

令和 5 年 10 月 24 日現在

機関番号：22101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19873

研究課題名（和文）プラトーに達した運動スキルを改善させる運動イメージ想起法の開発とその機序の解明

研究課題名（英文）Development of a motor imagery strategy to improve motor skills that have reached a plateau and elucidation of its mechanism

研究代表者

青山 敏之（Aoyama, Toshiyuki）

茨城県立医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：30516571

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）：観察する運動スキルを適切に調整した状況下で運動イメージ想起を用いた介入を行うことで、プラトーに達した運動スキルがさらに改善するか、さらにその神経生理学的メカニズムを明らかにすることを目的とした。結果的に、自身の能力よりやや高い運動スキルの動画を観察しながらイメージトレーニングすることで、パフォーマンスの改善効果が最も高かった。一方、神経生理学的変化の指標である皮質脊髄路興奮性変化には群間の有意差は認められなかった。このことは、本手法を用いた運動スキルの改善に皮質脊髄路興奮性変化が関与しないことを示唆するものである。したがって、抑制性神経回路の興奮性変化を含めた更なる調査が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リハビリテーションやスポーツのトレーニングにおいて、運動スキルの改善が停滞する場面がある。このことは運動スキルのプラトーと呼ばれるが、有効な解決法は確立されていなかった。本研究により、自身の運動スキルよりもやや高いスキルの運動課題を遂行している場面を観察しながら運動イメージ想起を実施することによって、プラトーに近い運動スキルがさらに改善することが示され、リハビリテーションやスポーツのトレーニングにおけるプラトーの問題を解決するための有用な手段として役立つ可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the present study was to determine whether motor imagery under optimal task difficulty could further improve motor skills that had reached a plateau, and to further elucidate the neurophysiological mechanisms underlying this improvement. The results showed that motor imagery training while observing at a slightly higher level of motor skills than the subject's own motor skills was more effective in improving motor performance. However, there was no significant difference in corticospinal tract excitability, one of the biomarker of neurophysiological change, between the groups. This suggests that corticospinal tract excitability change is not involved in the improvement of motor skill using this method. Therefore, further investigation including excitability changes in inhibitory neural circuits is needed.

研究分野：理学療法

キーワード：運動イメージ想起 運動観察 運動スキル 経頭蓋磁気刺激

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動学習に脳の可塑的变化は重要な役割を担っている。一方、運動学習が進行すると、それ以上運動スキルの改善が困難なプラトーと呼ばれる段階に達する。この時期は運動の繰り返しによる学習効果が期待しにくい時期であり、その一因として脳の可塑的变化がそれ以上生じにくい点が挙げられる。プラトーに達した運動スキルを更に改善させる手法の開発は、運動スキルの改善を目的とするリハビリテーション分野やスポーツ科学分野で特に重要性が高く、わずかに報告があるものの、神経生理学的メカニズムを含めて報告した研究はない。

運動イメージ想起とは実際の運動遂行なしに脳内のみで運動を再現させる手法である。申請者は、運動イメージ想起により運動学習に重要な役割を果たす皮質脊髄路興奮性や脊髄興奮性が上昇することを示してきた (Brain Res, 2011, Neurosci Lett, 2016 J Neuroeng Rehabil, 2014)。このような神経生理学的メカニズムに基づき、運動イメージ想起を用いた介入は健常者の運動スキル改善のみだけでなく、脳卒中患者のリハビリテーションとしても効果的であることが示されている。近年、この効果を更に高める目的で、運動観察下で運動イメージ想起を行う方法の有効性が示され、申請者も、この手法により手の巧緻動作に重要な抑制性神経機構が動員されるという新たな知見を報告した (Sci Rep, 2019)。しかしながら、この手法がプラトーに達した運動スキルを更に改善させるのか、さらには、動画で提示される運動の最適な難易度については明らかにされていない。また、その神経生理学的メカニズムについては明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、プラトーの状態に近い運動スキルを更に改善させるため、運動観察下での運動イメージ想起を用いた介入を用い、個々の運動スキルに合わせた最適な難易度の動画提示方法を見出すこととした。また、プラトーの状態から脱却する際に認められる神経生理学的メカニズムを明らかにすることで、ヒトの高度な運動スキル獲得の背景に存在する普遍的な原理に迫ることを目的とした。

3. 研究の方法

研究 I

1) 研究対象者

個々の運動スキルに合わせた最適な難易度の動画提示方法を見出すため、40名の参加者が10名ずつ、コントロール群と3つの介入群に分類された。

2) 運動課題

運動課題は二つのコルクボールを左手でなるべく早く反時計周りに20周回転させる課題とした。そして、予備実験により運動スキルのプラトーに達するまでに必要とされた30セット分そのボール回転課題を実施した。それぞれの群は後述の介入を実施後、さらに10セットのボール回転課題を実施した。

