

# 簡易脳波計を使用したニューロフィードバック トレーニングの効果の検討

——メンタルプラクティスへの応用——

*Examining the Effect of Simple Electroencephalograph Neurofeedback  
on Mental Practice*

梅野 和也<sup>1)</sup> 中村 浩一<sup>2)</sup> 井元 淳<sup>1)</sup> 宮田 浩紀<sup>3)</sup>

KAZUYA UMENO, RPT, MS<sup>1)</sup>, KOUICHI NAKAMURA, RPT, PhD<sup>2)</sup>, ATSUSHI INOMOTO, RPT, MS<sup>1)</sup>,  
HIRONORI MIYATA, OTR, MS<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation, Kyushu Nutrition Welfare University: 1-5-1 Kuzuharatakamatsu,  
Kokuraminami-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 800-0298, Japan TEL +81 93-471-7939 E-mail: umeno@knwu.ac.jp

<sup>2)</sup> Department of Shizuoka Physical Therapy, Faculty of Health Science, Tokoha University

<sup>3)</sup> Department of Occupational Therapy, Faculty of Rehabilitation, Kyushu Nutrition Welfare University

*Rigakuryoho Kagaku 33(6): 901-904, 2018. Submitted May 28, 2018. Accepted Jul. 20, 2018.*

**ABSTRACT:** [Purpose] The purpose of this study was to determine the effect of simple electroencephalograph neurofeedback (NF) on mental practice (MP). [Participants and Methods] Forty-five healthy students were divided into three groups: the NF group in which individuals used NF during MP; the MP group in which individuals performed normal MP; and a control group whose individuals were not required to engage in any task. The iron ball spinning task was administered before and after the intervention to measure any improvement, and the results were compared. [Results] We found a significant improvement after the intervention in both the NF and MP groups; however, there was no significant difference between these two groups. [Conclusion] Our results suggest that for young people, adding simple electroencephalograph neurofeedback doesn't improve MP performance.

**Key words:** mental practice, neurofeedback, electroencephalogram

**要旨:**〔目的〕簡易脳波計を使用したニューロフィードバック (NF) をメンタルプラクティス (MP) に併用した際の効果を明らかにすることとした。〔対象と方法〕健常男子大学生 45 名を対象とし、MP 時に NF を併用する NF 群、MP を実施する MP 群、介入を実施しない対照群の 3 群に無作為に分類し、検定課題である鉄球回しの介入前後 (Pre 試行と Post 試行) で比較検討した。〔結果〕NF 群と MP 群において Post 試行で有意な改善が認められたが、2 群間で有意差は認められなかった。〔結語〕若年者を対象とした場合、MP に簡易脳波計を用いた NF を付与することによる効果の向上は確認できなかった。

**キーワード:** メンタルプラクティス、ニューロフィードバック、脳波

<sup>1)</sup>九州栄養福祉大学 リハビリテーション学部 理学療法学科: 福岡県北九州市小倉南区葛原高松 1-5-1 (〒800-0298)  
TEL 093-471-7939

<sup>2)</sup>常葉大学 健康科学部 静岡理学療法学科

<sup>3)</sup>九州栄養福祉大学 リハビリテーション学部 作業療法学科

## I. はじめに

近年、脳卒中患者に対するリハビリテーションにおいて運動イメージの使用が注目されている。Langhorneら<sup>1)</sup>は脳卒中患者の上肢運動障害の治療として運動イメージを用いた訓練が効果の高い治療であると報告している。運動イメージ中は、実際に運動した時と類似した脳活動が得られることが確認されており<sup>2)</sup>、運動イメージを用いて運動スキルの向上を図る練習はメンタルプラクティス (Mental practice: 以下, MP) と呼ばれている。脳卒中治療ガイドライン 2009 においても、「麻痺側上肢に対しイメージ訓練を積極的に繰り返し行うことが強く勧められる (グレード A)」と提示されたが<sup>3)</sup>、運動イメージが臨床に取り入れられているとは言いがたい。その理由の一つに、MP を実施した際、本当に対象者が運動イメージを想起できているかが確認できない点が挙げられる。そのため、運動イメージ想起中に脳波等の検査機器を用いて対象者の脳神経活動を観察し、視覚や聴覚などでフィードバックし、確実に脳活動を賦活するアプローチ方法の確立が求められている。この方法の一つとして脳波計などを用いたニューロフィードバック (Neurofeedback: 以下, NF) がある<sup>4)</sup>。

