

Title	体幹部小病巣に対するボディフレームレス簡易定位照射法
Author(s)	高井, 良尋; 三津谷, 正俊; 根本, 建二 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2001, 61(8), p. 403-407
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18007">https://hdl.handle.net/11094/18007</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 体幹部小病巣に対するボディフレームレス簡易定位照射法

高井 良尋<sup>1)</sup> 三津谷正俊<sup>1)</sup> 根本 建二<sup>2)</sup> 小川 芳弘<sup>2)</sup> 角藤 芳久<sup>2)</sup>  
 松下 晴雄<sup>2)</sup> 武田 賢<sup>2)</sup> 高橋ちあき<sup>2)</sup> 山田 章吾<sup>2)</sup>

1) 東北大学医学部附属病院放射線部 2) 東北大学大学院量子治療学

### Simple Method of Stereotactic Radiotherapy without Stereotactic Body Frame for Extracranial Tumors

Yoshihiro Takai, Masatoshi Mituya, Kenji Nemoto, Yoshihiro Ogawa, Yoshihisa Kakuto, Haruo Matusita, Ken Takeda, Chiaki Takahashi, and Shogo Yamada

Thirty-five patients with metastatic lung cancer (46 lesions) and twenty patients with primary lung cancer (21 lesions) have been treated with a simple method of stereotactic radiotherapy (SRT) without stereotactic body frame. Tumor size ranged from 1-4 cm in diameter. We used Vac-Lok cushion (Med-Tek) as a immobilization system. To be sure to include the respiratory movement of tumor to planning target volume (PTV), every patients were examined by fluoroscopy and radio-opaque catheters with the same length of tumor movement were attached on the anterior and lateral chest wall before CT simulation. A gold grain was implanted into a tumor that was invisible on fluoroscopy, as a radiomarker. Protocol of 60 Gy/8 fractions / 2 weeks and 45 Gy/3 fractions/3-6 days were mainly used. The median follow-up period was 15 months for primary lung cancer and 19 months for metastatic lung cancer.

Local control rates were 91% for metastatic lung cancer, 89% for primary lung cancer and 85% for T1, 2N0M0 cases. All patients developed mild pneumonitis or fibrosis about 4.5 months after SRT just in the treatment volume. Only three patients was symptomatic.

Research Code No.: 601.9

**Key words:** Body frameless stereotactic radiotherapy, Extracranial small tumor, Gold grain radiomarker

Received May 25

Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Tohoku University

本論文は第59回日本医学放射線学会学術発表会(2000年4月)の教育講演カテゴリカルコースにおいて、「Practical radiation therapy planning: How I do it. 胸腹部小腫瘍に対するフレームレス簡易定位照射法」の演題で発表されたもので、日本医学放射線学会誌編集委員会より執筆依頼した。

別刷請求先  
 〒980-8754 仙台市青葉区星陵町1-1  
 東北大学医学部放射線治療科  
 高井 良尋

### はじめに

1960年、原体照射法の概念<sup>1)</sup>が高橋信二先生によって提唱されてからすでに40年経過し、その間、マルチリーフコリメータ<sup>2)</sup>、三次元治療計画装置、着脱式の頭部固定リング、また、患者またはそれに連結する外部座標系を用いて頭蓋内の位置を正確に求める定位技術が開発され、現在ではガンナイフのみならず、直線加速器(リニアック)でも、頭蓋内病巣に対する三次元照射が定行的に行われるようになってきていることはすでに周知のことである。

近年このリニアックによる定位照射の技術を胸腹部の小腫瘍に対して応用した三次元定位照射が行われるようになり、その有用性が報告されてきている<sup>3)-6)</sup>が、定位照射の言葉が先走り、体幹部を固定する特別な固定装置が必要不可欠と思われたり、固定装置で体を固定すれば、頭蓋内病巣と同様に、その装置の外部座標のみで照射できるかのような誤解を持たれるおそれがないとはいえない。

