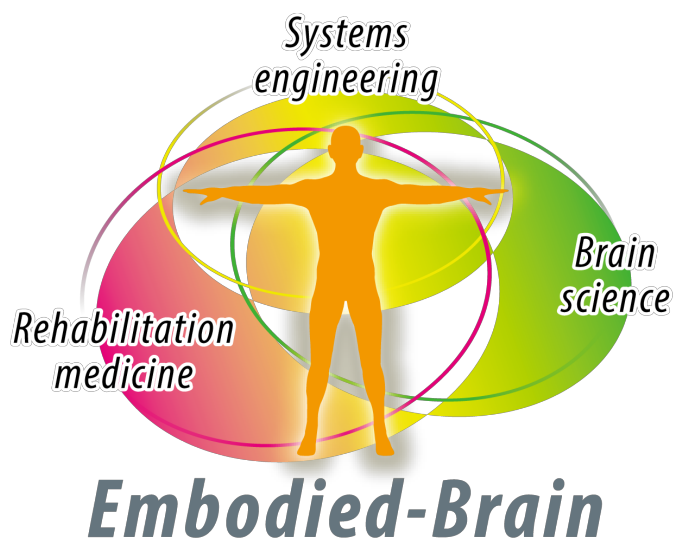


平成 26～30 年度 文部科学省 科学研究費補助金
新学術領域研究（研究領域提案型）

「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」

H30 年度 研究成果報告



領域略称名：身体性システム

領域番号：4603

設定期間：平成 26 年度～平成 30 年度

領域代表者：太田 順（東京大学）

<http://embodied-brain.org>

目 次

領域概要・総括班の活動報告

領域代表 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

国際活動支援班の成果報告

領域代表 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

A 班（脳科学）活動報告

班代表 内藤栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）

A01-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 今水 寛（東京大学 文学部 教授）

A02-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 部長）

A02-2 研究項目の研究成果報告

研究代表者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）

A03-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 鎌田 恭輔（旭川医科大学 医学部 教授）

A03-2 研究項目の研究成果報告

研究代表者 杉内 友理子（東京医科歯科大学 システム神経生理学 准教授）

A03-3 研究項目の研究成果報告

研究代表者 吉村 奈津江（東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授）

A03-4 研究項目の研究成果報告

研究代表者 松本 理器（神戸大学 大学院医学研究科 教授）

A03-5 研究項目の研究成果報告

研究代表者 尾崎 弘展（東京女子医科大学 医学部 助教）

A03-6 研究項目の研究成果報告

研究代表者 肥後 範行（産業技術総合研究所 人間情報研究部門 主任研究員）

B 班（システム工学）活動報告

班代表 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

B01-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

B02-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

B03-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 船戸 徹郎（電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授）

B03-2 研究項目の研究成果報告

研究代表者 長谷川 泰久（名古屋大学 大学院工学研究科 教授）

B03-3 研究項目の研究成果報告

研究代表者 細田 耕（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）

B03-4 研究項目の研究成果報告

研究代表者 宮田 なつき（産業技術総合研究所 主任研究員）

C 班（リハビリテーション医学）活動報告

班代表 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 教授）

C01-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 教授）

C02-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）

C03-1 研究項目の研究成果報告

研究代表者 四津 有人（茨城県立医療大学 医科学センター 准教授）

C03-2 研究項目の研究成果報告

研究代表者 島 圭介（横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授）

C03-3 研究項目の研究成果報告

研究代表者 金子 文成（慶應義塾大学 医学部 准教授）

C03-4 研究項目の研究成果報告

研究代表者 向野 雅彦（藤田保健衛生大学 医学部 講師）

C03-5 研究項目の研究成果報告

研究代表者 森岡 周（畿央大学 健康科学部 教授）

H30 年度活動報告

H30 年度研究業績リスト

メンバーリスト

領域の概要と総括班

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

I. 本領域の目的

超高齢社会を迎えた我が国では、加齢に伴う運動器の障害や脳卒中・脳変性疾患による運動麻痺等が急増しており、これらの運動機能障害を克服する有効なリハビリテーション法の確立が急務である。その鍵を握るのは、身体機能の変化に対する脳の適応メカニズムの解明である。例えば、加齢による転倒の増加は、運動機能の低下に脳の適応が伴っていないことを示唆する。また逆に、運動器には障害が無い病態でも身体認知に異常が生じ得る。これらの事実は、我々の脳内には身体のモデル（脳内身体表現）が構築・保持されており、これに異常が生じると感覚系や運動系に深刻な障害が起きることを意味する。

本領域では、脳内身体表現の神経機構とその長期的変容メカニズムを明らかにし、リハビリテーション介入へと応用することを目的とする。このため、システムの振る舞いを数理モデルとして整合的に記述できるシステム工学を仲立ちとして脳科学とリハビリテーション医学を融合することを試みる。これにより、運動制御と身体認知を統合的に理解し、真に効果的なリハビリテーション法を確立する「身体性システム科学」なる新たな学問領域の創出を目指す。

II. 領域全体の活動

2019 年 1 月 19 日までの 4 年半で、513 篇を超える学術論文（うち国際誌 353 篇）、371 件を超える国際会議発表、726 件を超える国内口頭発表を行っている。開始 2 年目以降には、着実に融合研究論文が出版され、また国際学術誌や国内学術誌において本領域で推進する異分野融合研究に関する論文特集号を発行している。2018 年度は、領域の研究成果の一部を 2 冊の専門書としてとりまとめ、東京大学出版会より出版している（太田ら編：身体性システムとリハビリテーションの科学 1「運動制御」、近藤ら編：身体性システムとリハビリテーションの科学 2「身体認知」）。これらは、本領域が開拓した新しい学術領域に新たに参画する初学者向けの教科書として利用することを想定している。以上のように、研究は順調に進捗している。具体的な成果としては、ヒトが身体運動を学習する過程における脳内の複数時定数の活動動態を fMRI 計測データから機械学習により同定した研究（脳科学班）、歩行・上肢運動における筋シナジーの解析アルゴリズムの開発（システム工学班）と適

応動態の解析（A02）、身体錯覚や没入型 VR を用いたリハビリシステムの開発とその脳内身体表現への介入の解析（リハビリ医学班）、が挙げられる。計画研究に加え、公募研究にも各研究分野の第一級の研究者が参画し、密に議論を重ねたことで、当初計画を超える研究提案がいくつもなされ進捗している。領域の重要な成果となる公募研究の多くは第 II 期公募も継続して採択されていることから、今後も多くの研究成果が見込まれる。また、本領域の研究成果は、のべ 14,000 人以上に対し広くアウトリーチされている。若手の会も組織され、異分野融合研究を主体的に行う次世代の若手研究者の育成も着実に進められている。

III. 領域全体の活動

領域としての活動、学会活動に分けて記す。

A. 領域としての活動

- 第 2 回国際シンポジウム（EmboSS2018）

日程：2018 年 12 月 5-6 日

場所：大阪・千里ライフサイエンスセンター

内容：海外から当該分野で著名な研究者 6 名（Prof. Paolo Dario (Scuola Superiore Sant'Anna), Prof. Etienne Burdet (Imperial College London, Prof. Sten Grillner (Karolinska Institutet), Prof. Peter Strick (University of Pittsburgh), Prof. Trevor Drew, (Université de Montréal, Prof. Mark Hallett (National Institute of Neurological Disorders and Stroke) を招聘し国際シンポジウムを開催した。領域からも 10 名が登壇した。70 件を超えるポスター発表があり、熱心に議論が行われた。

- 第 2 回評価会議

日程：2018 年 12 月 7 日

場所：大阪大学吹田キャンパス CiNet 会議室

内容：領域の評価委員（Prof. Paolo Dario, Prof. Yoshikazu Shinoda, Prof. Koji Ito）に本領域の研究成果を説明し、ご講評・ご助言を頂いた。

- 第 6 回領域全体会議

日時：2019 年 2 月 28 日～3 月 2 日

場所：岩手県

内容：領域メンバーの講演、ポスター発表、議論。

B. 学会活動

- 会議名：IEEE EMBC2018

日程：2018 年 7 月 17 日

場所：米国ハワイ国際会議場

内容：Workshop, 講演 8 件（うち海外からの招待講演 2 件），参加 30 名程度

-会議名：第 36 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)

日程：2018 年 9 月 6 日

場所：中部大学

内容：OS 企画（口頭発表 10 件）

-会議名：IEEE MHS 2018 (Micro-NanoMechatronics and Human Science)

日程：2018 年 12 月 11 日

場所：名古屋大学野依記念学術交流館

内容：OS 企画（口頭発表 5 件，ポスター 3 件），Keynote 講演（井澤）

-会議名：計測自動制御学会自律分散システムシンポジウム

日程：2019 年 1 月 24-25 日

場所：国立民族学博物館，大阪

内容：関連セッションにおける講演 3 件

IV. 班間連携

本領域では，領域立ち上げの初年度から，研究項目間を横断する研究を推進してきた．現在は第二期公募班を含めた連携が極めて円滑に進んでいる．図 1 に連携テーマを示す．ここで，①運動主体感，②姿勢保持，③筋シナジー，④身体保持感，⑤上肢運動，⑥ジストニア，⑦脳イメージング，⑧歩行，⑨把持，⑩人工拇指，⑪ソフトタッチ，⑫はいはい，⑬身体図式，⑭神経可塑性，⑮ソフトアクチュエータ，を表す．

V. 若手の活動

「身体性システム科学」という新しい学術領域を創成し，学問として体系化するためには，異分野融合の理念に精通して実践的に研究を推進できる若手研究者の育成が不可欠である．このため本領域では，領域に所属する若手研究者の会「身体性システム若手の会（通称若手の会）」を組織化している．領域の若手研究者とその研究協力者から現在までに 49 名が参加している．

本年度の活動としては，国際会議特別セッション 1 件，国際会議 招待講演セッション 1 件，国内会議特別セッション 2 件，研究会 2 件となっている．各活動内容は下記の通り．

- 国際会議 IEEE 40th EMB Conference (Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society) Workshop では本領域成果に関する特別セッションを開催し，11 件の研究講演を行なった．
- 国際会議 The 1st Korea-China-Japan international symposium on disability overcome (韓国 KIST 主催) では若手の会から 2 件の招待講演を行なった（千葉龍介（旭川医科大学），矢野史朗（東京農工大学））．

- 国内会議 SSI 2019 (システム・情報部門学術講演会 2019)GS 自律分散システム部会では本領域成果に関する 8 件の講演を行なった．
- 国内会議 第 36 回日本ロボット学会学術講演会では，本領域に関する特別セッションを開催し 10 件の講演を行なった．
- 国内研究会（B 班会議）として本領域の数理・統計モデル研究者を集め，温文（東京大学），白藤翔平（東京大学）による身体認知および筋電信号処理に関する研究講演を行なった．
- また本領域の全分野研究者を集め，大屋知徹（国立精神・神経医療研究センター），千葉龍介（旭川医科大学）らによる随意運動中の脊髄神経活動の信号解析および筋骨格モデルの学習制御に関する研究講演の研究会を行なった．

VI. 今後の予定

2019 年度は，領域の成果を取りまとめるとともに，一般公開シンポジウムを開催し，アウトリーチに取り組む予定である．

- 2019 年 9 月 17 日（予定）：第 3 回一般公開シンポジウム，東京大学

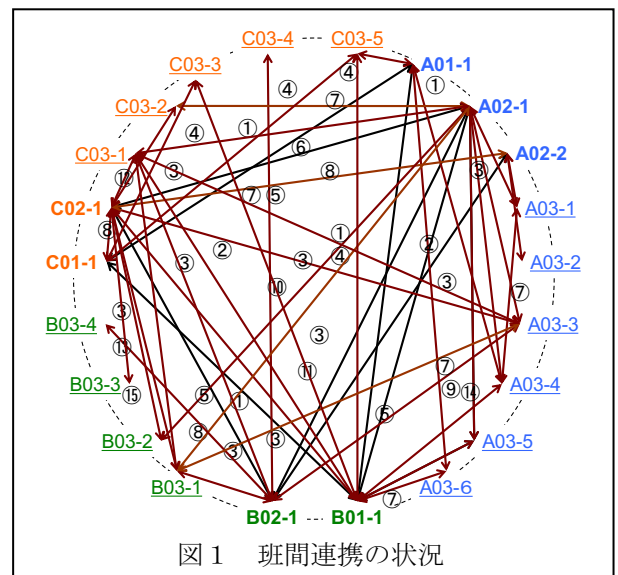


図 1 班間連携の状況

国際活動支援班の成果報告

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

I. はじめに

国際活動支援班は、新学術領域研究の国際研究活動を支援するための計画班である。本領域は、個別疾患のリハビリを包括した、脳内身体表現マーカー・モデルの概念による新しいモデルベーストリハビリテーションの実現を目指している。国際活動支援班は、A班（脳科学）－B班（システム工学）－C班（リハビリ医学）を横断し、分野融合研究として推進する核となるコアプロジェクトを設定し、その国際共同研究への展開を重点的に支援する。具体的には、計画班が主軸となって、01 項目群を中心とする身体意識に着目した幻肢・麻痺のリハビリテーション・コアプロジェクト（身体意識コア）と、02 項目群を中心とするシナジー制御器に着目した上下肢のリハビリテーション・コアプロジェクト（シナジー制御コア）を設定し、それに公募班メンバー（03 項目群）も加わる。

国際活動支援班の目的として、1）共同研究の促進、研究者ネットワークの構築と国際共著論文の執筆、2）領域への成果の還元、3）新体制システム科学領域の国際的なプレゼンス向上、を掲げている。毎年、11 月末までに、領域内の各研究代表者から国際研究活動の提案を公募し、上記 3 つの観点に照らして審査を行い、翌年度の支援対象活動を決定している。国際活動の終了後は、報告書を提出するのみならず、年度末の領域全体会議でポスター発表するなどして、成果を領域内に還元することを求めている。

II. 平成 30 年度の国際活動支援

平成 30 年度に実施した国際活動支援は以下のとおりである。

1	種 別：若手研究者の海外派遣 申請者：A02-1 関 内 容： シナジー制御コアの研究者 3 名をローマ Foundation of Santa Lucia（ローマ）に派遣し、筋シナジー解析に関する議論、共著論文の執筆を進めた。
2	種 別：著名研究者の招聘 申請者：A02-2 中俣 内 容： シナジー制御コア海外共同研究者である Université Paris Descartes の Marc A Maier 教授を招聘し、適応

	的な姿勢-歩行制御における多種感覚統合の大脳皮質機序の解明に関する共同研究を推進した。
3	種 別：若手研究者の海外派遣 申請者：C02-1 花川 内 容： 千葉大学／Johns Hopkins University の北佳保里博士を IEEE の国際会議 EMBC2018 に派遣するとともに、NCNP に招聘し、局所性ジストニアに関する共同研究を行った。
4	種 別：著名研究者の招聘 申請者：C01-1 稲邑、他 内 容： 身体意識コア海外共同研究者である Chalmers University of Technology の Max Ortiz Catalan 博士を IEEE の国際会議 EMBC2018 の国際ワークショップに招聘し、幻肢痛治療に関する議論を行った。
5	種 別：若手研究者の海外派遣 申請者：A02-2 高草木 内 容： シナジー制御コアの若手研究者 1 名を、University of Montreal の Trevor Drew 教授のラボに派遣し、姿勢制御に関する共同研究を行った。
6	種 別：著名研究者の招聘 申請者：B01-1 近藤 内 容： 身体意識コア海外共同研究者である University of Reading の Yoshikatsu Hayashi 博士、同ラボのポスドク 1 名を 12 月に 3 週間（12/2-25）招聘した。招聘期間中、本領域の国際シンポジウム EmboSS2018 ではポスター発表、IEEE の国際会議 MHS2018 では基調講演をして頂いた。また、ロボットリハビリテーションへの展開を考慮した二者協調運動学習実験、ならびに脳波に基づく運動想起型 BCI ニューロリハビリテーションに関する議論を行った。
7	種 別：著名研究者の招聘 申請者：B01-1 井澤 内 容： Imperial College の Burdet Etienne 博士を EmboSS2018 におけるリハビリテーション工学に関する講演と身体性システムに関わる研究室のラボツアーへの参加を目的として、12/1-12/8 の期間招聘した。

III. おわりに

本年度は、7 つの国際活動に支援を行い、領域の国際的なプレゼンスの向上を図るとともに、国際共同研究を推進した。今後はその成果として国際共著論文の執筆を進める。

2018 年度 A(脳科学)班の活動報告

内藤 栄一

情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター

I. 脳班の目的

A 班(脳科学班)では、脳内身体表現の神経実態の解明と脳内身体表現マーカーの提案を行うことを主目的とし、脳内身体表現と身体認知および運動制御との因果性を明らかにするため、身体認知(運動主体感と身体保持感)、協調的筋活動(シナジー)制御、予期的姿勢・歩行制御の問題を対象にした介入神経科学的実験を展開してきた。ヒトおよびサルなどの動物を対象とし、仮想現実課題技術などによる身体認知の操作、感覚系への物理的介入による筋骨格状態の操作、訓練によるサルの歩行様式の操作(2足歩行化)などに対する脳内身体表現の変容過程について電気生理学的手法や脳機能画像法などの手法を用いた研究を行ってきた。また、脳情報復号化(デコーディング)技術を導入して行動変化を予測可能な脳活動を同定し、これを脳内身体表現マーカーの候補として、B 班でのモデル構築や C 班のリハビリ原理の解明に役立てることに努めてきた。平成 30 年度は、本プロジェクトの最終年度にあたり、3 つの計画班(A01,A02-01,A02-02)および 6 つの公募班(A03-1~A03-6)それぞれの成果と A-B-C を跨ぐ班間連携の成果がまとめられた。

II. 班構成

上記の目的を達成するため、以下の班構成を基盤として班間連携を促進してきた。(敬称略)

研究項目 A01 脳内身体表現の変容を促す神経機構
研究代表者 今水寛(東京大)
研究分担者 村田哲(近畿大)、大木紫(杏林大)、前田貴記(慶応大)
連携研究者 12 名

研究項目 A02-01 身体変化への脳適応機構の解明
研究代表者 関和彦(NCNP)
研究分担者 内藤栄一(NICT)、寛慎治(都医学研)
連携研究者 16 名

研究項目 A02-02 姿勢-歩行戦略の変更に伴う脳適応機構の解明
研究代表者 高草木薫(旭川医大)
研究分担者 中隋克己(近畿大)
連携研究者 7 名

研究項目 A03-1 リアルタイムフィードバックとハイブリッド機能解析による脳機能ダイナミズムの可視化
研究代表者 鎌田恭輔(旭川医大)

研究項目 A03-2 眼球・頭部運動系における座標系と機能的シナジーの中枢神経基盤
研究代表者 杉内友理子(東京医科歯科大)
連携研究者 1 名

研究項目 A03-3 筋肉協調運動の脳内身体表現学理と脳波を用いた可視化によるリハビリ支援技術の開発
研究代表者 吉村奈津江(東工大)
連携研究者 3 名

研究項目 A03-4 ヒト前頭・頭頂葉内の脳内身体表現：皮質脳波解読と刺激・病変研究による包括的研究
研究代表者 松本利器(京都大:平成 31 年から神戸大)
連携研究者 5 名

研究項目 A03-5 大脳皮質における触覚-痛覚相互作用の解明と痛覚制御
研究代表者 尾崎弘展(東京女子医科大)
連携研究者 2 名

研究項目 A03-6 サル内包梗塞モデルを用いた身体表現適応機構の解明
研究代表者 肥後範行(産総研)
連携研究者 3 名

III. 活動報告

1. 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science : EmboSS2018
日時：平成 30 年 12 月 5、6 日
場所：千里ライフサイエンスセンター(〒560-0082 大阪府豊中市新千里東町 1-4-2)
実行委員長：内藤栄一(A02-1:NICT)、副委員長：村田哲(A01:近畿大)
内容：第 2 回 International Symposium on Embodied-Brain Systems Science(EmboSS2018)を開催し、本研究領域において世界的に高名な研究者 6 名が招待講演を行うと共に、本プロジェクトメンバー10 名がそれぞれ主要な研究成果の発表を行った。参加者は延べ 139 名で、本プロジェ

クトメンバー以外からも多くの参加者があった。2 日間で 4 つのトピックセッションを設け、各セッションでの招待講演の後、メンバーによる研究成果の口頭発表が行われ、活発な質疑応答がなされた。2 日間を通してポスターセッションもおこない、メンバーおよびメンバー外から、延べ 73 件のポスター発表があり、熱い議論が交わされた。

口頭発表では、脳班から、

12 月 5 日午前

Brain networks building up sense of agency

演者：今水寛(A01:東京大)

12 月 5 日午後

EEG cortical current source estimation and synergy analysis

演者：吉村奈津江(A03-3:東工大)

12 月 6 日午前

Neural correlates of hand muscle synergy and its plasticity (slow dynamics)

演者：関和彦(A02-2:NCNP)

Neural substrates of functional synergies-Structural basis for synergies in the head-neck motor system-

演者：杉内友理子(A03-2:東京医科歯科大)

が、プロジェクト成果の発表を行った。

2. A-B-C 合同班会議

日時：平成 30 年 12 月 7 日

場所：情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-4)

世話人：内藤栄一(A02-1:NICT)

参加者：今水寛(A01:東京大)、村田哲・望月圭 (A01:近畿大)、大屋知徹・関和彦(A02-1:NCNP)、内藤栄一・雨宮薫・廣瀬智士・池上剛・平島雅也(A02-1:NICT)、高草木薫(A02-2: 旭川医大)、杉内友理子(A03-2:東京医科歯科大)、吉村奈津江(A03-3:東工大)、浅間一・温文(B01:東京大)、近藤敏之・矢野史朗(B01:東京農工大)、太田順(B02:東京大)、千葉龍介(B02: 旭川医大)、青井伸也・土屋和雄(B02:京都大)、舩戸徹郎(B03-1:電気通信大)、出江伸一・須藤珠美(C01:東北大)、大脇大(C02:東北大)、四津有人(C03-1:茨木県立医療大) の計 26 名が参加した。

内容：主に 02 項目で扱っている筋シナジーに関して、EmboSS2018 では紹介しきれなかった A(脳)班および B(モデル)班の成果について、大屋と千葉が以下の発表を行い、成果に関する討論を行った。

1. 運動制御における多重感覚運動ループの意義 一皮質-筋、脊髄-筋間のコヒーレンスを例に一

演者：大屋知徹(A02-1:NCNP)

2. 起立姿勢維持モデルにおけるパラメータと挙動の関係に関する考察

演者：千葉龍介(C02:旭川医大)

おわりに

本年度は身体性システムの最終年度であった。本プロジェクトを通して、脳班は身体認知や筋シナジーの脳内身体表現に関して多くの成果を得てきた。身体認知に関しては、前頭-頭頂ネットワークの中でも特に右半球の上縦束第 3 ブランチで結合される下前頭-頭頂ネットワークが、身体状況のモニタリングや誤差信号処理などの過程を通して人間の身体認知(運動主体感と身体保持感)に深く関わること(A01, A02-1, A03-4)、運動制御に関しては、運動野からの皮質脊髄路や赤核脊髄路に手や上肢のシナジー制御を可能にする筋支配がみられるが、両者でその支配様式が異なること(A02-1)、また、姿勢制御における補足運動野の特殊性(A02-2)など新しい知見を明らかにした。身体認知に関わる Slow dynamics では、発達に伴う大脳右半球の機能側性化の動態(A02-1)、運動制御に関わる Slow dynamics では、運動学習後に時間の推移とともに運動記憶が異なる脳内領域に書き込まれていく動態を明らかにし(A01)、さらには腱の付け替え(身体改変)に長期的に適応する生体反応の記録にも成功した(A02-1)。また、筋シナジー解析に基づいた運動機能リハビリテーション評価に関する研究は、脳科学、工学、リハビリ医学の学際的連携により実現された本プロジェクトの代表的成果である(A02-B02-C02 連携)。このほか、痛み経路の可塑性(A03-5)や脳損傷後の機能代償に関わる新しい知見(A03-6)、頭部-眼球制御における詳細な機能・解剖ネットワークの同定(A03-3)、損傷脳データに基づいた運動機能回復モデルの作成(A03-6, C01)などに加え、リアルタイムデコーディングや EEG を使ったデコーディング法の技術開発(A03-1, A03-2)にも目覚しい進展があった。本プロジェクトを通して、脳科学、工学、リハビリ医学の人的交流と研究連携(学際化)は飛躍的に発展したといえる。超高齢社会で顕在化している認知・運動機能障害に対処することを可能にする当該学問領域は、今後もさらに発展させるべきと強く確信する。

A01-1 研究項目の研究成果報告

今水 寛

東京大学大学院人文社会系研究科

Abstract—本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面として身体意識を主に扱う。その神経基盤を明らかにし、身体意識が脳内身体表現を変容させる過程を調べ、身体意識を介入・操作する手法を開発する。今年度の主な成果として、右頭頂小葉への磁気刺激・直流電気刺激で予測誤差と身体意識の関係に介入することに成功した。統合失調症における身体意識を正常化させるために、Keio Methodを改良したスマートフォン・アプリを開発するなど、身体意識の操作・介入に向けて大きく前進した。基礎研究成果の論文も着実に進めた。

I. はじめに

身体意識とは「自身が運動している」という運動主体感と、「これが自身の身体である」という身体保持感を意味する。本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面として、身体意識を主に研究する。

II. 目的

本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面として、身体意識の神経基盤を明らかにする。さらに、身体意識が脳内身体表現を長期的に変容させる過程を明らかにし、脳内身体表現を適切に誘導する手法を探索し、乖離した脳と身体関係を適切に誘導・修復する手法の開発を目指す。

III. 研究成果

A. 身体意識の操作の基礎技術開発

研究代表者らのグループは、身体意識の中でも特に運動主体感に介入・操作する実験に精力的に取り組んだ。

1) **運動主体感の脳刺激介入**：昨年度までに行った運動の自他帰属を fMRI 脳活動からデコードする研究[1]から、「右下頭頂小葉が、感覚予測誤差と自他帰属の主観判断を結びつける役割をする」との仮説を立てた。この仮説を検証するため、被験者が運動の自他帰属を判断する課題を行っている最中に、右下頭頂小葉に経頭蓋直流刺激・磁気刺激を与えた。その結果、感覚予測誤差と自他帰属判断の相関が低下し、仮説の妥当性を示した。

2) **主体感を操作する fMRI ニューロフィードバック**：より高い効果を得るための訓練方法を探索した。運動課題を行っている最中に、右下頭頂小葉の活動レベルをフィードバックすることを8人の被験者に試み、結果を解析した。しかし、二重課題となり、被験者が訓練に集中できないことや、頭の動きによるアーチファクトが大きいことが解った。そこで、訓練中には脳活動のフィードバックのみを行い、訓練効果を運動課題に転移させる方法に変更して7人に試み、現在は結果を解析中である。

3) **精神疾患と運動主体感**：運動主体感はさまざまな精神疾患で変容することが知られている。複数の精神疾患に共通する認知機能の変容に関して、その原因となっている脳ネットワークを探索する技術を開発、eLife 誌に掲載した[2]。また、自閉スペクトラム症では主体感が減退することが知られている。自閉スペクトラム症患者の手指運動のシナジーを調べたところ、薬指に依存する傾向が見られ、小脳が関与することが明らかになった[3]。特異なシナジー制御が、主体感の減弱に繋がっていると推測される。

4) **視覚情報による意図的な姿勢制御**：姿勢の動揺を視覚フィードバックで意図的に補正させると、かえって姿勢が動揺することを明らかにした[4]。リハビリテーションにおいて、運動主体感を高めるフィードバックを与える際には、自然な方法で行わないと、むしろ逆効果になる可能性を示唆した。

B. ヒトの脳内身体表現の解明とその臨床応用

研究分担者の大木紫（杏林大学）らのグループは、身体所有感の神経基盤をヒトで明らかにし、新しい効率的なニューロリハビリテーションを開発することを目的としている。

1) 64チャンネル脳波データの解析を行った。2回触刺激を加えた直後に身体保持感を尋ねる即時的なラバーハンド錯覚課題中に、健常者18人から記録し、身体保持感以外の条件は一定にした。本年度は cluster-based permutation test を行い、身体保持感の有無で有意差が出る cluster が右の後頭-頭頂領域 (P4-P6, PO4-8, O2) に存在し、1回目の触刺激中と2回目の触刺激後に出現した。誘発電位はこの領域では小さく、正中部 (FCz-Cz) で顕著に観察された。更に event-related spectral change について、同様の解析を行った。身体保持感の有無の対比では、昨年と同様、左の後頭-頭頂葉で有意な cluster が検出された (α - γ 帯域)。しかし、身体保持感の強弱で対比させたところ、Event-related potential と同様、 γ 帯域 (26-40 Hz) で右の後頭-頭頂領域に有意な cluster が見られ、2回目刺激中から後にパワーの上昇が見られた。以上の結果は、身体保持感に関わる活動が脳波でも右半球で検出できること、しかし変化は弱く online ではモニターできない可能性を示している。この研究は、Reading 大学の Hayashi 博士（国際活動支援班）と共同で行っている。

2) 身体保持感と運動主体感の行動学的マーカーを検索するため、VRを用いた active rubber hand 実験を行った。このため、被験者は右手で円運動を行うことで 12cm 前方に提示された CG の手を操作し、手と CG の動きの間

に 90-480 ms の delay を導入した。質問紙で得られた身体保持感と運動主体感の Delay が大きくなると減弱し、運動のエラーは大きくなった。重回帰分析を行ったところ、身体保持感の delay により決定されるのに対し、運動主体感の delay と運動エラー両方の影響を受けた。従って、運動エラーは運動主体感により影響を与える可能性が示唆された。この結果は、論文として発表した[5]。

C. サルを対象とした電気生理実験による脳内身体表現の解明

研究分担者の村田哲（近畿大学）らは、自己の身体の状態を符号化する脳内身体表現の神経基盤を明らかにするために、サルの頭頂葉のニューロン活動の随伴発射による影響を調べることを目標にした。そこで、サルの体性感覚野において随伴発射による感覚抑制に関わる神経活動をとらえる実験を行った。サルが自ら右手でレバーを動かすと、左手の手掌の上を筆がこする刺激装置を使い、レバー操作運動中の体性感覚刺激に対する右体性感覚野の単一ニューロン活動を記録した。この実験では、レバーの動きに対して筆が同時に動く場合、筆の動きがレバーの動きに対して 100ms-600ms 遅れるような場合、自動的に筆が動く場合（受動的刺激）のニューロン活動を比較した。二頭のサルの右中心後回から、左手のひらや指に受容野を持つニューロン 388 個を記録した。これらのニューロンには、受動的刺激と比較して運動中に反応が弱くなるものと、反応が促進されるもの、反応に変化のないものがあった[6]。ニューロンの活動と遅延の時間との相関を調べた結果、遅延が長くなるにしたがって反応が弱くなるものが 73 個、逆に遅延が長くなるにしたがって反応が強くなるものが 104 個見つかった。前者は運動中の反応の促進、後者は運動中の抑制に相当する。つまり、運動中の感覚抑制を示すものが多いことが明らかになった。随伴発射による影響と考えられる。また、筆の動きではなく、レバーの動きに一致して反応が見られるものがあり、これは右手の運動に伴う随伴発射そのものを反映している可能性が示唆される。以上の結果は、体性感覚野のニューロン活動が、運動に伴う随伴発射の入力によって影響を受けることを示している。

D. 統合失調症患者における運動主体感の変容メカニズムの解明と正常化

研究分担者の前田貴記（慶應義塾大学）らのグループは、独自に開発した運動主体感の計測方法（Keio method）を用いて、行動実験、シミュレーション、脳画像研究、神経生理学的研究などを進展させ、Keio method を治療用に改変した。

1) 健常者 20 例に対して resting state fMRI による脳活動計測を行い、Keio method の行動データと比較し、運動主体感の成立条件としての functional connectivity の解析を進めた。

2) Keio method のデータを基に、神経回路モデルを用いて、健常者における Keio method の結果を再現。その上で、健常者データをモデル化した神経回路に、神経伝

達時間のランダムな遅延や内部状態へのノイズを与える仮想実験を行い、“delayed prediction signal 仮説”の妥当性を示した。

3) 松本理器先生らと、島皮質～下頭頂小葉にかけての脳腫瘍患者 13 例の手術前後で Keio method を施行し、各領域の運動主体感の生成に関する役割について検討を進めた。

4) Keio method を改変、運動主体感を正常化させるためのアプリを開発し、スマートフォンによるリハビリテーション・システムの構築を進めている。スマートフォンのライフログから、精神状態を推定する AI システムを開発した[7]。

5) 運動主体感の神経生理学的研究の一環として、準備電位の研究を行い[8]、統合失調症の感情処理の異常について検討した[9]。

IV. おわりに

今年度は、電気生理実験で身体意識に関与するさまざまなニューロンが見つかり、神経基盤の理解が進んだ。脳波における身体意識のマーカー候補が特定されたが、オンライン化は今後の課題として残された。非侵襲脳刺激により、身体意識に介入することに成功し、統合失調症における身体意識を正常化させるためのスマートフォン・アプリを開発するなど、身体意識への介入と誘導・修復する方法の開発において進歩が見られた。

REFERENCES

- [1] R. Ohata, T. Asai, H. Kadota, H. Shigemasa, K. Ogawa, and H. Imamizu, Self-agency built with sensorimotor processing: Decoding self-other action attribution in the human brain, bioRxiv, e483420, 2018
- [2] M. Yamashita, ... B. Seymour, H. Takahashi, M. Kawato, and H. Imamizu, A prediction model of working memory across health and psychiatric disease using whole-brain functional connectivity, eLife, 7, e38844, 2018
- [3] S. Togo, T. Itahashi, R. Hashimoto, C. Cai, C. Kanai, N. Kato, and H. Imamizu, Fourth finger dependence of high-functioning autism spectrum disorder in multi-digit force coordination. Scientific Reports, in press
- [4] S. Imaizumi, T. Asai, K. Hiromitsu, and H. Imamizu, Voluntarily controlled but not merely observed visual feedback affects postural sway, PeerJ, 6, e4643, 2018
- [5] S. Shibuya, S. Unenaka S, and Y. Ohki, The relationship between the virtual hand illusion and motor performance, Front Psychol, 9, e2242, 2018
- [6] K. Mochizuki, K. Nakajima, M. Inase, A. Murata. Motoric electrocorticography signal in primate primary somatosensory cortex during voluntary movement. J Physiol. Sci 68 Supplement S158 3P-001 2018
- [7] Y. Fukazawa, T. Ito, T. Okimura, Y. Yamashita, T. Maeda, and J. Ota, Predicting anxiety state using smartphone-based passive sensing, Journal of Biomedical Informatics, in press
- [8] W. Wen, R. Minohara, S. Hamasaki, T. Maeda, Q. An, Y. Tamura, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama, The Readiness Potential Reflects the Reliability of Action Consequence, Scientific Reports, 8, e11865, 2018
- [9] H. Tani, M. Tada, T. Maeda, M. Konishi, S. Umeda, Y. Terasawa, M. Mimura, T. Takahashi, and H. Uchida, Comparison of emotional processing assessed with fear conditioning by interpersonal conflicts in patients with depression and schizophrenia, Psychiatry Clin Neurosci, in press

A02-01 研究項目の研究成果報告

関和彦

国立精神・神経医療研究センター 神経研究所

Abstract—In the FY2018, we established 1) slow dynamics in the adaptation to tendon-transfer surgery 2) understanding of developmental adaptation in the human cerebrocerebellar loop (slow dynamics), and development of new fMRI decoding method, and 3) State prediction in the cerebro-cerebellum and fully-digitized evaluation of cerebellar ataxia.

I. はじめに

研究項目 A02-01 では関（代表者）内藤・寛（分担者）及び 13 名の連携研究者というメンバーで構成される。国立精神・神経医療研究センター、情報通信研究機構、東京都医学総合研究所という我が国を代表する神経科学の研究拠点をベースに項目内、班内及び領域内連携を確立して筋シナジー制御器の状態を反映する脳内身体表現マーカーの確立をめざす。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は筋シナジー生成器及び制御器の脳内神経基盤を明らかにし、身体の筋骨格構造の変化や体性感覚の遮断に対する上記神経機構の可塑性 (slow dynamics) を実験的に明らかにする事である。

III. 研究成果

本年度の具体的成果を以下に 3 つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 脳内身体表現変化の slow and fast dynamics を評価するための霊長類モデルの確立

筋肉や骨格系の構造は生後様々な変化をするが、その変化に関わらず同じ行動を行うことができるのは生物の大きな特徴だと言える。さらに事故などで四肢の一部が失われた場合も、義足や義手の適用によって事故前に近い運動が可能な場合さえある。これらの例は、筋骨格系構造の変化が、行動制御の中枢である脳神経系に伝えられ、筋骨格系の変化に合わせてその機能や構造が適応的に変化し、それによって変化後の四肢が制御されていると考えられる。しかし、この適応的变化の生物学的実態はほとんど明らかにされていない。そこで本研究では、中枢神経系に身体に関する多様な情報が集約された表象がなされていると想定し（脳内身体表現）、それらが筋骨格系の構造変化に対応する形で変化することによって行動適応が実現しているという仮説を検証した。最終年度の本年度は、前年度までに作出した動物モデルにおいて記録した生理学的データの解析により、進展が認められた。第一に一方向性筋再配置モデルの解析から、身体

改変に対する神経系機能 適応の slow dynamics には 2 つの局面が存在する事が明らかになった。まず再配置筋及び周辺筋の把握運動時の筋活動パターンとその 3 ヶ月間の時系列的変化を非負値行列因子分解 (NNMF) によって分解する解析方法を確立した (B01: 矢野・近藤博士と連携)。抽出された 2 つの要素は、それぞれ異なった適応の時系列を呈していた。つまり、急性期と慢性期ではそれぞれ異なった神経適応機構が働いて slow dynamics を作り出している可能性が示された。第二に、両方向性再配置モデル (つけかえ) を用いた解析からは、筋シナジーによる運動制御様式にも、その適応過程において 2 局面が存在する可能性を見出した (B03: 船戸博士と連携)。適応期間中、筋シナジーの空間パターンは変化しなかったが、一方各筋シナジーの時間変動が 2 相性の変化を示した。つまり、適応急性期には付け替えた筋が主要な貢献をする筋シナジーの時間変動パターンが、入れ替わるような現象を認めた。しかし、運動パフォーマンスの向上とともに、再び元の時間パターンに近似してゆく変化を示した。これは、たとえば関節屈曲筋シナジーへの運動指令コマンドに対して、関節進展を示す間隔フィードバックを中枢神経系が受けると、あたかも、その運動コマンドを関節進展シナジーへのコマンドと入れ替えて、運動制御を試みる (局面 1)。その後、再学習によって、平衡点を探索する (局面 2) ようであった。

以上 2 つの筋再配置モデルの解析から、身体改変への中枢神経系適応の slow dynamics には少なくとも 2 局面があることが明らかとなった。筋シナジー空間パターン (筋シナジー生成器: 脊髄や 1 次運動野を想定) が変わらず、筋シナジーの時間変動 (筋シナジー制御器: 小脳や運動前野・頭頂葉などを想定) が適応局面によって柔軟に変化するという適応パターンは、身体や中枢神経系への損傷などへの適応メカニズムのプロトタイプと考えることができる。

B. 小脳における状態予測のメカニズム解明および小脳性運動障害の評価精度の 10 倍化

B-1. 小脳における状態予測の証明

寛 (都医学研) グループは、B01 班の田中宏和博士 (北陸先端科学技術大学院大学) と共同で、大脳小脳における順モデル仮説の検証を行った。感覚情報は数十 msec 以上の遅れを伴い脳に到達し、そのままでは制御が不安定になる。そこで小脳にあるとされる順モデルの状態予測でこの遅れを補正し、滑らかで正確な制御が実現されるところの仮説が有力である。この順モデルは脳内身体表

現の中核であるが、その実態は不明であった。そこで我々は運動課題中のニホンザルの小脳で苔状線維（入力）、プルキンエ細胞（中間）、歯状核細胞（出力）という3つの神経細胞集団の活動を分析し、歯状核からの小脳出力が未来の小脳入力（＝運動野の出力）を予測する情報を持ち、カルマンフィルター等であることを明らかにした（Tanaka et al. The Cerebellum, 2019）。

B-2. 小脳障害評価のデジタル化

小脳障害の脳内身体表現を分析するには、医師による低精度（～数 cm）の肉眼評価に代わる、mm 単位の高精度評価を可能にするシステムが必要になる。そこで Microsoft 社および B02 近藤グループと共同で Kinect v2 を利用して小脳機能評価システム SARA のデジタル化を行った [2]。このシステムでは、記録精度の 10 倍化に加え、全身の異常運動を同時に評価可能であり（図 1）、従来の SARA を越える全く新しいシステムである。今後、複数の synergy controller が並列動作する脳内身体表現の分析ツールとして活用する予定である。

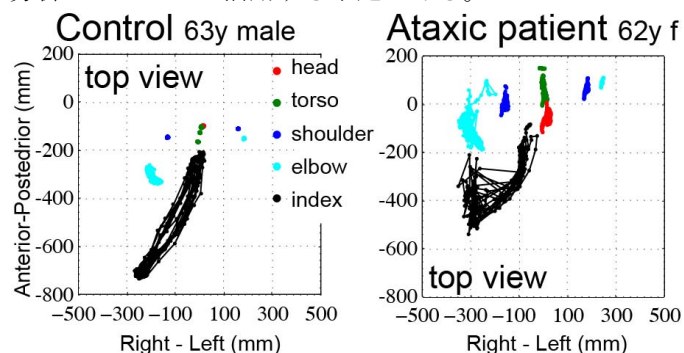


図 1 Kinect v2 による SARA の鼻-指試験のデジタル化：従来の臨床評価では指先（黒）のみの動きを低精度（数 cm）で評価してきた。新システムでは身体局所の動きを mm 単位の高精度で評価し、さらに全身の他の部位の動きも同時記録できるため、異常運動の全体像の評価が可能である。小脳失調患者では、指先の振戦のみならず体幹や肩肘等の近位部の動揺が増加していることに注目。

C. 人の大脳—小脳連関の発達 (slow dynamics) の解明

研究分担者の内藤(情報通信研究機構)グループは、筑(都医学研)らが行っている大脳—小脳ループの研究に関連して、人の大脳—小脳ループが発達に伴い、どのように形成されるのかについて、MRI 研究を行った。まず、DiffusionMRI を用いて、小学生(8-11 歳)、中学生(12-15 歳)、成人(18-23 歳：各 19 名)の脳内神経線維を撮像し、大脳から小脳への入力線維、小脳から大脳への出力線維および脊髄から小脳への入力線維を描出した。これらの線維の成熟(例えば髄鞘化)度合いを定量的に評価すると、全ての線維が(両半球とも)、小学生、中学生、成人へと成長するのに伴い、ゆっくりと成熟することがわかった [1]。続いて、FunctionalMRI を用いて、小学生、中学生、成人が 1Hz の音に正確に合わせた手首運動をしている際

の脳活動を計測し、小脳の機能結合の発達的变化を調査した。成人に比べると、小学生・中学生では、大脳(運動野)と小脳の遠距離領域間の機能結合が弱く、反対に、小脳内(小脳皮質と核)の機能結合が強いことがわかった [1]。発達に伴い、小脳内の局所的機能結合は減弱し、反対に運動野—小脳の遠距離領域間の機能結合が徐々に優位となることがわかった(図 2)。これら一連の結果は、運動制御において重要な働きをする運動野—小脳ループは小学生ではまだ解剖学的にも機能的にも未成熟で、発達に伴いゆっくりと成熟していくことを示した。また、この研究は、人の脳機能が、局所的機能結合が優位な状態から遠距離領域間の機能結合が優位になる状態へと成熟するという slow dynamics の原理が、運動野—小脳連関の発達にも当てはまることを初めて明らかにした。

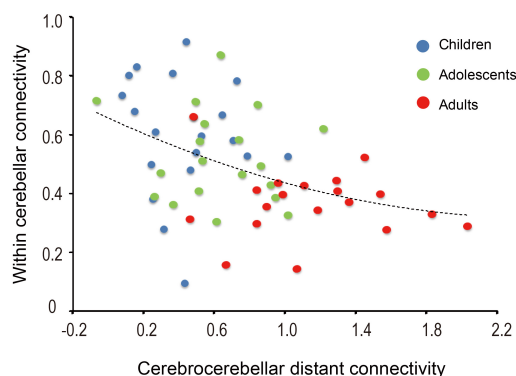


図 2 手首運動制御における、小脳内局所機能結合優位から運動野—小脳遠距離領域間機能結合優位への発達ドットは各被験者のデータ。青：子供、緑：中学生、赤：成人。縦軸に小脳局所結合の度合い(a.u.)、横軸に運動野—小脳遠距離領域間結合の度合いを示す。

IV. おわりに

5 年間の共同研究によって、身体改変・発達・疾患への適応における SLOW DYNAMICS の一端が解明され、またそれらと筋シナジー生成器・制御器としての中枢神経系適応の具体的なメカニズムの一部が明らかになった。研究期間後も共同研究を継続して、それらメカニズムを解明することが期待される。

REFERENCES

- [1] Amemiya K, Morita T, Saito DN, Ban M, Shimada K, Okamoto Y, Kosaka H, Okazawa H, Asada M and Naito E (2019) Local-to-distant development of the cerebrocerebellar sensorimotor network in the typically developing human brain: a functional and diffusion MRI study. Brain Struct Funct DOI : 10.1007/s00429-018-01821-5.
- [2] Kakei S, Ishikawa T, Lee J, Honda T, Hoffman DS “Physiological and morphological substrates underpinning recruitment of the cerebellar reserve”, CNS & Neurological Disorders – Drug Targets 2018; 17(3): 184-192.

