

令和 5 年 4 月 28 日現在

機関番号：83901

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K15817

研究課題名（和文）放射線治療の照射位置精度向上を目指した患者のねじれを補正する新しいシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a new twist correction system aimed at improving irradiation position accuracy in radiotherapy

研究代表者

清水 秀年（Shimizu, Hidetoshi）

愛知県がんセンター（研究所）・分子腫瘍学分野・研究員

研究者番号：00796914

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000 円

研究成果の概要（和文）：頭頸部癌に対する放射線治療では、患者の頸部の回旋、前後屈などの“ねじれ”により標的が変形するため、標的形狀よりも広い範囲に放射線を照射することで標的の放射線量を担保している。照射する範囲の拡大による周辺の正常組織への線量増加を軽減するために、頸部のねじれを補正する技術の構築やねじれ補正システムの設計モデルの構築、有限要素法によるシステムの耐荷重性の評価を経て、患者の頸部の“ねじれ”を補正する新しいシステムを開発・製作した。本システムの利用により、さらに副作用の少なく、患者負担の少ない治療の実現が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

頭頸部がん患者の頸部のねじれを補正するシステムの確立によって、これまでに補正することが困難であった標的形狀の位置ずれを補正することができる。特に標的に対して限局的に放射線を投与し、その周囲に存在する正常組織への放射線量を低減することが可能である強度変調放射線治療との組み合わせにより、さらに効果的に周囲の正常組織の放射線量を低減できることから、本システムの利用により、さらに副作用の少なく、患者負担の少ない治療を提供することが可能になる。あるいは、標的の放射線量を増加することで、悪性度の高い標的の奏効率を高めることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In radiotherapy for head and neck cancer, the target can be deformed by the patient's neck rotation and flexion, necessitating dose delivery of a wider area than the target shape to ensure an adequate prescription dose. To mitigate the dose increase to surrounding normal tissues caused by the expansion of the dose delivery area, a new system was developed and fabricated to correct the twisting of the neck during treatment. This was accomplished by constructing a technology to correct the twist and designing the new system, followed by evaluating the system's load-bearing capacity using finite element analysis. The use of this system is expected to further reduce side effects and patient burden.

研究分野：放射線科学

キーワード：強度変調放射線治療 放射線治療 頭頸部 医学物理学 放射線科学 有限要素法 ねじれ補正 遠隔自動制御

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

がんの三大治療法の一つである放射線治療では、近年の急速な技術進歩による高精度化が進んでいる。強度変調放射線治療を用いることにより、標的に対して限局的に放射線を投与し、その周囲に存在する正常組織への放射線量を大きく低減でき、標的への総線量の増加も可能であることから治療成績の向上が報告されている。頭頸部がんに対する強度変調放射線治療は、従来の照射方法では困難であった脊髄などの正常組織を取り囲む形状の標的にも必要な線量を投与できる。また、耳下腺の線量低減が可能となり、唾液腺障害を減らすことで患者の生活の質を向上させることができる。強度変調放射線治療のこれらの恩恵を最大限に活用するためには、治療寝台上的患者の位置を放射線治療計画と同じ空間的位置に補正し、不必要な範囲に放射線が照射されないようにする必要がある。一般的には、寝台の並進 3 軸と回転 3 軸の移動により患者位置を補正するが、この方法では、頸部のねじれを補正できない。臨床現場では、頸部の回旋、前後屈などのねじれにより標的が変形するため、標的形状よりも広い範囲に放射線を照射することで標的の放射線量を担保している。しかし、これは、強度変調放射線治療の最大の利点である“標的に対する限局的な照射”を阻害する。

2．研究の目的

放射線治療における患者の頸部の“ねじれ”を補正する新しいシステムを開発・製作し、その動作精度を評価することで、頭頸部がん患者の頸部のねじれを補正するシステムを確立する。

3．研究の方法

(1) 頸部のねじれを補正する技術の構築

頸部のねじれ補正は、先行研究において応募者が取得した特許を使用した（図 1、特許 第 6606643 号：患者位置補正方法）。本機構は 2 つのプレート（頭頸部プレートとボディプレート）が回転中心で結合する構造を有する。各プレートはそれぞれの下にある調整ねじを動かすことにより、3 つの回転角度（pitch, roll, yaw）を形成することができる。これらの組み合わせにより、補正台上の患者のねじれを補正する[1]。