そもそも、体幹部に対する定位照射の定義に関してコンセンサスが得られているわけではないし、頭蓋内病巣に対する定位と同様に捉えることはできないが、単回ないし少分割三次元照射で毎回何らかの方法で位置確認を行う照射法といえようか。すなわち、体幹部に関する定位照射では、呼吸などによるinternal organ motionの問題があり、皮膚マークによるセットアップでそのまま照射できないように、どのような固定具を用いようと、セットアップエラーが何mm以内であるなどとのうたい文句を鵜呑みにして、ある程度のマージンをとってそのまま照射するなど、頭蓋内病巣に対して行っていたような治療計画をしてはならないということが最も重要なことである。ボディフレーム上などの外部座標系のみでのセットアップは信用できないわけであるから、1回大線量を用いる照射を行う場合は、照射するたびに必ず何らかの方法で確認を行う必要がある。以下にわれわれの行っているボディフレームレスの体幹部定位照射法の概要を述べる。

## 治療計画

## 1. 患者の固定

体幹部定位照射用のボディフレームが開発されてその有用性が報告されている<sup>7)</sup>。このフレームには腹部圧迫によって呼吸性移動をある程度抑えることができ、購入できればもちろんあって悪いことはないが、照射中に患者の体が動くことのないように工夫すれば、それほど大がかりなものとは必須ではない。われわれは、immobilization systemとして微小発泡スチロール粒入り吸引式固定バッグ(商品名Vac-Lok: Med-Tec社製)、あるいはエスフォーム吸引式固定バッグ(エンジニアリングシステム社製)を用いて患者固定を行っている(Fig. 1)。この固定具を使用したうえでの、皮膚マークを用いたときのセットアップエラーを、4人の転移性ないし原発性肺癌患者に協力を頂き、X線シミュレートイメージを取り込んだXimavision(Varian Medical System社製)上で脊椎などの骨構造を内部基準点として調べたところ、Table 1のような数値を得た。何も用いなくてもPSの良い患者ではセットアップエラーも有意に大きくなることはなく、また、照射中動くこともなかったが、患者の意見を聞くとバキュームバッグを用いたほうが長く寝ていても背中が痛くならないとのことであったので、背中の中のできるような簡単な固定具はあったほうがよいと思われる。このバキュームバッグを用いるときには、上半身裸の患者をそのままバッグ上に寝かせると、プラスチック製のバッグ面と皮膚が密着し皮膚が引きつられ、大きなエラーとなるので、バッグ表面に1枚の大きなガーゼを敷き患者

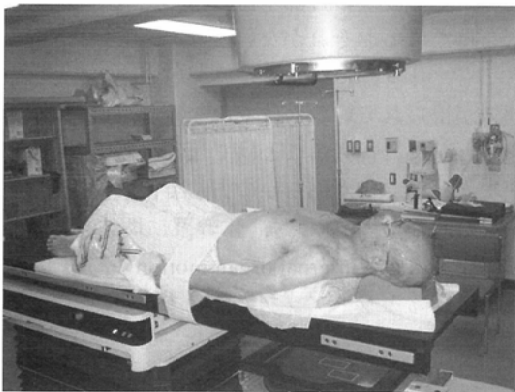


Fig. 1 Set up of patient using Vac-Lok cushion

Table 1 Set up error

Patient	No frame			Vac-Lok			Stereotactic body frame		
	Lat	Lon	Ver	Lat	Lon	Ver	Lat	Lon	Ver
A	1.8	7.6	1.9	2.7	3.5	1.3	—	—	—
B	0.8	1.7	0.6	1.2	2.7	1.8	—	—	—
C	2.8	3.2	1.3	1.7	2.1	2.7	2.6	4.4	0.6
D	2.4	1.5	3.3	—	—	—	1.8	3.0	0.1
平均	2.0	3.5	1.8	1.9	2.7	1.9	2.2	3.7	0.4