A02-2 研究項目の研究成果報告

高草木 薫（研究代表者）

旭川医科大学医学部・脳機能医工学研究センター

要旨ー 随意運動は目的動作に最適な姿勢制御によって実現される。この姿勢制御には運動前後における自己身体と空間の関係をリアルタイムに予測し、これに基づいて目的動作と姿勢筋シナジーを生成する運動プログラムが必要である。本課題では、一連のプロセスを実現する神経機構の解明を試みている。本年度は姿勢制御の基盤である脳幹-脊髄下行路系の機能構築と、これに作用する神経伝達物質の役割を解析した。得られた成績は、「複数の脳幹-脊髄下行路の統合的作用で姿勢シナジーが生成されること、特に網様体脊髄路に作用するコリン作動系とモノアミン作動系の相互作用が姿勢筋シナジーの調節に重要な役割を果たすこと」を示している。本成績は多くの神経変性疾患における随意運動時の姿勢制御障害や覚醒-睡眠状態に依存する姿勢・運動障害を誘発する背景には、脳幹内の神経伝達物質の異常が存在することを示唆する。

I. はじめに

脳血管障害や脳腫瘍・脳変性疾患（パーキンソン病や認知症など）などの脳損傷によって運動機能が損なわれる。全ての動作には、目的動作に最適な姿勢制御が先行する。従って、適応的な姿勢制御を提供する脳内神経機構を解明することが、脳損傷後における運動機能を再建するためのシナリオ構築の第一歩である¹⁾。

II. 目的

本研究の目的は、自己身体認知に基づく姿勢制御プログラムを生成する高次脳メカニズムと姿勢制御プログラムに基づく姿勢制御神経機構を解明することである。本年度は、脳幹-脊髄による姿勢筋シナジー生成機構と、これに作用する神経伝達物質の役割についての研究を実施した。

III. 研究成果

1. 作業仮説：脳幹-脊髄による姿勢筋シナジーの制御

図1は本研究の作業仮説である。姿勢筋シナジー制御には網様体脊髄路、前庭脊髄路、モノアミン作動性下行路などの脳幹-脊髄下行路が関与する²⁾。網様体脊髄路は橋網様体の作用を受ける。橋網様体は脚橋被蓋核（PPN）からのコリン（ACh）作動性投射、青斑核（LC）や背側縫線核（RD）からのノルアドレナリン（NA）やセロトニン（5-HT）作動性投射を受ける。青斑核や縫線核群はモノアミン作動性下行路として脊髄に投射する。これらは脊髄の介在ニューロン（IN）を介して、或いは、直接、運動ニューロンに作用する²⁾。また、外側視床下部からのオレキシン作動性投射や大脳基底核の出力核である黒質網様部（SNr）からの GABA 作動性投射がコリン系やモノアミン系の活動を修飾する²⁾。従って、姿勢筋シナジーは

脳幹-脊髄下行路、その興奮性を修飾する神経伝達物質、そして、上位中枢や感覚情報によって調節されると考えられる。

2. 脳幹-脊髄下行路系による姿勢筋シナジー制御

(1) 脳幹-脊髄による姿勢筋シナジーのプロトタイプ

実験には上位脳を中脳で外科的に離断した除脳ネコを用いた。標本を筋弛緩薬で非動化した後、両側脳幹に微小電気刺激（50Hz, 40 μ A）を加え、左側の大腿四頭筋と後大腿二頭筋、外側腓腹ヒラメ筋と前脛骨筋の伸張反射（la 単シナプス反射）を比較し、膝関節（図2A）と踵関節（図2B）の運動を評価した。橋-延髄網様体には機能局在が存在することが分かった。具体的には、網様体背側部は伸-屈筋の共抑制（●；筋弛緩）を、腹側部は共収縮（○）や伸展（□）・屈曲（△）などの運動を誘発した。また、PPN 刺激は筋弛緩を、RD や大縫線核（RM）、LC への刺激は共収縮や伸展を誘発した。一方、外側前庭神経核（LVN）刺激は、同側下肢関節の伸展と対側下肢関節の屈曲を誘発した。従って、モノアミン作動性下行路や外側前庭脊髄路は同側の抗重力筋活動の維持に、網様体脊髄路は筋弛緩・共収縮など、抗重力筋活動調節に加え、屈曲・伸展などの姿勢筋シナジー制御に関与する。

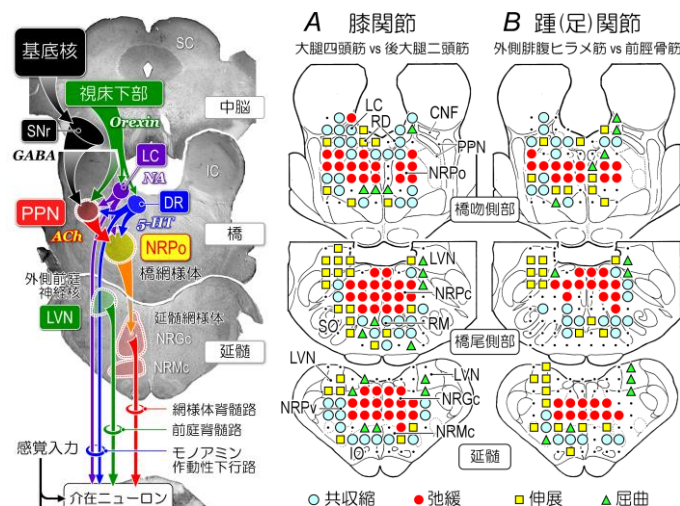


図 1. 作業仮説

SC; 上丘, IC; 下丘, NRPo; 吻側橋網様核, NRGc; 巨大細胞性網様核, NRMc; 大細胞性網様核。

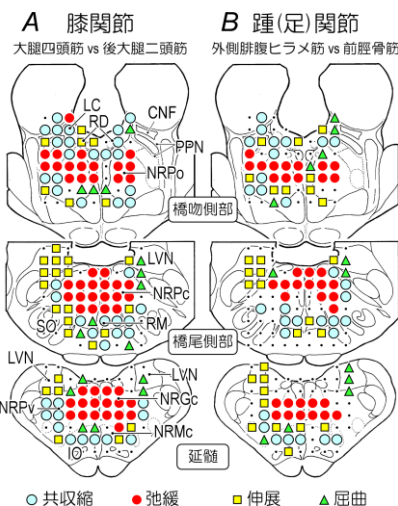


図 2. ネコ脳幹の電気刺激で誘発される膝関節 (A) と踵関節 (B) の運動

上から、橋吻側部、橋尾側部、延髄の刺激部位と刺激効果。○ 共収縮、● 弛緩、□ 伸展、△ 屈曲。CNF; 楔状核, LVN; 外側前庭神経核, RM; 大縫線核, SO; 上オリブ核, NRPc; 尾側橋網様核, NRPv; 延髄小細胞性網様核, IO; 下オリブ核。

(2) 神経伝達物質の作用に伴う姿勢筋シナジーの修飾

PPN の ACh ニューロンや縫線核群の 5-HT ニューロンの活動は覚醒・睡眠サイクルに対応する筋緊張変化と関連し、双方とも橋網様体に投射する(図1)¹⁰。そこで、橋網様体への Carbachol(長時間作用性 ACh 作動薬)と 5-HT の微量注入が抗重力筋活動をどの様に変化させるのかを解析した(図3A)。

Carbachol 注入は、左右後肢の抗重力筋活動を消失(筋弛緩)させた^[3]。次いで、5-HT を注入すると、筋活動は回復・増加した。従って、橋網様体に投射する ACh 系と 5-HT 系は抗重力筋緊張を相反的に調節すると考えられる。

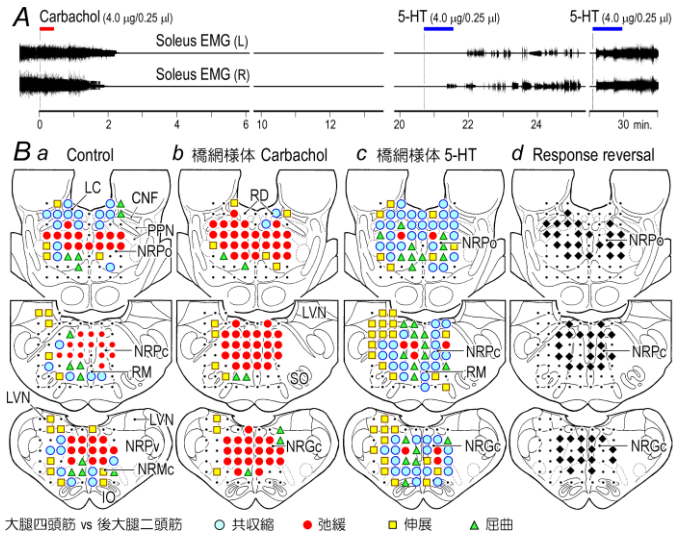


図 3. 橋網様体に作用する ACh/5-HT 作動性注射と筋シナジー制御

A. 吻側橋網様核(NRPO)への Carbachol 注入(4.0 µg/0.25 µl)と 5-HT (4.0 µg/0.25 µl) 注入による左(L)右(R)のヒラメ筋筋電図(Soleus EMG)の変化。B. 脳幹への微小電気刺激(40 µA, 50 Hz)が膝関節筋シナジーに与える作用。a. コントロール、b-c. NRPO への Carbachol 注入(b)と 5-HT (c) 注入によって誘発される膝関節運動。D. b と c で、姿勢シナジーを逆転させた領域(◆)。

では、ACh 系と 5-HT 系による相反的な筋緊張調節機構は、図2で示した脳幹-脊髄投射系による姿勢筋シナジーをどの様に修飾するだろうか？ Control(図3Ba)では、図2Aと同様に、橋-延髄網様体背側部に加えた刺激は膝関節の弛緩を、腹側部への刺激は膝関節の屈曲・伸展・共収縮を誘発した。青斑核や縫線核群への刺激は共収縮を、外側前庭神経核刺激は伸展を誘発した。一方、橋網様体への Carbachol 注入によって、網様体刺激の多くが膝関節を弛緩させ、共収縮や屈曲-伸展を誘発する領域が著減した(図3Bb)。反対に橋網様体への 5-HT 注入は、筋弛緩領域を縮小させ、共収縮や屈曲-伸展を誘発する領域を増加させた(図3Bc)。また、Carbachol と 5-HT の注入によって、Response reversal と呼ばれる反応の逆転現象¹⁰を誘発する領域は橋-延髄網様体に局限していた(図3Bd)。従って、この現象の発現には橋網様体におけるコリン系とセロトニン系の相互作用と網様体脊髄路の活動変化が関与すると考えられる。では、網様体脊髄路は、どのような仕組みでこの現象を誘発するのだろうか？

3. 延髄網様体と脊髄における筋緊張関連ニューロン

網様体脊髄路ニューロン(Reticulospinal neuron; RSN)の出力は脊髄介在ニューロン(Interneuron; IN)によって運動ニューロン

に伝達される(図1)。そこで、Carbachol と 5-HT を橋網様体に注入し、延髄 RSN と脊髄 IN の活動変化とそれらの脳幹-脊髄内の局在を解析した。

筋緊張消失時に活動する“抑制関連 RSN と IN”は、各々、延髄網様体の背側部-中央部と脊髄中間部-前角に分布していた(図4A)。一方、筋緊張亢進時に活動する“促進関連 RSN と IN”は、各々、延髄網様体の中央部-腹側部と脊髄後角-中間部に分布していた(図4B)。

従って、Response reversal は、筋緊張の“抑制関連ニューロン群”と“促進関連ニューロン群”の相反的活動によって誘発されると考えられる。

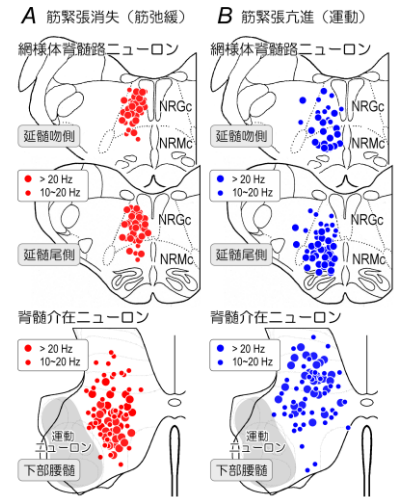


図 4 筋緊張調節関連ニューロン
橋網様体への Carbachol 注入による筋緊張消失時(A)と 5-HT 注入による筋緊張亢進時に活動する RSN と脊髄 IN。

IV. 研究成績のまとめ

本年度の研究成績は、① 複数の脳幹-脊髄下行路が姿勢筋シナジーの生成に関与すること、② 脳幹の神経伝達物質は脳幹-脊髄下行路に作用して姿勢筋シナジーの変化させること、③ 橋網様体における ACh-5-HT 系の相互作用は“筋緊張関連ニューロン群”の活動を調節し、様々な姿勢筋シナジーの生成に関与する、を示している。パーキンソン病やアルツハイマー病などの神経変性疾患では、神経伝達物質の障害を合併することが多い¹⁰。従って、脳疾患における姿勢シナジー生成機構の障害は、随意運動における姿勢制御の障害のみならず、睡眠-覚醒と関連する異常運動や筋緊張異常の病態基盤である可能性がある。5年間の本プロジェクト研究によって、大脳皮質における認知的姿勢制御機構と脳幹-脊髄による姿勢シナジー生成機構の一部を解明した。両機構の機能的連結を解明することが今後の研究目標である。

REFERENCES

- [1] K. Takakusaki. “Functional neuroanatomy for posture and gait control” Journal of Movement Disorders. 2017; 10 (1): 1-17.
- [2] K. Takakusaki, M. Takahashi, K. Obara, and R. Chiba. “Neural substrates involved in the control of posture” Advanced Robotics. 2017; 31: 2-13.
- [3] K. Takakusaki K, R. Chiba, T. Nozu, and T. Okumura. “Brainstem control of locomotion and muscle tone with special reference to the role of the mesopontine tegmentum and medullary reticulospinal systems” Journal of Neural Transmission (Vienna). 2016; 123(7): 695-729.
- [4] EF. Pace-Schott, and JA. Hobson. “The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks”. Nature rev. 2002; 3: 591-605.
- [5] MH. Chase. “The motor functions of the reticular formation are multifaceted and state-determined” in The Reticular Formation Revisited. JA. Hobson & MAB. Brazier, Eds. Raven Press, pp. 449-472.
- [6] L. Sudarsky, “Gait disorders: prevalence, morbidity, and etiology” in Advance in Neurology, vol. 87, E. Růžicka, M. Hallett & J. Jankovic, Eds. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp. 111-117.

A03-1 研究項目の研究成果報告

鎌田恭輔

旭川医科大学 脳神経外科

Abstract—てんかん診断において、経験的に脳内の複雑なネットワークが関与していることがその病態の解明、診断を困難にしていると考えられていた。このネットワーク解析のために、皮質-皮質誘発電位(CCEP)と高周波律動(HGA)を組み合わせた解析法を用いた。8例の薬剤抵抗性てんかん患者を対象とした。術前にはdiffusion tensor based tractography、頭蓋内電極留置後にベッドサイド、および術中 CCEP 計測を行った。8例中6例の患者では、病的焦点電気刺激により離れた部位に病的 CCEP が出現していた。病的 CCEP の平均潜時は 18.1-25.6msec ほどであった。4症例では術中の CCEP をモニタリングを行いながら線維離断を行い、CCEP が完全に消失することを確認した。この4例は長期間の経過観察においても予後は良好であった。2例は術中 CCEP モニタリングで CCEP が残存した。CCEP と HGA の計測はてんかん焦点と病的ネットワークの可視化に有用であり、てんかん治療へ大きく貢献する。

、はじめに：てんかん患者では痙攣を起こす複数の焦点があり、さらに部分的な痙攣から全身へ二次性に伝搬することが知られている。その一方で単なる痙攣のみならず、意識減損、動作停止、自動症など複雑な症候を呈することが多い。本年度はてんかん焦点の可視化と、てんかん焦点を電気刺激することで、機能的に関連しているてんかん関連領域に異常反応を誘発して病的ネットワークを解明する。さらに可及的に病的ネットワークを離断することで、CCEP 所見の変化の可能性を探索する。

I. 目的

本研究項目の具体的な目的は、頭蓋内電極を留置したてんかん患者で、複数のてんかん焦点の同定、さらにてんかん活動伝搬に関与する病的ネットワークを可視化する。術中に電気生理学的モニタリングを行いながら、ネットワーク離断を行い、正常脳機能を温存して病的反応の変化を観察する。

II. 研究成果

1, 終夜皮質電位モニタリングを行い、てんかん焦点活動に関連する HGA 活動を安静時活動に比して HGA が優位に上昇した領域に局限していることを確認した。
2, HGA マッピングで局在したてんかん焦点を極性入れ替えた 0.3ms 幅、15mA で電気刺激し、頭蓋内留置電極により計測した。

- ベッドサイドで終夜脳波記録を行い、てんかん症候と病的な HGA の脳皮質内の局在とダイナミクスの可視化を行う。さらに HGA による病的なてんかん焦点を電気刺激することで、機能的に関連している皮質と病的ネットワークを可視化する。
- 術中にベッドサイドで同定したてんかん関連病的ネットワークを持続的にモニタリングを行う方法を確認した。麻酔深度、刺激電気強度、ノイズ軽減法を確認した。
- 術中に病的 CCEP を持続にベッドサイドで同定したてんかん関連病的ネットワークを持続的にモニタリングを行う方法を確認した。麻酔深度、刺激電気強度、ノイズ軽減法を確認した。

症例；

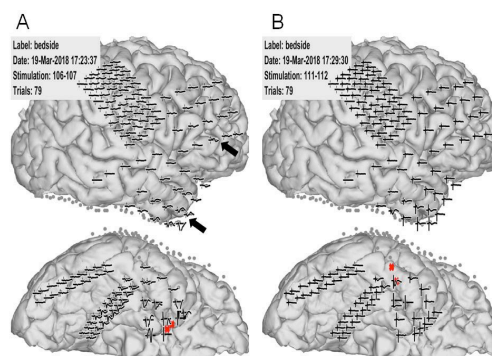
Table 1. Basic clinicodemographic characteristics of individual patients

Case	Age	Foci	Pathology	Symptoms
1	29	Lt F/T	FCD I	CPS
2	28	Bil F	none	CPS/GCS
3	32	Lt T	FCD I	CPS
4	22	Rt T	FCDI/HS	CPS/GCS
5	30	Rt T	Trauma	CPS/GCS
6	31	Lt T	none	CPS
7	33	Rt T	none	CPS
8	22	Lt F	FCD II	GCS

CPS: complex partial seizure, FCD I: focal cortical dysplasia type I, FCD II: focal cortical dysplasia type II, HS: hippocampal sclerosis, GCS: generalized convulsive seizure, Lt F/T: left fronto-temporal, Bil F: bilateral frontal, Lt T: left temporal, Rt T: right temporal

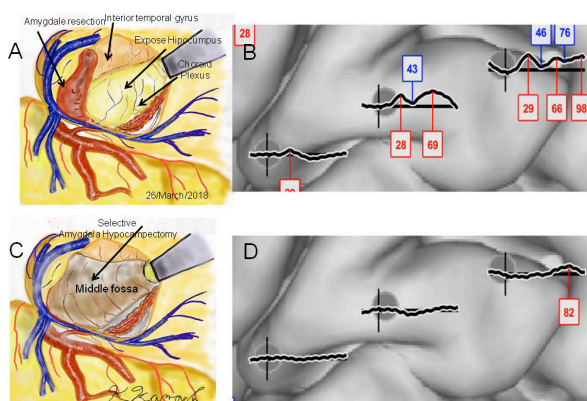
図1 ベッドサイド病的 CCEP と術中モニタリング(case7)

症例 7 では右前頭葉、右内側海馬傍回・外側側頭葉皮質



に、HGA 活動の上昇、てんかん波が発作時に活動を認めた。内側・外側、さらに前頭葉からてんかん発作を誘発していた。海馬傍回を 15mA で電気刺激することにより前頭葉、側頭葉外側皮質に病的 CCEP を認めた(Fig. 1)。まず、シルビウス裂を剥離して Limen Insula、さらに側頭葉上部を露出した。Limen Insula を切離、さらに側頭葉上部皮質を 25mm 縦に皮質切開を行い、左脳室下角上面を露出することで、鉤状束(Uncinate fascicles; UF)を離断した。この病的ネットワークを離断した後、この病的 CCEP は速やかに消失した(Fig. 2A, C)。その後選択海馬切除術を施行した(Fig. 2A, C)。症例 7 は術後経過順調であり、てんかん発作はなくなった。

図2 術中病的 CCEP と術中モニタリングと切除による変化(case7)



[結果と考察]

CCEP 記録は、近年徐々に臨床にしつつあり¹、特に他の脳機能画像と比較して、皮質下ネットワークの同定、可視化に応用されるようになった²。近年の報告ではベッドサイド CCEP 検出・局在法は皮質下機能とネットワークの同定に有用であり、その所見は脳皮質電気刺激マッピングにより検証されている³。その一方で CCEP によるてんかん患者における皮質下病的ネットワークに関する検討はほとんど行われていない⁴。本年の検討では病的 CCEP と tractography が様々な種類のてんかん発作においても病的ネットワークを可視化する。てんかん焦点への電気刺激で誘発される病的 CCEP ではてんかん患者の 50%の患者で検出ができた。その一方では 50%の患者で CCEP は検出できなかった。この病的 CCEP は患者の発作頻度、てんかん症候の違いはない。

病的 CCEP を認める患者では、特に手術中にも持続的な CCEP 計測を行い、病的ネットワークの完全離断を計画した。この病的ネットワーク離断は多焦点てんかんの病的機能結合この病的ネットワーク離断は多焦点てんかんの病的機能結合を介するてんかん活動の広がりを抑え

ることが期待できる⁵。その結果、機能的なネットワーク離断を行えたてんかん患者の行えた患者の手術後予後は極めて良好であった。すべての患者で target とする線維連絡を tractography を併用することで病的 CCEP の振幅低下が認められ、その結果患者のてんかん発作は抑制することができた。

その一方で、外傷後てんかんを患う case 5 は MRI 上は広範な範囲の外側、内側側頭葉および後頭葉の挫傷を認めた。我々は外側側頭葉のを切除したが、経過は不良であった。これは広範な病変に対し、CCEP の有無にかかわらず、病巣に対して頭蓋内電極を十分広い範囲を覆う必要があるものと判断した。この電極で覆う範囲を決めるためにも、特に広範な病変を有する患者においては、術前に高密度脳波、全頭部型脳磁図計測などを併用していくことを考慮すべきと考える。

III. まとめ

十分に病巣を頭蓋内電極で覆った術中 CCEP モニタリングによるネットワーク離断はてんかん外科におけるてんかん病態の解明、術中バイオマーカーとなる可能性がある。さらに、tractography と CCEP モニタリング融合方法はてんかんネットワーク離断を脳神経外科医に有用な情報を提供する。本方法は異常部位切除、ネットワーク切除、正常脳機能温存に貢献できる。

IV. おわりに

最後に本年度の成果をもとに、今後は CCEP の電氣的ノイズの除去、客観的な、定量的な評価法の確立を行っていく。

References

- [1] R. Matsumoto, D. R. Nair, E. LaPresto, I. Najm, W. Bingaman, H. Shibasaki, and H. O. Luders, "Functional connectivity in the human language system: a cortico-cortical evoked potential study," *Brain* 127 (Pt 10), 2316-2330, 2004.
- [2] Y. Tamura, H. Ogawa, C. Kapeller, R. Prueckl, F. Takeuchi, R. Anei, A. Ritaccio, C. Guger, and K. Kamada, "Passive language mapping combining real-time oscillation analysis with cortico-cortical evoked potentials for awake craniotomy," *J Neurosurg*, 1-9, 2016.
- [3] R. Matsumoto, D. R. Nair, E. LaPresto, W. Bingaman, H. Shibasaki, and H. O. Luders, "Functional connectivity in human cortical motor system: a cortico-cortical evoked potential study," *Brain* 130 (Pt 1), 181-197, 2007.
- [4] H. Zhang, H. L. Benz, A. Bezerianos, S. Acharya, N. E. Crone, A. Maybhat, X. Zheng, and N. V. Thakor, "Connectivity mapping of the human ECoG during a motor task with a time-varying dynamic Bayesian network," *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010, 130-133, 2010.
- [5] K. Kamada, H. Ogawa, C. Kapeller, R. Prueckl, S. Hiroshima, Y. Tamura, F. Takeuchi, and C. Guger, "Disconnection of the pathological connectome for multifocal epilepsy surgery," *J Neurosurg* 129 (5), 1182-1194, 2018.

A03-2 研究項目の研究成果報告

杉内 友理子

東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 システム神経生理学分野

Abstract—頭部に回転加速度が加わり前庭半規管が刺激されると、加えられた回転とは反対の方向に頭部が代償性に回転（前庭頸反射）し、視線が保持される[1]。頭部の運動に関与する筋は多数存在するが、半規管入力によってこのようなステレオタイプな頭部の運動が引き起こされるためには、特定のグループの頸筋が、一定の空間的および時間的パターンで活動することが必要であると考えられる。前庭反射は系統発生的に古く、中枢神経系による運動制御機構の基本形であると考えられる。本研究はこの前庭頸反射における筋シナジー形成の神経基盤を明らかにすることを目的とする。今年度の研究では、半規管入力を伝える単一の前庭脊髄路細胞の軸索の頸筋運動ニューロンの支配様式を解析し、その結果を、これまでに明らかにした、様々な頸筋の運動ニューロンへの左右6個の半規管からの入力の収束パターンに基づいて考察した。

I. はじめに

頭部が回転すると網膜上における対象物の像が変位するため、視線を保持することができず、視覚入力にブレが生じる。動物にとって不都合なこの現象を防ぐための機構として前庭反射が存在する。すなわち頭部に加えられた回転加速度は内耳に存在する前庭半規管によって感知され、前庭反射が引き起こされる。この際、眼球と頭部が、加えられた回転と同じ平面内でその回転とは反対の方向に回転し、それぞれ、前庭動眼反射、前庭頸反射と呼ばれる。眼球運動系は、四肢の運動系と異なり負荷が一定であり、関与する筋も左右で6対のみと比較的単純であるため、これまでに多くの電気生理学および解剖学的研究がなされ、詳細が明らかにされている。

前庭頸反射における半規管に特異的な代償性の頭部の運動は、非常にステレオタイプであるため、特定の半規管からの情報が、特定のグループの筋に、一定の時間的および空間的パターンで伝えられる必要があると考えられる。そのようなグループに属する筋は、刺激された半規管と同一の平面で、刺激と反対方向に頭を回転するという、共通の機能を持っているので、機能的シナジーを形成していることができる。眼球運動系とは対照的に、頭部の運動系には、多くの関節と筋が関与するため自由度が非常に大きく、そのバイオメカニクスも極めて複雑であり、運動制御機構は十分に解明されていない。前庭反射は、系統発生的にも個体発生的にも古

く、中枢神経系による運動制御機構の基本形であると考えられる。

II. 目的

本研究は、前庭頸反射における筋シナジー形成の神経基盤を明らかにすることを目的とする。我々は、前庭頸反射系における筋シナジーは、基本的に単一細胞のレベルで決定されている、すなわち、単一の前庭脊髄路細胞の軸索の頸筋運動ニューロンの支配様式により決定されているという作業仮説を立て、これをネコにおいて検証することを目的とした。

本課題を効率的に進めるため、単一の前庭脊髄路細胞の形態学的な解析を行う前に、まず、様々な頸筋運動ニューロンについて、左右6個の半規管のそれぞれからどのような入力が存在するのか、その収束様式を電気生理学的に解析した。その結果、半規管の頸筋運動ニューロンへの支配様式に関する基本原理は以下のようなものであることが明らかとなった。1) 末梢前庭神経から頸筋運動ニューロンに至る経路は、興奮性入力、抑制性入力のいずれについても、前庭神経で中継される主に2シナプス性の経路であった。2) 水平半規管系については、全ての頸筋運動ニューロンが、対側からは興奮性入力を、同側からは抑制性入力を受けていた。3) 垂直半規管系については、全ての頸筋運動ニューロンにおいて、一側の前半規管からの入力と、対側の後半規管からの入力は、極性が逆であり、両者の間に **reciprocity** が認められた。4) 解析を行った全ての頸筋運動ニューロンへの入力様式は、垂直半規管系からの入力様式の違いにより、4種類の異なるパターンに分類可能であった。また、系統発生的に由来の異なる筋、すなわち固有背筋に属する伸筋である板状筋と、鰓弓由来で頸部の腹側に存在する副神経脊髄根支配の筋の間でも筋シナジーが形成されている可能性が示唆された。

次に、単一前庭脊髄路細胞の軸索が頸筋運動ニューロンをどのように支配するかを解析するため、前庭脊髄路細胞の軸索から軸索内記録を行い、電気生理学的に同定した後に、記録電極から **horseradish peroxidase (HRP)** を細胞内注入し軸索を可視化し、その形態を連続切片から再構築した。

III. 方法

A. 単一前庭脊髓路細胞の電気生理学的同定

実験には麻酔下のネコを用いた。回転台上の脳定位固定装置に固定した後、中耳骨包を開放し、先端部を除いて絶縁した銀-塩化銀の微小ボール電極を両側の卵円窓と正円窓に置き、前庭神経刺激として用いた。第 1-4 頸椎の椎弓切除を行い脊髄前索にアプローチし、前庭脊髓路細胞の軸索から記録を行った。

B. 半規管入力 の同定

第 1-3 頸髄の前索において、HRP の 0.2 M KCl 溶液を装填したガラス微小電極を用いて軸索スパイクを記録した。末梢前庭神経を電気刺激し、1.5ms 以内の反応潜時で応答するものを、単シナプス性と考えた[3]。さらに回転台を徒手的に三次元で回転し、最大反応をもたらし回転面を決定し、半規管入力 を同定した。

C. 細胞内染色とデータ解析

電気生理学的同定後、記録電極から軸索内に電気泳動的に HRP を注入した [4]。細胞内注入が終了後、運動ニューロンを逆行性に標識するため、いくつかの頸筋の支配神経を剖出し、HRP を注入した。10-36 時間後、ペントバルビタールナトリウムで深麻酔をおこない、経左心的に還流および固定を行った。頸髄と脳幹を摘出し、100 μm の厚さで連続凍結切片を作成した。脊髄切片は重金属増感法を用いて発色反応を行い、主軸索の走行とその側枝の分枝および脊髄灰白質での投射様式を、カメラルシダ描画装置を用いて連続切片から再構築した。脳幹切片の発色にはベンチジン法を用い、逆行性に標識される細胞体の検索を行った。

IV. 研究成果

可視化された各 MVST 細胞の HRP 注入部位は、前索の背内側部を走行する主軸索上に確認された。主軸索は追跡可能な全走行過程において前索の背内側部に認められ、内側前庭脊髓路 (MVST) 細胞の軸索であることが確認された。

対側の水平半規管から単シナプス性に応じる MVST 細胞は、主軸索が前索の背内側部を走行しながら、上部頸髄の複数の髄節において、灰白質に複数の軸索側枝を出していた。側枝の出る間隔は一定していなかった。それらは灰白質内で数回の枝分かれを繰り返し、扇状に広がっていた。神経終末は主に、腹内側核 (VM 核) と副神経脊髄核 (SA 核) を含む IX 層 (運動神経核、Rexed, [5]) と、VM 核の背内側部の VIII 層に認められ

た。この領域は、従来は交連核とされ [5]、運動神経核とは考えられていなかったが、我々は頸筋の運動ニューロンが多数存在することを明らかにした [6]。これらは MVST 細胞が強力に頸筋運動ニューロンに投射していることを強く示唆する知見である。

横断切片における IX 層における終末分枝の分布域は、良く染まった例においては VM 核のほぼ全域をカバーしていた。我々は、各頸筋の運動神経核の分布に関して、VM 核の中の様々な部位を占めているが、隣り合う運動神経核の重なりは比較的小さいことを報告した [6]。これらの知見から、対側の水平半規管入力を受ける単一の MVST 軸索は、頸筋のうちのほとんど全ての筋を支配していることが強く示唆された。すなわち、MVST の軸索の単一細胞レベルの形態学的特徴が、水平半規管系の前庭頸反射における筋シナジーの決定に大きく寄与していることが明らかになった。

V. おわりに

我々の電気生理学的実験結果は、対側水平半規管からの興奮性出力が、解析した全ての頸筋に及ぼされることを示していた。そして形態学的解析の結果、水平半規管系では、興奮性の MVST 細胞の軸索投射部位は、上部頸髄において IX 層内の VM 核の大部分の領域と、VIII 層内に存在する運動神経核の存在する領域を広くカバーしていることを明らかになった。これにより、水平半規管系における筋シナジーは、単一 MVST 細胞の軸索投射様式に表現されていることが明らかとなった。一方で垂直半規管系においては、電気生理学的実験から、特定の前半規管または後半規管から興奮性入力または抑制性入力を受けるのは、全頸筋ではなく一部の筋群であることが明らかとなった。したがって垂直半規管入力を伝える前庭脊髓路細胞が、一部のグループの頸筋の運動神経核のみに特異的に投射しているのかどうかを検証することが今後の課題である。

REFERENCES

- [1] J. Suzuki, B. Cohen, "Head, eye, body and limb movements from semicircular canal nerves," *Exp. Neurol.* 10: 393-405, 1964
- [2] Y. Shinoda, K. Yoshida, "Dynamic characteristics of responses to horizontal head angular acceleration in vestibuloocular pathway in the cat". *J. Neurophysiol.* 37:653-673, 1974..
- [3] V.J. Wilson, G. Melvill-Jones, *Mammalian vestibular physiology*. New York: Plenum Press, 1979.
- [4] Y. Shinoda, T. Ohgaki, T. Futami, "The morphology of single lateral vestibulospinal tract axons in the lower cervical spinal cord of the cat. *J. Comp. Neurol.* 249:226-241, 1986.
- [5] B. Rexed, "A cytoarchitectonic atlas of spinal cord in the cat". *J. Comp. Neurol.* 100:297-379, 1954.
- [6] Y. Sugiuchi, Y. Shinoda, "Organization of the motor nuclei innervating epaxial muscles in the neck and back," In: *The Head-Neck Sensory Motor System*, A. Berthoz, W. Graf, PP. Vidal, Eds. New York, Oxford University Press, 1992, pp. 235-240.

A03-3 研究項目の研究成果報告

吉村 奈津江

東京工業大学 科学技術創成研究院

Abstract—本研究項目では、非侵襲的脳活動計測手法を用いて手や足の運動に関する脳内情報処理過程と筋肉の協調活動（筋シナジー）を可視化することを目的としている。この可視化技術を確立することで、短長期的な運動学習による脳内情報処理や筋シナジー体系の変容を直感的に捉えることができ、効果的なリハビリ介入にも応用可能と考えている。これまで脳波の信号源電流信号を用いたデコーディングを用いた手法の可能性を示してきたが、今年度はその実用応用に向けて、電極数の検討[1]と、デコーダの精度向上に役立つ新たな手法[2,3]を提案した。これらの成果は、科学論文誌 3 報 [1-3]にて発表した。

I. はじめに

研究代表者はこれまでに、手首の屈伸運動中の脳波を計測し、脳波から脳内に仮定した脳波信号源の電流信号を推定することを通して、手首運動に関する 2 つの筋肉の筋活動信号の推定に成功した[4]。この技術を用いれば、脳活動信号と筋電信号を関連づけることができるため、筋シナジーがどのように脳内で表現し得るかを検証することができると考えている。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は、脳波や機能的核磁気共鳴画像法（fMRI）などの非侵襲的な脳活動計測手法を用いて、手や足の運動に関する情報が脳内でどのように表現され、筋電信号から推定できる筋シナジーとどのように関連しているかを検証および可視化することである。

III.

IV. 研究成果

本年度の具体的成果についてそれぞれ概要を説明する。

A. 信号源推定を用いた運動タスクのデコーディングに必要な脳波電極数と電極配置 [1]

研究代表者らのグループは、足首の屈伸運動中の脳波から運動の種類と力の強弱のデコーディングを行なった。脳波の信号源推定を用いることで、識別率を向上させることができ、この成果を昨年度に *Frontiers in Neuroscience* にて発表した[5]。さらに脳波の電極数とデコーディング精度の関係について調べた[1]。その結果、電極数が 32 チャンネルから 16 チャンネルに削減されても信号源推定を用いた精度に有意な差はなく、8 チャンネルに削減した場合には、電極の配置により有意に低下するこ

とが確認された。精度を維持するためには、脳の関心領域に限局させるよりも（図 1 右上）、なるべく脳全体を覆うように配置した方（図 1 左上）が良いことが確認された。この結果はリハビリなどの将来的な実用応用に向けて、システムの簡易化に有益な知見になると考えられる。

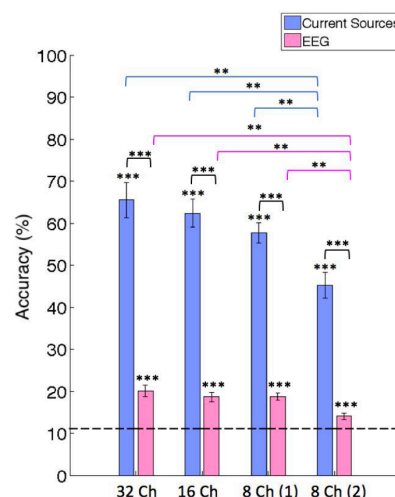
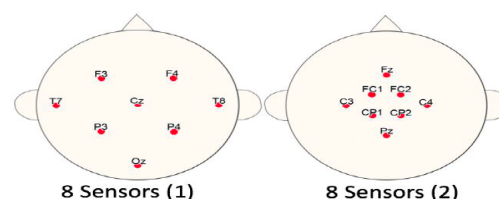


Figure 4 – Classification accuracies for four types of EEG sensor configurations. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$ and * $p < 0.05$.

図 1. デコーディング精度に違いがある電極配置（上）と 9 タスクのデコーディング精度（下） [1]

B. 運動予測誤差を用いた短時間で汎化性の高いデコーディング手法[2]

脳波による運動意思の抽出を目的としたデコーディングはこれまで ERD/ERS を用いたものが主流であり、意思を検出するためには被験者は運動の方向や身体部位をイメージすることが必要であることから、数 100 ms 後に現れる信号を検出している。これに対して研究代表者らのグループでは、運動予測誤差（Mismatch）を感じた時に現れる信号を用いることで、BMI などから与えられるフィードバックが自分の予想と合致しているかどうかをわずか 96 ms 未満かつ 87.2%の判別精度で得られることを *Science Advances* にて発表した[2]。

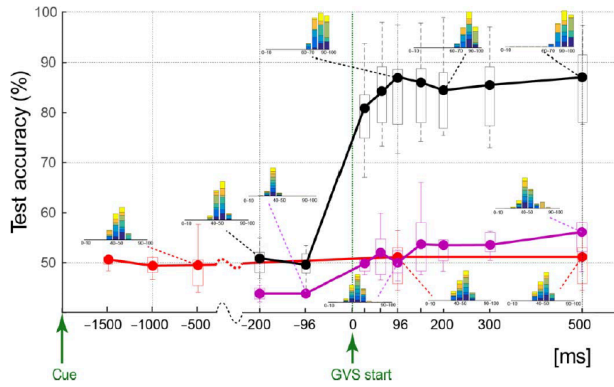


図 2. 右折 or 左折の運動をイメージしている際に、実際に与える運動が異なった際 (Mismatch 条件) に、与えられる運動開始後から 96 ms で 90% 弱の精度に達している (図中黒線) [2]。

さらにこの運動予測誤差は、被験者が認知レベルで認識できないサブリミナルな運動フィードバックでも検出することができ、今まで ERD/ERS によるデコーディング精度が低い被験者であっても高い判別精度は得られた。これらの結果は、運動意思を抽出するためのロバストかつ汎用性の高い新たな手法として、利用できることを示唆している。

C. 脳波のコヒーレンスを強調する新たなパラメータを用いた運動意思デコーディング精度の向上[3]

研究代表者らのグループは、左右の手の運動イメージのデコーディングにおいて、新たなコヒーレンス関連パラメータの導入により、精度が向上することを Chaos で発表した[3]。このパラメータは、位相と振幅の極形式で表現した脳波を角度にワープ変換するもので、チャンネル同期度のタスク間の違いを強調させる効果をもたらす。

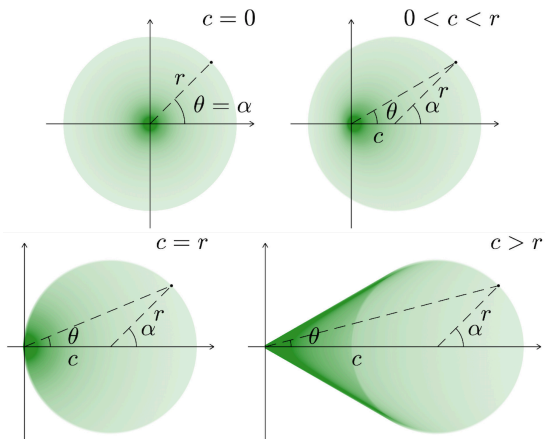


図 3. 位相 α を角度 θ にワープ変換するパラメータ c と振幅 r の関係 [3]。

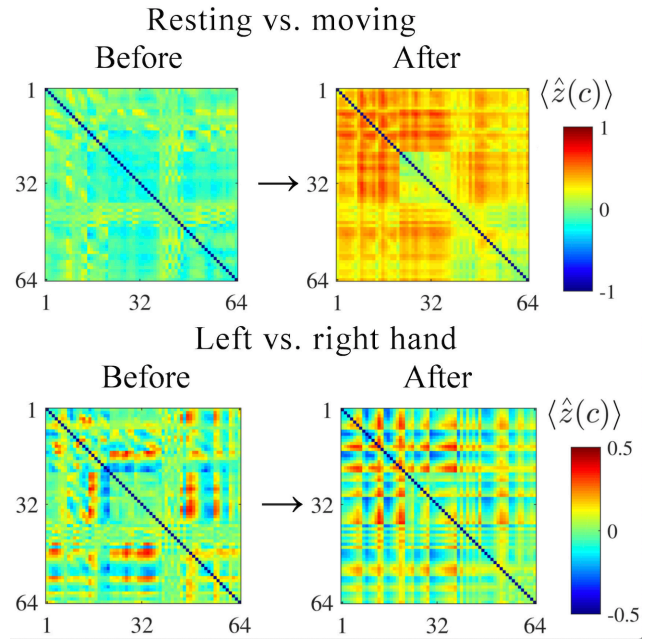


図 4. Resting vs. moving (上) と Left vs. right hand (下) のタスク比較それぞれにおいて、64 チャンネル間の位相の同期度の違いが、コヒーレンスパラメータ (c) を適用する前と後で、より明確になることが確認された[3]。

このパラメータはカオス的な挙動を示す非線形システムを用いて数学的および電気工学的に見出したものであるが、脳波も様々な規則的な信号が一部、あるいは完全に同期しながら複雑に関連を持つカオス的システムと考えられる。そこで運動想起中の脳波データベースに適用して効果を検討したところ、デコーディング精度が安定して 7% 程度向上することが確認された。

V. おわりに

今年度は筋シナジー表象解析の精度に寄与する、デコーディング性能の向上技術を開発した。次の最終ステップでは精度の高いデコーダを用いて信号源を用いた表象解析を行う。

REFERENCES

- [1] A. Mejia Tobar, et. al., "Effect of the EEG sensor number on the current-source decoder performance based on a variational Bayesian method (VBMEG)," *IJERAS*, 2018, vol. 3, No. 5, pp. 25-29.
- [2] G. Ganesh, et. Al., I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Utilizing sensory prediction errors for movement intention decoding: a new methodology," *Science Advances*, 2018, vol. 4, No. 5, pp. 1-8.
- [3] L. Minati, et. al., Warped phase coherence: an empirical synchronization measure combining phase and amplitude information, *Chaos*, 2019, in press.
- [4] N. Yoshimura, et. al., Reconstruction of flexor and extensor muscle activities from electroencephalography cortical currents, *Neuroimage*, 2018, Vol. 59, pp. 1324-1337.
- [5] A. Mejia Tobar, et. al., "Decoding of ankle flexion and extension from cortical current sources estimated from non-invasive brain activity recording methods," *Front. Neurosci.*, 2018, vol. 11, No. 733, pp. 1-12.

A03-4 研究項目の研究成果報告

松本理器

神戸大学大学院医学研究科神経内科学分野

Abstract—The implantation of subdural electrode grids over the fronto-parietal area for the presurgical evaluations of patients with partial epilepsy offers the rare opportunities to record neural activities with wide-band ECoG, and apply electrical stimulation (cortical mapping and connectivity mapping) to delineate the fronto-parietal network through the SLF. Within the left network, functional differentiation was observed within the ventral premotor area (BA44 vs. ventral BA6). Within the right network, we have explored the neural activity for self-consciousness and sense of agency (SoA). Patients undergoing resection of the right insula, but not the left insula, for brain tumor surgery showed dynamic alternation of SoA; immediate SoA impairment after surgery was followed by gradual compensation.

