

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：35309

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01509

研究課題名(和文) タンデム自転車エルゴメータを用いた随意的・受動的運動による呼吸循環応答

研究課題名(英文) Cardiorespiratory responses during active and passive exercise using a tandem-bicycle ergometer

研究代表者

小野寺 昇 (Onodera, Sho)

川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号：50160924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、タンデム自転車エルゴメータを用いた随意的・受動的運動による呼吸循環応答を明らかにすることであった。その結果、タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と対体重酸素摂取量は、ペダル回転数に依存して有意に増加した。ピスト式のタンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動は、運動を能動的に実施できない者への支援に応用可能であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify cardiorespiratory responses to active and passive exercise using tandem bicycle ergometer. As a result, oxygen uptake and heart rate responses to passive pedaling exercise, which was determined using our tandem bicycle ergometer, increased significantly in the number of pedal rotations. These data suggest that passive pedaling exercise using our tandem ergometer could be applied to the rehabilitation for the people exercise that is not able to do voluntarily exercise.

研究分野：運動生理

キーワード：タンデム自転車 タンデム自転車エルゴメータ 心拍数 相対的運動強度 受動的運動 能動的運動

1. 研究開始当初の背景

タンデム自転車エルゴメータを開発した(図1)。タンデム自転車エルゴメータを用いれば、ペダリング動作における随意的・受動的な運動時(passive movement)の酸素摂取量および筋血流量の定量、片脚ペダリング時の酸素摂取量及び筋血流量の定量、片脚ペダリング時の静脈還流量の定量など、新たな仮説の検証が可能になるものと推測する。



図1. タンデム自転車エルゴメータ

2. 研究の目的

タンデム自転車エルゴメータを用いて、これまで一人乗り自転車エルゴメータでは明確にすることが困難であった随意的・受動的な運動に関する仮説の検証と適応を研究目的とする。タンデム自転車エルゴメータは、随意的、受動的な運動を可能とすること、passive movementの生理指標定量を可能にすること、1つの負荷を2人で共有する連結タイプ(ピストバイク型)であることを特徴とする。本研究は、(1) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と酸素摂取量の変化、(2) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の生理応答の変化、(3) タンデム自転車を用いた5時間耐久レース時の心拍数と尿中カテコールアミンの変化を検討とした。

3. 研究の方法

(1) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と酸素摂取量の変化

被験者は健康な成人男性9名(受動ペダル運動者1名(年齢;27歳、身長;172cm、体重;63kg、最高酸素摂取量;39.4ml/kg/min)、能動ペダル運動者8名(年齢;24±4歳、身長;173±5cm、体重;68±11kg、平均値±標準偏差))であった。被験者から研究参加の同意を得て実施した。

測定項目は心拍数と酸素摂取量とした。

運動課題は後乗りが能動ペダル運動、前乗りが受動ペダル運動とし、タンデム自転車エルゴメータを1.5kpの負荷で18分間行った。ペダル回転数は40rpmから80rpmまでとし、3分ごとに10rpmずつ増加させた。一方、受動ペダル運動の被験者となった者に対して、ペダル回転数を増加させた時の能動ペダル運動をいわゆる自転車エルゴメータを用い

て課し、心拍数と酸素摂取量を求めた。

心拍数はスポーツ心拍計(Polar RS800CX)を用い、酸素摂取量はダグラスバッグ法で測定した。クロスオーバー法により被験者を相互の対照群とした。運動強度の変化に対する生理的指標の変化については、繰り返しのある一元配置分散分析によって検定した。

(2) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の生理応答の変化

被験者は健康な成人男性9名(受動ペダル運動者8名(年齢;24±4歳、身長;173±5cm、体重;68±11kg、最高酸素摂取量;46.7±6.5ml/kg/min、平均値±標準偏差)、能動ペダル運動者1名(年齢;27歳、身長;172cm、体重;63kg、最高酸素摂取量;39.4ml/kg/min)とした。被験者から研究参加の同意を得て実施した。

測定項目は、心拍数、酸素摂取量、血圧、皮膚温(外側広筋、腓腹筋)および主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion: RPE)とした。

