

課題前の有酸素性運動が筋力発揮調整能に及ぼす影響

Effects of Aerobic Exercise before a Task on the Ability to Coordinate Exertion of Force

出口 純次^{1,2)} 三浦 哉³⁾ 田村 靖明⁴⁾
石川 みづき⁵⁾ 村上 亜弥子⁶⁾ 羅 成圭⁷⁾

JUNJI DEGUCHI, MS^{1,2)}, HAJIME MIURA, PhD³⁾, YASUAKI TAMURA, PhD⁴⁾,
MIZUKI ISHIKAWA, PhD⁵⁾, AYAKO MURAKAMI, PhD⁶⁾, SONG-GYU RA, PhD⁷⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Tokushima College of Medical Sciences and Welfare: 128-1 Mitani, Katsuura-cho, Katsuura-gun, Tokushima 771-4307, Japan TEL +81 885-42-4810 E-mail: j.deguchi.pt@tokushima-iryuu.ac.jp

²⁾ Graduate School of Integrated Arts and Science, Tokushima University

³⁾ Laboratory for Applied Physiology, Faculty of Integrated Arts and Science, Tokushima University

⁴⁾ Department of Rehabilitation Medicine, Tokushima Prefecture Naruto Hospital

⁵⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Medical Care, Osaka Yukioka Medical University

⁶⁾ Center for Faculty-wide General Education, Shikoku University

⁷⁾ Institute of Liberal Arts and Sciences, Tokushima University

Rigakuryoho Kagaku 36(3): 453-456, 2021. Submitted Dec. 10, 2020. Accepted Feb. 4, 2021.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to examine the effects of aerobic exercise before a task on the ability to coordinate exertion of force (ACEF). [Participants and Methods] Ten healthy males and 5 females performed two trials in a random order: 10-minutes cycling at 60% $\dot{V}O_2$ max (AE), and sitting without exercise (CON). The ACEF effect was evaluated using a continuous visual isometric grip task, and seven different force trials were performed 8 times each, a total of 56 times. [Results] In the AE trial the number of successful grip tasks significantly increased after 1 and 24 hours compared to the pre-test value; however, there were no significant changes in the CON trial. [Conclusion] Aerobic exercise before a task may enhance the promotion and retention of ACEF.

Key words: ability to coordinate exertion of force (ACEF), aerobic exercise, before task

要旨:〔目的〕課題前の有酸素性運動が筋力発揮調整能に及ぼす効果について検討した。〔対象と方法〕対象者は、健康成人 15 名であり、すべての対象者は 60% $\dot{V}O_2$ max で 10 分間の自転車こぎ運動 (aerobic exercise : AE) 条件および安静座位のコントロール (control : CON) 条件の 2 条件をランダムで実施した。筋力発揮調整能テストは、7 つの強度をそれぞれ 8 回、計 56 回を無作為に実施した。〔結果〕AE 条件における筋力発揮調整能の成功数は、実施 1 時間後および 24 時間後に実施前と比較して有意に増加した。CON 条件では実施前と比較して有意な変化は認められなかった。〔結語〕課題前の有酸素性運動は筋力発揮調整能の促進および保持を向上させる可能性がある。

キーワード: 筋力発揮調整能, 有酸素性運動, 課題前

¹⁾ 勝浦学園徳島医療福祉専門学校 理学療法学科 : 徳島県勝浦郡勝浦町大字三溪字平 128-1 (〒771-4307) TEL 0885-42-4810

²⁾ 徳島大学大学院 総合科学教育部

³⁾ 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部

⁴⁾ 徳島県鳴門病院 リハビリテーション部

⁵⁾ 大阪行岡医療大学 医学部 理学療法学科

⁶⁾ 四国大学 全学共通教育センター

⁷⁾ 徳島大学 教養教育院



I. はじめに

日常生活活動において最大筋力を発揮することは極めて少なく、情報フィードバックが要求される手足の運動や視覚および手の協調等が重要であり、これが低下していると転倒、自動車事故等の傷害の発生率も高くなる¹⁾。また、日常ではコップ、ドアノブ、フライパンなどを使用する機会が多く、これらの形状に対しては掌握動作の筋出力を調節して把持している。

