

一過性の運動が脳内の運動準備・出力過程に及ぼす影響

東浦拓郎・西平賀昭

Effects of acute exercise on motor processes in central nervous system

HIGASHIURA Takuro, NISHIHIRA Yoshiaki

【緒言】

一過性の運動と脳機能、特に脳内で行われる情報処理過程との関係は古くから議論されている。多くの研究は反応時間 (reaction time: RT) を指標に評価している。先行研究の結果は必ずしも一致しているわけではないが、一過性の中等度強度の運動後には RT の短縮が報告されている¹⁾。しかしながら、RTは刺激の評価、反応選択、反応遂行など、刺激が入力されてから出力に至るまでのすべての処理段階を含む指標であることから、個々の処理過程に対する影響については検討することができない。

上述の問題点を解決するため、近年では一過性の運動と脳機能の関係を調査する研究においても事象関連脳電位 (event-related brain potentials: ERPs) が用いられている。ERPsはある事象 (感覚刺激の呈示、随意運動など) に関連して生じる脳の一過性の電位変動である。ERPsにはP3といった成分や随伴陰性変動 (contingent negative variation: CNV)、運動関連脳電位 (movement-related cortical potentials: MRCPs) 等の脳電位があり、これらの成分や電位は感覚情報の知覚、弁別、認知、あるいは運動準備・出力などといった脳内情報処理過程の各々に対応するものと考えられている。その中でも MRCPsは随意運動に先行して生じる脳電位である²⁾。MRCPsは複数の成分で構成されるが、特に随意運動開始の1-2秒前から出現する緩徐な陰性電位の運動準備電位 (bereitschaftspotential: BP) とBPに引き続いて出現する急峻な陰性電位のネガティブスロープ (negative slope: NS') は運動準備に関わる神経活

動を反映すると考えられている^{2), 5)}。一般的に MRCPsの誘発課題には自己ペースによる随意運動 (例えばグリップ把持や手指の伸展運動など) を用いる。したがって、外的刺激などに対する予期や期待、認知的活動などの成分が重畳することなく、運動準備に関わる神経活動を評価することが可能となる。

そこで、本研究では自転車ペダリング運動前後に MRCPsを測定し、一過性の中等度強度の運動が脳内の運動準備・出力過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。多くの先行研究において一過性の中等度強度の運動後に RTの短縮が示されている¹⁾ことから、一過性の中等度強度の運動後には脳内の運動準備・出力過程に関わる神経活動が賦活する、つまりBPおよびNS' 振幅が増大することが予想される。

【方法】

参加者は右利きの健康な大学・大学院生11名で、最近2年間は習慣的な運動を行っていない者であった。神経疾患、精神疾患の既往歴のある参加者はいなかった。Table 1には参加者の特徴を示す。すべての参加者に対して、事前に実験の目的、方法などを詳細に説明し、実験参加の同意書を得た。

本研究は、自転車ペダリング運動を行わずに MRCPs測定を行うコントロール条件と、自転車ペダリング運動前後に MRCPs測定を行う運動条件で構成された (Fig. 1)。各条件は、MRCPsを誘発するグリップ把持課題への慣れの影響を避けるために4日以上時間を空け、ランダムに行われ

Table 1 Participant characteristics (n = 11)

Measure	All	Male	Female
Sample size	11	8	3
Age (years)	22.5 ± 2.4	22.0 ± 2.3	24.0 ± 2.6
Age range (years)	19-27	19-24	22-27
Height (cm)	166.8 ± 7.1	169.2 ± 6.8	160.5 ± 2.7
Weight (cm)	59.6 ± 5.3	60.8 ± 5.7	56.3 ± 2.1
Heart rate max (bpm)	190.7 ± 9.2	190.8 ± 9.3	190.7 ± 11.0

Values are the means ± SD

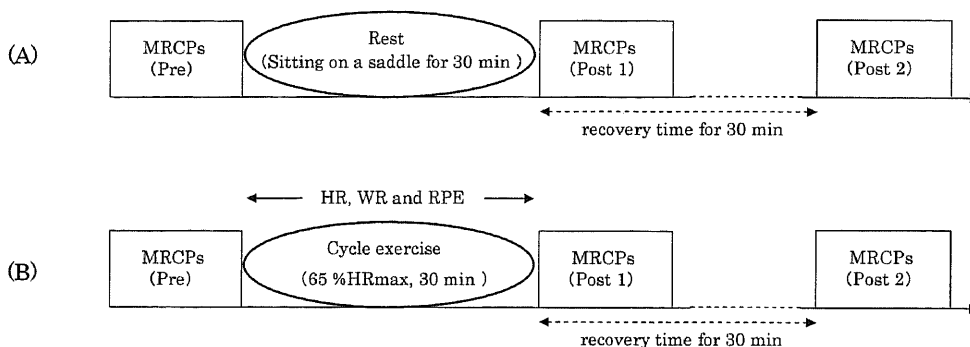


Fig. 1 Experimental protocol (A: control condition, B: exercise condition)

