

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19914

研究課題名（和文）DANTEパルスを利用した高速CEST-MRI撮像法の開発

研究課題名（英文）High-speed CEST-MRI by using DANTE pulse

研究代表者

松田 哲也（Matsuda, Tetsuya）

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：00209561

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではMRIを用いた分子イメージング法の一つとして注目されているCEST法の撮像の高速化を目的に、CEST法における飽和パルスとして周波数領域で周期性を持つDANTE法と傾斜磁場とを導入することにより、一回の画像収集で周波数スペクトルを取得できる高速CEST-MRI法を提案した。提案手法を実証するため、DANTEパルスを用いる高速CEST-MRI撮像法を研究用MRI装置に実装し、グルタミン酸水溶液を対象としてアミノ基のCEST信号が検出できることを実験的に示した。また、DANTEパルスをCEST法の飽和に用いる際に注意すべき点を計算機シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRIでは開発当初よりNMRスペクトロスコピーによる生体化合物の同定や定量計測が期待されてきたが、検出感度の問題から広く臨床応用されるに至ってはいない。CEST法は、低濃度の生体化合物の状態をNMRスペクトロスコピーと同様に検出できるMRIの新しい分子イメージング法の一つとして期待されているが、高精度の計測には撮像に長時間を要するため、臨床的には極めて簡略化した撮像法が用いられているにすぎない。本研究で提案した撮像法は、CEST-MRI法が真に臨床応用されるためのブレイクスルーとなり得ると期待でき、他のMRI撮像法と組み合わせることによりMRIの臨床的な意義も飛躍的に高まると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Chemical exchange saturation transfer (CEST) method is a novel molecular imaging method of MRI. Though its clinical application is expected, long acquisition time for precise measurement interferes its wide use in clinical field. We propose a high-speed CEST-MRI method by using DANTE excitation pulse combined with gradient magnetic field. DANTE pulse showing periodic aspect in frequency domain induces saturation of proton spins at multiple regions simultaneously in the condition of applying gradient magnetic field. Gradient magnetic field also realizes an acquisition of z-spectrum of CEST signals with single excitation. The concept of the proposed method was verified by obtaining CEST signal from the proton in the amino group of glutamate solution with an MRI system dedicated to preclinical imaging. Key parameters of the DANTE pulse in the case to be applied to the saturation of protons in CEST method are clarified by using computer simulation of CEST signal based on Bloch equation.

研究分野：MRI

キーワード：CEST-MRI DANTEパルス 高速MRI

1. 研究開始当初の背景

MRI では、形態診断に加えて組織性状の診断や生体内の様々な化合物を対象とした分子イメージングなど、幅広い応用が期待されている。近年、MRI による分子イメージング法の一つとして、水溶液中の溶質と溶媒におけるプロトンの化学交換を利用した CEST (chemical exchange saturation transfer: 化学交換飽和移動) 法が注目され、臨床応用を目指した研究も報告されはじめている。

アミノ基やヒドロキシル基のプロトンは水溶液中で溶媒の水プロトンと絶えず交換し平衡状態となっているが、これら溶質分子のプロトンの核磁気共鳴周波数は水プロトンと数 ppm だけ異なる。溶質分子の化学交換可能なプロトンに対して、これに共鳴する単一周波数の電磁波を与えると、溶質分子のプロトンのみが核磁気共鳴法における飽和(saturation)という状態となる。この飽和プロトンが水分子に交換されると、豊富に存在する水分子のプロトンの一部が飽和されることになる。飽和状態のプロトンは未飽和のものに比べて核磁気共鳴信号が低下するため、溶媒である水分子の信号強度の減少分は溶質分子のプロトンの状態を反映することになるが、このように化学交換による飽和の移動を利用して溶質の状態を検出する方法を CEST 法と呼ぶ。溶質のプロトンと水プロトンを周波数領域で直接分離することも可能で、これが NMR Spectroscopy にあたるが、溶質分子のプロトンは水分子に比べて低濃度であるため、信号雑音比の問題から臨床的に広く利用されるに至ってはいない。CEST 法は、溶質における飽和と水への移動の繰り返しにより溶質プロトンの状態が水分子に蓄積されることにより信号を増強させる手法と見なすことができる。

