

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：72611

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K10842

研究課題名(和文)次世代型機能的MRIを用いた脊髄損傷後の運動・感覚機能回路の可視化

研究課題名(英文)Visualization of motor and sensory circuits in spinal cord injury using resting state functional MRI

研究代表者

小牧 裕司 (Komaki, Yuji)

公益財団法人実験動物中央研究所・ライブイメージングセンター・室長代理

研究者番号：10548499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本申請は7T MRIシステムを用いてマウスを対象とした次世代型機能的MRIである安静時機能的MRIを確立した。さらに、神経障害に関する運動および感覚機能回路を継続的に観察することで機能再構築・代償の過程を可視化し、そのメカニズム、治療効果を明らかにした。この成果は、脳活動ネットワークに関連するすべての疾患に対して、病態メカニズムの解明や治療効果の評価に今後役立てられることを期待する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マウスを対象とした安静時機能的MRIを確立したことが本研究の成果である。運動および感覚機能回路の障害である神経因性疼痛モデルや脊髄損傷モデルマウスを対象として、全脳の脳活動ネットワークを初めて評価したことに学術的な意義がある。

前臨床研究として最も広く利用されるマウスの安静時機能的MRIを確立することで、精神・神経疾患に対する創薬研究へ役立てることで社会的な意義を期待する。

研究成果の概要(英文)：With this application, resting-state functional MRI in mice has been established. In addition, the motor and sensory functional circuits of neurological disorders are observed over time, and the process of functional reconstruction and compensation visualized. The results of this study will help to elucidate the pathological mechanisms of all diseases related to the brain activity network, and It is hoped that the study will be useful in evaluating the effectiveness of the treatment.

研究分野：磁気共鳴医学

キーワード：安静時機能的MRI 脊髄損傷

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

19世紀の初頭に Neuron 説を唱えた Ramón y Cajal が”成熟した哺乳類の中樞神経系は一度損傷を受けると二度と再生しない”と記載してから、長らくこの通説が信じられてきた。中枢神経系の損傷である脊髄損傷は現在、わが国において年間6千人以上が受傷し、その総数は15万人以上である。損傷部以下の知覚・運動・自律神経系の麻痺を呈することから、日常生活の不自由や精神的負担による生活の質の低下が問題となっている。そこで我々は脊髄再生プロジェクトの前臨床研究において、神経栄養因子や軸索伸展阻害因子の阻害剤などの治療法と、神経幹細胞・ES細胞・iPS細胞などを用いた細胞移植療法によるアプローチを組み合わせ、損傷された神経組織の再生および運動機能の回復を組織学的評価、MRIによる形態評価、行動学的評価から確認した。

その一方で、脊髄損傷の再生治療過程で生じてしまう allodynia（通常では痛みを引き起こさない刺激によって生じる痛みと定義される）は、実際の治療において患者の QOL を著しく低下させる可能性がある(Hofstetter CP, Olson L, et al. Nature Neuroscience 2005)。そこで、再生医療の実現化のためには、allodynia のメカニズム解明と治療法の開発が急務である。

従来、allodynia の評価には、行動学的指標が用いられている(Hargreaves K, et al., Pain 1988/Baquis GD, Muscle Nerve 1999/Narita M, et al., J Neurosci 2005)。しかし、これらの手法は観測者の主観的要因を排除することが難しく、神経の異常な活動分布を捉えることはできない。

そこで、我々は allodynia を定量的に評価するため、マウスの functional MRI と電気生理手法による神経活動計測の開発に着手した。マウスはヒトと比較して1/4000~1/5000の脳容積であり、従来のMRIで脳機能を計測するためには、十分な信号強度が得られず、非常に困難であった。申請者は若手研究(B)として行ってきた「脊髄損傷後における allodynia 発現変化の非侵襲的神経活動イメージング」(研究課題番号:25861348)によって、7T MRI を用いて末梢神経刺激中のマウスの脳活動計測法を確立し、allodynia 時の脳内活動の可視化および定量化に成功した。

脊髄損傷患者に関する運動機能の可視化について、前臨床研究として実験動物を対象とした機能的MRIは運動課題を実施することが困難であることから、これまでほとんど行われていない。そこで、次世代型機能的MRIとして課題なしに脳内の機能的結合性を評価する安静時機能的MRIを用いることで、前臨床研究として運動機能に関する脳内ネットワークを客観的かつ定量的に評価することが可能となる。

