

原著論文

## 緊急照射のための治療室内簡易型 X線シミュレータの開発

志田晃一<sup>1,2</sup>, 山内敬知<sup>3</sup>, 布施屋一広<sup>3</sup>, 村中博幸<sup>1</sup>, 坂野康昌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>つくば国際大学医療保健学部診療放射線学科

<sup>2</sup>茨城県立医療大学大学院保健医療科学研究科

<sup>3</sup>東京新宿メディカルセンター放射線室 (元東京厚生年金病院)

**【要 旨】** 現在、X線シミュレータを所有していない施設は少なくない。そして electronic portal imaging device (EPID) や on board imager (OBI) などの照合装置を搭載していない放射線治療装置も存在する。このような施設で、骨転移による脊椎横断不全麻痺のような少しでも早い放射線治療が必要な症例が発生した場合、治療計画に多くの時間を費やすことになる。これは結果として患者の負担を大きくする。そこで我々は、診断用 X線装置を応用し、簡易的な 2次元放射線治療計画用 X線シミュレータを作成した。この装置は直線加速装置と同室に設置してある。X線管球前面には計測用グリッドを装備している。我々はこの装置の計画精度について水等価ファントムと胸部ファントムを用いて評価を行った。水等価ファントムを用いた実験では、グリッドは正しく1 cm間隔で描出され、位置依存性もほとんどなく、直線性も保たれていた。胸部ファントムを用いての実験ではグリッドはとても高いコントラストで描出されており、容易にターゲットの確認、照射野の作成をすることができた。簡易シミュレータを用いることで、緊急照射の症例に対して迅速な治療計画に寄与できることを証明できた。

**キーワード:** 計測用グリッド, 緊急照射, 骨転移, X線シミュレータ, 2次元放射線治療計画.

### 序 論

昨今の放射線治療技術の発展により intensity modulated radiation therapy (IMRT) や stereotactic radiation therapy (SRT) などの高精度な治療方法が頻繁に取り上げられ、より多くの人に知られるようになった<sup>1)-3)</sup>。以前より

放射線治療は骨転移や脳転移などによる疼痛緩和にも非常に有効であることが知られており、疼痛緩和目的で放射線治療を施行するケースも少なくない<sup>1)</sup>。「放射線治療計画ガイドライン 2012年版」にも、骨転移の疼痛緩和目的に行われる放射線治療では「通常は2次元治療計画で十分であり、短時間で手際よい計画を行うように努める。」<sup>4)</sup>とあるように、放射線治療位置決め X線シミュレータ (以下、シミュレータ) を用いた2次元放射線治療計画の有用性については周知されているところである。一方で、上大静脈症候群 (SVC症候群) や転移性脊椎腫瘍 (以下、骨転移) による脊椎横断不全麻痺など

連絡責任者: 志田 晃一  
〒300-0051 埼玉県川口市戸塚境町34-27  
つくば国際大学医療保健学部  
TEL:090-8500-7721  
E-mail: k-shida@tius.ac.jp

は、一刻も早い放射線治療計画および照射が必要である。このような症例の場合、computed tomography (以下、CT) による治療計画も選択肢の1つであるが、X線シミュレータに比べれば、治療計画に時間がかかる。もし、X線シミュレータが治療室内に同室設置してあれば、患者の移動なく、より短時間に治療計画を実施でき、迅速な照射が可能となる。

東京新宿メディカルセンター (以下、当施設) では、 $^{60}\text{Co}$ を用いて放射線治療を行っていた時代からシミュレータを所持していなかったため、移動型X-TVを用いて2次元治療計画を行っていた時期があった<sup>9)</sup>。現在、当施設の放射線治療装置 (以下、ライナック) には electronic portal imaging device (EPID) や on board imager (OBI) などの撮影装置は搭載されておらず、緊急性の高い症例に対しては迅速な対応が必ずしも十分とは言えない。

そこで今回、緊急照射に迅速に対応することを目的に、診断用X線装置に計測用グリッドを装着した簡易型シミュレータを開発、治療室内に同室設置し、この装置を用いての有効性について検討した。

