

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03079

研究課題名(和文) 運動時の循環調節およびパフォーマンスに対する呼吸筋活動の影響

研究課題名(英文) Effect of respiratory muscle activation on cardiovascular regulation during exercise

研究代表者

片山 敬章 (Keisho, Katayama)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：40343214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、呼吸筋活動の増加が循環調節に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。研究1：運動中の呼吸筋活動の増加により、有意な血圧上昇および血管運動神経活動の増加が認められた。研究2：換気量を増加させた場合の血圧上昇の程度は、若年女性で同年代の男性と比較して有意に小さかった。研究3：若年男女を対象に、自転車エルゴメータ運動時に吸息筋の活動を増加させた。男女とも、呼吸筋活動増加により血圧上昇および血管運動神経活動の増加が認められたが、その増加の程度は若年女性の方が小さかった。これらの結果から、呼吸筋活動は運動時の循環調節に影響を及ぼすこと、またその影響には性差があることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we attempted to clarify the effects of respiratory muscle activation on cardiovascular regulation. Study 1: Significant increases in arterial blood pressure and sympathetic vasomotor outflow appeared during exercise with expiratory resistance. Study 2: The increase in arterial blood pressure (ABP) during hyperpnoea was lower in young men compared to men. Study 3: During leg cycling with inspiratory resistive breathing, sympathetic vasomotor outflow was increased, accompanied by an increase in ABP. Young women, compared with age-matched men, had less of an increase in ABP. These results suggest that the attenuated inspiratory muscle-induced metaboreflex during exercise in young women could be attributed, in part, to a lesser sympathetic vasomotor outflow.

研究分野：運動生理学

キーワード：呼吸筋 運動 筋交感神経活動 筋代謝受容器反射

1. 研究開始当初の背景

健康な人では、安静時から最大運動にいたる広範囲な換気運動がスムーズに行われる。これは、呼吸筋の代表である横隔膜に加えて、吸息および呼息に関係する多くの補助筋が、運動強度の増加に伴って動員されるためである。近年では、呼吸筋は単なる換気運動のための器官ではなく、酸素を運搬する循環系の調節に影響していることが次第に明らかにされつつある。運動時の循環調節の一つに筋代謝受容器反射がある。これは、運動時に生じる代謝産物を骨格筋内にある受容器が感知し、筋交感神経活動を介して末梢血管を収縮させ、血圧を上昇させるものである。この筋代謝受容器反射が、呼吸筋の活動増加によっても起こることが近年考えられている(呼吸筋由来の代謝受容器反射)。実際に、申請者らは、運動時に吸息筋の活動を増加させると、血管運動神経活動の増加と血圧上昇が認められることを明らかにしている。これらの応答は、活動筋への血流(酸素運搬)を変化させ、運動パフォーマンスに影響することが考えられる。高齢者や呼吸循環器疾患患者では運動時の換気量が健常者と比較して大きく、呼吸筋活動が大きいことが報告されている。したがって、呼吸筋活動の増加による運動時の循環調節への影響が大きいことが考えられる。

2. 研究の目的

- (1) 自転車エルゴメータ運動時に呼気抵抗を負荷し、呼息筋の活動を増加させた場合の循環調節への影響を明らかにする。
- (2) 呼吸筋活動の増加による循環調節に対する影響の性差およびそのメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 運動時の呼気抵抗負荷による循環系への影響

9名の若年男性が本研究に参加した。運動にはリカンベント式の自転車エルゴメータを使用した。運動強度決定のため、漸増負荷を用いて最大運動テストを実施し、最高酸素摂取量を測定した。最大下運動テストは安静5分および運動10分とし、運動強度は最高酸素摂取量の40%とした。10分間の運動の前半5分は自然呼吸、後半5分は自発的過換気(1回換気量:安静時の2倍、呼吸数:60回/分)とした。自発的過換気時に、抵抗あり、抵抗なし(最大呼気口腔内圧の20%)の試行を2回実施した。呼吸パラメータ(1回換気量、呼吸数、呼気終末二酸化炭素分圧、動脈血酸素飽和度)、循環パラメータ(心拍数、血圧)、血管運動神経活動(筋交感神経活動)を測定した。血圧測定は指先より非侵襲連続

血圧装置により、筋交感神経活動の測定には、マイクロニューログラフィ法を用いた。

(2-1) 呼吸筋活動の増加による循環調節に対する影響の性差およびそのメカニズムを明らかにする。

18名の若年男女(それぞれ9名ずつ)が参加した。安静座位にて呼吸筋持久力テストを実施した。テストは、最大随意換気量の30%から開始し、3分ごとに10%ずつ換気量を増加させた。この際、1回換気量は肺活量の60%で固定、呼吸数のみを徐々に増加させた。ターゲットとなる換気量が維持できなくなった時点でテストを中止した。テスト中の呼吸パラメータ(1回換気量、呼吸数、呼気終末二酸化炭素分圧、動脈血酸素飽和度)、循環パラメータ(心拍数、血圧)を連続的に測定した。

