

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15日現在

機関番号：43807

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700667

研究課題名（和文） 暑熱下運動時に特有な換気亢進反応のメカニズムの解明

研究課題名（英文） Elucidation of the mechanism of ventilatory response during exercise in the heat

研究代表者

林 恵嗣（HAYASHI KEIJI）

静岡県立大学短期大学部・その他部局等・講師

研究者番号：00431677

研究成果の概要（和文）：2010（平成22）年度は、女性の性周期や性差が体温上昇にともなう換気亢進反応に及ぼす影響について検討し、2011（平成23）年度は、食事誘発性熱産生が体温上昇にともなう換気亢進反応に及ぼす影響について検討した。その結果、1）深部体温上昇に対する換気量の反応には性周期や性差による違いが見られないが、皮膚血管拡張反応においては性周期で違いが見られること、2）深部体温上昇に対する換気量の反応には食事誘発性熱産生がほとんど影響しないが、皮膚血管拡張反応には影響する可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：I examined the effect of menstrual cycle or gender difference on the ventilatory response to increasing body temperature in 2010, and I also examined the effect of diet-induced thermogenesis on the ventilatory response to increasing body temperature in 2011. As a result, those experiments suggest that menstrual cycle and gender difference does not influence the ventilatory response to increasing body temperature, but menstrual cycle phase influences cutaneous vasodilation, and that diet-induced thermogenesis also does not influence the ventilatory response to increasing body temperature, but it is possible that diet-induced thermogenesis influences cutaneous vasodilation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：過換気、過呼吸、体温調節

1. 研究開始当初の背景

近年、熱中症発生件数が著しく増加しており、暑熱下での各種スポーツ活動時における安全確保は非常に重要な課題である。また、

競技者においては、暑熱下においても高いパフォーマンスを発揮せねばならないことから、暑熱下において運動能力を高める方法やそのメカニズムを明らかにすることも、健

康・スポーツ科学分野において重要であると言える。

近年、暑熱環境下での運動パフォーマンスの低下や熱中症の発症の原因の一つとして、体温上昇にともなう換気の亢進が注目されている。このような換気の亢進は、二酸化炭素の過剰排出を引き起こし、動脈血二酸化炭素分圧を低下させる。この動脈血二酸化炭素分圧の低下は脳血管の収縮を引き起こし、脳血流量を減少させる。これにより脳貧血が起これ、結果的に運動パフォーマンスの低下や、熱中症が引き起こされる可能性がある。これまで、体温上昇による換気亢進反応に関していくつかの研究を行ってきたが、このような体温上昇による換気亢進のメカニズムは未だ不明な点も多く、その対処法も明らかでない。したがって、これらのことを明らかにすることで、暑熱下運動時における熱中症の発生を抑えたり、暑熱下での運動パフォーマンスの向上につながると考えられる。

また、このような換気亢進反応と体温調節反応との間に何らかの関係がみられることから、この両者の関係を明らかにすることも重要であると考えられる。

2. 研究の目的

体温上昇にともなう換気亢進反応のメカニズムを解明し、暑熱下運動時における運動能力や安全性向上のための方法を構築することを最終目標として、体温上昇による換気亢進反応と体温調節反応との関連性を明らかにすることを目的とする。これまで、皮膚血管拡張反応のような体温調節反応に関しては、性周期や性別によって反応が異なることや、概日リズムがあることなどが報告されていることから、具体的には、1) この換気量増加反応に性周期や性差による違いがあるのかどうかを明らかにすること(実験Ⅰ)と、2) この換気量増加反応に概日リズムがあるのかどうかを明らかにすること(実験Ⅱ-1)を目的とした。

しかしながら、実験Ⅱ-1については、他のグループによって報告されたことや、これまでの研究結果から、体温上昇による換気亢進に対する対処法を早急に開発することが望ましいと考えられたため、平成23年度は、この反応に対する対処法の開発を目指した研究を行った。具体的には、運動時における体温上昇を促進・抑制する食品の探索を目指し、その手始めとして、食事誘発性熱産生が暑熱下運動時における換気亢進反応に及ぼす影響、つまり食事の摂取自体がどの程度体温を上昇させ、換気亢進に繋がるか検討すること(実験Ⅱ-2)を目的とした。

3. 研究の方法

被験者に水循環スーツを着用させること

で、運動中に暑熱負荷を加えた。水循環スーツとは、スーツの内側にチューブが張り巡らされたものであり、そのチューブへ水を循環させることで様々な温熱刺激を加えることのできるものである。実験では自転車運動を行い、運動強度を最高酸素摂取量の50%強度に設定した。この強度であれば、運動中に乳酸等の代謝物質がほとんど蓄積されないため、代謝の亢進による換気量増加への影響を無視することができるためである。