## 1. 方法

### 1-1 使用機器

ライナックは EXL-15DP (バリアンメディカルシステムズ)、シミュレータ用の診断用X線装置はGS-2075 (島津メディカルシステムズ株式会社、公称最高管電圧150 kV、小焦点サイズ0.7 mm、通常焦点サイズ1.2 mm) を用いた (Fig. 1)。

X線装置に装備する計測用グリッドは島津メディカルシステムズ株式会社に作成を依頼した。記録媒体には computed radiography (以下、CR) のFCR PROTECT CS (富士フィルムメディカル株式会社) と imaging plate (以下、IP) を、水等価ファントムは Solid Water (RMI) 30 cm×30 cm×5 cm を4枚、模擬胸部ファントム



Fig. 1 治療計画のためにライナック室に設置してあるX線装置の概観

はBRU-20 (京都科学) を使用した。画像解析用ソフトとして、Image J 日本語版 (株式会社バイオアーツ) を用いた。

### 1-2 簡易型シミュレータの作成

X線管球には照射絞り前面に焦点から100 cmの位置において1 cm間隔で投影されるように設計された計測用グリッドを作成・装備した (Fig. 2)。

治療時にアイソセンタとしたい深さを焦点から100 cmの位置に設定することで、アイソセンタ平面上で計測用グリッドは1 cm間隔となる。これによりシミュレータ同様、ターゲットと同一拡大率でグリッド像をフィルムに投影することが可能である。計測用グリッドは source-image distance (SID) 100cm の位置で最大40 cm×40 cm の照射野での投影が可能となる。

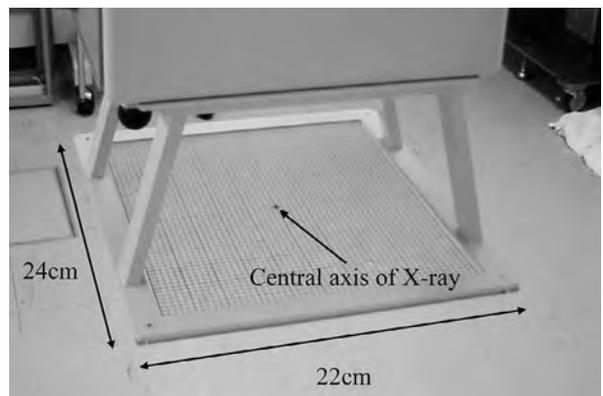


Fig. 2 X線管球前面に取り付けてある計測用グリッド

### 1-3 法令上の位置付け

医療法施行規則第30条の14において、X線装置の使用はX線診療室のみと制限されているが、特別な理由として、「放射線を体外照射すべき部位を決定するためにX線装置を使用する場合」であれば診療用高エネルギー放射線発生装置と同室に設置することが可能である<sup>7)</sup>。更に、平成19年4月17日付の厚生労働省医政局長通知<sup>7)</sup>により条件付きで複数管球での同時照射が文面化され、治療室内でのX線装置使用の可能性が広がった。当施設のシステムはライナックおよびX線装置の制御系がそれぞれ独立していること、X線装置がライナックに対向した位置に設置してあり同時に使用することはないという理由で、X線装置の電源がONの状態ではライナック側のX線が発生しないようなインターロック回路を設計した。

### 1-4 当施設でのX線装置を使用した治療計画の実際

#### 1-4-1 治療部位、アイソセンタの決定

各診療科であらかじめ撮影してあるX線単純写真、CT画像、magnetic resonance image

(以下、MRI) などから治療部位を決定する。シミュレータを用いた治療計画の適応となるのは、全脳照射や骨転移など画像上でターゲットとなる場所が確認できるものがほとんどである。そのため、診療放射線技師であれば体表面からターゲットとなる位置および深さを決定するのは比較的容易である。このシステムは緊急照射を目的としており、また治療計画をする際の寝台の高さは実際治療するアイソセンタと異なるため、シミュレータ用外部投光レーザーは敢えて取り付けてはいない。

#### 1-4-2 シミュレータ写真の撮影と原理

簡易型シミュレータを用いた治療計画の原理を示す (Fig. 3)。

治療用寝台をX線装置側に回転し、寝台下にIPを装填した通常の診断用CRカセットと散乱X線除去用グリッドを設置する。患者を治療対象部位付近がカセット中心となるように寝台に寝かせる。X線管球を患者上にセットし、入射点を決める。アイソセンタとする深さは source-surface distance (以下、SSD) を考慮することにより決定する。体表面からX(cm)の深さをアイソセンタとするとSSDは $100 - X$ (cm)、この際のSIDは $100 + Y$ (cm)となる。実際は、寝台

