

## 電子的放射線治療照合装置 (Electronic portal imaging device, EPID) による患者設定誤差の評価

村田 るみ<sup>\*1</sup>, 永田 靖<sup>\*1</sup>, 岡嶋 馨<sup>\*1</sup>, 光森 通英<sup>\*1</sup>, 溝脇 尚志<sup>\*1</sup>,  
山本 真志<sup>\*1</sup>, 小久保 雅樹<sup>\*1</sup>, 西台 武弘<sup>\*1</sup>, 平岡 真寛<sup>\*1</sup>, 阿部 光幸<sup>\*2</sup>

### EVALUATION OF PATIENTS' SETUP ERROR USING AN ELECTRONIC PORTAL IMAGING DEVICE

Rumi MURATA<sup>\*1</sup>, Yasushi NAGATA<sup>\*1</sup>, Kaoru OKAJIMA<sup>\*1</sup>, Michihide MITSUMORI<sup>\*1</sup>,  
Takashi MIZOWAKI<sup>\*1</sup>, Masashi YAMAMOTO<sup>\*1</sup>, Masaki KOKUBO<sup>\*1</sup>,  
Takehiro NISHIDA<sup>\*1</sup>, Masahiro HIRAOKA<sup>\*1</sup>, Mitsuyuki ABE<sup>\*2</sup>

(Received 11 July 1995, accepted 22 December 1995)

**Abstract** An electronic portal imaging device (EPID) has been applied for clinical use at Kyoto University Hospital since 1993. The EPID is a liquid-filled ionization chamber system (PortalVision, Varian Associates). Portal images of 104 treatment fields from 93 patients were taken using a treatment beam and were verified with simulation images. The range of setup deviation was almost within 5 mm for head and neck, and pelvic fields, while within 10 mm for thoracic fields. In both a transverse direction and a longitudinal direction, the mean setup deviation was larger in thoracic fields than in head and neck, and pelvic fields. There are still some problems to be solved with this EPID system. The time taken for image acquisition is more than 6.5 seconds and the image quality is not satisfactory for accurate verification. However, the real time monitoring of patients' position during treatment which enables quick detection of major setup errors or block placement errors is a great advantage of the EPID. The EPID will play an important role in modern radiation therapy in terms of increasing the accuracy of treatments, although further development of both hardware and software is required.

**Key words:** Electronic portal imaging device, Radiotherapy, Verification, Setup displacement

#### はじめに

放射線診断学の進歩により、以前は描出できていなかった小さい腫瘍が画像で発見されるようになり、また腫瘍と周囲の正常組織との境界もより明瞭に描出できるようになった。その一方で、放射線治療の分野においても、CTシミュレータ等の治療計画装置の発達によりターゲット設定の精度が向上し、また原体照射法など照射法の工夫や治療機器の進歩によって病巣に線量を集中させ

ることも可能になった。そこで、計画された照射野に正確に放射線が照射されていることを確認する照合が以前にもまして重要になってきている。近年、照射中の透視画像をリアルタイムで得ることのできる「電子的放射線治療照合装置」(Electronic portal imaging device: 以下、EPIDと略す)が開発され実用化されてきた<sup>3,4)</sup>。これにより治療中の患者の位置や動きを検出できるようになったが、画質やその他の点でまだ問題が多い。当施設では、1993年5月よりEPIDの臨床応用を開始した<sup>5)</sup>。

<sup>\*1</sup> 京都大学医学部放射線医学教室 (〒606-01 京都市左京区聖護院川原町54)

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Kyoto University (54 Kawaharacho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto, 606-01 JAPAN)

<sup>\*2</sup> 国立京都病院

Kyoto National Hospital

本稿ではこれらの臨床応用の結果とその問題点を検討する。

### 対象と方法

京都大学で、1993年7月から1994年10月までの期間にCLINAC 2100 C/D (Varian社)を用いて放射線治療を受けた患者のうち93名の104照射野を対象とした。前後方向、左右方向の治療ビームを用いて撮影し、対向2門照射では患者1人当り1照射野、直交2門照射では1人当り2照射野で検討した。治療部位別では、頭頸部24例（前後方向11例、左右方向17例）、胸部27例（同27例、0例）、腹部11例（同12例、4例）、骨盤部31例（同30例、3例）である（Table 1）。

