

<原著>

メンタルプラクティスと脳波の関係 －簡易脳波計を用いた検討－

Relationship between the Effects of Mental Practice and Electroencephalography: A Study Using a Simple Electroencephalogram

梅野 和也¹, 中村 浩一¹

Kazuya UMENO, RPT, MS, Koichi NAKAMURA

¹ 常葉大学健康科学部静岡理学療法学科

Department of Physical Therapy, Shizuoka, Faculty of Health Sciences, Tokoha University

【要 旨】

〔目的〕メンタルプラクティス（MP）中の脳波を測定し、MP中の脳波とMP前後の運動課題の変化量との関係を明らかにすることとした。〔対象と方法〕健康大学生40名を対象とし、運動課題は左手で鉄球を回す鉄球回し課題を実施した。MP中に脳波計にて中心部を測定する中心群と前頭部を測定する前頭群に分類し、2群それぞれでMP前後の変化量と脳波との関係を検討した。〔結果〕前頭群において、 α 波の一部と β 波の一部がMP前後の変化量と有意な関係が認められた。しかし、中心群ではMP中の脳波とMP前後の変化量との間に有意な関係は認められなかった。〔結語〕MP中の前頭部 α 波と β 波がMP前後の変化量に関連がある可能性がある。

【ABSTRACT】

[Purpose] We obtained electroencephalograms during mental practice (MP) to clarify the relationship between electroencephalograms during MP and changes in motor tasks before and after MP. [Subjects and Methods] Subjects were 40 healthy university students. The exercise task was performed by rolling two iron balls using the left hand. The subjects were classified into a central group to measure the central part of the brain and frontal group to measure the frontal part of the brain using electroencephalography during MP. The relationship between the changes before and after MP and electroencephalography was examined in both groups. [Results] In the frontal group, part of the α wave and part of the β wave were significantly related to the amount of change before and after MP. However, in the central group, there was no significant relationship between electroencephalograms during MP and the amount of change in the motor task. [Conclusion] There is a possibility that the frontal α wave and β wave during MP is related to the amount of change before and after MP.

Key Words : メンタルプラクティス, ニューロフィードバック, 脳波
mental practice, neurofeedback, electroencephalogram

1. はじめに

運動イメージ時には、実際の運動時と類似した脳活動が認められるとの報告があり¹⁾, 運動イメージを用いて運動スキルの向上を図る練習であるメンタルプラクティス (Mental practice : 以下, MP) をリハビリテーションに導入する動きが活発となっている. 特に脳卒中患者のリハビリテーションにおいて運動イメージ介入の有効性が検討されており, 脳卒中患者における上肢運動障害の治療においてエビデンスレベルの高い治療として運動イメージを用いた介入が挙げられている²⁾.

一方でMPの臨床応用においては, MP時にどの程度運動イメージを想起できているかが検査者から確認できない点が課題とされている. 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脳神経活動を観察し, 視覚や聴覚などを介したフィードバック (Feedback: 以下, FB) で脳活動を賦活するニューロフィードバック (Neurofeedback : 以下, NFB) の臨床応用が求められている.

通常, 脳波の測定には大型の装置を用い, 多数の電極を装着する. そのため, 装着に時間がかかり, コード類も多く被験者の行動が制限されるという問題があり臨床での応用は難しい. 検査目的の脳波の使用では精度が求められるが, リハビリテーションの効果を高めるため補助的に用いる場合, 単極での測定しかできないというデメリットはあるものの, 小型で手軽に使用できる簡易脳波計が適している. 筆者らはこれまで, 簡易脳波計を用いて中心部 (国際 10/20 法における C4) を測定し, α 波が低下した際に FB を与える NFB を実施してきた³⁾. その結果, 対照群と比べ有意に鉄球回し課題の変化量が高く

MP の効果は示したものの, MP だけを行った群と NFB を併用した群との間での有意差は認められず, NFB 方法の再検討が必要である.