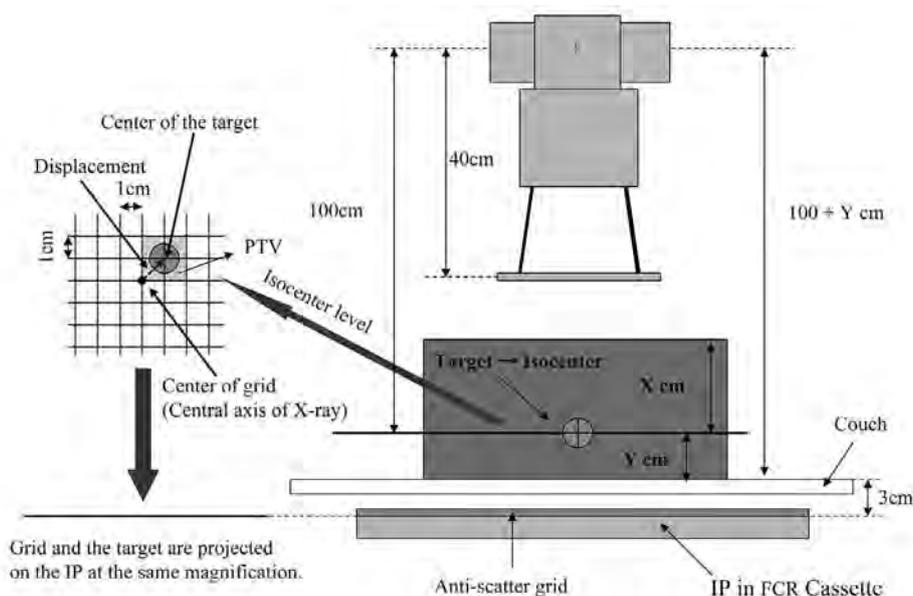


Fig. 3 当施設での2次元放射線治療計画の原理。アイソセンタとしたい位置を焦点から100cmの位置に設定することで、計測用グリッドとアイソセンタ平面は同一拡大率でイメージングプレートに投影される。

天板前面とカセットの間に距離が3 cm存在するので、SIDは $100+Y+3$ (cm)であるが、焦点からターゲットの距離が100cm(=ライナックのアイソセンタ)であれば、ターゲット位置でグリッド間隔は1 cmに相当する。よって、シミュレータや位置照合写真であるライナックグラフィ(以下、LG)同様、寝台天板前面からカセットまでの距離は計画上問題とはならない。この状態で、照射野ランプから投影されたグリッド像の交点を患者体表面にプロットしたのちX線撮影する。撮影したIPをPROFECT CSで読み取る。計測用グリッドは撮影時の入射点(=X線中心軸)がフィルムに投影されるようになっているので、ここから実際のターゲット、入射点(撮影入射点からどの程度変位しているか)、マルチリーフコリメータの形状(照射野)、アイソセンタを決定し、出力したフィルムに直接記入する。その後の治療開始までの手順は通常のシミュレータを使用する場合に準ずる。

#### 1-5 グリッド間隔の精度とグリッド像の空間分解能

カセットに通常の撮影と同様に散乱X線除去用グリッドをのせ、その上に5cm厚のSolid Waterを4枚のせた状態で撮影を行った。使用したファントムの厚さ20cmは、一般的成人の腹厚を想定したものである。

SIDを100 cmとし、小焦点にて撮影を行った。画像解析用ソフトImage Jを用いて、計測用グリッドがフィルムに正しく1 cm間隔として描出されるか、グリッド像の空間分解能を検討した(Fig. 4)。

次にSIDを50、80、100、120cmと変化させ同様に撮影を行った。Image Jを用いてその時に描出されるグリッド間の距離を測定した。この結果より、SIDの変化に対するグリッド間の距離の直線性を評価した。

