

CyberKnifeの 照射精度について



横浜CKセンター
井上 光広

サイバーナイフ2000例記念講演会 at 旭東病院 2008/11/15

照射精度



- 照射位置
- 投与線量
- 線量分布

照射精度には、照射位置、投与線量、線量分布に関するものがある。

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- (患者のセットアップ精度)
- 装置の幾何学的精度
- 患者の動き

照射位置精度には、主に計画に用いる画像の精度、標的体積の位置決め精度、患者のセットアップ精度、装置の幾何学的精度、治療中の患者の動きが関与する。(サイバーナイフの場合は、患者の位置認識をし補正するTarget Locating System (TLS)があるため患者のセットアップ精度は装置の精度に含まれる。)

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- (患者のセットアップ精度)
- 装置の幾何学的精度
- 患者の動き

計画に用いる画像には、高分解能で位置情報の正しい画像が望まれる。

計画に用いる画像の精度

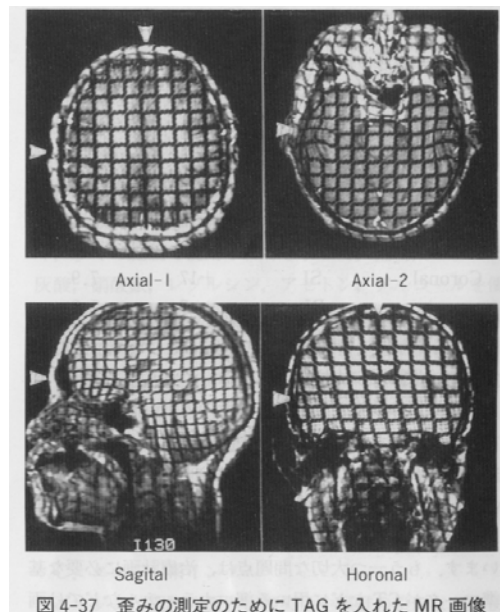


図 4-37 歪みの測定のために TAG を入れた MR 画像

出典：放射線治療技術マニュアル

これはMR画像の歪みを観察した画像であるが、撮像シーケンスにより差はあるもののMR画像では歪みがあるためMR画像を用いる際は注意が必要である。

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- **標的体積の位置決め精度**
- (患者のセットアップ精度)
- 装置の幾何学的精度
- 患者の動き

標的体積の位置決め精度は、腫瘍や危険臓器を囲む精度で主に画像の質、
囲む者に依存する。

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- **(患者のセットアップ精度)**
- 装置の幾何学的精度
- 患者の動き

従来の装置では、主に治療室内のレーザーポインタ、固定具、セットアップする術者に依存するが、サイバーナイフでは患者を位置認識し補正するTLSの精度に依存することになる。

患者のセットアップ精度

- Brown-Roberts-wells (BRW)フレーム



| Patient # | Vertical [mm] | Longitudinal [mm] | Lateral [mm] | Yaw [°] | Roll [°] | Pitch [°] |
|-----------|---------------|-------------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 1.6 | -0.9 | 0.5 | 1.1 | 0.1 | -0.4 |
| 2 | 1.1 | -1.1 | -0.7 | 0.4 | -0.1 | -0.4 |
| 3 | 1.2 | -1.3 | -0.0 | 1.1 | -0.2 | -0.5 |
| 4 | 1.0 | -1.0 | -0.4 | 0.8 | 0 | -1.1 |
| 5 | 0.2 | -1.0 | -1.4 | -0.3 | 0.5 | 1.1 |
| 6 | 0.6 | -0.6 | -0.7 | 0.6 | 0.2 | -1.1 |
| 7 | 1.3 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | -0.2 |
| 8 | 1.4 | -1.4 | -0.4 | 0.3 | -0.1 | -0.1 |
| 9 | 1.0 | -1.1 | -0.8 | 0.4 | 0.2 | -0.6 |
| 10 | 0.3 | -0.6 | 0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.7 |
| Avg | 1.0 ± 0.5 | -0.9 ± 0.5 | -0.4 ± 0.5 | 0.4 ± 0.5 | 0.1 ± 0.5 | -0.4 ± 0.5 |

Improving Localization of Frame-Based Stereotactic Radiosurgery With Image Guidance

Karen M. Sokolov UCLA

これは、従来の浸襲的な固定具(定位フレーム)を用いたときのセットアップエラーを評価したもので2008年のASTRO (American Society of Therapeutic Radiation Oncology)で発表されていたものである。従来の方法では、浸襲的な定位フレームを用いた場合でもこの程度のセットアップ誤差が生じていることを示している。

