

令和 2 年 4 月 18 日現在

機関番号：34309
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2019
課題番号：17K13078
研究課題名（和文）脳卒中患者の麻痺側上肢の運動機能回復を促進させるニューロフィードバック法の開発

研究課題名（英文）Development of neurofeedback training to promote motor function recovery of paralyzed upper limbs in stroke patients

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、聴覚ニューロフィードバックトレーニングを用いた運動イメージトレーニングが脳卒中患者の麻痺側上肢機能と運動イメージ能力に及ぼす効果を検証することである。対象者は通常のリハビリテーションに加え、運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングを実施した。その結果、麻痺側上肢機能と運動イメージ能力のスコアはトレーニング後に改善を示した。本研究により、運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングは、脳卒中患者の麻痺側上肢機能と運動イメージ能力の改善に貢献す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

本研究により、運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングは、脳卒中患者の麻痺側上肢機能と運動イメージ能力の改善に貢献することが示唆された。本研究成果は、脳卒中後のリハビリテーション、特に随意運動が困難な脳卒中患者の麻痺側上肢機能ならびに運動イメージ能力を改善させるツールとして広く臨床応用できると考える。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to investigate the effect of auditory neurofeedback training with motor imagery on upper extremity function and motor imagery ability in a stroke patient. The participant performed auditory neurofeedback training with motor imagery in addition to standard rehabilitation during the intervention period. The scores of upper extremity function and motor imagery ability improved after the intervention. This study suggests that auditory neurofeedback training with motor imagery contributes to improving upper extremity function and motor imagery ability in stroke patients.

研究分野：ニューロリハビリテーション

キーワード：脳卒中 リハビリテーション 理学療法 ニューロフィードバック 運動イメージ 脳波 運動制御
運動学習

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、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

脳卒中は世界で毎年約 1,700 万人が発症し[1]，発症後の運動機能障害が残存しやすい疾患の一つである[2]．脳卒中後の麻痺肢の運動機能が自立レベルまで回復する割合は，下肢機能が約 60%であるのに対し，上肢機能は約 20%と低い値を示すことがわかっている[3]．脳卒中後の上肢機能障害は生活の質 (quality of life) を大きく低下させることから[4]，脳卒中後の上肢機能を改善させることは重要な課題である．

脳卒中後の上肢機能を改善させる効果的な治療法の一つに運動イメージを用いたメンタルブラクティスがある[5]．運動イメージとは，実際の運動を伴わない運動の心的シミュレーションのことを意味する[6]．この運動イメージは，実運動と類似した脳領域を賦活させることが明らかにされている[7]．また，運動イメージは，運動スキルの向上[8]や筋出力の増加[9]に効果的であることが報告されており，脳卒中後のリハビリテーションで広く応用されている[10-14]．

しかしながら，運動イメージは実施しているイメージの良否が対象者にフィードバックされず[15]，運動イメージで得られる効果には個人差があることが指摘されている[16]．この問題を解決する方法として，運動イメージ中の脳活動を対象者にフィードバックする技術(ニューロフィードバック)が開発され，それを用いたトレーニングは脳卒中後の上肢機能の改善に効果的であることが報告されている[17-19]．Prasad らは，脳波計を用いた運動イメージの視覚ニューロフィードバックが慢性期脳卒中患者の上肢機能を改善させることを明らかにしている[17]．また，Mihara らは，機能的近赤外分光法を用いた運動イメージの視覚ニューロフィードバックが慢性期脳卒中患者の上肢機能を改善させることを報告している[18]．同様に，Zich らは，在宅における脳波計を用いた運動イメージの視覚ニューロフィードバックが慢性期脳卒中患者の上肢機能と皮質脊髄路の統合性を改善させることを明らかにしている[19]．これらの報告から，運動イメージ中の脳活動を視覚フィードバックさせるトレーニングは，脳卒中後の上肢機能を改善させることがわかる．

一方，フィードバックを用いた運動学習には感覚モダリティ依存性があることが明らかにされている[20]．Ronsse らは，フィードバックありの運動技能獲得は，聴覚フィードバック群よりも視覚フィードバック群で速いが，フィードバックなしの獲得した運動技能の再現は，視覚フィードバック群より聴覚フィードバック群で高いことを報告している[20]．この研究から，運動イメージ中の脳活動を聴覚フィードバックさせるトレーニングは，脳卒中後の上肢機能改善に効果的であることが考えられるが，その点に関してはまだ十分に明らかにされていない．