Lat: lateral direction, Lon: longitudinal direction, Ver: vertical direction (mm)

自ら違和感がなくなる位置まで背中を移動させ、合わせてもらうことが結構よい方法で、これにより5mm以内のセットアップエラーが得られた。なお、体幹部定位照射用ボディフレームを借り受ける機会があり、2人の患者でセットアップエラーを計測したところ、ほとんど同様のデータであった(Table 1)。

なお、吸引式固定バッグではバッグが破損したり、空気が抜けたりした場合には治療計画をやり直す必要が生じるが、現在までのところそのような事故は起こっていない。異なる薬剤を混合して硬化させ型を作るものや、ウレタン樹脂を用いるものもあるが、それらは破損・変形がほとんど起こらず、利用できればそちらのほうがよいかもしれない。

## 2. PTV(計画標的体積)設定

1回照射ないし少分割で1回大線量を用いる定位照射でのPTV設定には特に注意を要する。PTVは、ICRUレポート62<sup>8)</sup>によるとCTV(臨床標的体積)を含む組織の動き(呼吸など)や大きさ、形状の変化(膀胱の充満度の差)を考慮したinternal marginを含めて設定されるITV(internal target volume)に日々の設定誤差を含めて決定されるものであるが、呼吸抑制や、呼吸同期を行わない場合は、その設定にいろいろな工夫を要する。治療計画用CTの各スライスのスキャン時間を長くし、すべての呼吸位相が各スライスに撮像されるようにして腫瘍の呼吸性移動範囲を決定する方法<sup>5)</sup>や、われわれが工夫し使用している方法<sup>6)</sup>であるが、腫瘍の呼吸性移動の距離をX線シミュレータであらかじめ確認し、その移動距離と同じ長さで切ったカテーテルをradiomarkerとして、移動範囲を投影した位置の前胸部と側胸部の皮膚表面に貼り付けたのち、helical CTを撮る方法などである。この場合、CTスライス上に腫瘍陰影が写っていても、カテーテルの陰影を胸壁に認めた場合は、前のスライスの腫瘍陰影をコピーする形でITVを決定した後10mmほどのマージンを取りPTVを設定する。

## 3. ディスポーザブル金マーカ刺入針

X線シミュレータ上で確認できない腫瘍に関しては、その動きを確認するために何らかの方法で視覚化する必要がある。筆者らはFig. 2のようなディスポーザブルの金マーカ刺入針(シバタインテック社製)を考案・製造し使用している。金マーカを植え込むことによって、すべての胸部腫瘍に対して、定位照射の治療計画と照射野確認が可能となる。腫瘍内ないし近傍に刺入された金マーカの動く範囲により、2と同様にしてPTVの設定を行う。この金マーカを用いることにより、当科では肺癌のほか、原発性、転移性肝癌および前立腺癌、膀胱癌、再発性直腸癌などの骨盤内小腫瘍に対しても定位照射を行っている。

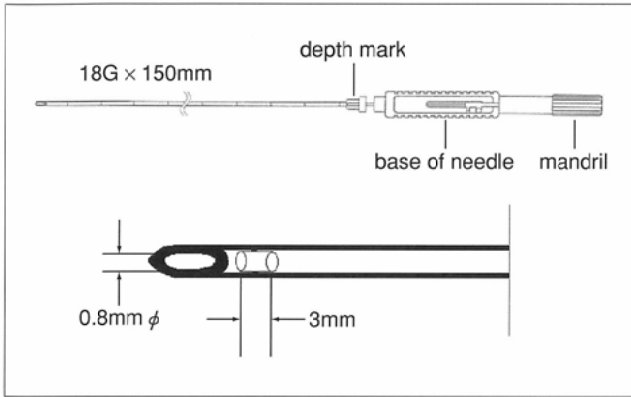


Fig. 2 Schema of disposable gold grain radiomarker needle

#### 4. 照射野確認

1 回大線量を用いる体幹部の定位照射では、どのような固定具を用いても、照射直前に毎回必ず照射野の確認を行わなければならない。さらに照射中の体動や機械的な誤差を調べるためには、照射直後にも照射野の確認を行うことが大切である。