た。また、日内変動の影響を避けるため、脳波を測定する時間帯は各参加者内で統一した。

コントロール条件では、安静状態において運動条件（詳細は後述）と同じ時間間隔で最大随意収縮（maximal voluntary contraction: MVC）の30%の力発揮を行うグリップ把持課題が3セッション（Pre・Post 1・Post 2）実施された。運動条件では、電気ブレーキ式の自転車エルゴメーターを用いて運動負荷を与え、運動前（Pre）、運動終了直後（Post 1）、運動終了後30分の時点（Post 2）でコントロール条件と同じグリップ把持課題を行った。なお、運動強度は最大心拍数の65%、運動時間は30分間であった。

グリップ把持課題遂行中にFCz、Cz、Pz、C3'（C3の2 cm前方）、C3、C3''（C3の2 cm後方）、C4の頭皮上7部位より脳波が記録された。脳波のデータは筋放電開始前2500 msを含む3500 msが分析された。なお、50 μ V以上の振幅の眼電図が混入している試行及び30%MVCを大きく逸脱している試行に関しては加算から除外した。MRCPsの基線算出には加算平均した波形の筋放電開始前2500 msから2000 msの平均電位を用い

た。MRCPsの構成成分であるBP及びNS'はそれぞれ筋放電開始前600-500 ms、100-0 msの平均振幅とした。

【結果および考察】

Fig. 2には運動条件におけるMRCPsの総加算波形を示した。

BPおよびNS' 振幅は運動条件においてのみ運動前（Pre）に比べて運動直後（Post 1）で有意に増大した（Fig. 3）。BPは随意運動開始の約1-2秒前から出現する緩徐な陰性電位であり、自発運動の一般的な準備状態を反映する成分とされている^{2),5)}。また、NS'はBPに引き続いて出現する急峻な陰性電位で、行われる運動に特異的な準備状態を反映する成分と考えられている^{2),5)}。このことから、30分間の中等度強度の運動直後には脳内運動準備・出力過程に関わる神経活動の賦活が生じることが示唆された。BPやNS'の変動要因としては、力の発揮量や速度、課題の難易度などといった動作課題に関連するものが挙げられる⁵⁾。しかしながら、本研究では上記の動作課題に関連する要因の影響を除外するため、単純な動作課題かつ力の

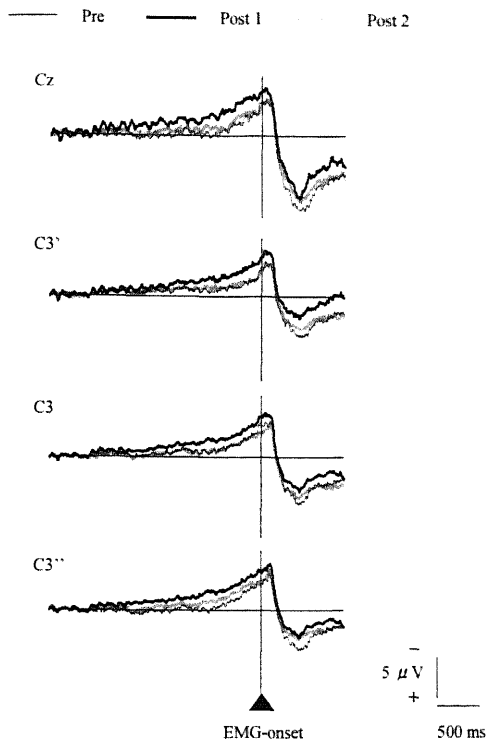


Fig. 2 Grand-average waveforms of MRCPs from four electrode sites (Cz, C3', C3, C3'') for exercise condition (n = 11).