I. はじめに

難治部分てんかんの外科治療には、てんかん焦点の切除と同時に焦点周囲の脳機能の温存が大切であり、病態による機能可塑性を加味した包括的な脳機能マッピングが必要となる。てんかん焦点が機能野近傍に位置する場合や非侵襲的検索では焦点の同定が難しい場合、硬膜下電極の慢性留置による侵襲的術前評価を施行する。硬膜下電極を用いた臨床脳機能マッピングには、課題遂行中の脳活動計測（事象関連電位や高ガンマ活動計測）と高頻度皮質電気刺激が用いられる。疾病/病巣研究では、一般に **slow dynamics** による脳機能可塑性（代償機構）を伴う慢性期の評価となる。皮質刺激の手法は、一過性（～5 秒）、限局性（～2 cm²）の介入により代償機転を伴わない **fast dynamics** による変容を評価する。特定の高次脳機能の課題遂行中に急性介入することで、遂行に「必須」な皮質を同定できる。脳疾病による脳内身体表現の障害後の **slow dynamics** による代償メカニズムの解明には、正常状態の脳内身体表現マーカー同定と急性刺激介入時の身体認知・運動制御の変容の理解が欠かせない。

前期公募研究に続いて昨年度は、高頻度（代償を伴わない機能変容の定性的解析）の皮質電気刺激と 3 次元モーションキャプチャーシステムによる陰性運動野の失行への関与を明らかにした。また、低頻度（皮質間結合解析）の皮質刺激を用いて、前頭葉内上前頭回-下前頭回間の **Frontal aslant tract (FAT)** の言語・運動に関わる機能結合様式を明らかにした。今年度は **A01-1** 今水班、**A02-1** 内藤班との共同研究を進展させ、腹側前頭葉・頭頂葉が深く関与する道具使用(左半球)、身体意識・運動主体感(右半球)に焦点を当てた。臨床神経学へのフィードバックを視野にいて、複合的に脳活動計測と介入を

用いて、前頭葉・頭頂葉連合野における脳内身体表現の神経機構との変容(急性の変容とその後の代償機構)の解明を目指した。

II. 目的

本研究計画は、てんかん外科の術前評価のために前頭・頭頂葉に硬膜下電極を慢性留置した患者で同意を得られた者を対象とする（京大医の倫理委員会 **C533, 443, 1062**）。てんかん外科の術前評価目的に記録する皮質脳波(ECoG)データから、直接の脳表記録で得られる優れた時間・空間分解能で課題中の脳律動を広域周波数帯域で計測した。上縦束第 III 枝(SLF III)がかかわる腹側前頭・頭頂葉ネットワークに焦点をあて、左優位半球では道具使用・到達把持運動・巧緻運動、そして右非優位半球では自己顔認知、運動錯覚にかかわる皮質活動を探索した。電氣的線維追跡法である皮質皮質間誘発電位 (**cortico-cortical evoked potential: CCEP**) の手法[1]を用いて、前頭葉・頭頂葉間の皮質間結合を明らかにし、ネットワークの結合様式を加味して、上述の脳機能にかかわる脳内身体表現マーカー候補の同定を試みた。左半球への電極留置症例では、課題中に高頻度皮質電気刺激で中核前頭・頭頂葉ネットワーク（単一領野ないし複数領野）に介入し、各領域およびネットワークレベルの代償の伴わない、**fast dynamics** の変容様式の同定をすすめた。右半球への電極留置症例においては運動主体感 (**Sense of Agency: SoA**)課題 **Keio method** 施行中の脳活動計測を試みた。外科治療の観点から右半球前頭頭頂葉病変を切除する症例において、運動主体感課題を術前・後に縦断的に評価し、責任領域の同定および **fast** から **slow dynamics** への変遷の過程の解明をめざした。

III. 研究成果

本年度の具体的成果を以下に 3 つ挙げ、概説する。

A. 左前頭葉・頭頂葉の機能同定、fast dynamics による変容の解明

てんかん外科術前評価のため左前頭葉に電極留置した難治部分てんかん患者 6 例を対象に、皮質高頻度電気刺激 (**electrical cortical stimulation: ECS**) により同定した中心前回、下前頭回の陰性運動野に対し、課題に同期したより低強度の電気刺激で介入し、運動の遅延、制御の変容 (**fast dynamics**) の定量解析を 3 次元モーションキャプチャーシステムを用いて推し進めた。これまでに

中心前回の陰性運動野は肢節運動失行に、腹側運動前野の陰性運動野はより高次の失行に関与している可能性を示してきた[2]。今年度はさらに両者の機能的差異の神経基盤の探索のため、中心前回、腹側運動前野刺激時の CCEP を検討した。中心前回刺激の CCEP は中心溝付近に分布するのに対して、腹側運動前野刺激時の CCEP は頭頂間溝から下頭頂小葉に分布しており、両者の結合性の差異が機能的差異の神経基盤となっている可能性が示唆された。また ECS による運動の障害が、刺激直下の皮質の影響か、刺激が遠隔皮質に伝播したことによるものか、刺激中に遠隔皮質に出現する intrastimulus discharge (ISD) を検討した。ISD は CCEP を認めた生理学的結合の範囲内に出現するものの、ISD を認めた電極の内、ECS で陰性運動反応を認めた電極は少数にとどまり、ECS による症状の大部分は刺激直下の皮質由来による可能性が示唆された [3]。

運動関連の低侵襲的脳機能マッピング法として、高頻度刺激を用いない、自発運動に伴う皮質脳波の脳律動解析の手法を提案した。14 症例のてんかん外科患者において、自発随意運動に先行する緩徐な運動関連脳電位 (Movement-related cortical potential: MRCP)、事象関連脱同期化(event-related desynchronization: ERD)、事象関連同期化(event-related synchronization: ERS)といった、広帯域の内因性大脳活動(wide-spectrum, intrinsic-brain activities)を用いて、一次運動感覚野の機能マッピングが可能であった。本手法は高精度で安全性が高く、皮質電気刺激に替わりうる脳機能マッピングとして注目される[4, 5]。

B. 前頭葉・頭頂葉ネットワーク機能結合地図作成

前頭葉・頭頂葉の皮質間結合については、腹側領域を中心に機能的結合地図を報告したが、これまで検討が十分になされていない背側領域（外側・内側）の頭頂葉・前頭葉の皮質間結合について CCEP による探索を継続した。内側頭頂葉内で結合様式は異なり、楔前部は背側運動前野、下頭頂小葉（縁上回、角回）の外側の領域と、後部帯状回は中部帯状回など内側の領域や下頭頂小葉の一部（角回）、傍中心小葉は中心前回・後回に主に結合した。この結合様式は resting-state fMRI による機能的結合性の分布とも近いことを示した [6]。また、27 例での検討から CCEP 前頭-頭頂葉・側頭葉間の皮質間結合に左右差があることも明らかにした[7]。

C. 身体・自己認識にかかわる右前頭葉・頭頂葉ネットワーク：脳内表現マーカーの同定と fast から slow dynamics への遷移の解明

研究計画班 A02-1 内藤班との共同研究で、自他顔の識別時の SLF III の脳律動（皮質脳波）の動態を計 3 名で記録し、その解析・解読を継続した。

連携研究者の吉田和道先生との密な連携のもと、研究計画班 A01-1 班（今水寛・前田貴記先生）、B01-1 班（矢野史朗先生）との共同研究を継続した。左右島皮質の部位に脳腫瘍などの病変がある患者 7 例(右 4 例、左 3 例)を対象に、手術前後に運動主体感を Keio method を用いて定量的に計測し、術後の運動主体感の変容（代償機転）を、急性期(fast dynamics)から亜急性期(slow

dynamics)への遷移に焦点をあてて検討した。右島を含めた病変を有する症例では、島切除で運動主体感について動変容を認めた。一方で左島切除症例については変容を認めなかった[8]。運動主体感にかかわる脳内ネットワークの動的遷移（機能代償）の解明のために、術前後の resting-state fMRI 解析を継続した。

昨年度に右半球に頭蓋内電極を留置した 2 例では、Keio method 課題施行時に右島、腹側運動前野から高ガンマ活動が記録され、同部位の運動主体感への関与が示唆された。この運動主体感関連の脳律動の情報解読（decoding）を継続した。

今後も、症例蓄積から術前後の運動主体感の定量的評価およびネットワーク解析を縦断的に施行し、運動主体感にかかわる右半球ネットワークの解明をめざす。

IV. おわりに

本公募研究では、ヒトの腹側前頭葉・頭頂葉ネットワーク（SLF III ネットワーク）に焦点をあてて、左優位半球では道具使用などの行為、右非優位半球では身体・自己意識と運動主体感にかかわる脳内身体マーカー候補（脳律動）と fast dynamics による変容の解明を推進した。研究計画班との共同研究で導入できた新規手法（デコーディング、脳外科症例での Keio Method・resting state fMRI での縦断的評価）を統合的に取り入れ、臨床神経科学への feedback を視野に入れ、機能変容の fast から slow dynamics への遷移（代償機転）の解明を進める。臨床システム神経科学の観点からの知見は、システム工学によるモデル構築・検証やリハビリ介入による長期的変容（代償）の重要な参照データとして「身体性システム科学」の体系化へ貢献が期待される。

References

- [1] Matsumoto R, Kunieda T. Cortico-cortical evoked potential mapping. In: Lhatoo S, Kahane P, Lüders H, eds. Invasive Studies of the Human Epileptic Brain: Principles and Practice of Invasive Brain Recordings and Stimulation in Epilepsy. Oxford University Press, Oxford, pp431-453, 2018.
- [2] Togo M, Matsumoto R, Shimotake A, et al. Role of premotor and precentral negative motor area in praxis: a direct electrical stimulation study. The 31st International Congress of Clinical Neurophysiology, May 2018
- [3] 十河正弥, 松本理器, 下竹昭寛ら. 高頻度皮質電気刺激による高次運動障害の発現機構の検討:皮質刺激誘発反応と行動解析の包括的検討. 第 48 回臨床神経生理学学会. Nov 2018
- [4] Neshige S, Matsushashi M, Kobayashi K, et al. Multi-component intrinsic brain activities as a safe alternative to cortical stimulation for sensori-motor mapping in neurosurgery. Clin Neurophysiol 129:2038-48, 2018
- [5] Neshige S, Kobayashi K, Matsushashi M, et al. A rational, multi-spectrum mapping algorithm for primary motor cortex: a primary step before cortical stimulation. Epilepsia in press.
- [6] Togo M, Matsumoto R, Takeyama H, et al. Human medial parietal cortices have distinct connectivity patterns: Evidence from standardized connectivity map using cortico-cortical evoked potential 41st Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, July 2018
- [7] Kanno A, Enatsu R, Ookawa S, et al. Interhemispheric Asymmetry of Network Connecting Between Frontal and Temporoparietal Cortices: A Corticocortical-Evoked Potential Study. World Neurosurg 120: e628-e636, 2018
- [8] Kobayashi T., Matsumoto R, Shimotake A, et al., The role of the insula in Sense of Agency: supportive data from neurosurgical cases. 16th Asiana Oceanian Congress of Neurology, Nov 2018

A03-5 研究項目の研究成果報告

尾崎弘展

東京女子医科大学 医学部 生理学（神経生理学分野）

Abstract—Tactile stimuli can decrease the perception of pain. This mechanism of neural network has been explained by the gate control theory in the spinal cord. However, noxious stimuli can decrease the tactile sensation. This “reverse” effect could not be explained by the classical gate control theory and indicates that tactile and nociceptive information could affect each other. In this project, we aimed to find the neural network. We found that nociceptive neurons locate in the dysgranular area in the primary somatosensory cortex (S1) of mice. Noxious heat stimulation suppresses the activity of S1 barrel field. This indicates that nociceptive input could suppress the tactile sensation through this network. We also found that the inhibitory input from the primary motor cortex into S1 had an important role for sensory information processing in S1. This M1-S1 network might explain the mechanism of tactile input suppress nociceptive information processing. By combining these findings, we propose the hypothesis that tactile and nociceptive information processing would modulate each other through thalamocortical or cortico-cortical circuits.

I. はじめに

痛いところを擦ることにより、痛みが和らぐことは経験的に知られている。このメカニズムを Melzack と Wall は、脊髄レベルで触覚刺激が痛覚の上行性シグナルを止める神経回路の存在を示唆することで説明した¹。このゲートコントロール仮説は今でも幅広く支持されている考え方である。一方で、ヒトの心理実験²や臨床研究³により、触覚が痛覚情報処理を抑えるのとは逆に、痛覚が触覚情報処理を抑制することがあることも知られるようになり、脊髄レベルで提唱されたゲートコントロール仮説のみでは説明できない現象もあることが分かってきた。これは、脊髄より高次においても触覚と痛覚が相互に影響を及ぼし合う神経回路の存在を示唆している。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は大脳皮質一次体性感覚野(S1)における痛覚—触覚の相互作用を解明することである。これまで我々の研究グループは、痛覚—触覚相互作用の基盤を脊髄より高次の神経回路、特に視床—皮質回路に着目して調べてきた。

前年度までの研究から、S1 において、触覚情報処理領域に隣接した形で存在する dysgranular (Dys)領域において、痛覚情報が処理されている可能性を内因性シグナルイメージング、および c-Fos を用いた免疫染色により示した。本年度はさらに電気生理学的手法により詳細な痛覚応答細胞の分布様式を調べ、S1 内での痛覚情報処理

領域としての Dys の機能を明確にし、また痛覚—触覚相互作用の神経基盤に迫ることを目的として研究を進めた。

III. 研究成果

本年度の具体的な成果を以下に3つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. S1 における痛覚応答細胞の分布様式

研究代表者らのグループは、*in vivo* 32 チャンネル細胞外記録により、痛覚応答細胞の S1 内での分布を特にヒゲ触覚領域であるバレル野とその周囲に位置する Dys 領域について調べた。その結果、バレル野には触覚応答細胞が多く存在するのに対して、Dys 領域には痛覚応答細胞が多く存在することが明らかとなった。これは従来から議論され結論が出ていなかった S1 における痛覚受容領域はどこなのかという疑問に対しての結論となる重要な知見である⁴。

また、ヒトを対象とした多くの心理実験等から、熱刺激等の痛覚刺激が触覚受容を低下させることが分かっている²。しかし、そのメカニズムは解明されておらず、専らゲートコントロール説の亜説として説明されるに留まっていた。今回、バレル野と Dys 領域を同時記録しながら、熱刺激をヒゲパッド部に加えた場合、特にバレル野の浅層で強い抑制が観察された。さらにオプトジェネティクスを用いた痛覚神経回路活性化によっても同様の現象が観察され、視床—皮質回路の働きにより、痛覚刺激が入力されている際に触覚領域であるバレル野の活動が抑制されることが分かった。これは、「なぜ痛覚経路が活性化されている場合に触覚に対する弁別能が低下するのか」について説明する神経基盤と考えられ、脊髄よりも高次の大脳レベルの回路において痛覚—触覚の相互作用の一つを示す重要な知見である。



Fig. 1. 痛覚刺激によりバレル野(BF)に対して Dys の活動が優位になる

B. 皮質—皮質回路における抑制性回路の機能

大脳皮質一次運動野(M1)の活動を磁気刺激により誘発することで慢性疼痛が和らぐことが報告されている⁶。

しかし、このメカニズムは十分に解明されていない。我々の研究グループは、光凝固法により M1 に局所の梗塞を作成し、S1 においてどのような影響が観察されるかを調べてきた。M1 が失われたことによる影響を調べるために、S1 から結合関係のある M1 の活動をシミュレーションによって求め（数式 1）さらにその活動が S1 にどのように影響しているのかについても求めた。

$$M1simR(t) = \frac{1}{TW} \sum_{i=1}^{TW} S1R(t-i-\tau) \quad (1)$$

TW: S1 活動の加算時間、 τ : S1 から M1 へのシグナル遅延時間

その結果、通常触覚刺激時には M1 が S1 に対して、抑制的に働いていることが分かった。そのため、M1 梗塞時には抑制が解除され、S1 の活動、特に時間経過の遅い成分がより増強されるため、S1 バレル野の触覚刺激に対する時間応答特性が低下することとして観察された⁵。研究代表者らは、触覚入力時に M1 から S1 への抑制が増強されるメカニズムにより、「相対的に Dys 領域よりもバレル野の活動が上昇する」、すなわち触覚刺激により痛覚が抑えられる神経基盤の可能性があると考えている。

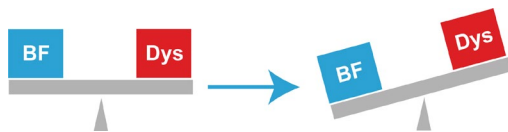


Fig. 2. 触覚刺激によりバレル野(BF)の活動が優位になる

C. ガルバノシステムと球状トレッドミルを用いた行動実験系の構築

A, B で示してきたように大脳視床一皮質間結合、あるいは皮質一皮質間結合により、バレル野と Dys 領域の活動は相対的に変化しうる。このことは、これらの神経回路によって触覚と痛覚の情報処理が相対的に変化することを示しており、覚醒下の動物に対して、これらの神経回路を操作した場合にどのような影響を及ぼすのかについて調べることは重要な意味を持つ。そこで、自由行動下で特定の神経回路を賦活化させるため、球状トレッドミルを用いたレーザー刺激システムを構築し完成した（Fig. 3）。このシステムは、レーザー刺激のみならず触覚、痛覚等、様々な刺激と組み合わせることで、多様な記録系（蛍光観察、電気生理、運動量等）を組み合わせることで、拡張性が高い。現在、このシステムを用いて、視床一皮質回路を刺激しながら、動物の行動に与える影響を調べている。

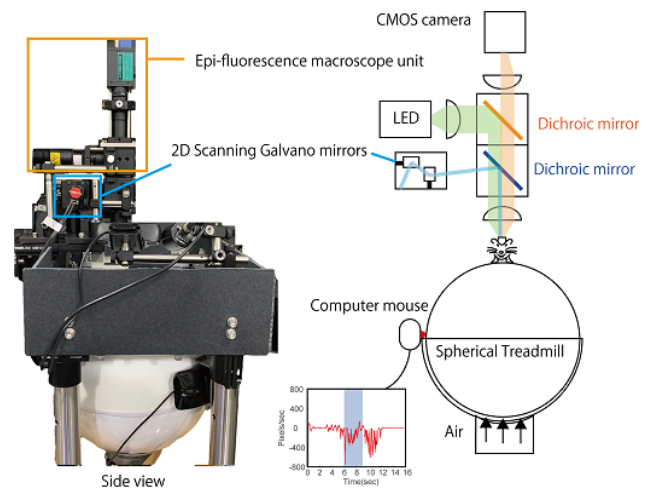


Fig. 3. ガルバノミラーによるレーザー光走査と球状トレッドミルを用いた自由行動下動物の制御

IV. おわりに

最後に本年度の成果をまとめ、次年度以降の展望を述べる。当初の目的である、「大脳レベルでの痛覚—触覚相互作用の神経基盤」を発見することが出来た。それらの神経基盤を操作した際の覚醒下動物における影響は、まだ十分に解明できておらず、今後は、今年度開発したシステムを活用して研究を進めていく。

REFERENCES

- [1] Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: A new theory. *Science*. 1965;150:971-979
- [2] Apkarian VA, Stea RA, Bolanowski SJ. Heat-induced pain diminishes vibrotactile perception: A touch gate. *Somatosensory & motor research*. 2009;11:259-267
- [3] Adamczyk WM, Saulicz O, Saulicz E, Luedtke K. Tactile acuity (dys)function in acute nociceptive low back pain. *PAIN*. 2018;159:427-436
- [4] Osaki H, Ueta Y, Miyata M. The nociceptive area in the primary somatosensory cortex is the dysgranular area, *PAIN RESEARCH* Vol.33(2) C1-2, 2018
- [5] Fukui A, Osaki H, Ueta Y, Miyata M. Layer-dependent recovery of tactile sensory processing in mouse primary somatosensory cortex after a focal motor cortex stroke. The 41st annual meeting of the Japan Neuroscience Society, 2018
- [6] Hosomi K, Shimokawa T, Ikoma K, Nakamura Y, Sugiyama K, Ugawa Y, et al. Daily repetitive transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex for neuropathic pain: A randomized, multicenter, double-blind, crossover, sham-controlled trial. *Pain*. 2013;154:1065-1072

A03-6 研究項目の研究成果報告

肥後 範行

産業技術総合研究所人間情報研究部門

Abstract— We have investigated neuronal plastic changes, which underlie both functional recovery and pain syndromes after brain damage, using macaque models. In the studies reported here, we examined the localization of secreted phosphoprotein 1 (SPP1), which is suggested to have a role in dexterous hand movements, in the primary motor cortex (M1) of the macaque. SPP1 was localized in the cell bodies of pyramidal neurons, but not outside the cells, indicating that the protein was not secreted from these neurons. The distribution of SPP1 was also investigated in macaques whose M1 had been lesioned. We found that SPP1 was secreted by proliferated microglia in the lesioned area. Success rates in the small-object-retrieval task were positively correlated with SPP1 immunoreactivity in the neurons in the perilesional area. These results indicate that SPP1 has multiple roles in the macaque motor cortex, and it may be a key protein during recovery of hand movement after brain damage. We also investigate changes in brain activation associated with central post-stroke pain (CPSP). Brain imaging with fMRI showed activation of pain-related brain areas, including the anterior cingulate cortex (ACC) and posterior insular cortex (PIC), in animals with behavioral signs of allodynia. When either ACC or PIC was pharmacologically inactivated, the signs of tactile allodynia were dampened. Our results demonstrate a causal relationship between the increased activity in pain-related cortical regions and the symptoms of CPSP.

I. はじめに

脳損傷後に脳の可塑的变化が生じ、失われた脳機能が回復することがある。この変化は、脳卒中などで脳に損傷を受けた後に行うリハビリテーション訓練の基盤となっている。一方視床を中心とした体性感覚情報の中継領域に脳卒中が発症した後に不適切な可塑的な変化が生じる結果痛みが生じることもある。これは脳卒中後疼痛と呼ばれており、患者の QOL を大きく損なうのみならずリハビリテーション訓練を阻害する要因となる。私たちはヒトと脳や筋骨格構造が近いマカクサルをモデル動物として、第一次運動野損傷後の回復過程を調べてきた。これまでの研究で、ヒトや一部のサルにしかできない、母指と人差し指の先端で把握する「精密把握」の回復が、損傷後のリハビリ訓練によって促進することを明らかにした[1]。さらにリハビリ訓練による運動機能回復の背景として、失われた領域の機能を代償する神経活動の変化があることを解明した[2]。さらに第一次運動野損傷実験による成果を臨床応用に展開するために、脳卒中の好発

部位であり運動出力に密接に関係する皮質下の内包後脚に脳卒中を有する脳卒中サルモデルを確立した[3]。

II. 目的

私達は、本研究項目を通じて、脳損傷後の機能回復や病的変化の背景にある神経の機能及び構造の可塑的变化を明らかにすることを目的としている。今年度はマカクサル第一次運動野損傷後の機能回復をもたらす分子基盤と、視床脳出血後の脳卒中後疼痛の背景にある脳活動変化に関する新たな知見を得た。

III. 研究成果

本年度の具体的成果を以下に 2 つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 第一次運動野損傷後の SPP1 タンパク発現の変化

私達はこれまでの研究で、*Secreted phosphoprotein 1* (SPP1、別名 *osteopontin*) と呼ばれる遺伝子の発現がマカクサル大脳皮質感覚運動領野に存在する皮質脊髓路細胞に見られること、その大脳皮質運動野における発現はラットやマカクサルよりも上肢の巧緻性が低い霊長類では見られないことを明らかにした[4,5]。本研究では、マカクサル皮質脊髓路細胞における SPP1 タンパクの役割を知る第一段階として、SPP1 タンパクの分布を、免疫組織化学の手法を用いて調べた。健常マカクサルの第一次運動野では、SPP1 タンパクは皮質脊髓路細胞の細胞体内に局限していた。SPP1 は *Secreted phosphoprotein 1* の名前が示す通り、多くの細胞種において細胞外に分泌されることが知られている。一方、近年の研究で細胞内に留まる型の SPP1 も一部の細胞種では見られることが明らかになっている。皮質脊髓路細胞における SPP1 は細胞内型であることが明らかになった。電子顕微鏡および細胞小器官マーカータンパクを用いた解析から、SPP1 はミトコンドリア内膜に存在していると考えられた。

第一次運動野損傷後には、SPP1 の発現は損傷領域において増殖するミクログリアにおいて見られた。ミクログリアからは SPP1 タンパクの細胞外への分泌が確認された。すなわちミクログリアにおける SPP1 は分泌型であると考えられる。一方、損傷周囲の皮質脊髓路細胞における SPP1 タンパクの発現は損傷後に一過性に減少し、リハビリテーション訓練により把握運動機能の回復が生じる損傷後 3 ヶ月の時点では再び上昇していた。個体毎の機能回復の程度と損傷周囲の皮質脊髓路細胞における

SPP1 タンパクの発現量には有意な正の相関がみられた。SPP1 の細胞内の役割は依然不明であるが、脳損傷後の機能回復を促進する上で重要な役割を果たしている可能性がある。

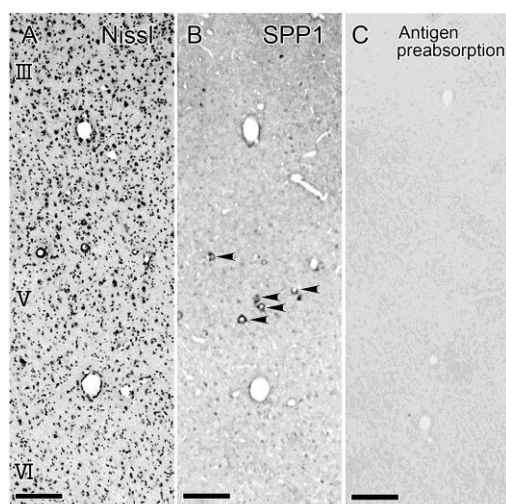


Fig. 1. SPP1 production in the primary motor cortex (M1) of the intact macaque. (A, B) Low-magnification photomicrographs of a Nissl-stained section (A) and the adjacent section stained immunohistochemically with monoclonal anti-SPP1 antibody (B). SPP1 immunoreactivity was observed mainly in large pyramid-shaped cells (30 to 50 μ m in diameter) of layer V (arrowheads). (C) Control section incubated with antibody preabsorbed with SPP1; no specific signaling is observed. Scale bars = 200 μ m.

B. マカク脳卒中後疼痛モデルにおける脳活動変化

視床を含む体性感覚情報の中継核に脳卒中を生じると疼痛が生じることがあり、脳卒中後疼痛と呼ばれる。脳卒中後疼痛患者では軽い感覚刺激でも痛みを感じるアロディニアという症状がしばしばみられ、日常生活の動作やリハビリテーションが著しく阻害される。疼痛は脳卒中の発症後、数週間から数か月経過後に出現するため、この間の脳の変化が痛みを生み出すと考えられてきたが詳細は不明である。本研究では私達が近年確立したマカクサルを用いた脳卒中後疼痛動物モデルを用いて[6]、疼痛の発症に伴う脳活動変化を検証した。このモデルでは視床後外側腹側核に局所出血を誘発した後、機械的体性感覚刺激を上部に与え、逃避する刺激の閾値を計測した結果、出血後 8 週以降では出血前と比べて、より弱い刺激で逃避し、脳損傷前は痛みを感じることがなかった軽い刺激に対しても痛みを感じていることが示された。サルの手に機械的体性感覚刺激を与えた時の脳活動を、プロポフォール鎮静化で fMRI を用いて計測したところ[7]、脳出血前は対側大脳皮質の体性感覚野に局限した活動が見られたのに対し、出血後 8 週以降の痛みを感じている時期には後部島皮質および前部帯状皮質と扁桃体を含む複数の疼痛関連脳領域において活動の上昇が見られた。

これらの領域の活動をムシモール投与によって抑制したところ疼痛様行動が減弱したことから、これらの領域

の活動上昇が脳卒中後疼痛に因果的に関与していると考えられた。

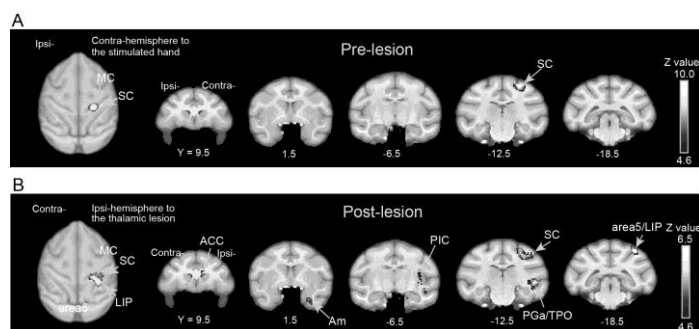


Fig. 2. Brain activity changes associated with tactile allodynia. A, B, Brain activity associated with mechanical stimulation to the contra-lesional hand (or the corresponding hand before the lesion) compared with that during mechanical stimulation to the ipsi-lesional hand during the pre-lesion (A) and post-lesion (B) periods. ACC, anterior cingulate cortex; Am, amygdala; LIP, lateral intraparietal; MC, primary motor cortex; PGa, anterior subdivisions of the angular gyrus; PIC, posterior insular cortex; SC, primary somatosensory cortex; TPO, temporo-parieto-occipital junction.

IV. おわりに

損傷周囲の皮質脊髄路細胞における SPP1 タンパクの産生と機能回復の因果関係を知るためにはウィルスベクターを用いた SPP1 発現制御を行う必要がある。脳卒中後疼痛のメカニズム解明に関しては脳活動変化を生み出す神経細胞の構造変化を、組織および解剖学的手法を用いて明らかにすることが重要である。

REFERENCES

- [1] Y. Murata, N. Higo, T. Oishi, A. Yamashita, K. Matsuda, M. Hayashi, S. Yamane, "Effects of motor training on the recovery of manual dexterity after primary motor cortex lesion in macaque monkeys", *J Neurophysiol* 99, pp. 773-786, 2008
- [2] Y. Murata, N. Higo, T. Hayashi, Y. Nishimura, Y. Sugiyama, T. Oishi, H. Tsukada, T. Isa, H. Onoe, "Temporal plasticity involved in recovery from manual dexterity deficit after motor cortex lesion in macaque monkeys", *J Neurosci* 35, pp. 84-95, 2015
- [3] Y. Murata, N. Higo, "Development and Characterization of a Macaque Model of Focal Internal Capsular Infarcts", *PLoS ONE* 11(5): e0154752, 2016
- [4] N. Higo, A. Sato, T. Yamamoto, Y. Nishimura, T. Oishi, Y. Murata, H. Onoe, K. Yoshino-Saito, F. Tsuboi, M. Takahashi, T. Isa, T. Kojima, "SPP1 is expressed in corticospinal neurons of the macaque sensorimotor cortex", *The Journal of Comparative Neurology* 518(13):2633-2644, 2010
- [5] T. Yamamoto, T. Oishi, N. Higo, S. Murayama, A. Sato, I. Takashima, Y. Sugiyama, Y. Nishimura, Y. Murata, K. Yoshino-Saito, T. Isa, T. Kojima, "Differential expression of secreted phosphoprotein 1 in the motor cortex among primate species and during postnatal development and functional recovery", *PLoS One* 8:e65701, 2013
- [6] K. Nagasaka, I. Takashima, K. Matsuda, N. Higo, "Late-onset hypersensitivity after a lesion in the ventral posterolateral nucleus of the thalamus: A macaque model of central post-stroke pain". *Scientific Reports* 7(1):10316, 2017
- [7] K. Nagasaka, K. Yamanaka, S. Ogawa, H. Takamatsu, N. Higo, "Brain activity changes in a macaque model of oxaliplatin-induced neuropathic cold hypersensitivity". *Scientific Reports* 7(1):4305, 2017

B 班：システム工学

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

I. B 班の目的

B 班システム工学班では、領域に関連して得られた脳科学的知見（主に A 班研究者による）・リハビリテーション臨床的知見（主に C 班研究者による）を統合し、感覚－運動連関を実現する脳内身体表現の計算論的機能モデルの確立を目指している。研究項目 B01・B02 は、神経生理学的実験データ、リハビリテーション中の臨床データに基づき、脳内身体表現の活動(fast dynamics)と変容(slow dynamics)のダイナミクスを各々時定数の異なる力学系としてモデル化する（脳内身体表現モデル）。研究項目 B03 は公募班のための研究項目であり、新しい構成論的手法を指向している。B 班の全体像、各項目の関係を Fig.1 に示す。

II. B 班の研究内容

B01 項目は、計画研究であり、身体認知からのアプローチを指向している。メンバー（研究代表者、研究分担者）は、浅間 一（東大・研究代表者）、近藤敏之（東農工大）、田中宏和（北陸先端大）、矢野史朗（東農工大）、井澤 淳（筑波大）である。この研究項目では、感覚統合や運動企図が身体意識を修飾するメカニズムの構成論的解明および身体意識（身体保持感、運動主体感）の数理モデル化に取り組んでいる。また、それらを定量化する生理マーカーの同定・デコーディング技法の開発を進めている。さらに、運動制御モデルの構築とそれに基づくモデルベーストリハビリテーションの方法論について探究している。

浅間は、A01-1 今水らと共同して、運動主体感の変化に対する知覚と神経基盤を調べている。周辺の環境を制御できない場合、制御性の増加の検出が容易であるが、すでに高い制御性を獲得した場合、制御性の減少に敏感であることが分かった。さらに、fMRI を用いて、制御性の増加及び減少を検出する脳内メカニズムの違いを調べる研究を進めている。矢野は、これまでに進めてきた運動主体感・身体保持感の数理モデルに基づき、提案される基礎実験について、A01-1 今水・前田、A03-4 松本らと連携して検証を進めた。また理論研究として、mirror descent および exponentiated gradient descent とベイズの定理の間の関係に着目することで、ベイズ推定と同様のアルゴリズムによって強化学習やその他の意思決定問題が解けることを示した。田中は、A02-1 筧らと連携し、手首運動中のサル小脳神経活動を解析した。ある時

刻の小脳核細胞活動から未来の苔状線維活動が線形予測できることを示し、小脳順モデル仮説の神経科学的証拠を示した。井澤は、機能回復において重要な運動学習の計算論的メカニズムを調べている。ヒトの運動学習におけるパフォーマンス誤差と感覚予測誤差の関係を調べた結果、パフォーマンス誤差の与え方に関わらず、長期的な運動記憶には、感覚予測誤差のみが影響を与えていることを示唆する結果を得た。近藤は、C01-1 稲邑と連携して没入型 VR とモーションキャプチャを組み合わせたリハビリシステムを開発し、仮想腕の移動量を視角拡大提示することが患側の使用頻度を増加させ、かつ十分な施行の後、視覚拡大を漸減した場合でもその効果が維持されることを示した。さらに、C03-3 金子らと共同して、ウェアラブルモーションキャプチャを用いた FMA 自動採点システムを開発した。

B02 項目は、計画研究であり、運動制御からのアプローチを指向している。研究代表者、研究分担者のメンバーは、太田 順（東大・研究代表者）、青井 伸也（京大）、千葉 龍介（旭川医大）である。この項目では、ラットや人の実験に基づいた、筋シナジーベースの起立姿勢制御・歩行モデルの構築を行った。

起立姿勢制御においては従来のフィードバック制御に加え筋緊張制御が必要なことを詳細な筋骨格シミュレータを用いて明確化した。更に外乱に対し、筋緊張制御を加えることでヒトの実験結果に近似したシミュレーション結果を得た。また感覚統合とその変容をモデル化するための実験を行い、視覚・前庭感覚・固有感覚に対する外部からの操作を可能とし、その実験結果を得た。上記の姿勢制御モデルと実験結果から、複数感覚間のズレが筋緊張を引き起こすことで身体の剛性を変容させ、動揺を制御しているという仮説を得た。歩行モデルにおいては、これまで提案してきた筋シナジーに基づく fast, slow dynamics モデルの妥当性、力学的役割を検証するために、ラットの後肢左右分離型トレッドミル歩行の計測と解析を実施している。昨年度までに関節運動の計測より、運動学的な対応を確認したが、更に筋電図の計測と解析を実施し、その対応を検証した。また、A02-2 項目との共同研究より、ニホンザルの四足歩行と二足歩行で計測した筋電図の筋シナジー解析を実施し、歩容に共通・特異な筋シナジー構造を明らかにし、下肢、上肢、体幹筋に見られる協調的な制御戦略に関する新たな知見を得た。

B03 項目は、公募研究である。ここでは、新しい構成論的手法による研究活動をしている。具体的内容は、

B03-1 筋シナジー構成（船戸 徹郎(電通大)），B03-2 人工拇指（長谷川 泰久(名大)），B03-3 人工筋・腱（細田 耕(大阪大)），B03-4 把持制御（宮田 なつき(産総研)）である。

B03-1 項目（船戸）は C02-1 項目，C03-1 項目と共同で，無痛無汗症患者の姿勢及び歩行の動作解析を行い，筋シナジーの変容に関する新たな知見を得た。また，B02 系を中心とした共同研究により，筋シナジーと脳梗塞患者のリハビリ効果の関係に関する知見を明らかにした。

B03-2 項目（長谷川）は身体表現を持たない後耳外筋を用いてロボット拇指の操作を行い，振動刺激による深部感覚の代用がある場合と無い場合におけるロボット拇指の作業パフォーマンスを比較し，パフォーマンスに差があることを確認した。

B03-3 項目（細田）は人間と相同な筋骨格構造を持つヒューマノイドロボットについて，各筋の反射を実現するため，筋の状態を計測するセンサを改良した。また，身体像獲得のための前段階として，運動学・動力学を学習するための機械学習についての検討を行った。

B03-4 項目（宮田）は健常手の運動機能を母指の可動範囲の観点で疑似的に制約して変容させ，把持形態が健常時（制約前）と比べてどのように変化するかを調査した。テーピングによる静的な疑似制約方法を考案し，手の接触領域に着目して把持形態の変化を分析した。

III. B 班の活動

開催した B 班会議，B 班関連アクティビティを以下に記す。

-会議名：第 36 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)

日程：2018 年 9 月 6 日

場所：中部大学

内容：OS 企画（口頭発表 10 件）

- 会議名：B 班会議

日程：2018/12/11 10:00-12:30

場所：名古屋大学理学南館 1 階セミナー室

内容：発表（温，白藤）

-会議名：IEEE MHS 2017 (Micro-NanoMechatronics and Human Science)

日程：2018 年 12 月 11 日

場所：名古屋大学野依記念学術交流館

内容：Plenary 講演（Dr. Y.Hayashi, Univ. of Reading），

OS 企画（口頭発表 5 件，ポスター 3 件），

Keynote 講演（井澤）

-会議名：第 31 回自律分散システム・シンポジウム

日程：2019 年 1 月 24-25 日

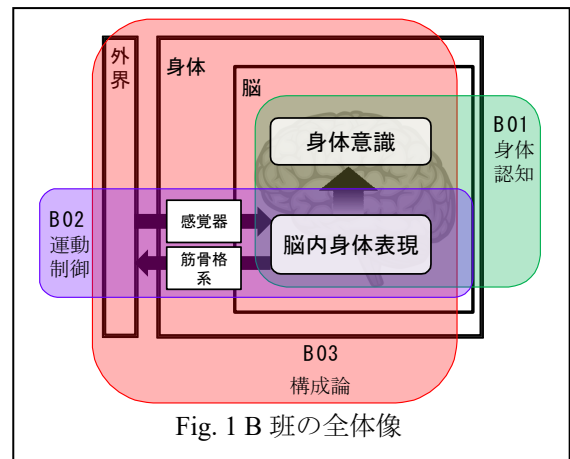
場所：国立民族学博物館，大阪

内容：OS 企画（口頭発表 4 件）

IV. 今後の予定

2018 年度も引き続き B 班会議，B 班メンバーを中心とした学会活動を行う予定である。

B 班におけるモデル化研究の方向性として最終年度における成果のまとめ，という観点から slow dynamics 定式化と A 班，C 班の成果との統合を目指す。



B01-1 研究項目の研究成果報告

一 淺間

東京大学 大学院工学系研究科

Abstract—Body consciousness such as sense of agency and sense of ownership is generated in real time based on the body representation in brain. This process can be called “fast dynamics.” On the other hand, the body representation is created, updated and transformed through perceptual and motion experience, which can be called “slow dynamics.” In this group, these dynamics on the process creating and updating body representation in brain related to body consciousness are investigated and modelled mathematically.

I. はじめに

運動主体感や身体保持感などの身体意識は、脳内身体表現に基づき実時間で創出される(Fast dynamics). 一方、脳内身体表現は知覚運動経験を通してゆっくりと生成・更新され、変容する(Slow dynamics). 研究項目 B01 では、この身体意識に関する脳内身体表現の生成・更新のダイナミクスのモデル化を行う。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は、身体意識の創出と脳内身体表現の変容の数理モデル化、認知身体マッピング器モデルの検証、およびモデルベーストリハビリテーションへの応用の検討である。図1に本研究における脳内身体表現の生成プロセスの概念と研究分担を示す。

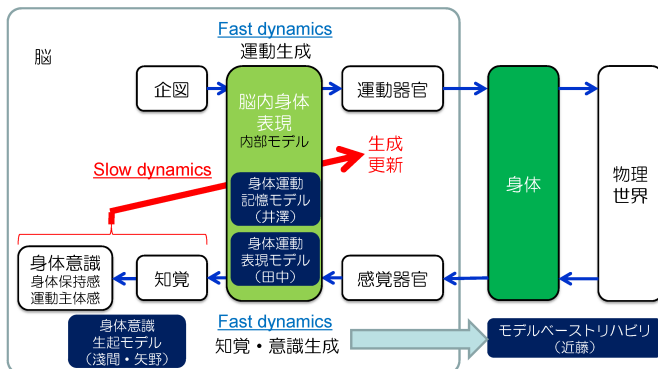


図1 身体意識に基づく脳内身体表現の生成プロセス

III. 研究成果

本年度の具体的成果の概要を以下に記す.

A. 身体意識の生起モデル

研究代表者の浅間（東大）のグループは、A01 班の今水グループと共に、運動主体感の変化に対する知覚と神経基盤を調べた。その結果、周辺の環境を制御できな

い場合、制御性の増加の検出が容易であるが、すでに高い制御性を獲得した場合、制御性の減少に敏感であることが分かった。さらに、fMRI を用いて、制御性の増加及び減少を検出する脳内メカニズムの違いを調べる研究を進めている [1]。さらに、身体意識の生起に伴う脳内身体表現構造の変容に関し、virtual reality (VR)を用いて調べた。その結果、VR において適切な視覚介入を行うことより、運動主体感を向上したことが確認された[2, 3]。さらに、人間の上肢に着目し、身体意識と脳内身体表現の変容との関係性について調査した。結果として身体保持感、運動主体感を同時に感じる時のみ脳内身体表現の構造が変容することをつきとめた[4, 5]。

最後に、浅間グループは、自動車運転時の運動主体感が運動行動に与える影響を調べた。ハンドリングやクルーズコントロールなど運転支援を受ける場合、運動主体感の変化が反応の速さの変化を調べた[6].

研究分担者の矢野（東京農工大）は、これまで進めてきた運動主体感・身体保持感の数理モデルに基づき、提案される基礎実験について継続して A01 今水グループ、前田グループ、B01 近藤グループと連携して検証した[7]。リハビリテーション介入の可能性については A01 今水グループ、前田グループ、A03 松本グループらと連携して検証を進めた。特に外科手術後の数日から数ヶ月にわたる運動主体感の長期的変容について右島皮質の関与の観点から分析を進めた[8]。理論の研究としては mirror descent および exponentiated gradient descent とベイズの定理の間の関係に着目することで、ベイズ推定と同様のアルゴリズムによって強化学習やその他の意思決定問題が解けることを示した[9, 10]。Exponentiated gradient descent とベイズの定理の関係は最適化理論や意思決定の分野で兼ねてより知られているが、強化学習にも同じアルゴリズムが使用できることを示した点が重要である。

B. 身体運動の脳内表現モデル

身体意識の理解には身体運動が脳内でどのように表現されているかの理解が不可欠である。研究分担者の田中（北陸先端大）は順モデルの入出力表現解明に向けて、A02 寛グループと共同で手首運動中のサル小脳神経活動を解析した [11, 12]。苔状線維（小脳の入力）・プルキンエ細胞（小脳皮質の出力）・小脳核細胞（小脳の出力）の発火頻度の間の機能的変換が、線形モデルでよく説明できることを示した。加えて、ある時刻の小脳核細胞活動から未来の苔状線維活動が線形予測できることも

示し、小脳順モデル仮説の神経科学的証拠を示した。これらの線形方程式は最適推定のカルマンフィルタの式と対応づけられる。

さらに非侵襲高密度脳波計測と新規信号解析法を用いてヒト脳内の身体運動表現と身体意識を調べた [13-16]。表現類似性解析を用いて、脳波信号源の上腕運動に伴う運動方向選択性とその姿勢依存性を解明した [13, 14]。この結果は、従来考えられてきたよりも、頭皮脳波信号に詳細な脳内運動表現が含まれていることを示している。また信号解析法では高密度脳波計測から繰り返して生じる再現性成分を抽出する信号解析法を開発した [15, 16]。従来手法に比べて、ミスマッチ陰性電位・定常状態視覚誘発電位・ECoG 進行波活動をより効率的に再現性高く抽出できることを示した。

C. 身体運動の記憶モデル

研究分担者の井澤（筑波大）は、機能回復において重要な運動学習の計算論的メカニズムを調べている。特に、ヒトの運動学習におけるパフォーマンス誤差と感覚予測誤差の関係を調べた。その結果、パフォーマンス誤差の与え方に関わらず、長期的な運動記憶には、感覚予測誤差のみが影響を与えていることが示唆された。これは長期的な運動記憶形成には、感覚予測を行う順モデルが基礎となっていることを示唆している [17]。

D. モデルベーストリハビリテーション

研究分担者の近藤（東京農工大）のグループは、リハビリ現場での使用を想定したアプリケーション開発に取り組んでいる。本年度は、発揮筋力の違いや筋力量の視覚フィードバックの有無が脳波型の閉ループ BCI リハビリシステムで広く用いられる事象関連脱同期（ERD）に及ぼす影響を分析し、ERD が、発揮筋力の違いを反映する運動単位の動員よりもむしろ視覚フィードバックに基づいて運動計画を持続的に行うことで発現する可能性を示唆する結果を得た [18]。また、没入型 VR とモーションキャプチャを組み合わせたリハビリシステムを開発し、仮想腕の移動量を視角拡大提示することが患側の使用頻度を増加させ、かつ十分な施行の後、視覚拡大を漸減した場合でもその効果が維持されることを示した。この結果、提案システムによって学習性不使用を改善できる可能性が示された [19]、さらに、C03-3 の金子らと共同して、ウェアラブルモーションキャプチャを用いた FMA 自動採点システムを開発した [30]。

IV. おわりに

身体意識に基づく脳内身体表現の生成プロセスのモデル化とそれに基づくリハビリテーションについて、他の班とも連携しながら実施し、多くの新規で重要な成果が得られた。今後、この成果の実際のリハビリへの活用、有効性の評価を継続的に行うとともに、ヒトの適応機能の理解をさらに深めていくことが肝要である。

REFERENCES

- [1] R. Ohata, W. Wen, A. Yamashita, H. Hajime, & H. Imamizu: "Dissociative Processes for Detecting Change in Control," The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EMBOSS2018), 2018.
- [2] K. Aoyagi, W. Wen, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, & H. Asama: "Improvement of Sense of Agency via Visual Intervention in Virtual Reality", The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EMBOSS2018), 2018.
- [3] 青柳 恵, 温 文, An Qi, 濱崎 俊輔, 山川 博司, 田村 雄介, 山下 淳, 浅間 一: "仮想現実における視覚介入が運動主体感に与える影響," 日本基礎心理学会第 37 回大会, 2018.
- [4] S. Hamasaki, Q. An, W. Wen, Y. Tamura, H. Yamakawa, S. Unenaka, S. Shibuya, Y. Ohki, A. Yamashita, & H. Asama: "Changes in Body Representation of the Human Upper Limb as a Function of Movement and Visual Hand Position", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 23(2), 2019, in press.
- [5] S. Hamasaki, A. Yamashita, & H. Asama: "A Three-Dimensional Evaluation of Body Representation Change of Human Upper Limb Focused on Sense of Ownership and Sense of Agency", The 2018 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2018), Nagoya (Japan), 2018.
- [6] S. Yun, W. Wen, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, & H. Asama: "Investigating the Relationship between Assisted Driver's Sense of Agency and EEG Alpha Power", The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EMBOSS2018), 2018.
- [7] S. Yano, T. Kondo, & T. Maeda: "Model-based Rehabilitation from Sense of Agency" Journal of the Robotics Society of Japan, 35(7), 512-517, 2017.
- [8] T. Kobayashi, R. Matsumoto, et al.: "The Role of the Right Insula in Sense of Agency -Supportive Data from Neurosurgical Cases-", Asian oceanian congress of neurology, 2018
- [9] M. Miyashita, S. Yano, & T. Kondo: "Mirror descent search and its acceleration", Robotics and Autonomous Systems, 106, 107-116, 2018.
- [10] S. Yano: "Mirror Descent: Bridge Between Bayesian-brain and Reinforcement Learning Algorithm", 2018 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium (JAFOE 2018).
- [11] H. Tanaka, T. Ishikawa, & S. Kakei: "Neural Evidence of the Cerebellum as a State Predictor", The Cerebellum, 2018, accepted.
- [12] H. Tanaka, T. Ishikawa, & S. Kakei: "Neural Evidence of the Cerebellum as a State Predictor", Neuroscience2018, Kobe, Japan.
- [13] H. Tanaka, M. Miyakoshi, & S. Makeig: "Dynamics of Directional Tuning and Reference Frames in Humans: A High-Density EEG Study", Scientific Reports, 8(1), 8205, 2018.
- [14] H. Tanaka: "Directional Tuning and Reference Frames in Human Pointing", The 3rd International Mobile Brain/Body Imaging Conference, Berlin, Germany, 2018.
- [15] H. Tanaka & M. Miyakoshi: "Two Extensions of Trial Reproducibility Maximization for EEG Data Analysis", The 3rd International Mobile Brain/Body Imaging Conference, Berlin, Germany, 2018.
- [16] H. Tanaka, M. Miyakoshi, & E. Asano: "A Multivariate Method for Detecting Traveling Waves from ECoG Data", The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science, Osaka, Japan, 2018,
- [17] K. Lee, Y. Oh, & J. Izawa, & N. Schweighofer: "Sensory Prediction Errors, not Performance Errors, Update Memories in Visuomotor Adaptation", Scientific reports. 2018;8.
- [18] T. Kondo, H. Tojiki, Y. Hayashi, & S. Yano: "Motor Planning Attenuates Event-related Spectral Power of EEG", The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), HI, USA, 2018.
- [19] N. Sakabe, S. Yano, & T. Kondo: "Unconscious Alteration of Hand Choice in Arm Reaching Task by Visuomotor Amplification in Immersive Virtual Reality Environment", The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), HI, USA, 2018.
- [20] M. Watanabe, N. Yamamoto, Y. Ishii, S. Yano, T. Inamura, F. Kaneko, & T. Kondo: "Development of a Fugl-Meyer Assessment Evaluation Support System using Wearable Mocap and Unity Software", The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science, 2018 , Osaka, Japan.