近年、治療計画、治療照射と同時に照射野確認を行える種々の装置が開発されている。金マーカを腫瘍内ないし近傍に刺入し、その動きをモニタリングしながら前もって設定したある位置にきたときに照射する北海道大学の方式 (real-time tracking radiotherapy: RTRT)<sup>9)</sup>、防衛医科大学で始められ、最近数施設で導入されているライナック室にCTを設置し照射直前・直後にCTで確認する方法 [fusion of CT and linac (FOCAL) system]<sup>5)</sup>、東京大学に設置されている megavoltage CT<sup>10)</sup> や放射線照射中に照射野をデジタル画像として表示するシステムである電子的照射野照合装置 (electronic portal imaging device: EPID) などである。これらの装置のうち、RTRT、megavoltage CT および EPID は照射台上でのセットアップ確認と real-time beam monitoring が可能で、systematic positioning error を最小にし照射中に起こる予測外のエラーを未然に防止するのに有用である。

しかしながら EPID に関しては、現在のところ、解像度がまだ十分とはいえ、明らかな骨構造が含まれるような通常照射の大きな照射野の場合は照射野確認に有用であるが、定位照射で用いるような小さな照射野では腫瘍や金マーカが照射野内に含まれているかどうかを判定することはほとんど不可能である。

CTでの確認はライナックのビームが実際に出ていたときの確認ではないため、いかに治療台上の撮像とはいえ、あくまでも virtual verification と呼ぶべきものであるが、実際には大きな問題はおそらくなく、これも有用であろう。しかし、これらの設備は高額であり、すべての施設に導入することはできない。したがって、通常照射時の照射野確認に一般的に使われる照合写真 (portal film) によって行われるわけであるが、体幹部定位照射で扱う腫瘍はほとんど 3cm 以下の小さな腫瘍であり、肺癌以外ではもちろんのこ

と、肺癌の場合でも心陰影や横隔膜に重なっている症例では腫瘍自体を portal film で確認できないことが多い。われわれはそれらを視覚化するために、上記のような金マーカ装填ディスプレイブルニードルを開発したわけであるが、当初の 20 ゲージ針に装填した 0.6 × 1.5mm のものは肝臓内や下肺野に刺入した場合、portal film では確認できない場合が多かった。そこで、現在では 18 ゲージの針に装填した 0.8 × 3mm の金マーカを使用しているが (Fig. 2)、これを高コントラスト portal film システムである EC-L (enhanced contrast for portal localization system: コダック社製) を用い、呼吸を止めたまま 2 回曝射し撮像することにより、ほとんどの部位で確認可能となった。特別の装置を導入できない施設ではこのような工夫で real time ではないにしても、verification が可能となる。

### 転移性、原発性肺癌に対する応用

#### 1. 対象患者と照射線量

1997年9月～2000年1月までに転移性肺癌患者35名46カ所、原発性肺癌患者12名13カ所 (T1, 2N0M0は13名) に対して定位照射を行った。Table 2に患者背景を示す。転移性肺癌の原発巣に関しては、比較的予後が長いと予想される、乳腺、直腸・大腸が多く治療された。腫瘍サイズは最大直径で 1～4cm であった。原発性肺癌全例の組織型は腺癌 10 例、扁平上皮癌 10 例、小細胞癌 1 例であった。腫瘍サイズは 1～5cm であった。原発性肺癌 T1, 2N0M0 の症例 13 名についての詳細を Table 3 に示す。

