

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：43807

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750339

研究課題名(和文) 暑熱下運動時における熱中症に対する食事面からの予防策開発

研究課題名(英文) Development of method for preventing heat stroke using the meal 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：2013年度は、食事摂取が呼吸化学受容器反射に及ぼす影響について検討し(実験1)、2014年度は、高糖質食の摂取がその後の運動時の呼吸循環反応に及ぼす影響について検討した(実験2)。実験1では、特にCO₂に対する呼吸化学受容器反射について検討し、実験の結果、食事摂取は呼吸化学受容器反射を介して呼吸パターンに影響する可能性が示唆された。実験2については、高糖質食摂取と一般食摂取で比較した。その結果、高糖質食摂取によって食後の運動時には心拍数や換気量が低値を示し、体温上昇にともなう一回換気量の低下が小さくなった。このことから、食事内容の違いによっても呼吸パターンが変化する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：I examined the effect of food intake on respiratory chemoreflex in 2013 (Experiment 1), and also examined the effect of carbohydrate rich food intake on cardiorespiratory response during exercise in 2014 (Experiment 2). In the Experiment 1, I evaluated the respiratory chemoreflex to CO₂. As a result of experiment, food intake possibly influences respiratory pattern via chemoreflex. In the Experiment 2, I compared cardiorespiratory responses between taking carbohydrate rich food and taking food that the ratio of the nutrient is normal. As a result, taking carbohydrate rich food decreased heart rate and minute ventilation during exercise relative to taking normal food, and augmented the slope of regression line between tidal volume and body temperature, suggesting that the ratio of nutrient of food also influence respiratory pattern.

研究分野：運動生理学

キーワード：過換気 過呼吸 食事摂取 呼吸調節 呼吸パターン

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著しい増加が見られ、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。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。

最近、我々は、この換気亢進に対する対処法開発の一つとして食事面からの検討を行っている。食事はヒトが生活をする上で欠かすことができないものであり、食品に含まれる多様な成分は生体に様々な影響を及ぼす。実際のスポーツ現場においてもグリコーゲンローディングのように食事が活用されている例も多い。食事摂取が運動時の生理的反応に様々な影響を及ぼすことが考えられ、その可能性も期待できるが、食事摂取による運動時の生体への影響については未だ不明な点も多い。これらのことから、暑熱下での運動時における熱中症予防や運動パフォーマンス改善策について食事面から検討することは非常に興味深いテーマと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、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、食事摂取や摂取する食事の内容がその後の呼吸循環反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。先行研究において、食事摂取が体内の二酸化炭素調節に影響する可能性が示されたことと、動脈血二酸化炭素分圧が脳血流調節に強く影響することから、本研究では特に、食事摂取と体内での二酸化炭素調節に注目して実験を行った。具体的には、1) 食事摂取が呼吸化学受容器反射に及ぼす影響を明らかにす

ること(実験1)と、2) 高糖質食の摂取がその後の運動時の呼吸循環反応に及ぼす影響を明らかにすること(実験2)である。

3. 研究の方法

(1) 実験1

実験1では、食事摂取が呼吸化学受容器反射に及ぼす影響について検討した。先行研究において、食事摂取が体内の二酸化炭素調節に影響する可能性が示されたことから、食事摂取前後で二酸化炭素に対する呼吸反応を評価して比較した。また、先行研究において、食後90分以降に体温の上昇(食事誘発性熱産生)がみられたことから、食後の測定は、食後90分以降に行った。

二酸化炭素に対する呼吸反応の評価

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。再呼吸は二酸化炭素濃度が9.2%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。

食事の調整

実験で摂取した食事の内容(栄養素の割合)については、「日本人の食事摂取基準2010年版」に基づき、エネルギー、糖質、タンパク質、脂質の調整を行った。この実験における食事の調整も静岡県立大学食品用科学部フードマネジメント研究室と協力し、管理栄養士が行った。

(2) 実験2

高糖質(高炭水化物)食の摂取により体内での二酸化炭素産生が増加することが予想されるから、実験2では、高糖質(高炭水化物)食の摂取がその後の運動時の呼吸循環反応に及ぼす影響、特に動脈血二酸化炭素分圧の変化に及ぼす影響について検討した。具体的には、糖質を多く含む食事を摂取した場合と一般的な組成の食事を摂取した場合とで比較した。

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35に設定した湯を循環させ、運動開始と同時に湯の温度を40まで上昇させて体温を上昇させた。

運動モデル

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。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。

食事内容の調整

実験では、エネルギー量は同じであるが、糖質を多く含む食事と一般的な組成となる食事の 2 種類を準備した。実験 1 と同様に、エネルギー、糖質、タンパク質、脂質の調整は静岡県立大学食品用科学部フードマネジメント研究室と協力し、管理栄養士が行った。

4. 研究成果

(1) 実験 1

被験者は 11 名の健康な男女（男性 4 名、女性 7 名。年齢：21±2 歳、身長：169.0±7.4 cm、体重：59.7±8.5 kg）で、被験者の基礎代謝量は 1376±187 kcal であった。実験 1 から明らかとなったことは以下の通りである。