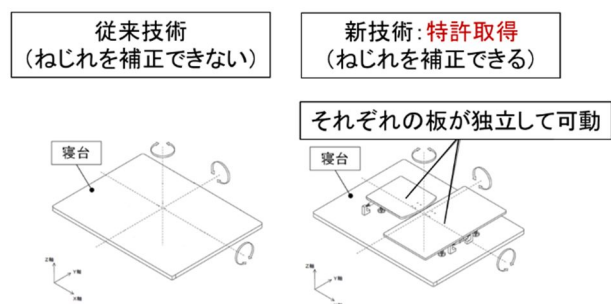


図1 従来技術と新技術の比較

(2) ねじれ補正システムの設計モデルの構築と開発

放射線の吸収・散乱がある材質は、放射線治療計画用 CT 画像上に疑似陰影（アーチファクト）を形成し、標的や正常組織の描出の妨げとなる。ねじれ補正システムに使用する基本材質はポリアセタール（物理密度：1.41 g/cm³）ポリエーテルエーテルケトン（物理密度：1.3 g/cm³）とした。また、寝台と補正台を固定する治具ならびに頭頸部の放射線治療に一般的に使用する樹脂性の患者用固定具を取り付けられる構造とした（図 2a）。補正台の頭頸部プレートとボディプレートにモーターユニットを取り付け、操作ペンダントを介して遠隔自動制御を可能にした（図 2b）。操作ペンダントは、それぞれのプレートに対して 3 つの回転角度（pitch, roll, yaw）を入力できるようにした。遠隔自動制御には、放射線の吸収や散乱がある金属を使用するが、放射線治療において放射線が照射される領域には金属を使用しないように設計した。

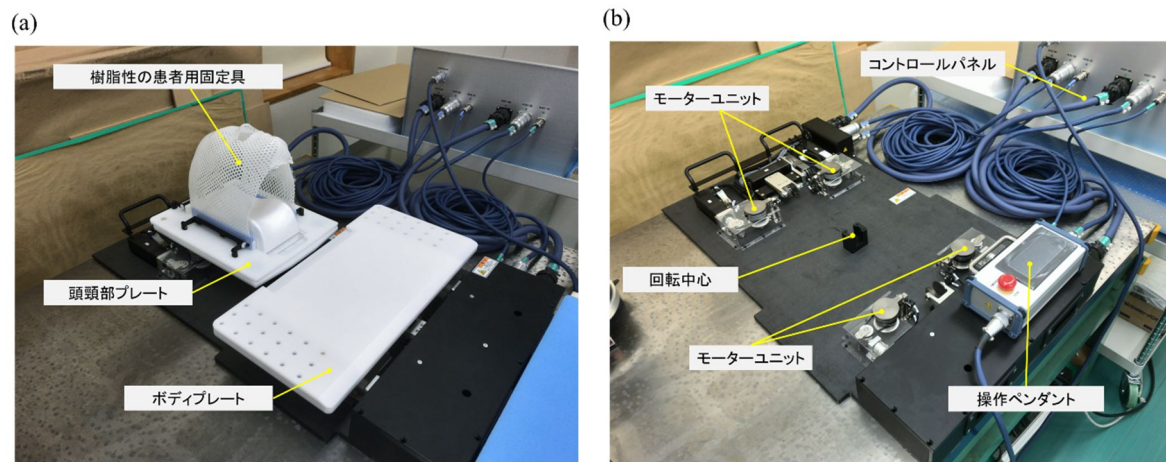


図2 ねじれ補正システムの外観[(a)患者用固定具の設置、(b)駆動部と操作ペンダント]

(3) 有限要素法による耐荷重性の評価

ねじれ補正システムのモデルをコンピューターにより設計し、ソフトウェア(Solidworks)を利用した有限要素法により実臨床で利用できる耐荷重性を備えているかを評価した。

(4) ねじれ補正システムの動作精度の評価

無荷重時における、ねじれ補正台の動作精度を保証するために、原点位置の再現性と操作ペダントの入力値に対する各回転量 (pitch, roll, yaw) の誤差を評価した。また、補正台の上に既知量のねじれを付加した人体模擬ファントム(頸部領域が非剛体の特注ファントム)を設置し、ねじれ補正システムにより、ねじれの補正が可能であるかを評価した。

4. 研究成果

(1) 有限要素法による耐荷重性の評価

図3は有限要素法の結果を示す。頭頸部プレートとボディプレートのそれぞれに100 Nと200 Nを荷重したときのたわみがカラーマップで示されている。図中の文字列「URES」がソフトウェア上での3次元変位を示している。頭頸部プレートとボディプレートの最大変位は、それぞれ0.355 mmと0.362 mmであった(図中の赤丸)。

