

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K16723

研究課題名（和文）臓器位置変動に対応した放射線治療品質管理システムの構築

研究課題名（英文）Development of a Quality Assurance System for Organ Position Variability

研究代表者

鶴田 裕輔（Tsuruta, Yusuke）

京都大学・医学研究科・技術職員

研究者番号：40645587

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：定位放射線治療では、小さな腫瘍に対し高線量を照射するため、照射時の位置精度を正確に保つことが重要である。本研究では、自作のプログラムを使用することにより、定位放射線治療実施時の位置誤差を考慮した実績線量分布を作成することに成功した。また、この実績線量は計画時と同等の線量が照射できていることが確認できた。本研究の内容については、二編の英語論文および国際学会で成果報告することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療の品質管理は、これまでは主に治療開始前に医師が立案した治療計画の物理的・技術的な妥当性を判断することであった。本研究では、照射実施時の患者位置データを考慮して、実績線量分布を作成することができた。このことは、我々が示したデータが放射線照射後の品質管理の一つとして確立できる可能性があることを示唆している。本研究のデータを臨床成績とあわせて解析することで、治療計画のさらなる高精度化に寄与する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In stereotactic radiotherapy, the positioning accuracy during irradiation is very important because stereotactic radiotherapy delivers ablative dose to small tumors. In this study, we succeeded in generating actual dose distributions for multiple metastatic brain tumors by using an in-house program that takes into account positional errors during irradiation. Our research showed that the actual dose distributions were equivalent to the planned dose distribution.

研究分野：医学物理

キーワード：定位放射線治療 高精度放射線治療 品質管理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

放射線治療において、計画された線量を患者に正しく投与するためには、毎回の照射時の状態(体位、患者位置、体内臓器の形状や位置)を治療計画時と同じように再現することが重要である。これらのうち、体位および患者位置の再現性は、患者固定具や画像誘導放射線治療の普及により向上した。しかし、体内臓器の形状や位置の変形・変動を治療計画時と同様にすることは困難であり、現状の放射線治療ではこの変化を考慮できていない。これは、放射線治療計画に使用されるCT画像が静止画であり、計画用CT画像取得時の体内臓器の状態が当該患者にとって最も代表的な状態であるかを判定できないことに起因する。

一方で、照射技術の高精度化に伴い、立案された治療計画の妥当性を事前に評価することが世界的に推奨されている。治療計画の事前検証では、治療計画自体の物理的・技術的妥当性は検証できているが、体内臓器の位置変動や形状変化など実際の照射毎に起こり得る患者由来の不確かさを加味した評価(放射線照射後の評価)ができていないという問題があった。放射線治療をさらに高精度化するには、放射線照射後の実績を評価し、その結果を治療計画にフィードバックすべきである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、体内の臓器位置変動に対応した放射線治療の品質管理システムを構築することである。具体的には、照射時に使用する固定具を装着した状態での患者固定精度の評価、②積算線量分布の作成および計画線量分布との比較、として研究を実施した。

3. 研究の方法

多発転移性脳腫瘍に対して単一アイソセンター強度変調放射線治療を実施した患者を対象として、熱可塑性プラスチック製マスクで 15 分間固定し、固定精度を評価した。位置確認には、X 線画像を取得するため、患者には被ばくをとまなうこととなる。十分に被ばく線量を評価したうえで、本研究では三分間隔で X 線画像を取得し、固定精度を算出した。

②多発転移性脳腫瘍に対する単一アイソセンター強度変調放射線治療では、アイソセンターから離れた場所にある腫瘍は、回転成分の位置誤差の影響を強く受ける可能性がある。照射中に位置照合のために取得した X 線画像を使用して、腫瘍位置変位量 (ΔD) を算出し、腫瘍-アイソセンター間距離 (d) との相関を解析した。照射時の患者位置誤差を考慮した CT 画像を作成するプログラムを開発した。このプログラムを使用して作成した CT 画像に線量分布を計算し、合算することで積算線量分布とし、積算線量分布を計画線量分布と比較した。各線量分布より算出した各腫瘍の D99.5% および D0.5% を比較指標とした。

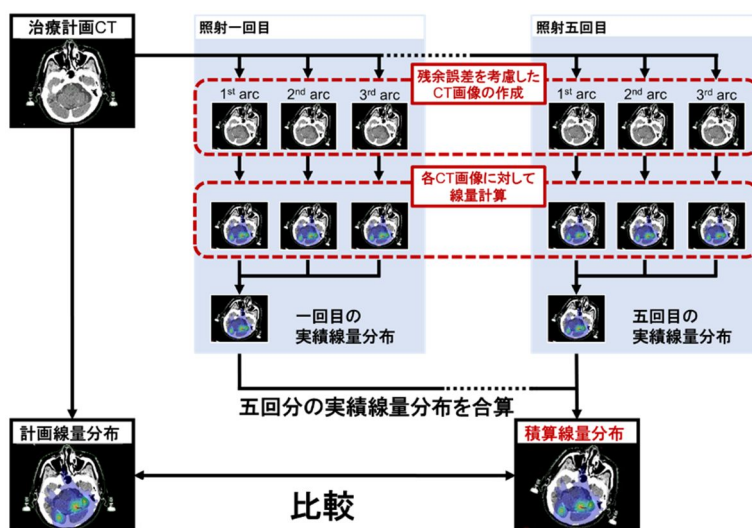


図 1. 研究②の概要

4. 研究成果

において、15 分間の評価で 1mm/1°以内であり、並進成分および回転成分の患者固定精度を定量的に評価し、固定し江戸は十分に高いことを明らかにした(図 2)。また、患者によっては突発的な動きを検出することもあったため、照射中には一照合および位置修正を定期的実施すべきであることが示唆された。本研究成果は、国際学術誌に採択された(Y Tsuruta et al. Phys. Med. 2021)。