#### 1-6 シミュレート精度の検討

胸部ファントムを用い、第9胸椎(Th9)への骨転移に対する照射を想定し<sup>8)</sup>、治療計画を

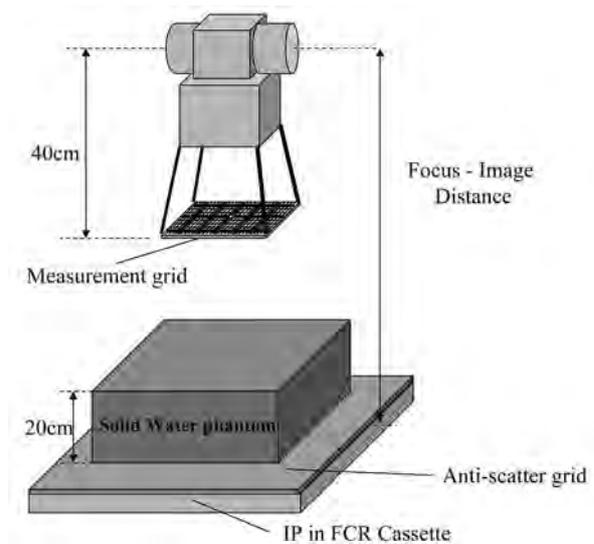


Fig. 4 実験方法のレイアウト

シミュレートした。臨床標的体積であるclinical target volume (CTV)を第8胸椎～第10胸椎(Th8-Th10)と設定し、背側より6 cmをアイソセンタと決定した。簡易型シミュレータを用いて、計画標的体積であるplanning target volume (PTV)を決定し、小焦点、80kV、200mA、63ms、散乱X線除去用グリッドを用いて撮影を行った。撮影したフィルムをもとに照射野を決定し、治療計画を行った。その後、フィルムとLGとの比較を行い、計画位置精度を検討した。

## 2. 結果

### 2-1 グリッド間隔の精度とグリッド像の空間分解能

Fig. 5にSID100 cmで撮影した画像を示した。フィルム上でグリッド間の距離を測定した。結果、全てにおいて $1\text{ cm} \pm 0.2\text{ cm}$ であった。

撮影したグリッドのプロファイル(Image J)を用いて抽出し、中心軸付近と中心軸から上下それぞれ10 cm付近でのプロファイルを計測した(Fig. 6)。この図から、プロファイルのピークがほぼ均等に1 cm間隔で検出されていることが確認できた。(Fig. 6-1～2)