患者のセットアップ精度



| direction | BRW | Long | Short |
|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| Vertical (mm) | 1.0 ± 0.5 | 0.0 ± 0.8 | -0.2 ± 0.3 |
| Longitudinal (mm) | -0.9 ± 0.5 | 0.3 ± 1.0 | 0.9 ± 0.9 |
| Lateral (mm) | -0.4 ± 0.5 | 0.8 ± 1.1 | 0.2 ± 0.5 |

BRW : Brown-Roberts-Wells フレーム

Long : Brain-Lab マスクシェルシステム Long タイプ

Short : Brain-Lab マスクシェルシステム Short タイプ

脳定位照射におけるマスクシェルシステムの固定精度について

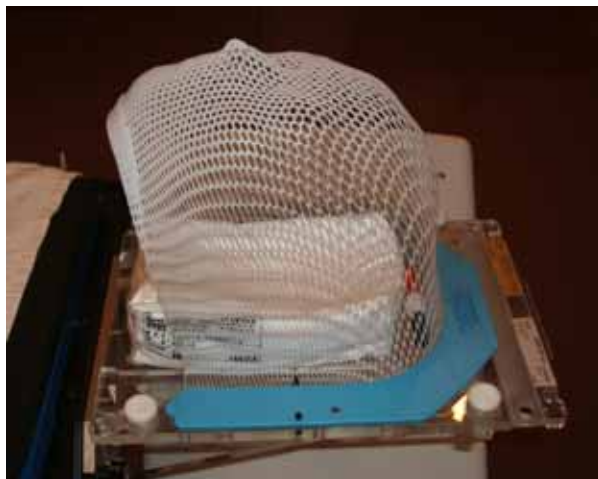
松本 賢治 近畿大学医学部附属病院

放射線治療かたろう会誌12号

これは、非浸襲的な固定具を用いたときのセットアップエラーを評価したものと前述の浸襲的な固定具のセットアップエラーを比較したものである。浸襲的な固定具と比較するとエラーのばらつきが観察される。

患者のセットアップ精度

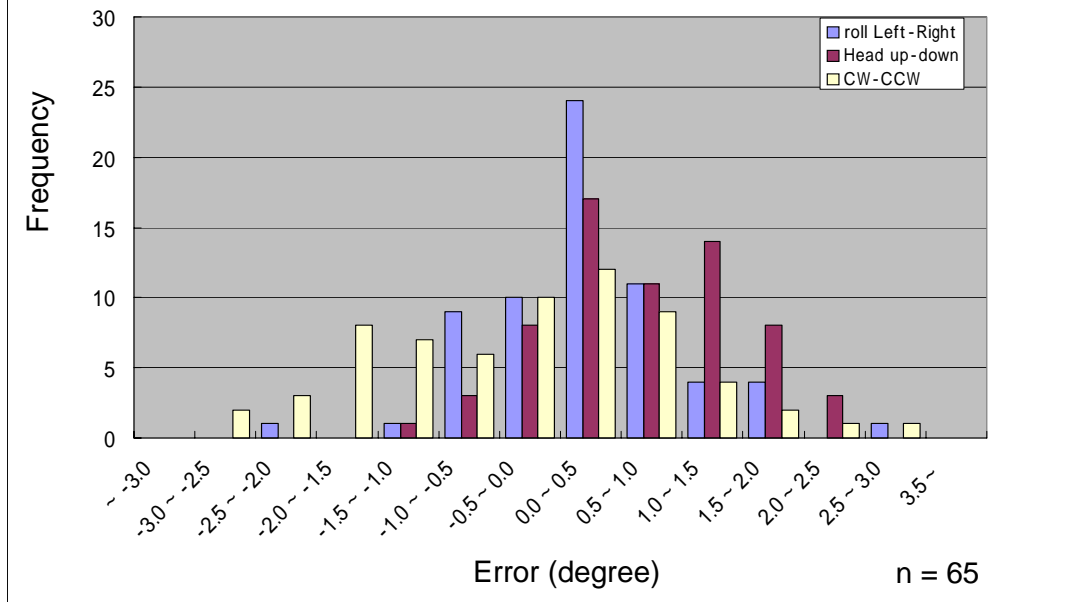
- シェル + バキュームピロー -



横浜で採用している固定具のセット

患者のセットアップ精度

- シェル + バキュームピロー -



横浜でのセットアップエラー（回転成分のみ）を示す。左右回転ではエラーは小さいが、時計・反時計回りのエラーは大きく65症例中20例で1度を超えていた。サイバーナイフでは、治療中に認識された量だけ補正され照射されるので、ここに示すエラーが照射誤差とはならない。

