

Title	食道癌における照射部位確認の重要性-CT による照射期間中の食道偏位の検討-
Author(s)	菅原, 信二; 辻井, 博彦; 辻, 比呂志 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1992, 52(9), p. 1308-1314
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/14728">https://hdl.handle.net/11094/14728</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 食道癌における照射部位確認の重要性

### —CT による照射期間中の食道偏位の検討—

- 1) 筑波大学附属病院放射線科 ( 現在 : 日立製作所日立総合病院 )
- 2) 筑波大学陽子線医学利用研究センター
- 3) 筑波大学臨床医学系

菅原 信二<sup>1)</sup> 辻井 博彦<sup>2)</sup> 辻 比呂志<sup>2)</sup>  
立崎 英夫<sup>3)</sup> 大原 潔<sup>3)</sup> 板井 悠二<sup>3)</sup>

(平成 3 年 12 月 3 日 受付)

(平成 4 年 1 月 14 日 最終原稿 受付)

## The Value of Frequent Positioning of Treatment Field in Radiotherapy of Esophageal Cancer

Shinji Sugahara<sup>1)</sup>, Hirohiko Tujii<sup>2)</sup>, Hiroshi Tujii<sup>2)</sup>, Hideo Tatzuzaki<sup>3)</sup>,  
Kiyoshi Ohara<sup>3)</sup> and Yuji Itai<sup>3)</sup>

Department of Radiology, The University Hospital<sup>1)</sup>, Proton Medical Research Center<sup>2)</sup>,  
Institute of Clinical Medicine<sup>3)</sup>, University of Tsukuba

---

Research Code No. : 601.2, 605.2

---

Key Words : Proton radiotherapy, Esophageal cancer,  
Localization, Verification

---

Since 1983 a clinical trial of proton beam radiotherapy has been conducted at the Proton Medical Research Center (PMRC) of the University of Tsukuba. We have made it a rule to do field localization by X-ray pictures before each treatment. For this purpose we have developed a localize-verify system consisting of a fluoroscopic unit and a real time digital image processing device. By using this system as well as X-ray films, field placement errors or corrected distance at field localization were measured in 11 patients with esophageal cancers. Measurements of corrected distances on a total of 177 localization attempts disclosed that correction by >5 mm was necessary in 30.6% and by >10 mm in 10.2% of all localization attempts. Corrected distances appeared to increase with age, possibly because the skin becomes looser and ambulatory status tends to be more limited in older patients. Field placement corrections of more than 5 mm were required in 66.7% of 60 localizations in patients >80 years old. Two patients in whom the anatomical positions of the esophagus were easily movable are presented. The following common characteristics of these patients were considered high risk factors: they were more than 80 years old; lesions were located in the lower esophagus; and they had T1 tumors. These findings suggested that frequent positioning and verification of treatment fields are necessary in the accurate treatment of esophageal cancers, especially those in high-risk patients.

#### はじめに

高エネルギー陽子線は線量分布曲線上、体内でシャープな Bragg Peak を形成することが特徴

である<sup>1)</sup>。この Bragg Peak の幅と深さを調整することにより病巣の形状に合わせた選択的照射が可能である。選択的照射によって、X 線やガンマ

線を用いる場合よりも安全に高線量照射が可能となる。放射線抵抗癌に対しても、その分だけ局所制御率の向上が期待できる<sup>2)</sup>。

陽性線治療における線量分布上の利点を生かすためには、標的容積を必要最小限に設定することが必要である。我々の施設では原則として病巣周囲の安全域を5mm以内として標的容積を設定している。その条件で Bragg Peak を病巣に当てるためには、厳密な照射精度が要求される。このため病巣進展範囲の把握、患者体位の再現性、照射部位の位置確認等は重要である。そこで照射のセットアップに当たっては、単に皮膚マークだけに頼るのではなく体内指標を利用した位置決めが必要である。我々は1988年よりリアルタイム TV 画像処理装置を導入し照射部位の透視による確認と光ディスクへの記録を毎回行ってきた<sup>3)4)</sup>。