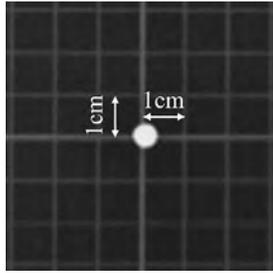


Fig. 5 X線中心軸周辺の計測用グリッド像  
焦点サイズは0.7mm

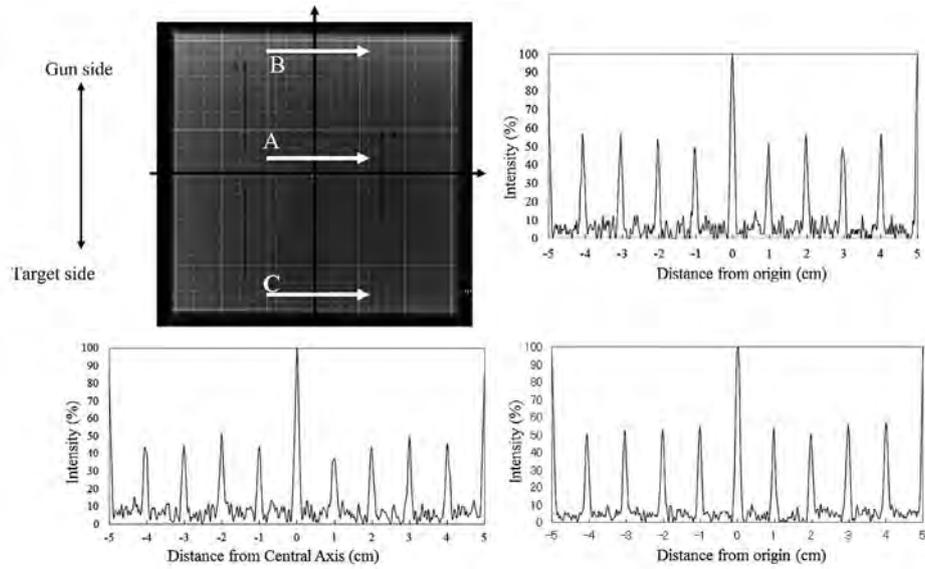


Fig. 6-1 横方向のグリッド間隔のプロファイル

- (a) スキャン方向 (b) ラインAのプロファイル  
(c) ラインBのプロファイル (d) ラインCのプロファイル

a	b
c	d

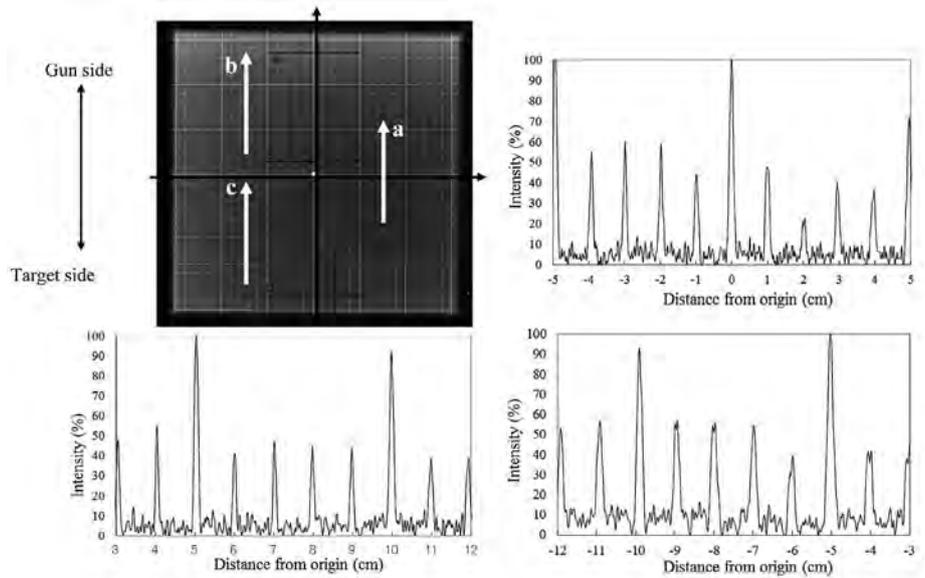


Fig. 6-2 縦方向のグリッド間隔のプロファイル。

- (a) スキャン方向 (b) ラインaのプロファイル  
(c) ラインbのプロファイル (d) ラインcのプロファイル

a	b
c	d

同様に SID を変化させた状態で撮影を行った。Image Jにより、グリッド間距離を縦方向、横方向それぞれで無作為に20箇所測定し、平均および標準偏差を求めた。SID とグリッド間距離の関係を Fig. 7に示す。グリッド間距離は SID に比例しており、直線性が保たれていることが確認できた。

以上から、グリッド間隔は SID 100 cmの条件で正確に1 cmで描出され、SID の変化とともに線形に拡大・縮小されることが示された。

2-2 シミュレートの精度

簡易シミュレータと胸部ファントムを用いて実際に治療計画を行った結果を示した (Fig. 8)。Fig. 8 (a)は簡易シミュレータを用いて撮影した X線写真である。アイソセンタは背面から深さ

6 cmであるので、焦点から寝台天板前面までの距離を106 cmで撮影した。撮影入射点から治療入射点への変位は頭側に 2 mm、左側に 2 mmとし、照射野を縦：横=68 mm：44 mmと決定した。Fig. 8 (b)はこの計画後に撮影した照合画像である。

3. 考察

3-1 グリッド間隔の精度とグリッド像の空間分解能

結果1-6からも分かるように (Fig. 6)、焦点から100cmの位置でグリッド間隔はほぼ1 cmであった。フィルムのどの位置でもほとんど変化することはなく、位置依存性は存在しないと言える。また、Fig. 7の通り、SID を変化させた

