

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700649

研究課題名（和文）

運動時の呼吸および循環調節の相互関係に関する研究

研究課題名（英文）

The interaction between respiratory and cardiovascular regulations during exercise

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・准教授

研究者番号：40343214

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、運動時の換気および呼吸調節系の動態が、循環調節に及ぼす影響について、次の2点を明らかにすることであった。1）呼吸調節系である末梢化学受容器を介した循環系への影響、2）運動時の呼吸筋の疲労が、循環動態へ及ぼす影響。

実験1：常酸素（酸素濃度21%）および低酸素（酸素濃度12%）を吸入しながら、最大運動の40%および60%強度での自転車運動を実施した。低酸素ガス吸入における運動時の筋交感神経活動（MSNA）は、常酸素ガス吸入時より有意に高くなった。この筋交感神経活動の変化は、血漿ノルエピネフリンの変化と一致しなかった。この結果から、低酸素による末梢化学受容器への刺激は、運動時の交感神経活動を増加させること、低酸素環境における運動時のMSNA、血漿ノルエピネフリン濃度の変化とことなることが明らかとなった。

実験2：最大運動の40%強度運動中に、吸気抵抗を増加させ循環動態を観察した。吸気抵抗の増加は、MSNAおよび血圧の有意な増加を引き起こした。これらの結果から、運動時の呼吸筋の疲労が、循環系へ影響を及ぼすことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the present study was to elucidate 1) whether carotid chemoreceptors affects muscle sympathetic nerve activity and cardiovascular responses during exercise, and 2) the influence of inspiratory muscle fatigue on muscle sympathetic nerve activity and blood pressure.

Study 1: Muscle sympathetic nerve activity (MSNA), cardiovascular variables, and plasma norepinephrine (NE) concentrations were measured during leg cycling at 40% and 60% of peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) while breathing hypoxic gas mixture. MSNA during exercise in hypoxia was higher than in normoxia. These results suggest that acute hypoxia augments muscle neural activation during dynamic leg exercise, and that the MSNA response during exercise in hypoxia could be different from the change in plasma NE concentrations.

Study 2: MSNA and cardiovascular parameters were recorded during dynamic leg cycling at 40%  $VO_{2peak}$  with or without inspiratory resistive breathing. The time-dependent increase in MSNA appeared during exercise with inspiratory resistive breathing, accompanied by an augmentation of blood pressure (BP). These results suggest that inspiratory muscle fatigue induces increases in muscle sympathetic vasomotor outflow and BP during dynamic exercise.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：スポーツ生理学

## 1. 研究開始当初の背景

運動時には、動脈血ガスへ酸塩基平衡を一定に保つために換気が増大する。この換気の亢進は、呼吸調節系により迅速かつ正確に調節されている。一般健常者では、運動に十分に対応できる呼吸能力があるため、換気は容易に調節される、しかし、高強度運動の継続や高い換気が要求される低酸素環境下での運動、さらに呼吸系の能力が低い睡眠時無呼吸症候群患者や慢性閉塞性肺疾患患者などでは、換気増加に対して呼吸筋の疲労が早期に発現し、それに伴い呼吸困難感が増加する。その結果、肺でのガス交換がうまく行われず、動脈血中の酸素分圧や pH が低下し、活動筋の疲労が早まる。これまでは、これらの呼吸困難感やガス交換不全という呼吸系の直接的な要因が、運動能力を低下させる要因の一つと考えられていた。

近年では、呼吸調節に関係する末梢化学受容器からの信号や、運動時の呼吸筋の疲労による代謝受容器反射が、交感神経活動を増加させ、運動中の活動筋での末梢血管を収縮させることが推測されている。血管収縮は血圧を増加させ、活動筋への血流（酸素運搬）を減少させることから、活動筋の疲労の発現に繋がる。すなわち、換気増加（呼吸系）が循環調節を変化させ、その結果、持久的運動能力に影響を及ぼしていることが考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、運動時の換気および呼吸調節系の動態が、循環調節におよぼす影響について、次の2点を明らかにすることを目的とした。

1. 末梢化学受容器を介した循環調節系への影響を、低酸素ガス吸入により明らかにする。
2. 運動時に呼吸抵抗を増加させ、交感神経活動および血圧を測定し、循環調節に対する換気動態の影響を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### 実験 1.

運動には、リカンベント式の自転車エルゴメータを用いた。被験者は、常酸素（21%）および低酸素（12%）ガスを吸入しながら連続的多段階漸増負荷法を用いて最高酸素摂

取量を測定した。常酸素および低酸素ガス吸入時の最高酸素摂取量の40%および60%運動強度を算出し、それぞれ15分間の運動を実施した。運動中の呼吸循環応答および血漿ノルエピネフリン濃度を測定した。筋交感神経活動の測定には、微小神経電図法を用いた。

### 実験 2.

運動には、リカンベント式の自転車エルゴメータを用いた。被験者は、まず最大運動テストを実施し、最高酸素摂取量を測定した。最高酸素摂取量の40%強度を最大下運動テストに用いた。運動中に、吸気側に抵抗を加えた（40cmH<sub>2</sub>O）場合と加えない場合における呼吸循環応答ならびに筋交感神経活動を測定した。また、異なる日に同じ運動を行い、最大吸気口腔内圧測定を運動の前後に行った。