Takahashi ら⁴⁾は, ニューロフィードバックの際に運動イメージ時の運動関連領域 (中心部) の脳波を測定し事象関連脱同期 (Event Related Desynchronization : 以下, ERD) をフィードバックしている. ERD は運動イメージ前後の 200msec に通常出現すると言われている⁵⁾. しかし, 本研究で使用するような安価な単極脳波計では 1 秒単位の脳波の計測しかできず, 正確な ERD が測定できない可能性がある. そのため, 他のフィードバック方法の検討が必要である. 他の方向性として, Lim ら⁶⁾は集中しているときの脳波を分析し, 集中している際に前頭部の β 波が増加していることを報告しており, 運動イメージ時に前頭部の脳波を計測することで, 集中力との関係から脳の状態をフィードバックすることが可能であると考えた.

そこで, 本研究では MP 中に簡易脳波計にて中心部 (国際 10/20 法における C4) を測定する中心群と前頭部 (国際 10/20 法における FP2) を測定する前頭群に分類し, 2 群それぞれで MP を実施し, その前後の運動課題の変化量と MP 中の脳波との関係を検討した. その関係性を明らかにすることにより, 簡易脳波計を用いた NFB 方法確立の一助としたい.

2. 対象と方法

2.1. 対象

対象は運動課題である鉄球回しの経験がない健常成人 40 名 (男性 20 名, 女性 20 名)

とした。対象者の利き手は、チャップマン利き手テスト⁷⁾にて評価し、全例が右利きであることを確認した。全対象者の平均年齢は 21.6 ± 0.6 歳であった。

倫理的配慮として、対象者には、ヘルシンキ宣言に則り、測定のおよび結果の公表について事前に口頭と書面で研究の内容の説明を行い、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、A大学倫理委員会の承認を得て実施した(第1810号)。

2.2. 方法

本研究では、MP中の脳活動を測定するためにMP中に脳波を測定した。使用する簡易脳波計は単極誘導であるため、同時に複数箇所での測定は不可能である。そのため、前頭部と中心部を測定するため、全対象者を無作為に前頭部(FP2)に電極を配置する前頭群20名(男女各10名、 21.5 ± 0.5 歳)と中心部(C4)に電極を配置する中心群20名(男女各10名、 21.7 ± 0.7 歳)に分けた。

実験は、2日間で実施した。実験1日目には、MP前の運動課題として鉄球回し課題を1分間×2回行い(MP前試行)、MPを計15分間(5分間×3回)行った。2日目は1日目と同様にMPを計15分間行った後、MP後の運動課題として再度鉄球回し課題を

1分間×2回行った(MP後試行)(図1)。MP前試行とMP後試行での鉄球回し課題の回数差を変化量とし、本研究での指標とした。前頭群と中心群の両群とも電極接地部位が異なる点を除き、同じ条件で実施した。

運動課題は、川崎ら⁸⁾の鉄球回し課題を一部修正して実施した。鉄球回し課題は、左手(非利き手)に2つの鉄球を持ち、手の平の中で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。この課題は、安静座位にて指先だけでの実施が可能であるため、脳機能測定に影響を与えにくく、健常者を対象とした実験によく用いられる⁹⁾。対象者は、椅子座位にて机の上に腕を乗せた姿勢で実施した。鉄球は健身球(Glorious社製、直径50mm、1個130g)を使用した。MP前試行とMP後試行それぞれ2回実施し、平均値を採用した。MPは2日間で1試行5分間×6試行実施し、1試行毎に2分間の休息を設けた。対象者は、椅子座位にて閉眼し、実際には運動は行わずに運動課題である鉄球回し課題をイメージした。先行研究では、被験者自身が運動を行っているように感じるような一人称的な心的表象である筋感覚的運動イメージが実際の運動実行時の脳活動に近い脳活動を示すことを報告しているため¹⁰⁾、被験者には目を閉じて自分で鉄球を回している時の手指の動きを感