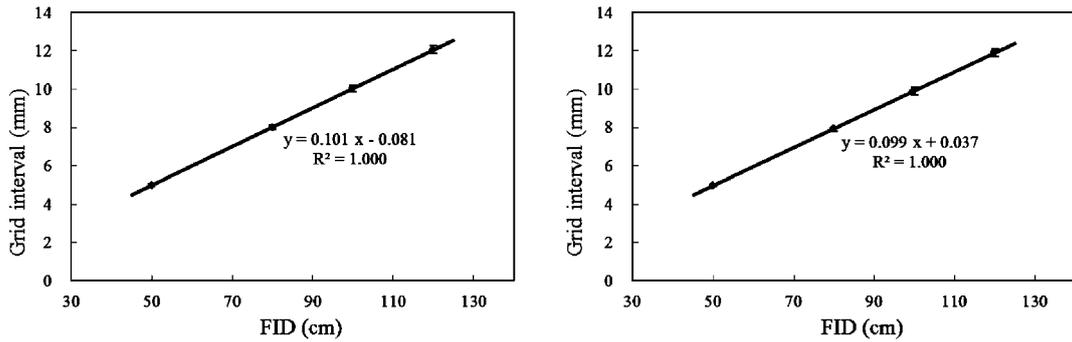


Fig. 7 FID を変化させた場合のグリッド間隔の直線性

(a) 横方向の直線性 (b) 縦方向の直線性

a | b

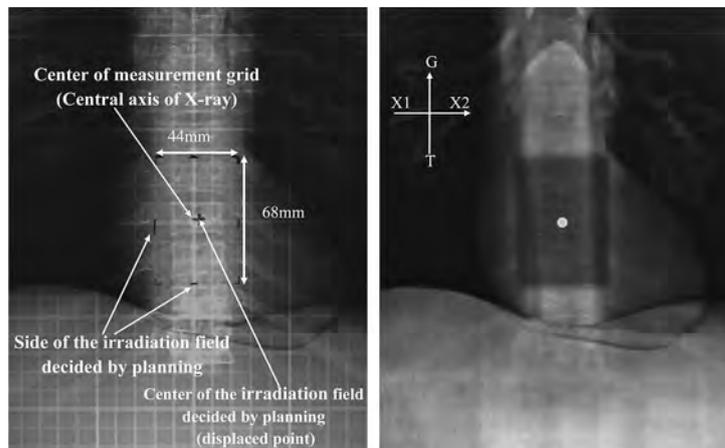


Fig. 8 簡易シミュレータを使用したシミュレーション像およびポータルイメージ像

(a) シミュレーション像  
(b) ポータルイメージ

a | b

時のグリッド間隔の関係は直線性が保たれており、このことから計測用グリッドが治療計画に適しているということが分かる。小焦点を用いたことで半影は非常に小さく、いずれの位置でもグリッド像はほぼ同じ幅を維持していた。陽極側 (Target side) で若干ボケが確認できたが、これは焦点外X線や焦点内で発生するX線などの影響によるものと考えられる。しかしながら、このボケはわずかであり、また中心軸より15 cm以上離れているため、照射野をマーキングする際には、それほど影響はなく計画上問題ないとする。縦方向の分解能が横方向より劣っているのは、散乱X線除去用グリッドの設置方向に依存するものだと考えられる。この問題に関しては、実際の治療においてマルチリーフコリメータをどの向きに使用するかで散乱X線除去用グリッドの向きを90°回転させるなどの考慮を施せばよいと言える。SIDを変化させた際のグリッド間隔の変化はほぼ直線的であり、縦方向、横方向ともに直線性が保たれていることが分かった。SIDが大きくなるに従い標準偏差に開きが出てくるのは、拡大撮影による半影が影響しているものと思われる。拡大撮影によってグリッド自身の幅が広く描出されること、また、半影も大きくなるのが、グリッド間隔を計測する際の誤差の原因となったと考えられる。

### 3-2 治療計画シミュレーションの精度

胸部ファントムを用いた緊急照射が目的の治療計画シミュレーションは、ほぼ計画通りにLGが得られることから、臨床上十分な精度があると考えられる。シミュレート写真とLGの照射野の誤差は上下左右とも $\pm 2$  mm以内であったが、使用したEXL-15DPの照射野表示器と実照射野との誤差は $\pm 2$  mmが仕様であるので、この結果は治療装置の仕様に依存するものであり、計画上許容範囲内である。よって、シミュレート写真を撮影する際、ターゲットとする深さが、焦点から100 cmになるように設定す