実験Ⅰでは、女性の性周期の違いを血漿の女性ホルモン濃度から区別して、それぞれの周期時に測定を行った。またそれぞれのデータを用いて男性のデータとも比較した。

実験Ⅱ-2では、食事を摂取した場合と摂取しなかった場合とで測定を行った。実験で用いた食事内容は、一般的な成人男性の栄養摂取基準を満たすものとした。また、測定は午前中に行ったことから、朝食を想定した食事内容とした。

4. 研究成果

(1) 実験Ⅰから明らかとなったことは以下の通りである。

①運動前の安静時においては、卵胞期よりも黄体期で深部体温が高く、換気量や一回換気量が高い。安静時に加温を行った先行研究から考えると、単純に体温上昇によって起こる換気量の増加よりも黄体期における換気量の増加は大きいことから、女性ホルモン自体が換気量を増加させていることが示された。

②運動の初期(深部体温が約38℃まで)においては黄体期で体温や換気量が高かったが、運動後半(深部体温が約38℃以上)においては、性周期間で差はみられなかった。

③運動中のデータを用いて、深部体温に対して換気量や一回換気量等をプロットし直線回帰分析を行い、体温上昇に対する換気亢進反応を評価すると、性周期間では差はみられなかった(図1)。

④皮膚血管拡張反応を評価すると、黄体期で卵胞期よりも皮膚血管拡張の体温閾値が高かった。これは先行研究とも一致する結果である。

⑤先行研究の結果や③と④の結果から、体温上昇にともなう換気亢進反応は体温調節反応と何らかの関係はあるものの連動して調節されているのではないと推察された。そのため、次年度の課題として体温上昇による換気亢進反応に対する対処法を開発することを優先させることとした。

⑥性差間で比較すると、男性で女性よりも換気量や一回換気量が大きかった。これは身体の大きさ(=肺の大きさ)によると考えられる。

⑦深部体温に対して換気量や一回換気量等をプロットし直線回帰分析を行い、体温上昇

に対する換気亢進反応を評価すると、絶対値で評価した場合には一回換気量において性差間で差はみられたが、相対値で評価した場合には性差間で差はみられなかった。このことから、体温上昇に対する換気亢進反応に性差間で差はないことが示唆された。

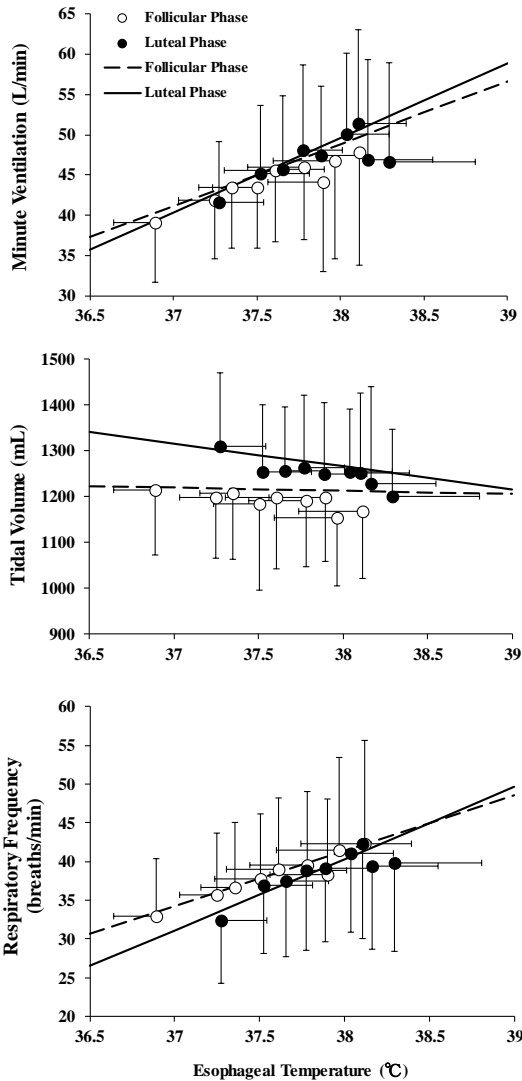


図1. 卵胞期 (○) と黄体期 (●) における換気量、一回換気量、呼吸回数と食道温の関係。

(2) 実験Ⅱ-2から明らかとなったことは以下の通りである。

①まず、食事誘発性熱産生がどのように起こるかを明らかにするため、安静状態で食事摂取後の体温変化を測定した。その結果、食後90分以降で体温の上昇がみられることが明らかとなった。そのため、運動は食後90分以降に行うこととした。

②食事摂取によって、運動前の安静時におい

て、体温や換気量が高かった。このことは、食事誘発性熱産生が起こっていたことを示し、本実験の条件設定が正しく行われていたことを示す。

③運動中においても、食事摂取条件で、体温や換気量が食事非摂取条件よりも高かった。また、酸素摂取量も食事摂取条件で高かった。これらのことから、運動中においても食事誘発性熱産生が継続されていたことが示された。