## 4. 研究成果

### 実験 1.

運動時の心拍数および収縮期血圧に、常酸素および低酸素ガス吸入による影響は見られなかった。拡張期血圧は低酸素環境における運動時に有意に低い値となった。筋交感神経活動は、常酸素での運動より低酸素ガス吸入における運動時に有意に高い値が認められた。低酸素ガス吸入時における運動時の血漿ノルエピネフリン濃度の変化は、筋交感神経活動の変化と一致しなかった。この結果から、低酸素による末梢化学受容器への刺激は、運動時の交感神経活動を増加させること、低酸素環境における運動時のMSNA、血漿ノルエピネフリン濃度の変化とことなることが明らかとなった。

### 実験 2.

最大吸気口腔内圧は抵抗をかけて運動した場合には有意な低下が認められ、呼吸筋が疲労していることが確かめられた。運動時に吸気抵抗を増加させた場合には、時間経過とともに筋交感神経活動と血圧の漸増が認められた。これらの結果から、運動時の呼吸筋の疲労が、循環系へ影響を及ぼすことが明らかとなった。

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., Ishida, K., Iwamoto, E., Iemitsu, M., Koike, T., and Saito, M. Hypoxia augments muscle sympathetic neural response to leg cycling. *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.* R456-R464, 2011.

② Iwamoto, E., Katayama, K., Oshida Y., and Ishida, K. Hypoxia augments oscillatory blood flow in brachial artery during leg cycling. *Med Sci Sports Exerc.* in press.

③ Katayama, K., Iwamoto, E., Ishida, K., Koike, T., and Saito, M. Inspiratory muscle fatigue increases sympathetic vasomotor outflow and blood pressure during submaximal exercise. *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.* in press.

[学会発表] (計 11 件)

① Katayama, K., Ishida, K., Iwamoto, E., Iemitsu, M., Koike, T., and Saito, M. Muscle sympathetic activity during submaximal cycling exercise in hypoxia. American College of Sports Medicine, 58th Annual Meeting. USA, June 6, 2011.

② Iwamoto, E., Katayama, K., Oshida, Y., and Ishida, K. Decrease in blood flow to nonworking limb during incremental exercise in hypoxia. American College of Sports Medicine, 58th Annual Meeting. USA, June 2, 2011.

③ Katayama, K., Yoshitake, Y., Watanabe, K., Akima, H., and Ishida, K. Muscle deoxygenation and myoelectric activity during sustained and intermittent isometric exercise in hypoxia. American College of Sports Medicine, 57th Annual Meeting. USA, June 3, 2010.

④ 片山敬章. 「呼吸」-「循環」 連関, テーマ: 呼吸, 循環, 体温・体液調節の連関と運動パフォーマンスへの影響. 第 66 回日本体力医

学会大会 山口, 9 月 17 日, 2011.

⑤ 岩本えりか, 片山敬章, 石田浩司, 押田芳治. 低酸素環境が非運動肢における血流パターンに及ぼす影響. 第 66 回 日本体力医学会大会, 9 月 16 日, 2011.

⑥ 片山敬章, 家光素行, 河野寛, 岩本えりか, 齊藤満, 石田浩司. 低酸素環境での運動による血流依存性血管拡張能への影響. 第 15 回日本体力医学会東海地方会学術集会, 3 月 12 日, 2011.

⑦ 片山敬章, 岩本えりか, 石田浩司, 家光素行, 齊藤満. 低酸素環境における動的運動時の筋交感神経活動とノルエピネフリン反応. 第 19 回日本運動生理学会大会, 8 月 25 日, 2011.

⑧ 片山敬章. テーマ: 運動強度と呼吸・循環・代謝・骨格筋系. タイトル: 運動時の呼吸系と循環系の相互作用について. 日本体育学会第 61 回大会, 9 月 9 日, 2010.

⑨ 片山敬章, 石田浩司, 岩本えりか, 家光素行, 小池晃彦, 齊藤満. 低酸素環境における動的運動時の呼吸循環応答. 第 65 回 日本体力医学会大会, 9 月 17 日, 2010.

⑩ 片山敬章, 吉武康栄, 渡邊航平, 秋間広, 石田浩司. 低酸素環境下における持続的および間欠的運動時の筋酸素動態. 日本体育学会第 61 回大会, 9 月 10 日, 2010.

⑪ 齊藤満, 片山敬章, 石田浩司, 家光素行. 運動時の筋交感神経活動とカテコールアミン反応. 第 18 回 日本運動生理学会大会, 7 月 31 日, 2010.

[図書] (計 2 件)

① 片山敬章. 換気の化学調節, 運動生理学のニューエビデンス (宮村実晴編集), 243-249, 真興交易 (株) 医書出版部, 東京, 2010.

② 片山敬章. 生活習慣病予防・改善に対する低酸素環境利用の可能性, 創造とスポーツ科学 (東海体育学会編集), 157-167, 杏林書院, 東京, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称:  
発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計◇件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 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・  
准教授  
研究者番号：40343214

### (2) 連携研究者

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)  
愛知学院大学・心身科学部  
研究者番号：80126862