NF を治療に用いた研究は多数報告されており、慢性疼痛患者の痛みを制御させた研究<sup>5)</sup>、うつ病等の精神疾患を対象とした研究<sup>6)</sup>、耳鳴りを改善させた研究<sup>7)</sup>等、多岐にわたる。また、Pfurtschellerら<sup>8)</sup>は、脳卒中片麻痺患者を対象として頭皮脳波を用いて感覚運動リズム (sensorimotor rhythm: 以下, SMR) を記録し、その変化量に応じて上肢のアニメーションが変化するシステムを開発した。そのシステムを用いた訓練によって麻痺側の運動イメージとともに生じる SMR の減少が著明になったことを報告しており、NF によって脳活動の可塑性を誘導できる可能性を示している。一般的に NF に必要な脳波の測定には高価かつ大型の機器が必要なことが多く、リハビリテーションの現場に導入するのは容易ではない。近年、脳波計の低価格化と小型化が進んでおり、臨床に近い環境での研究に用いることが容易となっている。しかし、簡易脳波計を用いた NF を MP に併用している報告は我々の知る限りない。

そこで、本研究ではより効果的な MP プログラムを作成することを目的に、従来の MP との比較から、簡易脳波計を使用した NF を MP に併用した際の効果を検討した。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

対象は健常男子学生 45 名とし、年齢  $21.1 \pm 1.1$  歳 (平均  $\pm$  標準偏差) であった。対象者の利き手は、チャッ

プマン利き手テスト<sup>9)</sup>にて評価し、全例が右利きであることを確認した。また、検定課題である鉄球回し課題が未経験の者を対象とした。本研究の対象者に対して事前に口頭と文章で研究の内容の説明を行い、すべての対象者は研究内容を理解した上で承諾書に署名し、研究に参加した。なお本研究は、九州栄養福祉大学・東筑紫短期大学倫理委員会の承認 (第 1603 号) を得ている。

### 2. 方法

対象者を MP 時に NF を併用する NF 群、MP を実施する MP 群、介入を実施しない対照群の 3 群に無作為に 15 名ずつ分類した。実験は対象者 1 名あたり 2 日間で行った。NF 群では、1 日目に MP 前の検定課題 (以下, Pre 試行) を 1 分間行い、次に NF を併用した MP を 10 分間実施した。2 日目に、NF を併用した MP を再度 10 分間行った後、検定課題 (以下, Post 試行) を 1 分間行った。MP 群では、NF を併用する点を除き、NF 群と同じ条件で実施した。対照群に関しては、1 日目に Pre 試行を実施し、特に練習を行わずに 2 日目に Post 試行を実施した。

本研究の検定課題は、鉄球回し課題<sup>10)</sup>を一部修正して実施した。鉄球回し課題は、非利き手に 2 つの玉を持ち、手の平で 2 つの玉を入れ替えるように反時計周りに回転させ、1 分間に回した数を計測した。鉄球は Glorious 社製の健身球 (直径 50 mm, 1 個 130 g) を使用した。

MP は Mulder らの方法<sup>11)</sup>を参考にし、2 日間のトレーニングセッションを実施した。トレーニングセッションは 2 日間連続で 10 分間 (1 分間  $\times$  10 施行) 実施され、各施行間には 30 秒間の休息を設けた。対象者は閉眼にて、実際には運動は行わずに鉄球回しをイメージした。運動イメージ想起においては、筋感覚的運動イメージを促進するため対象者に対し、目を閉じて鉄球を回している運動をイメージし、その際の手指の動きの感覚を感じるように説明した<sup>12)</sup>。

NF では、脳波の測定に簡易脳波計 (BrainPro FM-929, フューテックエレクトロニクス社製) を使用した。体性感覚運動野の興奮性を推定する方法としては、SMR あるいは  $\mu$  波と呼ばれる、運動関連領域のアーチ型をした 8~12 Hz の成分を特徴量にすることが多く<sup>13)</sup>、運動イメージ時には、High  $\alpha$  帯域成分である  $\mu$  波が減衰する<sup>14)</sup>。そのため本研究では、周波数解析の指標に  $\mu$  波である運動関連領域の 12 Hz の周波数を使用した。周波数解析は脳波解析ソフト (PullaxPro, フューテックエレクトロニクス社製) を用いて行った。本研究では、運動関連領域を測定するために国際 10-20 法での C4 を電極配置部位とし、基準電極を左耳朶として、頭頂部から導出される電位をサンプリング周波数 1 Hz とし算出した。