B02-1 研究項目の研究成果報告

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

Abstract— To elucidate mechanisms of the body representation in brain for adaptive motor control, we aim to construct fast and slow dynamics models by focusing on muscle synergy. We assume that the alteration of muscle synergy structure reflects the alteration of the body representation in brain, and we clarify the contribution of the body representation in brain through modeling the fast and slow dynamics of synergy structure. In this year, we verified the proposed postural controller in movable platform by simulations with musculoskeletal model. And the simulator was developed to a predictive simulator to contribute the rehabilitations. In addition, we measured EMG data from rats walking on a split-belt treadmill by their hindlimbs to verify our proposed fast and slow dynamics models in locomotion.

I. はじめに

運動生成には、脳内身体表現が重要な役割を果たしており（fast dynamics）、脳の可塑性により脳内身体表現は長期的に変容する（slow dynamics）ことで、適応機能を生み出している。また、冗長多自由度の筋骨格系からなる生物の運動では、筋活動はタスクに応じた少数の典型的な時空間パターンの組み合わせで表現できることが知られている。この構造は筋シナジーと呼ばれ、生物の冗長性解決の戦略としてその存在が広く示唆されている。

本研究項目では、適応的な運動生成における脳内身体表現の機能解明のために、筋シナジーに着目して、脳内身体表現変容モデルの構築を目指す。具体的には、「運動における脳内身体表現の変容は筋シナジー制御器の変容として表出する」と考え、その slow dynamics と fast dynamics の数理モデルを構築することで、適応的運動機能に寄与する脳内身体表現の役割を明らかにする。

II. 目的

本研究項目では次の 3 つの研究目標を設定している。

1. 筋シナジー生成器と筋シナジー制御器による筋活動の生成（fast dynamics）のモデル化：適応的運動における筋活動の即時的な生成メカニズムを筋シナジーの観点からモデル化する。
2. 筋シナジー制御器の変容（slow dynamics）のモデル化：筋シナジー制御の変容を脳内身体表現の現れとして捉え、その長期的な変容をモデル化する。
3. 筋シナジー制御器の状態の推定とその応用：fast dynamics, slow dynamics により、生理学的データから現在の筋シナジー制御器の状態を推定する技術を確立する。更に、これを表示するシステムと筋シナジー制御器の状態を予測するシミュレータの構築を行う。

III. 研究成果

A. 姿勢制御における fast, slow dynamics モデルの構築

研究代表者と研究分担者の千葉（旭川医科大学）らのグループでは、A02-2 研究項目の高草木（旭川医科大学）らと協働で、ヒトの立位姿勢における脳内身体表現を用いた制御メカニズムの解明を目指し、姿勢制御の fast dynamics と slow dynamics のモデル化を行っている。

本年度は引き続き A02-2 項目との協働した研究により、これまでに提案してきている筋緊張制御および体性感覚フィードバック制御を組み合わせた制御器の妥当性を検証した。水平方向 360° (30° ごとに 12 方向)に床面をスライドさせる外乱を印加した時の静的立位姿勢維持をタスクとした。このタスクを遂行可能な制御器を筋骨格モデルに対して構築したところ、各方向の外乱に対しそれぞれの筋活動はヒトの実験でのそれらと類似したものであった。これにより提案した制御器が外乱を印加したタスクに対しても妥当であることを確認した[1]。

更に、制御器の妥当性を確かめられたことから、このモデルを予測シミュレータとして活用することを検討した。床面が後方にスライドする状況で立位姿勢を維持するというタスクに対し、制御および身体のパラメータ（筋力・感覚ノイズ・筋緊張）により姿勢維持戦略の変容が発現するか否かを観察した。ここで姿勢維持戦略の変容はヒトにおいて加齢に伴う ankle, hip 戦略の変容として観察されており、本予測シミュレーションでもこの変容を発現する支配的なパラメータの探索を行った。その結果、筋力もしくは筋緊張の低下が hip 戦略を引き起こすことが観察され、先行研究とは異なる知見が得られた。これによりリハビリテーションへの方策への一助になると期待できる。また、従来考慮されていない加齢の影響として筋緊張の低下が示唆され、重要な発見となった[2]。

また、C03-4 項目と共同で障害者の姿勢を評価するために筋骨格モデルを用いたシミュレータを利用した。片麻痺患者の姿勢と健常者の姿勢を比較し、如何なるパラメータの相違が姿勢の相違となるかを同定し、リハビリテーションへの貢献を目指している[3]。

B. 歩行における *fast, slow dynamics* のモデル化

研究分担者の青井（京都大学）らのグループでは、B03-1 研究項目の船戸（電気通信大学）らと協働で、ヒトやラットなどの歩行を対象に、運動制御に見られる *fast, slow dynamics* による適応メカニズムの解明を目指して、計測に基づくデータ解析、ならびに神経筋骨格系の数理モデルの構築と動力学シミュレーション研究を行っている。昨年度までに、感覚情報に基づいた筋シナジーの生成タイミングの反射的な制御を *fast dynamics* としてモデル化し、ラット後肢の筋骨格モデルと統合した神経筋骨格モデルを用いて、左右分離型トレッドミル歩行の動力学シミュレーションを実施していた。シミュレーションの結果、環境変化に依存した即時的な運動の変化が見られており、ラット後肢の左右分離型トレッドミル歩行の計測と比較して、妥当な結果が得られていた[4]。更に、筋シナジーの学習的な制御を *slow dynamics* としてモデル化し、ラット後肢の左右分離型トレッドミル歩行の動力学シミュレーションの結果、環境変化後に左右の速度差に応じた即時的な位相のシフトが見られ、時間経過に応じてゆっくりと元に戻る様子も見られており、計測においても運動学レベルで同様の現象を確認していた。そこで本年度は、計測データに基づく運動制御レベルでの数理モデルの妥当性の確認を目的として、ラット後肢の左右分離型トレッドミル歩行における筋電図の計測と解析を行った。その結果、筋活動のレベルでも、環境変化に依存した即時的な変化のあとにゆっくりと戻っていく様子を確認でき、運動制御の *fast, slow dynamics* レベルでの数理モデルの妥当性が示唆された。

また、歩行における筋シナジー研究の第一人者である Yury Ivanenko（IRCCS サンタルチア財団神経運動生理学研究室）らと協働で、ヒトの歩行と走行に関わる運動制御の共通な構造と特異な構造を調べた。特に、筋電図の筋シナジー解析から得られた仮説に基づく運動制御モデルを構築し、ヒトの神経筋骨格系の数理モデルを用いた動力学シミュレーションより、歩行と走行は比較的共通した運動制御の構造を持ち、少数のパラメータの違いで歩行も走行も実現できることを示した[5]。

更に、A02-2 研究項目の中階（岩手医科大学）らのグループと協働で、二足歩行の訓練を受けたニホンザルを対象に、四足歩行と二足歩行時に計測した下肢と体幹筋を含む片側 9 筋の筋電図と、対応する補足運動野から計測した 26 の神経活動に対して、特異値分解を用いた解析を行い、筋活動と補足運動野の活動の関係を調べた。その結果、歩容に関わらず、筋活動も補足運動野の活動も 4 つの時空間パターンの組合せでほとんどが説明され、4 つの時間パターンは筋活動と補足運動野の活動で共通していることが明らかとなった。

本研究項目の研究成果は、2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science（2018 年 12 月 5～6 日、千里ライフサイエンスセンター）でのポスター発表[3, 6, 7, 8, 9]や 29th 2018 International Symposium on Micro-

NanoMechatronics and Human Science（2018 年 12 月 9～12 日、名古屋大学野依記念学術交流館）における OS「Embodied-brain Systems Science」での口頭発表 [10, 11, 12]などで発表している。

IV. おわりに

本年度は、前年度に引き続いて、姿勢制御と歩行制御に関する *fast, slow dynamics* のモデル化を行い、ヒトや動物の実験結果に基づく解析より、モデルの妥当性の検証を行った。更にリハビリテーション方策への応用を指向した研究に着手し、その可能性を示した。

REFERENCES

- [1] K. Kaminishi, P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Postural control of a musculoskeletal model against multidirectional support surface translations", PLOS ONE, in press.
- [2] K. Kaminishi, P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Musculoskeletal simulation for determining influences of the magnitude of sensory noise and stiffness on the selection of hip or ankle movement strategies", in Proc. 40th Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2018.
- [3] D. Li, K. Kaminishi, M. Mukaino, R. Chiba, K. Takakusaki and J. Ota, "Posture control comparison between the stroke and hip osteoarthritis patients' bipedal stance by a simulation method", in Proc. 2nd Int. Symp. Embodied-Brain Systems Science, 2018.
- [4] S. Fujiki, S. Aoi, T. Funato, Y. Sato, K. Tsuchiya, and D. Yanagihara, "Adaptive hindlimb split-belt treadmill walking in rats by controlling basic muscle activation patterns via phase resetting", Scientific Reports, 8:17341, 2018.
- [5] S. Aoi, T. Ohashi, R. Bamba, S. Fujiki, D. Tamura, T. Funato, K. Senda, Y. Ivanenko, and K. Tsuchiya, "Neuromusculoskeletal model that walks and runs across a speed range with a few motor control parameter changes based on the muscle synergy hypothesis", Scientific Reports, in press.
- [6] K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Musculoskeletal simulation to investigate influences of the magnitude of sensory noise and stiffness on the selection of an ankle/hip strategy", in Proc. 2nd Int. Symp. Embodied-Brain Systems Science, 2018.
- [7] H. Oshima, S. Aoi, K. Nakajima, Y. Higurashi, T. Funato, A. Ito, N. Tsujiuchi, and K. Tsuchiya, "Muscle activity coordination of upper limbs, trunk, and lower limbs during bipedal and quadrupedal walking in the Japanese macaque", in Proc. 2nd Int. Symp. Embodied-Brain Systems Science, 2018.
- [8] M. Toeda, S. Aoi, S. Fujiki, T. Funato, K. Tsuchiya, and D. Yanagihara, "Investigating energy efficiency of gait in rat based on the muscle synergy hypotheses using a neuromusculoskeletal model", in Proc. 2nd Int. Symp. Embodied-Brain Systems Science, 2018.
- [9] R. Sakai, T. Funato, A. Konosu, S. Fujiki, S. Aoi, and D. Yanagihara, "Muscle synergy analysis of bipedal walking in rats", in Proc. 2nd Int. Symp. Embodied-Brain Systems Science, 2018.
- [10] K. Kaminishi, P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "usculoskeletal simulations to investigate influences of muscle weakness and sensory noise to postural control stiffness", in Proc. IEEE Int. Symp. Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2018), pp. 312-315, 2018.
- [11] D. Tamura, S. Aoi, T. Funato, S. Fujiki, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Investigation of phase resetting effect on phase response curve in human walking using a neuromusculoskeletal model", in Proc. IEEE Int. Symp. Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2018), pp. 318-320, 2018.
- [12] R. Sakai, T. Funato, S. Fujiki, A. Konosu, S. Aoi, and D. Yanagihara, "Construction of experimental environment for muscle synergy analysis of bipedal walking in rats", in Proc. IEEE Int. Symp. Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2018), pp. 316-317, 2018.

B03-1 研究項目の研究成果報告

船戸 徹郎

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 機械知能システム学専攻

Abstract—In order to approach the mechanism of dysfunction due to neural ataxia and effective rehabilitation, this group studies the functional role of synergy and control system of patients with neural ataxia. This year, we analyzed synergy of stroke patters during tasks in Fugl-Meyer Analysis (FMA), and analyzed the synergy of walking rats with cerebellar stroke. As a result, merging rate of synergies during the FMA tasks reflected the severity of stroke. This relationship could be found with 9 tasks selected from 37 FMA tasks. By the effect of cerebellar stroke in walking rats, the temporal coordination of limb rotation changed while intersegmental coordination remained.

I. はじめに

ヒトや動物が歩行や直立などの全身運動を行うとき、複数の関節や筋を協調して動かす協調関係(シナジー)が見られる。このような運動中に観察される運動要素の協調関係は、動作生成において冗長な身体を動かすための低次元表現となっており、脳内身体表現を反映していると考えられる。シナジーは脳卒中及び小脳疾患によってそれぞれ特徴的に変化すると知られており [1]、シナジーを指標とすることで効果的なリハビリテーションの構築が期待できる。本研究項目では (1) 神経障害に伴う (シナジーなどの) 運動機能と制御機能の低下の関係(メカニズム)を解明し、(2) 神経疾患患者の筋シナジーの評価による効果的なリハビリテーション手法を構築することを目指して研究を行っている。

II. 目的

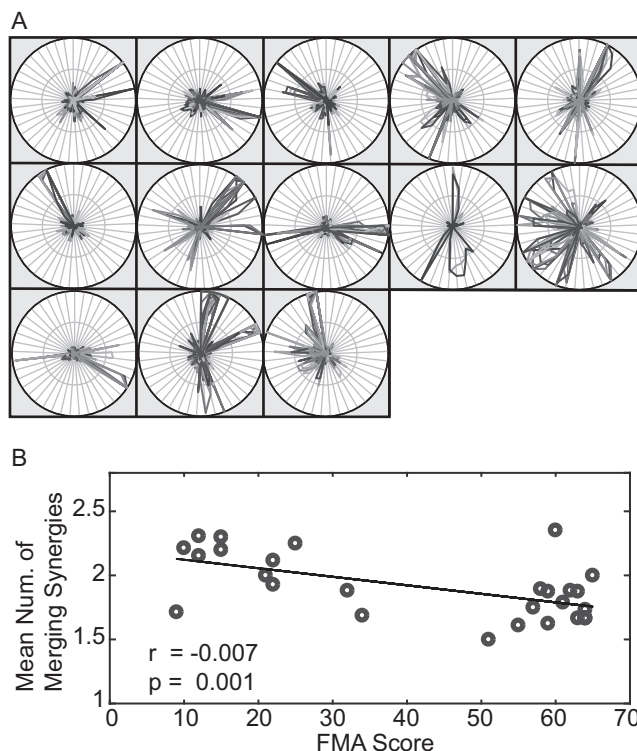
本年度は (A) 脳卒中患者の筋シナジー解析によるシナジー解析のリハビリへの応用、(B) 小脳梗塞ラットの歩行動作解析による運動機能低下のメカニズムの解明を目指して研究を行った。

III. 研究成果

A. 脳卒中患者の筋シナジー解析と回復指標としての応用

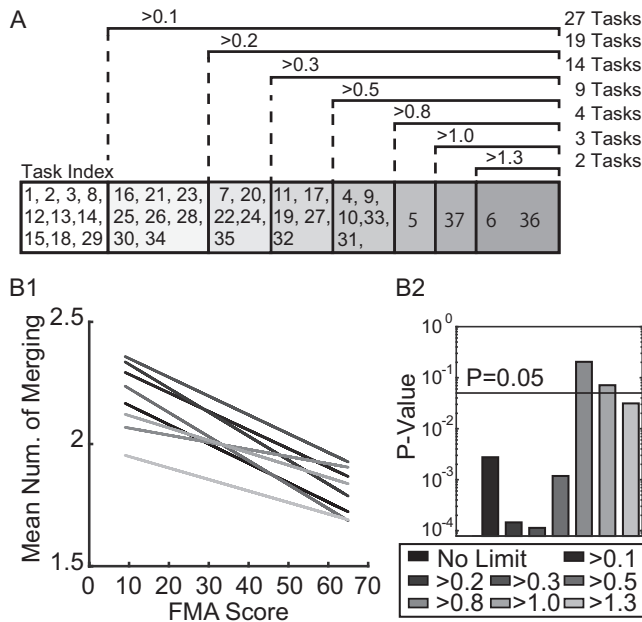
大脳に脳梗塞が生じると、片側の四肢に麻痺とそれに伴う動作機能の低下が生じる。脳梗塞後の機能障害にはリハビリが有効であり、効果的なリハビリを行うためには、症状と回復の評価が重要となる。脳梗塞のリハビリの評価には、Fugl-Meyer Assessment (FMA) が広く用いられている。FMA では患者が行う動作タスクの達成度を医療従事者が判断し、点数をつけるが、そのため評価者の経験に依存するという問題があった。また動作を評価するために、上肢だけでも 30 以上のタスクを行う必要があり、患者と評価者双方に大きな負荷となっていた。そこで本研究では FMA タスク中の筋電を計測し、重症度に応じた筋電の特徴の変化と FMA スコアを比較することで、FMA スコアが筋電のどのような特徴を評価しているのかを調べた。さらに、FMA のタスクのうちで、筋電の変化を大きく反映するタスクとそうでないタスクを定量的に評価し、重症度の評価に最低限必要なタスクを探索した。

Fig. 1. A: Standard synergies. Each color shows one trial of healthy subject, and synergies with similar patterns are gathered in one circle as one standard synergy. B: merging rate of each subject. Each point shows the merging rate of stroke patients with FMA score. Black line is the linear regression line. r : regression coefficient and p : significance of the incline.



筋電の特徴を調べるために、脳卒中患者の FMA タスク実行中の筋活動を計測し、筋シナジーの解析を行った。脳卒中患者の筋シナジーは、健常者の複数の筋シナジーが統合するような特徴を示し、さらに重症な患者ほど統合度合いが高いことから、筋シナジーの統合度合いを重症度の指標として用いられる可能性が指摘されていた [1]。本研究では、14 名の脳卒中患者、7 名の健常者に協力して頂き、FMA タスク中の 41ch の筋電を計測し、シナジー解析を行った。健常者の筋シナジーに共通して見られるパターンを基準シナジーとして定義し、脳卒中患者の筋シナジーがこの基準シナジーからどの程度離れるかを調べた。解析の結果、健常者、患者共に FMA タスクは 16 個程度のシナジーで構成されており、健常者のシナジーから 13 個のシナジーが基準シナジーとして見つかった (Fig. 1A)。基準シナジーと脳卒中患者のシナジーを比較したところ、脳卒中患者のシナジーでは、基準シナジーを統合したようなパターンの変化がみられ、その統合度は FMA で評価した重症度が高いほど高かった (Fig. 1B)。

Fig. 2. Selection of FMA Tasks. A: task index with importance. The numbers in the table are the task index summarized with importance. Numbers over the table indicate the importance, and right numbers shows the number of tasks those categorized in each task-sets. B1: linear regression result of the merging rate and B2 the P-value of the significance of the incline of the linear regression.



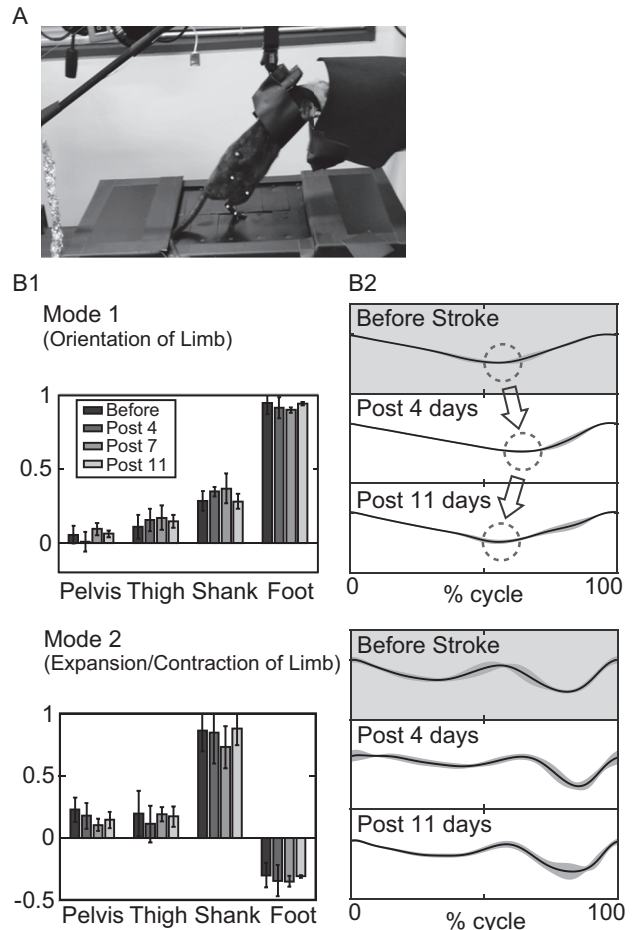
次に基準シナジーがどのFMAタスクで使われているかという関係を基に、複数のタスクで評価されている(冗長な)タスクを探索し、FMAタスクの重要度を評価した。Fig. 2Aで左側が重症度の低いタスク、右側が高いタスクをまとめている。タスクの重要度を基に、重要度の低いタスクから順にタスクを省いていき、シナジーの融合度にどのような変化が起きるのかを調べた(Fig. 2B1B2)。その結果、重要度が0.5以上の9個以上のタスクを用いた場合にはシナジーの融合度が重症度(FMA Score)に伴って有意に変化したのに対し、4個以下のタスクでは融合度の変化は見られなくなるといった結果がみられた(Fig. 2B2)。このことから、37個のうち9個にタスクを限定しても、シナジーから重症度を評価できることが分かった。

B. 小脳梗塞に伴うラットの歩行シナジーの変化

小脳梗塞に伴う運動機能低下のメカニズムにアプローチするために、ラットの2足歩行動作を計測可能な図3Aの実験系を構築した。構築した実験系で健常ラットと小脳梗塞ラットの運動を計測し、梗塞前後の運動を比較することで小脳梗塞の影響を評価した。実験は4体のラット(Wistar, オス)を用いて行い、梗塞前、梗塞4日後、7日後、11日後の運動を計測した。脳梗塞はPhotothrombosis法によって小脳中間部の微小領域に生じさせた。

計測した歩行運動から、両足の接地・離地タイミング、及び下肢関節の運動学シナジーを解析した。その結果、健常状態と小脳梗塞状態のラットの運動は、共に2つの運動学シナジーから構成され、寄与率と関節間の協調関係(図3B1)には障害に伴う変化は見られなかった。一方で、運動学シナジーの時間協調の第一モード(足の回転運動に対応するモード)に脳梗塞に伴う変化が見られた(図3B2)。時間協調は時

Fig. 3. Synergy analysis of walking rat with cerebellar stroke. A: Experimental system. Rats walked bipedally on a treadmill and their motion were measured using motion capturing system. B1, B2: Results of the synergy analysis of segmental motion. B1: intersegmental coordination. B2: temporal coordination.



系列のピーク時刻が梗塞後に遅くなり、その後徐々に基の時刻に回復していた。さらに、脳梗塞ラットでは、患側の接地タイミングと健側の離地タイミングの遅れも見られた。

以上の結果から、ラットの小脳中間部の梗塞は、歩行における足の回転運動に影響を及ぼし、運動のタイミングが変化することで、歩行運動機能が低下していることがわかった。

IV. おわりに

本年度の研究から、以下の成果が得られた。

- 脳卒中患者のFMAタスク中の筋シナジーを解析することで、シナジーの融合度によって患者の重症度を評価できることを示した。さらに37のうち9タスクのみに限定してもシナジーから重症度を評価できることを示した。
- 小脳梗塞ラットの歩行中のシナジーを解析し、小脳中間部の小脳梗塞が運動学シナジーの時間タイミングに影響を与えることを明らかにした。

REFERENCES

- [1] V. C. K. Cheung, et al., "Muscle synergy patterns as physiological markers of motor cortical damage", PNAS, vol. 109, pp. 14652-14656, 2012.

B03-2 後耳介筋によるロボット指の操作

長谷川 泰久
名古屋大学大学院 工学研究科

Abstract—本研究では、ロボット身体化において重要となる身体表現の更新を促進する要因を解明すると共に、より良いロボット操作インタフェースを開発することを目標としている。今年度は、後耳介筋を用いてロボット指を操作するための操作学習実験を行った。その結果、操作学習を繰り返すことにより、ロボット指の操作性が向上することが確認された。また、振動刺激によってロボット指の位置情報を呈示する事が、ロボット指の内部モデル獲得に有効であることを確認した。

I. はじめに

近年、装着型ボットの研究領域において第3の腕や第6の指など、新たな身体部位として機能する拡張ロボット肢の開発が行われている [1]。このような拡張ロボット肢の開発は、片麻痺患者の把持支援や工場労働者の身体負荷軽減など装着者の作業支援を目的としている。筆者らは、これまでに左掌に装着されたロボット肢を第6指とし、右拇指による操作実験にて引き起こされる身体イメージの変化について検討を行ってきた [2], [3]。本研究では、右拇指のように既に獲得されている身体イメージを訓練によって変更するのではなく、身体イメージを持たない身体部位（後耳介筋）を用いてロボット肢を操作した際に得られる操作性を評価する。

II. 目的

本研究では、ロボット肢を操作する身体部位に日常的に使用しない身体部位を用いることで、新たな身体表現の獲得し、身体機能の拡張を促進を目指す。ここでは、ロボット肢からの感覚フィードバックを利用したロボット肢の内部モデルの獲得を目指すことを目的とする。

III. 研究成果

本年度は後耳介筋を用いたロボット指の操作システムの開発、振動刺激によるロボット指の位置情報フィードバックシステムの設計、そして操作学習実験を行った。

A. 後耳介筋によるロボット指の操作システム開発

Fig. 1 にロボット指の操作システム外観と構成を示す。ロボット指の操作には、後耳介筋の筋電位信号（EMG 信号）を使用する。後耳介筋とは、耳介の後方に位置し収縮することで耳介が後方へと引かれる。表情筋の一種で筋紡錘を内在せず、自身の筋長および筋張力に関する深部フィードバックを持たない。sEMG 信号の測定には乾式電極（Delsys）を使用し、サンプリング周波数は 2,000Hz である。計測された EMG 信号は全波整流された後（サンプリング周波数: f_s [Hz]）、ローパスフィルター（カットオフ周波数: f_c [Hz]）によって平滑化される。この時得られる時系列信号 $x_i(t)$ ($i=1$: left side, $i=2$: right side) を以下の式を用いて正規化する。

$$X_i(t) = \frac{x_i(t) - x_{i,min}}{x_{i,max} - x_{i,min}}, \quad (1)$$

$x_{i,min}$ は安静時に計測した EMG 信号であり、 $x_{i,max}$ は最大随意収縮時に計測した EMG 信号である。ロボット指の CM 関節の関節角度変位 $\Delta\theta_{cm}$ は、左右の正規化後の EMG 信号の差分の定数倍（定数 c ）によって、以下のように決定される。

$$\Delta\theta_{cm} = c(X_2(t) - X_1(t)), \quad (2)$$

関節角度変位に基づき、制御周期中 CM 関節角度 θ_{cm}^d を

$$\theta_{cm}^d = \theta_{cm} + \Delta\theta_{cm}, \quad (3)$$

とする。導出された関節角度 θ_{cm}^d はシリアル通信によって、PC からマイコン（Arduino Mega 2560 Rev3）へ送信され、マイコンは相応の PWM 信号を CM 関節のサーボモータへ出力する。

B. 振動刺激によるロボット指の位置情報フィードバック

本研究では、振動刺激のファントムセンセーションと呼ばれる錯覚現象を利用し、ロボット指の指先位置を操作者に呈示する感覚フィードバックシステムを設計した。ファントムセンセーションは、振動刺激を 2 箇所で呈示した場合、2 つの振動刺激の強度比に応じた位置に振動刺激を知覚するという現象である。本システムでは、振動モータ（Nidec, LD14-002）を左手の甲の人指し指と小指の中手骨の中間地点にそれぞれ 1 つずつ取り付けており、ロボット指の CM 関節角度に応じて振動刺激の強度を調節することで、その先端位置の呈示が可能としている。

C. ロボット指の操作学習実験と実験結果

本研究では後耳介筋の随意収縮トレーニングと後耳介筋を用いたロボット指の操作学習実験を行った。

1) 随意収縮トレーニング 1: 耳を動かすことができない被験者 3 名（Subject A-C）に対し、後耳介筋の随意収縮能力を獲得することを目的としたトレーニングを実施した。トレーニングタスクは、左右の後耳介筋を別々に最大限収縮させるものとした。計 6 セット実施し、1 セットは 6 トライアルから成る。1 トライアルは 40 秒であり、奇数トライアルでは筋電図を見ながらタスクを行い、偶数トライアルでは筋電図を見ずにタスクを行い、計 40 秒間の平均筋電位 [μV] を随意収縮能力の評価指標とした。その結果、被験者 A はトレーニング開始直後に左耳を動かすことが可能となったが、右耳を動かすことはできなかった。被験者 B はトレーニングを通じて、向上はなかった。被験者 C（Fig. 2）はトレーニングの 3 セット目から右耳側の筋電位に向上が確認された。

2) 随意収縮トレーニング 2: 耳を動かすことができる被験者 4 名（Subject D-G）に対し、左右の後耳介筋を片側ずつ収縮する能力を獲得することを目的としたトレーニングを実施した。トレーニングタスクは、コンピュータゲームとした。左右の後耳介筋の筋活動によって、コンピュータ

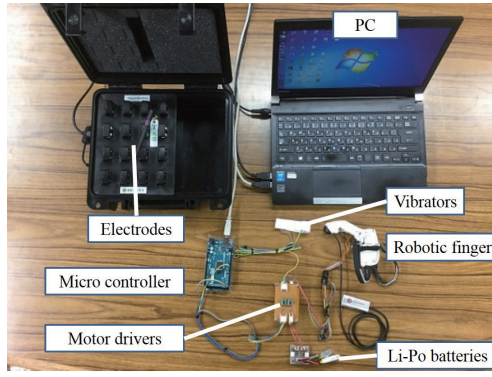


Fig. 1. Overview of the system and system architecture.

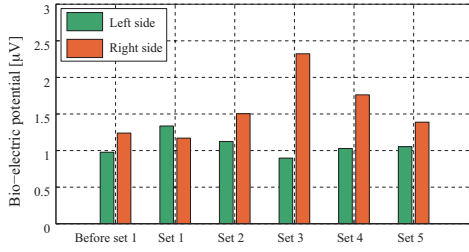


Fig. 2. Training result of Subject C

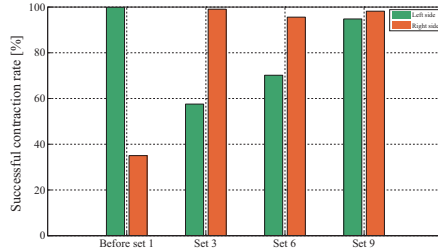


Fig. 3. Training result of Subject D

ゲーム内の自機の左右の移動を操作する。計9セット実施し、1セットの実験時間は5分間とした。各セットのトレーニング前後に10秒間、左右のいずれかの耳に力を加えることを実施し、力を加えた側の筋活動がもう一方の筋活動を上回った時間を評価指標とした。その結果、トレーニングを行う前に、各被験者の持つ随意収縮能力を測定した。その結果、被験者4名中2名 (Subject F, G) は、トレーニング前から十分に片側ずつの後耳介筋の収縮を行うことができていたため、本トレーニングを中断した。残りの2名中1名 (Subject D) はトレーニングを通じて、より片側ずつの随意収縮能力が向上した (Fig. 3)。もう1名 (Subject E) は、トレーニング初期から高い確率で随意収縮を行うことができていた。

3) ロボット指の操作学習: 左右の後耳介筋を独立して十分に動かすことができる被験者1名に対し、後耳介筋を用いたロボット指の操作実験を行った。実験タスクは左手指へのリーチング運動とし、2セット実施した。1セットは10トライアルからなり、1トライアルは20秒間とした。リーチング対象の指 (左人差し指, 左中指, 左薬指, 左小指) は被験者の前に置かれたモニタに表示され、リーチング後に次の目標指がランダムに表示される。実験中、常に被験者の左手は衝立に隠されており、被験者がロボット指の動作を

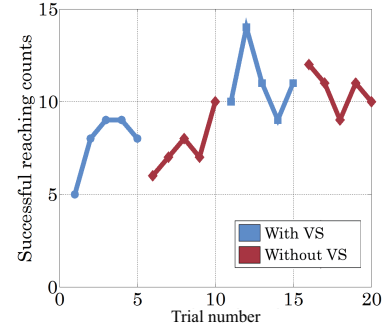


Fig. 4. Training result of Subject D

目視できないようにした (Fig. 3)。各セットの前半5トライアルは振動刺激あり、後半5トライアルは振動刺激なしの条件で実施した。その結果、振動刺激を呈示した場合において、より少ない到達作業失敗回数となった ($p < 0.1$)。また、実験終了後に被検者から、振動刺激によってロボット指の位置を知覚できたとの報告が得られた。Fig. 4に各トライアルの到達作業成功回数を示した。到達作業成功回数がわずかであるが上昇する傾向が見られた。

IV. おわりに

本稿では身体表現を持たない後耳介筋を用いてロボット指を操作するための操作学習実験を行った。随意収縮のトレーニングを行うことで、一部の被験者において、後耳介筋の随意収縮能力が向上することを確認した。また、操作学習実験の結果から、操作学習を繰り返すことにより、ロボット指の操作性が向上することが確認された。今後、何らかの身体表現モデルの獲得の可否に検証する予定である。

REFERENCES

- [1] F. Y. Wu and H. H. Asada, "Decoupled motion control of wearable robot for rejecting human induced disturbances," in *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2018, pp. 4103–4110.
- [2] M. Sobajima, Y. Sato, W. Xufeng, and Y. Hasegawa, "Improvement of operability of extra robotic thumb using tactile feedback by electrical stimulation," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, 2015, pp. 1–3.
- [3] Y. Zhu, H. Shikida, T. Aoyama, and Y. Hasegawa, "Evaluating shifted body representation and modified body schema using extra robotic thumb," in *Proceedings of IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS)*, 2018, pp. 282–285.

B03-3 研究項目の研究成果報告

細田耕, 池本周平
大阪大学 大学院基礎工学研究科

Abstract— this research proposal studies on the body image of a human, which can be obtained through the relation between image of the body in the vision and output from proprioceptive receptors of the muscles. We use a muscular-skeletal humanoid robot and brain-like neuron model to construct the system.

I. はじめに

身体イメージを獲得する方法は、システム論的に見て、主に二つ存在する。一つは、身体の恒常性を利用する方法、そしてもう一つは、身体操作性から導く方法である。身体操作性から導く方法は、複数の作業を遂行している間に、操作の不変項として身体を見つけ出す方法で、これまで工学的には詳しく調べられていない。操作の不変項として身体イメージを表現する方法は、身体イメージが認知機構内でどのように表現されているかを知るために重要であり、研究する必要がある。

II. 目的

本研究項目では、人間と相同な筋骨格構造を持つヒューマノイドロボットを用い、操作性から身体イメージを導く方法について構成論的に研究する。

III. 研究成果

本年度の具体的成果を以下に2つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 人間に相似な筋骨格系を持つヒューマノイドロボット実験プラットフォームの開発と改良

身体イメージの獲得において、筋骨格構造がどのような役割を果たすかを構成論的に示すための、人間に相似な筋骨格系を持つヒューマノイドロボットを開発した。開発したロボットを Fig. 1 に示す。このロボットには、肩関節、ひじ関節、手首関節に自由度があり、1自由度（開閉）のハンドを装備している。これらの関節は、人間のそれを模した28本の人工筋と1本のばねによって駆動される。

昨年度、人工筋と骨格の構造は完成していたが、各筋の状態を検出するために、圧力センサが装備されているのみであった。伸張反射などの反射を導入するには、筋の長さを推定することができるセンサが必要であるため、圧力センサだけではなく、他のモダリティのセンサ

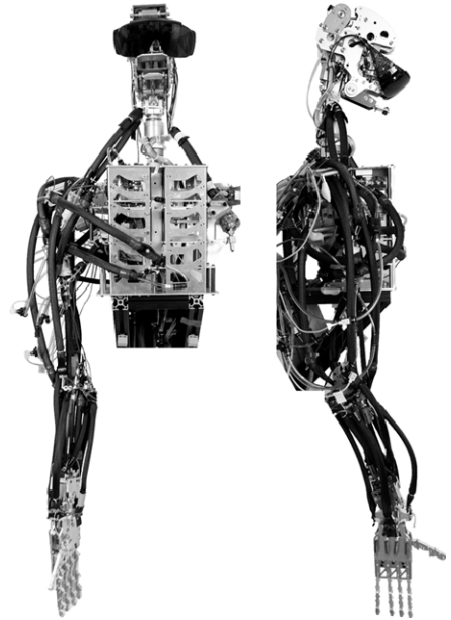


Fig. 1. Muscular-skeletal humanoid upper-body. (The robot is equipped with 28 artificial pneumatic muscles and 1 spring. It has shoulder, elbow, an wrist joints, and a 1 DOF hand. The muscular structure is similar to that of a human.)

が必要である。本年度は、圧力センサに加えて、張力センサと、筋の膨張を計測し、疑似的に長さを測るセンサを試作し、評価を行った。

B. ReLU を用いた学習に基づく運動制御の開発

操作の不変項として身体を見つけ出すためには、与えられたタスクに対し、その操作を実現する方法を学習する必要がある。人間の場合にも、操作を学習することを通して、フォワードモデルを学習し、それによって身体表現を獲得していると考えられる。

筋骨格ロボットは、非常に非線形性が強く、とても複雑な機構を持つ。そのため、力学的なモデルを形式的に作ることは難しい。これまで、このようなロボットを制御するために、制御入力のパターンを設計者が試行錯誤することによって作り出していた。本年度は、このような問題を解決し、ロボットが自身の順動力学特性を学習し、それを利用することによって、ロボットを制御する手法を開発した。

開発した運動学習制御法を簡単に紹介する．使用したネットワークは 3 層ニューラルネットワークで，入力はある時刻における状態とその時の制御入力，出力は次時刻における状態である (Fig. 2)．このとき，中間層の活性化関数として，ReLU (Restricted Linear Unit) 関数を用いる．ReLU 関数は中間層を選択し，状況によって異なる線形のネットワーク構造となるため，各状況に応じて，線形のシステムを学習することになる．したがって，各学習状況に応じた最適制御を組み合わせることによって，学習結果に応じてロボットを制御することができる．本手法によって，平面二自由度アーム，および 7 自由度ロボット (バクスターのアーム) を制御可能であることを，シミュレーションによって示した．

IV. おわりに

平成 30 年度は，実ロボットを用いた身体イメージと拮抗駆動の関係についての実験を予定している．

REFERENCES

- [1] H. Arne et al., Reliable Musculoskeletal ten degree-of-freedom robot arm driven by pneumatic artificial muscle (submitted, under review).

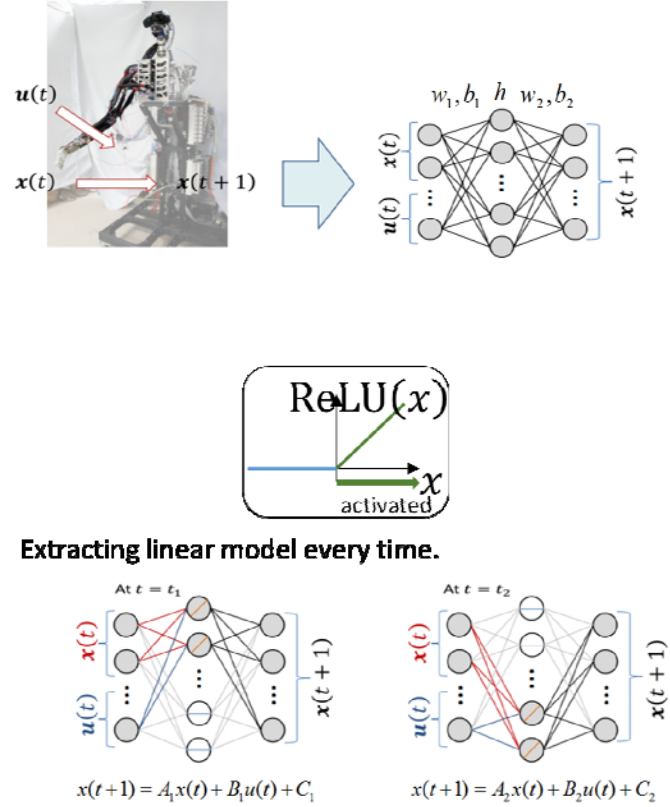


Fig. 2. A neural network for learning the forward dynamics of the muscular-skeletal humanoid upper-body. It has a restricted linear unit (ReLU) as activation function of the middle layers. The ReLU enable to pick the activated unit at the time, and derive linear state equation.

B03-4 研究項目の研究成果報告

宮田 なつき

産業技術総合研究所 人工知能研究センター

Abstract— This paper proposes a measurement of grasping strategy by healthy volunteers with artificially-disabled hand to substitute measurement of patients with disabilities in hand function to model such patients grasps for product design. As a first step of this research, we focused on limitation of the thumb and observed grasping strategy change when fixing the thumb joints range of motion using a taping technique. Different grasping styles and some typical contact regions were observed for the artificially-disabled hand.

I. はじめに

手部の運動機能が疾病により制約された患者に対するリハビリテーション計画を立てたり、そうした患者にとっても使いやすいユニバーサルデザイン製品を作るためには、制約と、その制約下にある手によって実現可能なタスクとの関係を理解しておく必要がある。しかし、すでに機能制約が生じてしまった患者を多数集め、指標となるデータを網羅的に取得することは倫理的に難しい。そこで本研究項目では、健常者の手の機能を人工的に制約し機能が制約された状態を模擬して観察対象とすることで、機能制約に応じた人の手部の挙動変容過程を明らかにし、挙動を予測・評価可能とすることを目指す。

II. 目的

本研究項目では、機能制約の対象として関節可動域に、手の実現するタスクとして把持に着目し、可動域の制約により、把持の仕方がどのように変容するかを明らかにすることを目的とする。

III. 研究成果

本年度は、母指関節可動域の人工的制約方法として提案しているテーピング手法の妥当性を、他の姿勢固定用装具との比較や簡易検査方法により検討した。また、母指可動域制約の有無により代表的な2つの物体把持形態がどのように変容するかを3名に対して調査し、人による傾向を観察した。

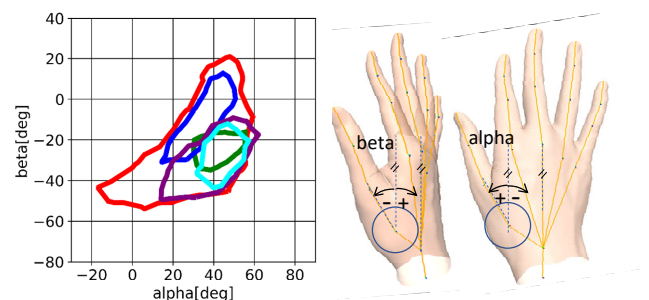
A. 健常手のテーピングによる母指可動域の制約手法と姿勢固定用装具との比較

人の手による把持では、母指が重要な役割を果たす[1]ことから、本研究では母指の関節可動域が制約をうける代表的な疾患の一つである手根管症候群に着目し、その手の状態の再現を試みてきた。手根管症候群では母指球委縮に伴い母指中手手根（CM: carpometacarpal）関節

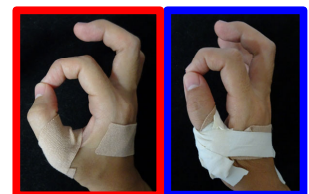
の掌側外転動作が大きく損なわれることが知られている。本研究では、初年度、理学療法に用いられる非伸縮性のテープを使用し、安全かつ確実に固定して制約状態を実現する手法を提案し（Fig.1(a)左）、狙い通り母指CM関節の対向性、すなわち掌側外転が制約されていることを、[2]で提案した手法で定量的にモデル化し確認した（Fig.1(b)グラフ内青線）。本年度は、東京医科歯科大学の協力を得て、理学療法士が患者ごとに作成する樹脂製（Fig.1(a)中央）および布製（Fig.1(a)右）の姿勢固定用装具を装着した状態でも母指CM関節の可動域を計測し、健常時（Fig.1(b)グラフ内赤線）と面積比でどのように変化するかをみた。もっとも制約度合いが高かったのは樹



(a)Artificial limitation by taping(left), by resin orthosis(center), and by cloth orthosis(right)



- Healthy
- Taping (proposed)
- Resin orthosis
- Cloth orthosis (maximum movement)
- Cloth orthosis (minimum movement)



(b)ROMs of the CM joint limited by various orthosis and perfect-O sign by the healthy hand (left) and the limited hand by taping method(right)

Fig.1 Comparison of range of motion of the thumb joints among different artificial-limitation

脂製装具であり 13%程度まで減少したが (Fig.1(b)グラフ内緑線), 制約が強すぎ物体の把持がそもそも難しいことがわかった. これに比べ布製装具装着時の可動域は 40%程度 (Fig.1(b)グラフ内紫線) で把持も可能であった. テーピング手法では 24%まで制約されることを考えれば, 布製装具はやや制約効果が薄いといえる.

