

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：32666

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K17151

研究課題名(和文)4D Flow MRIを用いた閉塞性肥大型心筋症における網羅的血流解析

研究課題名(英文)Comprehensive 4D Flow MRI assessment for hypertrophic obstructive cardiomyopathy

研究代表者

関根 鉄朗 (Sekine, Tetsuro)

日本医科大学・医学部・講師

研究者番号：00747826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：肥大型心筋症に対する4D Flow MRIを用いた圧較差推定法について、種々の手法を比較検討し、頑強な測定手法を開発した。無症候の肥大型心筋症患者において、4D Flow MRIで計測した圧較差が心筋重量と良好に相関する事を明らかにし、更なる病態の層別化に本手法が有用な可能性を示した。更に、本手法を発展させ、大動脈解離術後症例に応用可能な事示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

4D Flow MRIを用いた圧較差推定(エネルギー損失推定)の有用性は期待された所だが、実際の臨床的なインパクトに繋がる報告は数少ない。我々の研究成果がその端緒となり、更なる研究発展に繋がる事が期待出来る。

研究成果の概要(英文)：We developed the robust framework to estimate pressure loss in hypertrophic cardiomyopathy by using 4D Flow MRI. The framework have revealed that pressure loss correlates well to left ventricular mass in asymptomatic patients with hypertrophic cardiomyopathy, which indicates this method is able to discriminate the patients corresponding to each pathophysiology. Furthermore, we developed this method and showed that it can be applied to postoperative cases of aortic dissection.

研究分野：放射線医学

キーワード：4D Flow MRI CFD energy loss turbulent kinetic energy HCM aortic stenosis pressure loss MRI

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

肥大型心筋症は原発性の心筋肥大を来す疾病と定義され、その有病率は 500 人に 1 人と決して稀な疾患では無い。肥大型心筋症患者の 1/4 程度では左室流出路狭窄(LVOTO, Left ventricular outflow tract obstruction)を来し、閉塞性肥大型心筋症(HOCM, Hypertrophic obstructive cardiomyopathy)と呼称される。この LVOTO は心負荷の上昇を来し、心不全の誘因となる事から、予後不良因子である事が示されている(Maron. *N Engl J Med* 2003)。LVOTO の有無の判定の gold standard は心カテーテル測定での圧較差 (PG, Pressure gradient) 30mmHg 以上だが、侵襲的である事から全例に行う事は難しい。そのため、実臨床においては心エコーを用いて、流出路流速に簡易ベルヌーイ式を適用した推定を行う。しかし、エコー法は上行大動脈での圧回復の考慮が成されていない等、正確性に欠ける事が知られている(Levine. *J Am Coll Cardiol* 1989)。1 例として、上述の Maron らの検討においても、“LVOTO の有無”では予後との相関が見られたものの、“LVOTO の強さ”(=PG の具体的な値)と予後との相関が見られなかった。もし、LVOTO における圧損失を正確に定量可能となれば、より客観的かつ病態に即した重症度評価を提唱出来ると期待出来る。

近年、MRI の位相情報を用いて 3 次元断面におけるヒト血流の速度ベクトル情報を取得可能な 4D Flow MRI 撮像法が確立され、consensus statement も発表された(Dyverfeldt. *J Cardiovasc Magn Reson* 2015)。この 4D Flow MR データを用いて圧損失を計測する試みが非常に注目を浴びており、1 例として、2018 年の国際磁気共鳴学会でも“Probing Flow Energetics”と題した特別レクチャーが組まれている。4D Flow MRI を用いた圧損失の推定手法としては、流体力学方程式である Navier-Stokes 方程式を適用した粘性エネルギーロス(VEL, Viscous energy loss)定量と、撮像 voxel 内の MRI signal の dephasing を用いた乱流運動エネルギー(TKE, Turbulent kinetic energy)定量の 2 つの手法が提案されている。従来法のエコー・VEL・TKE の算出手法の長所・短所に付いて、下記の table に述べる。

