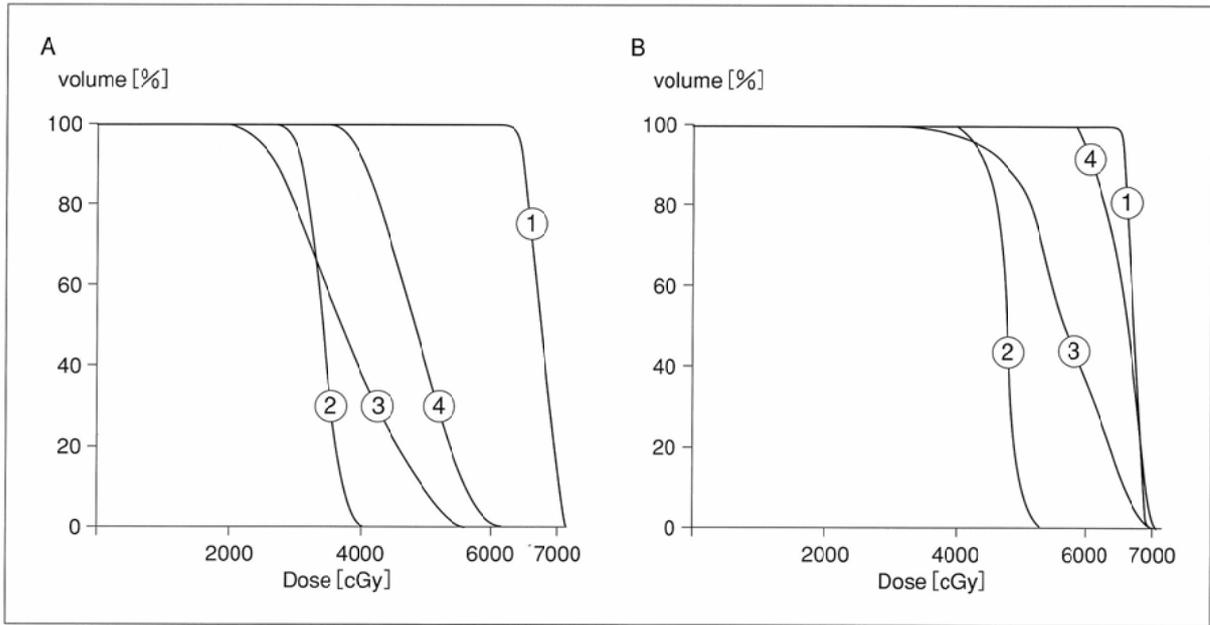


Fig. 4 Dose-volume histograms: (A) multiple arc plan; (B) standard plan. ①: PTV1, ②: spinal cord, ③: parotid gland, ④: submandibular gland

考 察

リスク臓器を避けるための馬蹄型の高線量分布作成は通常の照射法では実現困難であった。近年開発された強度変調放射線治療^{1), 3), 4)}では凹形を含め、より複雑な線量分布の作成が可能となったが、昨今の医療経済上、高額設備投資が可能な施設は限られ、さらに従来の照射法と大きく異なるため技術取得にかなりの習熟期間が必要とされる。一方、凹型線量分布の作成法として、既に打ち抜き照射法⁵⁾や2軸による多軸振子照射法^{6), 7)}の報告があるが、線量分布作成の自由度には制限が生じる。今回、振子照射を複数合成することで、より自由度を高めた凹型の線量分布が作成できた。PTV1への線量均一性には改善の余地を認めたが、coverageは良く腫瘍制御に問題はないと考える。またPTV1への線量をそのままにリスク臓器への線量を軽減できるため従来では脊髄と腫瘍の位置関係から治療計画が困難な症例にも十分な線量が投与可能となり、さらに安全域に余裕があるためDose escalationも可能と思われる。一方、顎下腺と耳下腺に対しても従来法と比べ最大、平均、最小線量ともに軽減できたが、重粒子線や強度変調放射線治療^{3), 4), 8), 9)}のような急峻な線量勾配は得られなかった。耳下腺では耐容線量未満の体積を残せ、パラレル臓器¹⁰⁾であることから機能温存を期待したが、晩期障害と線量・照射体積の関係として15Gy以上の照射では照射体積の66%を閾値とする報告¹¹⁾があり、最小線

Table 2 Dose-volume histogram showing statistical comparison between the multiple arc plan and the standard plan