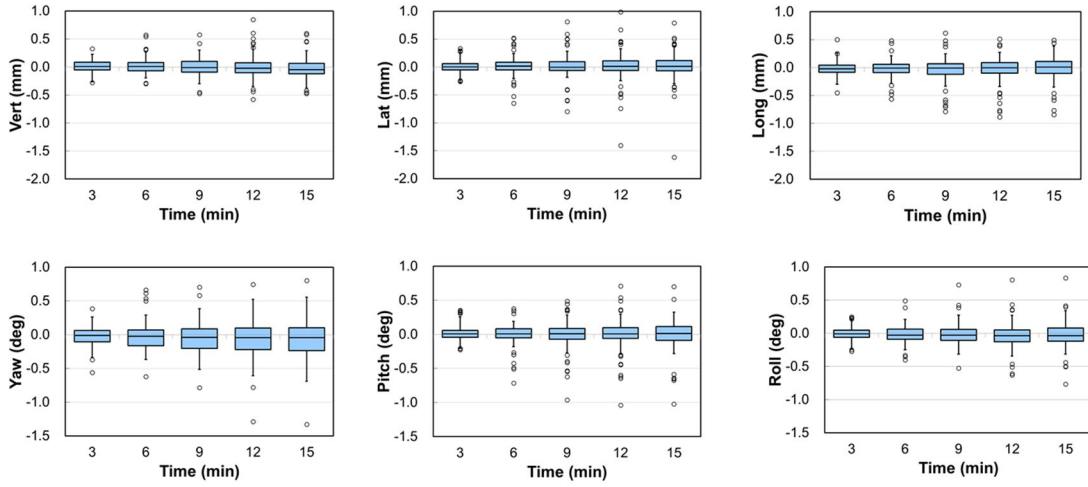


図 2. 15 分間の患者固定精度

では、腫瘍位置変位量 (ΔD)と腫瘍-アイソセンター間距離 (d)の間には相関は見られなかった (図 3) .
 自作のプログラムを使用することにより、定位放射線治療実施時の位置誤差を考慮した積算線量分布を作成することに成功した。計画線量分布と積算線量分布より算出した $D_{99.5\%}$ および $D_{0.5\%}$ には、統計的有意差がないことが明らかになった (図 3) . 本研究成果は、国際学術誌に採択された(Y Tsuruta et al. Phys. Med. 2022) .

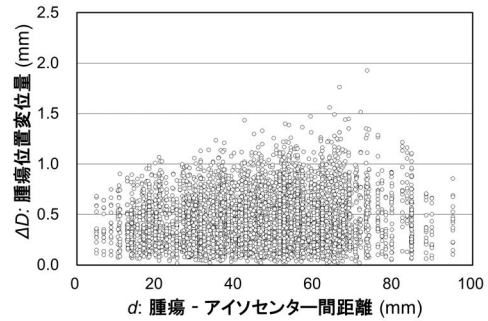


図 3. ΔD と d の相関

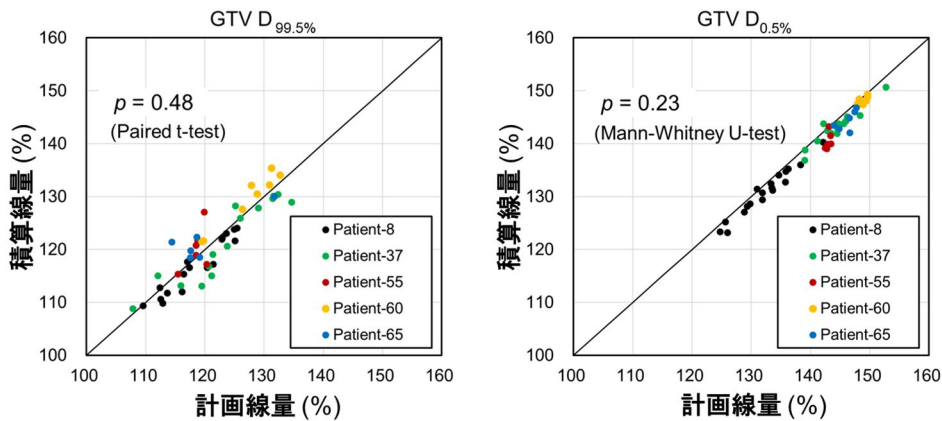


図 3. 計画線量と積算線量の比較

以上 および②の研究成果は、多発転移性脳腫瘍に対して定位放射線治療が高精度に照射できていることを示したものである。本研究成果と臨床成績を複合的に解析することで定位放射線治療のさらなる高精度化に寄与できることが期待できる。

なお、本研究の当初は、臓器変動をともなう上腹部領域や骨盤領域を対象として、これらの変動を考慮した画像を作成するプログラムを開発する予定であった。しかしながら、想定よりもプログラムの開発および修正にかなり時間を要することがわかったため、頭部領域に変更した経緯がある。プログラムの改修がすすめば、呼吸性移動を伴う領域への応用も期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yusuke Tsuruta	4. 巻 81
2. 論文標題 Evaluation of intrafractional head motion for intracranial stereotactic radiosurgery with a thermoplastic frameless mask and ceiling-floor-mounted image guidance device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 245-252
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2020.12.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yusuke Tsuruta
2. 発表標題 Evaluation of the displacement of the target position caused by residual setup errors in stereotactic radiosurgery with single-isocenter volumetric modulated arc therapy for multiple brain metastases
3. 学会等名 AAPM 2021 63rd Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴田裕輔
2. 発表標題 フレームレスマスクを使用した脳定位放射線治療におけるintrafractional motionの評価
3. 学会等名 第29回日本定位放射線治療学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------