

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07692

研究課題名（和文）頭頸部がん個別化医療に向けた臨床情報とラジオミクス特徴量誘導適応放射線治療の研究

研究課題名（英文）Research on clinical information and radiomics feature-guided adaptive radiation therapy for personalized medicine for head and neck cancer

研究代表者

武田 賢（Takeda, Ken）

東北大学・医学系研究科・教授

研究者番号：60312568

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：頭頸部癌に対する放射線治療期間中の解剖学的変化に適宜対応し病変部への適切な照射と正常組織への過剰照射回避を行う適応放射線治療(Adaptive radiation therapy: ART)においては、その施行時期や回数およびARTの優先症例の選択が課題である。治療開始前の医用画像上の癌病変のラジオミクス特徴量と臨床情報から照射期間中の頭頸部体積縮小変化を予測して効率よくARTを行うための後方視的調査を施行した。臨床情報と癌病変のラジオミクス特徴量を組み合わせたモデルにより照射期間中の頭頸部体積の縮小変化を予測できることが示唆され、頭頸部癌に対するART優先症例選択の一助となる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

頭頸部癌の放射線治療期間内に線量分布上、軽視できない解剖学的変化を来すことがある。対策として治療計画を適宜修正する適応放射線治療(adaptive radiotherapy: ART)の有用性が提唱されているが全症例に対して行うのは困難であり、ART優先症例を事前に特定することが重要である。然し、ARTの優先症例特定や最適な施行時期等については不明な点が多い。本研究では、照射期間中の頭頸部体積変化に着目し、臨床情報と肉眼的腫瘍体積のラジオミクス特徴量を組み合わせたモデルにより、頭頸部体積が著しく縮小する症例を予測できる可能性を示した。本成果は頭頸部癌に対するART優先症例選択の一助となり得る。

研究成果の概要（英文）：Adaptive radiation therapy (ART), which responds appropriately to anatomical changes during radiotherapy for head and neck cancer and delivers appropriate irradiation to the lesion and avoids excessive irradiation to normal tissue, requires careful consideration of the timing, frequency, and priority of ART. One of the challenge is to select appropriately the targeted cases of ART. Based on the radiomics of cancer lesions on medical images and clinical information before the start of treatment, the head and neck volume reduction during the irradiation period is predicted and used to select ART cases. This retrospective study suggest that changes in head and neck volume can be predicted using a model based on clinical factors and radiomics features of gross tumor volume, indicating the possibility of assisting in the selection of ART priority cases for head and neck cancer. This result was reported in the academic journal.