患者のセットアップ精度



| direction | BRW | Yokohama |
|--------------------------|----------------|----------------|
| CW-CCW (degree) | 0.4 ± 0.5 | -0.3 ± 1.2 |
| Roll Left-Right (degree) | 0.1 ± 0.5 | 0.2 ± 0.8 |
| Head Up-Down (degree) | -0.4 ± 0.5 | 0.7 ± 0.8 |

これは、横浜での固定具を用いたときのセットアップエラーを評価したものと前述の浸襲的な固定具のセットアップエラーを比較したものである。浸襲的な固定具と比較するとエラーのばらつきが観察される。

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- (患者のセットアップ精度)
- **装置の幾何学的精度**
- 患者の動き

阿部班では装置の照射中心精度1mm以内、診療報酬算定の上で定位放射線治療の根拠となる照射中心の精度2.0mm以内という基準がある。

照射位置精度



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- (患者のセットアップ精度)
- 装置の幾何学的精度
- **患者の動き**

照射位置精度の確認

- E2E -



- 計画に用いる画像の精度
- 標的体積の位置決め精度
- (患者のセットアップ精度)
- 装置の幾何学的精度
- 患者の動き

サイバーナイフでは照射位置精度の確認にEnd to End (E2E)を行っている。これは、患者治療と全く同じ行程で行われCT撮影から照射までのすべての幾何学的誤差を含めた評価が可能である。

照射位置精度の確認

- E2E -

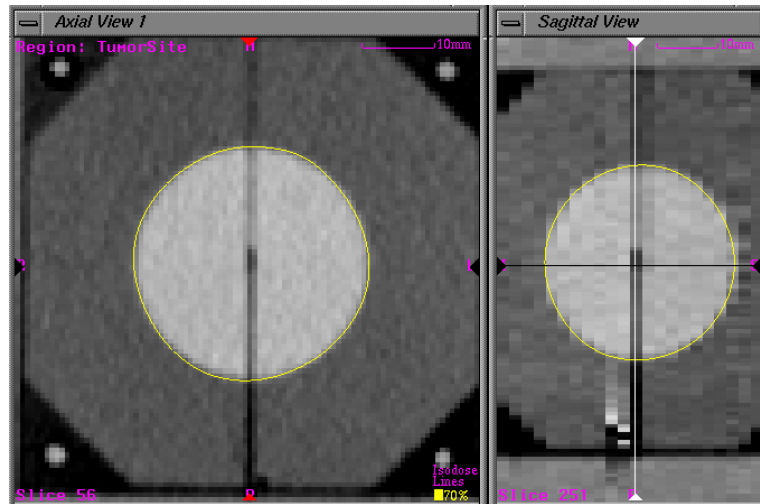
- フィルムをボールキューブにセットし、ファントムにいれる。
- ファントムに対し照射計画をたて、照射を行う。



E2Eでは写真(上)のhead-shaped phantomとボールキューブを用いる。ボールキューブ(写真(下))はABSプラスチックで出来ており、その中心部に正確にアクリル球が配置されています。フィルムを写真のようにクロスさせる形でそれぞれのブロックで挟むようにします。このボールキューブをファントムにセットし患者と同条件にてCT撮影を行う。

