

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01503

研究課題名(和文)機能回復を促進する意識と工学的デバイスとの相互作用解明

研究課題名(英文)Facilitative effects of functional recovery by mutual interaction between the attention and engineering

研究代表者

浦川 将(Urakawa, Susumu)

広島大学・医系科学研究科(保)・教授

研究者番号：30445811

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文):リハビリテーション領域で活用される工学的手法を用いる際の、利用者の脳活動と意識に着目して研究を行った。自らの脳活動をフィードバックしながら運動想像を行う研究では、前頭極の脳活動をフィードバックしながら制御することで、効果的なパフォーマンス向上が得られることが明らかとなった。ロボットHALを装着して、意識的に運動を制御する場合には、前頭葉・頭頂葉の運動関連領域の活動上昇が得られ、パフォーマンス制御に関わっていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リハビリテーション介入の効果と大脳皮質脳活動、意識についての新たな知見を得た。リハビリテーションの臨床場面では、意識が患者の機能回復に重要であるとの認識があるが、科学的根拠として、前頭極および運動関連領域が、パフォーマンスと随意運動への意識によって変化し、運動機能向上に重要であることを示唆した。

研究成果の概要(英文):We have focused on effective neuro-modulation by rehabilitation-engineering and related attention to voluntary movement. We found that neurofeedback via anterior prefrontal cortex led to fine performance-improvement. And the subject with HAL(hybrid assistive limb) robotic device showed significant increase of Oxy-Hb in the motor related cortex area.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：運動想像 大脳皮質活動 近赤外分光法 ロボット 意識

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

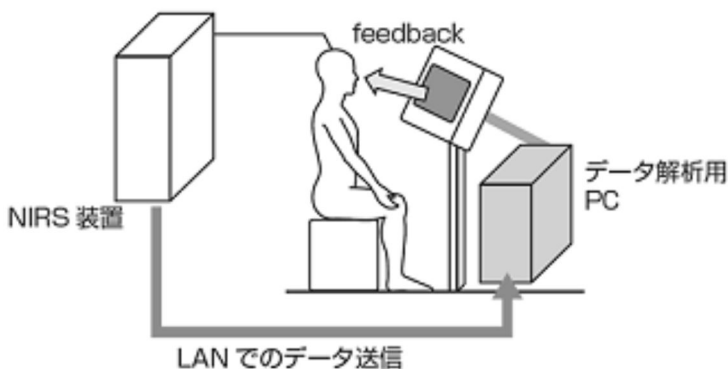
近年、リハビリテーション領域で注目されている新しい治療技術として、運動想像(motor imagery: 運動の脳内シミュレーション)を活用する方法や、ロボットを利用した運動療法がある。また、機能回復を目指した運動療法では、運動課題(歩行や手指の動作など)に対して自己の注意を動作に向け、意識的な制御を行うことで、日常生活へ向けた動作獲得がなされるとの指摘がある。このような背景から、工学的デバイスを用いた新しいリハビリテーション手法においても、機能回復を促進するためには、デバイスを利用する者の意識に着目する必要があると考え研究を開始した。

2. 研究の目的

(1) 連携研究者の三原らは、運動想像中の脳血行動態を近赤外分光法 (near infrared spectroscopy: NIRS) によってリアルタイムにモニター上の棒グラフへ表示させ、被験者に視覚的フィードバックを与える方法により、脳卒中後片麻痺患者へ 2 週間の介入後、実際の脳活動フィードバックトレーニング群でのみ、麻痺の程度を評価する Fugl-Meyer 指数において有意な改善を報告していた⁽¹⁾。本研究では、このようなフィードバックにより意識的な脳活動制御をトレーニングすることで、随意運動パフォーマンスを向上させる際の、神経生理学的機序を解明することを目的として、基礎実験を行った。

(2) リハビリテーションへの応用が期待されているロボットによる運動介入に焦点をあて、筑波大学の山海教授が開発した装着型のロボット HAL (Hybrid Assistive Limb) を使用している際に、どのような大脳皮質脳活動が得られているか、解析を行った。私たちがこれまで行ってきた研究により、脳卒中患者の継続的な HAL 使用は、バランス能力向上をもたらすこと、HAL の動きと装着者の意識により、パフォーマンス向上に差が生まれることが明らかとなっていた⁽²⁾。このような背景から、ロボットを活用した機能回復には、装着者の動作に対する意識が重要であることが示唆され、装着時の動作に伴う脳活動と使用者の主観に着目した基礎研究を実施した。