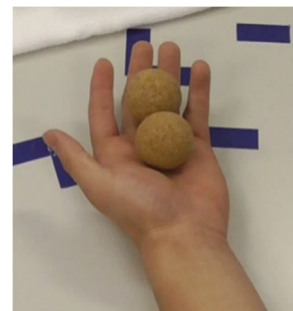


図1. ボール回転課題

3) 介入

コントロール群は2つのコルクボールを左手に置いた静止画を観察した。その他の3群は自身のボール回転課題を実施している際の動画を観察しながら運動イメージ想起を用いたトレーニングを実施した。それら3群の介入内容の相違は、その動画を観察する際の再生速度であり、1.0倍、1.5倍、2.25倍の速度で再生させる群に分類された (MI+AO 1.0群, MI+AO 1.5群, MI+AO 2.25群)。つまり、それぞれの介入群においては、自身の運動スキルと比べて同等の運動スキル、やや高いレベルの運動スキル、非常に高いレベルの運動スキルの動画を観察しながら運動イメージ想起を用いたトレーニングを実施したことを意味した。

4) 解析

評価指標として、介入前後のボール回転課題実施に要した時間とエラー率を用いた。さらに、運動観察下での運動イメージ想起を用いた介入を行った3群の運動イメージ想起能力の評価として、Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ)を実施した上、介入実施時における運動イメージ想起の鮮明度について Visual Analogue Scale を用いた評価を行った。上記指標について Kruskal Wallis test を用いて全4群または介入3群間における差を検定した。

研究 II

上記研究 I の生理学的メカニズムを検証するために、30名の参加者が本研究に参加し、コントロール群、MI+AO 1.0群、MI+AO 1.5群の3群に10名ずつ分類された。研究方法は研究 I と

同様であるが、研究 II では、運動課題開始前、運動課題実施後、介入後の 3 つのタイミングにおいて、経頭蓋磁気刺激を用いた皮質脊髄路興奮性の評価を行った。安静時閾値は 10 回の刺激により 5 回以上 MEP が 50 μ V 以上となる最小の刺激強度とした。そして、安静時閾値の 100% から 140% まで段階的に刺激強度を高めた際の MEP 振幅から input-output curve の傾きを算出し、皮質脊髄路興奮性の指標として用いた。

4. 研究成果

研究 I

4 群ともに 30 セットの運動課題の実施によってボール回転速度に有意な改善は得られなくなり、プラトーに近似する状態が再現された(図 2)。介入に伴うボール回転時間の改善度は、MI+AO 1.0 倍群においてコントロール群や MI+AI 2.25 倍群と比較して有意に高かった(図 3)。したがって、自身の運動スキルよりもやや高い運動スキルによって遂行される動作を観察しながら運動イメージ想起を実施することが、最も運動スキルの改善効果が高いことが示された。特に、介入実施前から約 15% の運動時間の短縮が認められていることから、この方法がプラトーに近い状態の運動スキルをさらに改善させることに寄与する可能性が示唆された。

一方、エラー率の変化は 4 群ともに有意差が認められなかった。通常、運動速度が速まると運動の正確性が低下するというトレードオフの関係が成り立つ。したがって、本研究において、最も運動速度の改善度が高かった MI+AO 1.5 群においてエラー率の変化が他の群と差がなかったということは特筆すべき点である。KVIQ は運動イメージ想起による介入を行った 3 群で有意差はなかった。このことは、3 群間において運動イメージ想起能力が均質であったことを担保するものである。しかしながら、運動観察下での運動イメージ想起トレーニングを実施している際の運動イメージ想起の鮮明度は MI+AO 2.25 群において MI +AO 1.5 群と比較して有意に低かった。このことは、MI+AO 2.25 群において介入に伴うボール回転時間の改善度が有意に低かったことの裏付けとなり得る。すなわち、MI+AO 2.25 群においては、運動観察のモデルとして参照した運動スキルが高すぎることによって、鮮明な運動イメージ想起を誘起することが出来ず、結果的に運動イメージ想起による介入効果が得られにくかった可能性がある。