照射位置精度の確認

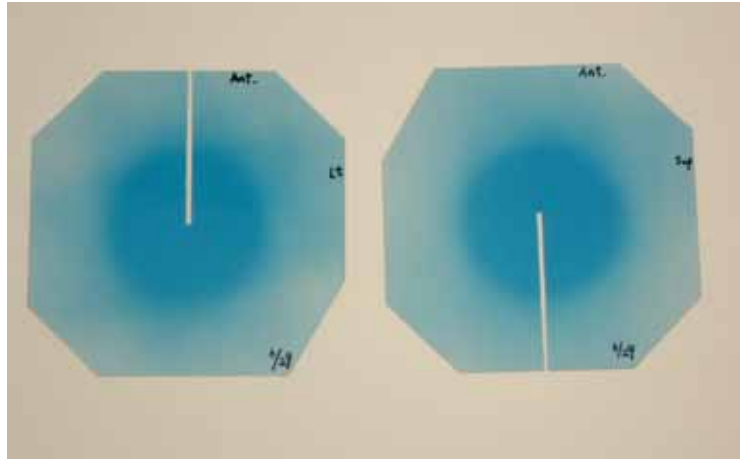
- E2E -



アクリル球はこのようCT画像上ではっきりと見え、これをターゲットとして照射計画をたて(通常70%アイソドーズラインできれいに囲める)照射を行う。

照射位置精度の確認

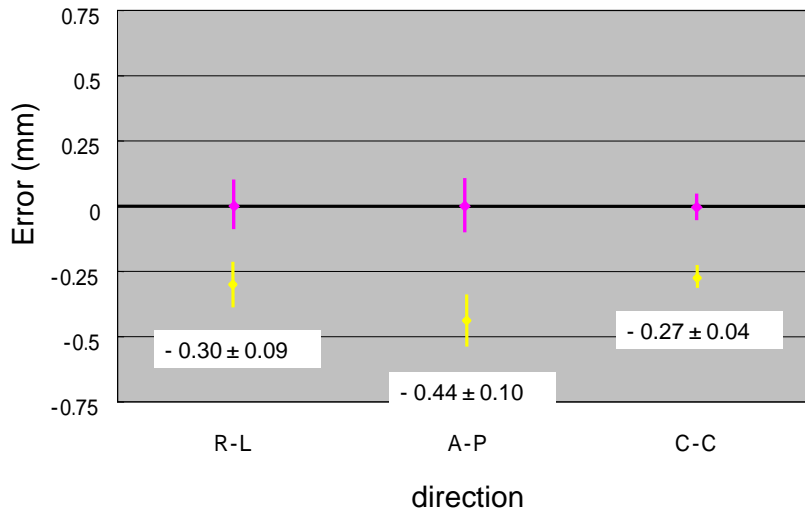
- E2E -



照射後のファントムよりフィルムを取り出し画像解析ソフトにてアクリル球の面積に一致する面積を持つ濃度部分を閾値処理し、閾値処理した部分の重心とアクリル球の中心との変位で照射位置誤差を求める。

照射位置精度の確認

- E2E -



これは横浜の装置設置時のE2Eの結果を平均と標準偏差をグラフ(黄色)にしたものであるが、サイバーナイフではロボットを採用しているため、ソフト上より平均誤差を0(ピンク)にしてやるように補正をかける事が可能である。

照射位置精度の確認

- E2E -



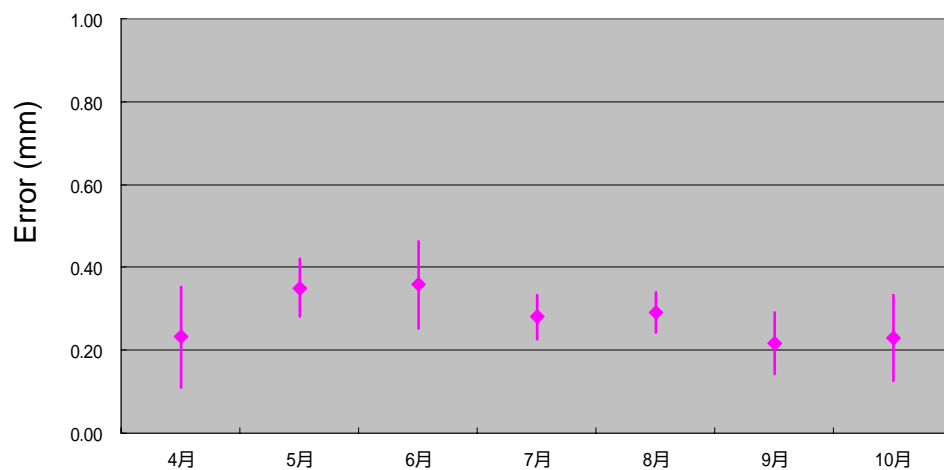
| Period | Median (mm) | Min (mm) | Max (mm) |
|---------------|----------------|-------------|-------------|
| install (n=3) | 0.60 | 0.46 | 0.74 |
| 1st (n=8) | 0.26 | 0.18 | 0.67 |

$$\text{Error} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

表のinstallは設置直後のE2Eの結果で、その結果をもとにソフト上より補正をかけ、その後に行ったE2Eの結果が下段である。Medianが0.6から0.26に改善された。