研究分野：放射線治療学

キーワード：放射線治療 適応放射線治療 頭頸部癌 ラジオミクス特徴量

1. 研究開始当初の背景

放射線治療は臓器とその機能の温存、そして美容上の生活の質(QOL)保持の面で手術療法に比べて優位な点が多いことから、頭頸部癌の根治的治療の一環として行われてきた。放射線治療期間中は、照射すべき原発巣や病的腫大リンパ節等の肉眼的腫瘍体積(Gross tumor volume: GTV)、臨床標的体積(Clinical target volume: CTV)、計画標的体積(Planning target volume: PTV)に正確に照射し、リスク臓器(Organ at risk: OAR)へ過剰な照射を避けることが重要であるが、通常、頭頸部への根治的放射線治療は1ヶ月半程度の期間を要し、治療期間内においても治療効果による標的体積の著明な縮小や体重減少等が原因で線量分布上、軽視できない照射野内の著明な解剖学的変化を来す事例が報告されている¹⁻³。加えて、Stankiewiczらは、連日の照射位置照合用cone-beam computed tomography (CBCT)誘導放射線治療を施行した年間261症例中、21%で放射線治療再計画が必要であり、その内、頭頸部癌が19%と最頻であったと報告している⁴。この問題に対応するため、申請者らの施設では、是迄、放射線治療開始前に放射線治療計画CT(planning CT: pCT-1st)を撮像し、初回放射線治療計画による放射線治療を3~4週目程度迄行い、その後、放射線治療再計画CT(pCT-2nd)を撮像し直して、縮小等の解剖学および幾何学的な位置変化を来したGTVに合わせた放射線治療計画を作成し、残りの放射線治療を継続することで対応してきた。然し、従来の3次元原体照射(3D-CRT)ではOARへの過剰線量照射回避が十分ではなく、唾液腺被ばくによる口腔乾燥症等のQOL上の問題があるため、現在は3D-CRTに替ってより高精度な画像誘導強度変調放射線治療(intensity-modulated radiotherapy: IMRT)や強度変調回転放射線治療(Volumetric-modulated arc therapy: VMAT)を行うことで標的体積へのよりの確な照射やOARへの過剰線量照射の効率的な回避が可能となった。但し、IMRTやVMATはその急峻な線量勾配の性質のため、照射期間中の照射野内の解剖学的変化による標的体積への線量不足やOARへの過剰線量投与を引き起こし兼ねない短所を同時に併せ持つ。その対策として、必要に応じてその都度、放射線治療計画を修正もしくは新たに作成し直すadaptive radiation therapy (ART)の有用性が提唱されている²⁻³。然しながらARTを頭頸部癌全症例に行うのは費用や人的資源の問題から現状では困難であるため、ARTを優先的に行う症例探索を目的とし、ARTの基礎研究(放射線治療期間中に観察された頸部体積減少についての検討)を施行した。その結果、bulkyなリンパ節転移が照射期間中の頸部体積変化に関連している可能性が判明した⁵⁻⁶。更に照射期間中のGTVの縮小率が全生存率と相関していることを報告⁷した。但し、優先する症例の特定やARTを検討する最適な時期等については未だ不明な点が多いのが課題であった。頭頸部癌に対するARTとして症例毎に放射線治療再計画を行う時期と放射線治療計画の頻度を併せて最適化できれば、頭頸部癌へのARTの方針をより堅牢に固められる可能性がある。

同時に申請者らはART優先症例をより詳細に探索するため、近年、注目されているラジオミクス(Radiomics)に着目した。ラジオミクスは医用画像から定量的な特徴量を抽出し、機械学習や深層学習などのAI技術と組み合わせることで疾患の予後予測や治療効果予測、最適な治療法の選択などを解析する手法である。頭頸部癌の予後予測に関する報告は幾つか見られており⁸⁻⁹、放射線治療開始前にARTが有用な症例の予測を試みた先行研究も見受けられた¹⁰が、ラジオミクスを活用した報告は申請者らの知る限り、未だ少ないと思われた。

照射期間の途中で放射線治療の修正や新規の放射線治療計画を行わないと線量規定遵守が困難な不利益が生じる症例を高精度で選択しARTを優先して行うために、あらたな負担を強いることなく、事前に知り得る情報から有用な臨床因子およびラジオミクスの特徴量を特定することは、学問的意義があると考えた。本研究により、患者側の更なる負担軽減と医療資源の節約に繋げ、頭頸部癌ARTの最適化モデルの作成に繋げることを最終目標とした。

2. 研究の目的

治療開始前の医用画像上の癌病変のラジオミクス特徴量と臨床因子から照射期間中の解剖学的変化(頭頸部体積の縮小変化)を予測することで効率よくARTを行うための後方視的調査を行った。

3. 研究の方法

自施設の倫理委員会承認を得た上で、2018年から2020年の期間、根治目的あるいは術後再発に対する準根治目的で自施設にて外部照射を施行した頭頸部領域の癌疾患 255 症例を後ろ向き

