

令和 5 年 5 月 1 日現在

機関番号：34309

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11173

研究課題名（和文）脳卒中片麻痺上肢に対するテーラーメイド型ニューロフィードバック法の開発と効果検証

研究課題名（英文）Development and validation of a tailor-made neurofeedback method for stroke hemiplegia of the upper limb

研究代表者

中野 英樹（Nakano, Hideki）

京都橘大学・健康科学部・准教授

研究者番号：60605559

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、脳卒中患者の上肢機能回復を目的として、脳機能個人差を考慮したテーラーメイド型ニューロフィードバックシステムを開発し、その効果を検証することを目的とした。本研究により、運動イメージの質問紙は脳機能個人差の評価ツールとして有用であること、そして表在感覚および深部感覚を用いたニューロフィードバックは運動イメージトレーニングの効果を増大させること、また経頭蓋直流電気刺激はニューロフィードバックのトレーニングで得られた効果の修飾に有効であ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

運動イメージは脳卒中患者の上肢機能障害を改善させるトレーニング手法の一つとして広く臨床応用されている。しかし、対象者には運動イメージの良否がフィードバックされないため、得られる効果に個人差があることが指摘されている。本研究で開発した表在感覚および深部感覚を用いたニューロフィードバックは、対象者が運動イメージの良否を把握でき、トレーニングで得られる効果を増大させることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a tailor-made neurofeedback system that considers individual differences in brain function and verifies its effectiveness for the recovery of upper limb function in stroke patients. This study demonstrated that a motor imagery questionnaire is a helpful tool for evaluating individual differences in brain function, that neurofeedback using both superficial and deep sensations can increase the effectiveness of motor imagery training, and that transcranial direct current electrical stimulation was effective in modifying the effects of neurofeedback training.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：脳卒中 リハビリテーション 運動イメージ ニューロフィードバック 脳波 事象関連電脱同期 KVIQ 経頭蓋直流電気刺激

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者医療費・要介護認定要因の第一位である脳卒中患者の運動機能回復を促進させることは喫緊の学術的・社会的課題である。しかし、脳卒中患者の上肢機能を改善させるエビデンスの高い治療法は未だ確立されていない。本研究は、脳機能個人差を考慮したテーラーメイド型ニューロフィードバック (Neurofeedback, 以下 NFB) システムを開発し、それを用いたトレーニングの効果を検証することを目的とする。本研究により、個々の脳の特성에基づいたテーラーメイド型 NFB トレーニングを開発できれば、脳卒中患者の運動機能回復を最大限に引き出すことが期待される。

### 2. 研究の目的

研究1では、視覚・筋感覚イメージ能力の優位性と運動イメージ課題中の事象関連脱同期 (Event-related desynchronization: ERD) の関連性を明らかにすることを目的とした。研究2では、視覚 NFB を用いた運動イメージトレーニングと経頭蓋直流電気刺激 (Transcranial direct current stimulation, 以下 tDCS) の併用が健常者の運動イメージ想起能力に及ぼす効果について検証することを目的とした。研究3では、表在感覚および深部感覚 NFB を用いた運動イメージトレーニングが健常者の運動イメージ想起能力に及ぼす効果について検証することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究1

対象は、本研究に参加の同意を得た右利き健常成人 33 名とし、日本語版 Kinesthetic and visual imagery questionnaire (以下, KVIQ-10) を用いて、視覚・筋感覚イメージ能力を評価した。KVIQ-10 の評価項目は、「肩屈曲」、「母指 - 他指の対立」、「体幹屈曲」、「股関節外転」、「足タッピング」の視覚・筋感覚イメージで構成されており、対象者はイメージした動きの難易度 (視覚イメージの明瞭度または筋感覚イメージの強度) を 5 段階順序尺度で評価した。その後、得られた結果から視覚イメージの合計スコア (以下, KVIQ-V) と筋感覚イメージの合計スコア (KVIQ-K) を算出し、KVIQ-V と KVIQ-K のスコア差から視覚・筋感覚イメージの優位性を検討した。

上記に加え、全ての対象者は、左手関節背屈 (最大随意収縮) の運動イメージ課題 (筋感覚イメージ) を実施し、その際の脳波活動を測定した。周波数解析を用いて、運動イメージに関連する感覚運動領域 (C4) の  $\mu$  帯域 (8-13Hz) における ERD を算出した。