照射位置精度の確認

- E2E -



n = 41

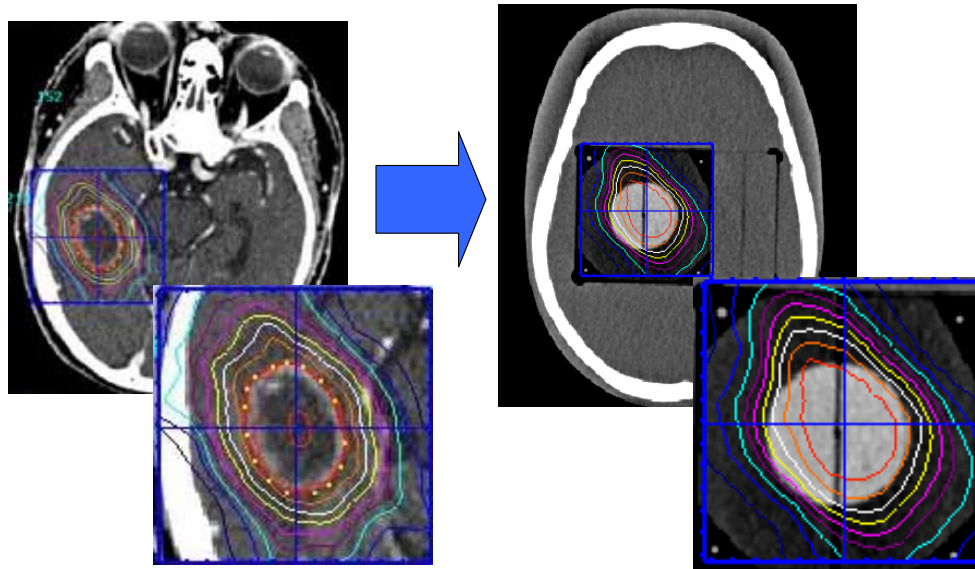
平成20年度に行った41回のE2Eの結果を示す。照射位置誤差は0.2 ~ 0.4mmの範囲である。

照射位置精度



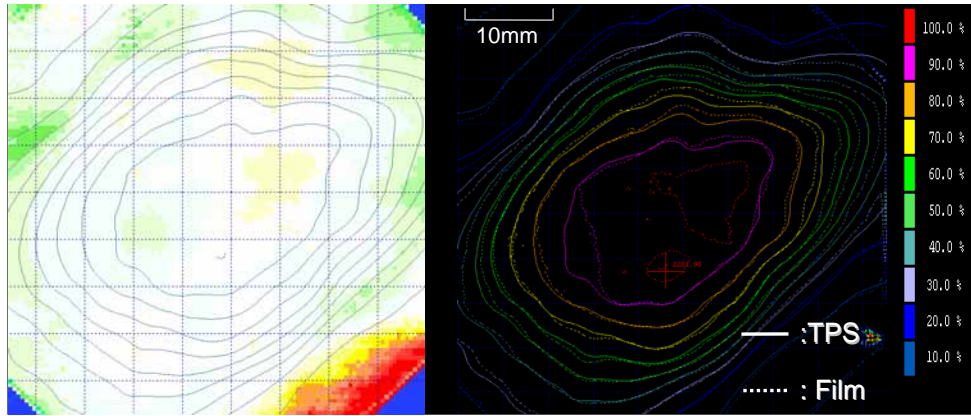
計画画像のCT撮影から照射までの全ての幾何学的誤差を含んだ照射位置精度は0.5mm以内であり、診療報酬算定の上で定位放射線治療の根拠となる照射中心の精度2.0mm以内という基準を十分満たしており良好である。

線量・線量分布の精度



線量・線量分布の評価は、患者用プランをファントム上に移行しファントムに照射を行い照射後のフィルムを取り出し解析する。

線量・線量分布の精度

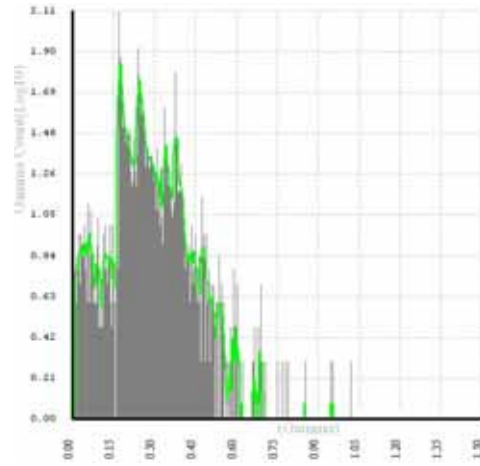
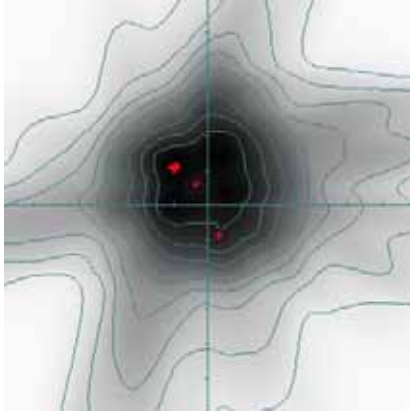