2. 研究の目的

本研究の目的は，運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングが脳卒中患者の上肢機能と運動イメージ能力に及ぼす効果について検証することである．

3. 研究の方法

対象は，本研究への参加の同意を得た脳卒中患者とした．対象者は一般的なリハビリテーションに加え，運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングを実施した．一般的なリハビリテーションは理学療法 60 分と作業療法 60 分で構成され，1 日 1 回，週 7 回，計 4 週間実施された．一方，聴覚ニューロフィードバックトレーニングは 1 日 1 回，週 3 回，計 4 週間実施された．

聴覚ニューロフィードバックトレーニングでは，肘関節と手指の運動イメージ課題[18]を実施した．その際，運動イメージ課題中に測定された脳波活動のリアルタイムな聴覚フィードバックを対象者に実施した．まず，対象者は背もたれと肘掛けがある椅子上に安楽な座位姿勢をとった．次に，対象者は麻痺側肘関節の屈伸運動のイメージを実施した．その後，対象者は麻痺側の手指運動のイメージを実施した．手指運動は母指から順に小指まで屈曲させ，その後，小指から順に母指まで伸展させる運動とした．肘関節と手指の運動イメージは各々 30 秒間とし，連続して 5 回実施した．上記に加え，対象者が肘関節と手指の運動のイメージを実施している際に脳波活動を測定した．脳波の測定には脳波計を用い，国際 10-20 法に基づいた 2ch (C3, C4)，サンプリング周波数 256Hz で測定した．リファレンス電極は両側の乳様突起に装着した．測定した脳波データは，専用のソフトウェアを用いて周波数解析し，運動イメージに関連した μ 帯域 (8-13Hz) [21]の事象関連脱同期 (event-related desynchronization, 以下 ERD) の程度をリアルタイムで症例に聴覚フィードバックした．具体的に，運動イメージ課題中に μ -ERD が出現した場合，それは対象者が実施している運動イメージが良好であることを意味するため，聴覚刺激が対象者にフィードバックされた．一方， μ -ERD が出現しなかった場合，聴覚刺激は対象者にフィードバックされなかった．この方法を用いることにより，対象者は自身が実施している運動イメージの良否を適切に知ることができた．

本研究では，トレーニング前後に上肢機能と運動イメージ能力を測定し，トレーニングの効果を判定した．上肢機能の客観的指標として Fugl-Meyer Assessment (以下，FMA)，主観的指標として Motor Activity Log (以下，MAL)，運動イメージ能力の客観的指標として Hand Laterality Judgement Task (以下，HLJT)，主観的指標として Kinesthetic and Visual Imagery

Questionnaire-10 (以下, KVIQ-10) を測定した。

4. 研究成果

本研究では, FMA の肩/肘/前腕, MAL の使用頻度と動作の質, HLJT の正答率と反応時間, KVIQ-10 の視覚と筋感覚は, トレーニング後に改善を示した。以上のことから, 運動イメージを用いた聴覚ニューロフィードバックトレーニングは脳卒中後の上肢機能と運動イメージ能力の改善に効果的であることが示唆された。