照射は Clinac 2300 (Varian Medical Systems 社製) で行われ、X線エネルギーは 6MV である。照射線量は、腫瘍中心において 1 回線量 15Gy を 1 週間で 3 回照射する方法が最も多く 32カ所に行われ、縦隔や胸膜が治療体積に含まれる場合は 1 回線量 7.5Gy を 2 週間で 8 回、計 60Gy を照射する方法を 16 例に用いている。初期の dose escalation 時には 7.5Gy × 6 回、11Gy × 4 回、12Gy × 3 回、15Gy × 2 回なども用いた。照射野の大きさは、2.5 × 2.5～9.3 × 10cm で 6 × 6 cm 以下が 53/67=79% であった。なお、9.3 × 10cm の大きな照射野は肺 MALT リンパ腫に対するもので、照射線量が 4 Gy × 8 回のものである。

照射法はいわゆる古典的二次元原体照射である単一軌道 1 回転照射と三次元原体照射では 3～5 アークを用いた。アーク角度は 1 アーク 45～200° で計 300～360° であった。肺臓の三次元照射時の DVH 解析ではアーク数が 3～5 では 30% 線量体積以上で差を認めず、1 アークと比べると 20～60% 線量体積を減少させることができる<sup>11)</sup>。

単一軌道照射では頭尾方向の線量勾配がきわめて急峻になるため好ましくはないが、肺尖部など呼吸性移動が少なく、もともと照射される肺体積が少ない部分では、三次元であるメリットは中、下肺野に比べ少ない。頭尾方向に広めのマージンを設定することによって、患者が長く仰臥位がとれないなどは、場合によっては許されよう。

また、照射法としてはアークのほかに、non-coplanar固定多門法がある。この方法は体幹部の定位照射ではアークの場合などに起こる回転制限がないため、自由度が高く多用されている。DVH上6~7門使用すれば十分である。どちらを用いてもほぼ同等である。

## 2. 結果

### 1) 治療効果判定

全治療期間1~2週間で1回大線量を用いるようなこの

Table 2 Characteristics of Patients

Primary Lung Cancer	
Patient No. (Sites)	20 (21)
Age	73 (median) (52-85)
Gender	M: 15 F: 4
Hitology	
Adeno ca.	10
Sq.c.c.	10
Small cell ca.	1
T1N0M0	8
T2N0M0	5
other TNM	8
Metastatic Lung Cancer	
Patient No. (Sites)	35 (46)
Age	57 (median) (23-78)
Gender	M: 13 F: 22
Primary Site	
Breast	6
Rectum, Colon	6
Lung	5
Uterus	4
Others	25

ような治療法においては、治療終了後1~2カ月経過しても腫瘍がCRとなることは稀である。数カ月追跡していると徐々に縮小してくるが、その周囲に放射線肺炎が生じ、判定不能となる症例も多い(Fig. 3)。しかし、1年以上の長期に追跡した症例での同部位からの再発は原発性肺癌の1例のみであり、PR (progression) から1年以上経過しNP (no progression) である症例(PR→NP) (Table 3) は、臨床的にはCR (clinical CR: cCR) と考えてもよいと思われる。

### 2) 局所制御率

追跡期間中央値は原発性、転移性肺癌でそれぞれ15カ月および19カ月である。

原発性肺癌21カ所中T2N0M0の2例が再発、肺内転移、脳転移や骨転移を有するM1症例では2例が不明、1例は1年後に死亡するまでPR→NP、ほか5カ所は死亡するまでに肺原発巣は制御された。したがって局所制御率(CR + cCR) は全症例17/19=89%、T1,2N0M0の13例では11/13=85%であった。

転移性肺癌に関しては不明例3例を除いた43カ所中、PRの状態でも3カ月以内に死亡した3例、NCの状態でも1カ月で死亡した1例があり、局所制御率は39/43=91%であった。しかし、実際には転移性肺癌に関しては再増大を認めた症例は現在のところ認めていない。