CEST 法で飽和に用いる単一周波数の電磁波を飽和パルスというが、実際の計測では予め様々な周波数の飽和パルスを与えた後に水の信号を収集し、飽和させない場合の水の信号強度を対照として信号の減少分を測定する。この信号強度を飽和パルスの周波数に対してプロットしたものを z -スペクトルと呼び、溶質プロトンの共鳴周波数部分では CEST 効果により信号強度が低下する。最も基本的な CEST 法では、異なる周波数の飽和パルスで数十から百回程度の計測を繰り返して z -スペクトルを得るが、測定時間が極めて長くなってしまいうため、実用的とはいえない。臨床的に応用が試みられている CEST-MRI 法は、飽和パルスの周波数間隔を広げたり、目的とする分子の周波数に限定した計測を行うなどの簡便法であり、詳細な z -スペクトルを得ているわけではないため、他の化合物による CEST 効果の混入などの影響を排除できず、CEST 効果の計測ではなく、CEST 効果を利用した信号変化の計測にすぎない。従って、高精度の z -スペクトルを高速に計測できる CEST-MRI 法の実現が期待されている。

2. 研究の目的

高精度の計測には長時間を要するという CEST-MRI 法の問題点に対して、本研究では DANTE パルスと呼ばれる方法を CEST 法に応用し、1 回の画像収集で複数の領域から z -スペクトルを計測できる新たな高速 CEST-MRI 法の開発を目的とする。DANTE パルスは、多数の電磁波パルスを規則正しく繰り返すことにより、その帯域幅を狭くして先鋭化する手法であるが、この先鋭化した帯域は周期的に繰り返される。本研究では、この DANTE パルスを用いて CEST 法におけるプロトンの飽和を行うが、DANTE パルス照射時に傾斜磁場を導入することによって周波数領域で周期的に現れる電磁波の強度分布を空間分布に変換し、MRI 画像における画像領域の幅に一致した間隔で空間的に繰り返す飽和パルスを実現する。これにより、画像化の際には、各画像領域から連続的な z -スペクトルが得られ、従来の CEST-MRI における問題点であった計測時間の高速化と z -スペクトルの高分解能化を同時に達成する。

本研究における撮像の高速化は、MRI の画像化手法を新たに開発するものではなく、CEST 法における周波数スペクトルを得るための飽和パルスの照射に新たな手法を導入することにより高速化を実現するものである。これまでに CEST 法に DANTE パルスを利用する試みは無く、DANTE パルスという特徴的なパルスをプロトンの飽和に用いる際に生じる様々な課題を明らかにし、DANTE パルスを用いた高速 CEST-MRI 法の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究で提案している DANTE パルスを用いた高速 CEST-MRI 法では、DANTE パルスを CEST 法におけるプロトンの飽和に利用するという独自の発想に基づいているため、十分な CEST 効果の実現には未解明の点が多く、また複数の領域から高速に z -スペクトルを取得するという撮像の原理検証も必要であり、高速 CEST-MRI 法の実現に向けて

DANTE パルスの最適化

アミノ酸水溶液を対象とした提案手法の実現可能性の検討

in vivo 計測のための課題探索とその対処法の検討

という 3 つの研究項目に分けて研究開発を進めた。

DANTE パルスの最適化

DANTE パルスの最適化については、DANTE パルスを照射する際に時間領域で規則正しく繰り返す電磁波パルスの個数、個々の強度や形状、持続時間と間隔に関し、NMR の基礎となる Block 方程式に基づく計算機シミュレーションを行った。プロトンが飽和に至る過程では、溶質、溶媒それぞれの T1 時間、T2 時間、共鳴周波数、溶質-溶媒間の化学交換速度や濃度比が CEST 効果に影響を及ぼすため、これらのパラメタが反映された Block 方程式を用い、各パラメタと最終的に得られる CEST 効果との関係を網羅的に探索することによって、用いる DANTE パルスの最適化を行った。