算定法	長所	短所
エコーの流速情報に簡易ベルヌーイ式を適用した推定	Evidence が確立されている 多くの施設で利用可能	理論上、常に過大評価を来す 複雑な狭窄形態評価に不適 1 断面のみの評価
4D Flow MRI を用いた粘性エネルギーロス (Viscous energy loss)	3D 評価が可能で客観性に優れる 4D Flow データからの算定は容易 層流での算定精度が高い	基礎検討が不十分 撮像条件で定量値が変化 乱流での算定精度が低い
4D Flow MRI を用いた乱流運動エネルギー (Turbulent kinetic energy)	3D 評価が可能で客観性に優れる 撮像条件を変更しても頑強な結果 乱流での算定精度が高い	臨床検討は数報のみ MR 撮像・計算手法が難解 層流での算定精度が低い

4D Flow MRI 全般の長所として、時間軸を持った 3 次元空間の流速情報を得る事が出来るため、客観性に優れる点が挙げられる。VEL は流体力学的手法をそのまま 4D Flow MRI データに適用した考え方であるため、算出が容易であり、基礎検討に比し臨床検討が先行している。TKE は流体シミュレーション(CFD, Computer fluid dynamics)や粒子イメージ流速計測法を用いた基礎検討では乱流血流評価における優れた定量性が証明されているものの、算出手法が難解であるため、臨床研究は大動脈弁狭窄症における報告の数報程度に限られる(Dyverfeldt. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013, Binter. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017)。

4D Flow MRI を用いた HOCM の圧損失推定については、1 報のみ初期検討が報告されている。 4D Flow

MRI を用いて測定した LVOTO における VEL と心筋の組織障害と相関するとされている (van Ooij, *J Magn Reson Imaging*. 2016)。しかし、VEL 単体での HOCM 単体での圧損失推定は下記の 2 点から病態を正確に反映しているとは言いがたい(Ha, *Sci Rep*. 2017)。

- 高度の乱流下における圧損失は VELよりもTKEが大きく寄与する。
- 4D Flow MRIの低い分解能 (2mm程度)ではTKEは理論値よりも10%近い過小評価に留まるが、VELは80%近い過小評価が生じる。

このため、VEL と TKE を組み合わせた評価や、高分解能での 4D Flow MRI 撮像が望ましいと考えられるが、いずれの検討も報告が無い。

2 . 研究の目的

本研究の目的は下記の 2 つであった。

- HOCM患者において、4D Flow MRIを用いたVEL定量とTKE定量を組み合わせた網羅的な評価を行い、従来法と比較する事で、HOCMにおける複雑な血流動態を明らかにする
- 本解析手法を広く臨床普及させるために必要な撮像法・解析法の改良を行う

これにより、臨床的見地からは HOCM における新規の重症度評価手法の提案が期待される。また、画像医学的見地からは、4D Flow MRI を用いた評価手法を確立する事で、心大血管領域において乱流を生じる様々な病態(弁膜症・先天性心奇形など)における応用が期待出来る。

3 . 研究の方法

申請者は既に HOCM に対する TKE 測定の初期検討のみ開始しており、10 例の症例蓄積及び解析が終了していた。この初期検討結果では TKE の値は従来法のエコーでの PG 測定値との相関は無かったものの、HOCM の解剖学的特性(SAM の有無、心筋中隔の肥厚パターン)との相関が見られ、解剖形態から導かれる血流像の差異を反映していると考えられた(Iwata, *Sekine*.日本医学放射線学会秋期臨床大会 2018 [優秀ポスター賞を受賞])。

上記の基礎検討の結果を踏まえ、1年半で下記の臨床検討を継続した。

- HOCM患者の更なる蓄積を行う。月3例程度の症例蓄積が成されていた。これを継続し50例程度の蓄積を目指した。
- PTSMA施行症例において、術前・術直後(1週間後)・術後遠隔期(3ヶ月)の4D Flow MRIデータの蓄積を行った。

上記の臨床検討と基礎検討を融合し、下記の解析を行った。

- 正常例とHOCM患者におけるVELとTKE定量値を比較し、HOCMに特徴的な血流定量値を明らかにした。
- HOCM患者におけるVELとTKE定量値を他の臨床指標と比較した。
- PTSMA前後におけるVELとTKE定量値の変化を観察し、血流動態変化を明らかにした。

4. 研究成果 (論文投稿中の内容が多く、概略に留める)

下記の如く、TKE は非常に "切れ味が良い" 乱流パラメーターである事を明らかにする事が出来た。また、TKE を他疾患に応用可能な可能性についても明らかにする事が出来た。

PTSMA 前後 TKE を測定した所、TKE の減量がエコーでの PG の減量よりも、より治療効果 (遠隔期の心筋重量の低下) と相関している事がわかった。この結果を循環器領域雑紙の top journal である European Heart Journal に報告した (Iwata K, Matsuda J, Imori Y, Sekine T, Takano H. Four-dimensional flow magnetic resonance imaging reveals the reduction in turbulent kinetic energy after percutaneous transluminal septal myocardial ablation in hypertrophic obstructive cardiomyopathy. Eur Heart J. 2020;41(14):1454.)