再発を認めた原発性肺癌2例は腫瘍直径が4cmと大きめのもので、両方とも胸膜に接して、その周囲胸膜に肥厚像や巻き込み像を認めるようなものであった。辺縁部再発かどうかは放射線肺炎の像にマスクされ明らかではなかったが、このような症例は最初からの定位照射を避け、40~50Gy程度まで通常照射で広めに照射し残存腫瘍に対し定位照射を行うべきかもしれない。

### 3) 放射線肺炎

原発性肺癌の通常照射先行例4例、追跡期間6カ月未満

Table 3 Summary of primary lung carcinoma treated with stereotactic radiotherapy

No.	Age	Sex	Histology	TNM	Tumor size on CT	SRT Gy/Fr/days	Conventional RT (Gy/Fr/wks)	Response	Status (mos)
1	74	M	Adenoca	T1N0M0	3	60/8/12	none	PR→NP	A&W (38)
2	79	M	Adenoca	T2N0M0	4	61.6/8/12	none	PR→Rec	AwD (36)
3	76	M	Sqcc	T1N0M0	1	30/2/2	40/20/4	CR	A&W (33)
4	80	M	Adenoca	T1N0M0	1	45/3/5	none	CR	A&W (32)
5	79	M	Sqcc	T2N0M0	4	44/4/6	none	PR→Rec	D (13)
6	71	M	Sqcc	T1N0M0	2.5	45/3/4	none	CR	A&W (30)
7	77	M	Sqcc	T1N0M0	3	45/3/9	none	CR	ICD (8)
8	81	M	Adenoca	T1N0M0	2.5	60/8/10	none	PR→NP	A&W (24)
9	70	F	Adenoca	T2N0M0	4.5	45/3/6	none	PR→NP	A&W (19)
10	72	M	Sqcc	T1N0M0	2	45/3/5	none	CR	A&W (19)
11	66	F	Sqcc	T2N0M0	2.5	60/8/12	none	PR→NP	A&W (18)
12	79	M	Adeno	T1N0M0	3	60/8/12	none	PR→NP	A&W (14)
13	69	M	Sqcc	T2N0M0	3.5	60/8/12	none	CR	A&W (14)

SRT: stereotactic radiotherapy, A&W: alive and well, Aw D: alive with disease, D: Dead, ICD: intercurrent disease, NP: no progression

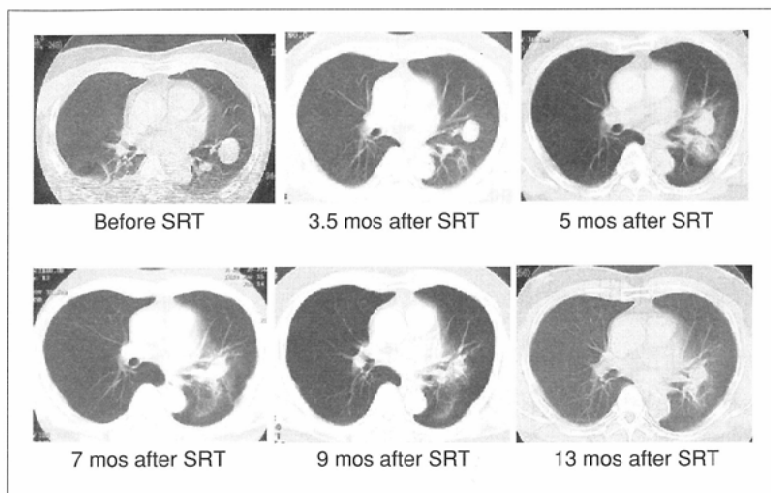


Fig. 3 Typical tumor response after stereotactic radiotherapy. Metastatic lung cancer (hepatic cell carcinoma), 62-year-old male. SRT: 50 Gy/5 Fr/10 days.

