

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350658

研究課題名(和文) 運動に伴う血圧変化メカニズムの解明

研究課題名(英文) The mechanisms responsible for an alteration with exercise

研究代表者

小峰 秀彦 (Komine, Hidehiko)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・自動車ヒューマンファクター研究センター・研究チーム長

研究者番号：10392614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、運動中に生じる血圧上昇ならびに運動終了後に生じる血圧低下のメカニズムについて、動脈血圧反射調節の観点から明らかにすることを目的とした。動脈血圧反射応答は、大動脈動脈血圧反射と頸動脈圧受容器反射が同程度に寄与することが明らかとなった。運動終了後に生じる血圧低下については、動脈血圧反射の頸動脈洞心拍数反射ではなく、頸動脈洞血圧反射が関与することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the mechanisms responsible for an increase in blood pressure during exercise and the mechanisms responsible for a decrease in blood pressure after exercise. We challenged to clarify the mechanisms with focusing on the arterial baroreflex. The aortic and the carotid baroreflex were equally contributed to the baroreflex responses. The Carotid baroreceptor - blood pressure responses, but not the Carotid baroreceptor - heart rate responses, were contribute to hypotension after exercise.

研究分野：循環生理学、リハビリテーション

キーワード：運動 血圧 動脈血圧反射

### 1. 研究開始当初の背景

運動は、リハビリテーションの臨床現場で用いられるだけでなく、予防医学および健康維持増進の観点からも行われる重要なものである。一方、運動中は血圧が上昇するので運動そのものが心血管イベントの発生リスクとなり得る。また、持久的運動終了後は血圧が低下することが知られており、運動後に失神を引き起こす危険性も報告されている。したがって、安全に運動を行うためには、運動中の血圧上昇のメカニズム、および運動終了後の血圧低下メカニズムを解明し、その対策を検討することが必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、運動にともなう血圧変化の仕組みを解明し、安全に運動を行うための運動処方構築に寄与することである。具体的には、運動中に生じる血圧上昇ならびに運動終了後に生じる血圧低下について、動脈血圧反射調節の観点から、そのメカニズムの解明を目指す。

### 3. 研究の方法

頸部に装着したカラー内部に陰圧、陽圧を負荷することによって、頸動脈洞に存在する動脈血圧受容器を刺激する。その時の心拍数、血圧応答を調べることにより、動脈血圧反射を介した血圧調整メカニズムを解明する。また、頸動脈洞だけでなく、大動脈弓に存在する動脈血圧受容器の影響を調べるために、血圧を変化させた時に、血圧変化に相当する圧力を頸部カラーにフィードバックして血圧変化による頸動脈洞への圧刺激をキャンセルし、心拍数と血圧応答を調べる。

### 4. 研究成果

#### (1) 動脈血圧反射評価装置の作成

頸部を覆うカラーと、頸部カラーに対して陰圧を加えるポンプ、および陽圧を加えるポンプから構成する装置に対して、陰圧・陽圧をコントロールし、血圧反射受容器を様々な方法で刺激する制御機構を作成した。特に、頸部の血圧反射受容器を刺激するだけでなく、末梢で得られる血圧情報を頸部カラーにフィードバックすることで、頸部血圧受容器を刺激せず、大動脈弓血圧受容器のみを刺激する制御装置を作成した。

頸部カラー内に陰圧を加えると、動脈血圧反射応答として心拍数低下および血圧低下がみられた。逆に、カラーに陽圧を加えると心拍数および血圧の上昇がみられた。



図1 動脈血圧反射評価装置

#### (2) 運動時の血圧上昇にかかわる動脈血圧反射メカニズム

これまでに我々は、運動開始時に動脈血圧反射の特性が変化することで血圧と心拍数が同時に上昇することを明らかにしてきた。動脈血圧反射は大動脈弓圧受容器と頸動脈洞圧受容器の二つの血圧受容器からなる反射であるが、それぞれの圧受容器の役割の詳細は不明であった。そこで、頸動脈洞圧受容器と大動脈圧受容器が血圧反射応答に与える影響について調べた。

末梢で動脈血圧の値を計測し、血圧変化に対応する圧力を頸部カラーにフィードバックして頸動脈洞圧受容器を刺激せず、大動脈弓圧受容器のみを刺激すると、両方の圧受容器が機能する場合と比較して、心拍数は小さくなった。心拍数変化に対する血圧変化を算出して動脈血圧反射感受性を評価すると、大動脈圧受容器のみが機能する場合の動脈血圧反射感受性は、両方の圧受容器が機能する場合と比較して約5割程度に低下した。この結果は、大動脈弓圧受容器と頸動脈圧受容器は心拍数制御に対して同程度の寄与度を持つ可能性を示唆する。運動時の血圧・心拍上昇に対しては、大動脈圧受容器と頸動脈圧受容器はそれぞれ同程度に寄与している可能性がある。

