

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19790908

研究課題名（和文） 呼吸同期照射による線量分布の歪みに関する研究

研究課題名（英文） Deformation of dose distribution using external gating radiotherapy

研究代表者

隅田 伊織 (SUMIDA IORI)

大阪大学・医学系研究科・特任助教(常勤)

研究者番号：10425431

研究成果の概要：

呼吸同期照射を実施する上で、待ち伏せ照射の場合、照射領域の設定幅に準じて、照射野辺縁部で線量分布の歪みが発生する。呼吸波形自体の再現性を向上するためには、音声指導に加えて、ヒトの呼気および吸気相を把握するための視覚的指導が有用である。フィルムを用いた線量分布の解析には、フィルムのスキャン方向依存性が濃度値に顕著に影響するため、一意に決定したスキャン方向で一貫しておく必要がある。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	400,000	0	400,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	900,000	150,000	1,050,000

研究分野:医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：放射線治療、呼吸同期、線量分布、動体ファントム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、高精度放射線治療の一つとして動きの伴う腫瘍をターゲットとした放射線治療がなされている。主として、肺・肝に対するものである。放射線治療の照射方法に関するアプローチとして、待ち伏せ照射、追跡照射、呼吸抑制照射、息止め照射が上げられる。

(2) 本研究では、呼吸同期照射として広く使用されている待ち伏せ照射に焦点を絞った。本照射方法では、ある設定された照射領域内に腫瘍が存在した時のみ、放射線が照射される仕組みであるが、現実的には照射領域にある程度の幅を設定しなければ、放射線が照射

されることはない。

(3) 照射領域に設定される幅は、線量分布の歪みを生じることが考えられ、本来予定される治療計画装置上の線量分布を正しく再現できているか把握する必要がある。

## 2. 研究の目的

(1) 呼吸同期照射を再現するために、動体ファントムを開発する。

(2) フィルムおよび動体ファントムを用いて、待ち伏せ照射を実施した場合の線量分布の歪みを定量的に評価する。

### 3. 研究の方法

(1) 呼吸に伴う腫瘍の動きは等速度ではなく、毎回決まった軌跡を辿らない。これまでに腫瘍の呼吸性移動を模擬したファントムがあるが、等速度の動き、ある決まったパターン軌跡のみに動く。本研究では、3次元動体ファントム（模型）の作成を行なった。これにより、個々の患者に合わせた腫瘍の呼吸性移動を再現できる。

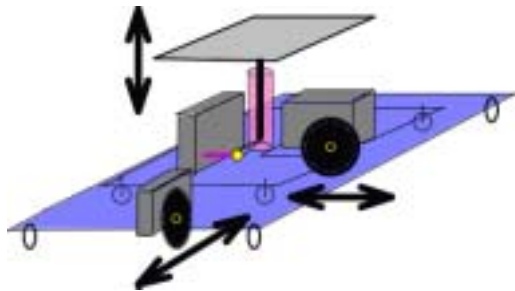


図1 3次元動体ファントム設計図

上図1のとおり、ラジオコントロール用サーボモータを3個使用した。各モータの振角： $\pm 60$ 度、トルク： $0.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ とした。モータを動体ステージに取り付けた。モータ回転軸にゴム製タイヤを装着し、モータの回転角度に対してタイヤ半径を考慮することにより、動体ステージの移動を可能とした。垂直方向の制御には、モータ回転軸に小型アームを取り付け、槓子の原理を利用してテーブルの上下運動に変換した。3個のサーボモータは1つの制御基盤により、独立して回転角度を制御できるよう、プログラム化した。プログラム開発環境は、Borland社Delphi5.0を使用した。

(2) 呼吸信号の取得



図2 患者呼吸データの取得方法

患者の呼吸データの取得は、Varian社のRPM(Real-time Position Management) respiratory gating systemを用いて赤外線反射マーカの座標データを得た。本システムは、腹壁の動きをリアルタイムに監視できる

システムである。腹上に赤外線反射マーカを取り付け、赤外線カメラにてマーカの垂直方向の動きを得ることができる。得られたマーカ座標データをテキスト形式でファイル出力した。

(3) フィルムの濃度-線量変換曲線の作成  
フィルムはGAFChromic film type EBTを使用した。本フィルムは、カタログ値として、吸収線量0-800 cGyまで対応する。