このように、筋出力量を見積り、フィードバックによって筋出力量を修正する能力を筋力発揮調整能と呼ぶ。調整力が必要な動作は、はじめから円滑に行われることは稀である。一般的には、同じ動作を反復することで運動プログラムが形成され、円滑な動作の獲得が可能となる。比較的速い運動の場合には、フィードバック時間の遅れのためにフィードバック制御のみでは対応できず、フィードフォワード制御が必要となる。フィードフォワード制御は、予め目的とする運動に必要な運動指令を脳内で計算しておき、フィードバック情報に頼ることなく運動を遂行する制御である²⁾。しかし、中・高齢者の筋力発揮調整能は若年者と比較して低い³⁾。また、リハビリテーションの臨床現場では、脳血管障害などの疾患の影響によりコップを持つこと、スプーンを把持することなどが困難となり、利き手交換を行い、より不使用の学習を促進することを経験する。したがって、中・高齢者、脳血管障害患者などにおいて筋力発揮調整能を改善することは日常生活を行ううえで重要である。

これまでに、有酸素性運動を習慣的に行うことでは、学習の改善⁴⁾、認知の柔軟性の向上⁵⁾などが報告されている。また、ワーキングメモリーを強化することなど健康成人を対象とした、10分間の軽度または中強度の有酸素性運動セッションは、有酸素性運動でも学習や認知機能を強化すると報告されている⁶⁾。さらに、Lorasら⁷⁾は、25分間の中強度有酸素性運動を実施することで、ゴルフパッティングの技能が24時間保持され、ワーキングメモリーを向上させることを明らかにしている。Roigら⁸⁾は、20分の高強度自転車こぎ運動を実施すると、運動前と比較して運動学習課題である視覚運動精度追跡が24時間後および7日間後の保持に有意に高値を認め、運動学習に有効であることを報告している。Mangら⁹⁾は、運動学習課題である連続追跡課題を実践する前に、20分間の高強度自転車こぎ運動を実施することで、安静条件と比較して運動学習課題の獲得されることをそれぞれ報告している。さらに、Stattonら¹⁰⁾は、30分間の中強度の有酸素性運動を実施させる前に運動学習課題を行うことで、運動技能および保持の獲得を報告している。また、一次運動野や補足運動野などの運動学習に関与する中枢脳領域の興奮性を高める可能性があり、有酸素性運動は、皮質脊髄路の神経可塑性に影響を

与える可能性があることを報告している¹¹⁾。これらのことから、有酸素性運動を実施させることで認知機能の向上および運動学習の獲得あるいは保持が明らかとなっている。

しかし、短時間の有酸素性運動が与える筋力発揮調整能の向上は、明らかになっていない。したがって、従来の20～30分の運動の適応が困難になる対象者にとって、この関係性を明らかにすることで、筋力発揮調整能の改善を目的にしたリハビリテーションなどの臨床場面において、新たな運動プログラムの構築につながるのではないかと考えられる。

そこで、本研究では筋力発揮調整能の練習を行う前に有酸素性運動を実施することで、筋力発揮調整能に及ぼす影響について検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象者は、Edinburgh 利き手テストにより右利きと確認された健康な成人17名(年齢: 21.9 ± 2.6 歳, 性別: 男性12名/女性5名, 身長: 168.5 ± 8.7 cm, 体重: 64.5 ± 10.9 kg, 最大酸素摂取量: 37.1 ± 7.5 ml/kg·min (平均 ± 標準偏差))とした。対象者に、実験の48時間前以降の活発な身体活動、6時間前以降のアルコール摂取、2時間前以降の食事を控えるように指示した。除外基準は、精神医学的または医学的疾患、学習および中枢神経系への影響がある薬物を使用している者とし、2名が除外基準を満たしたため、測定から除外した。

本研究は、徳島大学総合科学部人間科学分野における研究倫理委員会の承諾を得た(受付番号:182)。対象者には、事前に文書および口頭にて研究内容・趣旨、参加の拒否・撤回・中断などについて説明し、書面にて承諾を得た後に実験を開始した。

2. 方法

全ての対象者は、60%最大酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_{2\max}$)で10分間の自転車こぎ運動(aerobic exercise: 以下、AE)条件、および安静座位のコントロール(control: 以下、CON)条件の2条件で実施した。実施順は無作為とし、少なくとも14日以上の間隔をあけ、同一時刻に実施した。筋力発揮調整能テストは課題前、課題終了1時間後および課題終了24時間後に行った。

筋力発揮調整能テストのシステムは、Nagasawaらの方法¹²⁾を参考にし、握力用アタッチメント(T.K.K.5710b, 竹井機器工業社製)と、生体信号を電気アナログ信号に変換するアイソメトリックダイナモメータを使用し、その後、ストレインアンプ(ストレインアンプTSA-210, 竹井機器工業社製)によりアナログ信号をデジタル化した。目標範囲に到達する握力発揮を、視