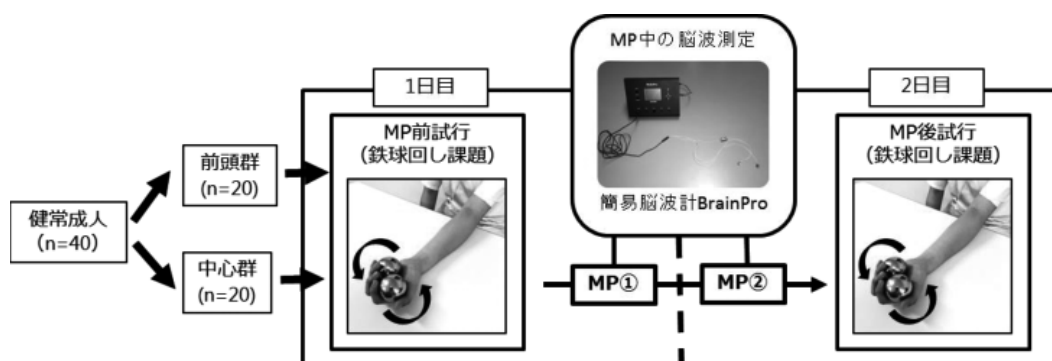


図1. 研究全体の流れ

各群のMP中の脳波とMP前後の運動課題の変化との関係を検討した。

じるように説明した。

脳波の測定は、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。本機器は単極誘導で小型であり、比較的簡単に着脱できるため、通常の脳波計に比べて被験者に与える負担は小さい。測定部位は、運動関連領域のある対側の前頭葉～頭頂葉（中心溝付近）を測定するため、国際10/20法におけるFP2（前頭群）とC4（中心群）とした。また、両群において基準電極はA1（左耳朶）として、各電極から導出される電位を算出した。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。本ソフトでは1秒間の脳波を高速フーリエ変換（サンプリング周波数：1000 Hz）し、1秒毎に3.0 Hzから30 Hzまで0.5 Hz間隔での周波数分析が可能である。周波数帯域の解析では、 θ 波帯域（4.0～7.0 Hz）、 α 波帯域（8.0～13.0 Hz）、 β 波帯域（14.0～30.0 Hz）とし¹¹⁾、それぞれの周波数帯域のパワー値の平均値を算出した。実施時は、アーチファクトに配慮し室内の電子機器の電源を抜き、閉眼し体を動かさないように指導した。

本研究で使用する様な単極の簡易脳波計では、頭部全体の脳波を測定することはできず、顔面筋の筋活動などのアーチファクト混入や電極の設置不良などの影響が強く、得たデータそのままの絶対値による比較は有用ではない。そのため、上野ら¹²⁾の方法を参考にし、各対象者の1秒毎のパワー値の平均値で標準化した値を測定値として採用した。

統計処理については、中心群と前頭群のMP前試行、変化量の比較には2標本t検定を用いた。両群の運動課題の結果と脳波の各周波数（3.0 Hz～30.0 Hz）のパワー値、各周波数帯（ θ 波、 α 波、 β 波）との間の関連は脳波の一部において正規性を認めなかったためSpearmanの順位相関係数を用いて

検討した。全ての統計分析は、IBM SPSS Statistics 27.0（IBM社製）を用い、有意水準は5%とした。

3. 結果

表1に運動課題（MP前試行、MP後試行、変化量）の結果を示した。前頭群と中心群各々の運動課題のMP前試行とMP後試行の比較では、前頭群・中心群ともに有意差が認められた。

MP中の脳波を測定し、各被験者の脳波を個人の平均値で標準化した値を算出し、 θ 波帯域（4.0～7.0 Hz）、 α 波帯域（8.0～13.0 Hz）、 β 波帯域（14.0～30.0 Hz）を平均値から求めた。

表2に各群の周波数帯域のパワー値と標準化したパワー値の平均値と標準偏差を示した。

表3に前頭群と中心群各々における運動課題（MP前試行、MP後試行、変化量）の結果と各周波数帯（ θ 波、 α 波、 β 波）における標準化したパワー値との相関係数を示した。前頭群は、MP前試行と β 波との間に有意な正の相関関係を認めた。また、MP後試行と変化量に関しては、 α 波との間に有意な負の相関関係、 β 波との間に有意な正の相関関係を認めた。一方、中心群においては有意な相関関係を認めなかった。