アミノ酸水溶液を対象とした提案手法の実現可能性の検討

本研究で提案する高速 CEST-MRI 法では、飽和パルスの照射時に傾斜磁場を利用することによって 1 回の計測で z-スペクトルの取得を可能とし、また DANTE パルスの周波数領域における周期性を利用して複数の領域から CEST 信号を取得する。傾斜磁場を利用し 1 回の計測で z-スペクトルを取得する方法については、2013 年に Xu らにより報告されている (X. Xu et. al, Ultrafast Scanning of Exchangeable Sites by NMR Spectroscopy, Angew. Chem. Int. Ed. 2013, 52, 8281 -8284) が、本法では撮影対象全体の z-スペクトルを収集しているにすぎず、DANTE パルスを導入することによって、複数の領域から独立に z-スペクトルを取得するアプローチは本研究独自の手法であり、実際の撮影装置を用いた実証実験が必須である。そこで、研究用 MRI 装置に DANTE パルスを組み込み、複数の領域から z-スペクトルを取得する高速 CEST-MRI 撮像法として実装し、アミノ酸水溶液を対象とした *in vitro* の CEST-MRI の実証実験を行った。

in vivo 計測のための課題探索とその対処法の検討

提案する高速 CEST-MRI 法の最終目的は *in vivo* における CEST 計測の実現であるが、*in vivo* の計測では磁場や生体組織の不均一性、様々な化合物の混在などにより、飽和に用いる DANTE パルスの周波数領域における歪みや空間的な強度分布の不整をはじめとした様々な問題点が予想される。そこで、このような問題点に対し頑健で、また溶質の化学交換速度や濃度によらず安定して CEST 信号が得られるような DANTE パルスの設定パラメタに関して、計算機シミュレーションによる探索を行った。

4. 研究成果

DANTE パルスの最適化

これまでに CEST 法に DANTE パルスを利用する試みは無く、DANTE パルスという特徴的なパルスをプロトンの飽和に用いる際に、大きな CEST 効果が得られるための条件に関し、Block 方程式に基づく計算機シミュレーションを行った。計測対象となる水溶液については、溶質、溶媒それぞれの T1 時間、T2 時間、共鳴周波数、溶質-溶媒間の化学交換速度や濃度比が CEST 信号の大きさに影響を与える。また、飽和に用いる DANTE パルスについては、規則正しく繰り返す電磁波パルスの個数、個々の強度や形状、持続時間と間隔などを設定することが可能である。ここで、例えば、グルタミン酸水溶液においてグルタミン酸に含まれるアミノ基のプロトンは水のプロトンと化学交換可能であり CEST 法の計測対象となるが、グルタミン酸水溶液を計算機シミュレーションの対象とすると、溶質、溶媒それぞれの共鳴周波数は定まっており、また、それぞれの T1 時間、T2 時間についても、想定される濃度の範囲内では概ね一定と考えて良い。そこで、グルタミン酸水溶液を想定し、水溶液に関するパラメタとして溶質-溶媒間の化学交換速度、濃度比、また、DANTE パルスに関するパラメタとして、DANTE パルスを構成する個々の電磁波パルスの個数、強度、持続時間、間隔を変数として網羅的に計算機シミュレーションを行った。

プロトンの飽和に DANTE パルスをを用いる場合、水溶液に関するパラメタのうち交換速度が大きな影響を及ぼし、交換速度が速い場合には、DANTE パルスの持続中でも化学交換が進むため、個々のパルス強度が十分に大きいことが重要であり、また、交換速度が遅い場合には、DANTE パルス照射後に化学交換を進行させる必要があるため、DANTE パルス照射後に待機時間を設ける必要があることが確認できた。DANTE パルスは周波数領域において先鋭なピークが周期的に現れる周波数特性を持つが、CEST 効果による水プロトンの信号低下を鮮明化させるためには、個々のピークの線幅をより狭帯域化することが望ましく、交換速度が遅いときのようにパルス強度に大きな制約がない場合には DANTE パルスを構成する個々の電磁波パルスの強度を変化させる対処法も適用できることが示唆された。

アミノ酸水溶液を対象とした提案手法の実現可能性の検討

DANTE パルスをを用いることによって複数の領域から独立に z-スペクトルを取得し高速化を実現する提案手法の実証実験として、研究用 MRI 装置に DANTE パルスを組み込み、50mM のグルタミン酸水溶液を対象とした CEST-MRI の撮像を行った。得られた画像を図 1 に示す。周波数領域において先鋭なピークが周期的に現れる DANTE パルスの周期を 10ppm に設定し、10ppm が画像上の左右方

