

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：43807

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01641

研究課題名(和文) 暑熱下運動時における熱中症予防と運動パフォーマンス改善策の検討

研究課題名(英文) Development of method for preventing heat stroke and for improving exercise performance 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・准教授

研究者番号：00431677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、1)安静時の体温上昇が呼吸化学受容器反射の感受性(呼吸化学感受性)に及ぼす影響、2)運動時の体温上昇が呼吸化学感受性へ及ぼす影響、3)呼吸化学感受性の個人差と体温上昇によって生じる換気亢進反応の程度の個人差間に関連があるかどうか、という点について検討した。その結果、1)安静時における軽度の体温上昇(0.7℃)では、呼吸化学感受性は変化しないこと、2)運動および運動に伴う体温上昇によっても呼吸化学感受性が変化しないこと、3)呼吸化学感受性の個人差と体温上昇によって生じる換気亢進反応の程度の個人差との間には相関関係がみられないこと、などが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this project, I examined the effect of a rise in body temperature on respiratory chemosensitivity at rest and during exercise, and the relationship between respiratory chemosensitivity and hyperthermia-induced hyperventilation. I found that 1) < 0.7 degrees C rise in body temperature did not change respiratory chemosensitivity at rest, 2) light intensity exercise (90 W) did not change respiratory chemosensitivity, 3) 1 degrees C rise in body temperature did not change respiratory chemosensitivity during light intensity exercise, and that 4) there was no significant relationship between respiratory chemosensitivity and the extent of hyperthermia-induced hyperventilation. These results suggest that respiratory chemosensitivity did not affect hyperthermia-induced hyperventilation.

研究分野：運動生理学、環境生理学

キーワード：体温 温熱性換気亢進 呼吸化学感受性

1. 研究開始当初の背景

暑熱環境下(夏季)での運動時には、体温が過度に上昇することがある。この過度な体温上昇は直接的もしくは間接的に運動パフォーマンスの低下を引き起こしたり、熱中症を引き起こしたりする。最近では、健康志向の高まりもあり、老若男女問わず運動やスポーツ活動が盛んになってきているが、近年では熱中症発生件数の増加が見られ、競技者でなくとも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である。さらに、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もある。2020年には東京オリンピック・パラリンピックが開催されるが、オリンピック競技大会は7月24日~8月9日、パラリンピック競技大会は8月25日~9月6日の開催予定となっている。したがって、暑熱下において運動能力を高める方法を明らかにすることも、健康・スポーツ科学分野において非常に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。脳の血管は動脈血二酸化炭素分圧の影響を強く受けて拡張・収縮しており、動脈血二酸化炭素分圧が低下することで血管が収縮し、脳血流量が減少する。これにより脳貧血が起こり、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。しかしながら、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。そこで、我々は、このような換気亢進の個人差からメカニズム解明と対処法の確立を検討している。これまでの研究から、この換気亢進反応の大きさが有酸素能力や体温調節反応と関連があることを明らかにしているが、その因果関係についてはまだ明らかでない。

換気調節には中枢化学受容器や末梢化学受容器といった化学調節系が非常に強く関与している。この化学調節系は、体温上昇によって変化することや、運動トレーニングによって変化することなどが報告されている。したがって、体温上昇による換気亢進反応についても、この化学調節系の関与が十分に予想される。しかしながら、体温上昇による換気亢進反応の個人差と化学調節系の反応性の個人差の関連については明らかでない。そのため、体温上昇による換気亢進反応に対して、呼吸化学調節系が関与するかどうか、また関与するのであれば、どの程度関与するのかを明らかにすることは、このような換気亢進反応のメカニズムや生理的意義等を明らかにするうえで重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、体温上昇による換気亢進反応に対して、呼吸化学調節系が関与するかどうか、また関与するのであれば、どの程度関与するのかを明らかにすることを目的とする。そして、その結果から、熱中症予防や運動パフォーマンス改善策を検討する。具体的には、どの程度の体温上昇が呼吸化学調節系を変化させるかを明らかにすること(実験1)と、体温上昇による換気亢進反応の個人差と呼吸化学調節系の個人差の関連を明らかにすること(実験2)である。なお、本研究においては、呼吸化学調節系の指標として、呼吸化学受容器反射の反応性を評価する。

