

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19300215

研究課題名（和文） 反射性循環調節の複合作用とそのトレーニング効果に関する研究

研究課題名（英文） Integrative responses between peripheral reflexes and the effects of exercise training

研究代表者

西保 岳 (NISHIYASU TAKESHI)

筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授

研究者番号：90237751

研究成果の概要（和文）：ハンドグリップ運動時の循環反応に着目して検討した。1）姿勢変化時における末梢動脈血流の調節には、動脈圧受容器反射調節のみならず、血管の自己調節が顕著に作用していることが示唆された。さらに、頭上げ姿勢により血管の自己調節の反応の働きが強まる一方、頭下げ姿勢時によりその働きが弱まる可能性が示唆された。2）運動中の息止めによって動脈血圧が顕著に増加するが、このことに活動筋での筋代謝受容器反射亢進が関与していることが明らかとなった。3）筋代謝受容器刺激時における心拍反応の個人差には、主に心臓副交感神経の応答の個人差、さらに、動脈圧反射の感受性変化の個人差が関与していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We investigated the integrative responses among peripheral reflex mechanisms during orthostatic stress, breath-holding during exercise, and handgrip exercise in humans. 1) It was suggested that both the arterial baroreflex and local intrinsic vascular regulatory mechanisms contribute to the blood flow regulation in upper and lower limbs during orthostatic stress. 2) It was suggested that the muscle metaboreflex contributes to the increase in blood pressure response seen during breath-holding during dynamic exercise in humans. 3) It was suggested that the heart rate response to activation of muscle metaboreflex varies considerably from individual to individual, and that these differences reflect changes in cardiac parasympathetic tone and the sensitivity of the spontaneous arterial baroreflex control during the activation of muscle metaboreflex.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

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：トレーニング科学

1. 研究開始当初の背景

トレーニング効果に関する原則の第一は、個人に見合った適切な刺激を負荷することである。刺激を負荷するためには、運動強度、時間、頻度を適度に組み合わせる必要があるが、過去の多くの研究結果から、運動強度を高めることが、もっとも重要であると考えられている。高強度の運動を行うと、心拍数・血圧・筋血流などの著しい増加や内臓血流量・血液量の著しい減少が生じ、運動継続には呼吸循環の精妙な調節が必要となる。これらは、運動時に生体機能を維持するための重要な反応であるが、一方で、過度の血圧上昇などが起ると脳血管障害や心臓突然死の原因ともなる。このように高強度運動に伴う循環調節は、運動に対する身体の適応（トレーニング効果）や運動の安全性を考える上で非常に重要であるが、その調節メカニズムは明らかではない。

高強度運動時の循環調節は複雑であるが、できるだけシンプルに調節系を分けて考えるとまず、①中枢性調節（セントラルコマンド：大脳からの直接的な調節系）と②末梢受容器による反射性循環調節とに分けることができる（Rowell 1985）。さらに、②を分けると、動脈血圧受容器反射、心肺圧受容器反射、筋代謝受容器反射、筋機械受容器反射に分けることができる。実際の高強度運動時には、上記の4つの反射性調節は独立して機能しているわけではなく、複合的に作用していると考えられるが、反射性調節機能の互いの関係性については明らかではない。

2. 研究の目的

個々の反射機能に加えて、筋代謝受容器反射と動脈圧受容器反射、筋代謝受容器反射と心肺圧受容器反射との間の相互作用など、の複数反射の相互作用に関して、これまでの解析方法に加えて新たに自己回帰分析法を導入して検討することを目的とする。

3. 研究の方法

筋肉での代謝性変化（筋代謝受容器反射）は、高強度運動時の循環調節に重要な役割を果たすと考えられる。さらに、また、長時間運動などの際に中心血流量が減少した際には、心肺圧受容器、動脈圧受容器も重要な役割を果たすと考えられる。したがって、これらを選択的に刺激した際の、交感神経調節及び血管反応の連関を検討するとともに、これらが複合的に作用した場合の調節反応、すなわち、姿勢変化時、運動時息止め時および、ハンド