3. 研究の方法



(1) 三原らのシステムをベースに、健常者に対する運動想像によるパフォーマンス向上効果と大脳皮質神経活動変化を検証する。我々の研究室では、健常者でも巧緻性難易度の高い課題として、細くて小さいペグを摘みなるべく早く穴に差し込む課題(ペグ動作課題)を遂行中の脳活動について検討してきており、前頭極の活動上昇がパフォーマンス向上に重要な役割を担って

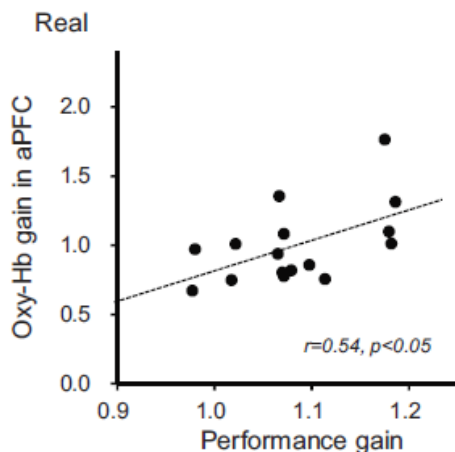
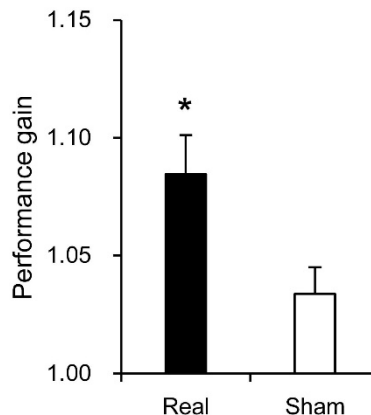
いることを明らかにしている⁽³⁾。このため、ペグ動作課題の運動想像のくり返しとパフォーマンス向上について検証する。フィードバックする脳領域は前頭極とし、ペグ動作課題を想像することによって、NIRS フィードバックシステムの棒グラフをなるべく高く上昇させるように、前頭極脳活動を制御してもらう。くり返しによりフィードバックの成績が上昇してくると、他の脳領域を含む大脳皮質脳活動がどのように変化していくのか、ペグ動作のパフォーマンスは向上するかについて検討する。

(2) 予備的研究により HAL 装着時の動作による脳活動変化には、装着者の動作主体感が関与することが示唆されており⁽²⁾、健常者を対象に、動作主体感を評価する VAS (visual analog scale: 視覚的評価尺度) と NIRS による脳活動のデータを検証する。HAL 装着時と、何も装着しない場合、足関節に 1 kg の負荷をつけた場合とで、椅子に座った状態での下肢の交互運動や立位歩行時の反応を比較検討する。また、機能回復を促進できるような工学的デバイスと意識との関連性を見出すべく研究をすすめた。

4. 研究成果

(1) 健常者を対象に、2 週間で 6 回の運動想像による介入(自らがペグ動作を早く行っていることを想像し脳活動をコントロール)を繰り返した効果を検証した。被験者は、実際の脳活動をフィードバックする Real 群と、自らの脳活動とは無関係の反応をフィードバックする Sham 群に分け、ペグ動作パフォーマンスと大脳皮質脳活動を比較した。時間内に達

成できたペグ本数を指標とした運動パフォーマンスにおいて、Real 群は有意に向上することが明らかになった(右図参照⁽⁴⁾)。また、脳活動フィードバックの参照をした前頭極脳活動は、パフォーマンスの改善と相関して上昇していることが明らかとなった。また、運動前野、一次運動野、一次体性感覚野などの運動関連領域は、継続的な運動想像の介入によって活動上昇を変化させるが、これらの活動変化は、前頭極の脳活動と有意に相関することが明らかとなり、前頭極が運動関連領域の神経活動を制御していることが示唆された(下図は、ペグ動作のパフォーマンスと前頭極活動変化との相関を示す⁽⁴⁾)。



(2) 動きを手助けしてくれるロボット HAL 単関節用を右上肢に装着し、屈曲伸展動作課題を設定し脳活動計測を行った。実施にあたって単純な上肢屈伸運動では近赤外分光による運動関連領域の大脳皮質神経活動計測において有意な酸素化ヘモグロビン上昇が得られなかったため、抵抗負荷装置を新たに製作し被験者のパフォーマンスに努力を要する工夫を行った。これにより、前頭葉-頭頂葉の運動関連領域において課題依存的な酸素化ヘモグロビン上昇を観察している。また、上肢運動の抵抗負荷有りの場合には、タスク開始前からいく