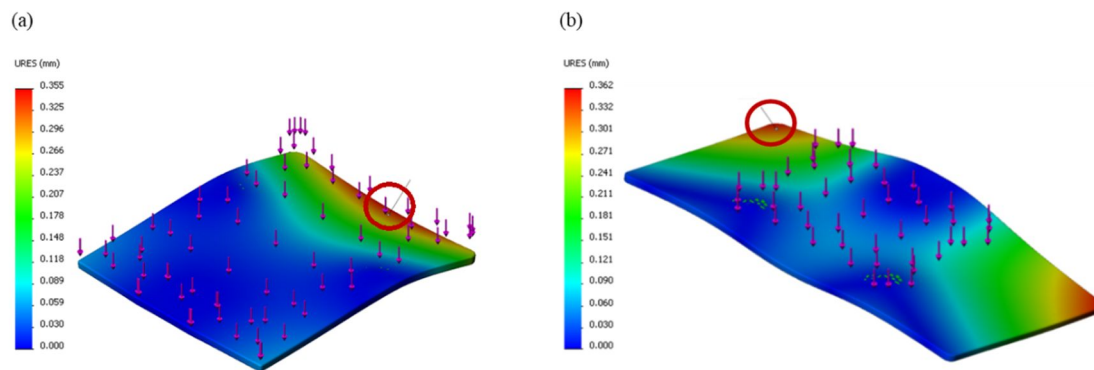


図3 荷重によるたわみ [(a)頭頸部プレートに対して100 N、(b)ボディプレートに対して200 Nの荷重の付加]

(2) ねじれ補正システムの動作精度の評価

ねじれ補正システムの頭頸部プレートの pitch, roll, yaw の原点位置の再現性(平均値±標準偏差)は、それぞれ $0.01^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ 、 $0.00^{\circ} \pm 0.02^{\circ}$ 、 $0.00^{\circ} \pm 0.00^{\circ}$ であった。ボディプレートでは、それぞれ $0.02^{\circ} \pm 0.02^{\circ}$ 、 $0.00^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ 、 $-0.01^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ であった。 $\pm 3.0^{\circ}$ および $\pm 1.5^{\circ}$ の入力に対する頭頸部およびボディプレートの回転誤差は、すべての回転軸で 0.03° 未満であった。

補正台の上に既知量のねじれを付けた人体模擬ファントムを設置し、ねじれ補正システムにより、ねじれが補正できるかを評価した結果、人体模擬ファントムの回転量に残余誤差があることが確認された。この相違を補正するためのプログラムの開発が今後の課題として残った。現在、残余誤差を正確に補正するためのプログラムを開発中である。

[1] Shimizu H, Sasaki K, Aoyama T, et al. Development of twist-correction system for radiotherapy of head and neck cancer patients. J Appl Clin Med Phys. 2019 Jul;20(7):128-134. doi: 10.1002/acm2.12667.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shimizu Hidetoshi, Sasaki Koji, Aoyama Takahiro, Tachibana Hiroyuki, Koide Yutaro, Iwata Tohru, Kitagawa Tomoki, Kodaira Takeshi	4. 巻 63
2. 論文標題 Parotid gland dose reduction in the hippocampus avoidance whole-brain radiotherapy using helical tomotherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 55～62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jrr/rrab107	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 -

1. 著者名 Shimizu Hidetoshi, Sasaki Koji, Aoyama Takahiro, Iwata Tohru, Kitagawa Tomoki, Kodaira Takeshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Evaluation of a new acrylic-lead shielding device for peripheral dose reduction during cone-beam computed tomography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BJR Open	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1259/bjro.20220043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Hidetoshi, Koide Yutaro, Sasaki Koji, Watanabe Yui, Haimoto Shoichi, Aoyama Takahiro, Tachibana Hiroyuki, Iwata Tohru, Kitagawa Tomoki, Kodaira Takeshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Dosimetric analysis on computed tomography myelography based treatment planning in stereotactic body radiotherapy for spinal metastases	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Medical Dosimetry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.meddos.2023.03.008	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4件（うち招待講演 1件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shimizu Hidetoshi, Sasaki Kouji, Aoyama Takahiro, Tachibana Hiroyuki, Koide Yutaro, Iwata Tohru, Kitagawa Tomoki, Kodaira Takeshi.	
2. 発表標題 Parotid gland dose reduction in the hippocampus avoidance whole-brain radiotherapy	
3. 学会等名 European Society for Therapeutic Radiology and Oncology 2021 (ESTRO2021)（国際学会）	
4. 発表年 2021年	

1. 発表者名 Shimizu Hidetoshi
2. 発表標題 Advanced Techniques in Radiotherapy 「Tomotherapy: Key Concept, Clinical Adaptation, and Recent Research Regarding the Treatment Planning」
3. 学会等名 South Asia Centre for Medical Physics and Cancer Research (SCMPCR) 5th E-learning Program (ELP-05) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shimizu Hidetoshi、Koide Yutaro、Sasaki Koji、Watanabe Yui、Aoyama Takahiro、Tachibana Hiroyuki、Iwata Tohru、Kitagawa Tomoki、Kodaira Takeshi
2. 発表標題 Change in spinal cord dose of treatment plan using CT myelography image in spine SBRT
3. 学会等名 European Society for Therapeutic Radiology and Oncology 2022 (ESTRO2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kitagawa Tomoki, Shimizu Hidetoshi, Aoyama Takahiro, Koide Yutaro, Iwata Tohru, Miyauchi Risei, Tachibana Hiroyuki, Kodaira Takeshi
2. 発表標題 Benefits for Head and Neck Positioning Using a Surface Image Guidance System
3. 学会等名 2022 American Society for Radiation Oncology (ASTRO) Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------