4D Flow MRI で計測した TKE と心筋重量の間に良好な相関が見られる事を明らかとし、現在、論文投稿中である。

TKE と VEL では、TKE の方が他の臨床指標と良好に相関する事を示し、現在、論文執筆中である。

TKE を大動脈解離に対する人工血管置換術後患者に対して測定した所、術後の遠位血管の拡張と非常に良好な相関を示す事を明らかに出来た。

上記から得られた知見は下記になる。なお、査読付き論文としての発表に基づいていない内容も含まれ、申請者自身の私見を多く含む。

4D Flow MRI は、血流量や PWV など、数少ない定量値を除いては voxel resolution による定量値の変化がある。これは、そのため、CFD と組み合わせた定量値推定などが可能とならない限り、向こう 10 年改良を加えても、臨床定量値としての意味を成さないパラメーターばかりであると申請者は確信している。

それに対して、TKE は非常に robust な定量値である。voxel resolution の縛りがなく、機器や撮像パラメーターを変更しても精度の高い定量値を算出可能と期待出来る。

TKE は "乱流の有無" という血流における根源的な現象を定量値として示す事が可能であり、エネルギー損失を超えて、壁への異常ストレスも間接的に示す事が可能と期待出来る。

4D Flow MRI の臨床応用の方向性として、解析が困難・解析の再現性の担保が難しい・解析結果の解釈が難しい、といった問題がある。

TKE 定量はこれら全てを解決可能な高い potential を持った指標と考える。

普及に向けての最大のハードルは、research field において sura 認知度が低い事、撮影-解析の全てに高度の画像知識が必要な事、MRI メーカーの協力が必要な事、が挙げられる。