食道癌の患者で照射野の位置確認をしていたところ、照射野の再現性の問題とは別に、食道が解剖学的に体内で移動する症例を経験した。そこで、これまでセットアップ時に光ディスクにストアされた食道癌患者の照射野の透視像を見直し、照射野の再現性や食道の解剖学的偏位の状態を調べた。この結果から食道癌治療における照射部位確認の重要性について検討を加えた。

#### 対象と方法

対象は1988年10月から1990年1月1日までに陽子線治療を行った11例の食道癌患者である(Table 1)。年齢は51歳から86歳で平均年齢は72.2歳であり、男性9例、女性2例であった。食道癌の占拠部位はIu 2例、Im 4例、Ei 3例、Im-Ei 2例であった。進行度については、UICC 病期分類(1987年)のT分類でT1 4例、T2 2例、T3 5例であり、長径は5cm以下8例、5cm~10cmが3例であった。X線型では表在型4例、腫瘤型1例、鋸歯型5例、漏斗型1例であった。

陽性線ビームは高エネルギー物理学研究所のものを利用しているが、年間を通じては利用できず休止期間がある<sup>2)</sup>。このため陽子線の照射回数は症例によって異なり10回から25回である。食道癌に対する照射法は原則としてまず、photonによる原発巣と一次リンパ節領域への照射を行い、その

Table 1 Clinical data of 11 patients with esophageal cancer receiving proton beam irradiation

Case No.	Age	Sex	Location	TNM	X-ray type	Field size (mm.)
1	51	M	Im	T3N0M0	Serrative	120×50
2	84	M	Iu	T3N1M0	Funnelled	120×120
3	71	M	Im	T1N1M0	Superficial	110×45
4	85	F	Ei	T2N0M0	Tumorous	70×35
5	69	M	Im	T3N0M0	Serrative	100×60
6	74	M	Im-Ei	T3N0M0	Serrative	90×50
7	86	M	Ei	T1N1M0	Superficial	115×60
8	80	F	Im	T2N0M0	Serrative	70×35
9	56	M	Im-Ei	T1N0M0	Superficial	70×40
10	75	M	Ei	T1N1M0	Superficial	65×45
11	63	M	Iu	T3N0M0	Serrative	75×45

後陽子線照射を行うというものであった。照射野の大きさは70×35mm~120×120mm(横×縦)であった。リンパ節を含んだものは照射野が大きくなったが、全症例で途中からcone-downを行って照射野を主病巣に限局した。総線量は75~87Gy(平均78.5Gy)を照射した。

食道癌の病巣にはあらかじめ病巣の上縁と下縁に金属マーカー(Au グレインまたはIr シードのダミーソース)を、我々の開発した経内視鏡的刺入器(日本シャーウッド社製)を用いることにより刺入し、透視による病巣の確認を可能としておいた<sup>5)~7)</sup>。陽子線治療計画はX線CT画像を用いて行った。X線CTの撮影は陽子線照射の数日前に行い、Scanは呼吸位相のなかで最も再現性の良い安静呼吸時に息止めさせて行った<sup>8)</sup>。CT撮影の際には陽子線ビームの射入方向を考慮した上で、できるだけ患者の負担の少ない再現しやすい体位をとらせた<sup>9)</sup>。皮膚につける基準点も乳房を避けるなど、できるだけ動きにくい場所を選び基準マークを3点以上設定した。

セットアップは皮膚マークにレーザービームを一致させて行い、引き続いて透視で照射野を確認した。透視は数秒間行いCT撮影時と同じ安静呼吸時にfreezeして観察した。骨、心陰影、気管などと金属標識の関係から再現性を確認し、照射野