に調査し、原発腫瘍が頭頸部癌でない症例(n = 6)、3D-CRTによる照射症例(n = 10)、原発巣のGTV primary (GTVp)、転移リンパ節のGTV nodal (GTVn)がpCT-1st上、認められない症例(n = 23)、不適切な輪郭描出(n = 2)、動注化学療法による治療症例(n = 4)、甚大なCTアーチファクトがある症例やCBCT撮像範囲が十分では無い症例(n = 38)を除外し、172症例を本研究の対象とした。何れもMonaco version 5.0 (Elekta社)で治療計画を作成し、全照射回で位置照合のためにCBCTを撮像し、Versa HD (Elekta社)で照射されていた。自施設ではpCT-1stに加えて治療開始後3-4週にpCT-2ndを撮像し、放射線治療再計画を行うtwo step法を採用している。頭頸部癌に対して、初回治療として原発巣(CTV primary)と転移リンパ節領域(CTV nodal)、予防リンパ節領域(CTV prophylactic)にPTV marginとして5mmを加算して44Gy/22回または40Gy/20回を処方した。また、追加照射としてCTV primary、CTV nodalにPTV marginとして5mmを加算してPTVとし、26Gy/13回、術後再発症例には22Gy/11回を処方した。そのため、多くの症例で放射線治療開始前のpCT-1st、放射線治療期間中のpCT-2ndの計2回CT撮影が行われた。毎回の外部照射前に位置照合のためのCBCTを撮影しており、全治療回分のCBCT画像を取得した。CBCT画像とpCTを照合し、両者の座標の差分データを頭頸部体積算出に使用した。頸部体積変化を目的変数とするためにMATLAB 2021b (MathWorks社)で作成したin-house softwareを用いて頭頸部体積を算出した。本研究での頭頸部体積の分類は、連続した3回の頭頸部体積変化率が1回のCBCTで算出した頭頸部体積と比較して-10%以下となる症例を縮小群とし、それ以外を非縮小群とした。ARTの恩恵を受ける患者の割合が21-66%であると報告されている¹¹⁻¹²ため、それらを参考に本検討では今回172例の頭頸部体積変化率の大きい30%の症例を縮小群と定義した場合、その閾値が-10%に相当することから頭頸部体積変化率の閾値を-10%とした。治療回数は3回の中心の治療回数をカウントした。

説明変数としてpCT上のGTVpとGTVnから抽出したラジオミクス特徴量と臨床因子を設定した。機械学習の分類手法を用いてモデルを作成し、照射期間中の頸部体積変化と関連する医用画像上のROIのラジオミクス特徴量と臨床因子を探索した。治療開始前の診断用FDG-PET/CTおよび診断用MRI(diffusion weighted image (DWI), t1-fs-Gd image)上のGTVから抽出したラジオミクス特徴量も説明変数に含める予定であったが、MRIやFDG-PETの撮像機種や撮像された施設ならびに撮像シークエンスのばらつきが想定以上に大きいことが判明し、ラジオミクス特徴量調査への影響が懸念された。研究期間中にわたって研究協力者らと協議の上、MRIやFDG-PET画像を含めずにpCT上のラジオミクス特徴量の調査に注力する方針とした。

ラジオミクス特徴量の抽出法を以下に述べる。放射線治療前のGTVpとGTVnのpCT画像から、形状特徴量、ヒストグラム特徴量、テクスチャ特徴量の3種類の特徴量を抽出した。形状特徴は腫瘍の形と大きさを、ヒストグラム特徴量は腫瘍内のCT値の強度分布を定量化したものを、テクスチャ特徴は腫瘍内の不均一性を表している。ラジオミクス特徴量の算出には3D Slicer version 4.10.2とPyRadiomics²⁶ version 2.2.0を使用した。1×1×1mm³にリサンプリングした各GTVpとGTVnから形状特徴量14個、ヒストグラム特徴量18個、テクスチャ特徴量75個の合計107個のラジオミクス特徴量を抽出した。テクスチャ特徴量には、Gray Level Cooccurrence Matrix (GLCM, n=24)、Gray Level Run Length Matrix (GLRLM, n=16)、Gray Level Dependence Matrix (GLDM, n=14)、Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM, n=16)、Neighboring Gray Tone Difference Matrix (NGTDM, n=5)を含めた。また、特徴量はその種類ごとに値が大きいものや小さいものが混在しているが、特徴量が持つ値の重みを平等にするため、すべてのラジオミクス特徴量特徴量をz-scoreで正規化した。