線量評価

線量分布評価

スライドは結果の一例である。当院の装置では90%アイソドーズラインまでは少しズレ、80%以下では良く一致してくるという傾向があるため、腫瘍辺縁を90%以上では囲まないよう計画を立てるようにしている。

線量・線量分布の精度

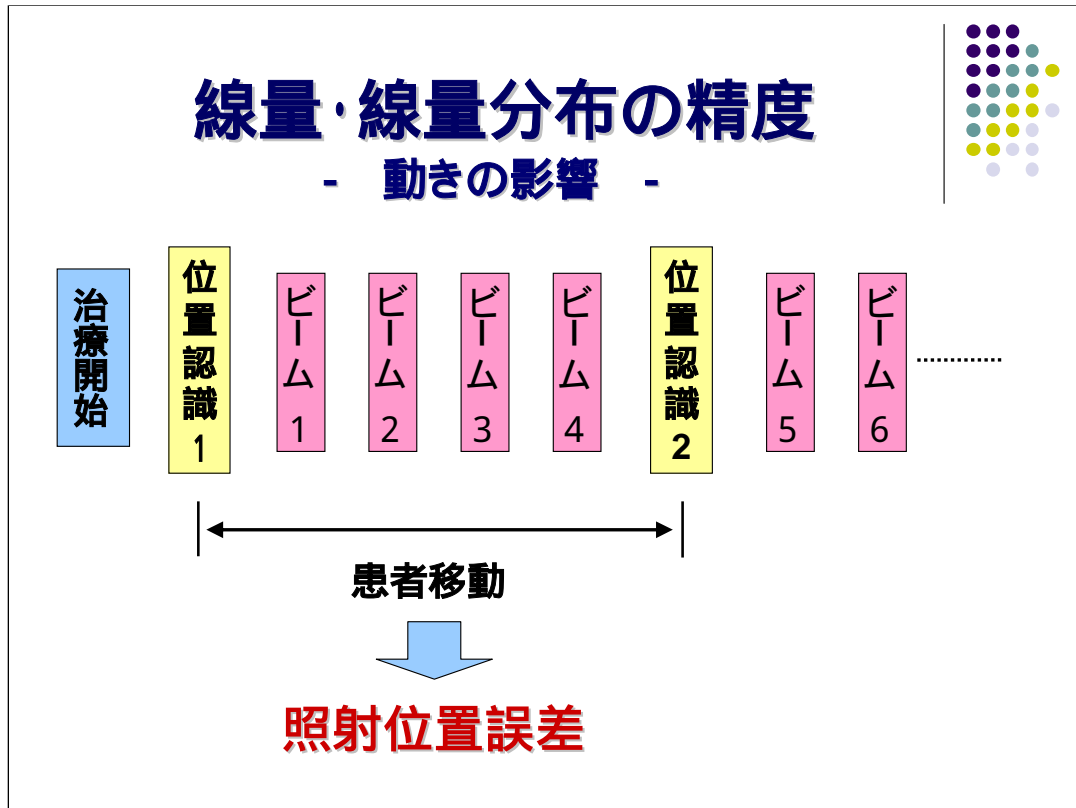


Gamma Method

最近は、Gamma Methodにて評価を行っている。

線量・線量分布の精度

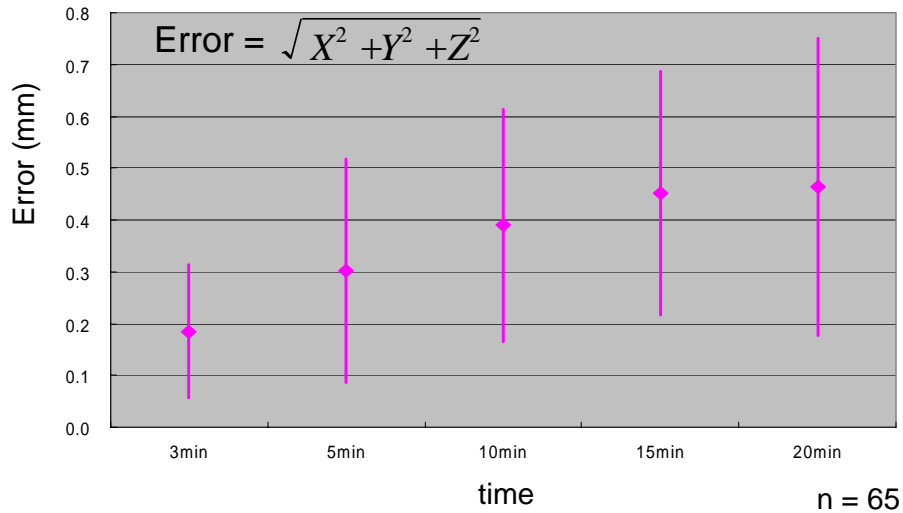
- 動きの影響 -



治療中の患者移動量は照射直前にTLSにて認識されるが、横浜では概ね4ビームに1回の割合で位置認識を行っており、認識をするまでの間に患者が動いた場合は照射誤差を生じる。