本申請では7T MRI システムを用いて機能的結合性を脳領域間の相互相関解析により求め、より細分化された脳領域間の機能結合性を評価する。さらに、神経障害に関する運動および感覚機能回路を継時的に観察することで機能再構築・代償の過程を可視化し、そのメカニズム、治療効果を明らかとすることを目指した。

2. 研究の目的

研究目的は、運動および感覚機能に関する脳内ネットワークを可視化し、脊髄損傷とその再生時に起こる運動機能の回復と感覚異常の機序を明らかとし、その治療に役立てることであった。そのために事前検討により確立された安静時機能的MRIを、マウス脳および疾患特異的に最適化した。さらに最適化された評価法を用いて、神経障害性疼痛モデルマウスおよび脊髄損傷モデルマウスの縦断解析・介入実験を行い、脳内ネットワークの可逆的・非可逆的な変性時期を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) マウスを対象とした安静時機能的MRIの基盤整備

マウス脳の機能的MRIを行うためには、超高磁場MRIシステム、高感度MR信号受信コイル、計測シーケンスプログラム、生体情報モニタリングシステム、マウス脳テンプレートおよび領域区分されたラベルアトラス、マウス脳に最適化された機能解析アルゴリズムなど必要となる。申請者は、計測シーケンスプログラムに関して画像コントラスト、空間・時間分解能の改良、生体情報モニタリングシステムを用いた生体ノイズ除去フィルタの開発、機能解析プログラムのマウス脳へ最適化した。さらに運動・感覚ネットワークの特性をより詳細に調べるために、構築された機能ネットワークを元に数理的アプローチであるグラフ理論へ展開すべく解析プログラムを構築した。

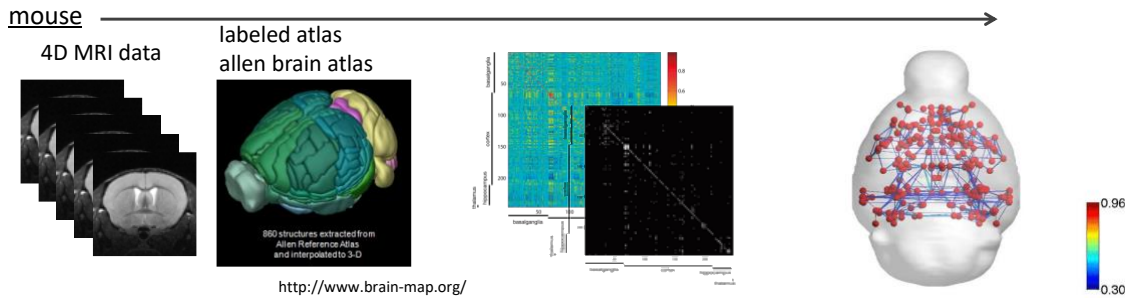
(2) 運動/感覚機能障害モデル動物を対象とした脳活動ネットワークの可視化

運動/感覚機能障害モデルである神経障害性疼痛モデルマウスおよび脊髄損傷モデルマウスを対象として安静時機能的MRIを計測し、脳活動ネットワークを可視化した。神経障害性疼痛モデルマウスは発症前後の行動学的指標と併せて評価し、脊髄損傷モデルマウスは損傷前から損傷後の縦断的な評価を行った。

4. 研究成果

(1) マウスを対象とした安静時機能的 MRI の基盤整備

超高磁場 MRI システム、高感度 MR 信号受信コイル、計測シーケンスプログラム、生体情報モニタリングシステム、マウス脳テンプレートおよび領域区分されたラベルアトラス、マウス脳に最適化された機能解析アルゴリズムを整備した。マウス脳テンプレートは 30 匹の C57Bl/6 マウスの脳を平均化し標準的な脳形態テンプレートを作成し国際誌へ論文報告(Hikishima K, Komaki Y, Seki F, Ohnishi Y, Okano HJ, Okano H. *Sci Rep.* 2017;7: 85)、web へ公開した(https://www.nitrc.org/projects/tpm_mouse)。領域区分されたラベルアトラスは Allen Institute for Brain Science が公開している Mouse Brain atlas(<https://mouse.brain-map.org/>)をベースにし、安静時機能的 MRI に適した形式へ独自に改変したものを作成した。グラフ理論解析については、Indiana University の Olaf Sporns 教授の協力を得て解析基盤を整備した。