運動課題の変化量と脳波の各周波数（3.0 Hz～30.0 Hz）における標準化したパワー値との相関関係に関しては、前頭群は変化量と9.5 Hz、10.0 Hz、10.5 Hz、11.0 Hz、11.5 Hzとの間で有意な負の相関が認められた。また、22.5 Hz、23.0 Hz、23.5 Hzでは変化量と有意な正の相関が認められた。一方、中心群においては有意な相関は認められなかった。

表 1. 運動課題の結果

| | 前頭群 | 中心群 |
|-----------|--------------|--------------|
| MP前試行 (回) | 22.7 ± 1.2 | 21.5 ± 1.5 |
| MP後試行 (回) | 30.7 ± 1.6** | 28.3 ± 1.9** |
| 変化量 (回) | 8.0 ± 0.7 | 6.8 ± 0.8 |

平均値±標準偏差, 2標本t検定, MP: Mental Practice

** : p<0.01 (MP前試行 vs MP後試行)

表 2. 各群の周波数帯域のパワー値

| 項目 | 前頭群 | | 中心群 | |
|----|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | パワー値 | 標準化 | パワー値 | 標準化 |
| θ波 | 3.04 ± 0.62 | 0.63 ± 0.18 | 3.10 ± 0.75 | 0.56 ± 0.21 |
| α波 | 2.75 ± 0.87 | 0.43 ± 0.26 | 3.34 ± 1.04 | 0.59 ± 0.31 |
| β波 | 1.37 ± 0.27 | -0.38 ± 0.08 | 1.46 ± 0.20 | -0.39 ± 0.07 |

“標準化”は各対象の標準化されたデータより作成

表 3. 運動課題の結果と脳波の各周波数帯との相関係数（標準化したデータを使用）

| | 前頭群 | | | 中心群 | | |
|----|-------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | MP前試行 | MP後試行 | 変化量 | MP前試行 | MP後試行 | 変化量 |
| θ波 | -0.06 | -0.02 | 0.31 | -0.11 | -0.20 | -0.30 |
| α波 | -0.44 | -0.64** | -0.75** | 0.20 | 0.13 | 0.03 |
| β波 | 0.47* | 0.62** | 0.49* | 0.01 | 0.09 | 0.13 |

MP: Mental Practice

* : p<0.05, ** : p<0.01

4. 考察

前頭群における運動課題の結果と脳波との関係では、運動課題のMP前試行、MP後試行、変化量においてβ波と正の相関関係が認められた。また、各周波数でのパワー値との関係に関しては、変化量と一部のβ波帯域において、運動課題の変化量と有意な正の相関が認められ、MP中のβ波の高さがMP後の運動課題の改善に関わりがある可能性を示した。Rayら¹³⁾の報告では、認知的な課題を行う際にβ波に変化が現れることを報告しており、本研究におけるMPが認知的な処理を多く含む課題であることが示唆された。一方で運動課題のMP後試行と変化量はα波

と負の相関関係が認められた。さらに、各周波数でのパワー値との関係に関しても、変化量とα波帯域の多くの周波数で有意な負の相関関係を認め、MP中のα波の低さがMP後の運動課題の改善に関連がある可能性を示した。α波の活動は一般に安静時に増加し、精神活動や認知活動の開始の際に低下すると言われており¹⁰⁾、本研究で用いたMPは認知活動を促すことが推察された。この結果から、簡易脳波計でMPを実施する場合、前頭部においてα波の変化が生じるような脳の状態を促すことがMPの効果に影響を与える可能性が示唆された。そのため、今後MP中に前頭部のα波をコントロールできるように、α波が変化したときに音などでFBする