臨床因子として、年齢、性別、原発部位、中咽頭癌のヒトパピローマウイルス(HPV)検査結果、病理診断、治療方針、化学療法、治療開始時の体重とbody mass index、PTV(体積値)、総蛋白値、アルブミン値、アルブミン/グロブリン比、ヘモグロビン値の計14種類を後ろ向きに収集した。また、根治照射を施行した127症例の解析では、これら14種類にTNM分類を追加し、計17種類の臨床因子を使用した。TNM分類はthe Union for International Cancer Control (UICC)第8版に基づき施行した。

先行研究¹³⁻¹⁴を基に、TCIAの公開データ¹⁵を使用してラジオミクス特徴量を抽出し、級内相関係数(Intraclass correlation coefficient: ICC)を用いて堅牢性を評価した。ICCが0.7以上のものを堅牢性のある特徴量として選定した。

次に、アルゴリズムに基づく特徴選択を行った。カイ二乗スコア(CHSQ)、近傍成分分析(NCA)、ReliefF、およびMinimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR)である4つのフィルター型特徴選択法を用いて、上位10個の特徴量のランク付けを行った。いずれも2値分類問題に適用可能であり、特徴量の分散や特徴量の応答に対する関連度といった特徴量の特性によって重要度

を測定できる¹⁴ため使用した。

頭頸部体積変化率の予測モデルの構築の際の説明変数は、臨床因子、ラジオミクス特徴量、線量パラメータの組み合わせを変えた7種類を特徴量セットとした。7種類の特徴量セットそれぞれで、特徴量選択を用いて上位10個の特徴量を選択した。精度評価は以下の5分割 nested 交差検証で行った。まず、対象症例をランダムに5分割にし、そのうちの1セットをテストデータとした。その際、頭頸部体積の縮小群と非縮小群の割合が各データセットで同じになるように分割した。次に、残りの4セットの中で5分割交差検証を行い、機械学習のハイパーパラメータを最適化した。その後最適化後のモデルにテストデータを入れて後述する精度を算出した。5つのモデルの平均の精度を最終結果とした。各特徴量セットで特徴量の数を特徴量選択で上位であったものから順に1個から10個まで増やして Area Under the Curve(AUC)を算出し、最も高いAUCを示す特徴量の数のモデルを、その特徴量セットでの代表のモデルとした。本研究では、頭頸部体積の縮小を予測するために、ランダムフォレスト(RF)とサポートベクターマシン(SVM)の2つの機械学習アルゴリズムを使用し、実装にはPythonの機械学習ライブラリであるschikit-learn version1.1.1を用いた。RFとSVMのパラメータは、トレーニングデータにおいてBalanced Accuracyが最も高くなるパラメータを、特徴量の数ごとに決定した。Balanced Accuracyは不均衡データに対する性能評価が適切に行えるため利用した。また、RFの探索するパラメータは、criterion : gini /entropy、決定木の深さ : 3-11、決定木の数 : 10-2000、を用いた。SVMの探索するハイパーパラメータは、誤分類をどの程度許容するかを決めるコストパラメータ : 1-1000、カーネルの種類 : liner/rbf/poly/sigmoid、ガンマ : 0.001-0.0001を用いた。

頭頸部体積変化率の予測モデルの評価は、AUC、accuracy、sensitivity、specificityにて施行した。

4. 研究成果

連続した3回の頭頸部体積変化率が-10%以下となる症例(縮小群)は172症例中50症例(29%)であった。各症例で最小となる3回の頭頸部体積変化率の全症例における中央値(範囲)は-4.93%(-19.4%~0.78%)、縮小群と非縮小群それぞれでは-12.2%(-19.4% ~ -10.1%)と-5.67%(-9.9% ~ 0.78%)となった。連続した3回の頭頸部体積変化率が-10%以下となる治療回数の中央値は30回(10-34回)であった。