線量・線量分布の精度

- 動きの影響 -

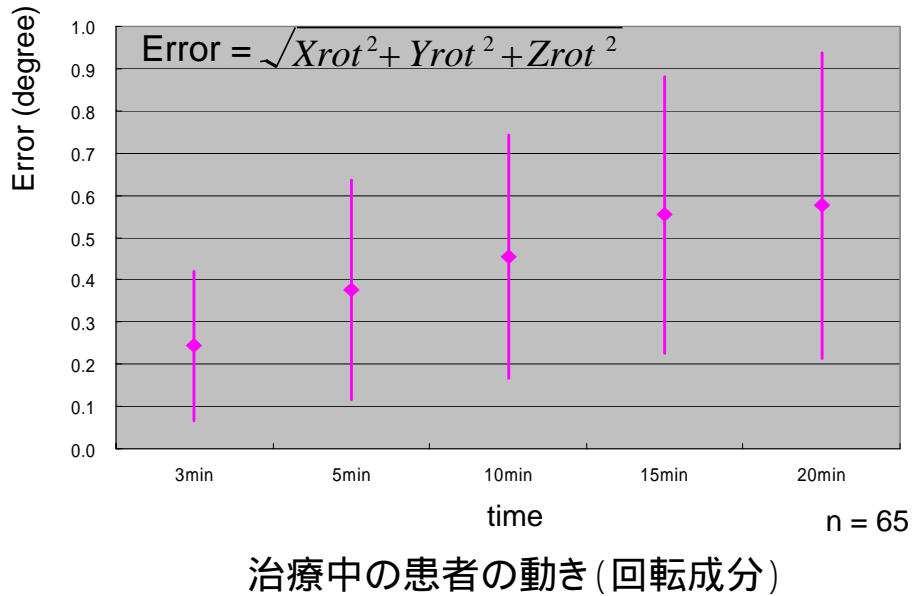


治療中の患者の動き (平行移動成分)

治療開始より時間の経過とともに平行移動成分の患者移動量は増加していく。

線量・線量分布の精度

- 動きの影響 -



治療開始より時間の経過とともに回転成分の患者移動量も増加していく。

線量・線量分布の精度

- 動きの影響 -



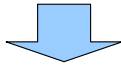
対象は2007年11月～2008年2月までに
当院CKにて治療した166例(年齢:6～90
歳、中央値62歳)。