次に, テーピングで制約された手を手根管症候群患者を模擬できるかを確認するため, 同疾患の簡易評価手法のひとつであるパーフェクトオーサインをとらせて観察した (Fig.1(b)右下写真). 健常時 (左) に比べ制約時 (右) には, 母指と示指がつぶれた円をなしており, 典型的な手根管症候群患者と類似した円であることが分かる.

以上より, 本研究のような制約状態の模擬という目的では, ほどよく制約状態を実現できるテーピングが適していると判断した.

B. 母指可動域制約下での把持形態の変化

初年度は, テーピングにより母指関節可動域を制約した 1 名の被験者が, 10 回把持を繰り返す間に, タスク実行に要する時間や接触領域がどのように変化するかを観察した. 大小二種類の角柱に対し “ハンマーのように振り下ろす” および “向きを変えながら移動させる” の 2 種類のタスクで, 計 4 条件を観察したところ 3 条件でタスク所要時間が収束する傾向と, 母指橈側側面あるいは母指尺側側面など, 健常手の挙動 (制約しない左手の観察で取得) とは異なる接触領域を用いた把持が見られた.

本年度は, この傾向が他の被験者にも共通するかを

確かめるため, 3 名の被験者に対し把持実験を実施した. 実験時間の短縮のため, 初見での把持を観察したのち, 被験者本人が納得するまで制約された手での把持を探索してもらい, その後 3 回繰り返して計測する, というプロトコルとした. 結果, Fig.2 のように, 初年度の被験者同様, 接触領域を変更させる者 (Pattern 2) と, できるだけ接触領域を変更しない者 (Pattern 1) の 2 パターンが観察された. 姿勢の変化としては, Pattern 1 では母指の掌側外転を小さくすることで, Pattern 2 では母指の橈側に外転させて対応しているという特徴が見られた (Fig. 3).

IV. おわりに

本年度は, 被験者 3 名について, テーピングにより母指関節可動域の静的な制約によって手根管症候群患者を模擬し, 把持戦略の変容 (接触領域の変化) を確認した. 今後は, 実験で得られた接触領域の嗜好および姿勢変化の傾向を組み込み, 制約に応じた “ありうる” 把持姿勢の推定を目指す. 人工的制約下で得られた傾向が実際の疾病者での傾向にどの程度合致しているかの検証が今後の課題である.

REFERENCES

- [1] G. Cotugno, et al., “The Role of the Thumb: Study of Finger Motion in Grasping and Reachability Space in Human and Robotic Hands,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 47, No. 7, pp. 1061-1070, 2017.
- [2] N. Miyata, et al., “Modeling the range of motion and the degree of posture discomfort of the thumb joints,” Proc. of the 20th Congress of International Ergonomics Association, 324-329, 2018.
- [3] N. Miyata, et al., “Grasp Database that Covers Variation of Contact Region Usage”, Proc. 2013 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, 2635-2640, 2013.

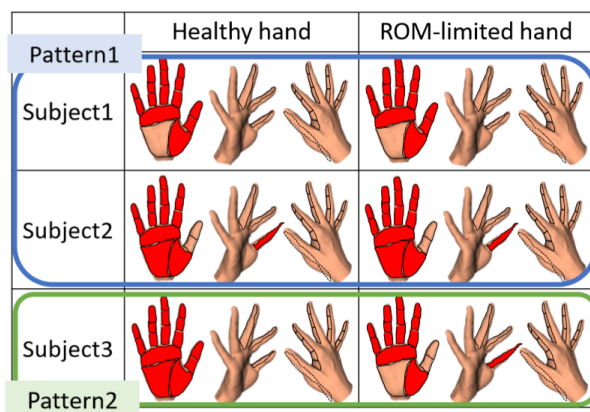


Fig. 2 Two types of the contact region change under the thumb CM joint's limitation

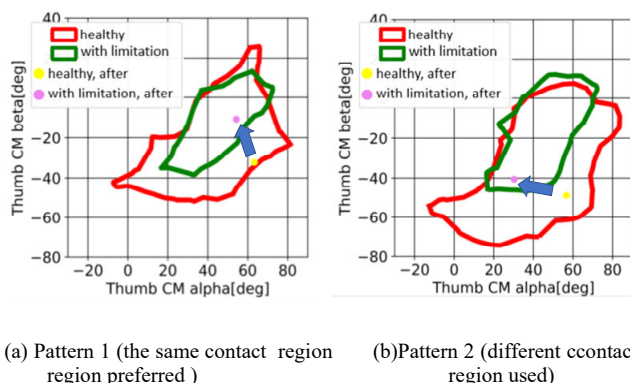


Fig. 3 Two types of contact regions under the limited range of motion of the thumb joints

C 班（リハビリテーション医学）の活動報告

出江 紳一
東北大学大学院医工学研究科

I. 研究計画

C 班では、脳内身体表現マーカーを活用することでリハビリテーション効果の定量化に取り組んでいる。また、脳内身体表現モデルと統合することにより、モデルベーストリハビリテーションを実践し、介入の帰結予測を行う。さらに、身体全体の感覚運動機能を適正化するための新しい介入法の開発を目指す。これらの課題を遂行するため、以下の研究項目を設定している。

C01：脳内身体表現の変容を用いたニューロリハビリテーション

我々の脳内に構築される脳内身体表現は、外部から観察することが困難とされている。そこで、四肢切断後に鮮明に知覚される切断肢の残存感覚である幻肢（脳内のみ存在する身体）という特殊な症状に着目し、心理物理学的手法により、脳内身体表現を定量化・可視化する。この結果を用いて、脳内身体表現への介入によるニューロリハビリテーションを確立する。

C02：感覚入力への介入を用いた姿勢・歩行リハビリテーション

姿勢・運動制御の障害では、全身の筋の時間的空間的活動パターンが障害されており、筋シナジー制御の異常があると考えられる。本研究では、運動障害に伴う筋シナジー制御の異常を解明し、感覚介入による運動障害の改善を目指す新たなリハビリテーションを提案する。

II. 班構成

研究項目 C01

出江 紳一（東北大学大学院医工学研究科）
稲邑 哲也（国立情報学研究所）
田中 尚文（帝京大学）
大内田 裕（大阪教育大学）
松宮 一道（東北大学 電気通信研究所）
阿部 浩明（広南病院リハビリテーション科）
関口 雄介（東北大学病院リハビリテーション部）
綾木 雅彦（慶應義塾大学医学部）
林部 充宏（東北大学大学院工学研究科）

研究項目 C02

芳賀 信彦（東京大学大学院医学系研究科）
花川 隆（国立精神・神経医療研究センター）

横井 浩史（電気通信大学）
大脇 大（東北大学大学院工学研究科）
石黒 章夫（東北大学 電気通信研究所）
四津 有人（茨城県立医療大学）
杉 正夫（電気通信大学）
北 佳保里（千葉大学 フロンティア医工学センター）
古屋 晋一（上智大学 理工学部）
上原 一将（国立精神・神経医療研究センター）

研究項目 C03（公募研究Ⅱ期）

C03-1 脳内身体表現における、認知的側面と、運動制御的側面の関係解明

四津 有人（茨城県立医療大学 准教授）

C03-2 筋協調制御型ダイレクトリハビリテーションによるスキル訓練と身体／脳機能変容の解析

島 圭介（横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授）

C03-3 複合現実による自己運動錯覚誘導と脳機能的結合に関する研究

金子 文成（慶應義塾大学 医学部 准教授）

C03-4 包括的なバランス機能障害評価および介入効果のモニタリングシステムの開発

向野 雅彦（藤田保健衛生大学 医学部 講師）

C03-5 脳卒中患者の運動主体感を高めるハイブリッド型ニューロリハビリテーションの効果検証

森岡 周（畿央大学 健康科学部 教授）

III. 主な活動

A・B・C 班合同班会議

日時：2018 年 12 月 7 日

会場：CiNet（大阪大学吹田キャンパス内）

各班メンバーによる講演および総合討論。

C01-1 研究項目の研究成果報告

出江 紳一

東北大学大学院 医工学研究科

I. はじめに

近年医療技術の進歩や普及により、脳卒中による死亡率が減少する傾向にあるが、後遺症として運動機能等に障害を有する患者数は増大の傾向にあり、運動障害に対する効果的なリハビリテーションのニーズが高まっている。しかし、治療的な介入により機能の向上がみられても、日常生活において十分に発揮されないまま、次第に患側肢の不使用が恒常化し、介入の効果が持続しないことが多い。このことは現状のリハビリテーションによる効果が麻痺肢を実用肢のレベルにまで到達させられていないことに起因している。麻痺肢が実用肢となるには、単純に運動機能が改善するだけでは不十分であり、麻痺肢を自己の身体の一部と認識する神経基盤が再構築され、環境に適応した運動指令が出力されることが必要である。そこで、麻痺肢が実用肢として適切に表象されるよう、身体認知の側面からみた脳内身体表現に着目し、その変化を観測する。

脳内身体表現とは感覚情報や運動情報から、身体や身体を取り巻く環境の状態を多感覚統合により推定し、運動生成を仲立ちする神経機構のことであり、脳内身体表現の可塑的な変容に伴い、身体意識も変化すると考えられている。我々の脳内に構築される脳内身体表現は、通常外部から観察することが困難とされているが、本研究項目において実施している脳内身体表現のマーカーを探索する研究により、心理物理的手法を用いて身体特異性注意を定量的に測定する方法が開発された。この結果を用い、定量化および可視化された脳内身体表現に対し、積極的な介入を行うことで、リハビリテーションの効果の向上が期待できる。

II. 目的

本研究項目では、脳神経疾患および四肢切断者が呈する特異な感覚運動障害に対し、心理物理学的手法により四肢の脳内身体表現を定量化・可視化することによって脳内身体表現を理解する。またこの結果をもとに、脳内身体表現への介入による脳卒中後の運動障害に対する、新しいニューロリハビリテーションの確立を目指す。

III. 研究成果

本年度の具体的成果を以下に2つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. リハビリ介入による脳内身体表現の縦断的变化

研究代表者出江ら（東北大学）のグループは、行動学的指標と生理学的指標を用いて脳内身体表現の評価・介入を進めている。身体およびその近傍空間には、身体外と比べ空間的注意が強く向けられており、視覚刺激の検出処理が促進する。この特性を利用した視覚刺激検出課題を通して、身体とその周辺における刺激検出に要する時間を測定し、得られる注意量の違いから脳内身体表現の推定を行っている。この注意量は、身体特異性注意と定義され、その時点における自己身体の状態を反映し、運動麻痺を有する患者においては、運動機能の低下や改善とも深く関連していることがこれまでの成果で明らかにされている[1]。本年度は身体特異性注意と運動機能との関係ならびにその背景にある脳活動の変化を探る試みとして、視覚刺激検出課題にて計測される注意量を指標とした縦断的観察研究を実施した。

1) 歩行習熟度と身体特異性注意量の変化

これまで上肢に対して実施してきた注意量の計測と同様のプロトコルにて下肢に適用し、義足に向けられる注意量が拡張した仮の身体に対する身体化の指標として利用できるかについて検討を行った[2]。一側下肢切断者11名を対象として、義足歩行開始時（義足歩行習熟前）と退院直前（義足歩行習熟時）の計2回、義足と健常足に向けられる注意量をそれぞれ計測することにより、義足歩行の習熟度と義足に向けられる注意量との関係について検討した。義足歩行習熟前には、患者の義足に向けられる注意量が健足に向けられる注意量よりも低かったのに対し、義足歩行習熟時には、最大歩行速度が向上し、かつ義足に向けられる注意量にも有意な増加が認められた。さらに義足歩行習熟時には患者の義足に対する身体所有感も増大するという報告が得られた。この結果から、切断者は義足歩行習熟によって、義足に対して自己身体と同様の注意を向け、義足を自己身体の一部と認識するような適応的变化が生じることが示唆された。

2) 麻痺肢使用頻度と注意量および脳神経活動との関係

亜急性期脳卒中患者のリハビリテーション治療過程において、身体特異性注意がどのように変化するか、また上肢使用頻度の変化が身体特異性注意や脳神経活動の変化とどのような関係をもって推移するかを、縦断的観察研究により検討した。3軸加速度計を用いて計測した上肢使用頻度、視覚刺激検出課題にて計測した麻痺肢の身体特異性注意、上肢機能(FMA, ARAT), および手指運動時の脳機能画像をアウトカムとして、ベースライン

(全身状態安定時)、2週後、1ヶ月後、2ヶ月後にそれぞれ評価を行った。上肢機能の改善傾向は全症例から認められ、麻痺手運動時の脳活動も初期の損傷半球の感覚運動野および非損傷半球を含む広範な活動から、徐々に損傷半球の感覚運動野に局限した活動へと変化することが明らかになった。また、上肢使用頻度に着目すると、麻痺手の使用頻度が向上した患者は身体特異性注意も健常者の値へと近づき、麻痺手の使用頻度改善が不良であった患者は身体特異性注意も低値を示すという結果が得られたが、上肢機能が全症例にて改善していることから、上肢機能と上肢使用頻度との間には乖離あることが認められ、これらの変化は患者特性により異なることが示された[3]。

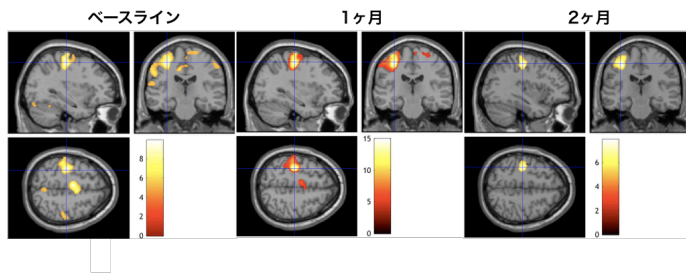


Fig. 1. 麻痺手運動時における脳活動の変化

B. VRを用いたリハビリテーション支援システムの開発

研究分担者の稲田 (NII:国立情報学研究所) らのグループは、SIGVerseに基づくクラウド型ニューロリハビリテーションシステムの構築・改良を前年度から引きつづき行い、領域内の共同研究の推進に活用した。領域内のメンバーのみならずプロジェクト外の誰もがプラットフォームを容易に利用できるよう、多方面からの実験システム構築に関する要望に対応可能なシステムを構築した。

1) 片麻痺患者用の動作オーグメンテーションシステム

片麻痺の患者に対して、実際に行っている動作をVRを用いて誇張し提示することで、運動改善を促進させるシステム実現の取り組みを進めた。対象部位は指、膝、足首であり、HMDを用いてリアルタイムに誇張された動作を提示するシステムを構築した。膝・足首動作を対象とした、実際の患者での効果の検証については、研究期間終了後となるが、横浜新都市脳神経外科病院の協力を得て、2019年度に臨床実験を行う予定である。

2) エイリアンハンドモーション実験システム

C03-5 項目の嶋田ら (明治大学) と協働し、エイリアンハンドモーション実験を行うシステムを開発し、実験を進めた。手指開閉運動をリアルタイムにVR上で提示し、途中で動作停止を指示している最中にもVRの手が被験者の意図と独立して動作するような視覚刺激を挿入した。その際に視覚刺激につられて生じる指の運動 (関節角度) を計測し、また、運動主体感 (SoA) と身体保有感 (SoO) を感じる度合いについてアンケートによる調査を行った。被験者 16 名に対し実験を行った結果、本来

静止中の手指において平均 3.2 ± 1.3 度で角度変化が生じ、この値は SoA および SoO の度合いと相関を持つことが明らかになった[4]。



Fig. 2. 膝・足首の動作オーグメンテーションシステム

3) リハビリ履歴データフォーマットの策定

上記の事例を含め、領域内では様々な運動計測デバイスが用いられ、筋電位センサなども用いられる。様々なデバイスを用いた実験でも共通のデータフォーマットでリハビリ履歴を記録し、データを共有し有効活用するためのデータフォーマットの策定を B01 項目の近藤ら (東京農工大) と協働して行った。具体的には身体動作データとして Master Motor Map[5]に基づくフォーマットを採用し、収録データを NII にあるクラウド型データベースに格納するシステムを構築した。

IV. 今後の展望

これまでの成果によって、運動障害に対する運動機能の改善が身体特異性注意を計測することにより定量的に評価可能であることを示すことができた。また、Unityに基づく SIGVerse ver.3 を活用したプラットフォームを利用した臨床での効果検証についても同様に評価することが可能となり、リハビリテーション臨床における長期効果の検証にも役立つことが期待できる。

REFERENCES

- [1] Aizu N, Oouchida Y, Izumi SI, Time-dependent decline of body-specific attention to the paretic limb in chronic stroke patients., *Neurology*, 2018, 91(8), pp.e751-e758
- [2] 会津直樹, 大内田裕, 関口雄介, 本田啓太, 大脇大, 出江紳一: 脳卒中片麻痺者の麻痺足の身体特異性注意の特性, 第 9 回 日本ニューロリハビリテーション学会学術集会, 盛岡, 2018
- [3] 大瀧亮二, 大内田裕, 須藤珠水, 笹原寛, 三澤正和, 富樫昂也, 斎藤佑規, 竹村直, 出江紳一: 亜急性期脳卒中上肢麻痺に対する Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) による上肢使用頻度と脳活動の変化 ~加速度計と fMRI を用い縦断的变化を確認した一症例~, 第 2 回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会, 仙台, 2018
- [4] Agata Soccini, Tetsunari Inamura, Sotaro Shimada, Alif Mohamad: Virtual Hand Illusion: the Alien Finger Motion Experiment, *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 2019. (to appeared)
- [5] Ö. Terlemez, S. Ulbrich, C. Mandery, M. Do, N. Vahrenkamp, and T. Asfour, "Master Motor Map (MMM) - Framework and toolkit for capturing, representing, and reproducing human motion on humanoid robots," *IEEE-RAS Int'l Conf. on Humanoid Robots*, pp. 894-901, 2015.

C02-1 研究項目の研究成果報告

芳賀 信彦

東京大学 医学部附属病院

I. はじめに

運動を適切に行うには、運動に先行・随伴して種々の感覚入力を姿勢・運動制御に反映させる必要がある。すなわち、運動障害には単に運動器障害だけでなく、各種感覚入力の障害も関わり、逆に感覚への介入により運動障害を改善できる可能性もある。

姿勢・運動制御の障害では、全身の筋の時間的空間的活動パターンが障害されており、筋シナジー制御の異常があると考えられる。すなわち、脳内身体表現の姿勢・運動制御の側面は、筋シナジー制御をマーカーとして捉えることができる。しかし運動障害をもたらす各種疾患について、筋シナジー制御がどのように変容しているかは不明である。また日々のリハビリテーション治療は Fast Dynamics (FD) に対する介入であるが、どのような介入がより効率的に Slow Dynamics (SD) をもたらすのか十分に分かっていない。本研究項目では、運動障害に伴う筋シナジー制御の異常を解明し、感覚介入による運動障害の改善を目指す新たなリハビリテーションを提案する。

昨年度までに、C02 研究項目内、さらに A 班、B 班と協力し、各種の運動障害を対象として筋シナジーおよび関連するパラメータの計測を開始した。また感覚モダリティ変換装具などの介入も進めていた。

II. 目的

芳賀・四津のグループ（東京大学）の目的は、先天性無痛症患者の歩行障害を筋シナジーをマーカーとしてとらえ、感覚障害を代償する装具による介入でこの疾患による歩行障害が改善されるかを明らかにすることである。

花川グループ（国立精神・神経医療研究センター）の目的は、歩行障害モデルとしてパーキンソン病、上肢等の巧緻運動障害モデルとして局所性ジストニアを対象に、課題・安静時機能結合 MRI や脳波を用いた非侵襲多角イメージングを用いて、神経疾患の運動障害の病態を反映する身体表現バイオマーカーを発見することである。

横井・杉グループ（電気通信大学）は、脳卒中患者の筋シナジー制御 SD の異常を明らかにすることを目的とし、機能的電気刺激による筋シナジー制御 FD への介入および筋シナジー制御 SD に誘導される四肢の運動に生じる変化について、fMRI や fNIRS、筋電等の計測による解析を行う。

大脇・石黒グループ（東北大学）は、感覚障害を呈する患者へのモデルベースト・リハビリテーションの構築を目的とし、弱化・欠損した運動感覚を別の感覚モダリティに変換することで強化・代替するバイオフィードバック装具 Auditory Foot を用いた長期的歩行リハビリテーションの効果と、その脳内身体表現変容メカニズムについて検討する。

III. 研究成果

主に本年度の具体的成果を以下に挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 感覚障害による運動障害患者研究

芳賀・四津のグループは、領域開始後に先天性無痛症のレビューを行い、歩容異常の背景に筋シナジー制御の異常があると仮定し、筋シナジーを計測するシステムを C02 大脇グループ、B03 船戸グループと共同で構築した。しかし 2 名の被験者の計測後に計測機器不調により計測継続が困難となった。以後 C02 大脇による感覚代償装具を用いた介入の即時効果を検討し、運動学的な改善・筋シナジーの改善・足圧のピーク値低下が見られることを報告した。さらに間接マーカーとしての筋シナジーだけでなく、直接マーカーとして脳活動を測る体制も整えた。これらに加え様々な歩容に対応できる表記方法も提唱した。

B. 神経疾患における脳内身体表現の変容

花川グループは、安静時機能結合 MRI の解析により、ピアニストの技能が脳基底核の機能結合に反映されること、そしてピアニストの局所性ジストニアにおいては脳基底核の機能結合過剰になっていることを示した。経頭蓋磁気刺激計測では、ピアニストジストニアの短潜伏時皮質内抑制と皮質内促進の双方が興奮性上昇の方向にシフトしており、その程度が運動タイミングの正確さと相関があることを見出した。アンプシュアジストニアの課題中 fMRI 計測においては、口周囲表象に関わる体部位局在が崩れていることと、運動野、脳基底核および小脳のアンプシュア課題中の活動が周波数分析によるジストニアの症状と相関することを見出した。また脳波律動による brain-computer interface の成績が抗パーキンソン病薬剤の on/off の影響を受けること以外にも、神経疾患のイメージングマーカーについて複数の成果を発表した。

C. 脳卒中による運動麻痺患者研究

横井・杉らのグループは、脳卒中による筋シナジー制御異常の研究を担当しており、機能的電気刺激(FES)による筋シナジー制御FDへの介入を可能にするため、手指や上腕のリハビリテーションを想定して、多点電極と二相性のバースト変調矩形波とを用いるFESシステムの開発を進めてきた。開発した多点電極FESシステムには、刺激電極パターン（多点の各電極を正極/負極/中立のいずれに設定するか）や、刺激入力として用いる波形（矩形波、正弦波、およびそれらに振幅変調を加えたものなど）、また電極間の刺激タイミングなど、設定可能なパラメータが多数存在する。今年度は手指のリハビリテーションのため、目標手指姿勢を実現できるような刺激電極パターンを高速探索する手法を研究した。人工ニューラルネットワークにより刺激電極パターンと手指姿勢との関係の順モデルおよび逆モデルを作成し、逆モデルにより、目標に近い手指姿勢を発現できるロバストな刺激電極パターンを求めた。また、この方法をさらに発展させ、同一被験者・同一刺激パターンにおける複数日の手指姿勢を逆モデルに学習させ、逆モデルを用いて目標手指姿勢から求めた電極パターンを探索の初期値として、簡単な近傍探索を行うことで、目標手指姿勢を実現するための電極パターンを短時間で求めることが可能であることを示した。多点電極FESシステムの改良も進めており、着脱の容易な一体型のシリコンゴム製多点電極を試作した。

D. 感覚モダリティ変換装具の臨床効果の研究

大脇・石黒グループは、発症後6ヶ月以上経過した慢性期脳卒中片麻痺患者8名に対しAuditory Foot (AF)の長期的リハビリテーション効果を検証した。2週間の歩行リハビリテーション訓練中（1日30分程度、トレッドミル）に7回、AFによる音フィードバック介入を実施した（AF群）。対照としてトレッドミル上での歩行訓練のみを行う8名の慢性期脳卒中片麻痺患者のデータを用いた。両群間において、年齢、体重、身長、SIASなどの臨床評価に有意差はない。計測は、リハビリテーション前のpre条件、2週間後の2w条件において、3次元動作解析装置およびフォースプレートを用いて運動学、運動力学的効果を検証した。歩行パフォーマンスの評価として、歩行中の力学的姿勢安定性の指標である重心周りの全身角運動量を比較した。その結果、音フィードバックによる長期的介入を行ったAF群において、歩行中の全身角運動量の範囲が縮小するという傾向を得た。この結果はAFによる長期効果として歩行中の姿勢安定化を示唆する結果である。さらに、出江らのグループ（C01班）と共同で、リハビリ過程での脳内身体表現の変容を捉えるための間接マーカーとなりうる身体性注意（身体に特化した注意量）の変化を足がかりとした解析を行った。

IV. おわりに

本年度までに、C02研究項目内、さらにA班、B班と協力し、各種の運動障害を対象として筋シナジーおよび関連するパラメータの計測、感覚モダリティ変換装具などの介入を行い、介入によるFD、SDの変化を捉えた。

REFERENCES

- [1] Kita K, Rokicki J, Furuya S, Sakamoto T, Hanakawa T: Resting-state basal ganglia connectivity codes a motor musical skill and its disruption from dystonia. *Mov Disord* 33(9): 1472-1480, 2018.
- [2] Furuya S, Uehara K, Sakamoto T, Hanakawa T: Aberrant cortical excitability explains the loss of hand dexterity in musicians' dystonia. *J Physiol* 596(12): 2397-2411, 2018.
- [3] Uehara K, Furuya S, Kita K, Numazawa H, Sakamoto T, Hanakawa T: Distinct roles of brain activity and somatotopic representation in pathophysiology of focal dystonia. *Hum Brain Mapp* (in press)
- [4] Kasahara K, Hoshino H, Furusawa Y, DaSalla CS, Honda M, Murata M, Hanakawa T: Initial experience with a sensorimotor rhythm-based brain-computer interface in a Parkinson's disease patient. *Brain Computer Interfaces* 5(2-3): 88-96, 2018.
- [5] Zito G, Hanakawa T: Challenging the functional connectivity disruption in neurodegenerative diseases: new therapeutic perspectives through non-invasive neuromodulation and cutting-edge technologies. *Front Neurosci* 12: 554, 2018.
- [6] Nakamura M, Etoh S, Sakamoto T, Nakamura T, Jie LX, Miura Y, Itatani M, Hanakawa T: Potential therapeutic effect of repetitive transcranial magnetic stimulation for tremor in Minamata disease: A case report. *J Neurol Sci* 388:47-49, 2018.
- [7] 花川 隆：ニューロイメージングの真価. *BIO Clinica* 33 (14); 4-5, 2018.
- [8] Yabuki Y, Tanahashi K, Mouri Y, Murai Y, Togo S, Kato R, Jiang Y, Yokoi H: Development of new cosmetic gloves for myoelectric prosthetic hand using superelastic rubber, *Robotics and Autonomous Systems*, 111, 31-43, 2019
- [9] Hiyoshi Y, Murai Y, Yabuki Y, Takahana K, Morishita S, Jiang Y, Togo S, Takayama S, Yokoi H: Development of a parent wireless assistive interface for myoelectric prosthetic hands for children, *Frontiers in Neurobotics*, 12-48, 2018
- [10] Sun W, Zhu J, Jiang Y, Yokoi H, Huang Q: One-channel surface electromyography decomposition for muscle force estimation, *Frontiers in Neurobotics*, 12/ 20, 2018
- [11] 粕谷美里・森下壮一郎・姜銀来・杉正夫・横井浩史：麻痺者上肢運動再建のための多点表面電極システムを用いた電気刺激における電極パターン探索手法の開発, *生体医工学*, 55/ 5, 193-204, 2018
- [12] Sun W, Zhu J, Jiang Y, Yokoi H, Huang Q: One-Channel Surface EMG Decomposition for Force Estimation, *Frontiers in Neurobotics*, vol.12/ article 20, 2018/05/04
- [13] Mouri Y, Murai Y, Yabuki Y, Kato T, Ohmae H, Tomita Y, Togo S, Jiang Y, Yokoi H: Development of new flexible dry electrode for myoelectric sensor using conductive silicone. 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems, pp.478-482, Shenzhen, China, Oct.25-27, 2018
- [14] Sekiguchia Y, Muraki T, Owaki D, Honda K, Izumi S: Regulation of quasi-joint stiffness by combination of activation of ankle muscles in midstances during gait in patients with hemiparesis. *Gait & Posture*, vol. 62, pp. 378-383, 2018
- [15] Fukuhara A, Owaki D, Kano T, Kobayashi R, Ishiguro A: Spontaneous gait transition to high-speed galloping by reconciliation between body support and propulsion. *Advanced Robotics*, vol.32, pp.794-808, 2018
- [16] Honda K, Sekiguchi Y, Owaki D, Fukushi K, Hiroi N, Nozaki T, Izumi S: Effects of A Plantarflexion Assist Orthosis on Compensatory Strategy during Gait in Patients with Hemiparesis. *Gait and Clinical Movement Analysis Society (GCMAS) 22th Annual Meeting* pp. 207-208, 2018

C03-1 研究項目の研究成果報告

四津 有人

茨城県立医療大学 医科学センター

ABSTRACT

ヒトが適切に体を動かすためには、脳内に自己の表象を有し、身体の内外的からの情報を実時間で適切に処理することが必要である。

本研究では、脳内身体表現の認知的側面と姿勢運動制御的側面の関係を明らかにする。

2年目の本年は、健常者や疾患患者での検討を行った。

I. はじめに

超高齢化社会を迎えた我が国では、要介護の認定を受けている高齢者は500万人以上にのぼる。その原因の多くは運動障害であるため、運動障害への対策は国家的急務である。ヒトが適切に体を動かすためには、脳内に自己の身体表象（脳内身体表現）を有し、身体の内外的からの情報を実時間で適切に処理すること（fast dynamics）に加え、その経験に基づき脳内身体表現そのものを更新すること（slow dynamics）が必要がある。

当新学術領域では、脳内身体表現の1) 身体意識の側面を01系で、2) 姿勢・運動制御の側面を02系で研究してきた。しかしながら、身体意識（01系）と姿勢運動制御（02系）の関係性はまだ明らかになっていない。そこで本研究では、01系と02系を繋ぐ研究を行っていく。

II. 目的

目的は、健常者、先天性無痛症患者、脳卒中などを対象に、身体意識と運動姿勢制御の関連性を明らかにすることである。

本年度は2年目であり、システムを健常者や患者で検証を行う。

III. 研究成果

A. 感覚障害による運動障害患者研究

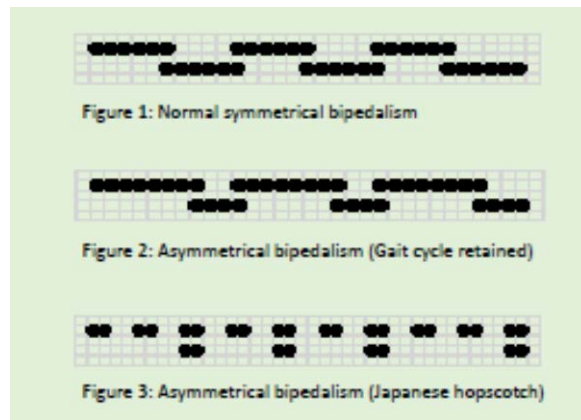
四津は、昨年度までに先天性無痛症のレビューを行い[1]、その歩容異常をビデオ分析で報告した[2]。歩容異常の背景に筋シナジー制御の異常があると仮定し、筋シナ

ジーを計測するシステムをC02大脇グループ、B03船戸グループと共同で構築した[3]。しかし立ち上げたこのシステムの不調により、計測の継続が困難となってしまったため、計画が大幅に遅れている。その中で、C02大脇による感覚代償装具[4]を用いた介入の即時効果を検討し、結果、感覚代償装具により、運動学的な改善、筋シナジーの改善、足圧のピーク値の低下する症例を報告している。[5,6,7,8]。

システムの不調の代替として、無痛症患者の患者会などに出向き、引き続き計測を継続したが、病院での計測環境ではない中で患者さんのお願いしているため十分な計測はできていない。

B. 様々な歩容の表現法の研究

四津は昨年度までに、様々な歩容に対応できる表記方法を提唱している[9,10,11,12]。特に、非対称性歩行にも、歩行周期が保たれている場合と保たれていない場合があり、保たれていない場合でも表記できる行列の導入をこころみている[12]。

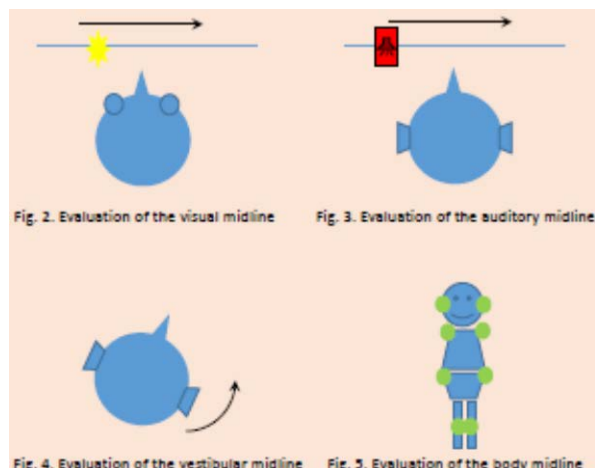


上段より、対称性歩行、非対称性歩行（歩行周期は保存されている）、非対称性歩行（歩行周期が破綻している）

C. 疾患患者の非対称性に関する包括的診察法の研究

四津は上記Bのような歩容の非対称性だけでなく、感覚・認知の非対称性をも含む包括的な患者の診察法を提

案してきた[13]. 今後は、これを用いて実際の患者を評価していく予定である。



患者の視覚認知、聴覚認知、前庭系、身体拘束の要素を総合的に診察・評価する。

D. パーキンソン病における、2足と4足歩行

Bに示した様々な歩行の評価法を用いて、パーキンソン病患者の2足歩行と4足歩行を検討した。結果、2足歩行に加えて、4足歩行を評価することで、パーキンソン病患者の歩行障害をより鋭敏に検出できる可能性が示された[15]。

E. 脳卒中患者における麻痺上肢の筋シナジー解析

脳卒中は下肢だけでなく上肢の麻痺も生じる。麻痺した上肢の評価法としてFugl-Meyer Assessment (FMA)が、よく使われているが、評価する項目が多い上、評価点数は、順序尺度であり間隔尺度ではない。そこで、A02班、B03班及び森ノ宮病院と共同で、FMAの動き自体を、筋シナジー解析した。健常者と脳卒中患者を対象に、上肢の屈曲や回旋などFMAのタスクを行い、その際の上肢及び体幹の筋電位を計測した。解析の結果、健常者に共通のシナジーがみられ、これを評価するためならば、タスク数は減らせる可能性が見いだされた。また、患者ではシナジーの融合が見られた[14]。

今後は、患者の身体認知の評価を総合的に計測を進めて行く。

IV. おわりに

上記のごとく、評価法の吟味を行い、患者では先天性無痛症や脳卒中を対象に、少数の計測を進めている。システムの不調や、患者さんのリクルート環境等もあり、こ

の2年では、まだ成果は十分には出ておらず、今後の研究に期待したい。

REFERENCES

- [1] A. Yozu, N. Haga, T. Funato, D. Owaki, R. Chiba, and J. Ota, "Hereditary sensory and autonomic neuropathy types 4 and 5: Review and proposal of a new rehabilitation method," *Neurosci Res* (doi: 10.1016/j.neures.2015.10.011).
- [2] Y. Zhang, N. Ogata, A. Yozu, and N. Haga, "Two-dimensional video gait analyses in patients with congenital insensitivity to pain," *Dev Neurorehabil*. 16: 266-70, 2013.
- [3] A. Yozu, T. Funato, D. Owaki, and N. Haga, "Development of a measurement and real-time display system for kinematics and muscle synergy of gait," In: 26th2015 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2015), Nagoya (2015).
- [4] D. Owaki, Y. Sekiguchi, A. Ishiguro, and S. Izumi: Auditory Foot: A Novel Auditory Feedback System Regarding Kinesthesia, In: 26th2015 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2015), Nagoya (2015).
- [5] A. Yozu. "Proposal of a new rehabilitation method for congenital insensitivity to pain." Japan-Europe international meeting on Embodied-brain System Sciences. Embodied-Brain: Perspectives from Motor Control and Muscle Synergies. Taormina, Italy (2016)
- [6] A. Yozu. "Proposal of a new rehabilitation method for congenital insensitivity to pain." Workshop on Embodied-Brain System Science and Robotics Engineering for Rehabilitation, Padua, Italy (2016)
- [7] A. Yozu. "Proposal of a new rehabilitation method for congenital insensitivity to pain". EMBC 2016 Full-day Workshop on Embodied-Brain Systems Science and rehabilitation. Orlando, USA (2016)
- [8] A. Yozu, D. Owaki, T. Funato and N. Haga, "Auditory Biofeedback during Walking Reduces Foot Contact Pressure in A Patient with Congenital Insensitivity to Pain", IEEE 27th 2016 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2016), (2016)
- [9] A. Yozu, D. Owaki, T. Funato, M. Hamada, T. Sasaki, H. Togo, N. Haga, "Numerical expressions of temporal parameters for hexapedalism", The 1st International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2016), Tokyo, Japan (2016).
- [10] A. Yozu, D. Owaki, M. Hamada, T. Sasaki, Q. An, T. Funato, and N. Haga, "Quantification of Temporal Parameters for Tripedalism", The 14th International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Shanghai, China (2016).
- [11] A. Yozu, M. Hamada, T. Sasaki, S. Tokushige, S. Tsuji, and N. Haga, "Development of a novel system to quantify the spatial-temporal parameters for crutch-assisted quadrupedal gait" *Advanced Robotics* Published online (2016)
- [12] A. Yozu, K. Nakai, A. Matsushita, R. Takeuchi, Y. Shimizu, Y. Mataka, H. Mutsuzaki, Y. Kohno, "Quantification of Temporal Parameters for Japanese Hopscotch", The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM), Sapporo, Japan (2017)
- [13] A. Yozu, Y. Mataka, K. Nakai, A. Matsushita, R. Takeuchi, Y. Shimizu, H. Kishimoto, K. Tokeji, H. Mutsuzaki, Y. Kohno, N. Iwasaki, "A comprehensive procedure for evaluating the midline of the transverse plane in humans", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Vancouver, Canada (2017)
- [14] A. Yozu, T. Funato, T. Oya, S. Shirafuji, Q. An, S. Inaguma, K. Miura, A. Jino, J. Inatomi, I. Miyai, J. Ota, N. Hattori, K. Seki, "Muscle synergy-based assessment of stroke patients: comparison with Fugl-Meyer Assessment (FMA)", 第40回日本神経科学大会, 幕張 (2017)
- [15] 佐々木拓也, 濱田雅, 四津有人, 徳重真一, 芳賀信彦, 宇川義一, 戸田達史, 「パーキンソン病における2足歩行及び4足歩行の定量的解析」第56回運動障害研究会

C3-02研究項目の研究成果報告

島 圭介

横浜国立大学 大学院工学研究院

Abstract—我々は、効率的なリハビリテーションと運動学習支援の実現を目指し、第1期公募研究において機能的電気刺激と筋電位のパターン認識を組み合わせることで被験者の筋収縮状態を制御することで動作の伝達と訓練が可能な新しいリハビリテーションシステム [1] を提案してきた。第2期研究においては、提案法をさらに発展させる方法論の確立を目指すとともに、運動機能回復訓練への適用可能性について検証をすすめた。本年度は、1) 電気刺激と動作識別に基づいて運動中の関節インピーダンスを伝達する方法論の検証を進め、2) 時系列生体信号パターンを高精度に識別する新たな学習理論を提案し、臨床現場で用いることができる FPGA チップへの実装モデルを考案した。また、3) 電気刺激時に生じる関節運動と効率的な電気刺激点の変化を追従する新しい電気刺激法を考案した。

I. はじめに

機能回復のためのリハビリテーションでは、療法士が患者の残存機能（関節可動域や固縮の有無、随意筋収縮の有無やその収縮状態）などを適切に把握し、自然な運動に必要な筋収縮状態を適切に指示したり、患者の随意運動の意思を正確に読み取って適切に介助することなどが求められる。ただし、これらの評価、指示、介助は口頭による情報提示、あるいは患者の筋付近の皮膚を触る、たたく等の手技によって実現する必要がある、客観的かつ定量的な実施が困難である。リハビリテーションにおいて患者と療法士双方の情報伝達を円滑にし、運動学習を支援できる方法論の確立が必要である。我々は自然な運動の実現に必要な筋収縮状態、力情報、タイミングを療法士と患者間で相互伝達可能とし、患者の運動意図と身体運動を効率的に関連付けた運動学習支援法の確立を目指して研究を進めてきた。

II. 目的

本研究の目的は、我々が考案した多チャンネル筋電位による動作推定と電気刺激型筋収縮刺激制御による関節運動相互伝達法を拡張し、運動に伴う関節インピーダンス状態を療法士・患者間で相互伝達する方法論を提案すること、および提案法の適用が身体・脳機能に及ぼす影響を明らかにすることである。本年度は、昨年度までに構築した筋電位 (Electromyogram : EMG) による筋収縮評価と多チャンネル電気刺激を組み合わせた関節運動伝達インタフェース [1] について、関節の硬さ・やらかさの情報である関節インピーダンスをヒトーヒト間で伝達する方法論の発展と検証を行った [2]。また、生体信号の時系列特性モデルを表現可能な新しい近似隠れマルコフモデルを考案し、FPGA への実装を行って識別精度を検証した。さらに、動作にともなって変化する最適な電気刺激位置（運動点）を効率的に推定・刺激可能な新しい追従刺激法を考案し、効果の検証を行った。

III. 研究成果

A. 機能的電気刺激に基づく関節インピーダンス伝達

本年度は、人の関節インピーダンスの実測と伝達の検証を行った。Fig. 1 に提案法と実験の概要図を示す。提案法で

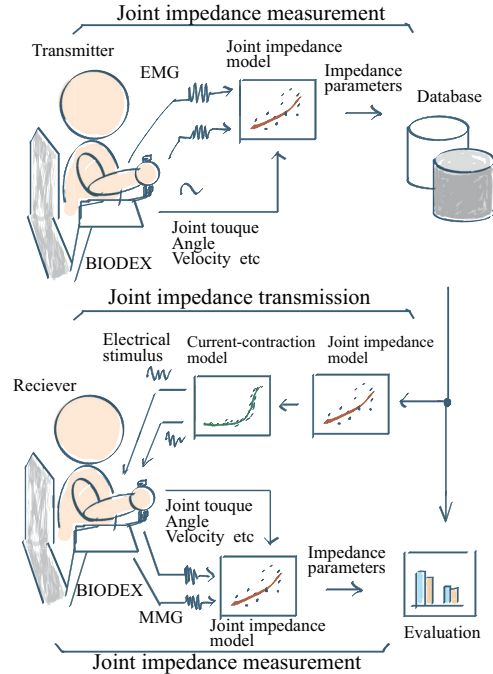


Fig. 1. Joint impedance communication

は動作送信側の被験者から筋収縮に伴い変化する EMG 信号を計測する。得られた EMG 信号を用いて近似的に関節インピーダンスを算出し、電流-関節角度モデルに適用することで受信側の被験者に刺激電流を与えて 2 者間での関節インピーダンス伝達を実現する。

ここで、手首周りの関節運動を対象としたとき、関節インピーダンスは関節周りのモーメント M 、粘性 B 、剛性 K を用いて以下の式で表せる [3]。

$$M\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) + K\theta(t) = \tau(t) \quad (1)$$

ここで $\theta(t)$ は関節角度、 $\tau(t)$ は関節トルクである。また筋群は一つ一つの筋活性度の総和として考えるため、関節運動に寄与する伸筋群の筋活性度 $\alpha_E(t)$ と屈筋群の筋活性度 $\alpha_F(t)$ 、双方の筋活性度から求める %MVC を $\alpha(t)$ として以下のように表す。

$$\alpha(t) = \frac{\alpha_E(t) + \alpha_F(t)}{2} \quad (2)$$

このとき、筋活性度 α を用いて関節インピーダンス M 、 B 、 K は以下のように近似できる [3]。

$$\begin{aligned} M(\alpha(t)) &= i, \quad B(\alpha(t)) = b_1\alpha(t)^{b_2} + b_3 \\ K(\alpha(t)) &= k_1\alpha(t)^{k_2} + k_3 \end{aligned} \quad (3)$$

$b_1, b_2, b_3, k_1, k_2, k_3, i$ は定数である。

実際に被験者 3 名から手首関節のインピーダンスを実測した結果を Fig. 2 に示す。動作時の筋活動状態から関節イ

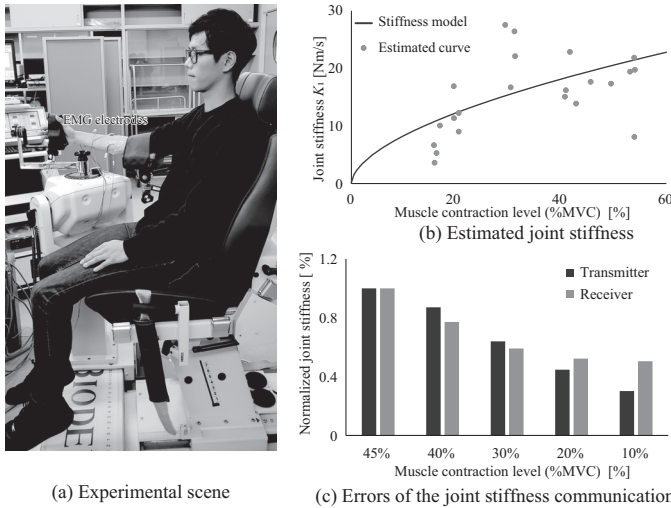


Fig. 2. Experimental results of joint impedance evaluation and communication

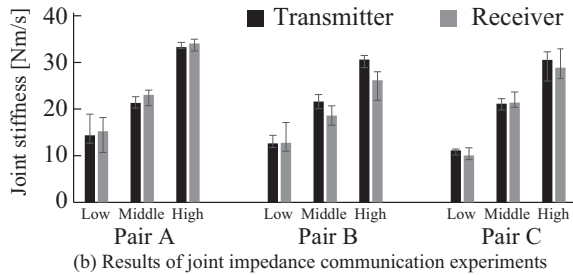


Fig. 3. Results of joint impedance transmission

ンピーダンスを算出し、伝達情報として用いる。結果では、被験者の手首関節のインピーダンスが文献 [3] と同傾向を示し、(3) 式を用いて関節インピーダンスが表現可能ことが示された。また、電気刺激を用いて関節インピーダンスを伝達中に実測した結果との比較 Fig. 2(c) では、両者に同程度の関節剛性が生じていることが確認できる。

提案法を用いて関節運動と関節インピーダンスを被験者間で伝達した際の関節剛性、および伝達時に手首関節に負荷を与えている様子を Fig. 3 に示す。低・中・高の3種の関節剛性が精度良く伝達されていること、および伝達されるインピーダンスが高い場合には関節が硬く保たれ、手のひらに乗せた 500g のペットボトルを保持できることがわかる。このように、提案システムにより関節運動と関節インピーダンスを2者間で伝達できる可能性が示唆された [4]。

B. 時系列生体信号の高精度識別が可能なハードウェアモデル

提案法の中心技術となるのは、EMG 信号から高精度に動作推定を行うパターン識別である。本年度は、これまでに考案した識別モデルを発展させ、時系列データから高精度に動作を推定する確率モデルをハードウェアに実装可能な

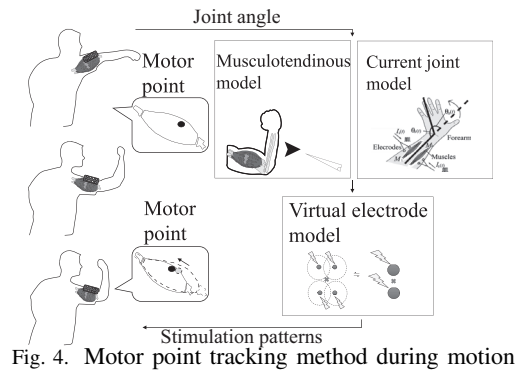


Fig. 4. Motor point tracking method during motion

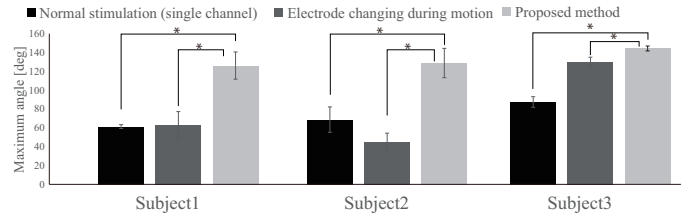


Fig. 5. Experimental results for motor point tracking

新しい近似手法を考案した。提案法により、線形演算とビットシフトのみで確率分布を導入した HMM を表現可能であり、EMG 信号などの生体信号の時系列特性から高精度かつ高速に動作の推定が可能である [5]。

C. 仮想電極モデルに基づく運動点追従型電気刺激法

Fig. 4 は運動時の関節角度を入力とした Motor Point 追従型 FES 法である。提案法では、刺激によって誘発された被験者の関節角度を計測し、得られた関節角度を用いて筋腱骨格モデルに基づく運動点位置の推定、および多チャンネル電流制御に基づく仮想電極形成モデルにより電気刺激箇所を動的かつ連続的に変更可能とし、運動に伴う運動点の変化を追従して効率的な電気刺激を実現する (Fig. 5)。

IV. おわりに

本年度はヒト-ヒト間の関節インピーダンス伝達法の検証を進めるとともに、動作推定ハードウェア、運動点追従刺激法の可能性を示唆した。今後は、これまでに構築した方法論の運動学習効果を身体機能、脳機能の両側面から詳細に評価・検証し、臨床で利用できるシステムの構築を目指す。

REFERENCES

- [1] K. Shima and K. Shimatani, "A New Approach to Direct Rehabilitation Based on Functional Electrical Stimulation and EMG Classification," Proceedings of 2016 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), pp. 237-241, 2016
- [2] 島 圭介, 島谷 康司, "生体信号と電気刺激で運動学習を支援する", 体育の科学, Vol. 69, No. 1, pp. 27-31, 2019
- [3] T. Tsuji, P. Morasso, K. Goto and K. Ito: "Human Hand Impedance Characteristics during Maintained Posture in Multi-Joint Arm Movements", Biological Cybernetics, Vol.72, pp.475-485, 1995.
- [4] 代木 陸, 島 圭介, 島谷 康司, "機能的電気刺激と EMG 信号を利用した筋協調収縮型ダイレクトリハビリテーション-運動スキル学習支援を目的とした関節インピーダンス伝達法-", 第 19 回システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 952-954, 2018
- [5] 渡辺 圭祐, 島 圭介, "時系列生体信号識別のための FPGA アクセラレーションを指向した近似 CD-HMM", 第 19 回システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 2339-2341, 2018

C03-3 研究項目の研究成果報告

金子 文成

慶應義塾大学医学部 リハビリテーション医学教室

Abstract—The purpose of this study was to clarify the effect of repetitive kinesthetic illusion induced by visual stimulation therapy with conventional therapeutic exercise on the brain network function, which is defined as the functional connectivity associated with motor function, as revealed by the analysis of blood-oxygen-level-dependent signals measured on functional magnetic resonance imaging. Fifteen healthy adults and 11 patients with stroke participated in this study. The patients' upper extremities were severely paralyzed in the chronic phase after stroke. The results demonstrate that functional connectivity between the dorsal premotor cortex in the unaffected hemisphere and the ipsilateral primary motor cortex and superior parietal lobule significantly changed in the patients after intervention, accompanied by improvement of motor function. Further controlled trials are needed; however, the present results indicate that our novel approach may improve motor function in patients with severe paralysis after stroke, accompanied by functional improvement of brain networks.