覚的に波形としてコンピュータ画面に表示し、波形数値を 1/100 ms ごとに Excel に数字として変換して記録した。測定の際に対象者は、コンピュータの前に椅座位となり、非利き手で握力計を把持し、事前に測定された最大の等尺性収縮の $10 \pm 5\%$ 、 $15 \pm 5\%$ 、 $20 \pm 5\%$ 、 $25 \pm 5\%$ 、 $30 \pm 5\%$ 、 $35 \pm 5\%$ 、および $40 \pm 5\%$ の 7 つの強度をそれぞれ 8 回、計 56 回を無作為に実施した。筋力発揮調整能の指標として、目標範囲にピーク値を到達させるのに要した課題遂行時間とした。そして、目標範囲内に握力を発揮させて、目標範囲内にピークを到達させた課題成功数の 2 つを評価した。

最大酸素摂取量は、運動時の運動強度を設定するために、自転車エルゴメータ (232C MODEL50, Combi 社製) を使用し、東大式の多段階負荷法を一部改訂して $\dot{V}O_{2\max}$ を測定した。対象者は、3 分間の安静後に 40 Watts の負荷から開始し、1 分ごとに 20 Watts 漸増させる最大負荷テストを実施した。なお、ペダルの回転数は毎分 60 回転に規定した。 $\dot{V}O_{2\max}$ の決定には、 $\dot{V}O_2$ の leveling off、予測最大心拍数 ($220 - \text{年齢}$) 以上、呼吸交換率が 1.2 以上および Borg scale が 19 以上のうち、2 項目が該当することを条件とした¹³⁾。

統計解析では、全ての測定値については Shapiro-Wilk 検定によってデータの正規性の検定を行い、正規分布を確認した。また、各条件間および条件内における課題前後の測定値の比較には、反復測定による二元配置分散分析を行い、交互作用および主効果の有無を検定した。交互作用および主効果が認められた場合には、Bonferroni の方法を用いた。なお、データの解析には、統計処理ソフト (SPSS 26.0, IBM 社製) を使用した。

III. 結果

AE および CON の課題前、課題終了 1 時間後、および課題終了 24 時間後の課題遂行時間の変化について、AE 条件ではそれぞれ、 57.7 ± 20.5 ms、 53.1 ± 14.5 ms および 54.9 ± 12.6 ms、CON 条件ではそれぞれ、 63.3 ± 23.1 ms、 55.6 ± 12.4 ms および 56.0 ± 14.3 ms であり、各条件ともに有意な交互作用および主効果は認められなかった。

AE および CON の課題前、課題終了 1 時間後、および課題終了 24 時間後の課題成功数の変化について、AE 条件ではそれぞれ、 10.4 ± 3.0 回、 14.0 ± 3.2 回および 14.8 ± 3.8 回、CON 条件ではそれぞれ、 13.0 ± 4.0 回、 14.3 ± 4.4 回および 12.5 ± 3.5 回であり、各条件ともに有意な主効果が認められた ($F(2,28) = 8.0$)。また、各条件間で有意な差は認められなかったが、AE 条件の課題終了 1 時間後、および課題終了 24 時間後の成功数は、課題前と比較して増加した ($p < 0.05$)。

IV. 考察

これまでに学習課題および運動学習課題の前に中～高強度の有酸素性運動を行うことで、それぞれの促進効果が報告されているが、有酸素性運動が筋力発揮調整能においても効果があるかは示されていない。そのため、本研究では筋力発揮調整能を向上させる方法として、課題前の有酸素性運動が筋力発揮調整能の促進および持続効果に与える影響を検討した。その結果、筋力発揮調整能テストの成功数が AE 条件では課題前と比較し、課題終了 1 時間後、および 24 時間後で成功数が有意な増加を示した。このことより、本研究においても課題前の有酸素性運動で、筋力発揮調整能の促進および持続効果が認められた。一方、課題遂行時間において、交互作用および主効果は認められなかったが、AE 条件では、課題遂行時間が遅延せずに、成功数が増加したことが示された。

これまで、Smith ら¹⁴⁾ は、健常成人を対象とした低～高強度の自転車こぎ運動後 15 分後に、運動を行っていない上肢の筋肉における、短潜時皮質内抑制の減少および皮質内促進の増加を報告した。このように、自転車こぎ運動後の皮質内興奮性の調節は、運動に関与する筋肉に限定されず、上肢領域における皮質内抑制の減少および皮質内促進の増加をもたらす。運動が一次運動野の可塑性に好ましい条件を作り出したと考えられる。これらのことが、運動学習の促進をもたらす良好な皮質内の環境をもたらす AE 条件における成功数の増加の一つと考えられる。