の位置の修正が必要であれば修正の後、照射を行った。透視像は光ディスクに記録した<sup>3)</sup>。この際、照射野の再現性について毎回の照射野を適正な位置に修正するのに要した移動幅を修正距離として記録した<sup>4)</sup>。この記録に基づき我々の照射のセットアップの再現性について検討を加えた。また、これまでに光ディスクに記録された177回の照射時の透視像の金属標識の位置を見直し、食道の偏位がないかを検討し、照射部位確認の重要性について考察した。

### 結 果

照射野の再現性についてみると、全177回中5mm以上の照射野のずれ54回(30.6%)、10mm以上のずれ18回(10.2%)であった(Table 2)。特に80歳以上では、4例の合計60回のセットアップのうち40回(66.7%)で5mm以上の修正が必要であった。精密な照射では容認できない5mm以上の照射野の修正を要するセットアップが1回以上あった症例は9例みられた。

平均修正距離を見ると全177回の平均修正距離は4.5mmであった。平均修正距離が4mm以上の症例は4例でいずれも80歳以上の高齢者であり、皮膚のたるみの多い患者であった。この4例の平均年齢は83.8歳で、平均修正距離が4mm未満の

7例の平均年齢65.6歳と比べ有意に高齢であった(WILCOXON TEST  $p=0.01$ )。個々の照射を細かく検討していくと照射開始直後の再現性が悪く、回を重ねるにつれて再現性が良くなる傾向があるが、平均修正距離が4mm以上の4例では10回目以降でも5mm以上の修正を要しており、セットアップに慣れることや皮膚基準点の変更では対処できなかった。

食道の10mm以上の解剖学的偏位が11例中2例で認められた。1例(症例7)は86歳の男性で、T1N1M0、表在型の病変がEiに見られた。まず12 MeV X-rayにて、前後対向二門照射を50Gy/25回/37日施行し、引き続き陽子線治療を開始した。照射第2回目の位置決めの際に食道が左に25mm偏位しているのが発見された(Fig. 1)。そこで治療計画用CTを撮り直したところ、解剖学的に食道が偏位しているのが確かめられた(Fig. 2)。照射野を偏位した食道に合わせて変更し25 Gy/10fr/20日の陽子線照射を施行した。

もう1例(症例10)は75歳の男性で、T1N1M0の表在型で占拠部位はやはりEiであった。照射計画のCTを撮影した時点と比べ照射開始時に食道が左に15mmも偏位しているのが認められた(Fig. 3)。そこでCTを再度確認したところ食道

Table 2 Accuracy of field placement and anatomical shift of esophagus

Case No.	No. of treatment	Field placement errors(rate %)		Average correction(mm)	Anatomical shift of esophagus
		5mm $\leq$	10mm $\leq$		
1	11	0(0)	0(0)	0	—
2	21	12(57.1)	2(9.5)	4.6	—
3	25	5(20.0)	2(8.0)	2.7	—
4	24	9(37.5)	4(16.7)	6.2	—
5	16	3(18.7)	0(0)	3.1	—
6	12	2(16.7)	0(0)	3.6	—
7	10	8(80.0)	5(50.0)	11.3	left 25 mm
8	13	11(84.6)	4(30.8)	7.1	—
9	13	1(7.7)	0(0)	2.9	—
10	18	3(16.7)	1(5.6)	3.6	left 15 mm
11	14	0(0)	0(0)	1.9	—
Overall	177	54(30.6)	18(10.2)	4.5	