I. はじめに

我々が研究の対象としている脳卒中後の重度運動麻痺を呈する患者では、視床や被殻などの出血や脳梗塞の影響によって、内包や放線冠をはじめとした領域で脳損傷を有する。拡散テンソルトラクトグラフィによる神経線維追跡を行なうと、中心前回および中心後回に始まる下行線維が描出されないことが多い。運動機能障害の回復に伴う脳機能変化に関する研究として、近年、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて、脳部位間の blood oxygenation level dependent (BOLD) 信号の相関性を機能的結合 (FC) として解析した報告が散見される。しかしこれらの研究は、脳卒中発症後の時間経過や運動機能の回復段階の分類について議論の余地がある。

急性期では脳損傷の重症度で左右半球間および同側内における FC の強さが異なり、重度なほど弱い[1]。亜急性期症例では、一次運動野 (M1) を中心に解析すると、左右 M1 間の FC が健康な対照群よりも低下していることが示された[2]。亜急性期から慢性期症例の解析においては、一次体性感覚野 (S1) を中心とした FC の非対称性を示す指標が運動機能低下と相関していることが示され、S1 からの FC が脳卒中後の機能障害を説明する重要なマーカーであると結論づけている報告がある[3]。

我々は、重度脳卒中片麻痺患者〔ここで「重度」とは、脳卒中の総合評価として用いられる Fugl-Meyer assessment (FMA) の上肢運動機能評価 (66 点満点) が 20 点未満のものをいうこととする〕に対して、視覚誘導性の自己運動錯覚 (kinesthetic illusion induced by visual

stimulation: KINVIS) を応用したアプローチの有効性を検証してきた。KINVIS とは、四肢が運動している様子を視覚入力することで、安静にしている被験者において誘導される自己の四肢が運動しているような感覚が生じる心理的現象のことである。この方法を臨床的に実施しやすいように開発したシステムは、KiNvis™ と呼び、このシステムを用いた視覚刺激と、さらに患者が獲得したい運動に必要なとされる筋に電気刺激を実施する神経筋電気刺激法を組み合わせた方法を KiNvis 療法という。KINVIS 中には特徴的な脳活動が起こり[4]、一次運動野の興奮性が増大する[5,6]。さらに、他の刺激と組み合わせることで一次運動野の興奮性が高い状態を持続させる[7]。また、被験者が長時間 KINVIS を体験していると、運動主体感を生じない自発的運動が起こる[8]。このように KINVIS の誘導は運動出力系に強く影響することが明らかであり、過去のフィージビリティ研究[9]で、KINVIS を体験した患者において即時的に運動機能が変化する例を経験した。本研究では、KiNvis 療法を反復することで脳卒中患者の障害された運動機能が改善し、その機序として感覚-運動機能および KINVIS に関わる脳領域間の相関性が変化するという脳機能の変化があるとの仮説を立てた。

II. 目的

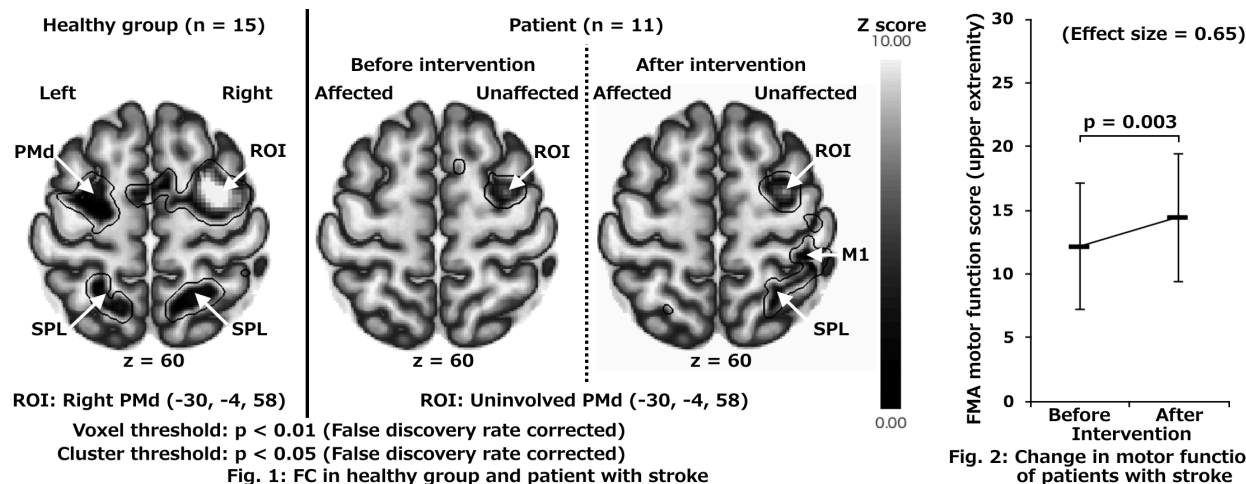
本研究の目的は、KiNvis 療法を反復して適用することによって起こる脳機能への影響を明らかにすることである。ここで脳機能とは、fMRI で計測される BOLD 信号の解析による FC を指標とする。

III. 研究成果

対象は、上肢の重度運動麻痺を呈した慢性期 (発症後 6 ヶ月が経過) の脳卒中患者 11 名とした。運動機能は、手指の随意的な屈曲は可能だが伸展が困難なレベルであった。本研究では KiNvis 療法と従来の運動療法を 10 日間実施し、その介入時間の前後で運動機能検査と fMRI 計測を実施した。

A. KiNvis 療法前後における FC の変化

MRI 計測には 1.5T の MRI スキャナーを使用した。T1 強調画像による全脳の解剖画像を取得し前処理に使用した。fMRI 計測では、被験者に開眼で安静を保つように依頼し、グランディエントエコー・エコーブレンダー法により撮像した。fMRI データの前処理および解析には



MATLAB (MathWorks Inc., MA, USA) 上で CONN toolbox [10] を使用し、リアライメント、スライスタイミング補正、MNI 標準脳への変換、平滑化 (FWHM: 7mm)、バンドパスフィルタリング (0.01~0.08 Hz) を行なった。右側半球損傷の患者データは、正中矢状線を中心に左右反転し、損傷半球を左側に描出した。関心領域 (ROI) の BOLD 信号変動と時間的相関がある部位を探索するために、seed 対ボクセルの FC 解析を行った。感覚-運動機能および KINVIS に関連のある 20 箇所の ROI を過去の研究を参考に設定し、半径 6mm の球形 seed とした。相関係数は Fisher Z 変換によってガウス分布の値に変換し、クラスタサイズが 20 ボクセル以上の部位を探索した。

Fig. 1 に解析結果の一部を示す。今回の患者群では、介入前は非損傷半球側の背側運動前野 (PMd) に設定した ROI と有意に相関のあるクラスタが検出されなかった。他の ROI でも同様であった。それに対して介入後は、非損傷半球 PMd と有意に相関するネットワークとして同側の上頭頂小葉 (SPL) および M1 が検出された。

B. KiNvis 療法後における運動機能の変化

介入後、FMA 上肢運動機能評価は有意に改善し、中等度の効果量を示した (Fig. 2)。また、痙縮を示す臨床スコアが改善した。今回の患者群の運動機能レベルは、従来の治療効果を報告している文献の症例より重度である。この結果は、我々が開発したマルチモーダル刺激による非侵襲的な物理刺激が、脳卒中後の重度運動麻痺患者にポジティブな影響を及ぼす可能性があり、重症例にも根本的な脳機能改善の余地があることを示唆する。

IV. おわりに

本研究では、脳卒中患者の脳機能に対する KiNvis 療法と運動療法の併用効果を、FC 解析によって検討した。仮説は、運動機能が改善し、それと並行して感覚-運動機能および KINVIS に関わる脳領域間の相関性が変化するというものであった。結果は、我々の新規的な介入後

により運動機能が改善し、それに伴って FC も変化した。我々が運動機能を改善するためのアプローチで標的とする脳内ネットワークを明らかにするために、今後は年齢を一致させた対照試験が必要である。

REFERENCES

- [1] ND. Bruyn, S. Meyer, SS. Kessner, B. Essers, B. Cheng, G. Thomalla, A. Peeters, S. Sunaert, T. Duprez, V. Thijs, H. Feys, K. Alaerts, G. Verheyden, "Functional network connectivity is altered in patients with upper limb somatosensory impairments in the acute phase post stroke: A cross-sectional study", PLOS ONE. 2018, 13(10): e0205693
- [2] Y. Zhang, KS. Li, YZ. Ning, CH. Fu, HW. Liu, X. Han, FY. Cui, Y. Ren, YH. Zou, "Altered structural and functional connectivity between the bilateral primary motor cortex in unilateral subcortical stroke: A multimodal magnetic resonance imaging study", Medicine. 2016, 95(31): e4534
- [3] I. Frias, F. Starrs, T. Gisiger, J. Minuk, A. Thiel, C. Paquette, "Interhemispheric connectivity of primary sensory cortex is associated with motor impairment after stroke", Sci Rep, 2018, 8(1): 12601
- [4] F. Kaneko, C. Blanchard, N. Lebar, B. Nazarian, A. Kavounoudias, P. Romaguere, "Brain regions associated to a kinesthetic illusion evoked by watching a video of one's own moving hand," PLOS ONE, 2015, 10(8): e0131970
- [5] F. Kaneko, T. Yasojima, T. Kizuka, "Kinesthetic illusory feeling induced by a finger movement movie effects on corticomotor excitability", Neuroscience, 2007, 149: 976-984
- [6] T. Aoyama, F. Kaneko, T. Hayami, E. Shibata, "The effects of kinesthetic illusory sensation induced by a visual stimulus on the corticomotor excitability of the leg muscles", Neurosci Letters, 2012, 514: 106-109
- [7] F. Kaneko, R. Takahashi, E. Shibata, Y. Itaguchi, "Kinesthetic illusion induced by pairing of visual and peripheral nerve stimulation causes sustained enhancement of corticospinal tract excitability Spinal Cord Plasticity", Motor Control Society for Neuroscience 2016 Annual Meeting, San Diego. 2016
- [8] F. Kaneko, Y. Itaguchi, E. Shibata, K. Okuyama, "Exposure to a unique visual stimulus with kinesthetic sensation results in synchronized reciprocally induced spontaneous muscular recruitment," The XXVI Congress of the international society of biomechanics. Brisbane, 2017.
- [9] F. Kaneko, T. Inada, N. Matsuda, E. Shibata, S. Koyama, "Acute Effect of Visually Induced Kinesthetic Illusion in Patients with Stroke: A Preliminary Report", International Journal of Neurorehabilitation, 2016, 3: 212
- [10] S. Whitfield-Gabrieli and A. Nieto-Castanon, "Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks," Brain Connect, 2012, 2, pp.125-141.

C03-4 研究項目の研究成果報告

向野 雅彦、佐々 遼馬、松田 文浩

藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学Ⅰ講座

藤田保健衛生大学病院リハビリテーション科

藤田保健衛生大学医療科学部リハビリテーション学科

Abstract—本研究の目的は、身体性システムの理解に役立てるため、動作時の重心(COG)と足圧中心(COP)の動きから、動的バランス機能の客観的指標を開発することである。本研究ではこれまでにステップ動作時に三次元動作分析と床反力計を用いたステップ動作中の計測から、COG と COP の X 座標の差分の変化量に基づく指標値と、臨床スケールの相関関係について示し、さらに COP の挙動がその指標値をある程度説明できる可能性を示してきた。本年度は、これまでに得られた重心と足圧の相互関係に基づき、失調患者およびパーキンソン病患者における歩行中の重心の挙動とその規定要因の検討を実施した。グループ間の比較においては、失調患者において、COP が健常人よりも比較して大きく動くことでより速い速度で COG の制御を行う傾向、パーキンソン病患者では、COP の動く範囲はやや大きい傾向があるものの、小刻み歩行パターンを反映して単脚支持時間は短く、COG の速度は低く保たれている傾向が観察された。さらに COG 速度を従属変数とした重回帰分析を実施し、COG の速度が COP-COG 距離、単脚支持時間、COP-COG 方向一致率の3つの変数によってある程度説明されることが示された(決定係数: 0.76)。

I. はじめに

脳卒中や大腿骨頸部骨折、あるいは高齢者の運動障害において、歩行や日常生活活動(ADL)の能力に、バランス機能が大きく寄与していることが報告されている(1,2)。バランス能力の測定は一般的に臨床スケールを用いて行われることが多いが、客観的な測定装置として、臨床では重心動揺計がよく用いられている。姿勢制御の仕組みにおいて、質量を制御する力は主に接地している足部を通じて発揮される。静止立位においては足圧中心(Center of pressure: COP)の動きは身体重心(Center of gravity: COG)の動きを反映することが知られており、重心動揺計ではその動きの大きさを指標化してバランス機能の評価に用いている。しかし一方、動作時にはCOGとCOPの挙動は大きく変化するため、バランス能力の測定には定量的な外乱を与えられる大掛かりな装置が用いられ、臨床で客観的な測定が行われることは少ない。これまでに我々は、ステップ動作時の身体重心(Center of gravity: COG)と足圧中心(Center of pressure: COP)の位置関係が、臨床スケールを用いて測定したバランス能力と相関することを示し、その指標化に取り組んできた。また、COGやCOPの速度は、動的なバランス制御の指標の一つとして知られているが、これまでの取り組みにおいて、COGの速度がCOGとCOPの位置関係によって規定されていることを示してきた。

本研究においては、さらに検討を進め、これまでに明らかにしてきた指標間の相互関係を元に、COGの歩行中の制御について、COPの挙動との関係性を軸に検討を実施した。

II. 目的

本研究の目的は、これまでに作成してきたバランス機能の指標間の相互関係の理解に基づき、歩行時に重心が足圧により制御される仕組みについて検討を行うことである。

III. 研究成果

A. 歩行におけるCOP-COG関係

対象者) 手すりなしでトレッドミル上で歩行可能なパーキンソン病患者10名、小脳失調患者18名、健常者8名を対象とした。

方法) 三次元動作解析装置Kinematracerおよびフォースプレートを使用し、歩行中の足圧と三次元計測を同期的に行うことで、側方の重心位置と足圧位置の関係性からCOGの速度にCOPの挙動がどのように影響しているか評価することを試みた。重心は両上下肢、体幹の10箇所貼付したマーカー、仮想重心位置を算出した。歩行は20秒間の記録を行った。

測定指標としては、ステップ毎のCOGの最大速度およびCOPの挙動を説明する指標値として以下を算出した。足圧中心と重心の位置の差分の絶対値の平均(COP-COG距離)、COGとCOPそれぞれの速度、COGとCOPの方向の一致率、COPの振幅、単脚支持時間(図1)。それぞれの指標はグループごとに算出し、比較検討を行った。なお、群間の比較にはSteel-Dwass検定を用いた。さらに、COGの速度がどのようにそれぞれの因子の影響を受けるかを検討するため、重回帰分析を行った。ステップワイズ法(増減法; $P < 0.10$ で追加、 $P \geq 0.05$ で除去)による変数選択を実施した。

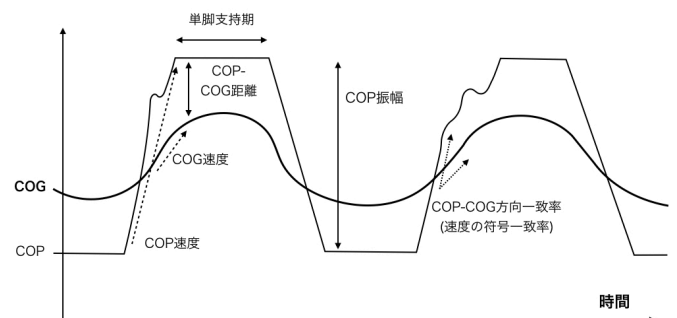


Fig. 1 算出した指標値

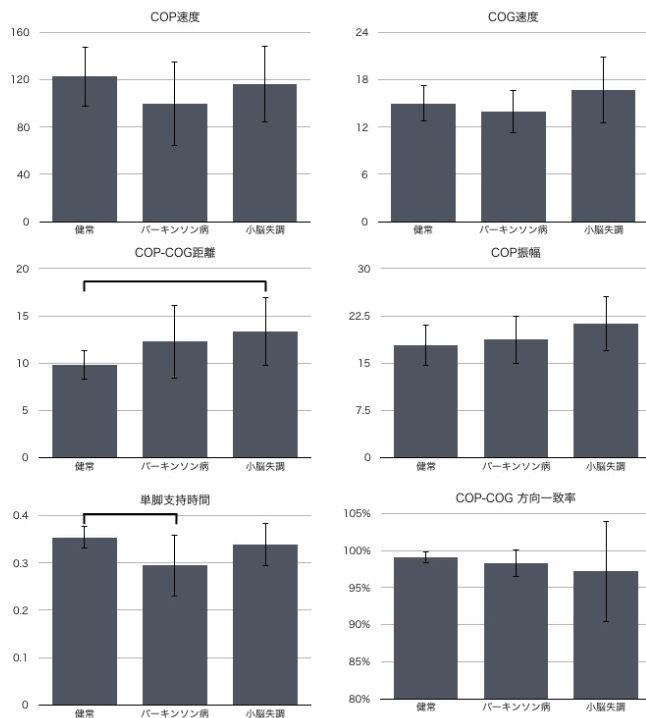


Fig.2 指標値のグループ間比較

結果と考察) COP 速度、COG 速度、COP-COG 距離、COP 振幅、COP-COG 方向一致率、単脚支持時間のグループ間 (健康群、パーキンソン病群、小脳失調群) の比較の結果を図 2 に示す。このうち、COP-COG 距離は健康に比較して小脳失調群で有意な上昇を認めた。また、単脚支持時間はパーキンソン病群で有意な短縮を認めた。有意水準に至らなかったが、COP の振幅は小脳失調群で拡大の傾向を認め、COP 速度、COG 速度はパーキンソン病群で低下傾向を認めた。全体の傾向としては、失調患者では時間因子は変わらないものの、COP が健康人よりも比較して大きく動くことで COG の制御を行っており、失調患者において一般的にみられる wide-based の歩行パターンを反映しているものと考えられた。一方、パーキンソン病患者では、COP の動く範囲はやや大きい傾向があるものの、小刻み歩行パターンを反映して単脚支持時間は短く、COG の速度は低く保たれている傾向がみられた。

さらに COG 速度を従属変数、上記 5 変数を独立変数とした重回帰分析を実施した。ステップワイズ法 (増減法) による変数選択を実施したところ、COP-COG 距離、単脚支持時間、COP-COG 方向一致率が選択された。偏回帰係数、標準偏回帰係数、t 値を Table1 に示す。このモデルの決定係数は 0.76 と比較的良好な当てはまりが得られた。予測値と実測値のプロットを図 3 に示す。

本検討においては、ステップ動作を対象に行ってきた COG 速度と COP の挙動との関係性の検討を歩行での検討に広げ、歩行中の側方の COG の運動速度と COP の挙動を示す指標値との関係を検討した。COG の加速度が COP と COG の位置関係に強く影響されることを考慮すると

(3)、このモデルは重心の速度が加速度とその安定性、かかった時間に影響されることを間接的に反映していると解釈できる。

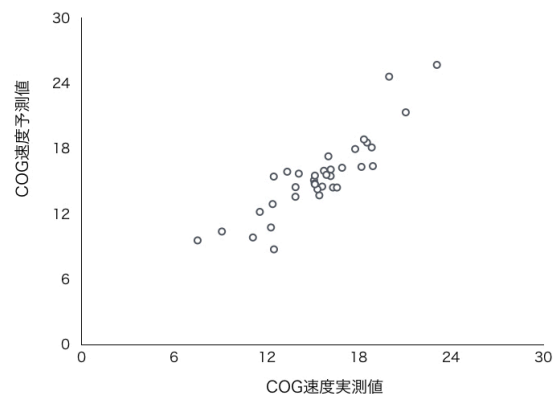


Fig.3 予測値と実測値のプロット

モデル	係数	標準誤差	標準化 係数	t 値	p 値 (Prob> t)
(定数)	68.37	8.56	0.00	7.99	<.0001*
COP-COG 距離	1.11	0.11	1.09	9.95	<.0001*
単脚支持時間	43.07	6.59	0.62	6.53	<.0001*
COP-COG 方向一致率	57.38	7.13	0.78	8.05	<.0001*

Table 1 重回帰分析の結果

IV. おわりに

本研究においては、重心の加速度が COG-COP 関係によって制御される仕組みについて、より詳細な検討に取り組んだ。

今後は、歩行時の重心運動と歩容、バランス能力の関係性、①外乱条件 (予測条件、反応条件) における COG-COP 関係の検討の継続、②筋活動のパターン、病変のパターンとの関係性についても検討を進め、バランス機能を成り立たせている身体システムの包括的な理解と客観的なデータに基づく decision making、介入方法の検討と効果の評価までを行うことのできる仕組みの構築に取り組む。

REFERENCES

- [1] Bryant MS, Rintala DH, Hou J-G, Protas EJ. Relationship of Falls and Fear of Falling to Activity Limitations and Physical Inactivity in Parkinson's Disease. *J Aging Phys Act*. 2015 Apr;23(2):187-93.
- [2] Edgren J, Salpakoski A, Rantanen T, Heinonen A, Kallinen M, von Bonsdorff MB, et al. Balance confidence and functional balance are associated with physical disability after hip fracture. *Gait & posture*. 2013;37(2):201-5.
- [3] Masani, K., Vette, A. H., Kouzaki, M., Kanehisa, H., Fukunaga, T., & Popovic, M. R. (2007). Larger center of pressure minus center of gravity in the elderly induces larger body acceleration during quiet standing. *Neuroscience letters*, 422(3), 202-206.

C03-5 研究項目の研究成果報告

森岡 周

畿央大学健康科学部

Abstract—運動主体感が運動-感覚の比較照合プロセスに準じているのならば、遅延を検出する時間窓と運動主体感が損なわれる時間窓との間には、密接な関係があると仮説立てて実験をしたが、運動主体感の変容には運動-感覚の比較照合以外の要因も考えられることが明らかになった。また、脳卒中後の失行症においては、ナラティブな運動主体感に変容していないものの、運動-感覚フィードバックの遅延を検出する時間窓が有意に遅延していた。その遅延検出閾値の異常と関係している損傷部位を **Voxel-based lesion-symptom mapping** によって分析した結果、左前頭-頭頂ネットワーク上の左下前頭回および左下頭頂小葉といった病巣が関係していることが明らかになった。加えて、このような遅延検出能力を向上させるリハビリテーション手段も検討し、体性感覚閾値以下の振動刺激が運動-感覚フィードバックの遅延を検出する能力を向上させることが明らかになった。これらの一連の研究から、身体性変容を捉える定量的評価方法の確立およびそのリハビリテーション手段の考案に貢献した。

I. はじめに

運動主体感は、運動意図と実際の感覚フィードバックとの比較照合によって生成されるため、これらの間に時間的遅延が生じると、運動主体感が歪んでしまう。しかしながら、運動-感覚間の不一致に気づく時間窓と、運動主体感が損なわれる時間窓の類似性・相違性は明らかにされていない。また、脳卒中後の失行症では、多感覚統合の機能不全により、身体性に変容していることが指摘されている。しかしながら、その身体性変容を客観的かつ定量的に捉え、病巣との関連を調査した研究は存在しない。確率共鳴（**Stochastic Resonance : SR**）は、身体に感覚閾値未満のランダムな周波数ノイズを加えることにより、感覚入力や運動機能が改善する現象である。しかしながら、**SR** が身体性に重要な感覚-運動統合に与える影響は明らかになっていない。

II. 目的

研究 A では、同一被験者に遅延検出タスクおよび **Agency Attribution task** を実施して、運動-感覚間の不一致に気づく時間窓と運動主体感が損なわれる時間窓の相違性と類似性を検証することを目的とした。

研究 B では、失行における多感覚統合機能を定量的に捉え、病巣との関連性を検討することを目的とした。

研究 C では、**SR** の提供が身体性変容に関わる感覚-運動統合機能に与える影響を調査した。

III. 研究成果

A. 遅延検出閾値と運動主体感損失の時間的關係

59 名の健常者 (22 males, 36 females; mean age, 21.05 years; SD, 1.09) を対象に、**agency attribution** タスク (図 1) および遅延検出タスク (図 2) を実施した。

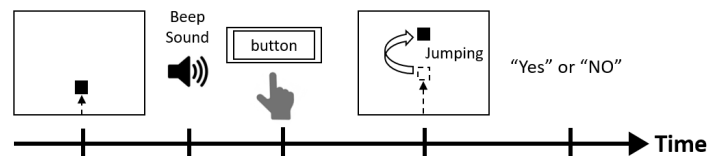


図 1 : The agency attribution task

Agency attribution task では、ボタンを押すことによってジャンプするオブジェクトを「自分の運動によってジャンプしたかどうか」を判断するように要求し、遅延検出タスクでは、自分の手をみながら「自分の運動が遅れているか」を判断するように要求した。

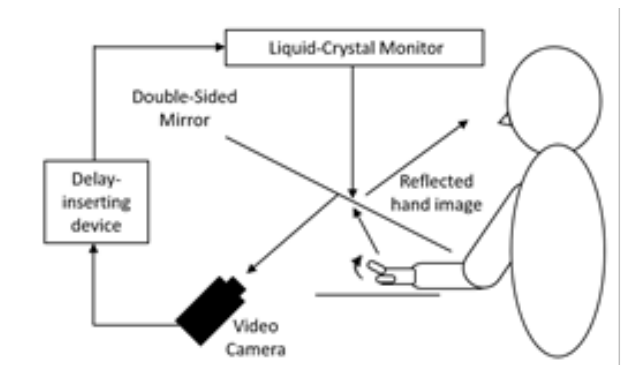


図 2 : 遅延検出タスク

いずれのタスクにも、11 delay conditions (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, and 1000 msec) を挿入して、それぞれの遅延条件での回答率をロジスティック回帰曲線にあてはめた。そして、回帰曲線から得られる主観的等価点 (**PSE: point of subjective equality**) を算出し、遅延検出閾値の時間窓と運動主体感変容の時間窓を比較するとともに、その相関関係を分析した。

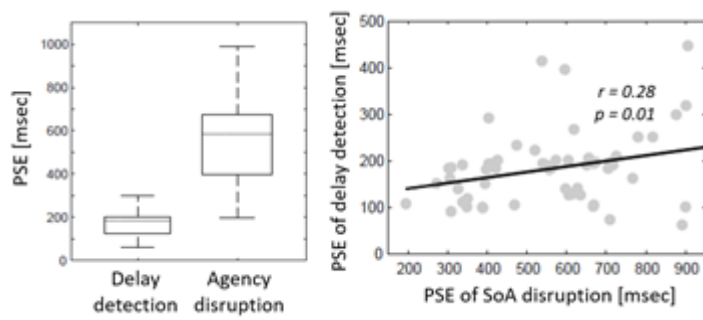


図3左：遅延検出 PSE と運動主体感変容 PSE の比較

右：遅延検出 PSE と運動主体感変容 PSE の相関

その結果、遅延検出時間と運動主体感変容時間との間には有意な差があった ($p < 0.05$)。また、それらは有意な相関関係にあるが ($p < 0.05$)、その効果量は低かった。つまり、遅延検出能力が高ければ高いほど、時間遅延による運動主体感の変容は生じやすいという一定の関係性は認められるものの、運動主体感変容にはそれ以外の要因も考えられることが明らかになった。運動主体感は、運動-感覚の比較照合によって成り立っているが、運動主体感を顕在的に判断するというプロセスには、何らかの認知的要素が大きく関与している可能性がある。本研究では、どのような認知的要素が具体的に関与しているのかは明らかではないが、本研究によってヒトの運動-感覚の誤差検出と運動主体感変容の時間的相違が明らかになった。今後は、このような相違を生じさせる認知的要素を調査していく。

B. 脳卒中後失行症における感覚-運動時間的統合の障害: 遅延視覚フィードバック検出課題と Voxel-based lesion-symptom mapping からの証拠

失行患者と非失行患者に対して、3種類の遅延視覚フィードバック検出課題を実施し、多感覚時間的統合を評価した。Voxel-based lesion-symptom mapping を実施し、失行と多感覚統合機能および病巣との関連を調査した。結果として、失行を有する患者では、感覚-運動時間的統合障害を有していた。病巣分析は、左前頭-頭頂ネットワーク上の左下前頭回および左下頭頂小葉といった病巣が、失行および感覚-運動時間的統合の歪みの両方に有意に関連していることが明らかになった。

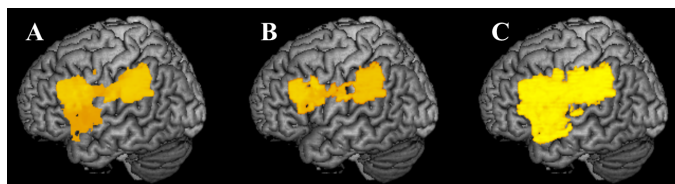


図4：Voxel-based lesion-symptom mapping の結果

(A) 失行重症度による VLSM の結果. (B) 感覚-運動時間的統合の指標（遅延検出閾値）による VLSM の結果. (C) 感覚-運動時間的統合の指標（遅延検出確率曲線の勾配）による VLSM の結果.

C. 確率共鳴による感覚-運動時間的統合機能の改善

本研究では、健常若年成人を対象に、確率共鳴 (Stochastic Resonance: SR) が感覚-運動時間的統合機能および遅延視覚フィードバック下での手運動機能に与える影響を調べた。本研究の目的は、感覚-運動時間的統合障害に対する神経リハビリテーション装置としての SR の有用性を検討することであった。

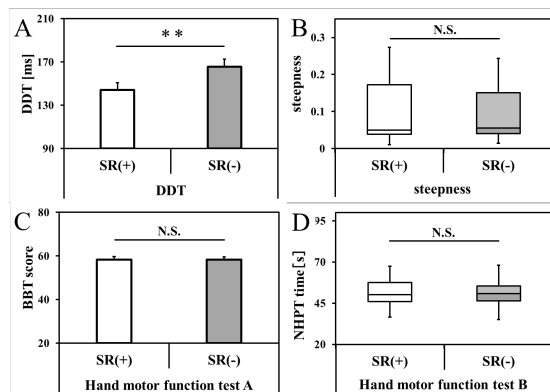


図5：SR オンと SR オフにおける各指標の比較結果

(A) SR オン条件で遅延検出閾値が有意に短縮。

SR オン条件下での遅延検出閾値は、SR オフ条件と比較して有意に短縮された。しかしながら、遅延検出確率曲線の勾配、手運動機能スコアには有意差は認めなかった。本研究は、SR が健常若年成人における感覚-運動時間統合機能を改善することを示した。したがって、SR は感覚-運動時間的統合障害を有する失行などの疾患の症状改善に有効である可能性がある。

IV. おわりに

一連の研究は、感覚-運動統合の時間窓と運動主体感の時間窓が異なること、脳卒中後失行では感覚-運動統合の特異的障害が生じていること、確率共鳴デバイスは感覚-運動統合を即時的に改善することを示した。

REFERENCES

- [1] M. Osumi, S. Nobusako, T. Zama, M. Taniguchi, S. Shimada, S. Morioka, "Sensorimotor incongruence alters limb perception and movement," Hum. Mov. Sci. Vol. 21, September 2017.
- [2] S. Nobusako, M. Osumi, S. Shimada, S. Morioka, et al, "Distortion of Visuo-Motor Temporal Integration in Apraxia: Evidence From Delayed Visual Feedback Detection Tasks and Voxel-Based Lesion-Symptom Mapping," Front Neurol. Vol. 9, August 2018.
- [3] S. Nobusako, M. Osumi, S. Shimada, S. Morioka, et al, "Stochastic resonance improves visuomotor temporal integration in healthy young adults," PLoS One. Vol. 13, December 2018.

2018 年度 活動報告リスト

- 1 日時: 6/27/2017
場所: Clark Memorial Student Center, Hokkaido University, Sapporo, JAPAN
名称: AMAM2017 Special Session: Embodied-Brain Systems Science
内容: AMAM2017 において, Embodied-Brain Systems Science (身体性システム科学) に関する Special Session を企画し, Prof. D. Sternad を Plenary speaker として招聘した。同 Session において, 領域内より講演者を選定し (6 件), 身体性システム科学領域における研究内容を発表した。
- 2 日時: 7/26/2017
場所: 東大本郷 14 号館 713 号室
名称: SoS 研究会
内容: 研究進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 3 日時: 10/24/2017
場所: 東大本郷 14 号館 713 号室
名称: SoS 研究会
内容: 研究進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 4 日時: 11/21/2017
場所: 東大本郷 14 号館 713 室
名称: SoS 研究会
内容: 研究進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 5 日時: 1/11/2018
場所: 東大本郷 14 号館 713 室
名称: SoS 研究会
内容: 研究進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 6 日時: 3/2/2018
場所: 霧島国際ホテル
名称: 手動作の計測解析技術に関する検討
内容: モーションキャプチャーで記録した手の運動のデータの解析方法について、デジタルヒューマンソフトウェア Dhaiba Works を使用しながら、今後の解析の方針について議論を行った。
- 7 日時: 3/2/2018
場所: 霧島国際ホテル
名称: A01-1, A03-4 班共同研究打ち合わせ
内容: 運動主体感の共同研究について、統計学的検討及び ECoG データについて議論し、今後の研究方針を明らかにした。
- 8 日時: 3/4/2018
場所: 両国シティコア
名称: BiNI Perspective Conference 2018
内容: リハビリ団体 BiNI Complex Japan で活動する療法士 55 名を対象として、「自己受容感覚から形成される脳内身体表現とその発達」の講演を行った。
- 9 日時: 3/9/2018
場所: 東京女子医科大学第一生理
名称: A03-5, B03-1, C03-1 共同研究打合せ
内容: 脳梗塞モデル動物の作成手技及び内因性シグナルによるイメージング方法の実演を行い、共同研究開始に向けたシステム移植等の打合せを調整した。
- 10 日時: 4/5/2018
場所: 東京大学 14 号館 330 号室
名称: SoS 研究会
内容: 互いに実験, 研究の進捗の報告を行い, 今後の研究課題についての議論を行った。
- 11 日時: 4/19/2018
場所: NICT 本部 4 号館 2 階大会議室
名称: 平成 30 年度情報通信研究機構表彰式典
内容: 成績優秀表彰優秀賞 (個人) 内藤 栄一
＜脳機能画像法による人間の脳内身体表現の解明に関わる学術的成果とその成果の精力的な社会啓蒙活動＞
運動機能に係る脳情報処理機構に関する研究に取り組み、エキスパートの脳の特徴を解明し、また、脳機能を活用したリハビリテーション技術の実用化研究に大きく貢献するなど、顕著な成果を挙げた。
- 12 日時: 4/19/2018
場所: 湘南慶育病院内研究室
名称: VR リハシステム研究打ち合わせ
内容: 没入型 VR を使用したリハビリテーション支援システムの開発に関する研究打ち合わせを行った。

- 13 日時：4/26/2018
場所：畿央大学森岡研究室
名称：A-C 共同研究打ち合わせ
内容：前頭-頭頂ネットワークの機能解明とリハビリ応用の今後の展開について、A-C 連携の打ち合わせをした。
- 14 日時：4/26/2018
場所：NCNP モデル動物開発研究部
名称：A02 項目研究打ち合わせ
内容：腱付替え実験の解析方法について議論した。
- 15 日時：4/26/2018
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：fMRI のデータ前処理についてディスカッションを行い、方針を決定した。
- 16 日時：5/25/2018
場所：ロイトン札幌一階キャスル
名称：第 59 回日本神経学会学術大会シンポジウム
内容：スポーツ神経学の現状と将来展望～基礎から臨床まで～というシンポジウムで、「超一流サッカー選手の脳活動の特殊性」と題した招待講演を行った。
- 17 日時：5/28/2018
場所：NCNP モデル動物開発研究部
名称：A02 項目研究打ち合わせ
内容：腱付け替え実験および今後の研究内容について議論した。
- 18 日時：6/26/2018
場所：東大本郷 14 号館 713 号室
名称：SoS 研究会
内容：互いに実験、研究の進捗の報告を行い、今後の研究課題についての議論を行った。
- 19 日時：7/23/2018
場所：Web 会議
名称：A01-1、A03-4 研究打ち合わせ
内容：運動主体感の研究について、進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 20 日時：7/24/2018
場所：NCNP 神経研究所モデル動物開発研究部
名称：A02 項目研究打ち合わせ
内容：筋シナジーについて議論した。
- 21 日時：7/24/2018
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：データ品質の担保、改善のための手法や解析の工夫についてディスカッションを行い、方針を決定した。
- 22 日時：7/28/2018
場所：神戸コンベンションセンター
名称：シンポジウム
内容：第 41 回日本神経科学大会において、シンポジウムを行った。
- 23 日時：7/31/2018
場所：ATR
名称：A01-1、A03-4 研究打ち合わせ
内容：運動主体感の疾病研究（脳切除外科手術患者）における fMRI 解析について、議論し今後の検討課題を明らかにした。
- 24 日時：8/3/2018
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：A01C01 研究打ち合わせ
内容：臨床研究開始のための打ち合わせを行った。
- 25 日時：8/9/2018
場所：東大本郷 14 号館 330 号室
名称：SoS 研究会
内容：互いに実験、研究の進捗の報告を行い、今後の研究課題についての議論を行った。
- 26 日時：8/15/2018
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：A01C02 研究打ち合わせ
内容：脳波を使ったニューロフィードバックシステム構築を行った。

- 27 日時：8/20/2018
場所：Web 会議
名称：A01-1、A03-4 研究打ち合わせ
内容：運動主体感の研究について、進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 28 日時：8/23/2018
場所：済生会東神奈川リハビリテーション病院
名称：済生会東神奈川リハビリテーション病院勉強会
内容：「自己運動錯覚誘導システム (KiNvis) の基礎、臨床応用について」というテーマで講演した。
- 29 日時：9/1/2018
場所：ホテル金沢
名称：招待講演
内容：日本リハビリテーション医学会 第 44 回北陸地方会生涯教育研修会にて、「自己受容感覚の運動制御と自己身体認知への貢献」という招待講演を行った。
- 30 日時：9/9/2018
場所：首都大学東京
名称：東京臨床理学療法研究会
内容：「神経科学基盤的リハの基礎と臨床」をテーマに講演した。
- 31 日時：9/12/2018
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：前処理後の解析結果についてディスカッションを行い、解析手法について検討した。
- 32 日時：9/19/2018
場所：Web 会議
名称：A01-1、A03-4 研究打ち合わせ
内容：運動主体感の研究について、進捗の確認と今後の検討課題について議論した。
- 33 日時：10/11/2018
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：一部解析を終了したデータから得られた結果について検討した。
- 34 日時：10/31/2018
場所：東大本郷 14 号館 330 室
名称：SoS 研究会
内容：互いに研究、実験の進捗の報告を行い、今後の研究課題についての議論を行った。
- 35 日時：11/12/2018
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：最終的に得られた研究データの解析手法について再度確認・検討を行った。
- 36 日時：1/7/2019
場所：東大本郷 14 号館 330 号室
名称：SoS 研究会
内容：互いに研究、実験の進捗の報告を行い、今後の研究課題についての議論を行った。
- 37 日時：1/7/2019
場所：国際医療福祉大学
名称：第 100 回理学療法科学学会学術大会
内容：「理学療法におけるトランスリレーショナルリサーチの実践」をテーマに講演した。
- 38 日時：1/11/2019
場所：CiNet 大会議室
名称：CiNet Friday Lunch Seminar
内容：近畿大学医学部・村田哲先生に、Neural bases of the body in the parietal cortex というご講演をいただき、議論した。
- 39 日時：1/19/2019
場所：済生会東神奈川リハビリテーション病院
名称：第 3 回済生会リハビリテーション研究会
内容：「麻痺手に対する自己運動錯覚の機序と臨床」をテーマに講演した。
- 40 日時：1/22/2019
場所：慶應義塾大学
名称：web ミーティング
内容：得られたデータについて、Granger Causality 解析に関する議論を行った。