④運動中のデータを用いて、深部体温に対して換気量等をプロットし、直線回帰分析を行い、体温上昇に対する換気亢進反応を評価すると、条件間で差はみられなかった。このことから、食事誘発性熱産生は体温の上昇や代謝の亢進を引き起こすが、体温上昇に対する換気亢進反応には影響を及ぼさない可能性が示唆された。

⑤皮膚血管拡張反応を条件間で比較すると、皮膚血管拡張の体温閾値や感受性に条件間で差はみられなかった。しかし、食事誘発性熱産生に個人差が大きかったことから、食事誘発性熱産生の度合いと皮膚血管拡張の体温閾値の変化の度合いの関係を見てみると、食事誘発性熱産生が大きいものほど皮膚血管拡張の体温閾値が高くなる関係が見られた。つまり、食事摂取によって体温が上昇すると、その影響を受けて皮膚血管拡張の体温閾値が高くなることを示す(図2)。このことから、食事誘発性熱産生は皮膚血管拡張反応に影響を及ぼす可能性が示唆された。

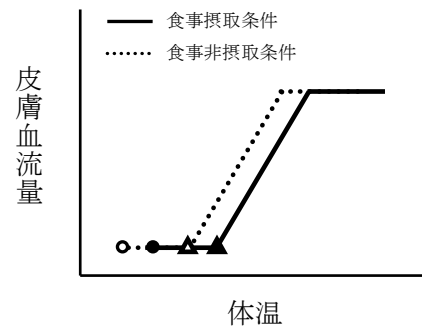


図2. 食事摂取による皮膚血流量の変化の関係性(模式図)。

食事摂取による体温の上昇 (○→●)
食事摂取による体温閾値の上昇 (△→▲)

これらの結果は、今回のデータ以外には国内外ともにほとんど見られず、新規性のあるものと考えられる。また、今後はどのような食事内容が運動時の体温上昇に関わるのか、さらには換気反応に関わるのか等を明らかにし、対処法等を開発していくなどの課題が考えられる。

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3件)

- ① Hayashi K, Kawashima T, Suzuki Y. Effect of menstrual cycle phase on the ventilatory response to rising body temperature during exercise. *J Appl Physiol.* (In press). 査読有
doi:10.1152/jappphysiol.01199.2011
- ② Nishiyasu T, Tsukamoto R, Kawai K, Hayashi K, Koga S, Ichinose M. Relationships between the extent of apnea-induced bradycardia and the vascular response in the arm and leg during dynamic two-legged knee extension exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 302: H864-H871, 2012. 査読有
doi:10.1152/ajpheart.00413.2011
- ③ Hayashi K, Honda Y, Miyakawa N, Fujii N, Ichinose M, Koga S, Kondo N, Nishiyasu T. Effect of CO₂ on the ventilatory sensitivity to rising body temperature during exercise. *J Appl Physiol.* 110:1334-1341, 2011. 査読有
doi:10.1152/jappphysiol.00010.2010

[学会発表] (計5件)

- ① 伊藤 望, 市川 陽子, 鈴木 裕一, 林 恵嗣. 食事誘発性熱産生が暑熱下運動時における呼吸循環反応に及ぼす影響. 第66回日本体力医学会大会. 2011. 9. 18. 山口.
- ② 林 恵嗣. 「体温」－「呼吸」連関. 第66回日本体力医学会大会. 2011. 9. 17. 山口. (シンポジスト)
- ③ 林 恵嗣. 食事摂取が暑熱下運動時の皮膚血管拡張反応に及ぼす影響. 第19回日本運動生理学会大会. 2011. 8. 25. 徳島.
- ④ 林 恵嗣, 川島 孝予. 性差が深部体温上昇に対する換気亢進反応に及ぼす影響. 第65回日本体力医学会大会. 2010. 9. 18. 千葉.
- ⑤ 林 恵嗣, 川島 孝予, 鈴木 裕一. 性差・性周期が暑熱下運動時の換気反応に及ぼす影響. 日本生理人類学会第62回大会. 2010. 5. 15. 大阪.

[図書] (計1件)

- ① 林 恵嗣, 西保 岳. ナップ, 体温 II－体温調節システムとその適応－. (井上 芳光, 近藤 徳彦 編集)「第3章 体温調節システムと呼吸調節 II. ヒトにおける暑熱下運動時の換気調節」2010年11月, p.131-140.

[産業財産権]

○出願状況 (計 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

林 恵嗣 (HAYASHI KEIJI)
静岡県立大学短期大学部・講師
研究者番号 : 00431677

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :

