

小河原格也 論文内容の要旨

主 論 文

Comparing movement-related cortical potential between real and simulated movement tasks
from an ecological validity perspective

生態学的妥当性の観点からの
実動作課題と模擬動作課題における運動関連脳電位の比較検討

小河原格也, 中島輝, 鈴木智高, 菅原憲一,
吉田直心, 八田有洋, 森内剛史, 東登志夫

Frontiers in Human Neuroscience (2024, 17,1313835)
doi: 10.3389/fnhum.2023.1313835

長崎大学大学院医歯薬学総合研究科医療科学専攻
(主任指導教員: 東登志夫教授)

【緒 言】

運動学習中における脳内メカニズムを検討するための神経生理学的手法の一つに、運動関連脳電位 (Movement-Related Cortical Potentials ; MRCP) がある。MRCP は、随意運動の開始の約 1.5~2 秒前に発生する EEG 記録の低周波の負のシフトであり、運動の計画と準備に関与する皮質プロセスを反映すると考えられている。MRCP は、非侵襲的で低コストかつ時間分解能に優れた手法であり、運動学習に関連する研究のみならず、リハビリテーション介入の有効性を評価にも用いられている。

これまで MRCP を用いた運動学習の先行研究においては、主として熟練者と初心者の MRCP を比較する横断的アプローチが多く行われてきた。これらの研究における実験課題は、熟練者が習得してきた技能と比較して単純化されたものが多く、近年その生態的妥当性の問題がしばしば指摘されている。したがって、運動学習課題の生態的妥当性が MRCP にどのような影響を及ぼすかを検討することは極めて重要である。

しかしながら、これまで同一課題において実動作と単純化された模擬動作課題における MRCP を比較した研究は見当たらない。

そこで、本研究では、生態学的妥当性の観点から、実動作課題と模擬動作課題における MRCP を比較検討することを目的とした。

【対象と方法】

精神・神経疾患の既往のない健常人 10 名（全員右利き，平均年齢 22.9 ± 4.1 歳）を対象とした。

実験課題は，椅子に座った姿勢で，左手でビー玉（直径 16mm）を目の高さにある溝（slot）に素早く落とす動作とし，その動作そのものを実行する実動作課題（Real Movement Tasks ; RMT）と，ビー玉を持たずにその動作をシミュレートする模擬動作課題（Simulated Movement Tasks ; SMT）の 2 つの課題を行わせた。課題の順序に関してはカウンターバランスをとり，両課題の間は 60 分以上の休憩をとった。各課題は，約 25 回を 1 セットとし，休憩を挟んで計 200 回行わせた。

MRCP の測定は，国際 10-20 法に基づき，運動皮質（C3 と C4）および補足運動皮質（FCz と Cz）領域に電極を配置した。MRCP のトリガーは，手がスイッチから離れた時とし，正確な onset time を把握するために，左三角筋前部線維から筋電図を同時計測した。

MRCP の指標には，Bereitschaftspotential (BP) と negative slope (NS') の onset time，課題中の BP，NS'，motor potential (MP) の振幅を採用した。

データ解析は，振幅基準を標準化した後，先行研究に基づいて BP，NS' の onset time を特定し，それぞれの最大振幅を算出した。統計処理に関しては，データの正規性を確認した上で，各指標において，課題（RMT，SMT）と領域（C3，C4，FCz，Cz）を 2 要因とする二元配置反復測定分散分析を行った。また，さらに運動学習の影響を検討するために区間（課題の前半と後半）の要因を加えた三元配置反復測定分散分析を行った。

【結 果】

全体として，SMT では RMT に比べて BP と NS' の onset time が遅く，BP，NS'，MP の振幅が小さかった。さらに，RMT では，MRCP の発現時間が遅く，MRCP の振幅が 200 回試行の前半より後半で小さくなったが，SMT では，発現時間，振幅に変化はなかった。

【考 察】

本研究では，RMT と SMT の MRCP を比較し，MRCP の課題特異的な変化を生態学的観点から検討した。その結果，RMT よりも SMT の方が MRCP の開始が遅く，MRCP の振幅が小さいことが明らかになった。これらの結果は，複雑な動作では MRCP が早く出現し，MRCP の振幅が有意に大きくなるという先行研究の結果と一致していた。このことから，RMT は SMT よりも，動作の計画と実行準備において，より多くの皮質活動を必要とすることを示唆している。

さらに，各課題の前半と後半を比較すると，RMT では前半に比べて後半の MRCP の開始時間が遅くなり，振幅が減少していた。SMT でも，onset time，振幅の両パラメータで同様の傾向がみられたが，脳領域によっては前半と後半で有意差が認められない場合もあった。したがって，RMT では，運動学習によって前半の 100 試行よりも後半の 100 試行の方が，同じ課題を遂行するために活性化されるニューロンの数が減少したものと推察された。これに対して SMT は単純な課題であるために運動学習の影響が少なく，MRCP の前半と後半で明確な差が観察されなかったものと考えられた。

結論として，MRCP を用いて運動学習に関連した皮質活動を検討する際には使用する課題の生態学的妥当性を十分に考慮すべきであることが示唆された。