使用した装置は、liquid-filled ionization chamber matrix (32.5×32.5cm)を検出器とするVarian社のPortalVisionである。画像収集マトリックスは256×256で、解像度は1.27mm、アイソセンターにおけるピクセルサイズは約1mmである<sup>3)</sup>。撮像速度は、標準モードで5.5秒、高速モードで1.5秒とされるが、装置の安定のためさらに1秒を要する。検出器はリニアック本体にアームで直接とりつけられており（swing arm型）、接続部位を中心として水平方向に90度まわすことができる。このアームをまわして、使用時にはベッドをはさんでガントリーの対向面にセットして線源からの距離を調節し、使用しないときにはガントリーの回転の邪魔をしないようにリニアック本体の側方におさめておける。コンピュータ本体は32ビットのパーソナルコンピュータから成り、ディスプレイと

ともにリニアック操作室に置かれている。我々が用いた照合法を以下に示す。

- 1) X線シミュレータで撮影したシミュレーション写真をあらかじめビデオカメラ (CCD VX1, SONY) で本装置へ転送し、以下reference imageとする。入力されたreference imageの画像条件が最適になるまで、ビデオの入力条件を調節する。
- 2) reference image上の照射野の枠をなぞって照射野形状をマウスで描き、骨など内部参照点となる解剖学的指標に線あるいは点でマークをつける (Fig. 1)。
- 3) 治療中の患者のportal imageを、線量率 (320 cGy/min)、エネルギー (6, 15MV) を変えない実際の治療ビームで撮影する。患者は皮膚マークでsetupされるが、このマークによる位置は初回治療時にportal filmで照合済みである。今回は画質を優先させるため標準モードで1回の治療あたり1image撮影し、撮影は週1回おこなった。
- 4) 2) で描いた照射野形状と撮影されたportal imageの形状が一致するように、reference imageとportal imageが自動的に重ね合わされる (edge match)。しかし、reference image上の照射野と実際の照射部位にずれがある場合は内部参照点が一一致しない。この時、マウスを使って参照点をマニュアルで一一致させると、照射部位のずれが照射野辺縁のずれとして描出される (Fig. 2)。

Table 1. Number of the patients and the treatment fields

| Treatment site | Patients | Fields | AP <sup>a</sup>     | RL <sup>b</sup> |
|----------------|----------|--------|---------------------|-----------------|
| Head and Neck  | 24       | 28     | 11 (0) <sup>c</sup> | 17 (2)          |
| Thorax         | 27       | 27     | 27 (5)              |                 |
| Abdomen        | 11       | 16     | 12 (7)              | 4 (2)           |
| Pelvis         | 31       | 33     | 30 (2)              | 3 (2)           |
| Total          | 93       | 104    |                     |                 |

a: Antero-posterior irradiation

b: Lateral irradiation

c: Number of the fields which could not be used for verification

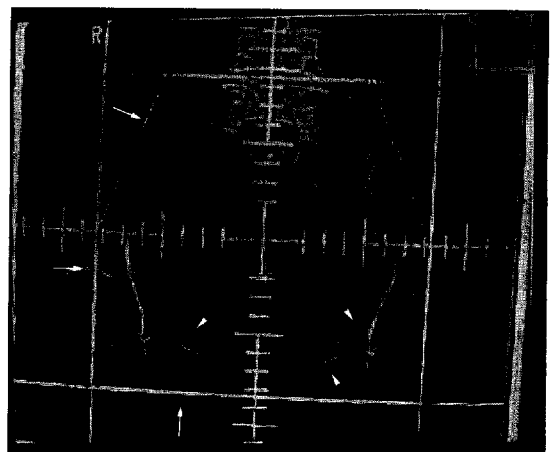


Fig. 1 Reference image with field edge (→) and anatomical landmarks (➤)