最も高くなったAUCは0.662であり、その際の特徴量の種類は臨床因子+ラジオミクス特徴量、特徴量選択はMRMR、機械学習アルゴリズムはRFであった。最も高いAUCで使用された具体的特徴量の数は3個であり、内訳は、GTVpのGLCMの一つでありテクスチャの複雑性を表現するIMC1、中咽頭癌のHPV検査結果、化学療法施行の有無であった。重要度はIMC1が0.7、化学療法が0.2中咽頭癌のHPVが0.1であった。最もAUCが高いモデルのaccuracy、sensitivity、はそれぞれ0.692、0.700、0.813であった。テストデータの変更によってAUCは最大0.3変化した。4種類の特徴量選択アルゴリズムによるAUCの差は0.1未満であった。更に2つの機械学習アルゴリズムによるAUCの差も0.1未満であった。特徴量セットによるAUCの差は最大0.14であった。

根治照射を行った127症例における頭頸部体積縮小の予測モデルにおいて最も高いAUCは0.684となり、その際の特徴量の種類は臨床因子+ラジオミクス特徴量、特徴量選択はCHSQ、機械学習アルゴリズムはRFであった。根治症例と術後再発症例が両方含まれる場合と比較してAUCは0.022向上した。最も高いAUCを作成したモデルで使用された特徴量は、化学療法とGTVnのGLCMの一つであるIDMNであった。TNM分類は有用な特徴量として選ばれなかった。最もAUCが高いモデルのaccuracy、sensitivity、specificityはそれぞれ0.678、0.875、0.841であった。

臨床因子とGTVのラジオミクス特徴量を適切に組み合わせたモデルの活用により、頭頸部癌に対する外部照射期間中の頭頸部体積が縮小する症例を予測できる可能性が示唆された。照射期間中の頭頸部体積縮小と線量分布との関連についての調査を更に進める必要があるが、本研究は、頭頸部癌に対するART優先症例選択の一助となる可能性を示すことができたと考え、本研究の成果はJ Radiat Res.にて報告¹⁶した。

[引用文献]

1. Barker JL Jr, Garden AS, Ang KK, et al. Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system. Int J Radiat Oncol Biol

- Phys. 2004 Jul 15; 59(4):960-70.
2. Schwartz DL, Garden AS, Shah SJ, et al. Adaptive radiotherapy for head and neck cancer-Dosimetric results from a prospective clinical trial. *Radiother Oncol*. 2013 Jan; 106(1):80-4.
 3. Nishi T, Nishimura Y, Shibata T, et al. Volume and dosimetric changes and initial clinical experience of a two-step adaptive intensity modulated radiation therapy (IMRT) scheme for head and neck cancer. *Radiother Oncol*. 2013 Jan; 106(1):85-9.
 4. Stankiewicz M, Li W, Rosewall T, Tadic T, et al. Patterns of practice of adaptive re-planning for anatomic variances during cone-beam CT guided radiotherapy. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol*. 2019 Dec;16(12):50-55.
 5. Takeda K, Dobashi S, Komori S, et al. Clinical Factors with respect to Cervical Body Volume Reduction During Definitive External Beam Radiation Therapy for Oropharyngeal Squamous Cell Carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014 Sep;90(1): S511-S511.
 6. Takeda K, Dobashi S, Komori S, et al. Clinical Factors with respect to Cervical Body Volume Reduction During Definitive External Beam Radiation Therapy for hypopharyngeal Squamous Cell Carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014 Sep;90(1): S532-S533.
 7. Takeda K, Matsushita H, Ogawa S, et al. Clinical and volumetric prognostic factors in external beam radiotherapy for head and neck cancer, *Radiother Oncol*. 2016 Apr;119(1):504-505.
 8. Yu K, Zhang Y, Yu Y, Huang C, et al. Radiomic analysis in prediction of Human Papilloma Virus status. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2017 Nov 6; 7:49-54.
 9. Li S, Wang K, Hou Z, Yang J, et al. Use of Radiomics Combined with Machine Learning Method in the Recurrence Patterns After Intensity-Modulated Radiotherapy for Nasopharyngeal Carcinoma: A Preliminary Study. *Front Oncol*. 2018 Dec 21; 8:648.
 10. Yu TT, Lam SK, To LH, et al. Pretreatment Prediction of Adaptive Radiation Therapy Eligibility Using MRI-Based Radiomics for Advanced Nasopharyngeal Carcinoma Patients. *Front Oncol*. 2019 Oct 16; 9:1050.
 11. Hansen EK, Bucci MK, Quivey JM, Weinberg V, Xia P. Repeat CT imaging and replanning during the course of IMRT for head-and-neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2006 Feb 1;64(2):355-62.
 12. Ahn PH, Chen CC, Ahn AI, et al. Adaptive planning in intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancers: single-institution experience and clinical implications. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2011 Jul 1;80(3):677-85.
 13. Parmar C, Rios Velazquez E, et al. Robust Radiomics feature quantification using semiautomatic volumetric segmentation. *PLoS One*. 2014 Jul 15;9(7): e102107.
 14. Tanaka S, Kadoya N, Sugai Y, et al. A deep learning-based radiomics approach to predict head and neck tumor regression for adaptive radiotherapy. *Sci Rep*. 2022 May 27;12(1):8899.
 15. Clark K, Vendt B, Smith K, et al. The Cancer Imaging Archive (TCIA): maintaining and operating a public information repository. *J Digit Imaging*. 2013 Dec;26(6):1045-57.
 16. Ishizawa M, Tanaka S, Takagi H, et al. Development of a prediction model for head and neck volume reduction by clinical factors, dose-volume histogram parameters and radiomics in head and neck cancer. *J Radiat Res*. 2023 Sep 22;64(5):783-794