Structure	Statistic	Multiple arc plan	Standard plan
PTV1	Max. dose (Gy)	71.0	67.9
	Mine. dose (Gy)	60.5	61.1
	Mean dose (Gy)	67.3	65.7
	V66Gy (%)	71.3	38.7
	V62.7Gy (%)	99.3	99.9
Spinal cord	Max. dose (Gy)	40.4	51.4
	Mine. dose (Gy)	26.8	38.9
	Mean dose (Gy)	34.3	46.5
	V47Gy (cc:%)	0:0	4.7:41.2
	V50Gy (cc:%)	0:0	0.1:1.0
Parotid gland	Max.dose (Gy)	55.5	67.6
	Mine.dose (Gy)	19.2	22.9
	Mean dose (Gy)	37.4	55.2
	V32Gy (%)	72.0	99.4
Submandiblar gland	Max.dose (Gy)	61.1	68.5
	Mine.dose (Gy)	32.9	56.9
	Mean dose (Gy)	48.0	64.2
	V32Gy (%)	100.0	100.0

量が19.2Gyの現時点では難しいと思われた。また従来法では照射野外である口腔粘膜だが、本法では20~40Gy照射され粘膜障害は軽微と考えるが原体照射法との組み合わせ等によるPTV2周囲の線量勾配改善が必要となった。

今回計画した照射方法は、PTV1とPTV2への同時照射となったが、異時性の照射方法や従来法との組み合わせについても検討予定である。また、今後この結果を利用したsi-

multaneous integrated boost plan^{8), 12)}による生物効果向上の可能性も考えている。

治療計画時間は、1回の試行時間に2時間、さらに修正と再計算の繰り返しで最終的に2～3日となり、臨床に際して計画時間の短縮が必要となる。また、本法の治療計画は主観的手法によるため、照射野の再現性に乏しいが、現在、最適な照射門数、配置およびbeam weight等を決定するための治療計画支援用ソフトを開発中である。

今後、適応疾患について臓器別に検討予定だが、現時点では眼球に近接した鼻腔腫瘍など急峻な線量勾配を要する治療計画は困難であり中咽頭癌の他SMに余裕をもてる腹腔、骨盤内腫瘍などが有効と考える。また多軸による自由度を生かすことで馬蹄形以外にもドーナツ状の打ち抜き照

射やS状の線量分布作成も予定している。

結 論

臨床応用のためには更なる検討を必要とするが、現行の照射技術である振子照射の合成で凹型の線量分布が実現可能であることを示した。

謝 辞

稿を終えるに当たり御指導をいただいた古井 滋教授に深謝致します。さらに線量分布の計算をいただいた田中尚史技師に感謝致します。

文 献

- 1) Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity-Modulated Radiotherapy; Current status and issues of interest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51: 880–914, 2001
- 2) Emami B, Lyman J, Brown, et al: Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 21: 109–122, 1991
- 3) Hunt MA, Zelefsky MJ, Wolden S, et al: Treatment planning and delivery of intensity-modulated radiation therapy for primary nasopharynx cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 49: 623–632, 2001
- 4) Vineberg KA, Eisbruch A, Coselmon MM, et al: Is uniform target dose possible in IMRT plans in the head and neck? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 52: 1159–1172, 2002
- 5) 高橋信次, 飯田博美: 打抜照射法, 凹体照射法, 原体照射法の研究(第5報), 60Co遠隔照射法の研究(第13報), 日本医放会誌 21: 126–131, 1961
- 6) Morita K, Kimura C, Takahashi K, et al: Verbesserung der Dosisverteilung bei der Konformationsbestrahlung des Kollumkarzinoms. *Strahlentherapie* 147: 487–497, 1974
- 7) Esik O, Burkelbach J, Boesecke R, et al: Three-dimensional photon radiotherapy planning for laryngeal and hypopharyngeal cancers. 2. Conformation treatment planning using a multileaf collimator. *Radiother Oncol* 20: 238–244, 1991
- 8) Wu Q, Manning M, Schmidt-Ullrich R, et al: The potential for sparing of parotids and escalation of biologically effective dose with intensity-modulated radiation treatments of head and neck cancers: a treatment design study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 46: 195–205, 2000
- 9) van Asselen B, Dehnad H, Raaijmakers CP, et al: The dose to parotid glands with IMRT for oropharyngeal tumors: the effect of reduction of positioning margins. *Radiother Oncol* 64: 197–204, 2002
- 10) Withers HR, Taylor JM, Maciejewski B: Treatment volume and tissue tolerance. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 14: 751–759, 1988
- 11) Eisbruch A, Ten Haken RK, Kim HM, et al: Dose, volume, and function relationships in parotid salivary glands following conformal and intensity modulated irradiation of head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 45: 577–587, 1999
- 12) Mohan R, Wu Q, Manning M, et al: Radiobiological considerations in the design of fraction strategies for intensity-modulated radiation therapy of head and neck cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 46: 619–630, 2000