ことでより効果の高いMPを実施できるのではないかと考える。

中心群における運動課題の結果（MP前試行，MP後試行，変化量）と脳波の各周波数帯（ θ 波， α 波， β 波），脳波の各周波数（3.0 Hz～30.0 Hz）でのパワー値との関係性では，全ての項目において有意な相関関係は認められなかった。過去の脳波を用いたNFB研究において，運動関連領域の活動性を確認する場合，体性感覚運動野近傍の頭皮上から計測される頭皮脳波に含まれるSensorimotor rhythm（SMR）を用いる事が多く，運動イメージあるいは運動遂行によって，8.0 Hz～12.0 Hzの振幅が減少することが報告されている¹⁴⁾。そのため，本研究においては，C4においてMPでの運動課題の変化と8.0 Hz～12.0 Hzのパワー値が何らかの有意な関係を示すことが予想された。しかし，C4において予想される周波数帯の脳波と運動課題の変化との間で有意な関係を認めることはできなかった。SMRは体性感覚運動野由来の脳活動を反映していると考えられているが，現在のSMRの機能的意味は運動実行，運動イメージ，視覚的運動観察，視覚的運動像想起など，さまざまなタスクを設定した時に最もSMRの振幅減少が生じやすかったタスクから類推しており¹⁵⁾，SMRの神経生理学的意味については検討が進んでいない印象がある。本研究での簡易脳波計を用いた研究において8.0 Hz～12.0 Hzのパワー値がMPでの運動課題の変化と有意な関係を示さなかった理由に関して，対象者が適切に運動イメージを想起できていなかった可能性も否定はできないが，今後は簡易脳波計における運動イメージ時の反応様式など詳細に検討する必要がある。また，本研究の限界として，症例数が40例と少なく，今後は対象者を増やして検討する必要がある。

本研究によって，MPを実施した際の脳活

動とMP前後の運動課題の変化量との関係が明らかになった。今後，さらに研究精度を上げることで，簡易脳波計を用いたNFBを併用したMPが実現される可能性がある。

利益相反

本研究における開示すべき利益相反はない。

謝辞

本研究にご協力いただきました先生方ならびに学生の皆様，ご参加いただきました対象者の皆様に深謝いたします。

引用文献

- 1) Deiber MP, Ibanez V, Honda M, et al. : Cerebral processes related to visuomotor imagery and generation of simple finger movements studied with positron emission tomography. *Neuroimage*, 7:2 : 73~85, 1998
- 2) Langhorne P : Motor recovery after stroke : A systematic review. *Lancet Neurol*, 8:8 : 741~754, 2009
- 3) 梅野和也，中村浩一，井元淳 他：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ーメンタルプラクティスへの応用ー。 *理学療法科学*, 33:6 : 901~904. 2018
- 4) Takahashi K , Kato K , Mizuguchi N, et al. : Precise estimation of human corticospinal excitability associated with the levels of motor imagery-related EEG desynchronization extracted by a locked-in amplifier algorithm. *J Neuroeng Rehabil*, 15 : 2018
- 5) 菅田陽怜：理学療法のエビデンス構築に向けた運動イメージ・運動模倣の神経基盤の探索。 *日本基礎理学療法学雑誌*, 21:1 : 55～62, 2018
- 6) Lim S, Yeo M, Yoon G : Comparison between Concentration and Immersion Based

- on EEG Analysis. *Sensors*, 19-7 : 1669 ~ 1682, 2019
- 7) Chapman LJ, Chapman JP : The Measurement of Handedness. *Brain Cogn*, 6-2 : 175~183, 1987
- 8) 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. *理学療法学*, 42-7 : 569~574, 2015
- 9) Nojima I, Mima T, Koganemaru S, et al. : Human motor plasticity induced by mirror visual feedback. *J Neurosci*, 32-4 : 1293 ~ 1300, 2012
- 10) Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, et al. : Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex*, 14-11 : 1246~1255, 2004
- 11) 飛松省三 : ここに目をつける! 脳波判読ナビ, 6, 南山堂, 東京, 2016
- 12) 上野秀剛, 石田響子, 松田侑子 他 : 脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価—異なるバージョン間における周波数成分の比較. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 1-2 : 233~242, 2008
- 13) Ray WJ, Cole HW : EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*, 228-4700 : 750~752, 1985
- 14) 牛場潤一 : ブレイン・マシン・インターフェースとリハビリテーション. *日本老年医学会雑誌*, 49-2 : 140~146, 2012
- 15) 牛場潤一 : 頭皮脳波における事象関連脱同期を用いた運動学習. *Jpn J Rehabil Med*, 49-10 : 674~678, 2012