申請者自身が広く本技術の有用性を発表していく事で、これらを 1 歩 1 歩解決していく事を目標としている。

受賞

- 2020 優秀論文賞, 4D Flow 研究会 (Sayaka Shirai / Tetsuro Sekine)
- 2020 Gold Medal, Japan Radiological Society (日本医学放射線学会) (Koji Sohara/Tetsuro Sekine)
- 2020 Silver Medal, Japan Radiological Society (日本医学放射線学会) (Izumi Tanaka / Tetsuro Sekine)
- 2020 Childcare/Caregiver Grant (withdraw), ISMRM (国際磁気共鳴学会)
- 2020 Educational Stipend Award, ISMRM (国際磁気共鳴学会) (Sayaka Shirai / Tetsuro Sekine)
- 2020 Educational Stipend Award, ISMRM (国際磁気共鳴学会) (Izumi Tanaka / Tetsuro Sekine)
- 2020 Young Investigator Award 最優秀賞, JSCID(日本心血管画像動態学会)
- 2019 Scientific Research Award, JSMRM (日本磁気共鳴学会) (Takahiro Ando / Tetsuro Sekine)
- 2019 Grant Program for Technology Exchanges, Nakatani Foundation (中谷財団)
- 2019 Clinical Stipend Award, ISMRM (国際磁気共鳴学会)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13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 Iwata Kotomi, Matsuda Junya, Imori Yoichi, Sekine Tetsuro, Takano Hitoshi	4. 巻 epub ahead
2. 論文標題 Four-dimensional flow magnetic resonance imaging reveals the reduction in turbulent kinetic energy after percutaneous transluminal septal myocardial ablation in hypertrophic obstructive cardiomyopathy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Heart Journal	6. 最初と最後の頁 epub ahead
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/eurheartj/ehz618	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 Matsumoto Mitsuo, Takegahara Kyoshiro, Inoue Tatsuya, Nakaza Masatoki, Sekine Tetsuro, Usuda Jitsuo	4. 巻 epub ahead
2. 論文標題 4D Flow MR Imaging Reveals a Decrease of Left Atrial Blood Flow in a Patient with Cardioembolic Cerebral Infarction after Pulmonary Left Upper Lobectomy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 epub ahead
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2463/mrms.ici.2019-0142	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 Sato Yoko, Sekine Tetsuro, Omiya Yoshie, Onishi Hiroshi, Motosugi Utaroh	4. 巻 6
2. 論文標題 Reduction of the fluorine-18-labeled fluorodeoxyglucose dose for clinically dedicated breast positron emission tomography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EJNMMI Physics	6. 最初と最後の頁 epub ahead
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40658-019-0256-9	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 Akatsuka Jun, Yamamoto Yoichiro, Sekine Tetsuro, Numata Yasushi, Morikawa Hiromu, Tsutsumi Kotaro, Yanagi Masato, Endo Yuki, Takeda Hayato, Hayashi Tatsuro, Ueki Masao, Tamiya Gen, Maeda Ichiro, Fukumoto Manabu, Shimizu Akira, Tsuzuki Toyonori, Kimura Go, Kondo Yukihiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Illuminating Clues of Cancer Buried in Prostate MR Image: Deep Learning and Expert Approaches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomolecules	6. 最初と最後の頁 673 ~ 673
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/biom9110673	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 Nakaza Masatoki, Matsumoto Mitsuo, Sekine Tetsuro, Inoue Tatsuya, Ando Takahiro, Ogawa Masashi, Obara Makoto, Leonowicz Olgierd, Kumita Shinichiro, Usuda Jitsuo	4. 巻 **
2. 論文標題 Dual-VENC 4D Flow MRI Can Detect Abnormal Blood Flow in the Left Atrium That Potentially Causes Thrombosis Formation after Left Upper Lobectomy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	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) 10.2463/mrms.mp.2020-0170	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 Kitajima Kazuhiro, Miyoshi Yasuo, Sekine Tetsuro, Takei Hiroyuki, Ito Kimiteru, Suto Akihiko, Kaida Hayato, Ishii Kazunari, Daisaki Hiromitsu, Yamakado Koichiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Harmonized pretreatment quantitative volume-based FDG-PET/CT parameters for prognosis of stage I-III breast cancer: Multicenter study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Oncotarget	6. 最初と最後の頁 95 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18632/oncotarget.27851	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 Sekine Tetsuro, Nakaza Masatoki, Kumita Shinichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Careful consideration should be paid in the new imaging modality evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Thoracic Disease	6. 最初と最後の頁 422 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21037/jtd-20-3229	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 Ando Takahiro, Kemp Bradley, Warnock Geoffrey, Sekine Tetsuro, Kaushik Sandeep, Wiesinger Florian, Delso Gaspar	4. 巻 14
2. 論文標題 Zero Echo Time MRAC on FDG-PET/MR Maintains Diagnostic Accuracy for Alzheimer 's Disease; A Simulation Study Combining ADNI-Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	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) 10.3389/fnins.2020.569706	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 Ando Takahiro, Sekine Tetsuro, Murai Yasuo, Orita Erika, Takagi Ryo, Amano Yasuo, Iwata Kotomi, Nakaza Masatoki, Ogawa Masashi, Obara Makoto, Kumita Shin-ichiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Multiparametric flow analysis using four-dimensional flow magnetic resonance imaging can detect cerebral hemodynamic impairment in patients with internal carotid artery stenosis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroradiology	6. 最初と最後の頁 1421 ~ 1431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00234-020-02464-2	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 Iwata Kotomi, Sekine Tetsuro, Tanaka Izumi, Ando Takahiro, Orita Erika	4. 巻 40