が左方に偏位しているのが確かめられた (Fig. 4). そこで照射野を偏位した食道に合わせて変更

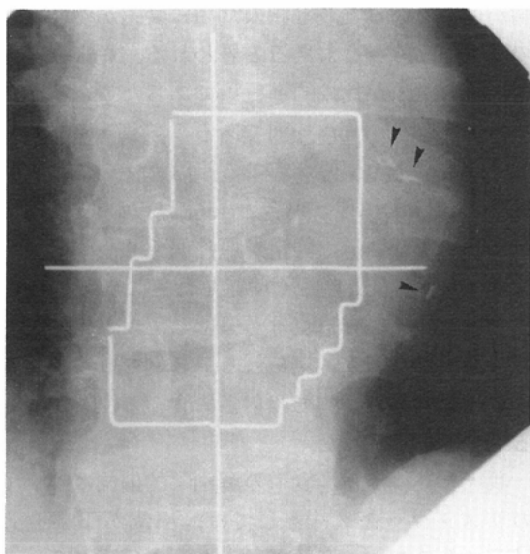


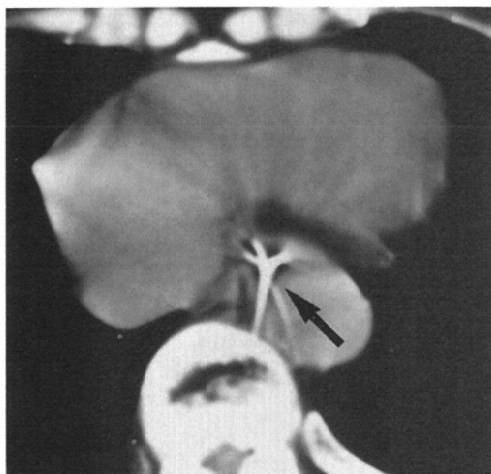
Fig. 1 The localization film of a proton field for patient No. 7. Three metal markers (iridium dummy seeds) in the esophageal wall (arrow heads) are out of the field.

し照射を行った。この患者は12MeV X線照射30.6Gy/17回/25日、陽子線照射30Gy/10回/13日を施行した。

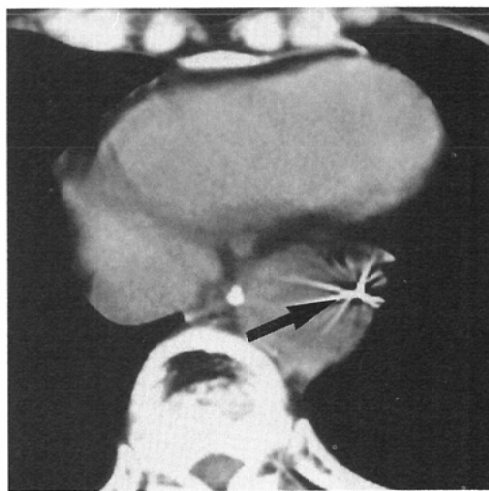
2例とも照射期間中は透視により毎回食道の位置を確認したが、食道の位置は同様に偏位したままであった。バリウムを飲ませて透視によりバリウム通過時の食道の動きを観察したが食道のふくらみに伴う金属標識の動きは3mm程度であり、嚥下に伴い食道の偏位が起こることはなかった。症例7は照射終了の1カ月後にCTを撮影したが食道の位置は偏位したままであった。症例10では照射終了の1カ月後と6カ月後にCTを撮影したところ、2回とも食道は初回CT撮影時の位置に戻っていた。症例10は食道の偏位が可逆的であることが確かめられた。この2例に共通するのは高齢者であることと、表在型で占拠部位がEiであることであった。

#### 考 察

食道癌治療の照射野の再現性について触れた文献は少なく、特に照射中の食道の偏位について記載した報告は本稿がはじめてと思われる。それは



(A)



(B)

Fig. 2 The CT scan for patients No. 7. (A) Thirteen days before the proton beam irradiation. The Esophagus implanted metal marker is in the medial side of the descending aorta. (B) Six days after initiation of irradiation, The marker shifted to the lateral side of the aorta. According to the CT (B) the treatment plan was changed.