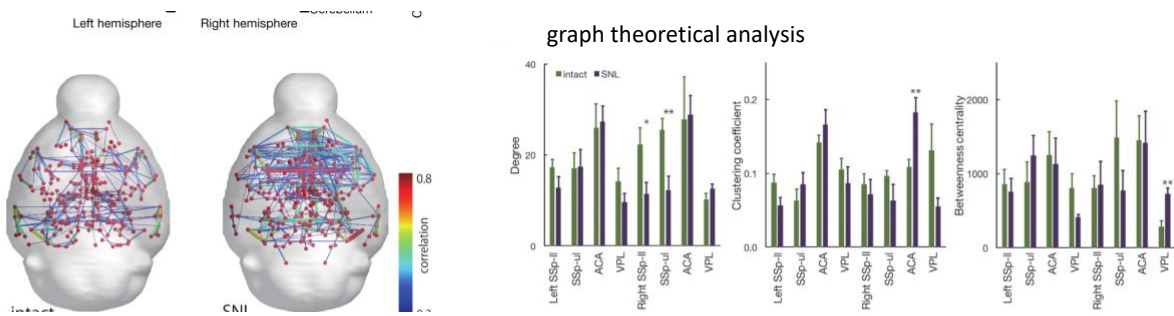


マウス安静時機能的 MRI の確立

4D BOLD MRI データに対して、領域区分されたラベルアトラスの座標へレジストレーションし、全脳領域間の機能的結合性を求める。機能的結合性マトリクスから結合性の高い領域を抽出し脳活動ネットワークとして可視化した。

(2) 運動/感覚機能障害モデル動物を対象とした脳活動ネットワークの可視化

運動/感覚機能障害モデルである神経障害性疼痛モデルマウスおよび脊髄損傷モデルマウスを対象として安静時機能的 MRI を計測し、脳活動ネットワークを可視化した。神経障害性疼痛モデルマウスは術前の健常マウスと比較して、対側一次体性感覚野の次数および固有ベクトル中心性は有意に低下し、前帯状回皮質のクラスタリング係数および局所効率、視床後外側腹側核での媒介中心性が有意に増加していることがわかった。神経因性疼痛モデルの脳活動は、一次感覚野に連絡する情報量が減少し、前帯状回皮質や視床などのペインマトリクスが複雑なネットワークを構築しているのではないかと考えられた(Komaki Y, Hikishima K, Shibata S, Konomi T, Seki F, Yamada M, et al. *Sci Rep.* 2016;6: 37802)。



神経障害性疼痛モデルマウスの脳活動ネットワーク(左)とグラフ理論を用いたネットワーク特性の定量評価

正常マウス(intact)と比較して神経障害性疼痛モデル(SNL)は脳活動ネットワークが複雑化している。グラフ理論解析により損傷した末梢神経に対応する脳領域特異的なネットワーク異常を観察した。