#### (2) 研究2

対象は、本研究に参加の同意を得た右利き健常成人 20 名とし、NFB 群 10 名、NFB と tDCS の併用群 (以下, NFB-tDCS 群) 10 名にランダム割り付けした。本研究は、トレーニング前評価、トレーニング、トレーニング後評価で構成された。全ての対象者は、トレーニング期間中に左手関節背屈 (最大随意収縮) の運動イメージ課題 (筋感覚イメージ) を実施した。その際、運動イメージ中の脳波活動 (C4 における  $\mu$ -ERD) を測定し、棒グラフの増減にて対象者に視覚フィードバックした。なお、NFB-tDCS 群はトレーニング期間開始前に tDCS を施行した。tDCS は陽極を右運動野上、陰極を右上腕部に貼付し、2mA で 10 分間刺激した。

トレーニングの効果判定として、全ての対象者はトレーニング前後に運動イメージ中の脳波

活動と運動イメージ鮮明度を測定した。対象者には左手関節背屈（最大随意収縮）の運動イメージ課題（NFBなし）を実施してもらい、その際のC4における $\mu$ -ERDを測定した。また運動イメージ鮮明度の測定にはVisual analogue scale（以下、VAS）を用いた。

### （3）研究3

対象は、本研究に参加の同意を得た右利き健常成人30名とし、表在感覚NFB群10名、深部感覚NFB群10名、コントロール群10名にランダム割り付けした。本研究は、トレーニング前評価、トレーニング、トレーニング後評価で構成された。全ての対象者は、トレーニング期間中に左手関節背屈（最大随意収縮）の運動イメージ課題（筋感覚イメージ）を実施した。その際、運動イメージ中の脳波活動（C4における $\mu$ -ERD）を測定し、表在感覚NFB群には振動触覚刺激にて、深部感覚NFB群には電気刺激を用いた関節運動にてフィードバックした。なお、コントロール群にはフィードバックを行わなかった。

トレーニングの効果判定として、全ての対象者はトレーニング前後に運動イメージ中の脳波活動と運動イメージ鮮明度を測定した。対象者には左手関節背屈（最大随意収縮）の運動イメージ課題（NFBなし）を実施してもらい、その際のC4における $\mu$ -ERDを測定した。また運動イメージ鮮明度の測定にはVASを用いた。

## 4. 研究成果

### （1）研究1

KVIQ-VおよびKVIQ-Kのスコアからモダリティの優位性を算出した結果、視覚イメージ優位群(n = 16)、筋感覚イメージ優位群(n = 12)、優位性なし群(n = 5)に分類され(図1)、優位性なし群を除外したERDの群間比較では、視覚イメージ優位群と比較して筋感覚イメージ優位群でERDが有意に大きな値を示した( $p < 0.05$ )。また、KVIQ-KとERDの間に有意な相関関係を認めましたが( $r = 0.58, p < 0.05$ )、KVIQ-VとERDの間には有意な相関関係を認めなかった( $r = 0.10, p > 0.05$ )。本研究より、KVIQで測定される視覚・筋感覚イメージ能力の優位性は、運動イメージ課題中のERDを反映しておりKVIQをツールとして個人最適化させた運動学習戦略を提供できる可能性が示唆された。

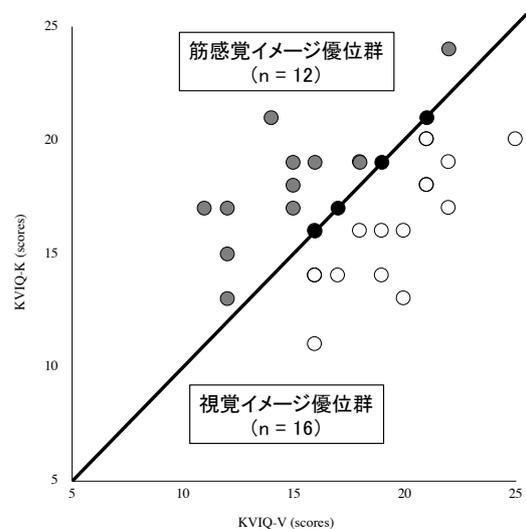


図1：視覚・筋感覚イメージの優位性

### （2）研究2

解析の結果、ERDは群の要因と時間の要因に有意な交互作用を認めた( $F = 5.51, p < 0.05$ )。事後検定の結果、NFB群およびNFB-tDCS群のERDは、トレーニング前と比較してトレーニング後に有意な増加を示した( $p < 0.05$ )。さらに、トレーニング後のERDはNFB群と比較してNFB-tDCS群で有意な増加を示した(図2)。VASは、両群と