NFの方法は、まずMP介入前に対象者全員の安静閉眼座位時の脳波を3分間測定し、 $\mu$ 波の出現する12 Hzの周波数帯の電圧の平均値を計算し、それを各人のフィードバックの基準値とした。フィードバックの基準値は個別に設定したが、NF群15名の基準値は $2.9 \pm 0.9 \mu\text{V}$ であった。BrainProは任意の脳波が設定値以上検知されると信号音が出力され、測定者に脳波の増減を伝えるバイオフィードバック機能を搭載している。今回は12 Hzの周波数帯の電圧が基準値を超えた場合に信号音でフィードバックするように設定し、基準値を下回った際に信号音が止まるように設定した。また、対象者には事前に運動イメージが良好に実施できている時に基準値を下回った場合信号音が止まる設定であることを伝え、フィードバック音を意識しながらMPを実施した。

統計手法は、被検者間変数を群要因(NF群とMP群と対照群の3水準)、被検者内変数を施行要因(Pre試行とPost試行の2水準)とした反復測定による二元配置分散分析を行った。多重比較検定としてBonferroni法を実施した。また、介入による効果量を算出した。全ての統計分析は、IBM SPSS Statistics 25.0 (IBM社製)を用い、有意水準は5%とした。

### III. 結果

検定課題である鉄球回しの結果(Pre試行, Post試行, 効果量)を表1に示す。二元配置分散分析の結果、群要因と施行要因で有意な交互作用が認められた( $p < 0.01$ )。水準ごとに単純主効果を検定した結果、3群間に関してはいずれの施行にも有意差は認められなかった。施行間の比較に関しては、NF群とMP群において有意な単純主効果が認められ、どちらもPost試行においてPre試行より有意に改善していた( $p < 0.01$ )。効果量についてはNF群とMP群において高い値を示し、対照群においては低い値を示した。

### IV. 考察

本研究は効果的なMPプログラムを作成することを目的に、簡易脳波計であるBrainProを用いたNFをMP

表1 検定課題の結果

	Pre 試行	Post 試行	効果量 (d)
NF 群	$9.6 \pm 4.6$	$14.5 \pm 5.7^{**}$	0.53
MP 群	$9.2 \pm 5.2$	$13.9 \pm 7.3^{**}$	0.51
対照群	$10.5 \pm 7.3$	$11.4 \pm 7.6$	0.04

平均値  $\pm$  標準偏差。二元配置分散分析、多重比較検定(Bonferroni法)。NF: Neurofeedback, MP: Mental Practice. \*\*:  $p < 0.01$  (Pre試行 vs Post試行)。

に併用し、非利き手での鉄球回し課題のトレーニング効果を検討した。その結果、NF群とMP群ではPre試行と比較してPost試行において有意な改善が認められたが、群間比較において有意差は認められず、若年者を対象とした場合、MPにNFを付与することによる効果の向上は確認できなかった。

本研究では、MP実施時に正確な運動イメージを想起させるため、脳活動をモニタリングしフィードバックを与えるNFを併用した。本研究のMP介入において、NF群とMP群では検定課題のPre試行とPost試行の比較で有意な改善が認められた。この結果は、NFを併用したMP介入と通常のMP介入の双方において鉄球回しのパフォーマンスを向上させる可能性を示しており、今回用いたMP介入が一定の学習効果を持つことを示唆した。また、健常者に対するMPで効果を示したという点では、Mulderら<sup>11)</sup>の研究を支持する結果となった。運動イメージを想起すると、下頭頂小葉、前補足運動野、前帯状皮質、運動前野、背外側前頭前野などの運動関連領域に実際の運動に類似した脳活動がみられることが報告されており<sup>2)</sup>、本研究でのパフォーマンスの向上に関しても実際の運動時と類似した脳活動が得られた可能性を示唆している。また、Yueら<sup>15)</sup>はMPによる運動機能の向上は筋力の向上ではなく、運動のプランニングやプログラムなどの改善によるものであるとしており、本研究の検定課題の向上もMPによって運動プログラムがより適切な形に修正されたと考える。