の死亡例 4 例，追跡不明例 3 例を除く 56 例すべてで CT 上，放射線肺炎の発症を認めた。うち 3 例で咳，軽度の発熱を認め，1 例のみ 1 週間の入院を要し，2 例は外来でのステロイド投与で軽快した。CT 上，放射線肺炎の陰影を認めるまでの期間は 2～10 カ月で，平均 4.5 カ月であった。

#### おわりに

今回紹介した簡易定位照射法では，呼吸抑制装置や呼吸同調装置を用いていないため，呼吸性移動によって PTV は増大するが，種々の簡単な工夫をすることによって肺癌や肝臓癌などの parallel organ 内の直径 3～4 cm ぐらいまでの小

病変であれば重大な有害事象を認めることなく 1 回大線量を用いた少分割照射が可能である。体幹部小病巣に対する照射に関しての定位とは，体動や臓器移動や変形などのために起こる照射の不確実性をすべて克服したときに与えられる用語であろうと考えるが，現在はそのような照射法はまだ存在せず，明確な定義がないため議論をするうえで混乱を招いている節がある。定位照射と呼ぶ場合は，とりあえず毎回照射野の確認を何らかの方法で行うことであろう（できれば real time で照射中に verification を行うのが望ましいが，これを体幹部定位照射の条件に入れるとほとんどの施設で実施不可能となる）。

いずれにしても，今回の方法は，機械的精度の高いライナック，CT シミュレータおよび三次元照射計画装置があればこの施設でも実施可能な方法であるが，real time で照射野のモニタリングのできない多くの施設では，portal film による照射野の確認のほかに，照射中の患者の体動や non-coplanar ビーム使用のため照射台を回転したときなどに起こりうる機械的な誤差など日々の精度管理にも細心の注意を払って脊髓横断麻痺などの重大な障害を起こさないようにしなければならない。

体幹部定位照射は，現在のところ，技術的には未成熟であるが，回転原体照射を提唱したわが国としては，この分野でもたとえば，ランダムに動く標的を追跡しながら，その標的が柔らかい場合に起こりうる変形や捻れにも対応できるような定位照射など日本発の新技術として開発推進していきたいものである。

#### 文 献

- 1) Takahashi S: Conformal radiotherapy: rotation techniques as applied to radiography of cancer. *Acta Radiol Suppl* 2 42: 1-142, 1965
- 2) Morita K, and Kawabe Y: Late effects on the eye of conformation radiotherapy for carcinoma of the paranasal sinuses and nasal cavity. *Radiology* 130: 227-232, 1979
- 3) Lax I, Blomgren H, Naslund I, et al: Stereotactic radiotherapy of malignancies in the abdomen: methodological aspects. *Acta Oncol* 33: 677-683, 1994
- 4) Blomgren H, Lax I, Naslund I, et al: Stereotactic high dose fraction radiation therapy of extracranial tumors using an accelerator. *Acta Oncologica* 34: 861-870, 1995
- 5) Uematsu M, Shinoda A, Tahara K, et al: FOCAL, high dose, and fractionated modified stereotactic radiation therapy for lung carcinoma patients. *Cancer* 82: 1062-1070, 1998
- 6) Takai Y, Nemoto K, Kakuto Y, et al: Hypofractionated 2 or 3 dimensional conformal radiotherapy with a very large fraction size for metastatic lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 45(Suppl): 387, 1999
- 7) Lax I, Blomgren H, Larson D, et al: Extracranial stereotactic radiosurgery for localized targets. *J Radiosurgery* 1: 135-148, 1998
- 8) International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). *Reports 62*, ICRU Publications, 1999
- 9) Shirato H, Shimizu S, Shimizu T, et al: Real-time tumor tracking radiotherapy. *Lancet* 353: 1331-1332, 1999
- 10) Nakagawa K, Aoki Y, Tago M, et al: Megavoltage CT-assisted stereotactic radiosurgery for thoracic tumors: original research in the treatment of thoracic neoplasms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 48: 449-457, 2000
- 11) 除 博: 脳および肺腫瘍に対する小照射野を用いた三次元 conformal 照射法の Dose Volume Statistics を用いた評価. *日放腫会誌* 10: 125-134, 1998