そのずれの大きさを装置内部の測定ソフトで計測した。

- 5) ずれはベッドの垂直方向, 左右方向, 頭尾方向にわけて測定し, 上方, 左方, 頭側を+として,

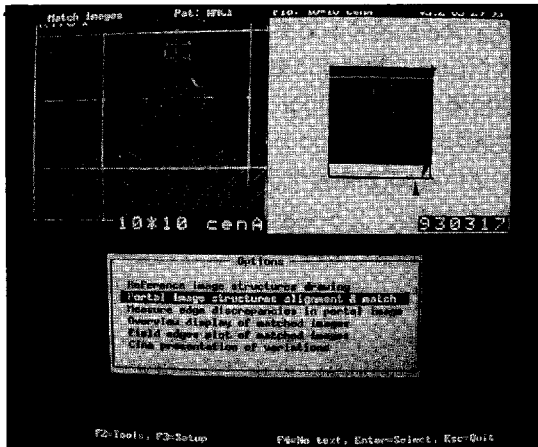


Fig. 2 After the verification. Three landmarks on the tracheal wall were aligned and then the field displacement was shown by deviation of the white line ( > ) from the edge of irradiated area.

治療部位別, 方向別に setup error の値 (計画された照射野と実際に照射された領域との輪郭のずれ) をプロットした. 有意差は student t test で検定した.

## 結 果

頭頸部, 胸部, 骨盤部の各部位における setup error の分布図を Fig. 3, 4 に示す. 1 portal image が 1 プロットに相当し,  $n$  は全 portal image 数である. setup error の値は, 頭頸部, 骨盤部ではほぼ 5mm 以内の範囲に分布していたが, 胸部では 5mm をこえる場合が少なくなかった. 全測定値の平均値, 標準誤差, 計算に使用した portal image 数を Table 2 に示す. 今回の 93 症例では, setup error の平均値は大きいものでも 3mm 内外であった. 部位別では, 頭尾方向で, 頭頸部, 骨盤部の setup error は胸部に比べて小さく (両方とも  $p < 0.01$ ), 左右方向においても同じ結果となった (頭頸部で  $p < 0.05$ , 骨盤部  $p < 0.001$ ). 呼吸移動の影響をうける胸部照

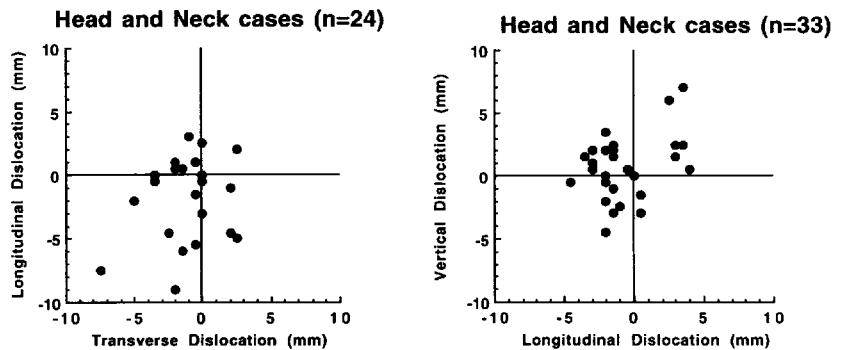


Fig. 3 The distribution of setup errors for head and neck fields was plotted. One dot represents one portal image. (a) AP field (b) RL field

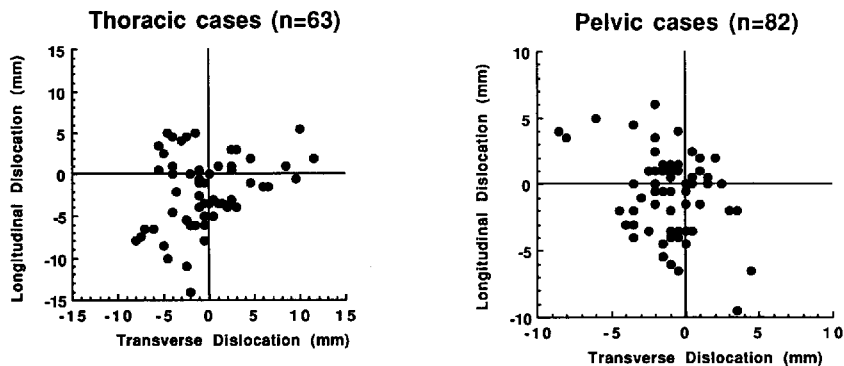


Fig. 4 The distribution of setup errors for (a) thoracic and (b) pelvic fields.