一方、MP介入に関して効果がないとする報告もある<sup>16)</sup>。MP介入で効果が出ない原因としては、対象者の運動イメージ想起能力が低く正確なMPが実施できない、対象者の集中力が低く継続的なイメージができない、対象者が正確な運動イメージができていないか客観的にわからない等が考えられる。本研究では、健常者を対象としているため運動イメージ想起能力や集中力が極端に低いことは考えにくく、NF群では特に脳波計を使用して対象者にフィードバック情報を与えながらMP介入を実施したため、対象者が正確に運動イメージを想起できたと考えられる。しかし、健常者であっても運動イメージを用いた介入を行うには、運動イメージ想起能力を確認すべきであると考えられるため、今後は運動イメージ想起能力の評価も併せて実施する必要がある。

本研究において、MP群においてNF群と同程度の高い効果量を示した。この結果は、MP群においてNF群と同様のMPの効果があったと考えられ、MP群がNF群と同様に正確なMPを実施できたことを表している。つまり、本研究のように健常成人でMPを実施する際は、脳波の測定を補助的に実施しなくとも効果的なMPを実施できる可能性が示された。しかし、臨床でMPを実施する際は脳卒中患者など脳に損傷がある場合も多く、運動イメージの想起が難しいことが想定される。そのため、

今後は運動イメージの想起が難しい者を対象としてNFを併用したMP訓練を実施しその効果を検証する必要がある。

今回併用したNFの問題点として、本研究ではNF群に対して事前に3分間脳波を測定しその平均値から通常時の $\mu$ 波の平均電圧を計測し、それを下回った際にフィードバックを与えている。これには当然個人差があり、対象それぞれ基準値が異なることが効果の有無に影響した可能性がある。また、本研究ではフィードバック方法として聴覚フィードバックを使用しており、 $\mu$ 波が設定値を上回っているときは信号音が鳴り、対象者にはこの信号音を意識することが求められた。そのため、課題が二重課題となってしまう運動学習効果を阻害した可能性が考えられる。今後は、フィードバック値の設定方法やフィードバックを与える方法などを再検討し、より効果的なNFの方法を開発し、脳卒中患者や高齢者など運動イメージの想起能力の低い者を対象とした訓練に発展させていきたい。

**利益相反** 本研究に関して開示すべき利益相反はない。

#### 引用文献

- 1) Langhorne P, Coupar F, Pollock A: Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol*, 2009, 8: 741-754.
- 2) Deiber MP, Ibañez V, Honda M, et al.: Cerebral processes related to visuomotor imagery and generation of simple finger movements studied with positron emission tomography. *Neuroimage*, 1998, 7: 73-85.
- 3) 脳卒中ガイドライン委員会編：脳卒中ガイドライン2009. 協和企画, 東京, 2009, p305.
- 4) 木下晃秀, 滝沢 龍, 笠井清登: 統合失調症に対するニューロフィードバックの現状と展望. *分子精神医学*, 2014, 14: 171-179.
- 5) deCharms RC, Maeda F, Glover GH, et al.: Control over brain activation and pain learned by using real-time functional MRI. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 18626-18631.
- 6) Linden DE, Habes I, Johnston SJ, et al.: Real-time self-regulation of emotion networks in patients with depression. *PLoS One*, 2012, 7: e38115.
- 7) Crocetti A, Forti S, Del Bo L: Neurofeedback for subjective tinnitus patients. *Auris Nasus Larynx*, 2011, 38: 735-738.
- 8) Pfurtscheller G, Muller-Putz GR, Scherer R, et al.: Rehabilitation with brain-computer interface systems. *Computer*, 2008, 41: 58-65.
- 9) Chapman LJ, Chapman JP: The measurement of handedness. *Brain Cogn*, 1987, 6: 175-183.
- 10) 川崎 翼, 荒巻英文, 兎澤良輔・他: 短期的な観察学習効果とその基盤となりうるワーキング・メモリの影響の検討. *理学療法科学*, 2015, 42: 569-574.
- 11) Mulder T, Zijlstra S, Zijlstra W, et al.: The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Exp Brain Res*, 2004, 154: 211-217.
- 12) 梅野和也, 中村浩一, 井元 淳・他: 運動イメージ想起能力とメンタルプラクティスの効果との関係—属性の異なる運動イメージ評価法を用いた研究—. *理学療法科学*, 2018, 33: 313-317.
- 13) 牛場 潤, 春日翔子: Brain-Machine Interface (BMI) リハビリテーション. *神経治療*, 2014, 31: 669-704.
- 14) Ritter P, Moosmann M, Villringer A: Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI-BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex. *Hum Brain Mapp*, 2009, 30: 1168-1187.
- 15) Yue G, Cole KJ: Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol*, 1992, 67: 1114-1123.
- 16) Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al.: Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain*, 2011, 134: 1373-1386.