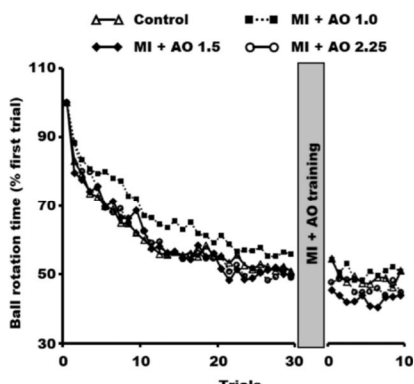


図 2. ボール回転時間の変化

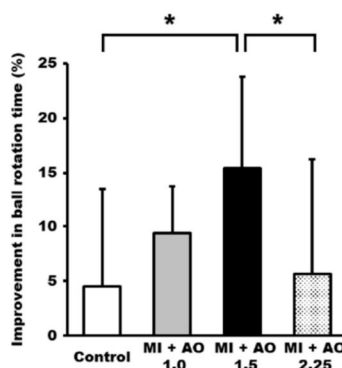


図 3. 介入に伴うボール回転時間の変化

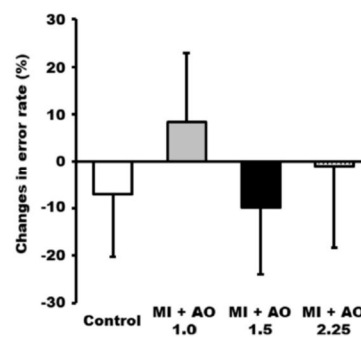


図 4. 介入に伴うボール回転課題実施時のエラー数の変化

研究 II

研究 II においては、研究 I と同様にコントロール群と比較して MI +AO 1.5 群において介入に伴うボール回転時間の改善度が有意に高いという結果が得られた。一方で、そのメカニズムを検証するために行った経頭蓋磁気刺激を用いた評価では、3 群間において介入前後の input-output curve の傾きに有意差は認められなかった。このことは、MI+AO 1.5 群において得られたトレーニング効果が皮質脊髄路興奮性変化に依存しないことを示唆する。本研究から、その効果のメカニズムについて言及することは出来ないものの、皮質内抑制性神経回路をはじめとした他の神経機構における機能的変化が本研究結果を説明する要因になり得る。今後、これらの可能性について検証する必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Watanabe Kunihiro, Mutsuzaki Hirotaka, Fukaya Takashi, Aoyama Toshiyuki, Nakajima Syuichi, Sekine Norio, Mori Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Simulating Knee-Stress Distribution Using a Computed Tomography-Based Finite Element Model: A Case Study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Functional Morphology and Kinesiology	6. 最初と最後の頁 15 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jfmk8010015	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 Aoyama Toshiyuki, Ae Kazumichi, Kohno Yutaka	4. 巻 145
2. 論文標題 Interindividual differences in upper limb muscle synergies during baseball throwing motion in male college baseball players	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 111384 ~ 111384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2022.111384	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 Miyata Kazuhiro, Aita Yuichi, Nakajima Syuichi, Sekimoto Michiharu, Setaka Yukako, Tagoya Yoshika, Aoyama Toshiyuki, Maeno Takami, Monma Masahiko, Tomita Kazuhide, Ninomiya Haruhiko	4. 巻 17
2. 論文標題 Effectiveness of a case-based digital learning interprofessional workshop involving undergraduates in medical technology, radiological science, and physical therapy: A pre-post intervention study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0270864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0270864	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 Aoyama Toshiyuki, Kohno Yutaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Differences in motor unit firing properties of the vastus lateralis muscle during postural and voluntary tasks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 955912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.955912	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 Watanabe K , Mutsuzaki H , Fukaya T , Aoyama T , Iwamoto K , Nakajima S , Sekine N , Mori K	4. 巻 24
2. 論文標題 Computed Tomography Finite Element Analysis Model Creation and Stress Distribution of Pig Knee Joints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The journal of Japan Academy of Health Sciences	6. 最初と最後の頁 181-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Fukaya Takashi, Mutsuzaki Hiroataka, Aoyama Toshiyuki, Watanabe Kunihiro, Mori Koichi	4. 巻 57
2. 論文標題 A Simulation Case Study of Knee Joint Compressive Stress during the Stance Phase in Severe Knee Osteoarthritis Using Finite Element Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medicina	6. 最初と最後の頁 550 ~ 550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/medicina57060550	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 Aoyama Toshiyuki, Ae Kazumichi, Souma Hiroto, Miyata Kazuhiro, Kajita Kazuhiro, Nara Takaaki, Kawamura Takashi	4. 巻 70
2. 論文標題 A feasibility study of the incidence and symptoms of the throwing yips in college baseball players	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 91 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jspfsm.70.91	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 Kiyoshige Ishibashi, Kenichi Yoshikawa, Kazunori Koseki, Toshiyuki Aoyama, Daisuke Ishii, Satoshi Yamamoto, Tomoyuki Matsuda, Kazuhide Tomita, Hiroataka Mutsuzaki, Yutaka Kohno	4. 巻 6
2. 論文標題 Gait Training after Stroke with a Wearable Robotic Device: A Case Report of Further Improvements in Walking Ability after a Recovery Plateau	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2490/prm.20210037	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 Aoyama Toshiyuki, Ae Kazumichi, Souma Hiroto, Miyata Kazuhiro, Kajita Kazuhiro, Kawamura Takashi, Iwai Koichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Difference in Personality Traits and Symptom Intensity According to the Trigger-Based Classification of Throwing Yips in Baseball Players	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Sports and Active Living	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/fspor.2021.652792	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 Aoyama Toshiyuki, Kanazawa Atsushi, Kohno Yutaka, Watanabe Shinya, Tomita Kazuhide, Kaneko Fuminari	4. 巻 15