さらに、運動・感覚機能障害である脊髄損傷モデルマウスの縦断解析を行った。行動学的指標、および組織学的指標を併せて計測することで MRI による評価の正当性を検証した。結果として、運動関連領域のネットワークの結合性が低下し、痛み関連領域(一次感覚野と前帯状回皮質、被殻・尾状核)の結合性が慢性期に上昇していることがわかった。安静時機能的 MRI を用いることで、脊髄損傷後 脳に生じる機能的な変化を観察することが可能となった(Matsubayashi K, Nagoshi N, Komaki Y, Kojima K, Shinozaki M, Tsuji O, et al. *Sci Rep.* 2018;8: 1-8)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Hata Junichi, Nakashima Daisuke, Tsuji Osahiko, Fujiyoshi Kanehiro, Yasutake Kaori, Sera Yasushi, Komaki Yuji, Hikishima Keigo, Nagura Takeo, Matsumoto Morio, Okano Hideyuki, Nakamura Masaya	4. 巻 14
2. 論文標題 Noninvasive technique to evaluate the muscle fiber characteristics using q-space imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0214805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0214805	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 Lin Chin-Yu, Crowley Samuel Thomas, Uchida Satoshi, Komaki Yuji, Kataoka Kazunori, Itaka Keiji	4. 巻 16
2. 論文標題 Treatment of Intervertebral Disk Disease by the Administration of mRNA Encoding a Cartilage-Anabolic Transcription Factor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Therapy - Nucleic Acids	6. 最初と最後の頁 162 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.omtn.2019.02.012	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 Abe Yoshifumi, Komaki Yuji, Seki Fumiko, Shibata Shinsuke, Okano Hideyuki, Tanaka Kenji F.	4. 巻 125
2. 論文標題 Correlative study using structural MRI and super-resolution microscopy to detect structural alterations induced by long-term optogenetic stimulation of striatal medium spiny neurons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neurochemistry International	6. 最初と最後の頁 163 ~ 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuint.2019.02.017	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 Haga Yawara, Hata Junichi, Uematsu Akiko, Seki Fumiko, Komaki Yuji, Mizumura Mai, Nishio Marin, Kaneko Takaaki, Kishi Noriyuki, Okano Hideyuki, Furukawa Akira	4. 巻 Epub ahead of print
2. 論文標題 MR Imaging Properties of <i>ex vivo</i> Common Marmoset Brain after Formaldehyde Fixation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	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) 10.2463/mrms.mp.2018-0086	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 Matsubayashi Kohei, Nagoshi Narihito, Komaki Yuji, Kojima Kota, Shinozaki Munehisa, Tsuji Osahiko, Iwanami Akio, Ishihara Ryosuke, Takata Norio, Matsumoto Morio, Mimura Masaru, Okano Hideyuki, Nakamura Masaya	4. 巻 8
2. 論文標題 Assessing cortical plasticity after spinal cord injury by using resting-state functional magnetic resonance imaging in awake adult mice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-018-32766-8	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 Takata Norio, Sugiura Yuki, Yoshida Keitaro, Koizumi Miwako, Hiroshi Nishida, Honda Kurara, Yano Ryutarō, Komaki Yuji, Matsui Ko, Suematsu Makoto, Mimura Masaru, Okano Hideyuki, Tanaka Kenji F.	4. 巻 66
2. 論文標題 Optogenetic astrocyte activation evokes BOLD fMRI response with oxygen consumption without neuronal activity modulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Glia	6. 最初と最後の頁 2013 ~ 2023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/glia.23454	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 Yano Ryutarō, Hata Junichi, Abe Yoshifumi, Seki Fumiko, Yoshida Keitaro, Komaki Yuji, Okano Hideyuki, Tanaka Kenji F.	4. 巻 17
2. 論文標題 Quantitative temporal changes in DTI values coupled with histological properties in cuprizone-induced demyelination and remyelination	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neurochemistry International	6. 最初と最後の頁 30350-30359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuint.2017.10.004	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 Seki Fumiko, Hikishima Keigo, Komaki Yuji, Hata Junichi, Uematsu Akiko, Okahara Norio, Yamamoto Masafumi, Shinohara Haruka, Sasaki Erika, Okano Hideyuki	4. 巻 364
2. 論文標題 Developmental trajectories of macroanatomical structures in common marmoset brain	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 143 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroscience.2017.09.021	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 Uematsu Akiko, Hata Junichi, Komaki Yuji, Seki Fumiko, Yamada Chihoko, Okahara Norio, Kurotaki Yoko, Sasaki Erika, Okano Hideyuki	4. 巻 163
2. 論文標題 Mapping orbitofrontal-limbic maturation in non-human primates: A longitudinal magnetic resonance imaging study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 55 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2017.09.028	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 Sakai Tomoko, Komaki Yuji, Hata Junichi, Okahara Junko, Okahara Norio, Inoue Takashi, Mikami Akichika, Matsui Mie, Oishi Kenichi, Sasaki Erika, Okano Hideyuki	4. 巻 122