運動課題は後乗りが能動ペダル運動、前乗りが受動ペダル運動とし、タンデム自転車エルゴメータ運動を1.5kpの負荷で15分間行った。ペダル回転数は40rpmから開始し、3分ごとに10rpmずつ80rpmまで増加させた。心拍数はスポーツ心拍計(Polar RS800CX)を用い、酸素摂取量はダグラスバッグ法で測定した。血圧はアネロイド血圧計を用い、皮膚温は皮膚温計(日機装サーモ表面型サーミスタ温度プローブ)を用いて測定した。ペダル回転数(運動強度)に対する生理的指標数値の変化については、繰り返しのある一元配置分散分析によって検定し、その後多重比較検定(Bonferroni)を行った。

(3) タンデム自転車を用いた5時間耐久レース時の心拍数と尿中カテコールアミンの変化

被験者は、健康な成人男性2名であった。測定項目は、心拍数、血圧、主観的運動強度(RPE)および尿中カテコールアミン3分画(アドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミン:クレアチニン補正)とした。被験者は、3週毎に10分間の休息を行った。心拍数はスポーツ心拍計(Polar RS800CX)を用いて継続的に測定した。休息時に血圧およびRPEを測定した。血圧およびRPEは、尿中カテコールアミン3分画は、運動前後に測定した。

心拍数は、傾斜より分割したサーキットの3ヶ所(A:上り坂、B:下り坂から上り坂、C:長い下り坂から長い上り坂)を解析ポイントとした。被験者毎の最高酸素摂取量と各解析ポイントの心拍数より相対酸素摂取量(%V_{O2peak})を算出した。被験者の最高酸素摂取量は、ダグラスバッグ法を用い自転車エルゴメータにて事前に測定した。

本実験は、約3.7kmのコースを5時間走行した。環境条件は、晴れ、気温21.1℃、湿度

39.9%であった。

4. 研究成果

(1) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と酸素摂取量の変化

前乗り受動ペダル運動における心拍数(図.2)および対体重酸素摂取量(図.4)は、回転数の増加に対して有意に増加した($p < 0.05$)。先行研究は、受動ペダル運動時の心拍数や酸素摂取量の増加を筋機械受容器反射によるものと考察している。タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と対体重酸素摂取量は、ペダル回転数に依存して有意に増加した。

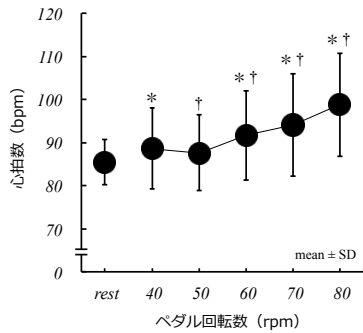


図.2 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における前乗り(受動ペダル運動(n=1:8回))の心拍数変化

*: $p < 0.05$ (vs. rest), †: $p < 0.05$ (vs. 40rpm)

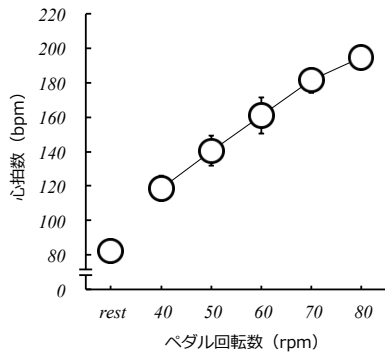


図.3 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における後乗り(能動ペダル運動(n=8))の心拍数変化

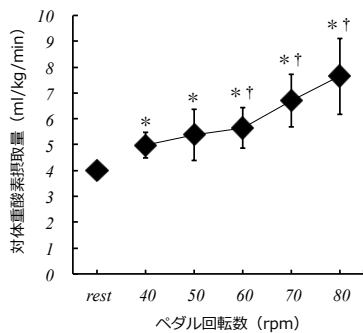


図.4 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における前乗り(受動ペダル運動(n=1:8回))の対体重酸素摂取量変化

*: $p < 0.05$ (vs. rest), †: $p < 0.05$ (vs. 40rpm)

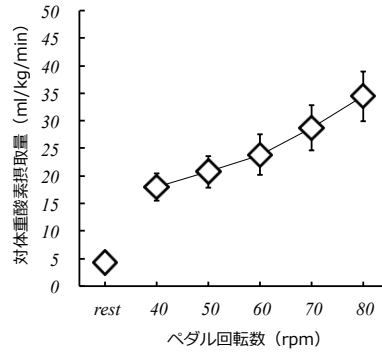


図.5 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における後乗り(能動ペダル運動(n=8))の対体重酸素摂取量変化

(2) タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の生理応答の変化

前乗り受動ペダル運動における心拍数(図.6)、酸素摂取量(図.8)、収縮機血圧およびRPEは、40rpmと比較して80rpmで有意に高値を示した($p < 0.05$)。ペダル回転数の増加に伴う皮膚温の有意な変化は観察されなかった(n. s)。受動ペダル運動時(ペダル回転数 80rpm)の酸素摂取量は、最高酸素摂取量の $16.0 \pm 4.5\%$ 程度であった。ピスト式のタンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動は、運動を能動的に実施できない者への支援に応用可能であることが示唆された。

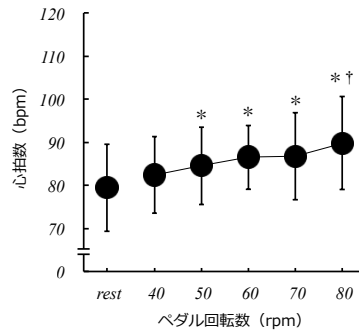


図.6 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における前乗り(受動ペダル運動(n=8))の心拍数変化

*: $p < 0.05$ (vs. 40rpm), †: $p < 0.05$ (vs. 50rpm)

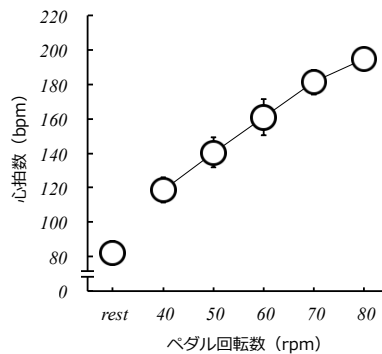


図.7 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における後乗り(能動ペダル運動(n=1:8回))の心拍数変化

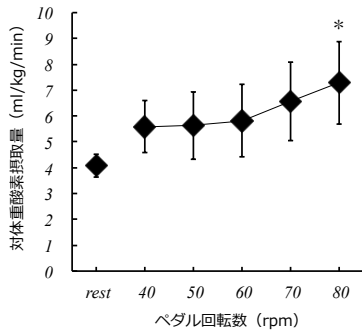


図.8 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における前乗り(受動ペダル運動(n=8))の対比重酸素摂取量変化
*: p<0.05 (vs. 40rpm)

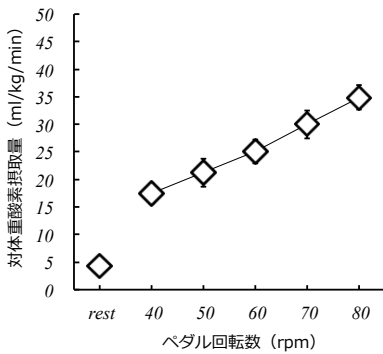


図.9 タンデム自転車エルゴメータ漕ぎ時の各ペダル回転数における後乗り(能動ペダル運動(n=1:8回))の対比重酸素摂取量変化

(3) タンデム自転車を用いた 5 時間耐久レース時の心拍数と尿中カテコールアミンの変化

5 時間で 3.7km のコースを 22 周した。ピット到着時における心拍数の平均値は、170bpm ± 5(前乗り)、163bpm ± 9(後乗り)であった。

各解析ポイントにおける前乗りと後ろ乗りの %VO₂peak の差は、A:8.3%、B:5.4%、C:2.3% であった(図.9、10、11)。前乗りの方が高い値であった。しかし、2 時間後にこの差はみられなくなった。

後乗りは、2~3 時間後に前乗りをサポートしたものと考える。

前乗りの血圧は、2 時間後に上昇した(図.12)。後乗りの RPE は、2 時間後に上昇した(図.13)。

タンデム自転車走行終了 30 分後の尿中アドレナリンは、189%増(前乗り)、121%増(後乗り)であった。タンデム自転車走行終了 30 分後の尿中ノルアドレナリンは、144%増(前乗り)、88%増(後乗り)であった。タンデム自転車走行終了 30 分後の尿中ドーパミンは、1%減(前乗り)、29%減(後乗り)であった(表 1)。これらの結果から、タンデム 5 時間耐久レースは、前乗りの負担度が大きいことが示唆される。