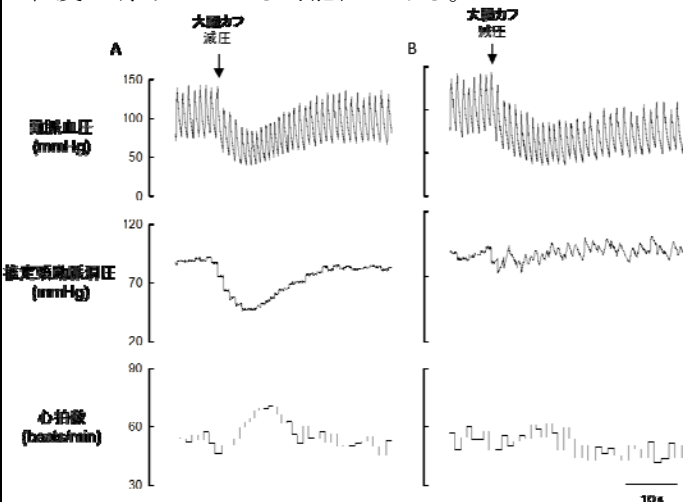


図2 大動脈弓と頸動脈洞の両圧受容器が機能する場合 (A) と大動脈弓のみが機能する場合 (B) の心拍応答

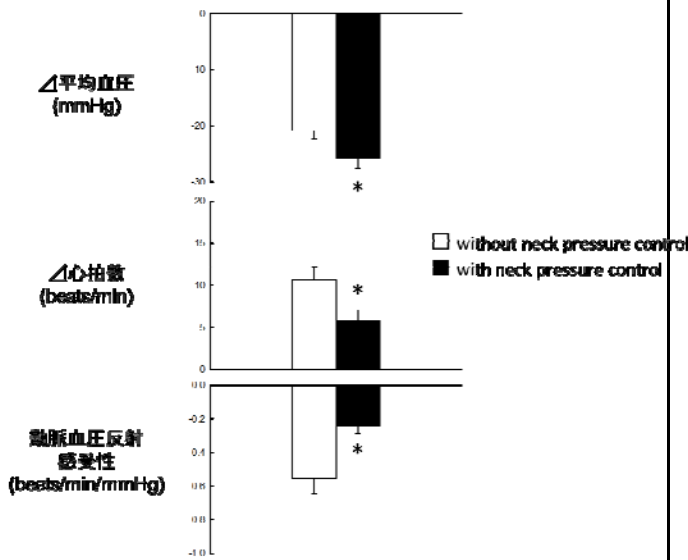


図3 大動脈弓と頸動脈洞の両圧受容器が機能する場合（白棒グラフ）と大動脈弓のみが機能する場合（黒棒グラフ）の血圧反射応答

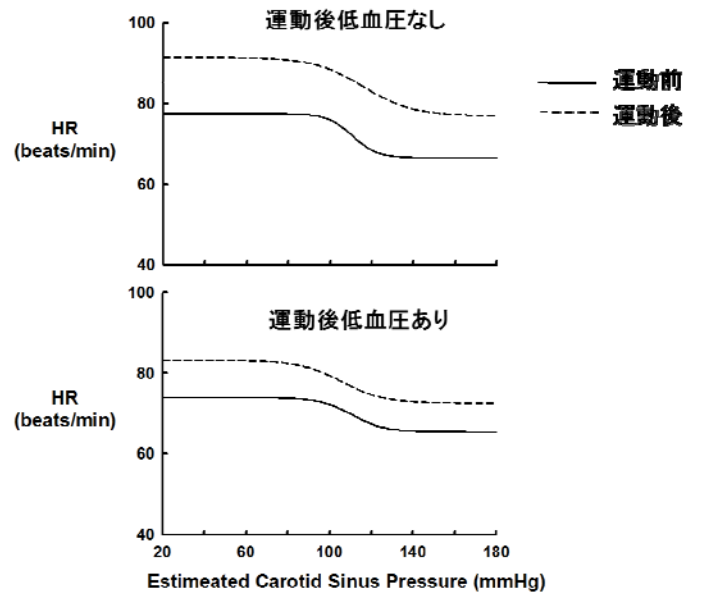


図4 運動後血圧が低下しない者と低下する者における頸動脈洞—心拍数反応曲線

### (3) 運動後血圧低下のメカニズム

若年者を対象に1時間の自転車運動を行い、その前後で動脈血圧反射特性を調べた。動脈血圧反射特性は、頸部陰圧陽圧負荷装置を用いて、+40mmHg～-80mmHgの圧力を頸部に負荷した時の心拍、血圧応答を調べて評価した。心拍数は心電図を記録して算出し、血圧は指尖脈波を用いてbeat-by-beatで連続記録した。血圧と頸部に負荷した圧力から、頸動脈洞にある血圧受容器に加わる圧力を推定した（推定頸動脈洞圧）。