2. 論文標題 Elucidation of developmental patterns of marmoset corpus callosum through a comparative MRI in marmosets, chimpanzees, and humans	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 25 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2017.04.001	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 Hikishima Keigo, Komaki Yuji, Seki Fumiko, Ohnishi Yasuyuki, Okano Hiroataka J., Okano Hideyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 In vivo microscopic voxel-based morphometry with a brain template to characterize strain-specific structures in the mouse brain	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-00148-1	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 Komaki Y, Hikishima K, Shibata S, Konomi T, Seki F, Yamada M, Miyasaka N, Fujiyoshi K, Okano HJ, Nakamura M, Okano H.	4. 巻 6
2. 論文標題 Functional brain mapping using specific sensory-circuit stimulation and a theoretical graph network analysis in mice with neuropathic allodynia.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 37802:1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep37802	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 Yoshida K, Mimura Y, Ishihara R, Nishida H, Komaki Y, Minakuchi T, Tsurugizawa T, Mimura M, Okano H, Tanaka KF, Takata N.	4. 巻 274
2. 論文標題 Physiological effects of a habituation procedure for functional MRI in awake mice using a cryogenic radiofrequency probe	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Neuroscience Methods	6. 最初と最後の頁 38-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jneumeth.2016.09.013	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 Ando Kiyoshi, Inoue Takashi, Hikishima Keigo, Komaki Yuji, Kawai Kenji, Inoue Ryo, Nishime Chiyoiko, Nishinaka Eiko, Urano Koji, Okano Hideyuki	4. 巻 31
2. 論文標題 Measurement of baseline locomotion and other behavioral traits in a common marmoset model of Parkinson's disease established by a single administration regimen of 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavioural Pharmacology	6. 最初と最後の頁 45 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/FBP.0000000000000509	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 Takata Norio, Sugiura Yuki, Yoshida Keitaro, Koizumi Miwako, Hiroshi Nishida, Honda Kurara, Yano Ryutarō, Komaki Yuji, Matsui Ko, Suematsu Makoto, Mimura Masaru, Okano Hideyuki, Tanaka Kenji F.	4. 巻 66
2. 論文標題 Optogenetic astrocyte activation evokes BOLD fMRI response with oxygen consumption without neuronal activity modulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Glia	6. 最初と最後の頁 2013 ~ 2023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/glia.23454	査読の有無 無
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 Grandjean Joanes, Canella Carola, Anckaerts Cynthia, AyrancGlebru, Bougacha Salma, Bienert Thomas, Buehlmann David, Coletta Ludovico, Gallino Daniel, Gass Natalia, Garin Clment M., Nadkarni Nachiket Abhay, Hbner Neele S., Karatas Meltem, Komaki Yuji, et al.	4. 巻 205
2. 論文標題 Common functional networks in the mouse brain revealed by multi-centre resting-state fMRI analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 116278 ~ 116278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2019.116278	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 Noro Takahiko, Namekata Kazuhiko, Kimura Atsuko, Azuchi Yuriko, Hashimoto Nanako, Moriya-Ito Keiko, Komaki Yuji, Lee Chia-Ying, Okahara Norio, Guo Xiaoli, Harada Chikako, Kim Euido, Nakano Tadashi, Tsuneoka Hiroshi, Inoue Takashi, Sasaki Erika, Tokuno Hironobu, Harada Takayuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Normal tension glaucoma-like degeneration of the visual system in aged marmosets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-019-51281-y	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7件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Yuji Komaki, Fumiko Seki, Keigo Hikishima, Masaya Nakamura, Hideyuki Okano
2. 発表標題 Phenotyping Assay of Neuropathic Pain Models Using Resting State Functional Connectivity MRI and Graph Theoretical Analysis
3. 学会等名 International society for magnetic resonance in medicine (ISMRM) 25th annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小牧裕司
2. 発表標題 橋渡し研究を加速させる低侵襲 in vivo イメージング
3. 学会等名 第64回 日本実験動物学会総会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小牧裕司
2. 発表標題 機能的MRIを用いた神経因性疼痛モデルマウスの全脳ネットワーク解析
3. 学会等名 生理学研究所 研究会 痛みを中心とする有害状況適応の神経戦略バイオロジー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小牧裕司
2. 発表標題 Atlas based whole brain analysis with the graph theoretical approach in resting state functional connectivity MRI of neuropathic pain model mice
3. 学会等名 日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuji Komaki
2. 発表標題 In vivo MRI technology to accelerate translational research for non-human primates
3. 学会等名 2017 Asia-Oceania Regional Meeting for Marmoset Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Komaki Yuji, Debacker Clement, Djemai Boucif, Ciobanu Luisa, Tsurugizawa Tomokazu, Le Bihan Denis
2. 発表標題 Blocking AQP4 channels impacts BOLD fMRI but not Diffusion fMRI response patterns induced by visual stimulation
3. 学会等名 ISMRM 27th Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Komaki, Clement Debacker, Boucif Djemai, Luisa Ciobanu, Tomokazu Tsurugizawa, Denis Le Bihan
2. 発表標題 Membrane protein AQP4 for water transport influences functional MRI using 17.2 T MRI
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

〔図書〕 計1件

1. 著者名 三木 理雅、黒滝 陽子、井上 貴史	4. 発行年 2018年
2. 出版社 アドスリー;丸善出版 (発売)	5. 総ページ数 207
3. 書名 マーモセットラボマニュアル : はじめての取扱いから研究最前線まで	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----