通常、放射線治療では1回の処方線量が200 cGyであることから、0-300 cGyまでを25 cGy間隔でフィルムに対して照射した。

照射条件は、水等価固体ファントムを使用し、Source-Axis-Distance: 100 cm, Depth: 5 cmにフィルムを配置し、各線量に応じたモニタユニット値をもとに照射した。

照射後24時間経て、フラットベッドスキャナにてフィルムスキャンした。読み取り条件は、色補正なし、16bitモノクロ形式とし、TIFF形式で出力した。スキャン方向は、フィルムを0および90度回転、ランダムに方向を変えたスキャンの3通り行った。スキャン後のTIFF形式ファイルに対して、1辺15mmの関心領域を設定し、関心領域内の平均ピクセル値を濃度値として扱った。フィルム濃度値の取得および解析には自作アプリケーションを使用した(図3)。横軸に吸収線量、縦軸に濃度値をとり、グラフ化した。

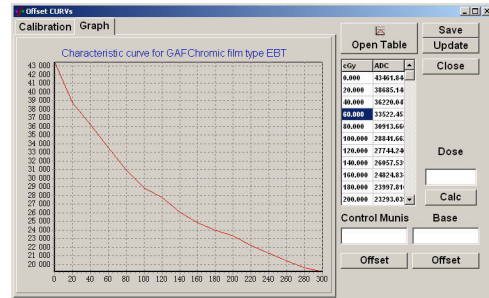


図3 濃度-線量変換曲線作成ソフト

(4) 3次元動体ファントムを用いて、呼吸信号に従って、フィルムに対する照射を行った。使用した呼吸波形を下図に示した。

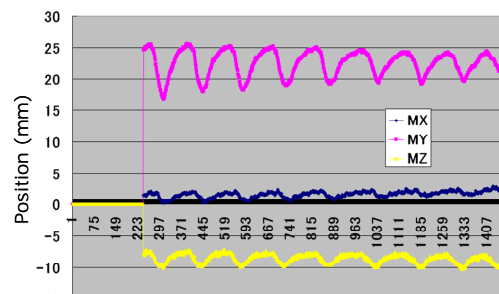


図4 赤外線マーカより取得した呼吸波形

上図のピンク色で示したものが腹上に配置した赤外線反射マーカの座標データである。振幅は約 5 mm (20-25 mm) となった。



図5 フィルム装填用水等価固体ファントム  
3次元動体ファントム上にフィルムを装填した水等価固体ファントムを配置し、呼吸性移動を再現した。フィルム中心部に対して150 cGy 照射するための治療計画を作成した。治療計画装置から出力した計算線量プロファイルおよび計算線量分布に対して、フィルムを用いて実測した線量プロファイルおよび線量分布の比較を行った。

(5) 音声指導および視覚的指導による呼吸波形再現性を検討した。一定の間隔で“息を吸って”あるいは“息を吐いて”を繰り返すアプリケーションを開発した。



図6 音声指導ソフト

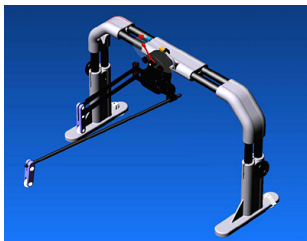


図7 視覚的指導ツール

上図6は、ヒトの吸気時間、呼気時間を自由に設定可能なものとし、吸気および呼気のタイミングを比率を変えることで、詳細に設定可能なものとした。また、上図7は、呼気および吸気の位相レベルを視覚的に捉えることが可能なツールである。これを用いて、被

験者自身がどのレベルまで息を吸うべきか、あるいは吐くべきか、目視にて確認できる。

比較検討項目として、健常人に対して、図2に示したRPMシステムを用いて、腹面の移動量を計測した。データ取得パターンは、自然呼吸、音声指導ソフトを用いた場合、視覚的指導ツールの場合の計3通りとした。呼吸波形の計測時間は30秒とした。呼吸波形再現性の評価は、波形振幅および吸気あるいは呼気相のばらつきとした。