+40mmHg～-80mmHgの圧力変化を頸部に加えたところ、圧力変化に応じた心拍、血圧応答がみられた。これら連続圧力負荷に対する心拍、血圧応答から、推定頸動脈洞圧—心拍応答曲線および推定頸動脈洞圧—血圧応答曲線を求めた。

1時間の自転車運動を行うと、運動前と比較して運動後に血圧が低下しない者と、運動後に血圧が低下する者がいた。運動後に血圧が低下する、低下しないにかかわらず、推定頸動脈洞圧—心拍応答曲線のゲインは変わらず、曲線が高心拍方向にシフトした。推定頸動脈洞圧—血圧応答曲線は、運動後に血圧が低下する場合には曲線はシフトせず、ゲインも変化しなかった。一方、運動後に血圧が低下する場合、動脈洞圧—血圧応答曲線のゲインは変わらないが、曲線が低血圧方向へシフトした。

以上の結果は、運動後の血圧低下メカニズムとして、動脈血圧反射の頸動脈洞—心拍数反射ではなく、頸動脈洞—血圧反射が関与することを示唆する。

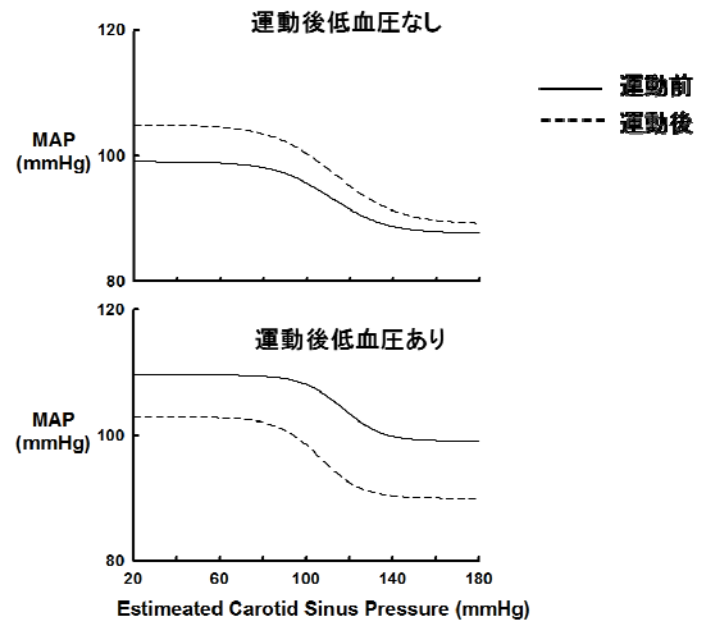


図5 運動後血圧が低下しない者と低下する者における頸動脈洞—平均血圧反応曲線

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 11 件)