グリップ運動時の循環反応に着目して検討する。具体的には、初年度は、姿勢変化をチルトテーブル用いて行い、その際の上肢および下肢の動脈血流量変化を超音波ドプラー法により連続的に測定し、自己回帰分析法により解析した。2年目は、下肢のダイナミック運動中に息止めを行い、その際の下腿動脈血流量変化と動脈血圧変化を連続的に測定し解析した。3年目は、ハンドグリップ運動と運動後に引を続いてその運動肢の上腕部分をカフで阻血して、筋代謝受容器を刺激した。その際の血圧と心拍数の変化を50人の被験者において測定した。

4. 研究成果

反射性循環調節の複合作用に関して、姿勢変化時、運動時息止め時、ハンドグリップ運動時の循環反応に着目して検討した。得られた主な結果は以下のとおりである。

1) 姿勢変化時の自発性の血圧変動に対する血管抵抗の変動は、上肢および下肢の動脈血管において、血管の自己調節と同じパターンの変動をしていることが示された。頭上げ姿勢により下肢血管に静水圧が加わった場合には、血管の自己調節の反応時間が短縮し、その働きが強まる一方、頭下げ姿勢時により下肢血管に対する静水圧が減少した場合には、血管自己調節の働きが弱まる可能性が示唆された。

2) 運動中の息止めを行うと動脈血圧が顕著に上昇する。この血圧上昇に、運動肢である下肢血流が、息止めによって安静値近くまで低下していた。したがって、これに伴い活動筋でのエネルギー生成が無酸素性に傾き、活動筋内に代謝産物が蓄積され、筋代謝受容器反射の活動亢進が生じたものと考えられる。したがって、運動中の息止め時に生じる顕著な血圧上昇に、筋代謝受容器反射が関連していることが明らかとなった。血圧上昇時には動脈圧反射が作用すると考えられるが、運動時息止めでは、動脈圧受容器反射、筋代謝受容器反射などが複合的に作用していることが示唆された。

3) ハンドグリップ運動後の上腕阻血時には、筋代謝受容器反射が活性化されると考えられ動脈血圧が上昇する。このとき、心拍数は運動前安静値から増加する者もいれば低下する者もあり、心拍反応に個人差が見られることを見いだした。そして、この心拍反応の個人差には、主に心臓副交感神経の応答が関係することが示唆された。また、ハンドグリップ運動後の阻血時における心電図 RR 間

隔の変化量と下肢血流ゲインの変化量との間に有意な正の相関関係がみられた。このことから、筋代謝受容器刺激時における心拍反応の個人差には、動脈圧反射の感受性変化も関与していると考えられる。

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 10 件)

- ① Ichinose M, Saito M, Kondo N, Nishiyasu T. Baroreflex and muscle metaboreflex: control of muscle sympathetic nerve activity. *Med Sci Sports Exerc.* 40(12): 2037-45, 2008. 査読有
- ② Ichinose M, Saito M, Fujii N, Ogawa T, Hayashi K, Kondo N, Nishiyasu T. Modulation of the control of muscle sympathetic nerve activity during incremental leg cycling. *J Physiol.* 586(11):2753-66. 2008. 査読有
- ③ Ooue A, Ichinose TK, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S, Kondo N. Changes in blood flow in conduit artery and veins of the upper arm during leg exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 103(3):367-73. 2008, 査読有
- ④ Fujii N, Honda Y, Hayashi K, Kondo N, Nishiyasu T. The effect of hypohydration on hyperthermic hyperpnea and cutaneous vasodilation during exercise in men. *J Appl Physiol.* 105(5):1509-18, 2008, 査読有
- ⑤ Ichinose M, Koga S, Fujii N, Kondo N, Nishiyasu T. Modulation of the spontaneous beat-to-beat fluctuations in peripheral vascular resistance during activation of muscle metaboreflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 293(1): H416-24. 2007. 査読有
- ⑥ Nishiyasu T, Hayashida S, Kitano A, Nagashima K, Ichinose M. Effects of posture on peripheral vascular responses to lower body positive pressure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 293(1):H670-6. 2007. 査読有
- ⑦ Ogawa T, Hayashi K, Ichinose M, Nishiyasu T: Relationship between resting ventilatory chemosensitivity and maximal oxygen uptake in moderate hypobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology.* 103(4):1221-6,