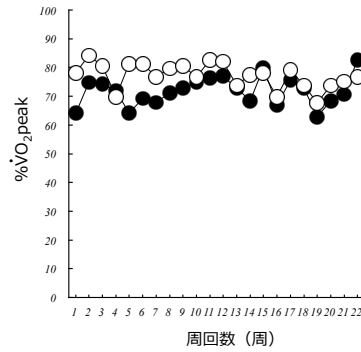


図.10 A地点における前乗りと背後乗りのVO₂peakの比較
○:前乗り●:後乗り

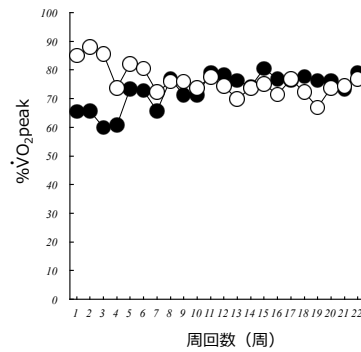


図.11 B地点における前乗りと背後乗りのVO₂peakの比較
○:前乗り●:後乗り

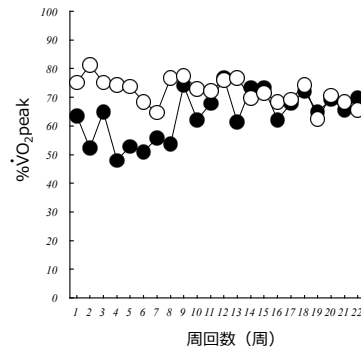


図.12 C地点における前乗りと背後乗りのVO₂peakの比較
○:前乗り●:後乗り

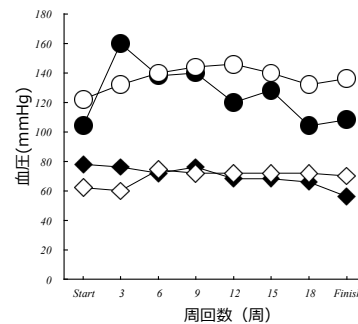


図.13 休息時における前乗りと背後乗りの血圧の比較
○:前乗り(収縮期血圧) ●:後乗り(収縮期血圧)
◇:前乗り(拡張期血圧) ◆:後乗り(拡張期血圧)

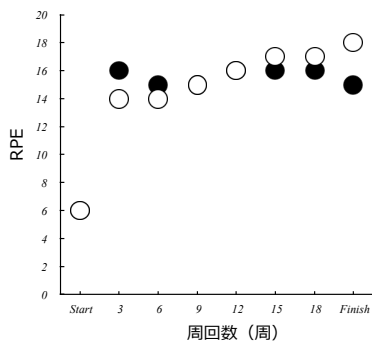


図.14 休息時における前乗りと背後乗りのRPEの比較
○:前乗り●:後乗り

表1. 運動前後の尿中カテコールアミン

	アドレナリン		ノルアドレナリン		ドーパミン	
	運動前	運動後	運動前	運動後	運動前	運動後
前乗り	13.9	27.2	97.7	169.3	330.0	355.2
後乗り	15.9	24.2	152.8	168.3	797.2	632.9

(ng/mgCr)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Sho ONODERA, Takuma WADA, Yutaro TAMARI, Noboru YOSHIDA, Sotaro HAYASHI, HIdetaka YAMAGUCHI, Tatsuya SAITO, Toshihiro WAKIMOTO, Hiroki HAMADA, Akira Yoshioka, Changes in Physiological Responses to Tandem Bicycle Exercise during the 5 Hour Endurance Race in Okayama International Circuit, *Kawasaki Journal of Medical Welfare*, 査読有, 23, 2018, 65-70
- ② Sho Onodera, Tatsuya Saito, Takuma Wada, Yutaro Tamari, Megumi Murata, Noboru Yoshida, Akira Yoshioka, Keisho Katayama, Futoshi Ogita, Suitability of Modified Tandem-Bicycle Ergometer during Submaximal and Maximal Exercise, *European Journal of Sports & Exercise Science*, 査読有, 5, 2017, 23-30, <http://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/suitability-of-modified-tandembicycle-ergometer-during-submaximal-andmaximal-exercise.pdf>
- ③ S Onodera, T Wada, Y Tamari, N Yoshida, S Hayashi, H Yamaguchi, T Saito, A Yoshioka, Changes in relative exercise intensity during a two hour endurance race using a tandem-bicycle for exercise, *Kawasaki Journal of Medica*

Welfare, 査読有, 22, 2016, 47-52, http://www.kawasaki-m.ac.jp/soc/mw/journal/en/2016-e22-1/P47-52_ONODERA.pdf

[学会発表] (計 11 件)

- ① Onodera S, Tamari Y, Wada T, Yoshida N, Hamada H, Saito T, Murata M, Aratani Y, Hayashi S, Takahara T, Yoshioka A, Yamaguchi H, Katayama K, Ogita F, Oxygen uptake and heart rate responses to passive pedaling exercise using a tandem bicycle ergometer, 23th Annual Congress of the European College of Sport Science, 2018
- ② 小野寺昇, 玉里祐太郎, 和田拓真, 吉田升, 濱田大幹, 荒谷友里恵, 斎藤辰哉, 村田めぐみ, 高原皓全, 吉岡哲, 山口英峰, 片山敬章, 荻田太, タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の生理応答の変化, 第 81 回日本体力医学会中国・四国地方会, 2018
- ③ Onodera Sho, Underwater Exercise and Health Promotion, INTERNATIONAL FORUM ON HEALTH EDUCATION AND HEALTH PROMOTION 2017, 2017
- ④ 小野寺昇, 玉里祐太郎, 和田拓真, 吉田升, 濱田大幹, 斎藤辰哉, 村田めぐみ, 荒谷友里恵, 高原皓全, 吉岡哲, 山口英峰, 片山敬章, 荻田太, タンデム自転車エルゴメータを用いた受動ペダル運動時の心拍数と酸素摂取量の変化, 第 80 回日本体力医学会中国・四国地方会, 2017
- ⑤ Onodera S, Yoshida N, Tamari Y, Wada T, Hayashi S, Yoshioka A, Yamaguchi H, Changes of heart rate and urinary catecholamine's during a five-hour endurance tandem-bicycle race, 第 25 回日本運動生理学会大会, 2017
- ⑥ Onodera S, Yoshida N, Tamari Y, Wada T, Hayashi S, Wakimoto T, Yamaguchi H, Yoshioka A, Katayama K, Ogita F, Comparison of physiological stress between the front saddle cyclist and the rear saddle cyclist during a five-hour endurance tandem-bicycle race, 22th Annual Congress of the European College of Sport Science, 2017
- ⑦ 小野寺昇, 吉田升, 和田拓真, 玉里祐太郎, 林聡太郎, 松本希, 吉岡哲, 山口英峰, 片山敬章, 荻田太, 3 時間のタンデム自転車走行時の相対的運動強度, 第 24 回日本運動生理学会大会, 2016

- ⑧ S Onodera, S Hayashi, T Wada, N Yoshida, H Yamaguchi, A Yoshioka, K Katayama, F Ogita, Changes in relative exercise intensity during a two hours endurance race using a tandem-bicycle for exercise, 21st Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016
- ⑨ 小野寺昇, 和田拓真, 吉田升, 林聡太郎, 脇本敏裕, 斎藤辰哉, 玉里祐太郎, 山口英峰, サイクル耐久レース in 岡山国際サーキット 2015 におけるタンデム自転車 3 時間走行時の生理ストレス変化, 第 76 回日本体力医学会中国・四国地方会, 2015
- ⑩ 小野寺昇, 林聡太郎, 和田拓真, 吉田升, 玉里祐太郎, 村田めぐみ, 山口英峰, 吉岡哲, 西村一樹, 松本希, 2 時間耐久自転車レース中のタンデム自転車漕ぎにおける相対的運動強度, 2015
- ⑪ S Onodera, T Saito, S Hayashi, M Murata, K Nishimura, A Yoshioka, K Katayama, F Ogita, Cardiorespiratory responses and pedal force during one-legged exercise with a tandem-bicycle ergometer, 20th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野寺 昇 (ONODERA, Sho)

川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号 : 50160924

(2) 研究分担者

片山 敬章 (KATAYAMA, Keisho)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

授

研究者番号 : 40343214

荻田 太 (OGITA, Futoshi)

鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授

研究者番号 : 50224134