1. Increased oxygenation of the cerebral prefrontal cortex prior to the onset of voluntary exercise in humans. Matsukawa K, Ishii K, Liang N, Endo K, Ohtani R, Nakamoto T, Wakasugi R, Kadowaki A, Komine H. *J Appl Physiol*. 119(5):452-6, 2015. 査読有
  2. Influence of single bout of aerobic exercise on aortic pulse pressure. Sugawara J, Komine H, Miyazawa T, Imai T, Ogoh S. *Eur J Appl Physiol*. 115(4):739-46. 2015. 査読有
  3. 循環器障害の予防・改善, 小峰 秀彦, 体育の科学, 65-3, pp.188-191, 2015、査読なし
  4. Influence of regular exercise training on post-exercise hemodynamic regulation to orthostatic challenge. Sugawara J, Komine H, Miyazawa T, Imai T, Ogoh S. *Front Physiol*. 5:229. doi:10.3389/fphys.2014.00229, 2014. 査読有
  5. Automatic categorization of health indices for risk quantification, Kanemura A, Lipowski G, Komine H, Akaho S, *Procedia Computer Science*, 63, 325-331, 2015. 査読有
  6. Lack of changes in carotid artery compliance with systemic nitric oxide synthase inhibition. Sugawara J, Saito Y, Maeda S, Yoshizawa M, Komine H, Nakamura M, Ajisaka R, Tanaka H. *J Hum Hypertens*. 28:494-499, 2014. 査読有
  7. Influence of regular exercise training on post-exercise hemodynamic regulation to orthostatic challenge. Sugawara J, Komine H, Miyazawa T, Imai T, Ogoh S. *Front Physiol*. doi: 10.3389. 2014. 査読有
  8. Skin blood flow influences cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy during dynamic exercise. Miyazawa T, Horiuchi M, Komine H, Sugawara J, Fadel PJ, Ogoh S. *Eur J Appl Physiol*, 113(11):2841-2848, 2013. 査読有
  9. Curcumin ameliorates arterial dysfunction and oxidative stress with aging. Fleener BS, Sindler AL, Marvi NK, Howell KL, Zigler ML, Yoshizawa M, Seals DR. *Exp Gerontol*. 48:269-276, 2013. 査読有
  10. A method of evaluating the aortic baroreflex in human. Komine H, Miyazawa T, Yoshizawa M. *J Physiol Sci* 63 (Suppl 1) S233, 2013. 査読有
  11. 心循環・自律神経評価の自動車運転への活用, 小峰 秀彦, 自動車技術, 67-12, pp.54-59、2013、査読なし
- [学会発表] (計 14 件)
1. 動脈血圧反射から考える運動時の循環調節, 小峰 秀彦, 日本基礎理学療法学会, 神奈川県立福祉大学、横須賀、神奈川、2015/11/14
  2. 自動運転制御と情報提示がドライバーに及ぼす影響, 小峰 秀彦, 他, シンポジウム「モバイル 16」, 産業技術総合研究所、つくば、茨城、2016/03/11
  3. 自動車運転に対する自信が運転中の姿勢に与える影響, 小峰 秀彦, 他, 自動車技術会 2015 秋季大会, 北九州国際会議場/西日本総合展示場/リーガロイヤルホテル. 北九州、福岡、2015/10/15
  4. Automatic categorization of health indices for risk quantification, 兼村厚範, 他, International Conference on Current and Future Trends of Information and Communication Technologies in Healthcare (ICTH), Berlin, Germany, 2015/09/27
  5. Differential role of aortic and carotid sinus baroreceptor reflex, Hidehiko Komine, International Symposium on Human Adaptation to Environment and, 神戸大学、神戸、兵庫、2015/03/16
  6. 動脈硬化度を計測・評価する手法の研究開発, 小峰 秀彦, 医用アクチュエーション研究会, 産業技術総合研究所、東京、2015/03/04
  7. 循環・自律神経評価の自動車運転への活用, 小峰 秀彦, 自動車技術会・心地よい音をはかる技術・つくる技術 2015, 研究者英語センター、東京、2015/01/21
  8. 心循環、自律神経評価の自動車運転への活用, 小峰 秀彦, 第 23 回日本交通医学工学研究会学術総会, 名城大学、名古屋、愛知、2014/09/05
  9. 中心動脈圧に対する中等強度の有酸素性運動の急性効果とその機序, 菅原 順、他, 第 14 回臨床血圧脈波研究会, 品川インターシティホール、東京、2014/06/07
  10. 血圧計を用いた動脈硬化度評価指標 (API・AVI) の開発, 小峰 秀彦, 日本循環器学会, 東京国際フォーラム、東京、2014/03/21
  11. 血管指標 API の原理, 小峰 秀彦, 第 7 回日本血流血管学会・第 13 回日本 AS 学会 合同学術集会, ルークホール、東京、2013/11/30
  12. 血圧計を利用した動脈硬化度評価, 小峰 秀彦, 第 59 回センサーネットワーク研究会, 科学技術と経済の会、東京、2013/08/20
  13. Influence of regular endurance

training on postexercise  
hemodynamic regulation to  
orthostatic challenge, Jun Sugawara,  
他, Experimental Biology, Boston,  
USA、2013/04/23

14. 習慣的運動トレーニングと一過性有酸素性運動後の起立負荷に対する循環調節機能，菅原 順、他，第 68 回日本体力医学会大会，日本教育会館、東京、2013/09/21

〔図書〕（計 1 件）

1. ドライバ状態の検知・推定技術と運転支援・自動運転への応用，自動車運転時の心循環評価とその活用，小峰 秀彦，(株) 技術情報協会、総ページ数 485、2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小峰 秀彦 (Hidehiko Komine)  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
自動車ヒューマンファクター研究センター  
研究チーム長  
研究者番号：10392614