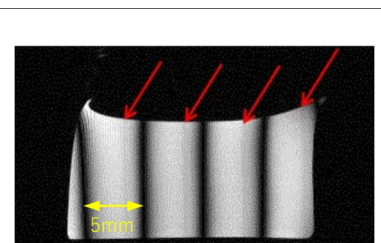


図 1: 得られた CEST-MRI 画像

10ppm が画像上の左右方

向で 5mm となるような傾斜磁場を DANTE パルス照射時に導入して、内径 20mm の円筒容器に高さ 10mm まで注入した 50mM のグルタミン酸水溶液の撮像を行った。DANTE パルスの周期の 10ppm にあたる 5mm ごとに縦方向の帯状の低信号領域が認められるが、これらの位置で DANTE パルスの周期的なピークが水の共鳴周波数と一致していることを示しており、DANTE パルスによる水プロトンの直接的な飽和が生じていることを表している。また、これらの帯状の低信号領域のやや左側にわずかに信号強度が低下している線状の領域が認められる（図中の赤矢印で示した部分）。これらの線状部分は黒い帯状部分から 1.5mm だけ離れた位置にあり、アミノ基の化学シフトである 3ppm に一致しており、アミノ基の CEST 効果による水の信号の低下を表していることが確認できる。

同画像の中央部における横方向の線上の輝度曲線を図 2 に示すが、5mm ごとに深く低下する水プロトンの直接的な飽和と、1.5mm だけ左側のアミノ基の CEST 効果によるわずかな低下が確認できる（図中の赤矢印で示した部分）。以上の撮影実験より、本研究で提案している DANTE パルスを利用した高速 CEST-MRI 撮像法を用いて複数の領域から z-スペクトルを取得可能であることを実証できた。

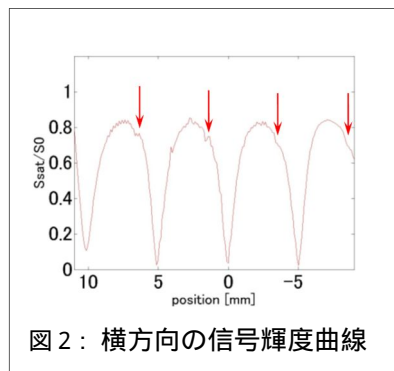


図 2：横方向の信号輝度曲線

in vivo 計測のための課題探索とその対処法の検討

提案手法を in vivo 計測に用いる場合、磁場や生体組織の不均一性による画像の歪み、他の化合物の混在による CEST 信号の増減などの問題を想定していたが、計算機シミュレーションを重ねた結果、溶媒である水のプロトンは溶質に含まれる化学交換可能なプロトンの数桁倍の数におよぶため、水プロトンの挙動を十分に注意する必要があることが判明した。

連続波を用いて溶質プロトンを飽和させる一般的な CEST 法では、連続波は周波数帯域では単一周波数と見なせるため、溶質の化学シフトにあたる周波数の電磁波を照射する際に溶媒のプロトンの挙動は大きな問題とならないが、DANTE パルスは周波数領域においては周期的に繰り返す sinc 波形となり、sinc 波における主ピークに付随して両裾の部分に現れる side band のピークが溶媒のプロトンに影響を及ぼす。side band のピークは主ピークの大きさの 12% 程度以下にすぎないものの、溶媒の水プロトンの数が膨大であるため、溶媒のプロトンが飽和される位置においても水プロトンは side band によって直接的に飽和されることが計算機シミュレーションによって確認できた。