2007. 査読有

- ⑧ Ogawa T, Hayashi K, Ichinose M, Wada H, Nishiyasu T: Metabolic response during intermittent graded sprint running in moderate hypobaric hypoxia in competitive middle-distance runners. *European Journal of Applied Physiology.* 99(1):39-46. 2007, 査読有
- ⑨ 西保 岳, 丹 信介, 曾根涼子, 林 恵嗣, 一之瀬真志: ハンドグリップ運動時及び運動後虚血時における循環反応に対する体温上昇の影響、筑波大学体育科学系紀要、39: 161-8, 2007. 査読有

[学会発表] (計 20 件)

- ① Nishiyasu T. The Characteristics of Hyperthermic Hyperpnea at Rest and during Exercise in Humans Seminar in Department of Biomedical Physiology and Kinesiology, 2009.11.3. Simon Fraser University, Vancouver, Canada (招待講演)
- ② 西保 岳 ヒト活動時の血圧調節-末梢性反射調節の複合作用、スポーツサイエンス研究会、2009.9.15. 早稲田大学 (招待講演)
- ③ Ichinose M, Nishiyasu T. Regulation of blood pressure during exercise: Interactions between arterial baroreflex and muscle metaboreflex, International Sports Science Network Forum in Nagano, 2009.8.2. Nagano, Japan (招待シンポジスト)
- ④ Nishiyasu T. The Characteristics of Hyperthermic Hyperpnea at Rest and during Exercise in Humans. The 3rd International Symposium on Physiology and Pharmacology of Temperature Regulation 2009.7.21. Matsue, Japan (招待シンポジスト)
- ⑤ Nishiyasu-T, Saito M, Kondo N, and Ichinose M.: Regulation of blood pressure and sympathetic nerve activity during exercise in humans-muscle metaboreflex and arterial baroreflex function-, 2008 Korean Society of Exercise Physiology Summer Conference 2008.6.21. Daegu, Korea (招待講演)
- ⑥ Nishiyasu T, Fujii N, Hayashi K, and Ichinose M.: Regulation of blood pressure and sympathetic nerve

activity during exercise in humans -muscle metaboreflex and arterial baroreflex function-, Seminar Series of Department of Human Physiology, 2008.6.2. University of Oregon, Eugene USA (招待講演)

- ⑦ Nishiyasu T, Nakayama Y and Ichinose M. Effects of compression timing on femoral blood flow during rhythmical calf compression synchronized to the cardiac cycle, ACSM, 5.30.2008. Indianapolis, USA
- ⑧ Nishiyasu T: Regulation of blood pressure and sympathetic nerve activity during exercise in humans -muscle metaboreflex and arterial baroreflex function-, University of Iowa, 11.18.2007, Iowa City, USA (招待講演)
- ⑨ Nishiyasu T: Regulation of blood pressure and sympathetic nerve activity during exercise in humans -muscle metaboreflex and arterial baroreflex function-, Wayne State University, 11.6.2007. Detroit, USA (招待講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西保 岳 (NISHIYASU TAKESHI)
筑波大学・大学院人間総合科学研究科・
准教授
研究者番号：90237751

(2) 研究分担者

本田 靖 (HONDA YASUSHI)
筑波大学・大学院人間総合科学研究科・
教授
研究者番号：20165606
(H20：連携研究者)
齊藤 満 (SAITO MITSURU)
豊田工業大学・工学部・教授
研究者番号：80126862
(H20：連携研究者)