Table 2. The magnitude of setup displacements for each treatment site and couch direction

|             |              | mean (mm) | S.E.  | n  |
|-------------|--------------|-----------|-------|----|
| Head & Neck | Longitudinal | 2.39      | 0.29  | 57 |
|             | Transverse   | 1.96      | 0.36  | 24 |
|             | Vertical     | 1.68      | 0.31  | 33 |
| Chest       | Longitudinal | 3.62      | 0.37  | 63 |
|             | Transverse   | 3.12      | 0.34  | 63 |
| Abdomen     | Longitudinal | 2.63      | 0.61  | 19 |
|             | Transverse   | 1.79      | 0.35  | 12 |
|             | Vertical     | 3.36      | 1.25  | 7  |
| Pelvis      | Longitudinal | 2.26      | 0.295 | 82 |
|             | Transverse   | 1.51      | 0.19  | 82 |

射野のsetup errorに関して、頭尾方向、左右方向の間に差を認めなかった。なお、portal imageの画質その他の原因で、内臓のコンピュータソフトによる照合ができなかった症例があり、その割合は93症例104照射野で検討すると、頭頸部、胸部、腹部、骨盤部でそれぞれ、7.1% (2 / 28), 18.5% (5 / 27), 56.2% (9 / 16), 12.1% (4 / 33) であり (Table 1), 全部位で平均すると19.2%の照射野で照合不可能であった。照合は原則として治療終了後におこなっていたが、portal imageを撮像することによってブロックの設置ミスが照射中に発見され、その場で修正されたケースがこの期間に1例あった。

### 考 察

治療部位別のsetup errorの頻度に関して、Byhardt<sup>7)</sup>らは骨盤部でerrorの頻度が多かったと報告している。おそらく、骨盤部に対しては良い固定方法がなく、照射部位が体軸に対して上下左右に回転してsetupされてしまうためと思われる。しかし、今回の93例では、頭尾方向、左右方向とも、頭頸部、骨盤部に比べて胸部でsetup errorの値が大きかった。これは第一に呼吸運動の影響をうけるためと考えられる。呼吸運動は頭尾方向のずれに深く関与すると推測されるが、頭尾方向と左右方向でずれの大きさに差は認めなかった。呼吸運

動以外で左右方向にずれが生じる原因として、体幹が完全に水平になっていなかったことがあげられる。骨盤部や、枕、テープで固定される頭部に比べ、患者がsetup後に微動し患部をひねってしまう頻度が胸部で高いためと考えられる。以上の患者設定誤差に関する結果より、頭頸部、骨盤部では最低5mm、胸部では最低10mmの安全域を含めて照射野を設定した方がよいといえる。

従来のフィルム法による患者の照射野の確認はせいぜい週1回が限度であったが、EPIDの導入によりほぼ毎日、しかも治療中にリアルタイムで患者の位置が容易に観察できるようになった。EPIDは治療のビームで撮影するため患者の余分の被曝もなく、またフィルム法で必要なカセット装着、現像の手間も省ける。大きな照射野のずれやブロックの設置ミスを瞬時に検出でき、治療を中断してその場で修正できるのもEPIDの利点の一つである。また、本装置で撮影されたportal imageはリアルタイムでシミュレーション写真と照合することにも利用できるが、照射野のずれを後で解析し、部位別、患者別に検討することにも利用できる。このようなデータの蓄積により、治療部位別、方向別、患者別のsetup errorの傾向がつかめ、以後の治療の精度を高めるために生かすことができる。また、本装置によってFig. 5のように治療によって縮小していく腫瘍を経時的に観察し、照射

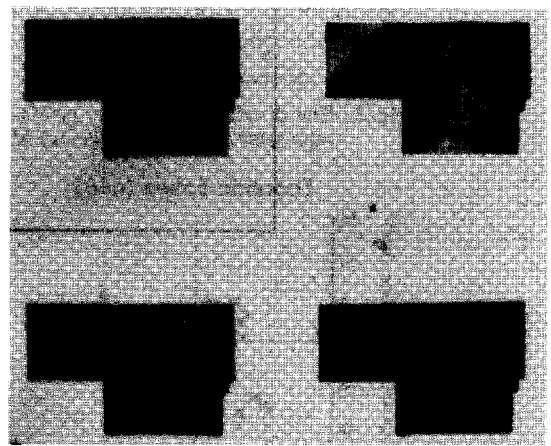


Fig. 5 Four images were taken sequentially with an interval of one week (left upper, right upper, left lower, right lower, in order). The shrinkage of a tumor in the right upper lung was monitored.

野の再検討に役立てることもできる。EPIDには、蛍光板、鏡とビデオカメラでポータル画像を収集する方式<sup>9)</sup>、金属蛍光シートと光ファイバーからなる方式<sup>9)</sup>、と本装置のようなイオンチェンバー方式<sup>9)</sup>など種々のタイプがある。イオンチェンバー方式では他のタイプより撮像に時間がかかるが、画質その他の点ではほとんど差を認めない。

治療中にリアルタイムで患者の位置が容易に観察できることはEPIDの大きな利点であるが、ルーチンの臨床で使用していくにあたっての問題点はいくつかある。大きくわけて、I) 画像取得時の問題点、II) 画質に関する問題点、III) 照合する際の問題点、の3点である。以下、それぞれの問題点について考察する。

### I) 画像取得時の問題点

患者ごとにEPID装置内のデータベースに患者名を入力したり、データベースから呼び出ししたりする必要がある。撮影時には検出器を退避位置から出し入れする必要がある。すなわち、portal imageの撮影のために余分の人手、時間を要する点である。portal image撮影直後に治療を中断し、肉眼による照合をおこなってから治療を続行する場合、治療時間は大幅に延長する。EPIDの使用によって治療時間が延長することは、De Neveら<sup>10)</sup>も報告しているが、そのために治療の精度が向上するなら、やむを得ない点でもある。患者入力や患者呼び出しの手間に関しては、本装置のデータベースが治療システム全体のデータベースとオンラインで結ばれ連動して動けば解決できるし、検出器に関しても当施設のようなswing arm式から、retractable arm式のものに移りつつあるなど、さらに取り扱いが容易になるよう改良は進んでいる。

### II) 画質に関する問題点

撮像に時間がかかるため、通常の治療ビームを用い標準モードで撮影する場合、1門1Gyの照射時間内に1画像しか撮れず、そのため画像が再構成された時には治療が終了していることが多い。リアルタイムで照合する場合、線量率を落とすか治療を中断するかが必要となり、治

療の効率や効果を下げることになってしまう。portal imageの画質に関しても問題がある。当施設で以前胸部ファントムの二重曝写像を従来のfilm法と本装置で作成し比較したところ、画質に関しても、setup errorの検出能においても、film法がすぐれているとの結果を得た<sup>9), 11)</sup>。本装置によるportal imageでは一般的に骨と気道の境界は明瞭に描出されるが、照合に関して最も重要な椎骨の描出が従来のportal filmに比べて悪い。したがって、頭頸部では照合に十分な画像が得られることが多いが、胸部、腹部では照合に不十分な画像しか得られない場合がある。

### III) 照合する際の問題点

19.2%の照射野で内蔵のコンピュータソフトによる照合ができなかった。その原因として、ビデオ入力したシミュレーション画像(reference image)上に正確な照射野が入力できない、椎骨などの解剖学的指標の描出が悪くて照合できない、等が考えられる。ビデオ入力したシミュレーション画像(reference image)上に正確な照射野が入力できない原因として以下の2点があげられる。1) シミュレーション写真上で認められていた照射野のラインの一部が、ビデオによるデジタル化と転送によってコントラストの関係で画面上に描出されなくなり、正確な照射野が入力できなくなった(Fig. 6)。2) マルチリーフ

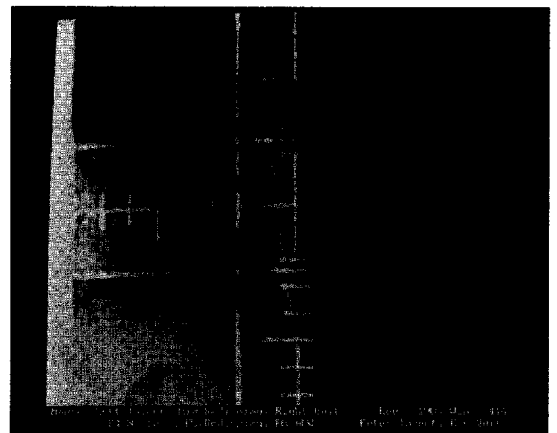


Fig. 6 Reference image. The left border of the treatment field became invisible on the screen after digitization by a CCD camera.

を使った複雑な照射野形状の場合、照射野形状をreference image上にマウスで正確に入力することは困難である (Fig. 7a, b). これらの問題点に関しては、本装置が治療計画装置とオンラインで結ばれ、照射野形状とシミュレーション写真が自動的に本装置に転送されることで解決される。現状のように、シミュレーション写真をビデオ入力してその上に照射野形状をマニュアルで入力するのは、数ミリレベルのずれを検出することを考えるといかにも不正確である。また照射野が小さく明瞭な解剖学的指標を含ま

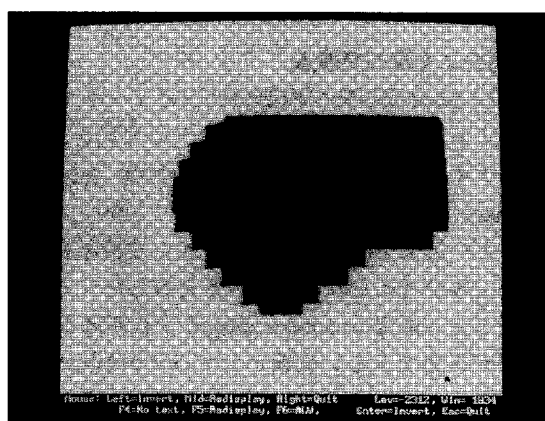


Fig. 7 (a) This treatment field was determined by a computer for multileaf collimator.

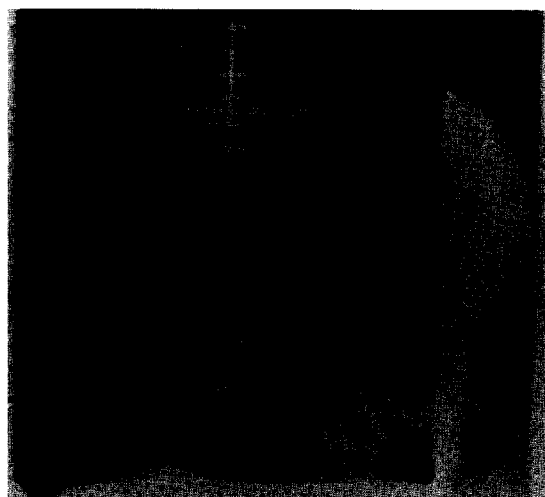


Fig. 7 (b) The accurate shape of field was not drawn on the reference image. Therefore, it is impossible to superimpose the field outline on this reference image.

ないため照合できないことがある。このような小さい照射野こそ正確に照合することが望ましいため、人工的にlandmarkを設定するなどの工夫が必要である<sup>12)</sup>。

これらの現在の問題点をふまえて、EPIDの具体的な臨床応用としては以下のような方法が考えられる。EPIDの画質が従来のportal filmに及ばない以上、portal filmにとって代わることは現状では考えにくい。つまり、治療開始時の照合 (Verification for the first treatment) は従来のfilm法で行なうことになる。その後治療が進むにつれて日々のsetupの精度がどのように変化していくか (治療間照合, intertreatment verification), また一回の治療の間に患者の位置が一定に保たれているかどうか (照射中照合, intratreatment verification) を調べる目的で、EPIDを使用していくことが望ましい。EPIDの検出器の使用によって、患者のsetupその他に余分の時間がかかる。そのため、研究段階である現状では、日常臨床を妨げないように週1回の撮影となったが、本来はもっと頻繁に使用した方がよい。毎日撮影した場合と週1回あるいは週2回撮影した場合で、setupの精度向上にどのような差がでるかを比較すれば、最低週何回撮ればよいかの参考になる。また、肥満などの理由でsetupが困難な患者に限っては、線量率を落したり、照射を中断してでも照合し、問題なければ再開するというように患者によって使い分けすることも必要であろう。今回呈示した位置のずれのプロット像も症例を重ねれば、照射野にどれだけの安全域を見込めばよいかの参考になる。測定精度は施設や測定者によっても変動することが予測されるため、本装置と従来のfilm法とで同時にportal imageを撮影し、位置のずれの測定値を両者で比較することがこれからの課題である。現状では未だハードウェア、ソフトウェアに種々の問題点を認めているが、画質や撮像スピードについてはメーカー側の改良が進みつつあり、他の問題点についても、シミュレータとオンラインで結ばればほとんど解決できるといえる。現時点においても、ブロックの設置ミスなどの重大なエラーを瞬時に察知し、setup errorの有無を毎日確認することができ、