H30 年度 研究業績リスト

学術論文（英文誌）

1. D. Owaki and A. Ishiguro
A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions from Walking to Trotting to Galloping
Scientific Reports 2017 7:277, doi: 10.1038/s41598-017-00348-9
2. T. Ikegami
Shared mechanisms in the estimation of self-generated actions and the prediction of other's actions by humans
eNeuro 2017 DOI: <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0341-17>
3. S. Hamasaki, Q. An, M. Murabayashi, Y. Tamura, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama
Evaluation of the Effect of Prime Stimulus on Sense of Agency in Stop Operation of the Object in Circular Motion
Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics 2017 Vol. 21, No. 7, pp. 1161-1171
4. W. Wen, D. Tomoi, H. Yamakawa, S. Hamasaki, K. Takakusaki, Q. An, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
Continuous Estimation of Stress Using Physiological Signals during a Car Race
Psychology 2017 Vol. 8, pp. 978-986
5. Wen, W. & Haggard, P.
Control changes the way we look at the world
Journal of Cognitive Neuroscience 2018 vol. 30, no. 4, pp. 603-619
6. Wen, W., Brann, E., Di Costa, S., & Haggard, P.
Enhanced perceptual processing of self-generated motion: Evidence from steady-state visual evoked Potentials
NeuroImage 2018 vol. 175, pp. 438-448
7. Kamada K, Ogawa H, Kapeller C, Prueckl R, Hiroshima S, Tamura Y, Takeuchi F, Guger C
Disconnection of the pathological connectome for multi-focal epilepsy surgery
J Neurosurgery 2017 Epub ahead of print
8. Prueckl R, Kapeller C, Gruenwald J, Ogawa H, Kamada K, Korostenskaja M, Swift J, Scharinger J, Edlinger G, Guger C
Passive functional mapping guides electrical cortical stimulation for efficient determination of eloquent cortex in epilepsy patients
39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2017 Jul;2017, pp. 4163-4166
9. Kapeller C, Ogawa H, Schalk G, Kunii N, Coon WG, Scharinger J, Guger C, Kamada K
Real-Time Detection and Discrimination of Visual Perception Using Electrocorticographic Signals
J Neural Engineering 2018 Vol. 15, No. 3, 036001 (16pp)
10. S. Imaizumi, T. Asai, K. Hiromitsu, and H. Imamizu
Voluntarily controlled but not merely observed visual feedback affects postural sway
PeerJ 2018 Vol. 6, e4643
11. C. Cai, K. Ogawa, T. Kochiyama, H. Tanaka, and H. Imamizu
Temporal recalibration of motor and visual potentials in lag adaptation in voluntary movement
NeuroImage 2018 Vol. 172, pp. 654-662
12. T. Ikegami, G. Ganesh, T. Takeuchi, H. Nakamoto
Prediction error induced motor contagions in human behaviors
eLife 2018 7:e33392
13. G. Ganesh, K. Nakamura, S. Saetia, A. Mejia Tobar, E. Yoshida, H. Ando, N. Yoshimura, Y. Koike
Utilizing sensory prediction errors for movement intention decoding: a new methodology
Science Advances 2018 Vol. 4, No. 5, pp. 1-8
14. L. Minati, M. Frasca, N. Yoshimura, and Y. Koike
Versatile locomotion control of a hexapod robot using a hierarchical network of non-linear oscillator circuits
IEEE Access 2018 Vol. 4, pp. 1-24
15. A. Mejia Tobar, Y. Ogata, K. Kita, T. Nakamura, H. Kambara, T. Hanakawa, Y. Koike and N. Yoshimura
Effect of the EEG Sensor Number on the Current-Source Decoder Performance based on a variational Bayesian method (VBMEG)
International Journal of Engineering Research and Allied Sciences 2018 Vol. 3, Issue 5, pp. 25-29
16. M. Otori, S. Shibuya, T. Nakajima, T. Endoh, S. Suzuki, S. Irie, R. Ariyasu, S. Unenaka, H. Sano, K. Igarashi, S. Ichimura, and Y. Ohki
Hand Dexterity Impairment in Patients with Cervical Myelopathy: A New Quantitative Assessment Using a Natural Prehension Movement
Behavioral Neurology 2018 Jul 4;2018:5138234
17. T. Yamada, H. Kawaguchi, J. Kato, K. Matsuda, N. Higo
Functional near-infrared spectroscopy for monitoring macaque cerebral motor activity during voluntary movements without head fixation
Scientific Reports 2018 Vol. 8:11941
18. Sabu H, Morita T, Takahashi H, Naito E and Asada M
Being a leader in a rhythmic interaction activates reward-related brain regions
Neuroscience Research 2018 doi: 10.1016/j.neures.2018.08.009
19. Hirose S, Nambu I and Naito E

Cortical activation associated with motor preparation can be used to predict the freely chosen effector of an upcoming movement and reflects response time: An fMRI decoding study
Neuroimage 2018 Vol 183 pp. 584-596

20. Nobusako S, Sakai A, Tsujimoto T, Shuto T, Nishi Y, Asano D, Furukawa E, Zama T, Osumi M, Shimada S, Morioka S, Nakai A
 Manual Dexterity Is a Strong Predictor of Visuo-Motor Temporal Integration in Children
Frontiers in Psychology 2018 Vol.12, No.9
21. Nobusako S, Ishibashi R, Takamura Y, Oda E, Tanigashira Y, Kouno M, Tominaga T, Ishibashi Y, Okuno H, Nobusako K, Zama T, Osumi M, Shimada S and Morioka S
 Distortion of Visuo-Motor Temporal Integration in Apraxia: Evidence From Delayed Visual Feedback Detection Tasks and Voxel-Based Lesion-Symptom Mapping
Frontiers in Neurology 2018 Vol.6, No.9, 709
22. Vu Ngoc Thanh Sang, Shiro Yano, and Toshiyuki Kondo
 On-Body Sensor Positions Hierarchical Classification
Sensors 2018 18(11), 3612; doi.org/10.3390/s18113612
23. S. Unenaka, S. Ikudome, S. Mori, and H. Nakamoto
 Concurrent Imitative Movement During Action Observation Facilitates Accuracy of Outcome Prediction in Less-Skilled Performers *Frontiers in Psychology* 2018 9:1262
24. S. Shibuya, S. Unenaka, and Y. Ohki
 The Relationship Between the Virtual Hand Illusion and Motor Performance
Frontiers in Psychology 2018 9:2242
25. Wen, W., Minohara, R., Hamasaki, S., Maeda, T., An, Q., Tamura, Y., Yamakawa, H., Yamashita, A., & Asama, H.
 The readiness potential reflects the reliability of action consequence
Scientific Reports 2018 vol. 8, article number: 11865
26. Aizu N, Oouchida Y, Izumi SI
 Time-dependent decline of body-specific attention to the paretic limb in chronic stroke patients.
Neurology 2018 91(8), pp.e751-e758
27. Mayumi Nagai, Naofumi Tanaka, Yutaka Oouchida, Shin-Ichi Izumi
 Effect of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation on a Child with Involuntary Movement after Hypoxic Encephalopathy *Case Reports in Medicine* 2018 pp.1-5
28. S. Fujiki, S. Aoi, T. Funato, Y. Sato, K. Tsuchiya, and D. Yanagihara
 Adaptive hindlimb split-belt treadmill walking in rats by controlling basic muscle activation patterns via phase resetting *Scientific Reports* 2018 Vol 8, 17341
29. Higo N, Sato A, Yamamoto T, Oishi T, Nishimura Y, Murata Y, Onoe, H, Isa T, Kojima T
 Comprehensive analysis of area-specific and time-dependent changes in gene expression in the motor cortex of macaque monkeys during recovery from spinal cord injury.
Journal of Comparative Neurology 2018 Vol. 526, p.1110-1130
30. Hama A, Natsume T, Ogawa S, Higo N, Hayashi I, Takamatsu H
 Gaps in understanding mechanism and lack of treatments: potential use of a nonhuman primate model of oxaliplatin-induced neuropathic pain.
Pain Research and Management 2018 Article ID 1630709, 11 pages
31. H. Kogami, Q. An, N. Yang, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, H. Asama, S. Shimoda, H. Yamasaki, M. Itkonen, F.S. Alnajjar, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune, and I. Miyai
 Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure during Standing-up Motion of Hemiplegic Patients *IEEE Robotics and Automation Letters* 2018 Vol. 3, No. 3, pp.2229-2236
32. Q. An, Y. Ishikawa, S. Ishiguro, K. Ohata, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
 Skill Abstraction of Physical Therapist in Hemiplegia Patients Rehabilitation Using A Walking Assist Robot *International Journal of Automation Technology* 2018 Vol. 13, No 2
33. Q. An, J. Nakagawa, J. Yasuda, W. Wen, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama
 Skill Extraction from Nursing Care Service using Sliding Sheet
International Journal of Automation Technology 2018 Vol. 12, No. 4, pp. 533-541
34. Aizu N, Oouchida Y, Izumi SI
 Time-dependent decline of body-specific attention to the paretic limb in chronic stroke patients.
Neurology 2018 91(8),e751-e758
35. Takeuchi N, Mori T, Suzukamo Y, Izumi SI
 Modulation of Excitability in the Temporoparietal Junction Relieves Virtual Reality Sickness.
Cyberpsychology, behavior and social networking 2018 21(6),381-387
36. Ota N, Matsukawa H, Noda K, Sato H, Hatano Y, Hashimoto A, Miyazaki T, Kondo T, Kinoshita Y, Saito N, Kamiyama H, Tokuda S, Kamada K, Tanikawa R
 Evaluation of Microsurgery for Managing Giant or Complex Cerebral Aneurysms: A Retrospective Study
World Neurosurg. 2018 115:e190-e199
37. Saito M, Saga T, Hayashi H, Shohei N, Wada H, Kamada K
 Quantitative blood flow assessment by multiparameter analysis of indocyanine green video angiography.
World Neurosurg. 2018 116:e187-e193
38. Kodama K, Ishii T, Sakamoto K, Fukunaga Y, Ohta U, Kitajima Y, Anei R, Takeuchi F, Ishizuka M, Tanaka T, Kamada K
 5-aminolevulinic acid-induced protoporphyrin IX accumulation does not correlate with ferrochelatase activity in brain tumors. *ALA-Porphyrin Science* 2018 Vol.7 No.1, pp13 -23
39. Sekiguchi Y, Muraki T, Owaki D, Honda K, Izumi SI

Regulation of quasi-joint stiffness by combination of activation of ankle muscles in midstances during gait in patients with hemiparesis. *Gait & posture* 2018 62,378-383

40. Mori T, Takeuchi N, Izumi SI
Prefrontal cortex activation during a dual task in patients with stroke.
Gait & posture 2018 59,193-198
41. Nagai M, Tanaka N, Oouchida Y, Izumi SI
Effect of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation on a Child with Involuntary Movement after Hypoxic Encephalopathy. *Case reports in medicine* 2018 20188934253
42. Lee K, Oh Y, Izawa J, Schweighofer N.
Sensory prediction errors, not performance errors, update memories in visuomotor adaptation
Scientific reports 2018 8
43. Katayama O, Tsukamoto T, Osumi M, Kodama T, Morioka S
Neural mechanism of altered limb perceptions caused by temporal sensorimotor incongruence
Front Behav Neurosci 2018 No. 20
44. Kento Suzuki, Toshio Aoyagi and Katsunori Kitano
Bayesian estimation of phase dynamics based on partially sampled spikes generated by realistic model neurons *Frontiers in Computational Neuroscience* 2018 vol.11, 116
45. Takayuki Onojima, Takahiro Goto, Hiroaki Mizuhara and Toshio Aoyagi
A dynamical systems approach for estimating phase interactions between rhythms of different frequencies from experimental data *PLOS Computational Biology* 2018 14(1), e1005928
46. M. Yamashita, Y. Yoshihara, R. Hashimoto, N. Yahata, N. Ichikawa, Y. Sakai, T. Yamada, N. Matsukawa, G. Okada, S.C.Tanaka, K. Kasai, N. Kato, Y. Okamoto, B. Seymour, H. Takahashi, M. Kawato, and H. Imamizu
A prediction model of working memory across health and psychiatric disease using whole-brain functional connectivity *eLife* 2018 Vol. 7, e38844
47. Shuichiro Neshige, Masao Matsushashi, Katsuya Kobayashi, Takeyo Sakurai, Akihiro Shimotake, Takefumi Hitomi, Takayuki Kikuchi, Kazumichi Yoshida, Takeharu Kunieda, Riki Matsumoto, Ryosuke Takahashi, Susumu Miyamoto, Hirofumi Maruyama, Masayasu Matsumoto, A
Multi-component intrinsic brain activities as a safe, alternative to cortical stimulation for sensori-motor mapping in neurosurgery *Clinical Neurophysiology* 2018 Volume 129, Issue 9, pp 2038-2048
48. S.Hamasaki, Q. An, W. Wen, Y. Tamura, H.Yamakawa, S. Unenaka, S. Shibuyua, Y. Ohki, A. Yamashita and H. Asama
Changes in Body Representation of the Human Upper Limb as a Function of Movement and Visual Hand Position
Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics 2019 Vol.23, No.2
49. Kita K, Rokicki J, Furuya S, Sakamoto T, *Hanakawa T
Resting-state basal ganglia connectivity codes a motor musical skill and its disruption from dystonia
Mov Disord 2018 33(9): 1472-1480
50. Kasahara K, Hoshino H, Furusawa Y, DaSalla CS, Honda M, Murata M, *Hanakawa T
Initial experience with a sensorimotor rhythm-based brain-computer interface in a Parkinson's disease patient *Brain Computer Interfaces* 2018 5(2-3): 88-96
51. Furuya S, Uehara K, Sakamoto T, *Hanakawa T
Aberrant cortical excitability explains the loss of hand dexterity in musicians' dystonia
J Physiol 2018 596(12): 2397-2411
52. Morioka S, Hayashida K, Nishi Y, Negi Y, Nishi Y, Osumi M, Nobusako S
Changes in intentional binding effect during a novel perceptual-motor task.
Peer J 2018 DOI 10.7717/peerj.6066
53. Nobusako S, Osumi M, Matsuo A, Fukuchi T, Nakai A, Zama T, Shimada S, Morioka S
Stochastic resonance improves visuomotor temporal integration in healthy young adults.
PLoS ONE 2018 Vol.13, No.12
54. Ohmatsu S, Takamura Y, Fujii S, Tanaka K, Morioka S, Kawashima N
Visual search pattern during free viewing of horizontally flipped images in patients with unilateral spatial neglect *Cortex* 2019 Vol.113, No83-95
55. Katayama O, Nishi Y, Osumi M, Takamura Y, Kodama T, Morioka S.
Neural activities behind the influence of sensorimotor incongruence on dysesthesia and motor control.
Neuroscience Letters 2019 Vol. 698, No. 19-26
56. Sigetoh H, Osumi M, Morioka S
Experimental Pain Is Alleviated by Manual Traction Itself Rather than Subjective Bias in the Knee: A Signal Detection Analysis *Pain Medicine* 2019 doi: 10.1093/pm/pny290
57. Shuichiro Neshige, Katsuya Kobayashi, Masao Matsushashi Takefumi Hitomi, Akihiro Shimotake, Takayuki Kikuchi, Kazumichi Yoshida, Takeharu Kunieda, Riki Matsumoto, Ryosuke Takahashi, Susumu Miyamoto, Hirofumi Maruyama, Akio Ikeda
A rational, multi-spectrum mapping algorithm for primary motor cortex: a primary step before cortical Stimulation *Epilepsia* 2019 in press
58. K. Matsumiya
Separate multisensory integration processes for ownership and localization of body parts
Scientific Reports 2019 Vol. 9, Article number 652, pp. 1-9
59. T. Aoyama, H. Shikida, R. Schatz II and Y. Hasegawa
Operational learning with sensory feedback for controlling a robotic thumb using the posterior auricular muscle *Advanced Robotics* 2019 Vol.33

60. Tanaka, H., Miyakoshi, M., & Makeig, S.
Dynamics of directional tuning and reference frames in humans: A high-density EEG study
Scientific reports 2018 8(1), 8205.
61. Tanaka, H., Ishikawa, T., & Kakei, S.
Neural Evidence of the Cerebellum as a State Predictor The Cerebellum 2019 1-23.
62. S. Aoi, T. Ohashi, R. Bamba, S. Fujiki, D. Tamura, T. Funato, K. Senda, Y. Ivanenko, and K. Tsuchiya
Neuromusculoskeletal model that walks and runs across a speed range with a few motor control
parameter changes based on the muscle synergy hypothesis Scientific Reports 2019 9:369
63. S. Nobusako, A. Sakai, T. Tsujimoto, T. Shuto, Y. Nishi, D. Asano, E. Furukawa, T. Zama, M. Osumi, S. Shimada, S. Morioka, A. Nakai.
Deficits in Visuo-Motor Temporal Integration Impacts Manual Dexterity in Probable Developmental
Coordination Disorder Frontiers in Neurology 2018 9: 114.
64. S. Togo, T. Itahashi, R. Hashimoto, C. Cai, C. Kanai, N. Kato, and H. Imamizu
Fourth finger dependence of high-functioning autism spectrum disorder in multi-digit force
Coordination Scientific Reports 2019 in press
65. L. Minati, N. Yoshimura, M. Frasca, S. Drozd, Y. Koike
Warped phase coherence: an empirical synchronization measure combining phase and amplitude
Information Chaos 2019 publication in February (TBD)
66. Takakusaki K, Takahashi M, Nakajima T, Chiba R, Obara K, Nozu T, Okumura T
A hypothesis for understanding mechanisms of normal and abnormal behavior states based on operation
hypothesis Sleep Medicine Disorders International Journal 2018 Vol.2, No.1. 00031
67. Nozu T, Miyagishi S, Nozu R, Takakusaki K, Okumura T.
Repeated water avoidance stress induces visceral hypersensitivity: Role of interleukin-1, interleukin-6,
and peripheral corticotropin-releasing factor.
Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2017 Vol.32, No 22, pp. 1958-1965
68. Nozu T, Miyagishi S, Kumei S, Nozu R, Takakusaki K, Okumura T.
Glucagon-like peptide-1 analog, liraglutide, improves visceral sensation and gut permeability in rats.
Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2017 Vol.33, No 1, pp 232-239
69. Nozu T, Miyagishi S, Kumei S, Nozu R, Takakusaki K, Okumura T.
Lovastatin inhibits visceral allodynia and increased colonic permeability induced by lipopolysaccharide
or repeated water avoidance stress in rats.
European Journal of Pharmacology 2018 Vol. 818, pp. 228-234.
70. Okumura T, Nozu T, Kumei S, Takakusaki K, Ohhira M.
Ghrelin acts centrally to induce an antinociceptive action during colonic distension through the
orexinergic, dopaminergic and opioid systems in conscious rats.
Brain Research 2018 Vol. 1686, pp. 48-54
71. Nozu T, Miyagishi S, Kumei S, Nozu R, Takakusaki K, Okumura T.
Metformin inhibits visceral allodynia and increased gut permeability induced by stress in rats.
Journal of Gastroenterology and Hepatology 2019 Vol. 34, No 1, pp. 186-193
72. Nozu T, Miyagishi S, Nozu R, Takakusaki K, Toshikatsu O.
Altered colonic sensory and barrier functions by CRF: roles of TLR4 and IL-1.
Journal of Endocrinology 2018 pii: JOE-18-0441
73. Nozu T, Miyagishi S, Nozu R, Takakusaki K, Okumura T.
Pioglitazone improves visceral sensation and colonic permeability in a rat model of irritable bowel
syndrome Journal of Pharmacological Science 2019 Vol. 139, No 1, pp. 46-49
74. Kangwoo Lee, Youngmin Oh, Jun Izawa & Nicolas Schweighofer
Sensory prediction errors, not performance errors, update memories in visuomotor adaptation
Scientific Reports 2018 8, 16483
75. Kahori Kita, Rieko Osu, Chihiro Hosoda, Manabu Honda, Takashi Hanakawa, Jun Izawa
Neuroanatomical Basis of Individuality in Muscle Tuning Function: Neural correlates of muscle tuning
Frontiers in Behavioral Neuroscience 2019 accepted

学術論文（和文誌）

1. 大脇 大, 関口雄介, 本田啓太
モデルベーストリハビリティーションの基盤となるロボティクス技術 -医工学連携研究を効果的に推進するための「マナ
ー」と「コツ」-
日本ロボット学会誌 2017 vol. 35, pp. 29-34
2. 大脇大
脚式ロコモーションに内在する制御メカニズムの解明を目指して
日本神経回路学会誌 2017 Vol. 24, No. 4, pp. 162-171
3. 嵯峨健広, 鎌田恭輔
術中脳灌流画像の新展開
Annual Review 神経 2018 2018 pp. 82-88
4. 今水 寛

5. 森岡 周
慢性疼痛の病態を説明する脳内メカニズム：認知の歪みと身体意識の変容を中心に
ペインクリニック 2018 Vol. 39, No. 4, pp. 25-34
6. 森岡 周
神経科学的知見から課題指向型リハビリテーションを考える
臨床リハ 2018 Vol. 27, No. 6, pp. 517-523
7. 内藤栄一
アスリートの fMRI：ネイマール選手の脳の効率的な足運動制御
Clinical Neuroscience 誌 2018 Vol. 36, No. 10, pp. 1227-1230
8. 松宮一道
眼球運動と視知覚
視覚の科学 2018 Vol. 39, No. 2, pp. 21-26
9. 大内田裕
幻肢・幻肢痛を通してみる身体知覚
基礎心理学研究 2017 36(1), pp. 142-147
10. 大内田 裕, 須藤 珠水, 出江 紳一
リハビリテーションにおける脳内身体表現と評価指標
計測と制御 2017 56(3), pp. 181-186
11. 肥後範行
脳損傷後の神経可塑性—運動がもたらす効果と科学的根拠—The effects of motor training on neural plasticity after brain damage
理学療法の科学と研究 2017 vol. 8 (1), p. 3-7
12. 肥後範行
脳卒中後疼痛モデル動物を用いた疼痛発生メカニズム解明
ペインクリニック 2018 vol. 39 (7), p. 847-853
13. 肥後範行
脳損傷後の運動訓練がもたらす神経システムの可塑的变化：サル脳損傷モデルによる知見
Japanese Journal of Rehabilitation Medicine 2018 vol. 55 (10), p. 865-868
14. 森仁, 八島建樹, 小助川博之, 出江紳一, 高木敏行
舌骨上筋群の収縮誘導を目的とした磁気刺激コイルの試作
バイオメカニズム論文集 2018 24, pp. 79-88
15. 竹内直行, 出江紳一
オーバービュー：課題指向型リハビリテーションの歴史的展開
Journal of CLINICAL REHABILITATION 2018 27(6), 510-515
16. 鎌田恭輔
脳皮質電位解読による運動・視覚機能マッピングと読取り
バイオメカニズム 24—研究成果の活用— 2018 1-4
17. 今井亮太, 石垣智也, 森岡 周
運動と脳科学
脳の看護実践 2018 No. 10
18. 今井亮太, 大住倫弘, 森岡周
急性疼痛時における慢性化予防を目的とした理学療法
日本運動器疼痛学会誌 2018 Vol. 10, No. 2
19. 石垣智也, 森岡 周
前頭前野の脳科学
脳の看護実践 2018 No. 7
20. 金子文成
拡張現実リハビリテーション—視覚誘導性自己運動錯覚の臨床応用
Clinical Neuroscience 2018, Vol. 36, No. 11, pp. 1368-1370
21. 柴田恵理子, 金子文成, 奥山航平
Brain-Machine Interface への応用を目的とした視覚誘導性自己運動錯覚中の脳波解析
バイオメカニズム 2018 Vol. 24, pp. 49-57
22. 米岡, 宮田, 前田
母指の関節可動域と姿勢不快度の計測・解析
日本機械学会論文集 2018 第 84 巻, 864 号, PaperID 18-00055
23. 迎田 隆幸, 島 圭介
隠れマルコフモデルに基づく未学習クラスの推定法と時系列生体信号の識別
計測自動制御学会論文集 2018 Vol. 54, No. 1, pp. 9-15.
24. 石垣智也, 森岡 周
大脳基底核の脳科学
脳の実践看護 2019 No. 1
25. 神原裕行, 宮腰誠, 田中宏和, 香川高弘, 吉村奈津江, 小池康晴, マケイグスコット
ジャグリング動作中の脳波信号解析
電子情報通信学会技術研究報告 2017 vol. 117, no. 361
26. 会津直樹, 大内田裕, 村木孝行, 山本宣幸, 出江紳一

皮膚温変化が治療経過を反映した複合性局所疼痛症候群の一例 一患肢の無視様症状に着目してー
理学療法ジャーナル 2019 53(2)

27. 松本理器, 下竹昭寛, 山尾幸広, 菊池隆幸, 國枝武治
てんかんの治療戦略: てんかん外科における言語機能温存へ向けた試み
2018, Vol. 34, No. 2, pp. 124-134

国際会議 講演・発表

1. Y. Sekiguchi, D. Owaki, K. Honda, N. Hiroi, K. Fukushi, T. Nozaki, and S. Izumi
Effect of a new hip orthosis on unilateral side with various stiffness on gait in healthy control
Gait and Clinical Movement Analysis Society (GCMAS) 22th Annual Meeting
Salt Lake City, USA 2017
2. Y. Sekiguchi, T. Muraki, Dai Owaki, K. Honda, and S. Izumi
Categorization of Gait Pattern Based on Ankle and Hip Stiffness during gait in Patients with Hemiparesis due to Stroke
Gait and Clinical Movement Analysis Society (GCMAS) 22th Annual Meeting
Salt Lake City, USA 2017
3. D. Owaki, Y. Sekiguchi, K. Honda, N. Aizu, Y. Oouchida, A. Ishiguro, and S. Izumi
Walking Rehabilitation Using Auditory Biofeedback Prosthesis for Stroke Patients
AMAM2017 Sapporo, Japan 2017
4. D. Owaki
Inter and intralimb coordination for adaptive bipedal walking: Tegotae-based approach
SWARM2017 Workshop on Bio-inspired control for interlimb coordination and adaptation in legged robots Kyoto, Japan 2017
5. S. Yun, W. Wen, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
Investigating the relationship between driver's sense of agency and EEG: mu-rhythm is more suppressed in higher SoA case
Proc. IEEE Int. Symp. Micromechatronics and Human Science (MHS2017) Nagoya, Japan 2017
6. S. Yun, W. Wen, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
Investigating the relationship between driver's sense of agency and EEG: mu-rhythm is more suppressed in higher SoA case
28th 2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science(MHS2017)
Nagoya, Japan 2017
7. S. Yun, W. W, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
Investigating the relationship between driver's sense of agency and EEG: mu-rhythm is more suppressed in higher SoA case
IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2017)
Nagoya, Japan 2017
8. N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, K. Takahashi, M. Kinomoto, H. Yamasaki, M. Itkonen, F.S.K. Alnajjar, S. Shimoda, H. Asama, N. Hattori, and I. Miyai
Clarification of Muscle Synergy Structure During Standing-up Motion of Healthy Young, Elderly and Post-Stroke Patients
15th IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics London, UK 2017
9. Kamada K
Super-passive mapping for language-related functions during awake craniotomy
Brain and Cognitive Science Meeting Seoul, Korea 2018
10. Kamada K
Cerebrovascular surgery in posterior fossa using multi-spectrum fluorescence angiography
2018 China-Japan Cerebrovascular Disease Forum Tokyo 2018
11. Kamada K
Dynamics of High Frequency Oscillations between Visual Recognition and Receptive/Expressive Language Functions
50 Years of MEG Poros, Greece 2018
12. S. Imaizumi, and H. Imamizu
Intentional binding in action-effect alternations
22nd Annual Meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC22)
Jagiellonian University, Krakow (Poland) 2018
13. R. Ohata, T. Asai, H. Kadota, H. Shigemasu, K. Ogawa, and H. Imamizu
Decoding self-other action attribution in the sensorimotor and the parietal cortices
11th Federation of European Neuroscience Societies (FENS) Forum of Neuroscience
Berlin, Germany 2018
14. Morioka S, et al.
The relationship between motor imagery ability and motor function, and frequency of body use in upper limb stroke hemiplegia
12th the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (ISPRM) World Congress
Paris 2018
15. Hayashida K, Morioka S et al.
Effects of sharing goals with others on sense of agency and perceptual motor learning

International Society of Electrophysiology & Kinesiology Dublin 2018

16. Katayama O, Tsukamoto T, Osumi M, Kodama T, Morioka S
Neural processing mechanism of embodied disturbance caused by sensorimotor incongruence
The 17th World Congress on Pain® Boston 2018
17. R. Chiba (Invited)
Embodied-Brain Systems and Understandings of Postural Control with modeling
The 1st Korea-China-Japan International Symposium on Disability Overcome Seoul, Korea 2018
18. Kubota S, Sidikejiang W, Kudo M, Inoue K, Umeda T, Takada M, Seki K
Optogenetic activation of cutaneous and proprioceptive afferent in the rat sciatic nerve.
Society for Neuroscience 2018 San Diego, USA. 2018
19. Oouchida Yutaka, Ortiz-Catalan Max, Sudo Tamami, Inamura Tetsunari, Ohki Yukari, and Izumi Shin-ichi
EMG Biofeedback Training Improves Motor Impairment of Mental Disease: A Case Study of Conversion Disorder
40th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
Hawaii, USA 2018
20. S. Yun, W. Wen, Q. An, S. Hamasaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama
Investigating the Relationship Between Assisted Driver's SoA and EEG
International Conference on NeuroRehabilitation Pisa, Italy 2018
21. Kamada K
Passive Mapping and Monitoring ICG-VG / ECoG for Neurosurgery
Lecture for Neurosurgery:Neurosurgery, Ground Round, Stanford University Morning conference
Stanford,USA 2018
22. Kamada K
Lecture for Neurosurgical Residents: Neurosurgery with Academia
Neurosurgery. Ground Round, Stanford University Stanford,USA 2018
23. Kamada K
Rehabilitation with recoveriX and its positive effects on fMRI in stroke patients
2018 BCI Meeting Asilomar, USA 2018
24. Kamada K
Clinical needs for quantitative evaluation of "Consciousness"
2018 BCI Meeting Asilomar, USA 2018
25. Kamada K
Passive Mapping and Monitoring using ECoG for Neurosurgery
2018 BCI Meeting Asilomar, USA 2018
26. Kamada K
Rehabilitation with recoveriX and fMRI evaluation for acute stroke patients
2nd recoveriX & mindBEAGLE conference 2018 London 2018
27. Kamada K
Treatment and Rehabilitation with recoveriX for acute stroke patients
BCI Workshop, BCI for stroke rehabilitation Honolulu, USA 2018
28. Kamada K
Characterization and Decoding with Intracranial Recording
EMBC Preconference BCI workshop Honolulu, USA 2018
29. Kamada K
Rehabilitation with recoveriX and its positive effects on fMRI in acute stroke patients
EMBC Preconference BCI Workshop Honolulu, USA 2018
30. Kamada K
ECoG-based Passive Functional Brain Mapping
EMBC 2018 Honolulu, USA 2018
31. Kamada K
Basic and advanced functional Brain Mapping/Monitoring for tumor surgery
SNSA CONGRESS 2018 Sun City, South Africa 2018
32. Kamada K
Clinical Impact of Real-time Monitoring for Deep-seated Brain Pathology
SNSA CONGRESS 2018 Sun City, South Africa 2018
33. Kamada K
Multi-spectrum Indocyanine Green Videography for CNS Vascular Pathology
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
34. Kamada K
Real-time Passive Language Mapping for Awake Craniotomy
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
35. Kamada K
Basics and Characteristics of Microscope for Vascular Disease
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
36. Kamada K
Non-invasive and invasive Brain-Computer Interfaces for medical application and research projects

- IEEE SMC2018 Miyazaki, Japan 2018
37. Kamada K
Passive Mapping and Monitoring using ECoG for Neurosurgery
2018 BCI meeting Asilomar, USA 2018
 38. Kamada K
Rehabilitation with recoveriX and fMRI evaluation for acute stroke patients
2nd recoveriX & mindBEAGLE conference 2018 London 2018
 39. Kamada K
Treatment and Rehabilitation with recoveriX for acute stroke patients
BCI Workshop BCI for stroke rehabilitation Honolulu, USA 2018
 40. F Kaneko, K Shindo, M Yoneta, M Okawada, K Akaboshi, M Liu
Comparison of functional brain connectivity before and after complex approach of KiNvis and BMI to patients with severely impaired chronic stroke. -A primary analysis of the resting state functional MRI-
Society for Neuroscience San diego, USA 2018
 41. M Okawada, F Kaneko, K Shindo, M Yoneta, K Akaboshi, M Liu
Relationship between EEG during motor imagery and upper limb function after the intervention with KiNvis and EEG-based BCI in patients with severe upper limb paralysis after stroke.
Society for Neuroscience San diego, USA 2018
 42. Fuminari Kaneko, Keiichiro Shindo, Megumi Okawada, Masaki Yoneta, Kazuto Akaboshi, Meigen Liu
Convergent approach including cognitive and physiological Stimulation for sensory-motor functional improvement in chronic stroke: A case report
ISPRM 2018 Paris, France 2018
 43. Kamada K
Characterization and Decoding with Intracranial Recording
EMBC Preconference BCI workshop Honolulu, USA 2018
 44. Kamada K
Rehabilitation with recoveriX and its positive effects on fMRI in acute stroke patients
EMBC Preconference BCI Workshop Honolulu, USA 2018
 45. Kamada K
ECoG-based Passive Functional Brain Mapping
EMBC 2018 Honolulu, USA 2018
 46. Kamada K
Basic and advanced functional Brain Mapping/Monitoring for tumor surgery
SNSA CONGRESS 2018 Sun City, South Africa 2018
 47. Kamada K
Clinical Impact of Real-time Monitoring for Deep-seated Brain Pathology
SNSA CONGRESS 2018 Sun City, South Africa 2018
 48. Kamada K
Multi-spectrum Indocyanin Green Videography for CNS Vascular Pathology
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
 49. Kamada K
Real-time Passive Language Mapping for Awake Craniotomy
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
 50. Kamada K
Basics and Characteristics of Microscope for Vascular Disease
WFNS FOUNDATION & ACNS MYANMAR SEMINAR YANGON
Yangon, Myanmar 2018
 51. Kamada K
Non-invasive and invasive Brain-Computer Interfaces for medical application and research projects
IEEE SMC2018 Miyazaki, Japan 2018
 52. F Kaneko, K Shindo, M Yoneta, M Okawada, K Akaboshi, M Liu
Comparison of functional brain connectivity before and after complex approach of KiNvis and BMI to patients with severely impaired chronic stroke. -A primary analysis of the resting state functional MRI-
Society for Neuroscience - Neuroscience 2018 San diego, USA 2018
 53. F Kaneko, K Shindo, M Yoneta, M Okawada, K Akaboshi, M Liu
Comparison of functional brain connectivity before and after complex approach of KiNvis and BMI to patients with severely impaired chronic stroke. -A primary analysis of the resting state functional MRI-
Society for Neuroscience - Neuroscience 2018 San diego, USA 2018
 54. M Okawada, F Kaneko, K Shindo, M Yoneta, K Akaboshi, M Liu
Relationship between EEG during motor imagery and upper limb function after the intervention with KiNvis and EEG-based BCI in patients with severe upper limb paralysis after stroke.
Society for Neuroscience - Neuroscience 2018 San diego, USA 2018
 55. Fuminari Kaneko, Keiichiro Shindo, Megumi Okawada, Masaki Yoneta, Kazuto Akaboshi, Meigen Liu
Convergent approach including cognitive and physiological Stimulation for sensory-motor functional improvement in chronic stroke: A case report
12th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress

Paris, France 2018

56. N. Miyata, Y. Yoneoka, Y. Maeda
Modeling the range of motion and the degree of posture discomfort of the thumb joints
the 20th Congress of the International Ergonomics Association Florence, Italy 2018
57. N. Miyata, R. Takahashi, M. Takemura, K. Fujita, Y. Maeda,
Observation of Grasping Style Adaptation due to Artificially-Limited Joint Range of Motion of the Thumb
28th 2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science
Nagoya, JAPAN 2017
58. R. Takahashi, N. Miyata, Y. Maeda, and K. Fujita
Grasps under Artificially-limited Thumb's Joint Range of Motion –Posture Analysis with ROM Boundary and Muscle Loads–
29th 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science
Nagoya, JAPAN 2018
59. K. Shima, K. Shimatani, G. Sato, M. Sakata, P. Giannoni and P. Morasso
A Fundamental Study on How Holding a Helium-filled Balloon Affects Stability in Human Standing
2017 IEEE 15th International Conference on Rehabilitation Robotics
London, UK 2017
60. T. Mukaeda and K. Shima
A Novel Hidden Markov Model-Based Pattern Discrimination Method with the Anomaly Detection for EMG Signals
39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
Jeju Island, Korea 2017
61. A. Takai, D. Rivela, G. Lisi, T. Noda, R. Teramae, H. Imamizu, and J. Morimoto
Investigation on the neural correlates of haptic training
2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)
Miyazaki, Japan 2018
62. T. Asai and H. Imamizu
Normal aging in resting-state functional brain networks
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city, Osaka, Japan 2018
63. T. Hamamoto, H. Imamizu, and T. Asai
Resting and Meditating states in Functional Brain Connectivity
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city, Osaka, Japan 2018
64. M. Tanaka, T. Asai, H. Imamizu, and R. Ohata
Biased Sense of Agency Changes Feedback Control
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city, Osaka, Japan 2018
65. K. Hiromitsu, T. Asai, S. Imaizumi, M. Tanaka, H. Kadota, and H. Imamizu
Right Inferior Parietal Lobe Mediates the Relation Between the Prediction Error and the Sense of Agency—tDCS and TMS Study—
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city, Osaka, Japan 2018
66. R. Ohata, W. Wen, A. Yamashita, H. Asama, and H. Imamizu
Dissociative processes for detecting change in control
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city, Osaka, Japan 2018
67. H. Imamizu
Brain networks building up sense of agency
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmBoss 2018)
Senri Life Science Center, Shinsenrihigashimachi, Toyonaka-city Osaka, Japan 2018
68. K. Tsunetomo, S. Shirafuji, and J. Ota
Analysis of rockers during the stance phase of gait for feature extraction
IEEE Int. Symp. Micromechatronics and Human Science (MHS2018)
Nagoya, Japan 2018
69. Qi An, Hiroki Kogami, Ningjia Yang, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Shingo Shimoda, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takanori Fujii, Hironori Otomune, Ichiro Miyai, Atsushi Yamashi
Rehabilitation Intervention of Physical Therapists Improves Muscle Synergy during Standing-up Motion of Stroke Patients
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)
Osaka, Japan 2018
70. Ningjia Yang, Qi An, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Kouji Takahashi, Makoto Kinomoto, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Shingo Shimoda, Noriaki Hattori, Takanori Fujii, Hironori Otomune, Ichiro Miyai, Atsushi Yamashita, and Hajime
Clarification of Altered Muscle Synergies during Sit-to-stand Motion in Stroke Patients
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)
Osaka, Japan 2018
71. Hiroki Kogami, Qi An, Ningjia Yang, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Shingo Shimoda, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takanori Fujii, Hironori Otomune, Ichiro

Miyai, Atsushi Yamashi
Effect of Physical Therapy on Joint Angle of Hemiplegic Patients during Standing-up Motion
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)
Osaka, Japan 2018

72. S. Hamasaki, A. Yamashita and H. Asama
A Three-Dimensional Evaluation of Body Representation Change of Human Upper Limb Focused on Sense of Ownership and Sense of Agency
Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems 2018
Nagoya, Japan 2018
73. S. Hamasaki, A. Yamashita and Y. Tamura
Investigation of the Influence of Sense of Ownership and Agency on Three-Dimensional Change of Body Representation of Upper Limb
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science 2018
Osaka, Japan 2018
74. Sonmin Yun, Wen Wen, Qi An, Shunsuke Hamasaki, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama
Investigating the Relationship between Assisted Driver's Sense of Agency and EEG Alpha Power
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)
Osaka, Japan 2018
75. Kei Aoyagi, Wen Wen, Qi An, Shunsuke Hamasaki, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama
Improvement of Sense of Agency via Visual Intervention in Virtual Reality
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)
Osaka, Japan 2018
76. K. Mochizuki, K.Nakajima, M. Inase, A. Murata
Neuronal correlates of sensory suppression for self-attributable afferent inputs in primate primary somatosensory cortex.
The 2nd international symposium on Embodied-Brain system science
Osaka, Japan 2018
77. A. Murata, K. Maeda, H. Ishida, K.Nakajima, M. Inase
Visual feedback control of grasping in the parietal mirror neuron system.
The 2nd international symposium on Embodied-Brain system science
Osaka, Japan 2018
78. Sanada T, Mitsunashi T, Takeuchi F, Kamada K
Complex functional brain network identified by "passive" electrical mapping in a case with intractable epilepsy.
EmboSS 2018 Osaka 2018
79. Tanaka, H.
Directional tuning and reference frames in human pointing
3rd International Mobile Brain/Body Imaging Conference
Berlin, Germany 2018
80. Hirokazu Tanaka and Makoto Miyakoshi
Two extensions of trial reproducibility maximization for EEG data analysis
3rd International Mobile Brain/Body Imaging Conference Berlin, Germany 2018
81. Tanaka H, Ishikawa T, & Kakei, S
Neural evidence of the cerebellum as a state predictor
Neuroscience 2018 Kobe, Japan 2018
82. Hirokazu Tanaka, Makoto Miyakoshi, and Eishi Asano
A Multivariate Method Detecting Traveling Waves from ECoG data
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (Emboss 2018)
Osaka, Japan 2018
83. Hirokazu Tanaka, Takahiro Ishikawa, and Shinji Kakei
Neural Evidence of the Cerebellum as a State Predictor
The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (Emboss 2018)
Osaka, Japan 2018
84. A. Fukui, H. Osaki, Y. Ueta and M. Miyata
Layer-specific impairment of somatosensory processing in the primary sensory cortex after motor cortex infarction
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science
Osaka, Japan 2018
85. H. Osaki, M. Kawashima, M. Yasuda and M. Miyata
Nociceptive neurons in the primary somatosensory cortex: area and layer specific distribution
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science
Osaka, Japan 2018
86. K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota
Musculoskeletal simulations to investigate influences of muscle weakness and sensory noise to postural control stiffness
29th 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science
Nagoya, Japan 2018
87. K. Kaminishi, P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota
Musculoskeletal simulation for determining influences of the magnitude of sensory noise and stiffness on the selection of hip or ankle movement strategies

- 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference Hawaii, USA 2018
88. K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota
Musculoskeletal simulation to investigate influences of the magnitude of sensory noise and stiffness on the selection of an ankle/hip strategy
2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS 2018)
Osaka, Japan 2018
89. Yusuke Sekiguchi, Takayuki Muraki, Hiroaki Ishikawa, Keita Honda, Haruki Yaguchi, Nobuyuki Yamamoto, and Shin-Ichi Izumi
Abdominal muscle elasticity in patients with hemiparesis due to stroke, Gait and Clinical Movement Analysis Society
23th Annual Meeting, Indianapolis, USA 2018
90. Honda K, Sekiguchi Y, Owaki D, Izumi
Effects of a plantarflexion assist orthosis on compensatory strategy during gait in patients with hemiparesis,
Gait and Clinical Movement Analysis Society (GCMAS) 23th Annual Meeting
Indianapolis, USA, 2018
91. Takakusaki K
Autonomic and cognitive impairment based on basal ganglia dysfunction
International symposium on autonomic function Nagoya, JPN 2017
92. Takakusaki K, Takahashi M, Miyagishi S, Kaminishi K, Chiba R, Ota J.
Postural control that precedes to the forelimb reaching in the cat.
Neuroscience 2017 Makuhari Messe, JPN 2017
93. Takakusaki K, Takahashi M, Miyagishi S, Chiba R, Drew T.
Postural control that precedes to the forelimb reaching in the cat.
Society for Neuroscience 2017 Washington DC, USA. 2017
94. T. Fumuro, M. Matsushashi, T. Hitomi, R. Matsumoto, R. Takahashi and A. Ikeda
Visuospatial processing load enhance the brain activity associated with motor preparation
31st International Congress of Clinical Neurophysiology
Washington DC, USA 2018
95. M. Togo, R. Matsumoto, A. Shimotake, T. Kobayashi, T. Kikuchi, K. Yoshida, T. Kunieda, S. Miyamoto, R. Takahashi and A. Ikeda
Role of the premotor and precentral negative motor area in praxis: a direct electrical stimulation study with behavioral analysis
31st International Congress of Clinical Neurophysiology (第 31 回国際臨床神経生理学学会)
Washington DC/USA 2018
96. Neshige S, Kobayashi K, Matsushashi M, Shimotake A, Hitomi T, Kikuchi T, Yoshida K, Kunieda T, Matsumoto R, Takahashi R, Miyamoto S, Maruyama H, Ikeda A.
Rational cortical mapping algorithm for epilepsy surgery: non-stimuli, multi-intrinsic brain activities without cortical stimulation
12th Asian & Oceanian Epilepsy Congress
Bali, Indonesia 2018

国内会議 講演・口頭発表

- 大脇 大, 関口雄介, 本田啓太, 広井典良, 福司謙一郎, 野崎岳夫, 石黒章夫, 出江紳一
Spring-cam 機構を用いた可変剛性足関節装具
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 概要集 郡山市 (福島) 2017
- 大脇 大, 関口雄介, 本田啓太, 会津直樹, 大内田裕, 石黒章夫, 出江紳一
Auditory Foot を用いた長期的歩行リハビリがもたらす身体性注意の変容
第 11 回モータコントロール研究会 中京大学 2017
- 関口雄介, 大脇 大, 本田啓太, 広井典良, 福司謙一郎, 野崎岳夫, 出江紳一
弾性股関節装具が脳卒中片麻痺患者の歩行パフォーマンスに及ぼす効果について
第 33 回日本義肢装具学会学術大会 東京 2017
- 関口雄介, 大脇 大, 本田啓太, 野崎岳夫, 福司謙一郎, 広井典良, 出江紳一
カムバネ継手付きグイトソリューションが脳卒中片麻痺患者の歩行パフォーマンスに及ぼす効果について 第 33 回
日本義肢装具学会学術大会 東京 2017
- 大脇 大
ロボティクス技術がもたらすモデルベース・リハビリテーション基盤
第 2 回「身体性システム」公開シンポジウム 慶応大学 2017
- 関口雄介, 大脇 大, 本田啓太, 広井典良, 福司謙一郎, 野崎岳夫, 出江紳一
弾性調整型股関節装具と足の組み合わせが 脳卒中片麻痺患者の歩行に及ぼす影響
第 39 回バイオメカニズム学術講演会 別府 (大分) 2017
- 本田啓太, 関口雄介, 大脇大, 出江紳一
足底圧感覚の聴覚フィードバック装具が脳卒中片麻痺患者の歩行安定性に及ぼす影響
第 38 回バイオメカニズム学術講演会 別府 (大分) 2017
- 濱崎峻資, 安 琪, 温 文, 田村雄介, 山川博士司, 畠中智志, 渋谷賢, 大木紫, 山下淳, 浅間一
上肢運動における身体所有感及び運動主体感が指の知覚位置に与える影響
第 30 回自律分散システム・シンポジウム 名城大学 2018