ることができれば、簡易型シミュレータによる位置決めでも十分な精度が保たれる。ただし、シミュレータ同様、X線写真に描出されないターゲットに対しては精度を欠くことになり、多門照射など複雑な治療計画には向いていない。また、この緊急照射を目的としたシステムではシミュレータ用外部投光レーザーも敢えて取り付けていないが、このシステムでは、IMRTやSRTのような高い精度は求めておらず、迅速に治療を遂行するという視点から言えば十分である。

### 3-3 ライナック室にX線装置を設置することの利点

われわれが考えるライナック室内にX線装置を設置する利点は以下の通りである。

- 1) ライナックと同一治療寝台を用いることができるため、患者は部屋を移動する必要がない。
- 2) 治療寝台を一番低くした状態で撮影できるので、状態のあまりよくない患者でも、比較的安全に計画が可能である。
- 3) 診断用X線装置はシミュレータと比べ安価であり、導入しやすい。
- 4) 天井走行式のため、使用しないときは部屋の端に移動しておくことができ、使用施設の空間を有効利用できる。

## 4. 結語

今回、緊急照射に迅速に対応することを目的に、簡易型シミュレータを開発し、この有用性について検討した。この装置は緊急照射のための治療計画を行う上で、臨床上十分な精度を担保できることが確認できた。シミュレータは治療装置と同室設置であり、患者は移動することなく同一寝台上で治療計画と治療を実施でき、痛みの強い患者、緊急照射の必要な患者に対する治療計画において、有効な方法の1つである。

## 参考文献

- 1) 中川恵一：がんは放射線治療で治す。エム・イー振興協会，2007.
- 2) 週刊朝日臨時増刊：手術数でわかるいい病院 2008全国&地方別ランキング。週刊朝日，2007.
- 3) 大西洋：特集2．最先端放射線治療法とその適切な運用。Rad Fan. 5, 59-91, メディカルアイ，2007.
- 4) 日本放射線科専門医会・医会，日本放射線腫瘍学会，(社)日本医学放射線学会編：放射線治療計画ガイドライン2012年版。277-288，金原出版株式会社，2012.
- 5) 黒沢和敏 他．移動 X-TV を利用した治療計画：第22回日本社会保険医学会演説集，394，1984.
- 6) 熊谷孝三 編著：放射線治療における安全確保に関するガイドライン。47，日本放射線技師会出版会，2007.
- 7) 日本アイソトープ協会編：医療放射線防護関係法令集（アイソトープ法令集Ⅱ）。27-29，240，日本アイソトープ協会，2007.
- 8) 平岡真寛 他編．放射線治療マニュアル：541，中外医学社，2006.

**Original article****Development of the simple X-ray simulator  
in the treatment room for an emergency irradiation**

Koichi Shida<sup>1,2</sup>, Yoshitomo Yamauchi<sup>3</sup>, Kazuhiro Fuseya<sup>3</sup>  
Hiroyuki Muranaka<sup>1</sup>, and Yasuaki Sakano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Technology, Faculty of Health Sciences,  
Tsukuba International University

<sup>2</sup>Graduate School of Health Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

<sup>3</sup>Department of Radiological Technology, Tokyo Shinjuku Medical center  
(former Tokyo Kosei-nenkin Hospital)

**Abstract**

There are a lot of facilities which have no X-ray simulator. And there is radiation therapy equipment which a portal imaging device are not installed too, such as electronic portal imaging device (EPID) or on board imager (OBI).

In that facilities, when the case that the quickly irradiation such as bone metastases needs comes out, we will spend many times on a treatment planning. As result, this adds the burden on patients.

Therefore we developed X-ray simulator using the diagnostic X-ray equipment for the two-dimensional radiation therapy planning. This system is installed in the linear accelerator room. A grid for measurement is equipped to the front of X-ray tube.

We investigated the treatment planning precision of this equipment using a water equivalent phantom and a chest phantom. In the experiment which used water equivalent phantom, the grid was drawn exactly in the 1cm interval, there was almost no dependability of a position, and linearity was kept. In the experiment which used the chest phantom, the grid could do the confirmation of the target, the creating of a field easily, being drawn in the very high contrast.

The quick treatment planning and irradiation could be proved able to be contributed to by the simple simulator for the emergency irradiation.

**Keywords:** measurement grid, emergency irradiation, bone metastasis, X-ray simulator, two-dimensional radiation therapy planning.