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 1件）

1. 著者名 Ishizawa Miyu, Tanaka Shohei, Takagi Hisamichi, Kadoya Noriyuki, Sato Kiyokazu, Umezawa Rei, Jingu Keiichi, Takeda Ken	4. 巻 64
2. 論文標題 Development of a prediction model for head and neck volume reduction by clinical factors, dose?volume histogram parameters and radiomics in head and neck cancer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 783 ~ 794
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jrr/rrad052	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Miyu Ishizawa, Shohei Tanaka, Ken Takeda, Noriyuki Kadoya, Kiyokazu Sato, Suguru Dobashi, Rei Umezawa, Keiichi Jingu
2. 発表標題 Development of Prediction Model for Head and Neck Volume Reduction by Clinical Factors and Radiomics in Head and Neck Cancer
3. 学会等名 第123回日本医学物理学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石澤美優, 田中祥平, 高城久道, 武田 賢, 角谷倫之, 佐藤清和, 梅澤 玲, 神宮啓一
2. 発表標題 臨床因子、ラジオミクス、DVHによる頭頸部癌への外照射期間中の頭頸部体積縮小予測
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石澤美優, 田中祥平, 武田 賢, 角谷倫之, 佐藤清和, 土橋卓, 梅澤 玲, 神宮啓一
2. 発表標題 臨床因子とラジオミクスを用いた頭頸部癌への外照射期間中の頭頸部体積縮小の予測
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第34回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石澤美優 , 田中祥平 , 武田 賢 , 角谷倫之 , 佐藤清和 , 土橋卓 , 梅澤玲 , 神宮啓一
2. 発表標題 臨床因子とラジオミクスを用いた頭頸部体積縮小を予測する最適なモデルの構築
3. 学会等名 第35回高精度放射線外部照射部会学術大会
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
研究 分担者	角谷 倫之 (Kadoya Noriyuki) (20604961)	東北大学・大学病院・助教 (11301)	

	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
研究 協力者	石澤 美優 (Ishizawa Miyu)	東北大学 (11301)	
研究 協力者	田中 祥平 (Tanaka Shohei)	東北大学・大学病院・助教 (11301)	
研究 協力者	高城 久道 (Takagi Hisamichi)	東北大学・医学系研究科・助手 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	佐藤 清和 (Sato Kiyokazu)	東北大学・大学病院・主任診療放射線技師 (11301)	
研究協力者	梅澤 玲 (Umezawa Rei)	東北大学・医学系研究科・准教授 (11301)	
研究協力者	神宮 啓一 (Jingu Keiichi)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	

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