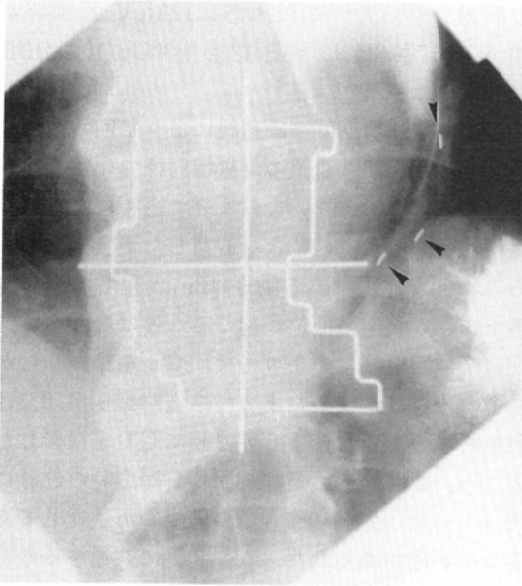
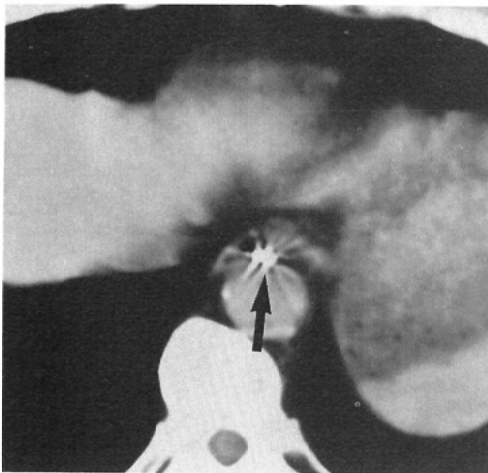


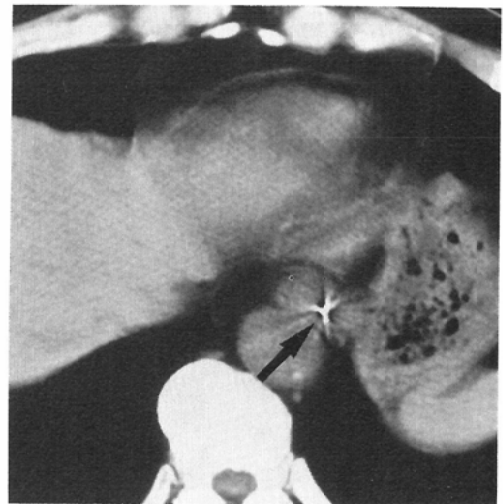
Fig. 3 The localization film of a proton field for patient No. 10. Three metal markers implanted in the esophageal wall. The markers (arrow heads) are out side of the field.

これまで放射線治療中に食道造影を頻回に施行したり、食道自体にマーカーを刺入したりして治療されることが少なかったためであろう。また、浸潤が進んでいると、浸潤のために食道が癌性癒着で固定される場合もあると思われる。従来の放射線治療の対象が比較的進行癌であったことも、余り報告されなかった一因であろう。我々の経験したような食道の偏位が起こる原因については大動脈の rotation に伴う場合と、高齢のため支持組織がもろくなり食道の固定が悪く偏位しやすい場合を考えたが、CTをよく検討したところでは大動脈とは無関係に食道だけが偏位しており支持組織の脆弱化が原因と考えられる。2例のうち1例は食道の偏位が可逆的で照射毎に食道の位置が変わる可能性を示唆した。

我々の経験から、食道の解剖学的偏位についてのリスクファクターとしては、部位が下部食道(Ei)であること、高齢者、表在型の病変の3つが考えられる。支持組織の脆弱化に関連して食道裂孔ヘルニアの合併もリスクファクターとなるかと考えたが、2例とも裂孔ヘルニアは合併していな



(A)



(B)

Fig. 4 The CT scan for patients No. 10. (A) Seven days before the proton beam irradiation. Implanted metal in the Esophagus (arrow) is at the medial side of the descending aorta. (B) Two days after initiation of irradiation, The Esophagus (arrow) shifted to the left side. We changed the proton field on the basis of the CT (B) result.