線量・線量分布の精度

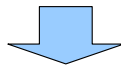
- 動きの影響 -



装置に残されたlogより治療中にTLSが
認識した患者位置を抽出



位置認識間の患者移動量を求めた

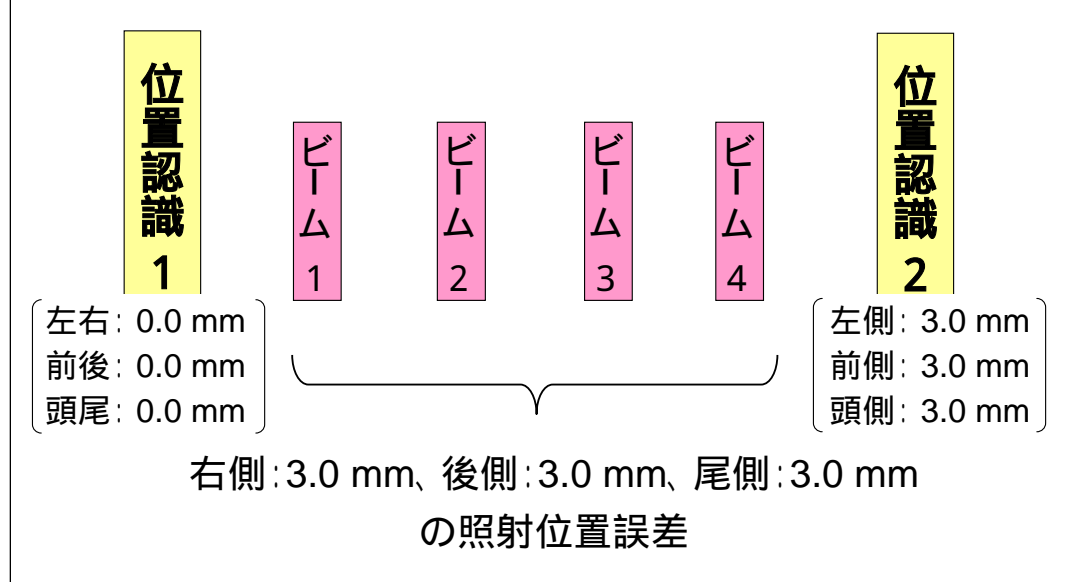


ShioRISにて位置認識間の患者移動量に
より生じた照射誤差を解析

装置に残されたlogより治療中の患者移動量を抽出し位置認識間の患者移動量を求め、ShioRISにて位置認識間の患者移動量により生じる線量誤差を計算した。

線量・線量分布の精度

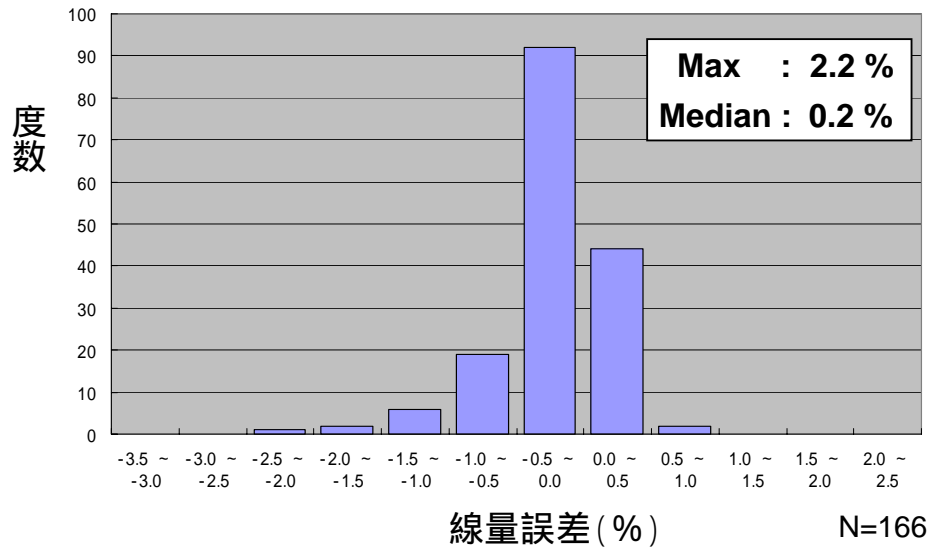
- 動きの影響 -



今回の評価では、例えば最初の位置認識で各軸方向とも0.0mmであったものが次に認識させた時に左側に3mm、前額側に3mm、頭側に3mm患者が移動していた場合、ビーム1～4全てで右側に3mm、背側に3mm、尾側に3mm誤差を持ち照射したものとして評価した。回転に関しても同様に処理しShioRISで線量計算した。

線量・線量分布の精度

- 動きの影響 -



D95での線量誤差の度数分布

定位放射線治療の線量指標となるD95の線量では166例中157例の約95%が ± 1.0 以内の誤差で収まっていた。

線量・線量分布の精度



線量分布に関しては80%以下では良く一致している。線量誤差に関してはほぼ5%以内である。

また、治療中の患者移動により生じる誤差は、ほぼ1%以内である。

CyberKnifeの照射精度



- 照射位置精度は0.5mm以内である。
- 線量・線量分布の精度も良好である。
- 患者移動により生じる線量誤差は、
ほぼ1%以内である。



とても横浜とは思えない横浜サイバーナイフセンターの周辺の様子