つかの脳領域において有意な活動上昇がみられ、課題依存的に抵抗負荷装置やロボット HAL との相互作用によって意識の変化が生じることが示唆された(投稿準備中)。

< 引用文献 >

- (1) Mihara M, et al. *Stroke*, 44:1091-1098, 2013.
- (2) みんなの理学療法. 27:18-25, 2015. ロボットスーツ HAL の特性からリハビリテーションへの適応を探る: ロボットによる歩行リハビリテーションの再考, 浦川 将 他.
- (3) Ishikuro K, Urakawa S, et al. *Front Hum Neurosci*, 8:292, 2014.
- (4) Ota Y, Takamoto K, Urakawa S, et al. *Front Neurosci* 14:34, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ota Yuya, Takamoto Kouichi, Urakawa Susumu, Nishimaru Hiroshi, Matsumoto Jumpei, Takamura Yusaku, Mihara Masahito, Ono Taketoshi, Nishijo Hisao	4. 巻 14
2. 論文標題 Motor Imagery Training With Neurofeedback From the Frontal Pole Facilitated Sensorimotor Cortical Activity and Improved Hand Dexterity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2020.00034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 5件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 越智亮介、藤田直人、西丸広史、松本淳平、西条寿夫、浦川 将
2. 発表標題 Rearing in enriched environment during development decreases anxiety-like behavior: Evaluation of anxiety-like behavior by beam walking tests in different emotional situations
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井拓海、藤田直人、丸山 遼、渡邊和樹、福原ゆい、西条寿夫、浦川 将
2. 発表標題 脳活動をコントロールすることに着眼したリハビリテーションの開発
3. 学会等名 第8回日本情動学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越智亮介、藤田直人、渡部芳美、後藤夏季、西条寿夫、浦川 将
2. 発表標題 2型糖尿病モデルラットの不安様行動と扁桃体基底外側核の介在ニューロンとの関連
3. 学会等名 第8回日本情動学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸山 遼、藤田直人、福井拓海、松下光次郎、浦川 将
2. 発表標題 仮想現実内での運動錯覚に伴う大脳皮質活動
3. 学会等名 日本基礎理学療法学会 夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井拓海、藤田直人、丸山 遼、浦川 将
2. 発表標題 運動想像を用いたニューロフィードバックによるアプローチの検証
3. 学会等名 日本基礎理学療法学会 夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Ochi, Naoto Fujita, Natsuki Goto, Hisao Nishijo, Susumu Urakawa
2. 発表標題 Parvalbumin positive neurons in the basolateral amygdala and anxiety-like behavior in OLETF
3. 学会等名 The 9th Federation of Asian and Oceanian Physiological Societies Congress: FAOPS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Urakawa
2. 発表標題 Rehabilitation engineering involved in the emotion
3. 学会等名 International conference: New advances in medical education, research and treatment (Vietnam, Hanoi) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦川 将
2. 発表標題 神経の再生機構と情動からHALとヒトとの相互作用を探る
3. 学会等名 脳神経と身体との相互作用による自立機能向上への挑戦（湘南ロボケアセンター）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Urakawa S, Ota Y, Takamoto K, Ono T, Nishijo H.
2. 発表標題 Cerebral hemodynamic responses during the alternating lower limb movement with robot suit Hybrid Assistive Limb (HAL)
3. 学会等名 Neuroscience 2017 (Annual Meeting of Society for Neuroscience) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Urakawa S, Ota Y, Takamoto K, Ishikuro K, Ono T, Nishijo H.
2. 発表標題 Functional improvement via external stimuli and the neuronal network in the brain
3. 学会等名 第94回日本生理学会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 将
2. 発表標題 ロボットスーツHALの運動制御を意識と情動から考える
3. 学会等名 広島大学リハビリテーション研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 将
2. 発表標題 運動器の痛み、前頭前野脳活動からリハビリテーションの可能性を探る
3. 学会等名 広島県理学療法士会広島南支部研修会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 将
2. 発表標題 意識と情動からみるリハビリテーション戦略
3. 学会等名 第15回脳をみるシンポジウム in 三原（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考