<引用文献>

1. Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, Mensah GA, Connor M, et al. (2014) Global and regional burden of stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 383(9913):245-254.
2. Crichton SL, Bray BD, McKeivitt C, Rudd AG, Wolfe CD (2016) Patient outcomes up to 15 years after stroke: survival, disability, quality of life, cognition and mental health. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 87(10):1091-1098.
3. Liu M, Fujiwara T, Shindo K, Kasashima Y, Otaka Y, et al. (2012) Newer challenges to restore hemiparetic upper extremity after stroke: HANDS therapy and BMI neurorehabilitation. *HKPJ* 30(2):83-92.
4. Nichols-Larsen DS, Clark PC, Zeringue A, Greenspan A, Blanton S (2005) Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke* 36(7):1480-1484.
5. Pollock A, Farmer SE, Brady MC, Langhorne P, Mead GE, et al. (2014) Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* (11):CD010820.
6. Jeannerod M (1994) The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behav Brain Sci* 17(2): 187-245.
7. Héту S, Grégoire M, Saimpont A, Coll MP, Eugène F, et al. (2013) The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 37(5):930-949.
8. Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, et al. (1995) Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol* 74(3):1037-1045.
9. Yue G, Cole KJ (1992) Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol* 67(5):1114-1123.
10. Park SW, Kim JH, Yang YJ (2018) Mental practice for upper limb rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Int J Rehabil Res* [Epub ahead of print].
11. García Carrasco D, Aboitiz Cantalapiedra J (2016) Effectiveness of motor imagery or mental practice in functional recovery after stroke: a systematic review. *Neurologia* 31(1):43-52.
12. Cha YJ, Yoo EY, Jung MY, Park SH, Park JH (2012) Effects of functional task training with mental practice in stroke: a meta analysis. *NeuroRehabilitation* 30(3):239-246.
13. Nilsen DM, Gillen G, Gordon AM (2010) Use of mental practice to improve upper-limb recovery after stroke: a systematic review. *Am J Occup Ther* 64(5):695-708.
14. Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhan MA, Siekierka E, Steurer J (2008) Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 5:8.
15. Bai O, Huang D, Fei DY, Kunz R (2014) Effect of real-time cortical feedback in motor imagery-based mental practice training. *NeuroRehabilitation* 34(2):355-363.
16. van der Meulen M, Allali G, Rieger SW, Assal F, Vuilleumier P (2014) The influence of individual motor imagery ability on cerebral recruitment during gait imagery. *Hum Brain Mapp* 35(2):455-470.
17. Prasad G, Herman P, Coyle D, McDonough S, Crosbie J (2010) Applying a brain-computer interface to support motor imagery practice in people with stroke for upper limb recovery: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil* 7:60.
18. Mihara M, Hattori N, Hatakenaka M, Yagura H, Kawano T, et al. Near-infrared

- spectroscopy-mediated neurofeedback enhances efficacy of motor imagery-based training in poststroke victims: a pilot study. *Stroke* 44(4):1091-1098.
19. Zich C, Debener S, Schweinitz C, Sterr A, Meekes J, et al. (2017) High-Intensity Chronic Stroke Motor Imagery Neurofeedback Training at Home: Three Case Reports. *Clin EEG Neurosci* 48(6):403-412.
 20. Ronsse R, Puttemans V, Coxon JP, Goble DJ, Wagemans J, et al. (2011) Motor learning with augmented feedback: modality-dependent behavioral and neural consequences. *Cereb Cortex* 21(6):1283-94.
 21. Pineda JA (2005) The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing". *Brain Res Brain Res Rev* 50(1):57-68.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kodama T, Katayama O, Nakano H, Ueda T, Murata S	4. 巻 50
2. 論文標題 Treatment of Medial Medullary Infarction Using a Novel iNems Training: A Case Report and Literature Review	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical EEG and Neuroscience	6. 最初と最後の頁 429-435
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1550059419840246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakano H, Kodama T, Murata S, Nakamoto T, Fujihara T, Ito Y	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of Auditory Neurofeedback Training on Upper Extremity Function and Motor Imagery Ability in a Stroke Patient: A Single Case Study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Clinical Research & Trials	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15344/2456-8007/2018/126	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 Kodama T, Nakano H, Katayama O, Murata S	4. 巻 35
2. 論文標題 The association between brain activity and motor imagery during motor illusion induction by vibratory stimulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Restorative Neurology and Neuroscience	6. 最初と最後の頁 683-692
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/RNN-170771	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, Kodama T, Ukai K, Kawahara S, Horikawa S, Murata S	4. 巻 8
2. 論文標題 Reliability and Validity of the Japanese Version of the Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/brainsci8050079	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0件

〔図書〕 計5件

1. 著者名 Nakano H, Kodama T	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 -
3. 書名 Strategies and Underlying Brain Mechanisms of Motor Learning. Motor Learning: A Review and Directions for Research	

1. 著者名 Nakano H, Kodama T	4. 発行年 2017年
2. 出版社 InTechOpen	5. 総ページ数 -
3. 書名 Understanding Neural Mechanisms of Action Observation for Human Motor Skill Acquisition. Electroencephalography	

1. 著者名 Nakano H, Kodama T	4. 発行年 2017年
2. 出版社 InTechOpen	5. 総ページ数 -
3. 書名 Motor Imagery and Action Observation as Effective Tools for Physical Therapy. Neurological Physical Therapy	

1. 著者名 Kodama T, Nakano H	4. 発行年 2017年
2. 出版社 InTechOpen	5. 総ページ数 -
3. 書名 Neuroscience-Based Rehabilitation for Stroke Patients. Neurological Physical Therapy	

1. 著者名 Nakano H	4. 発行年 2020年
2. 出版社 InTechOpen	5. 総ページ数 -
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 https://www.nakano-neuroreha.com/</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
---------------------------	-----------------------	----