かった。Eiの食道癌の治療成績は元来比較的良好といわれており、特に表在型は skip lesion のあるものを除けば治療可能なものが多いので大変重要である<sup>10)11)</sup>。日常の照射のなかでも我々が経験した様に、照射野のずれや食道の偏位が起り治療成績を下げる原因の1つになっている可能性がある。

食道癌の放射線療法において外照射単独に比べて腔内照射を併用したほうが成績が良いとの多くの報告がある<sup>12)</sup>。腔内照射では確実に病巣に照射されるということも成績が良い理由の1つであろう。少なくとも我々の経験した食道の偏位はほとんど影響がない。外照射で治療を行う際にも、よりいっそう確実に病巣を照射する努力が重要である。頻回に verification を行って再現性を維持するのみならず、適宜 simulator で食道の偏位についても確認を行うことにより高齢者の表在型食道癌の成績向上の可能性が示唆される。

食道癌の照射でのセットアップは皮膚面にマーキングする方法が一般的である。この方法の再現性に問題があるのは広く認識されているが、現在のところ決定的な解決法がない。我々の経験でも、11例中9例で5mm以上の照射野の修正が必要であった。このことから、病巣に選択的に照射する場合は、かなり慎重に行っても皮膚マークのみの照射では不十分であることが明らかとなった。やはりX線透視あるいはX線写真撮影による照射野の確認が必要で、かつ重要であると考えられる。皮膚のマークで合わせている以上、肘の曲げ方などの細かい体位の違い、大胸筋などへの力の入れ方の違い、照射期間中の体重の変動に伴う体格の変化、加齢による皮膚のたるみなどにより皮膚と標的臓器の関係は微妙に変化する。これらの要因に対する対策として、我々の施設では治療計画時の体位をボラロイド写真により記録したり、患者が陽子線照射中に緊張しないように前もって照射のリハーサルを行ったり、1~2週毎に治療計画の見直しを行ったりしている。しかし、皮膚のたるみに対しては有効な対策がなく予想以上に影響が大きかった。11例中3例は10mm以上の照射野の修正が必要なセットアップが15%以上あった。

この3例は、いずれも皮膚のたるみがひどい80歳以上の高齢者であった。平均修正距離についても、4mm以上の4例で共通しているのは、いずれも高齢者であり平均年齢は83.8歳であった。これは平均修正距離が4mm未満の7例の平均年齢65.6歳と比べて有意に高齢であった。この理由としては先に述べた皮膚のたるみの他に変形性脊椎症の存在や、了解が悪いため照射の際に緊張して再現性の良い体位がとりにくいことも関係すると考えられる。

5mm以上の修正の要したセットアップが20%以上見られている症例は5例あり、これらはいずれも10mm以上の修正を必要とする照射が1回以上あった。やはりずれる頻度が多ければ修正距離の大きな場合が出てきやすい傾向がうかがえる。これら5例のうち1例の修正回数が多いのは食道の偏位のためであったが、他の症例については皮膚のたるみが大きく影響すると考えられる。

照射の再現性について調べた報告をみると10mm以上の修正を要した照射の割合は10%~36%といわれており<sup>13)~15)</sup>、我々の10.2%は比較的良好な再現性といえる。平均修正距離でみても、Rabinowitz等の報告では胸部へ照射の際の平均修正距離は5.8mmであるが<sup>13)</sup>、我々の平均修正距離は4.5mmであるからやはり良好な再現性である。しかし陽子線治療の場合、5mm以上のずれは到底容認できるものではない。必ずX線透視または写真撮影が必要である。これは conventional irradiation についても同様で5mm以下の照射の再現性を想定して治療していく場合、皮膚マークに頼る通常の方法では、再現性の維持は困難と考えられる。症例によっては平均修正距離が2mm以下と、非常に再現性の良いものがあるのは確かである。しかし、11例中2例と少なく、再現性の良い患者の指標が明らかではない以上、verification が頻回に必要なものである。もし10mmまでの修正距離を容認したとすれば、10mm以上の修正の必要のなかった症例は5例となる。皮膚のたるみや食道の偏位がない症例を選べば、皮膚マークを基準に3点を合わせる方法でも10mm以内の精度で照射が可能であろう。しかし、今後の放射線治