2. 論文標題 Influence of Visual Stimulation-Induced Passive Reproduction of Motor Images in the Brain on Motor Paralysis After Stroke	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human 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/fnhum.2021.674139	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 Aoyama Toshiyuki, Kaneko Fuminari, Kohno Yutaka	4. 巻 73
2. 論文標題 Motor imagery combined with action observation training optimized for individual motor skills further improves motor skills close to a plateau	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 102683 ~ 102683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.humov.2020.102683	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 Watanabe Kunihiro, Mutsuzaki Hirotaka, Fukaya Takashi, Aoyama Toshiyuki, Nakajima Syuichi, Sekine Norio, Mori Koichi	4. 巻 56
2. 論文標題 Development of a Knee Joint CT-FEM Model in Load Response of the Stance Phase During Walking Using Muscle Exertion, Motion Analysis, and Ground Reaction Force Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medicina	6. 最初と最後の頁 56 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/medicina56020056	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 Yoshikawa Kenichi, Mutsuzaki Hirotaka, Koseki Kazunori, Endo Yusuke, Hashizume Yuko, Nakazawa Ryo, Aoyama Toshiyuki, Yozu Arito, Kohno Yutaka	4. 巻 11
2. 論文標題 Gait Training Using a Wearable Robotic Device for Non-Traumatic Spinal Cord Injury: A Case Report	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation	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) 10.1177/2151459320956960	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 Koseki Kazunori, Mutsuzaki Hirotaka, Yoshikawa Kenichi, Endo Yusuke, Kanazawa Atsushi, Nakazawa Ryo, Fukaya Takashi, Aoyama Toshiyuki, Kohno Yutaka	4. 巻 11
2. 論文標題 Gait Training Using a Hip-Wearable Robotic Exoskeleton After Total Knee Arthroplasty: A Case Report	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2151459320966483	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 Aoyama Toshiyuki, Kanazawa Atsushi, Kohno Yutaka, Watanabe Shinya, Tomita Kazuhide, Kimura Takehide, Endo Yusuke, Kaneko Fuminari	4. 巻 5
2. 論文標題 Feasibility Case Study for Treating a Patient with Sensory Ataxia Following a Stroke with Kinesthetic Illusion Induced by Visual Stimulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2490/prm.20200025	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 Aoyama Toshiyuki, Kohno Yutaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Temporal and quantitative variability in muscle electrical activity decreases as dexterous hand motor skills are learned	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.0236254	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 青山 敏之, 阿江 数通, 相馬 寛人, 宮田 一弘, 梶田 和宏, 奈良 隆章, 川村 卓	4. 巻 70
2. 論文標題 大学野球選手における送球イップスの発症率とその症状に関する探索的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体力科学	6. 最初と最後の頁 91-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jspfsm.70.91	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 Watanabe K, Mutsuzaki H, Fukaya T, Aoyama T, Nakajima S, Sekine N, Mori K	4. 巻 29
2. 論文標題 Development of a Knee Joint CT-FEM Model in Load Response of the Stance Phase During Walking Using Muscle Exertion, Motion Analysis, and Ground Reaction Force Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medicina	6. 最初と最後の頁 56(2)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/medicina56020056	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 Aoyama T, Kaneko F, Ohashi Y, Kohno Y	4. 巻 237(12)
2. 論文標題 Neural mechanism of selective finger movement independent of synergistic movement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Exp Brain Res	6. 最初と最後の頁 3485-3492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-019-05693-x	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 Aoyama T, Kaneko F, Ohashi Y, Kohno Y	4. 巻 11;9(1)
2. 論文標題 Dissociation between cortical and spinal excitability of the antagonist muscle during combined motor imagery and action observation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci Rep	6. 最初と最後の頁 13120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-49456-8	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 Yukako S, Kazuhide T, Toshiyuki A, Michiharu S, Yuichi A, Yukari O, Haruhiko N.	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 Development of an educational program for interprofessional collaboration:A workshop approach involving undergraduates from multiple departments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JAHS	6. 最初と最後の頁 10-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石橋清成、吉川憲一、古関一則、青山敏之、石井大典、山本哲、松田智行、富田和秀、河野豊
2. 発表標題 HONDA歩行アシストを用いた歩行練習により歩行能力の向上を認めた脳卒中片麻痺症例-筋シナジー解析による検討-
3. 学会等名 第60回日本運動障害研究会
4. 発表年 2021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
---------	---------