3. 研究の方法

(1) 実験1

実験1では、どの程度の体温上昇が呼吸化学受容器反射を変化させるかを検討する。先行研究においては、体温が0.7以上上昇した際には変化することが報告されているが、それよりも低い温度域に関しては報告がない。体温上昇による換気亢進反応は、安静時では深部体温38付近、運動時には深部体温37付近に換気亢進閾値がみられるが、その換気亢進閾値と対応するかを検討する。したがって、実験1では、安静時での測定(実験1-1)と運動時での測定(実験1-2)を実施する。

呼吸化学受容器の反応性の評価

実験では、高酸素(7%CO₂, 50%O₂, 43%N₂)の気体を再呼吸することで徐々に二酸化炭素濃度を上昇させ、その時の換気反応を評価した。再呼吸は呼気終末二酸化炭素分圧が60 mmHgに達するまで行った。再呼吸したガスの酸素濃度は十分に高く、再呼吸中に測定した酸素飽和度も十分に高い値を示していたことから、低酸素による生体への影響を抑えられたと考えられる。また、この方法でこれまで被験者が不調を訴えたことはない。呼気ガス分析器から得られた換気量と呼気終末二酸化炭素分圧から二酸化炭素に対する呼吸反応を評価した。これにより、動脈血二酸化炭素分圧の変化に反応する中枢化学受容器の感受性(反応性)の評価が可能となる。

体温上昇モデル

この実験では、水循環スーツを用いて体温を上昇させた。水循環スーツは、スーツの内側にチューブを張り巡らせ、そのチューブに任意の温度に調節した水を循環させることで体温をコントロールし、温熱や寒冷を生体に負荷することができるスーツである。最初に水循環スーツに33~35に設定した湯を循環させて、ベースライン時の測定を行った後、湯の温度を安静時では45まで、運動時には37まで上昇させて体温を上昇させた。

運動モデル

実験 1 - 2 では自転車運動を行い、運動強度を 90 W 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。また、運動時には水循環スーツを着用し、温水を循環させることで体温を上昇させた。

(2) 実験 2

実験 2 では、両者の相関分析から関連を検討し、呼吸化学受容器反射が体温上昇による換気亢進反応の個人差に關与しているかどうかを検討する。実験 1 - 2 において、運動を行うことから、同時に測定を行った。

4. 研究成果

(1) 実験 1 - 1

被験者は健康な成人男女 7 名 (男性 4 名、女性 3 名。年齢: 21 ± 1 歳、身長: 170.5 ± 9.1 cm、体重: 65.3 ± 8.1 kg) であった。この実験では、水循環スーツを用いて体温を上昇させ、加温前と舌下温 0.3 上昇時 (加温 1) および 0.7 上昇時 (加温 2) に呼吸化学感受性の測定を行った。各温度時に 2 回ずつ呼吸化学感受性の測定を行い、平均値をデータとして用いた。

呼吸化学感受性測定直前の舌下温は、加温前で 36.1 ± 0.2 、加温 1 で 36.5 ± 0.2 、そして加温 2 で 36.8 ± 0.2 であった。換気量、一回換気量、そして呼吸回数 of ベースライン値は、各ステージ間で差はなかった。換気量に対する呼吸化学感受性は、 1.54 ± 0.72 l/min/mmHg (加温前)、 1.56 ± 0.81 l/min/mmHg (加温 1)、 1.81 ± 1.03 l/min/mmHg (加温 2) であり、条件間に差はなかった (図 1 A)。一回換気量や呼吸回数に対する呼吸化学感受性も同様に条件間に差はみられなかった (図 1 B, C)。

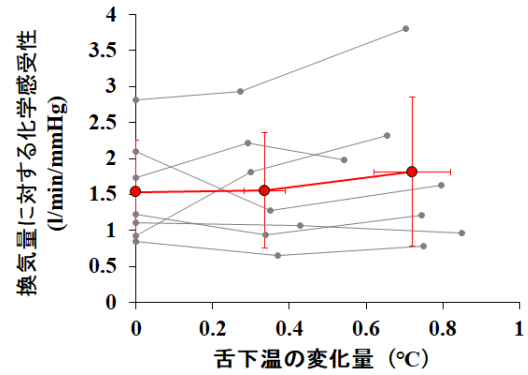
以上の結果より、深部体温の上昇が 0.7 よりも低い場合には、CO₂ に対する呼吸化学感受性は変化しないことが示されたが、先行研究の結果と合わせて考えると 0.7 付近で呼吸化学感受性が変化するものと推察される。