portal image上で腫瘍の大きさの変化を定期的に観察できる (Fig. 5) など、放射線治療におけるEPIDの意義は大きいと考えられる。

### 文 献

- 1) Nagata, Y., Okajima, K., Murata, R. *et al.*: Development of the CT simulator and evaluation of its clinical efficacy. *J. Jpn. Soc. Ther. Radiol. Oncol.* **7**: 65-75, 1995.
- 2) 森田皓三: 原体照射法 (conformal RT) とその発展. 癌の臨床 **40**: 33-46, 1994.
- 3) Meertens, H., van Herk, M., Bijhold, J. *et al.*: First clinical experience with a newly developed electronic portal imaging device. *Int. J. Radiol. Oncol. Biol. Phys.* **18**: 1173-1181, 1990.
- 4) Cionini, L., Buccioli, M.: Role of portal imaging in clinical radiotherapy: Florence experience. *Radiother. Oncol.* **29**: 230-236, 1993.
- 5) El-Gayed, A.H., Bel, A., Vijlbrief, R. *et al.*: Time trend of patient setup deviations during pelvic irradiation using electronic portal imaging. *Radiother. Oncol.* **26**: 162-171, 1993.
- 6) Nagata, Y., Okajima, K., Murata, R. *et al.*: Clinical application of an electronic portal imaging device. *US-Japan Radiation Oncology Meeting*, 1995.
- 7) Byhardt, R.W., Cox, J.D., Hornburg, A. *et al.*: Weekly localization films and detection of field placement errors. *Int. J. Radiol. Oncol. Biol. Phys.* **4**: 881-887, 1978.
- 8) Munro, P., Rawlinson, J.A., Fenster, A.: Therapy imaging: A signal-to-noise analysis of a fluoroscopic imaging system for radiotherapy localization. *Med. Phys.* **17**: 763-772, 1990.
- 9) Wong, J.M., Binns, W.R., Cheng, A. Y. *et al.*: On-line radiotherapy imaging with an array of fiber-optic image reducers. *Int. J. Radiol. Oncol. Biol. Phys.* **18**: 1477-1484, 1990.
- 10) De Neve, W., Van den Heuvel, F., De Beukeleer, M. *et al.*: Routine clinical on-line portal imaging followed by immediate field adjustment using a tele-controlled patient couch. *Radiother. Oncol.* **24**: 45-54, 1992.
- 11) 中田 学, 駒井良則, 岡田 孝, 他: デジタルポータルイメージング装置を用いた治療照合システム—スクリーン/フィルム・システムとの比較—. 日放技学誌, **50** (9), 1573-1580, 1994.
- 12) Balter, J.M., Sandler, H.M., Lam, K. *et al.*: Measurement of prostate movement over the course of routine radiotherapy using implanted markers. *Int. J. Radiol. Oncol. Biol. Phys.* **31**: 113-118, 1995.

要旨: 照射中の透視画像をリアルタイムで撮像することのできる「電子的放射線治療照合装置」(Electronic portal imaging device, 以下EPIDと略す)の臨床応用を試みた。使用したEPIDはイオンチェンバー方式で、Varian社のPortalVisionである。対象は1993年7月から1994年10月までの期間に京大で放射線治療を受けた患者のうち93名の104照射野(頭頸部24例, 胸部27例, 腹部11例, 骨盤部31例)である。setup errorの値は、頭頸部、骨盤部ではほぼ5mm以内の範囲に分布していたが、胸部では5mmをこえる場合が少なくなかった。頭尾方向、左右方向とも頭頸部、骨盤部に比べて胸部で大きなsetup errorを示した。EPIDを臨床応用する上での問題点としては、照射開始から画像表示までに約6秒を要し、かつ撮影された画像の画質が従来のポータル画像に比べて不十分であったという点があげられる。また、シミュレータとネットワークされていないことから問題点もあげられる。使用したEPIDは、ハードウェア、ソフトウェアともに改善が必要であるが、治療中の患者の照射野をほぼリアルタイムで毎回観察でき、大きなずれを瞬時に検出できるという点で、日常の放射線治療において十分臨床応用する意義があると思われた。