(2-2) 呼吸筋活動の増加による循環調節に対する影響の性差およびそのメカニズムを明らかにする。

若年男女それぞれ10名が本実験に参加した。リカンベント式の自転車エルゴメータを使用した。運動強度決定のため、漸増負荷を用いて最大運動テストを実施し、最高酸素摂取量を測定した。最大下運動テストは安静3分および運動10分とし、運動強度は最高酸素摂取量の40%とした。10分間の運動の前半5分は自然呼吸、後半5分は自発的過換気(1回換気量:安静時の2倍、呼吸数:50回/分)とした。自発的過換気時に、抵抗あり、抵抗なし(最大吸気口腔内圧の30%)の試行を2回実施した。呼吸パラメータ(1回換気量、呼吸数、呼気終末二酸化炭素分圧、動脈血酸素飽和度)、循環パラメータ(心拍数、血圧)、筋交感神経活動を連続的に測定した。

4. 研究成果

(1) 運動時の呼気抵抗負荷による循環系への影響

運動時の1回換気量および呼吸数に抵抗あり試行と抵抗なし試行で差はなかった。抵抗なし試行ではテスト前後で最大呼気口腔内圧に変化が認められなかったが(182±12、183±13 cmH₂O)、抵抗あり試行では有意な低下が認められた(188±13、158±12 cmH₂O)。運動時の血圧および筋交感神経活動は、抵抗なし試行では変化が認められなかったが、呼気抵抗ありでは有意な上昇が見られた(図1)。

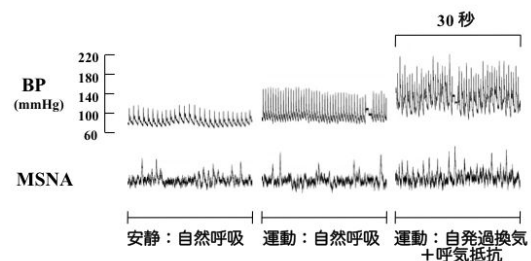


図1. 呼気抵抗負荷時の血圧 (BP) および筋交感神経活動 (MSNA)

(2-1)呼吸筋活動の増加による循環調節に対する影響の性差およびそのメカニズムを明らかにする。

呼吸筋持久力テストの継続時間には男女間に差が認められなかった(男性:12.1±0.5分,女性:11.6±0.7分).心拍数および血圧は,男女とも自発的換気量増加により有意な増加を示した.女性では男性と比較して,安静時から血圧上昇の程度が有意に低かった(図2).

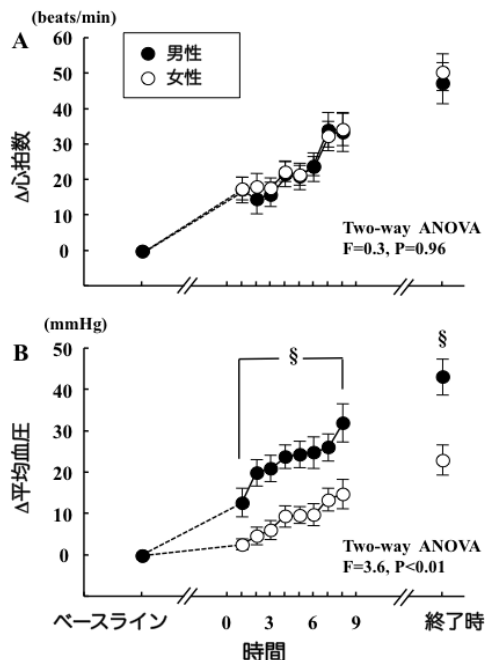


図2. 呼吸筋持久力テスト時の心拍数および平均血圧の変化

(2-2)呼吸筋活動の増加による循環調節に対する影響の性差およびそのメカニズムを明らかにする。

女性8名,男性7名にてデータの取得に成功した.最高酸素摂取量は,男性(41.7±4.9 ml/kg/min)と比較して女性(34.5±5.6 ml/kg/min)で有意な低値を示した.男女とも,抵抗あり試行では有意な血圧上昇および筋交感神経活動の有意な増加が認められた(図3).血圧および筋交感神経活動の増加の程度は,男女より女性で有意に少なかった(図4).