さらに、AE 条件において成功数が増加した原因の一つとして、脳由来神経栄養因子 (brain-derived neurotrophic factor: 以下、BDNF) の影響が考えられる。この BDNF は、中強度の有酸素性運動を行うことで、増加することが報告されており¹⁵⁾、本研究で設定した 10 分間の自転車こぎ運動を行うことで、BDNF などの神経化学物質が放出され、運動学習の成功数の増加に影響を与えたのではないかと考えられる。

なお、本研究の限界としては、対象者が健常者に限られているために、体力レベルの状態などが異なる対象者も今後対象に検討し、これらを含め、トレーニングによる介入および現在の研究で観察された行動効果の根底にあるメカニズムを調べることで、筋力発揮調整能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。また、日常生活動作に影響を及ぼす他の要因についても検討し、握力発揮調整能を伴う課題を行う前に有酸素性運動を実施することで動作獲得につながり、本研究結果がその一部に貢献できるのではないかと考えられる。そして、回復期および慢性期の方を対象に、物を把持したりなどの日常生活動作の獲得の一助となり、自立した日常生活動作が増えることで、生活の質の向上につながると示唆される。本

研究で得られた知見は、課題前の有酸素性運動が筋力調整発揮能を促進および保持させる効果が認められた。

利益相反 本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

謝辞 本研究の実施にあたり、ご協力いただいた徳島大学応用生理学研究室のスタッフの皆さまに感謝いたします。

引用文献

- 1) 大築立志：力のグレーディング. *Jpn J Sports Sci*, 1989, 8: 663-667.
- 2) 道免和久. 運動学習とリハビリテーション. *バイオメカニズム学会誌*, 2001, 25: 177-182.
- 3) 長澤吉則, 出村慎一, 山次俊介・他：中・高年齢者における筋力発揮調整能と体力との関係及びその性差. *体力科学*, 2001, 50: 425-435.
- 4) Winter B, Breitenstein C, Mooren FC, et al.: High impact running improves learning. *Neurobiol Learn Mem*, 2007, 87: 597-609.
- 5) Meeran K, Hattersley A, Mould G, et al.: Venepuncture causes rapid rise in plasma ACTH. *Br J Clin Pract*, 1993, 47: 246-247.
- 6) Yamazaki Y, Sato D, Yamashiro K, et al.: Inter-individual differences in working memory improvement after acute mild and moderate aerobic exercise. *PLoS One*, 2018, 13: e0210053.
- 7) Lorás H, Haga M, Sigmundsson H: Effect of a single bout of acute aerobic exercise at moderate-to-vigorous intensities on motor learning, retention and transfer. *Sports Basel*, 2020, 8: 15.
- 8) Roig M, Skriver K, Lundbye-Jensen J, et al.: A single bout of exercise improves motor memory. *PLoS One*, 2012, 7: e44594.
- 9) Mang CS, Snow NJ, Campbell KL, et al.: A single bout of high-intensity aerobic exercise facilitates response to paired associative stimulation and promotes sequence-specific implicit motor learning. *J Appl Physiol* 1985, 2014, 117: 1325-1336.
- 10) Statton MA, Encarnacion M, Celnik P, et al.: A single bout of moderate aerobic exercise improves motor skill acquisition. *PLoS One*, 2015, 10: e0141393.
- 11) Smith JC, Paulson ES, Cook DB, et al.: Detecting changes in human cerebral blood flow after acute exercise using arterial spin labeling: implications for fMRI. *J Neurosci Methods*, 2010, 191: 258-262.
- 12) Nagasawa Y, Demura S: Development of an apparatus to estimate coordinated exertion of force. *Percept Mot Skills*, 2002, 94: 899-913.
- 13) 山地啓司：最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 東京, 2001, pp3-55.
- 14) Smith AE, Goldsworthy MR, Garside T, et al.: The influence of a single bout of aerobic exercise on short-interval intracortical excitability. *Exp Brain Res*, 2014, 232: 1875-1882.
- 15) Gold SM, Schulz KH, Hartmann S, et al.: Basal serum levels and reactivity of nerve growth factor and brain-derived neurotrophic factor to standardized acute exercise in multiple sclerosis and controls. *J Neuroimmunol*, 2003, 138: 99-105.