9. Ningjia Yang, Qi An, Hiroki Kogami, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, Shingo Shimoda, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takanori Fujii, Hironori Otomu
Clarification of Muscle Synergy Structure During Standing-up Motion of Healthy Young, Elderly and Post-Stroke Patients
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 (SSI2017) 静岡大学 2017
10. 湖上碩樹, Qi An, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山下 淳, 浅間 一, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎
片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 (SSI2017) 静岡大学 2017
11. 湖上碩樹, Qi An, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 浅間一, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎
片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 (SSI2017) 東京理科大学諏訪キャンパス 2017
12. 村田 哲
頭頂葉における身体表象 – 自己と他者の身体の共有と区別 –
第 16 回姿勢と歩行研究会 興和株式会社 東京支店 2018
13. 村田 哲
動物実験のデータから理解する身体失認・失行症の病態生理
身体性システム A&C 合同班会議 CiNet 2018
14. 今泉 修, 今水 寛
行為と結果の連続における Intentional binding
日本認知科学会・知覚と行動モデリング (P&P)
研究会筑波大学東京キャンパス (東京都文京区大塚) 2018
15. 鎌田恭輔
てんかん？投薬？
西胆振てんかん診療を考えるセミナー 室蘭 2018
16. 鎌田恭輔
脳機能-ネットワーク局在とてんかん外科への応用
第 6 回身体性システム科学全体会議 2018 霧島 2018
17. 鎌田恭輔
外科修練と技術開発の融合 - も・の・づ・く・り -
長岡講演会 長岡 2018
18. 鎌田恭輔
神経・電気生理学の基礎から応用へ
Neurosurgery Clinical Conference Seminar 東京 2018
19. 鎌田恭輔
テラレーメイド機能マッピング・デコーディングによるてんかん外科治療
第 8 回トランスレーショナルてんかん研究会～てんかんの基礎研究と臨床～ 新潟 2018
20. 安栄良悟、鎌田恭輔
5ALA 蛍光強度定量化による術中リアルタイム組織モニタリングへの展望
第 41 回日本脳神経 CI 学会 新潟 2018
21. 小川博司、広島 覚、竹内文也、佐藤正夫、鎌田恭輔
リアルタイム HGA マッピングを用いた言語課題別の経時的活動変化
第 41 回日本脳神経 CI 学会 新潟 2018
22. 田村有希恵、安栄良悟、鎌田恭輔
5ALA 蛍光強度定量化による術中組織モニタリングへの展望
第 22 回北海道脳腫瘍懇話会 札幌 2018
23. 齊藤仁十、和田 始、嵯峨健広、三井宣幸、折本亮介、鎌田恭輔
当院における tailored CAS の治療成績と影響因子の解析 (ブランクヒストグラム解析を含めて)
第 43 回日本脳卒中学会 福岡 2018
24. 和田 始、齊藤仁十、三井宣幸、鎌田恭輔
PICA を含まない椎骨動脈紡錘状動脈瘤の治療戦略～術後 DWI の検討～
第 47 回日本脳卒中の外科学会 福岡 2018
25. 田村有希恵、和田 始、鎌田恭輔
後下小脳動脈に局限した脳動脈解離による小脳梗塞の 1 例
第 47 回日本脳卒中の外科学会 福岡 2018
26. 野呂昇平、和田 始、真田隆広、福山秀青、山口なつき、田村有希恵、嵯峨健広、齊藤仁十、広島 覚、安栄良悟、鎌田恭輔
術中 Visual-evoked potential monitoring が有効であった carotid-ophthalmic aneurysm の 1 例
第 80 回 (社) 日本脳神経外科学会北海道支部会 札幌 2018
27. 嵯峨健広、和田 始、山口なつき、鎌田恭輔、新見康成
傍脊索動静脈瘻の一例
第 80 回 (社) 日本脳神経外科学会北海道支部会 札幌 2018
28. 安栄良悟、田村有希恵、鎌田恭輔
顕微鏡下リアルタイム 5ALA 蛍光定量化によるリアルタイム組織モニタリングへの展望
第 27 回脳神経外科手術と機器学会 奈良 2018
29. 田村有希恵、竹内文也、鎌田恭輔

覚醒下手術における新たな脳機能マッピング法“Passive language mapping”の展望

第4回 脳神経外科 BMI 懇話会 東京 2017

30. 森岡 周
幻肢痛を含んだ身体性変容のメカニズムとニューロリハビリテーション
第40回日本疼痛学会 長崎 2018
31. 片山 脩, 塚元達也, 大住倫弘, 兒玉隆之, 森岡 周
感覚運動の不一致による身体性変容の脳内情報処理メカニズムの検討
第40回日本疼痛学会 長崎ブリックホール 2018
32. 森岡 周
ニューロリハビリテーションの目指すべき方向性-半側空間無視の病態把握プロセスから考える-
第21回日本臨床脳神経外科学会 石川県立音楽堂 2018
33. 森岡 周
認知神経科学と心臓リハビリテーションの融合
第24回日本心臓リハビリテーション学会学術集会 パシフィコ横浜 2018
34. 森岡 周
ニューロリハビリテーションの目指すべき方向性
第38回近畿作業療法学会 大阪国際交流センター 2018
35. 渋谷 賢, 畝中智志, 座間拓郎, 嶋田総太郎, 大木 紫
身体化した偽の手の運動観察に伴う神経振動の変化: 遅延視覚フィードバックの影響
第37回日本基礎心理学会 専修大学・生田キャンパス 2018
36. 杉内、八木、篠田
頸部腹側筋への左右6個の半規管からの入力様式とその中枢経路
第77回日本めまい平衡医学会総会・学術講演会 ホテルニュータナカ/ホテルかめ福 2018
37. 高橋、杉内、篠田
垂直サッケードの中枢神経回路
第77回日本めまい平衡医学会総会・学術講演会 ホテルニュータナカ/ホテルかめ福 2018
38. 温 文, Patrick Haggard
運動主体感の生起における予測誤差と regularity detection の役割
日本基礎心理学会第37回大会 専修大学生田キャンパス 2018
39. 松宮一道
身体意識と視覚
第23回日本バーチャルリアリティ学会全国大会 東北大学 2018
40. 松宮一道
心の中の身体と視知覚
第40回東京大学心理学研究室セミナー 東京大学 2018
41. 大内田裕
慢性期脳卒中片麻痺に対するVRを利用した効果的なリハビリテーションの可能性
第36回日本ロボット学会学術大会 中部大学 2018
42. Qi An, 湖上碩樹, 楊 寧嘉, 山川博司, 田村雄介, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎, 山下 淳, 浅間 一
片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能と筋シナジーに与える影響の調査
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 富山国際会議場 2018
43. 湖上碩樹, Qi An, 楊 寧嘉, 山川博司, 田村雄介, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎, 山下 淳, 浅間 一
片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能と筋シナジーに与える影響の調査
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 富山国際会議場 2018
44. 村田 哲
頭頂葉における身体表現
社会神経科学拠点共同利用研究会 「世界や社会と相互作用して生きるヒトや動物の視覚-生理学、心理物理学、計算論」 玉川大学 2018
45. 望月 圭 中階克己 稲瀬正彦 村田 哲
自発運動の感覚フィードバック処理における運動野-体性感覚野相互作用
第41回 日本神経科学学会大会 神戸コンベンションセンター 2018
46. 望月 圭 中階克己 稲瀬正彦 村田 哲
自発運動にともなうサル第一次体性感覚野の運動関連皮質脳波
第95回日本生理学会大会 サンポートホール高松・香川国際会議場 2018
47. 望月 圭 中階克己 稲瀬正彦 村田 哲
自発運動にともなうサル第一次体性感覚野の運動関連皮質脳波
第95回日本生理学会大会 サンポートホール高松・香川国際会議場 2018
48. 鎌田恭輔、小川博司、田村有希恵、広島 覚、竹内文也
CCEPを用いた覚醒下手術における超受動的言語機能マッピング
第57回日本生体医工学会大会 札幌 2018
49. 鎌田恭輔、小川博司、広島 覚、竹内文也
皮質脳波/機能的MRIによる脳内身体表現マーカーの探索
第57回日本生体医工学会大会 札幌 2018
50. 真田隆広、竹内文也、Gruenwald Johannes、鎌田恭輔
脳機能マッピング / 終夜モニタリング同時記録システム開発
日本脳神経外科学会第77回学術集会 仙台 2018

51. 鎌田恭輔
マルチスペクトラム蛍光システムによる解剖―蛍光―血流の可視化
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
52. 鎌田恭輔
リアルタイム機能マッピング／モニタリングのてんかん外科への応用
第 16 回奈良脳卒中サロン 大阪 2018
53. 鎌田恭輔
覚醒下手術における Super-passive mapping の有用性とピットフォール
第 48 回日本臨床神経生理学会学術大会 東京 2018
54. 鎌田恭輔
脳皮質-皮質下機能ネットワーク解析とピットフォール
第 5 回脳神経外科 BMI 研究会 自治医科大学 2018
55. 鎌田恭輔
てんかんの薬物療法の基礎と最新の外科オプション
てんかん Web セミナー in 北海道 札幌 2018
56. 安栄良悟、和田 始、田村有希恵、嵯峨健広、鎌田恭輔
膠芽腫における術前塞栓術の経験
第 81 回（一社）日本脳神経外科学会北海道支部会 札幌 2018
57. 桐山健司、鎌田恭輔
動眼神経―内頸動脈減圧術の詳細
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
58. 安栄良悟、田村有希恵、嵯峨健広、広島 覚、齊藤仁十、野呂昇平、山口なつき、佐藤広崇、真田隆広、和田 始、鎌田恭輔
手術手技の一環としての安全な BCNU wafer 留置
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
59. 米田将基、金子文成、新藤恵一郎、岡和田愛実、赤星和人、里宇明元
Quadripulse Stimulation (QPS) と拡張現実リハビリテーションシステム (KiNvis) を用いた治療介入による 脳機能結合の変化 - 脳卒中患者一症例における検討 -
第 23 回日本基礎理学療法学術大会 京都 2018
60. 金子文成、米田将基、岡和田愛実、酒井克也
視覚誘導性自己運動錯覚の反復で運動関連領域を含む 皮質間機能的結合が変化する
第 23 回日本基礎理学療法学術大会 京都 2018
61. 岡和田愛実、金子文成、新藤恵一郎、奥山航平、赤星和人、里宇明元
重度上肢麻痺を呈した脳卒中患者において KiNvis 療法 は即時的に運動イメージ中脳波の事象関連脱同期を増 大させるか
第 23 回日本基礎理学療法学術大会 京都 2018
62. 加藤淳史、青山敏之、河野 豊、富田和秀、渡邊信也、遠藤悠介、金子文成
上肢感覚性運動失調を併発した脳卒中片麻痺患者に対する視覚誘導性自己運動錯覚の即時的効果 ～運動学的 評価と神経生理学的評価を用いた検証～
第 23 回日本基礎理学療法学術大会 京都 2018
63. 金子文成、岡和田愛実、新藤恵一郎、赤星和人、里宇明元
発症後 11 年で手指伸展運動が可能となった脳卒中片麻痺患者に関する脳波信号の解析
第 16 回日本神経理学療法学会 大阪 2018
64. 金子文成、岡和田愛実、新藤恵一郎、赤星和人、里宇明元
重度脳卒中片麻痺患者における上肢運動機能改善と脳機能結合の変化 - 拡張現実リハビリテーションシステム (KiNvis) による治療介入を行った一症例における検討 -
第 16 回日本神経理学療法学会 大阪 2018
65. 岡和田愛実、金子文成、新藤恵一郎、奥山航平、赤星和人、里宇明元
脳卒中後重度上肢麻痺患者に対する KiNvis 療法は即時的に運動イメージ中の脳波を変化させるか
第 16 回日本神経理学療法学会 大阪 2018
66. 岡和田愛実、金子文成、新藤恵一郎、米田将基、赤星和人、里宇明元
重度脳卒中片麻痺患者の運動イメージ中脳波は複合的リハビリテーションにより変化する
第 48 回日本臨床神経生理学会学術大会 東京 2018
67. F Kaneko
Development of rehabilitation system using kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KiNvis) realized in mixed reality, and clinical trial for patients.
Asian Symposium on Motor Control in Biomechanics. 東京 2018
68. 萩原和樹、新藤恵一郎、金子文成、岡和田愛実、米田将基、酒井克也、中西辰雄、丸山祥、赤星和人、里宇明元
回復期に視覚誘導性自己運動錯覚 (kinesthetic illusion induced by visual stimulation: KiNvis) を行った脳梗塞後片麻痺の一例
日本リハビリテーション医学会関東地方会 東京 2018
69. 鎌田恭輔、小川博司、田村有希恵、広島 覚、竹内文也
CCEP を用いた覚醒下手術における超受動的言語機能マッピング
第 57 回日本生体医工学会大会 札幌 2018
70. 鎌田恭輔、小川博司、広島 覚、竹内文也
皮質脳波／機能的 MRI による脳内身体表現マーカーの探索
第 57 回日本生体医工学会大会 札幌 2018
71. 安栄良悟、和田 始、田村有希恵、嵯峨健広、鎌田恭輔

- 膠芽腫における術前塞栓術の経験
第 81 回 (一社) 日本脳神経外科学会北海道支部会 札幌 2018
72. 真田隆広、竹内文也、Gruenwald Johannes、鎌田恭輔
脳機能マッピング / 終夜モニタリング同時記録システム開発
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
73. 桐山健司、鎌田恭輔
動眼神経一内頸動脈減圧術の詳細
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
74. 安栄良悟、田村有希恵、嵯峨健広、広島 寛、齊藤仁十、野呂昇平、山口なつき、佐藤広崇、真田隆広、和田 始、鎌田恭輔
手術手技の一環としての安全な BCNU wafer 留置
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
75. 鎌田恭輔
マルチスペクトラム蛍光システムによる解剖一蛍光一血流の可視化
日本脳神経外科学会第 77 回学術集会 仙台 2018
76. 鎌田恭輔
リアルタイム機能マッピング／モニタリングのてんかん外科への応用
第 16 回奈良脳卒中サロン 大阪 2018
77. 鎌田恭輔
覚醒下手術における Super-passive mapping の有用性とピットフォール
第 48 回日本臨床神経生理学会学術大会 東京 2018
78. 鎌田恭輔
脳皮質-皮質下機能ネットワーク解析とピットフォール
第 5 回脳神経外科 BMI 研究会 自治医科大学 2018
79. 鎌田恭輔
てんかんの薬物療法の基礎と最新の外科オプション
てんかん Web セミナー in 北海道 札幌 2018
80. Osaki Hironobu, Ueta Yoshifumi, Miyata Mariko
Dysgranular area in the primary somatosensory cortex selectively encodes noxious information.
The 41st annual meeting of the Japan Neuroscience Society Kobe 2018
81. FUKUI Atsushi, Osaki Hironobu, Ueta Yoshifumi, Miyata Mariko
Layer-dependent recovery of tactile sensory processing in mouse primary somatosensory cortex after a focal motor cortex stroke.
The 41st annual meeting of the Japan Neuroscience Society Kobe 2018
82. 尾崎弘展、植田禎史、宮田麻理子
大脳皮質一次体性感覚野での痛覚受容は dysgranular 領域で行われている
第 40 回日本疼痛学会 長崎 2018
83. 高橋、宮田、前田
母指関節可動域の制限に応じた把持形態の変容—接触領域および可動域境界との関係—
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 西日本総合展示場 2018
84. 米岡、宮田、前田
母指の関節可動域と姿勢不快度の計測・解析
第 23 回ロボティクスシンポジウム 黒潮温泉 松風閣 2018
85. 岡本純平、島 圭介、中野英樹、島谷康司
運動機能再建を目的とした多感覚フィードバック運動想起訓練システム
第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 仙台国際センター 2017
86. 花井宏彰、島 圭介、島谷康司
運動学習訓練を目的とした機能的電気刺激と筋電図・筋音図に基づく相互動作伝達法
第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 仙台国際センター 2017
87. 横山 了、大畑 龍、今水 寛
回答運動の不随意的な変化によって自信判断は妨害されるか
第 12 回 Motor Control 研究会 上智大学四ツ谷キャンパス 2018
88. 今水 寛
fMRI から知る機能的脳結合と認知機能
日本行動計量学会第 46 回大会・特別セッション「脳科学とデータサイエンス」
慶應義塾大学三田キャンパス 2018
89. 今泉 修、丹野義彦、今水 寛
能動的運動における心的時間の大幅的短縮と局所的伸長
日本認知心理学会第 16 回大会 立命館大学大いばらきキャンパス 2018
90. 今水 寛
身体運動と脳の学習・適応メカニズム—運動行動を支える脳のネットワーク—
日本交通医学工学研究会 第 27 回学術総会「身体能力維持向上に貢献するモビリティ」特別講演 名古屋大学東山キャンパス 2018
91. 渡辺圭祐、島 圭介
時系列生体信号識別のための FPGA アクセラレーションを指向した近似 CD-HMM
第 19 回システムインテグレーション部門講演会 大阪工業大学 2018
92. 代木 陸、島 圭介、島谷康司
機能的電気刺激と EMG 信号を利用した筋協調収縮型ダイレクトリハビリテーション—運動スキル学習支援を目的とした

関節インピーダンス伝達法-

第 19 回システムインテグレーション部門講演会 大阪工業大学 2018

93. 青柳 恵, 温 文, Qi An, 濱崎峻資, 山川博司, 田村雄介, 山下 淳, 浅間 一
仮想現実における視覚介入が運動主体感に与える影響
日本基礎心理学会第 37 回大会 専修大学生田キャンパス 2018
94. 田村有希恵, 和田 始, 安栄良悟, 鎌田恭輔
髄膜腫に対する栄養血管塞栓後に腫瘍体積の劇的減少を認めた 1 例
第 23 回日本脳腫瘍の外科学会 和歌山 2018
95. 安栄良悟, 田村有希恵, 鎌田恭輔
安全な BCNU wafer 留置のための術中判断
第 23 回日本脳腫瘍の外科学会 和歌山 2018
96. 鎌田恭輔
てんかん原性ネットワークの可視化と治療法への応用
第 42 回日本てんかん外科学会 東京 2019
97. 会津直樹, 大内田 裕, 関口雄介, 本田啓太, 大脇 大, 出江紳一
脳卒中片麻痺者の麻痺足の身体特異性注意の特性
第 9 回 日本ニューロリハビリテーション学会学術集会 盛岡 2018
98. 大瀧亮二, 大内田 裕, 須藤珠水, 笹原 寛, 三澤正和, 富樫昂也, 斎藤佑規, 竹村 直, 出江紳一
亜急性期脳卒中上肢麻痺に対する Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) による上肢使用頻度と脳活動の変化 ~加速度計と fMRI を用い縦断的变化を確認した一症例~
第 2 回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会 仙台国際センター 2018
99. 田中宏和
状態予測器としての小脳の神経的証拠
新学術領域研究 5 領域合同シンポジウム 一橋講堂 2018
100. 小原
高身長全国中学校バレーボール有望選手合宿におけるメディカルチェック
第 29 回日本臨床スポーツ医学会学術集会 札幌コンベンションセンター 2018
101. 小原, 井野, 千葉, 中島, 高橋, 松野, 高草木
バレーボール競技のセッターポジションに発症した膝蓋腱炎の動作解析
第 40 回臨床歩行分析研究会定例会 北海道科学大学 2018
102. 小原
高身長全国中学生バレーボール有望選手合宿におけるメディカルチェック
第 9 回バレーボール・スポーツ傷害セミナー ナショナルトレーニングセンター 2019
103. 梅田達也
一次体性感覚野は運動出力コピーを受け取っている
生理研研究会 2018 「行動を制御する神経ネットワーク機能の解明に向けて」 生理学研究所 2018
104. 上西, 千葉, 高草木, 太田
筋力低下, 感覚ノイズ増加, スティフネス低下が床面水平外乱に対する姿勢反応の変化に及ぼす影響の筋骨格シミュレーションを用いた調査
第 31 回自律分散システム・シンポジウム 国立民族学博物館 2019
105. 関口雄介, 本田啓太, 大脇 大, 出江紳一
脳卒中片麻痺患者の歩行中における水平面状の回転方向の身体制御と運動耐用能及びバランス能力との関連について
第 9 回ニューロリハビリテーション学会学術集会, 盛岡 2018
106. Tamami Sudo, Yutaka Oouchida, Naoki Aizu, Shin-Ichi Izumi.
The effect of the immersiveness of VR to motor control of stroke patients.
第 41 回日本神経科学学会大会, 神戸 2018
107. 関口雄介, 本田啓太, 神出真緒, 加藤智久, 鈴木貴弘, 金高弘恭, 出江紳一
着座動作時に手すりの形状が床反力に及ぼす影響について
第 45 回日本臨床バイオメカニクス学会 秋田 2018
108. 関口雄介, 本田啓太, 金高弘恭, 出江紳一
棚手すりが立ち上がり動作時の下肢の運動力学的制御に与える影響について
日本リハビリテーション医学会 第 55 回学術集会, 福岡 2018
109. 関口雄介, 大脇 大, 本田啓太, 福司謙一郎, 広井典良, 野崎岳夫, 出江紳一,
カムバネ式継手付き足関節装具による脳卒中片麻痺患者の歩行への効果
第 5 回イノベティブ リハビリテーション研究会 東京 2018
110. 本田啓太, 関口雄介, 神出真緒, 加藤智久, 鈴木貴弘, 金高弘恭, 出江紳一
身体重心へ働く負の仕事率からみた着座動作における加齢の影響と手すりの役割
第 45 回日本臨床バイオメカニクス学会 秋田 2018
111. 本田啓太, 関口雄介, 大脇 大, 会津直樹, 出江紳一
脳卒中片麻痺者に対する足底圧感覚の聴覚フィードバックに伴うトレッドミル歩行練習の効果
第 9 回ニューロリハビリテーション学会学術集会 盛岡 2018
112. 本田啓太, 関口雄介, 金高弘恭, 出江紳一
棚手すりが立ち上がり動作における質量中心速度に及ぼす影響,
日本リハビリテーション医学会 第 55 回学術集会, 福岡 2018
113. 高草木, 高橋, 千葉
パーキンソン病 (PD) における立位姿勢異常についての一考察
日本大脳基底核研究会 三河 2017
114. 高橋, 宮岸, 小原, 千葉, 高草木

115. 高草木
大脳基底核による運動制御
高知県パーキンソン病リハビリテーション研究会 高知城ホール 2017
116. 高草木
姿勢と歩行
ニューロリハビリテーション治療コンセンサス会議 名古屋 2017
117. 高草木
脳幹からの下行路と姿勢制御
第 16 回札幌病院脳生理研究会 小樽 2017
118. 高草木
高次脳機能による姿勢制御
第 17 回札幌病院脳生理研究会 小樽 2017
119. 高草木
運動の異常（麻痺・失調・不随意運動・失行）
第 18 回札幌病院脳生理研究会 小樽 2017
120. 高草木, 高橋, 千葉, 小原
中脳歩行誘発野領域の機能局在
第 3 回 BMI 懇話会 旭川医大 2017
121. M. Togo, R. Matsumoto, T. Nakae, H. Takeyama, K. Kobayashi, K. Usami, A. Shimotake, T. Kikuchi, K. Yoshida, T. Kunieda, S. Miyamoto, R. Takahashi and A. Ikeda
Human medial parietal cortices have distinct connectivity patterns: Evidence from standardized connectivity map using cortico-cortical evoked potential
第 41 回日本神経科学大会 神戸 2018
122. M. Togo, R. Matsumoto, A. Shimotake, T. Kobayashi, T. Kikuchi, K. Yoshida, T. Kunieda, S. Miyamoto, R. Yakahashi and A. Ikeda
Role of premotor and precentral negative motor area in praxis: a direct electrical stimulation study
第 59 回日本神経学会学術大会; 札幌 2018
123. 十河正弥, 松本理器, 下竹昭寛, 松橋眞生, 小林 環, 菊池隆幸, 吉田和道, 國枝武治, 宮本 享, 高橋良輔 and 池田昭夫
高頻度皮質電気刺激による高次運動障害の発現機構の検討: 皮質刺激誘発反応と行動解析の包括的検討
第 48 回日本臨床神経生理学会 東京 2018
124. 尾谷-山田真弓, 松本理器, 下竹昭寛, 坂本光弘, 十河正弥, 中江卓郎, 武山博文, 小林勝哉, 宇佐美清英, 松橋眞生, 山尾幸弘, 菊池隆幸, 吉田和道, 高橋良輔, 池田昭夫
言語ネットワーク内における中核言語野の結合様式の検討
第 48 回日本臨床神経生理学会 東京 2018
125. 坂本光弘, 松本理器, 下竹昭寛, 太田真紀子, 中谷光良, 中江卓郎, 菊池隆幸, 吉田和道, 國枝武治, 高橋良輔, 池田昭夫.
発語失行の病態: 機能マッピング, 電氣的線維追跡からの症例の考察.
第 59 回日本神経学会学術大会; 札幌 2018
126. Neshige S, Kobayashi K, Matsushashi M, Shimotake A, Hitomi T, Kikuchi T, Yoshida K, Kunieda T, Matsumoto R, Takahashi R, Miyamoto S, Maruyama H, Ikeda A.
Electrocorticography-based non-primary motor area mapping comparable with cortical stimulation: 59th annual meeting of the Japanese society of neurology.
第 59 回日本神経学会学術大会; 札幌 2018
127. Akihiro Shimotake, Riki Matsumoto, Katsuya Kobayashi, Takayuki Kikuchi, Takeharu Kunieda, Susumu Miyamoto, Ryosuke Takahashi, Matthew Lambon-Ralph, Akio Ikeda
Visual and auditory semantic processing converges in the anterior temporal lobe
第 41 回日本神経科学大会 神戸 2018
128. Masako Daifu, Riki Matsumoto, Akihiro Shimotake, Makiko Ota, Mitsuhiro Sakamoto, Katsuya Kobayashi, Takayuki Kikuchi, Kazumichi Yoshida, Takeharu Kunieda, Ryosuke Takahashi, Matthew A. Lambon Ralph, Akio Ikeda
Double dissociation of the semantic and phonological processing in reading Kanji and Kana words - A quantitative low-intensity cortical stimulation study
第 41 回日本神経科学大会 神戸 2018
129. 下竹昭寛, 松本理器, 太田真紀子, 坂本光弘, 中江卓郎, 菊池隆幸, 荒川芳輝, 國枝武治, 宮本 享, 高橋良輔, 池田昭夫
側頭葉腫瘍切除症例における意味認知機能の検討
第 42 回 日本神経心理学会学術集会 山形 2018
130. 下竹昭寛 松本理器 坂本光弘 中谷光良 太田真紀子 小林勝哉 菊池隆幸 吉田和道 國枝武治 宮本 享 高橋良輔 池田昭夫
低い刺激強度の皮質電気刺激と呼称課題の組み合わせによる言語機能マッピングの有用性
第 59 回日本神経学会学術大会; 札幌 2018
131. Makiko Ota, Akihiro Shimotake, Riki Matsumoto, Mitsuhiro Sakamoto, Masako Daifu, Takuro Nakae, Takayuki Kikuchi Kazumichi Yoshida, Takeharu Kunieda, Susumu Miyamoto, Ryosuke Takahashi, Matthew A. Lambon Ralph, Akio Ikeda
Compensation of semantic memory after dominant anterior temporal lobe resection in epilepsy surgery

- 第 59 回日本神経学会学術大会； 札幌 2018
132. SHIMOTAKE Akihiro, MATSUMOTO Riki, KOBAYASHI Katsuya, KIKUCHI Takayuki, MASAO Matsushashi, KAZUMICHI Yoshida, KUNIEDA Takeharu, MIYAMOTO Susumu, TAKAHASHI Ryosuke, IKEDA Akio
Functional mapping of visual and auditory semantic processing in the anterior temporal lobe
- 第 52 回日本てんかん学会学術集会 横浜 2018

書籍

1. 太田・内藤・芳賀（編）
「身体性システムとリハビリテーションの科学 1 運動制御」，東京大学出版会，2018
2. 近藤・今水・森岡（編）
「身体性システムとリハビリテーションの科学 2 身体認知」，東京大学出版会，2018
3. 大脇 大，石黒章夫
ロボット制御学ハンドブック 17 章 二足歩行ロボット 3.4 受動走行
近代科学社
4. 今水 寛
日本基礎心理学会（監修）「基礎心理学実験法ハンドブック」第 5 部 学習と行動 5.5.2 知覚-運動学習
朝倉書店
5. 森岡 周
コミュニケーションを学ぶ
協同医書出版社
6. 村田 哲，望月 圭
行為・動作の生理学基盤 行為と動作の障害 第一章 2 日本高次脳障害学会編
新興医学出版社
7. 尾崎弘展
視床ゲート機構
日本神経科学学会
8. 高草木 薫
姿勢・筋トーン（筋緊張）と小脳障害での低トーン 運動失調の診方，考え方 -小脳と脊髄小脳変性症-
中外医学社
9. 高草木 薫，高橋未来，千葉龍介
Pattern Generator としての網様体 Clinical Neuroscience
中外医学社

受賞

1. Mitsuhiro Hayashibe The 15th Annual Delsys Prize for Innovation in Electromyograph
2. 宮澤咲紀子，大脇 大，石黒章夫 SI2017 優秀講演賞「脚の役割分担を自発的に生成可能な 6 脚歩行の脚内協調制御則」
3. 森岡 周 第 52 回日本理学療法学会学術大会 最優秀賞 「脳卒中片麻痺上肢における運動イメージ能力と運動機能ならびに身体使用頻度との関係」
4. 信迫悟志，森岡 周 第 15 回日本神経理学療法学会学術集会 学術集会長賞 「脳卒中後失行症における多感覚統合障害の検証 視覚フィードバック遅延検出課題を用いた検討」
5. Takayuki Mukaeda Open Finalist for the Student Paper Competition at IEEE EMBC 2017 (2017/07/13)
6. Takayuki Mukaeda IEEE EMBS Japan Chapter Young Researcher Award (2017/07/20)
7. 代木 陸，島 圭介，島谷康司 計測自動制御学会システム・情報部門 SSI 優秀発表賞 (2017/11/27)
8. 花井宏彰，島 圭介，島谷康司 SI2017 優秀講演賞 (2017/12/23)
9. 岡本純平，島 圭介，中野英樹，島谷康司 SI2017 優秀講演賞 (2017/12/23)
10. Ryutaro Sakai, Tetsuro Funato, Soichiro Fujiki, Akira Konosu, Shinya Aoi, Dai Yanagihara IEEE-MHS2018 Best Paper Award
11. 神原裕行、宮腰 誠、田中宏和、香川高弘、吉村奈津江、小池康晴、マケイグスコット 2018 年度日本神経回路学会優秀研究賞 「ジャグリング動作中の脳波信号解析」

報道発表 その他

1. 「前庭頸反射の中樞神経機構に関する基礎研究」により日本めまい平衡医学会 60 周年記念理事長表彰を受けた。(2018 年 11 月 30 日)
2. 鎌田恭輔：特許出願 「インドシアニンググリーンによる脳血管造影装置」 出願番号：特願 2018-092543，発明者：鎌田恭輔，竹内文也，出願年月日：平成 30 年 5 月 11 日
3. 【報道発表】2018 年 11 月 29 日 NHK NEWS にて，森岡 周 教授らの失行症研究が取り上げられた (https://www3.nhk.or.jp/news/web_tokushu/2018_1129.html)。
4. 鎌田恭輔：特許出願 「光感受性物質の撮影画像処理システム及び光感受性物質の撮影方法」 出願番号：特願 2018-139071，発明者：鎌田恭輔、久野恵梨，出願日：平成 30 年 7 月 25 日
5. 2018 年度国際福祉機器展にて研究成果のデモンストレーションを行った

6. 島 圭介, 島谷康司 生体信号と電気刺激で運動学習を支援する 体育の科学, Vol. 69, No. 1, pp. 27-31, 2019 年 1 月 1 日
7. VICON ユーザカンファレンス講演
8. 第 9 回バレーボール・スポーツ傷害セミナーの講演会の座長
9. 全日本女子バレーボール 世界選手権へ ドクターとして帯同
10. 全日本女子バレーボールチーム バレーボールネーションズリーグ ポーランド大会 ドクターとして帯同
11. 報道発表 2019 年 1 月 8 日に A01-1 項目今水教授らの研究が「複数の精神疾患における記憶力の低下を共通のモデルで予測することに成功」としてプレスリリース
(https://www.atr.jp/topics/press_190108.html) され, 京都新聞デジタル版 (1 月 8 日 <https://www.kyoto-np.co.jp/environment/article/20190108000123>), 京都新聞 (1 月 9 日朝刊 23 面) で紹介されました。
12. 特許第 6381097 号, リハビリテーション支援装置及びリハビリテーション支援装置の作動方法,
稲邑哲也, 浅間一, 太田順, 大内田裕, 出江紳一, (特願 2013-178885), 登録日平成 30 年 8 月 10 日

メンバーリスト

総括班 X00 脳内身体表現の変容機構の理解と制御に関する総括研究

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）
研究分担者 内藤 栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）
研究分担者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 教授）
研究分担者 近藤 敏之（東京農工大学 大学院工学研究院 教授）
連携研究者 今水 寛（東京大学 文学部 教授）
連携研究者 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 モデル動物開発部 部長）
連携研究者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）
連携研究者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
連携研究者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）
連携研究者 村田 哲（近畿大学 医学部 准教授）
連携研究者 稲邑 哲也（国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 准教授）
連携研究者 花川 隆（国立精神・神経医療研究センター 脳病態統合イメージングセンター 部長）
研究協力者 岩村 吉晃（上野学園大学 特任教授，東邦大学 名誉教授）
総括班評価者 篠田 義一（東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 名誉教授）
総括班評価者 伊藤 宏司（東京都医学総合研究所 研究員，東京工業大学 名誉教授）
総括班評価者 才藤 栄一（藤田保健衛生大学 医学部 教授）
総括班評価者 Paolo Dario（Scuola Superiore Sant' Anna 教授）

研究項目 A01-1 脳内身体表現の変容を促す神経機構

研究代表者 今水 寛（東京大学 文学部 教授）
研究分担者 村田 哲（近畿大学 医学部 准教授）
研究分担者 大木 紫（杏林大学 医学部 教授）
研究分担者 前田 貴記（慶應義塾大学 医学部 講師）
連携研究者 渋谷 賢（杏林大学 医学部 助教）
連携研究者 小川 健二（北海道大学 文学部 准教授）
連携研究者 浅井 智久（NTT コミュニケーション科学基礎研究所 研究員）
連携研究者 沖村 宰（慶應義塾大学 医学部 特任助教）
連携研究者 山下 祐一（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 室長）
連携研究者 繁桵 博昭（高知工科大学 情報学群 准教授）
連携研究者 門田 浩（高知工科大学 総合研究所 准教授）
連携研究者 山下 真寛（国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 研究員）
連携研究者 蔡 暢（国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 認知神経科学研究室 研究員）
連携研究者 大畑 龍（日本学術振興会・東京大学大学院人文社会系研究科 学振特別研究員）
連携研究者 望月 圭（近畿大学医学部 助教）
連携研究者 吉田 正俊（生理学研究所 認知行動発達研究部門 助教）

研究項目 A02-1 身体変化への脳適応機構の解明

研究代表者 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 モデル動物開発研究部 部長）
研究分担者 内藤 栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）
研究分担者 寛 慎治（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト プロジェクトリーダー）
連携研究者 井上 謙一（京都大学 霊長類研究所 助教）
連携研究者 荻原 直道（慶應義塾大学 理工学部 教授）
連携研究者 梅田 達也（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 モデル動物開発研究部 室長）
連携研究者 大屋 知徹（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 モデル動物開発研究部 室長）
連携研究者 平島 雅也（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 主任研究員）

連携研究者 池上 剛（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
連携研究者 廣瀬 智士（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
連携研究者 竹村 尚大（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
連携研究者 雨宮 薫（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
連携研究者 Ganesh Gowrishanker（CNRS 研究員）
連携研究者 上原 信太郎（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 特別研究員）
連携研究者 関 庚甫（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
連携研究者 李 鍾昊（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
連携研究者 石川 享宏（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
連携研究者 本多 武尊（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
連携研究者 服部 憲明（大阪大学国際医工情報センター 臨床神経医工学寄附研究部門 准教授）
連携研究者 三苫 博（東京医科大学 医学教育学講座 教授）

研究項目 A02-2 姿勢・歩行戦略の変更に伴う脳適応機能の解明

研究代表者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）
研究分担者 中隋 克己（岩手医科大学 医学部 教授）
連携研究者 船越 洋（旭川医科大学 医学部 教授）
連携研究者 杉内 友理子（東京医科歯科大学 医学部 准教授）
連携研究者 日暮 泰男（山口大学 共同獣医学部 助教）
連携研究者 大田 哲生（旭川医科大学 リハビリテーション部 教授）
連携研究者 小原 和宏（旭川医科大学 脳機能医工学研究センター 助教）
連携研究者 高橋 未来（旭川医科大学 脳機能医工学研究センター 客員助教）
連携研究者 松本 成史（旭川医科大学 脳機能医工学研究センター 講師）

研究項目 A03-1 リアルタイムフィードバックとハイブリッド機能解析による脳機能ダイナミズムの可視化

研究代表者 鎌田 恭輔（旭川医科大学 医学部 教授）
連携研究者 竹内 文也（旭川医科大学 教育推進センター 准教授）
連携研究者 福山 秀正（旭川医科大学 脳神経外科 医員）

研究項目 A03-2 眼球・頭部運動系における座標系と機能的シナジーの中枢神経基盤

研究代表者 杉内 友理子（東京医科歯科大学 医学部 准教授）
連携研究者 笥 慎治（東京都医学総合研究所 運動失調プロジェクト プロジェクトリーダー）

研究項目 A03-3 筋肉協調運動の脳内身体表現学理と脳波を用いた可視化によるリハビリ支援技術の開発

研究代表者 吉村 奈津江（東京工業大学 科学技術創成研究院 バイオインタフェース研究ユニット 准教授）
連携研究者 神原 裕行（東京工業大学 科学技術創成研究院 バイオインタフェース研究ユニット 助教）
連携研究者 緒方 洋輔（東京工業大学 科学技術創成研究院 バイオインタフェース研究ユニット 特任助教）
連携研究者 山下 宙人（国際電気通信基礎技術研究所 脳情報解析研究所 室長）

研究項目 A03-4 ヒト前頭・頭頂葉内の脳内身体表現：皮質脳波解説と刺激・病変研究による包括的研究

研究代表者 松本 理器（京都大学 大学院医学系研究科 准教授）
連携研究者 池田 昭夫（京都大学 大学院医学系研究科 教授）
連携研究者 國枝 武治（愛媛大学 大学院医学系研究科 教授）
連携研究者 吉田 和道（京都大学大学院医学研究科脳神経外科学 講師）
連携研究者 松橋 眞生（京都大学 学際融合教育研究推進センター 准教授）
連携研究者 下竹 昭寛（京都大学 大学院医学系研究科 助教）

研究項目 A03-5 大脳皮質における触覚-痛覚相互作用の解明と痛覚制御

研究代表者 尾崎 弘展（東京女子医科大学 医学部 助教）
連携研究者 宮田 麻理子（東京女子医科大学 医学部 教授）

連携研究者 植田 禎史（東京女子医科大学 医学部 助教）

研究項目 A03-6 サル内包梗塞モデルを用いた身体表現適応機構の解明

研究代表者 肥後 範行（産業技術総合研究所 人間情報研究部門 主任研究員）

連携研究者 村田 弓（産業技術総合研究所 人間情報研究部門 研究員）

連携研究者 山田 亨（産業技術総合研究所 人間情報研究部門 主任研究員）

連携研究者 山本 竜也（つくば国際大学 医療保健学部 助教）

連携研究者 井澤 淳（筑波大学 システム情報系 准教授）

研究項目 B01-1 脳内身体表現のスローダイナミクスモデル

研究代表者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

研究分担者 近藤 敏之（東京農工大学 大学院工学研究院 教授）

研究分担者 田中 宏和（北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授）

研究分担者 矢野 史朗（東京農工大学 大学院工学研究院 助教）

研究分担者 井澤 淳（筑波大学 システム情報系 准教授）

連携研究者 山下 淳（東京大学 工学系研究科 准教授）

連携研究者 矢野 雅文（東北大学 電気通信研究所 名誉教授）

連携研究者 安 琪（東京大学 大学院工学系研究科 特任助教）

連携研究者 温 文（東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授）

研究項目 B02-1 脳内身体表現を変容させる運動制御モデル

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

研究分担者 青井 伸也（京都大学 大学院工学研究科 講師）

研究分担者 千葉 龍介（旭川医科大学 医学部 准教授）

連携研究者 緒方 大樹（東京工業大学 准教授）

連携研究者 柳原 大（東京大学 大学院総合文化研究科 准教授）

連携研究者 土屋 和雄（京都大学 大学院工学研究科 名誉教授）

連携研究者 青柳 富誌生（京都大学 大学院情報学研究科 名誉教授）

連携研究者 藤木 聡一郎（東京大学 大学院総合文化研究科 助教）

連携研究者 白藤 翔平（東京大学 人工物工学研究センター 特任研究員）

連携研究者 余 永（鹿児島大学 工学部 教授）

連携研究者 辻内 伸好（同志社大学 理工学部 教授）

研究項目 B03-1 神経疾患と運動機能回復に関わる筋シナジーの構成機序の解明

研究代表者 船戸 徹郎（電気通信大学 情報理工学研究科 准教授）

研究項目 B03-2 駆動関節を有する人工肢の身体化過程における身体表現変容因子の同定

研究代表者 長谷川 泰久（名古屋大学 大学院工学研究科 教授）

研究項目 B03-3 筋骨格ヒューマノイドを用いたファースト・スローダイナミクスの創発モデル

研究代表者 細田 耕（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）

連携研究者 津田 一郎（北海道大学 電子科学研究所 教授）

連携研究者 久保 英夫（北海道大学 理学研究科 教授）

連携研究者 池本 周平（大阪大学 基礎工学研究科 助教）

研究項目 B03-4 疑似制約による上肢機能の変容・適応過程の解明

研究代表者 宮田 なつき（産業技術総合研究所 主任研究員）

連携研究者 藤田 浩二（東京医科歯科大学大学院 助教）

連携研究者 前田 雄介（横浜国立大学大学院工学研究院 准教授）

研究項目 C01-1 脳内身体表現の変容を用いたニューロリハビリテーション

研究代表者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 リハビリテーション医工学分野 教授）
研究分担者 稲邑 哲也（国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 准教授）
連携研究者 田中 尚文（帝京大学ちば総合医療センターリハビリテーション科 教授）
連携研究者 大内田 裕（大阪教育大学 助教）
連携研究者 松宮 一道（東北大学 電気通信研究所 ブレインウェア研究開発施設 教授）
連携研究者 阿部 浩明（広南病院リハビリテーション科 兼 東北大学大学院肢体不自由学分野 非常勤講師）
連携研究者 関口 雄介（東北大学病院リハビリテーション部 兼 東北大学大学院肢体不自由学分野 非常勤講師）
連携研究者 綾木 雅彦（慶應義塾大学医学部眼科学教室 特任准教授）
連携研究者 林部 充宏（東北大学 大学院工学研究科 教授）

研究項目 C02-1 感覚入力への介入を用いた姿勢・歩行リハビリテーション

研究代表者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）
研究分担者 花川 隆（国立精神・神経医療研究センター 脳病態統合イメージングセンター 部長）
研究分担者 横井 浩史（電気通信大学 情報理工学研究科 教授）
研究分担者 大脇 大（東北大学 電気通信研究所 助教）
連携研究者 石黒 章夫（東北大学 電気通信研究所 教授）
連携研究者 四津 有人（茨城県立医療大学 医科学センター 准教授）
連携研究者 杉 正夫（電気通信大学 情報理工学研究科 准教授）
連携研究者 北 佳保里（千葉大学 フロンティア医工学センター 助教）
連携研究者 古屋 晋一（上智大学 理工学部 情報理工学科 准教授）
連携研究者 上原 一将（国立精神・神経医療研究センター 脳病態統合イメージングセンター 外来研究員）

研究項目 C03-1 脳内身体表現における、認知的側面と、運動制御的側面の関係解明

研究代表者 四津 有人（茨城県立医療大学 医科学センター 准教授）
連携研究者 濱田 雅（東京大学 医学部附属病院 助教）
連携研究者 川野 道宏（茨城県立医療大学 看護学科 准教授）

研究項目 C03-2 筋協調制御型ダイレクトリハビリテーションによるスキル訓練と身体／脳機能変容の解析

研究代表者 島 圭介（横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授）
連携研究者 島谷 康司（県立広島大学 保健福祉学部 教授）
連携研究者 中野 英樹（京都橘大学 健康科学部 理学療法学科 助教）
連携研究者 田坂 厚志（大阪保健医療大学 保健医療学部 リハビリテーション学科 准教授）

研究項目 C03-3 新しいバランス機能評価システムの開発

研究代表者 金子 文成（慶應義塾大学 医学部 准教授）
連携研究者 浅井 義之（山口大学大学院 医学系研究科 教授）
連携研究者 柴田 恵理子（札幌医科大学 保健医療学部 博士研究員）

研究項目 C03-4 包括的なバランス機能障害評価および介入効果のモニタリングシステムの開発

研究代表者 向野 雅彦（藤田保健衛生大学 医学部 講師）
連携研究者 松田 文浩（藤田保健衛生大学 医療科学部 助教）

研究項目 C03-5 脳卒中患者の運動主体感を高めるハイブリッド型ニューロリハビリテーションの効果検証

研究代表者 森岡 周（畿央大学 健康科学部 教授）
連携研究者 嶋田 絵太郎（明治大学 理工学部 教授）
連携研究者 信迫 悟志（畿央大学 ニューロリハビリテーション研究センター 助教）
連携研究者 大住 倫弘（畿央大学 ニューロリハビリテーション研究センター 助教）