療の趨勢としては、照射精度を上げ照射野をできるだけ限局し、障害の減少と照射線量の増加を目指すという方向なので、10mmの照射精度に満足するのではなく精度を5mm以下にするための努力が必要である。verificationを頻回に行って照射野を修正することの他に、体幹全体を固定できるようなシェルの開発や、さらに進んで脳の stereotactic surgeryで行われるように、固定具を局所麻酔下で骨盤骨や肋骨にボルトで固定し、セットアップを行う方法の開発など照射精度を改善する工夫が望まれる。

高齢化社会を向かえ、ますます放射線治療の重要性が増すと予想されるが、80歳以上の症例では再現性の維持のため、verificationが非常に重要である。特に占拠部位が下部食道で深達度が浅い場合は食道の偏位に対する確認も成績向上のために必要と考えられる。

稿を終えるにあたり、本研究の遂行に多大な協力をいただきました佐藤 勝、細野勝久両診療放射線技師に深く感謝します。

#### 文 献

- 1) Suit HD, Goitein M, Tepper JE, et al: Clinical experience and expectation with protons and heavy ions. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 3: 115-125, 1977
- 2) 北川俊夫, 稲田哲雄, 有本卓郎, 他: 深部臓器癌に対する陽子線治療, 癌の臨床, 34: 1839-1844, 1988
- 3) 辻井博彦, 稲田哲雄, 丸橋 晃, 他: 深部臓器がんの陽子線治療における照射部位の照準・確認システム, 日本医報会誌, 49: 622-629, 1989
- 4) 辻比呂志, 辻井博彦: 陽子線治療の臨床における画像の役割, *Med Imag Tech* 9: 147-152, 1991
- 5) 有本卓郎, 高瀬靖廣, 石川詔雄, 他: 陽子線治療における照射精度向上手段の研究, 癌の臨床, 34: 395-403, 1988
- 6) 有本卓郎, 北川敏夫, 稲田哲雄, 他: 深部臓器への陽子線治療における精度向上の試み, 日本医放会誌, 48: 444-453, 1988
- 7) 大原 潔, 北川俊夫, 稲田哲雄, 他: 陽子線治療の照射計画における一考察, 日癌治誌, 20: 1342-1348, 1985
- 8) 大原 潔, 久保田進, 秋貞雅祥, 他: 呼吸位相同調放射線照射法に関する研究, 日本医放会誌, 47: 44-52, 1987
- 9) 辻井博彦, 辻比呂志: 放射線治療向上のための諸因子, 癌の臨床, 36: 2393-2397, 1990
- 10) 中野隆史, 伊東 潤, 伊東一郎, 他: 食道癌の放射線療法, 日癌治誌, 19: 2093-2102, 1984
- 11) Fisher SA, Brady LW: Carcinoma of the esophagus. In Pretz CA ed, *Principle and Practice of Radiation Oncology*, 707-709, 1987, JB Lippincott Company, Philadelphia
- 12) 菱川良夫: 高線量率腔内照射による食道癌治療に関する研究, 日本医放会誌, 46: 16-26, 1986
- 13) Rabinowitz I, Boonberg J, Goitein M, et al: Accuracy of radiation field alignment in clinical practice. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 11: 1857-1867, 1985
- 14) Byhardt RW, Cox JD, Hornburg A, Liermann G: Weekly localization films and detection of field placement errors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 4: 881-887, 1978.
- 15) Marks JE, Haus AG, Sutton HG, Griem ML: Localization error in the radiotherapy of Hodgkin's disease and malignant lymphoma with extended mantle fields. *Cancer* 34: 83-90, 1974