主ピークに対する side band のピークの相対的な位置は DANTE パルスのパルス数で設定可能であるため、例えば本研究で用いたグルタミン酸水溶液のように水の共鳴周波数から 3ppm だけ離れた化学シフトを示すアミノ基のプロトンの CEST 信号を DANTE パルスを用いて計測する場合には、主ピークから 3ppm だけ離れた位置に side band のピークが生じないように DANTE パルスを設定して用いることが重要である。様々な化合物が存在する in vivo の CEST 計測に提案手法を用いる場合でも、計測の対象とする化合物の化学シフトと DANTE パルスの周波数領域における波形との関係に注意する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Nakao Megumi, Nakamura Mitsuhiro, Mizowaki Takashi, Matsuda Tetsuya	4. 巻 67
2. 論文標題 Statistical deformation reconstruction using multi-organ shape features for pancreatic cancer localization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Image Analysis	6. 最初と最後の頁 101829 ~ 101829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.media.2020.101829	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 Yamada Hisatsugu, Matsumoto Natsuki, Komaki Takanori, Konishi Hiroaki, Kimura Yu, Son Aoi, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Aoyama Yasuhiro, Kondo Teruyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Photoacoustic in vivo 3D imaging of tumor using a highly tumor-targeting probe under high-threshold conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19363 ~ 19363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-76281-1	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 Nakao Megumi, Imanishi Keiho, Ueda Nobuhiro, Imai Yuichiro, Kirita Tadaaki, Matsuda Tetsuya	4. 巻 8
2. 論文標題 Regularized Three-Dimensional Generative Adversarial Nets for Unsupervised Metal Artifact Reduction in Head and Neck CT Images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 109453 ~ 109465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3002090	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 Ji Xiang, Ishikawa Aoi, Nagata Akari, Yamada Shigehito, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Takakuwa Tetsuya	4. 巻 ePub
2. 論文標題 Relationship between rectal abdominis muscle position and physiological umbilical herniation and return: A morphological and morphometric study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Anatomical Record	6. 最初と最後の頁 ePub
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ar.24358	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 Tokuno Junko, Chen-Yoshikawa Toyofumi F., Nakao Megumi, Matsuda Tetsuya, Date Hiroshi	4. 巻 159
2. 論文標題 Resection Process Map: A novel dynamic simulation system for pulmonary resection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery	6. 最初と最後の頁 1130 ~ 1138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtcvs.2019.07.136	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 Suzuki Yuko, Matsubayashi Jun, Ji Xiang, Yamada Shigehito, Yoneyama Akio, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Aoyama Tomoki, Takakuwa Tetsuya	4. 巻 14
2. 論文標題 Morphogenesis of the femur at different stages of normal human development	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0221569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0221569	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 Miyata Haruka, Imai Hirohiko, Koseki Hirokazu, Shimizu Kampei, Abekura Yu, Oka Mieko, Kawamata Takakazu, Matsuda Tetsuya, Nozaki Kazuhiko, Narumiya Shuh, Aoki Tomohiro	4. 巻 ePub
2. 論文標題 Vasa vasorum formation is associated with rupture of intracranial aneurysms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neurosurgery	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3171/2019.5.JNS19405	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 Megumi Nakao, Junko Tokuno, Toyofumi Chen-Yoshikawa, Hiroshi Date, Tetsuya Matsuda	4. 巻 14
2. 論文標題 Surface deformation analysis of collapsed lungs using model-based shape matching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Int J Comp Assist Rad Surg	6. 最初と最後の頁 1763-1774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11548-019-02013-0	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 Ikedo Taichi, Kataoka Hiroharu, Minami Manabu, Hayashi Kosuke, Miyata Takeshi, Nagata Manabu, Fujikawa Risako, Yokode Masayuki, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Miyamoto Susumu	4. 巻 129
2. 論文標題 Sequential Inward Bending of Arterial Bifurcations is Associated with Intracranial Aneurysm Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 World Neurosurgery	6. 最初と最後の頁 e361 ~ e366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wneu.2019.05.153	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 Nagura Kota, Bogdanov Alexey, Chumakova Natalia, Vorobiev Andrey Kh., Moronaga Satori, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Noda Yohei, Maeda Tomoki, Koizumi Satoshi, Sakamoto Koichi, Amano Tsukuru, Yoshino Fumi, Kato Tatsuhisa, Komatsu Naoki, Tamura Rui	4. 巻 30
2. 論文標題 Size-tunable MRI-visible nitroxide-based magnetic mixed micelles: preparation, stability, and theranostic application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 224002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab0627	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 Ishiyama Hana, Ishikawa Aoi, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Yoneyama Akio, Yamada Shigehito, Takakuwa Tetsuya	4. 巻 302
2. 論文標題 Spatial relationship between the metanephros and adjacent organs according to the Carnegie stage of development	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Anatomical Record	6. 最初と最後の頁 1901-1915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ar.24103	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 Nagata Akari, Hatta Shinnosuke, Ji Xiang, Ishikawa Aoi, Sakamoto Rino, Yamada Shigehito, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Takakuwa Tetsuya	4. 巻 234
2. 論文標題 Return of the intestinal loop to the abdominal coelom after physiological umbilical herniation in the early fetal period	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Anatomy	6. 最初と最後の頁 456-464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/joa.12940	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 Nagura Kota, Takemoto Yusa, Yoshino Fumi, Bogdanov Alexey, Chumakova Natalia, Vorobiev Andrey, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Shimono Satoshi, Kato Tatsuhisa, Komatsu Naoki, Tamura Rui	4. 巻 11
2. 論文標題 Magnetic Mixed Micelles Composed of a Non-Ionic Surfactant and Nitroxide Radicals Containing a D-Glucosamine Unit: Preparation, Stability, and Biomedical Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pharmaceutics	6. 最初と最後の頁 42-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pharmaceutics11010042	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 該当する