発揮量を統制したことから、他の要因の影響を考慮する必要がある。Masaki et al.⁴⁾は皮膚電位水準を用いて覚醒水準と準備電位 (readiness potential: RP) との関係を検討しており、RPは覚醒水準の変動に対して逆U字型の反応を示すことを示唆している。つまり、RPは低覚醒時および高覚醒時に低振幅を示し、覚醒水準が至適レベルのときに高振幅を示す。また、Kamijo et al.¹⁾は運動強度の異なる20分間の自転車ペダリング運動後にCNVを計測した結果、中等度強度条件では高強度条件に比べて早期、後期CNVが高振幅を示すことを報告した。CNVの後期成分は刺激に対する予期や期待を反映する成分³⁾と運動準備を反映する成分⁷⁾が重疊したものであるが、Kamijo et al.¹⁾の結果から、脳内の運動準備・出力過程は運動誘発性の覚醒水準の変動によっても影響を受けると推測される。本研究では覚醒水準に関する指標を検討していないが、本研究で設定した運動強度、時間は自転車ペダリング運動直後に覚醒水準

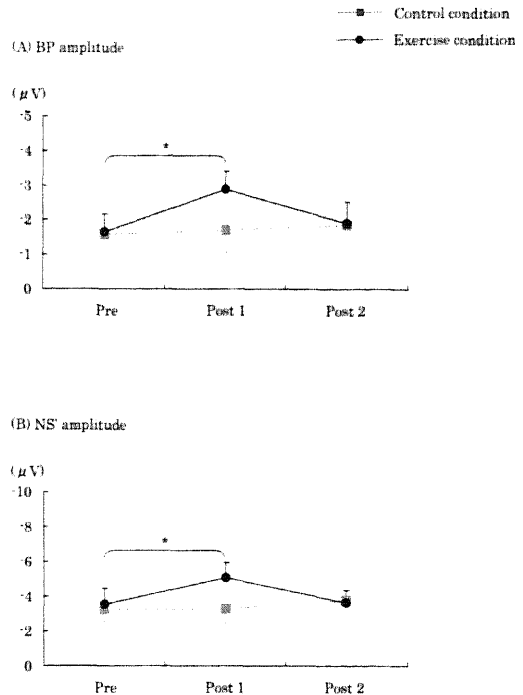


Fig. 3 (A) Mean BP amplitude and (B) mean NS' amplitude for exercise and control conditions (n = 11). BP and NS' amplitude at post 1 increased compared to that of pre only in the exercise condition. Bars represent means (SE).

の変動を確認したKamijo et al.¹⁾の中等度強度条件 [運動強度 (HR): 118.17 ± 4.46 拍/分、運動時間: 20分間] とほぼ同等である。これらのことから、本研究において認められた自転車ペダリング運動直後 (運動条件におけるPost 1) のBP、NS' 振幅の増大は、30分間の中等度強度の自転車ペダリング運動に伴う覚醒水準の変動の影響を受けたことが推察される。

【まとめ】

本研究は一過性の中等度強度の運動が脳内の運動準備・出力過程に及ぼす影響についてMRCPsを用いて検討した。その結果、MRCPsのBP、NS' 振幅は運動前に比べ運動直後で増大した。しかしながら、運動直後にみられたBP、NS' 振幅の増大は運動終了後30分の時点においては認められなかった。以上のことから、一過性の中等度強度の運動後には脳内の運動準備・出力過程に関わる神経活動の賦活が生じるが、それは比較的短時間で

消失する可能性が示唆された。

【文 献】

- 1) Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, Kaneda T, Kida T, Higashiura T, Kuroiwa K: Changes in arousal level by differential exercise intensity. *Clin Neurophysiol* 115: 2693-2698, 2004.
- 2) Kornhuber HH, Deecke L: Changes in the brain potential in voluntary movements and passive movements in man: readiness potential and reafferent potentials. *Pflugers Arch Gesamte Physiol Menschen Tiere* 10: 1-17, 1965.
- 3) Loveless NE, Sanford AJ: Slow potential correlates of preparatory set. *Biol Psychol* 1: 303-314, 1974.
- 4) Masaki H, Takasawa N, Yamazaki K: Human movement-related brain potentials preceding voluntary movements in different arousal states monitored with skin potential level. *Percept Mot Skills* 90: 299-306, 2000.
- 5) Shibasaki H, Hallett M: What is the Bereitschaftspotential? *Clin Neurophysiol* 117: 2341-2356, 2006.
- 6) Tomporowski PD: Effect of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol* 112: 297-324, 2003.
- 7) van Boxtel GJ, Brunia CH: Motor and non-motor aspects of slow brain potentials. *Biol Psychol* 38: 37-51, 1994.