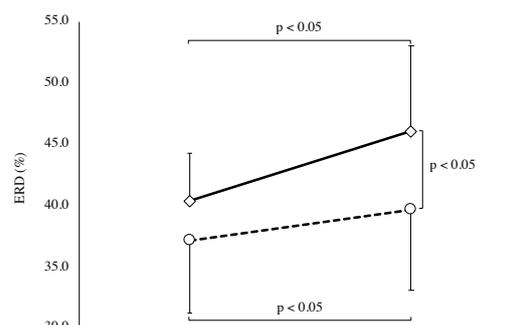


図2：トレーニング前後のERDの比較

もに時間の要因に主効果を認めたが、群間差は認められなかった ( $F = 7.41, p < 0.05$ )。本研究より、tDCS の併用は NFB トレーニングで得られる運動イメージ想起能力の向上を促進させることが明らかにされた。

### (3) 研究3

解析の結果、ERD は群の要因と時間の要因に有意な交互作用を認めた ( $F = 4.43, p < 0.05$ )。事後検定の結果、表在感覚 NFB 群と深部感覚 NFB 群の ERD は、トレーニング前と比較してトレーニング後に有意な増加を示した ( $p < 0.05$ ) (図 3)。また VAS は、時間の要因に主効果を認めた ( $F = 56.64, p < 0.05$ )。本研究より、表在感覚および深部感覚 NFB を用いた運動イメージトレーニングは、健常者の運動イメージ想起能力を向上させることが明らかにされた。