1. 著者名 Iima Mami, Nobashi Tomomi, Imai Hirohiko, Koyasu Sho, Saga Tsuneo, Nakamoto Yuji, Kataoka Masako, Yamamoto Akira, Matsuda Tetsuya, Togashi Kaori	4. 巻 7
2. 論文標題 Effects of diffusion time on non-Gaussian diffusion and intravoxel incoherent motion (IVIM) MRI parameters in breast cancer and hepatocellular carcinoma xenograft models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Radiologica Open	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2058460117751565	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 Ohtsuki Sae, Ishikawa Aoi, Yamada Shigehito, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya, Takakuwa Tetsuya	4. 巻 301
2. 論文標題 Morphogenesis of the Middle Ear during Fetal Development as Observed Via Magnetic Resonance Imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Anatomical Record	6. 最初と最後の頁 757-764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ar.23760	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14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kazuki Nagai, Megumi Nakao, Nobuhiro Ueda, Yuichiro Imai, Tadaaki Kirita, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Enumerated sparse extraction of important surgical planning features for mandibular reconstruction
3. 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Jumpei Nitta, Megumi Nakao, Keiho Imanishi, Tetsuya Matsuda
2 . 発表標題 Deep Learning Based Lung Region Segmentation with Data Preprocessing by Generative Adversarial Nets
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Fei Tong, Megumi Nakao, Shuqiong Wu, Mitsuhiro Nakamura, Tetsuya Matsuda
2 . 発表標題 X-ray2Shape: Reconstruction of 3D Liver Shape from a Single 2D Projection Image
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hinako Maekawa, Megumi Nakao, Katsutaka Mineura, Toyofumi F. Chen-Yoshikawa, Tetsuya Matsuda
2 . 発表標題 Model-based registration for pneumothorax deformation analysis using intraoperative cone-beam CT images
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kazuho Kamba, Hirohiko Imai, Tetsuya Matsuda
2 . 発表標題 Design for the saturation RF pulse patterns in CEST MR fingerprinting by cost-based algorithm
3 . 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Yamashita, Megumi Nakao, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Analysis of Fingertip-Based Features during Pick and Grasp Manipulation
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuho Kamba, Hirohiko Imai, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Design for the Image Acquisition Sequence of CEST MR Fingerprinting by the Cost-Based Algorithm
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuqiong Wu, Megumi Nakao, Junko Tokuno, Toyofumi Chen-Yoshikawa, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Reconstructing 3D Lung Shape from a Single 2D Image during the Deaeration Deformation Process using Model-based Data Augmentation
3. 学会等名 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuho Kamba, Hirohiko Imai, Megumi Nakao, Tetsuya Matsuda,
2. 発表標題 A Proposal of the Image Acquisition Sequence of MR Fingerprinting for CEST MRI
3. 学会等名 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takao Shimayoshi, Yuta Yamamoto, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 A Preliminary Computational Model for Hypoxic Acidosis in Cardiac Myocytes
3. 学会等名 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Utako Yamamoto, Hirohiko Imai, Kei Sano, Masayuki Ohzeki, Tetsuya Matsuda, Toshiyuki Tanaka
2. 発表標題 Improvement of Temporal Resolution for Spatio-temporal Reconstruction using Compressed Sensing in 2D 1H-13C HMQC MRSI
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuho Kamba, Hirohiko Imai, Megumi Nakao, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Design for the Saturation RF Pulse Patterns in MR Fingerprinting for CEST MRI
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takamasa Hori, Hirohiko Imai, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 The design of locally identifiable tags in tagging MRI
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishimura Takeshi, Nomura Yoshitaka, Imai Hirohiko, Matsuda Tetsuya
2. 発表標題 Comparative morphology of the laryngeal muscles in hylobatids using a high-resolution MRI
3. 学会等名 The Evolution of Language. Proceedings of the 12th International Conference on the Evolution of Language (Evolang12) (国際学会)
4. 発表年 2018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	今井 宏彦	京都大学・情報学研究科・助教	
	(Imai Hirohiko)		
	(40506466)	(14301)	

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
---------	---------