#### 4. 研究成果

(1) GAFChromic film type EBT の濃度-線量変換曲線

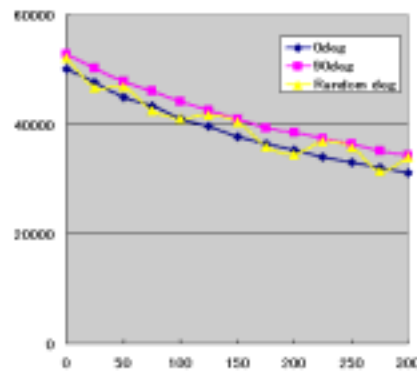


図8 フィルムのスキャン方向依存性  
上図8は、フィルムの濃度(縦軸)-線量(横軸)曲線を示した。スキャン方向を0および90度に変化させた場合、濃度値に一貫性のある乖離が明らかとなった。ランダムに回転させた場合、0および90度の濃度範囲内に収まった。

(2) 3次元動体ファントムを用いた線量分布の比較

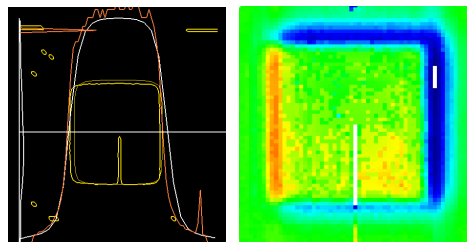


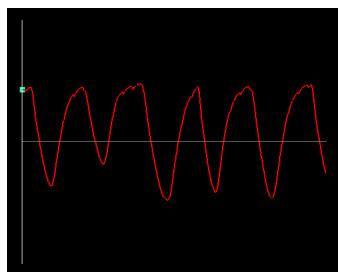
図9 計算線量プロファイルおよび、相対線量誤差

上図左は、黄色細線：計算線量分布、黄色太線：実測線量分布を示す。白線および橙線は、線量分布中心軸での線量プロファイル図を示す。図4で使用した振幅約5mmの運動に伴う線量分布の偏り、そして線量プロファイルのズレが見られた。

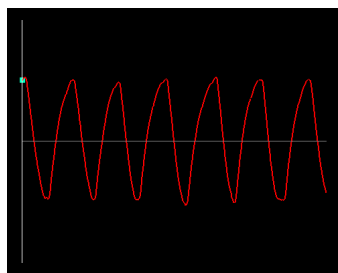
上図右は、計算線量に対する実測線量の相対線量誤差をカラー表示したものである。赤

色は計算線量に対して実測線量が高値となったもの、青色は低値となったものである。線量分布の偏りに従い、相対線量誤差を視覚的に確認できた。

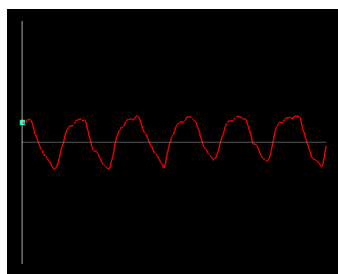
(3) 音声および視覚的指導を行った呼吸波形再現性の評価



自然呼吸



視覚的指導



音声指導

図 10 指導方法の違いによる呼吸波形変化  
 上図は、RPM システムを使用した場合の赤外線反射マーカ座標をグラフ化した。縦軸：呼吸振幅（プラス：呼気相、マイナス：吸気相）、横軸：時間を示した。自然呼吸では、吸気相のバラツキが示された。一方、視覚的指導を実施した場合、吸気相が安定したことを確認できた。これは、目視により被験者が、呼気あるいは吸気の設定された目標を再現可能であったことが理解できた。音声指導を実施した場合、吸気相、呼気相ともに振幅が小さくなった。振幅の違いは、自然呼吸：1.9 cm、視覚的指導：2.1 cm、音声指導：0.9 cm となった。

本研究により明らかとなったことは、線量分布の解析にフィルム、特に GAFChromic film を使用する場、スキャン方向に濃度値が著しく依存すること。呼吸同期照射を実施する上で、治療計画装置では反映されない動きに対する線量分布の歪みが存在すること。どの程度、線量分布が歪み、線量分布の位置的誤差が生じるか定量的に評価すべきであるこ

と。視覚的指導を施すことにより、呼気および吸気位相が揃い、呼吸波形の再現性が向上することであった。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

隅田伊織、物理士から見た IGRT の現実と問題点、映像情報メディカル、39、1112-1114、2007年、査読無

[学会発表](計2件)

隅田伊織、IGRT の物理的概説および QA、第6回九州放射線治療システム研究会、2008年1月26日、九州

Iori Sumida、Physics aspects in radiotherapy、IAEA 3DCRT training course in Japan、2008年7月9-13日、大阪

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

隅田 伊織 (SUMIDA IORI)

大阪大学・医学系研究科・特任助教(常勤)

研究者番号：10425431

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：