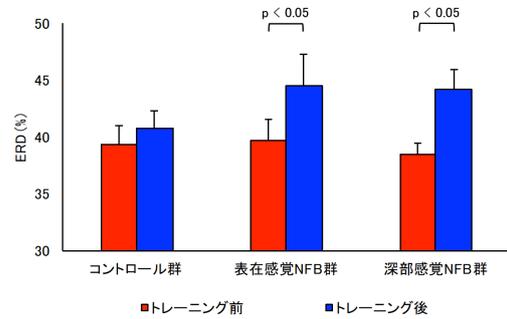


図 3 : トレーニング前後の ERD の比較

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Sawai S, Murata S, Fujikawa S, Yamamoto R, Shima K, Nakano H	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of neurofeedback training combined with transcranial direct current stimulation on motor imagery: A randomized controlled trial	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1148336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2023.1148336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nakano H, Matsugi A, Ito T, Oku K, Sakita M	4. 巻 17
2. 論文標題 Editorial: Pushing the limits of motor function recovery in rehabilitation: Basic to applied research based on neuroscience	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1160632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2023.1160632	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sawai S, Fujikawa S, Ushio R, Tamura K, Ohsumi C, Yamamoto R, Murata S, Nakano H	4. 巻 12
2. 論文標題 Repetitive Peripheral Magnetic Stimulation Combined with Motor Imagery Changes Resting-State EEG Activity: A Randomized Controlled Trial	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 1548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/brainsci12111548	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nakano H, Tachibana M, Fujita N, Sawai S, Fujikawa S, Yamamoto R, Murata S	4. 巻 15
2. 論文標題 Reliability and validity of the Japanese movement imagery questionnaire-revised second version	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC Research Notes	6. 最初と最後の頁 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13104-022-06220-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sawai S, Fujikawa S, Murata S, Abiko T, Nakano H	4. 巻 12
2. 論文標題 Dominance of Attention Focus and Its Electroencephalogram Activity in Standing Postural Control in Healthy Young Adults	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/brainsci12050538	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中野英樹	4. 巻 51
2. 論文標題 脳卒中後の運動機能回復に関わる脳内神経機構とリハビリテーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 理学療法京都	6. 最初と最後の頁 36-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中野英樹	4. 巻 5
2. 論文標題 Brain-Machine Interfaceを用いたリハビリテーション治療	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Precision Medicine	6. 最初と最後の頁 93-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中野英樹	4. 巻 23
2. 論文標題 脳内運動イメージの可視化・操作手法を用いた脳卒中リハビリテーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 55-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中野英樹	4. 巻 23
2. 論文標題 脳卒中者の機能回復訓練を支援するニューロフィードバック技術の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 60-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中野英樹	4. 巻 35
2. 論文標題 脳卒中患者の運動機能再建のためのニューロフィードバックトレーニング	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 53-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Nakano H, Sawai S, Fujikawa S, Ohsumi C, Ushio R, Tamura K, Yamamoto R, Kai Y, Murata S, Shima K
2. 発表標題 Effects of neurofeedback on standing postural control task with combined imagined and executed movements: A randomized controlled trial
3. 学会等名 The Hong Kong Physiotherapy Association 60th Anniversary Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牛尾 龍, 田村宏佑, 藤川翔也, 大角知央, 澤井 舜, 村田 伸, 中野英樹
2. 発表標題 運動イメージと回復末梢性磁気刺激の併用は脳波活動を変調させる
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤井 舜, 藤川翔也, 村田 伸, 安彦鉄平, 中野英樹
2. 発表標題 内的・外的注意焦点は立位重心動揺と脳波活動を变化させる
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤川翔也, 大角知央, 牛尾 龍, 田村宏佑, 澤井 舜, 甲斐義浩, 村田 伸, 島 圭介, 中野英樹
2. 発表標題 運動イメージとニューロフィードバックの併用は立位姿勢制御能力を向上させる
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤井 舜, 安彦鉄平, 村田 伸, 中野英樹
2. 発表標題 注意操作が立位姿勢制御課題と脳波活動に及ぼす影響：スタディプロトコル
3. 学会等名 日本基礎理学療法学会第5回若手研究者ネットワークシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野英樹, 木下美優, 仲田至織, 橘 瑞希, 藤田菜緒, 島 圭介
2. 発表標題 ニューロフィードバックを用いた運動イメージトレーニングと経頭蓋直流電気刺激の併用が健常者の運動イメージ想起能力に及ぼす効果
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野英樹, 岡本純平, 島 圭介
2. 発表標題 異なる感覚刺激を用いたニューロフィードバックトレーニングが健常者の運動イメージ想起能力に及ぼす即時的効果
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 Ushio R, Tamura K, Fujikawa S, Ohsumi C, Sawai S, Yamamoto R, Nakano H	4. 発行年 2023年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 23
3. 書名 Clinical Application of Repetitive Peripheral Magnetic Stimulation in Rehabilitation. Neurorehabilitation and Physical Therapy	

1. 著者名 Fujikawa S, Ohsumi C, Ushio R, Tamura K, Shun Sawai S, Yamamoto R, Nakano H	4. 発行年 2023年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 16
3. 書名 Potential Applications of Motor Imagery for Improving Standing Posture Balance in Rehabilitation. Neurorehabilitation and Physical Therapy	

1. 著者名 Sawai S, Fujikawa S, Yamamoto R, Nakano H	4. 発行年 2023年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 12
3. 書名 Application of Attention Focus in Rehabilitation to Promote Motor Performance and Motor Learning. Neurorehabilitation and Physical Therapy	

1. 著者名 Nakano H	4. 発行年 2021年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 13
3. 書名 EEG Measurement as a Tool for Rehabilitation Assessment and Treatment. Electroencephalography: From Basic Research to Clinical Applications	

1. 著者名 Nakano H	4. 発行年 2020年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 15
3. 書名 Rehabilitation strategies and key related mechanisms involved in stroke recovery. New Insight into Cerebrovascular Diseases: An Updated Comprehensive Review	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都橋大学ニューロリハビリテーション研究室  <a href="https://www.nakano-neuroreha.com/">https://www.nakano-neuroreha.com/</a>          京都橋大学教員情報  <a href="https://kenkyu.tachibana-u.ac.jp/ktuhp/KgApp?kyoinId=ymbegeosggyresearchmap">https://kenkyu.tachibana-u.ac.jp/ktuhp/KgApp?kyoinId=ymbegeosggyresearchmap</a>  <a href="https://researchmap.jp/hideki-nakano">https://researchmap.jp/hideki-nakano</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	島 圭介 (Shima Keisuke) (50649754)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授  (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------