(2) 実験 1 - 2

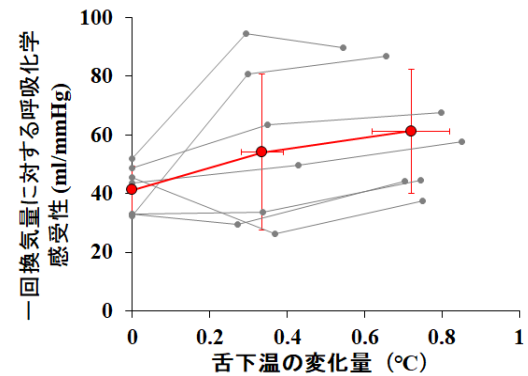
被験者は健康な成人男性 12 名 (年齢: 22 ± 1 歳、身長: 176.1 ± 4.9 cm、体重: 73.7 ± 6.8 kg) であった。運動前安静時には水循環スーツに 33 の水を循環させて体温を一定にし、運動開始直後には 15 ~ 20 の水を循環させて運動による体温上昇を抑えた。その後、35 ~ 37 の水を循環させて運動時の体温を 1 程度上昇させた。本試験では、運動前安静時、運動時 1 (体温上昇なし)、運動時 2 (体温約 1 上昇) の 3 条件で、CO₂ に対する呼吸化学感受性を評価した。

換気量に対する呼吸化学感受性は、安静時で 2.66 ± 0.88 l/min/mmHg、運動時 1 (体温

A



B



C

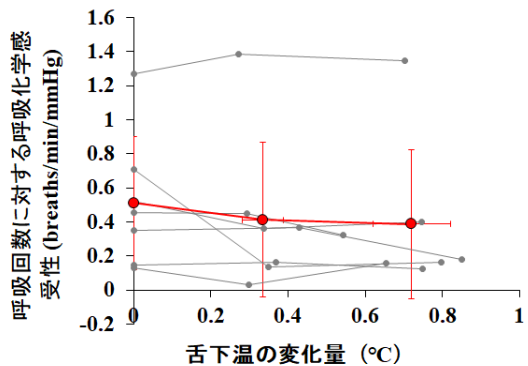


図 1. 体温上昇に伴う換気量 (A)、一回換気量 (B)、および呼吸回数 (C) に対する呼吸化学感受性の変化。太線は平均値を示し、細い線は各被験者の値を示す。

上昇なし) で 2.51 ± 0.92 l/min/mmHg、運動時 2 (体温約 1 上昇) で 2.50 ± 1.02 l/min/mmHg であり、条件間で差はなかった (図 2 A)。一回換気量や呼吸回数に対する呼吸化学感受性も同様に条件間に差はみられなかった (図 2 B, C)。