2. 論文標題 Turbulent Kinetic Energy Is Different from Viscous Energy Loss	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RadioGraphics	6. 最初と最後の頁 2142 ~ 2144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1148/rg.2020200177	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 Sekine Tetsuro	4. 巻 215
2. 論文標題 Critical Review of the Literature on Chest CT and Coronavirus Disease (COVID-19): Data Adjustment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Journal of Roentgenology	6. 最初と最後の頁 W27 ~ W27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2214/AJR.20.23435	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 Sekine Tetsuro, Buck Alfred, Delso Gaspar, Kemp Bradley, ter Voert Edwin E. G. W., Huellner Martin, Veit-Haibach Patrick, Kaushik Sandeep, Wiesinger Florian, Warnock Geoffrey, for the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative	4. 巻 15
2. 論文標題 The impact of atlas-based MR attenuation correction on the diagnosis of FDG-PET/MR for Alzheimer's diseases? A simulation study combining multi-center data and ADNI-data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	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) 10.1371/journal.pone.0233886	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 Yanagi Masato, Kimura Go, Sekine Tetsuro, Takeda Hayato, Akatsuka Jun, Endo Yuki, Hayashi Tatsuro, Hamasaki Tsutomu, Kondo Yukihiro	4. 巻 **
2. 論文標題 Factors associated with prolonged surgical duration of laparoscopic radical nephrectomy using retroperitoneal approach by non-expert surgeons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nippon Medical School	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) 10.1272/jnms.JNMS.2021_88-302	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12件(うち招待講演 12件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 Neurovascular 4D Flow MRI. (KCR ジョイントシンポジウム, 英語, 15分)
3. 学会等名 78th annual meeting of JRS (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 D Flow MRI の基礎と臨床応用 -流速定量から乱流推定まで-. (60分、依頼講演)
3. 学会等名 第47回東京MR励起会. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 造影4D Flow MRIとPET/MRにおけるresearch topicと臨床応用-University Hospital Zurichとの共同研究を中心に- (60分、依頼講演)
3. 学会等名 第39回Radiology Forum (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 AIRテクノロジーとその臨床応用 (依頼講演, ランチョン, 25分)
3. 学会等名 第47回 磁気共鳴医学会 大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 明日から出来る4D Flow MRI解析 (依頼講演, ランチョン, 25分)
3. 学会等名 72nd Annual Scientific meeting of the Japanese Association for Thoracic Surgery (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 4D Flow MRI流体解析の頭頸部領域における臨床応用 (依頼講演, ランチョン, 55分, 日本語)
3. 学会等名 日本脳神経外科学会 関東支部学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 Quantification in PET/CT and PET/MRI tests for radiotherapy treatment planning (依頼講演, 講師, 30分, 英語)
3. 学会等名 IAEA Regional Workshop on PET/CT PET/MRI for Radiotherapy Treatment Planning. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 脳血管の4D Flow MRI -いつ始めるか? 今でしょ!-
3. 学会等名 MRIを究める学術集会：信州MRI・技術と臨床. 2021.02 (web, 招待講演, 60分, 日本語) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 4D Flow MRIを用いた乱流運動エネルギー推定と心大血管血流評価
3. 学会等名 京都府立大学 放射線科 デイリーカンファレンス 2020.11 (招待講演, 30分, 日本語) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 4D Flow MRIの臨床応用
3. 学会等名 Stroke 2020. 2020.08 (招待講演, 50分, 日本語, web開催) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根鉄朗
2. 発表標題 4D Flow MRIで見た心筋疾患 血流解析の最先端：血流会 meet JCS 2020.
3. 学会等名 第84回日本循環器学会学術集会. 2020.07 (招待講演, 15分, 日本語, web開催) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 2. Sekine T
2. 発表標題 Non-Contrast-Enhanced MRI in Stroke. (Educational lecture, 30 minutes)
3. 学会等名 28th annual meeting of ISMRM (web). 2020.6. (Invited lecture) (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Huellner MW, Pizzuto DA, Machler PC, Sekine T	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 27
3. 書名 Positron Emission Tomography In Neuroimaging Techniques in Clinical Practice: Physical Concepts and Clinical Applications	

1. 著者名 Sekine T	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 34
3. 書名 PET in the Diagnosis of Head and Neck Cancer. In: Ojiri H, ed. Diagnostic Imaging in Head and Neck Cancer.	

1. 著者名 織田 絵里香, 関根 鉄朗	4. 発行年 2019年
2. 出版社 メジカルビュー社	5. 総ページ数 11
3. 書名 【MRIで読み解く心臓と脈管:流れと機能】頭頸部領域の4D-flow MRI 臨床画像 36(1) 13 - 23 2020年1月	

1. 著者名 関根 鉄朗	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (一社)日本磁気共鳴医学会	5. 総ページ数 6
3. 書名 頭頸部領域の4D Flow MRI 最近のトピックとこれからの方向性 日本磁気共鳴医学会雑誌 39(3) 90 - 95	

〔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
---------	---------