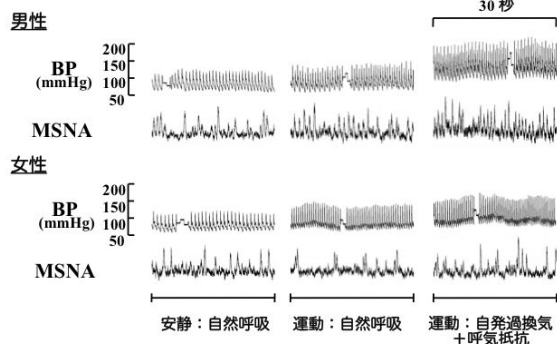


図3. 吸気抵抗負荷時の血圧 (BP) および筋交感神経活動 (MSNA)

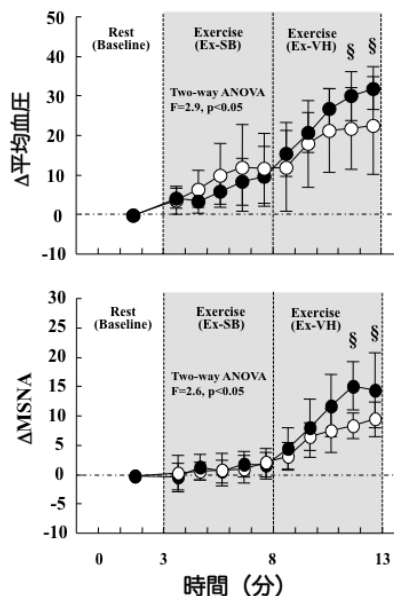


図4. 呼吸筋持久力テスト時の血圧および血管運動神経活動の変化

成果のまとめ

これらの結果から,呼吸筋の活動増加が,運動時の循環調節に影響していることが明らかとなった.また,この呼吸筋由来の代謝受容器反射は,若年女性で同年代の男性と比較して弱いことが示唆される.呼吸筋活動が過度に高い場合には,大きな末梢血管収縮が引き起こされ,これが活動筋への酸素運搬(血流配分)に影響している可能性がある.

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. Katayama K., Smith J.R., Goto K., Shimizu K., Saito M., Ishida K., Koike T., Iwase S., Harms C.A. Elevated sympathetic vasomotor outflow in response to increased inspiratory muscle activity during exercise is less in young women compared with men. *Exp. Physiol.* in press. (査読有)
2. Shimizu K., Goto K., Ishida K., Saito M., Akima H., and Katayama K. Blood pressure response during normocapnic hyperpnoea is blunted in young women compared men. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 52-56, 2018. (査読有)
3. Katayama K., Itoh Y., Saito M., Koike T., and Ishida K. Sympathetic vasomotor outflow and blood pressure increase during exercise with expiratory resistance. *Physiol. Rev.* 3: e12421, 2015. (査読有)

〔学会発表〕(計7件)

1. 後藤歌奈子, 清水香, 齊藤満, 張魯玉, 石田浩司, 片山敬章. 運動時の呼吸筋活動の増加が活動肢および非活動肢の血流量に及ぼす影響. 第22回日本体力医学会東海地方会, 2018.
2. 清水香, 片山敬章, 後藤歌奈子, 秋間広, 石田浩司. 呼吸筋の活動増加による循環応答の性差. 第72回日本体力医学会大会, 2017.
3. 片山敬章, 岩本えりか, 大家利之, 後藤一成, 高尾憲司, 笠井信一, 角大地, 石田浩司, 清水香, 後藤歌奈子, 森寿仁, 鈴木康弘. 呼吸筋活動の増加に対する血圧応答: 低酸素環境での呼吸筋トレーニングによる影響. 第72回日本体力医学会大会, 2017.
4. Shimizu K., Katayama K., Goto K., Ishida K., and Akima H. Blood pressure response during hyperpnoea is lower in women compared with men. 64th American College of Sports Medicine, USA, 2017.
5. Katayama K., Ishida K., Saito M., Koike T., and Ogoh S. Hypoxia attenuates cardiopulmonary reflex control of the sympathetic nerve activity during dynamic leg exercise. 63rd American College of Sports Medicine, USA, 2016.
6. 片山敬章, 伊藤佑華, 齊藤満, 小池晃彦, 石田浩司. 運動時の呼息活動の増加が循環応答に及ぼす影響. 第70回日本体力医学会大会, 2015.
7. Katayama K. Increased respiratory muscle activity affects cardiovascular regulation during exercise. Human High Performance International Forum at University of Tsukuba, 2015.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

http://www.htc.nagoya-u.ac.jp/~katayama/index_jp.html

<http://www.htc.nagoya-u.ac.jp/~katayama/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

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・研究者番号: 40343214

(2)研究分担者

石田 浩司 (Ishida Koji) 名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授・研究者番号: 50193321

(3)連携研究者

齊藤 満 (Saito Mitsuru) 豊田工業大学, 名誉教授・研究者番号: 80126862