以上の結果から、低強度の運動や低強度運動と体温上昇の組み合わせによっては、CO₂ に対する呼吸化学感受性が変化しないことが示された。

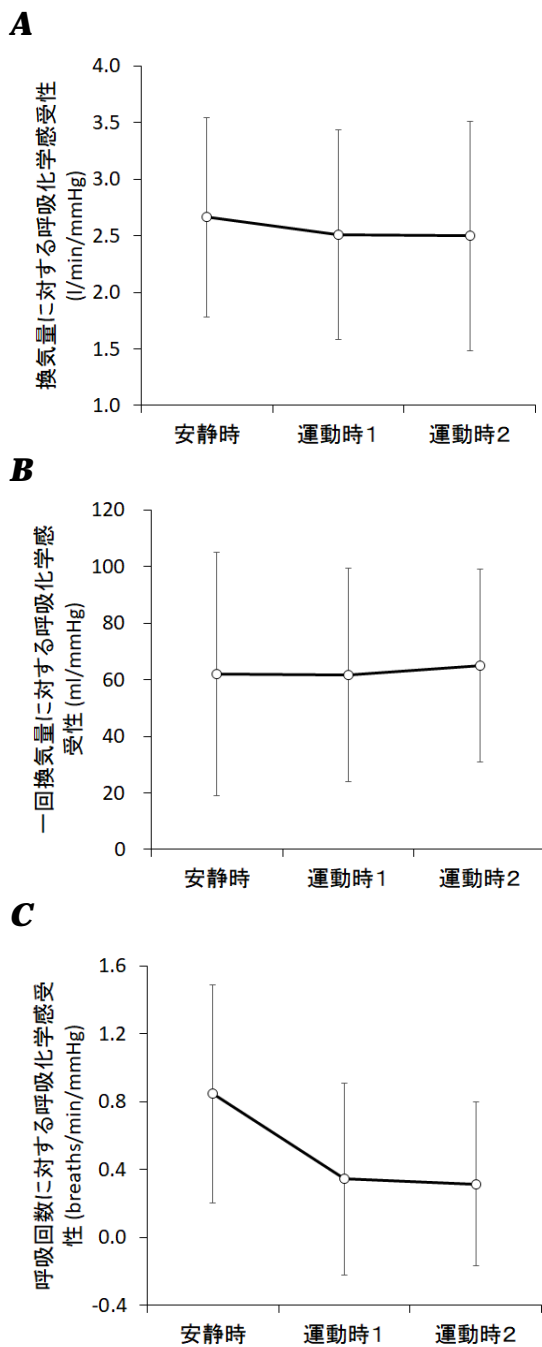


図2．安静時および運動時における換気量 (A)、一回換気量 (B)、および呼吸回数 (C) に対する呼吸化学感受性の変化。

(3) 実験2

被験者は実験1-2と同様である。運動時のデータから換算した体温上昇による換気亢進割合の個人差と安静時に測定した呼吸化学感受性の関係について相関分析を行って評価した。その結果、両者の間には有意な相関関係は見られなかった ($r = 0.26$; $P > 0.4$) (図3)。

この結果と実験1-2の結果から、体温上昇によって生じる換気亢進反応に対して、呼

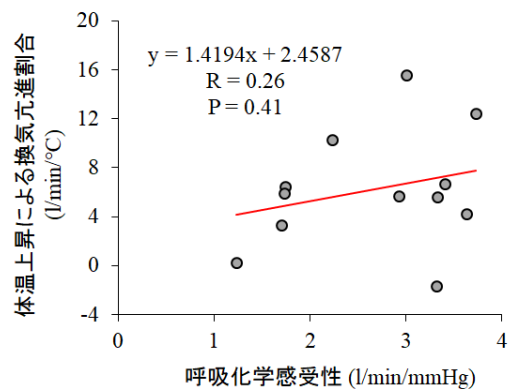


図3．体温上昇による換気亢進割合と換気量に対する呼吸化学感受性の関係。

吸化学感受性はほとんど影響していないと推察される。

これらの実験結果から、体温上昇によって起こる換気亢進反応のメカニズムとして、呼吸化学受容器はあまり影響をしていないことが考えられる。このようなデータはこれまでは報告されておらず、新しい情報であると言える。残念ながらメカニズム解明には至らず、熱中症予防や運動パフォーマンス改善へ直結するデータを得ることはできなかったが、呼吸化学受容器以外からのアプローチを行うことが必要であることが明らかとなった点において、次のステップへ進むための新たな情報を得ることができたと考えられる。

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 2件)

Bun Tsuji, Keiji Hayashi, Narihiko Kondo, Takeshi Nishiyasu.

Characteristics of hyperthermia-induced hyperventilation in humans.

Temperature. 3(1): 146-160, 2016. 査読有.

doi: 10.1080/23328940.2016.1143760

Keiji Hayashi. Ventilatory response to increasing body temperature:

characteristics and effect on central fatigue. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. 4(2):

143-149, 2015. 査読無.

doi: 10.7600/jpfs.4.143

〔学会発表〕(計 3件)

Keiji Hayashi, Misato Suekuni, Koji Sugiyama. Effect of food intake on the respiratory response to CO₂. The 17th International Conference on Environmental Ergonomics. 2017.

林 恵嗣, 小川 剛司, 杉山 康司. 食事摂取が呼吸化学感受性に及ぼす影響. 第70回日本体力医学会大会. 2015.

Keiji Hayashi, Takeshi Ogawa, Koji Sugiyama. Effect of rising body temperature on respiratory chemosensitivity to CO₂. The 16th International Conference on Environmental Ergonomics. 2015.

〔図書〕(計 件)

〔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・その他部局等・
准教授
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：

(4) 研究協力者

()