再呼吸前の安静時において、食事摂取によって、舌下温、心拍数、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、換気量、呼吸回数、呼気終末二酸化炭素分圧が有意に高くなること示された。食事摂取による換気量の増加が、呼気終末二酸化炭素分圧が高まっているにも関わらず一回換気量ではなく、呼吸回数によって起こっていることは興味深い結果である。

再呼吸法によって評価した二酸化炭素に対する呼吸化学受容器反射の感受性（反応性）を図 1 に示す。換気量および一回換気量に対する呼吸化学受容器反射感受性に条件間で差はみられなかったが、呼吸回数において条件間で有意差がみられた（図 1C）。このことから、食事摂取によって呼吸パターンが変化する可能性が示唆された。再呼吸前の安静時において、食事摂取によって呼吸回数が増加するが、呼吸回数に対する呼吸化学受容器反射の感受性は食事摂取によって低下するという結果は、非常に興味深いものであり、今後さらに検討する必要があると考えられる。

(2) 実験 2

被験者は 9 名の健康な男性（年齢：23±2 歳、身長：175.9±6.9 cm、体重：65.2±11.7 kg）で被験者の基礎代謝量は 1555±156 kcal であった。実験 2 から明らかとなったことは以下の通りである。

本研究で摂取した食事内容は、一般食がエネルギー：727±57 kcal、炭水化物：117±9 g、タンパク質：22±1 g、脂質：20±3 g で、高糖質食がエネルギー：751±90 kcal、炭水化物：148±17 g、タンパク質：9±1 g、脂質 15±2 g であった。

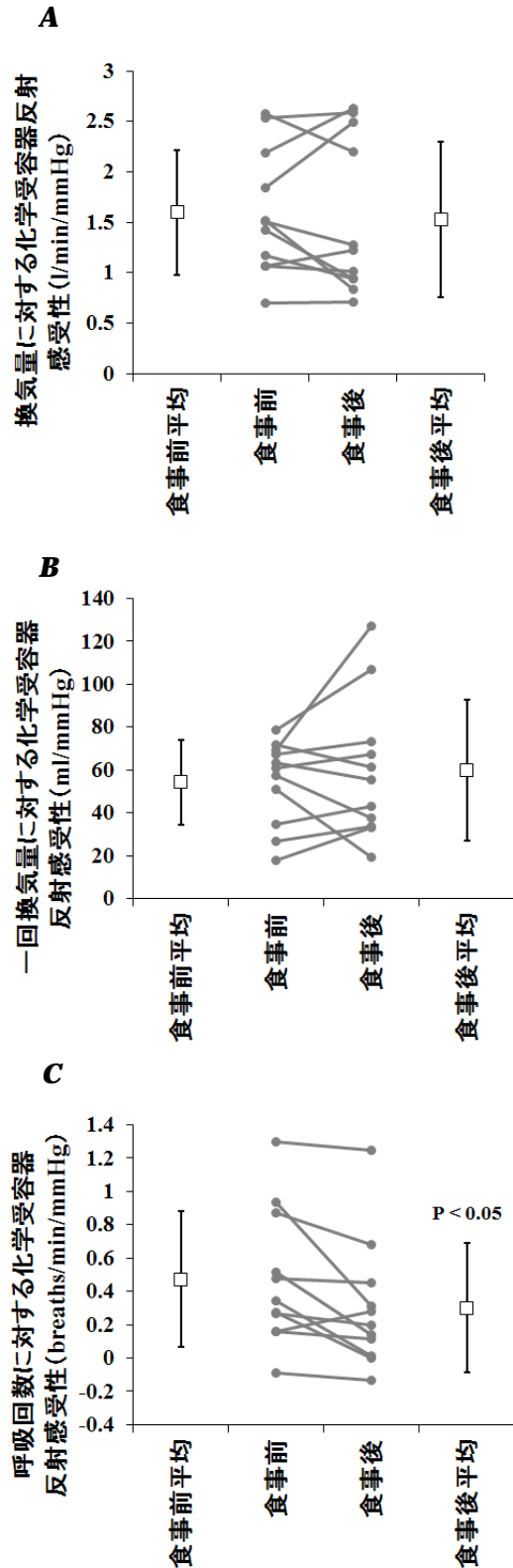


図 1 . 食事摂取前後における換気量 (A)、一回換気量 (B)、および呼吸回数 (C) に対する呼吸化学受容器反射の感受性 .

運動前安静時では、高糖質食摂取条件において一般食摂取条件よりも、心拍数が有意に低く、換気量に差はないが呼吸回数が有意に多くなった。体温のパラメーターにおいては、

高糖質食摂取条件において一般食摂取条件よりも食道温や平均体温が低くなる傾向がみられた ($P < 0.07$)。

運動時には、体温パラメーターに条件間で差はなかったが、高糖質食摂取条件で一般食摂取条件と比較して心拍数、換気量、酸素摂取量および二酸化炭素排出量が有意に低い値を示した。

体温上昇に対する換気反応を評価するため、換気パラメーターを食道温に対してプロットして、直線回帰分析を行った結果、換気量と食道温の関係には条件間で差はなかったが、呼吸回数と食道温の関係においては回

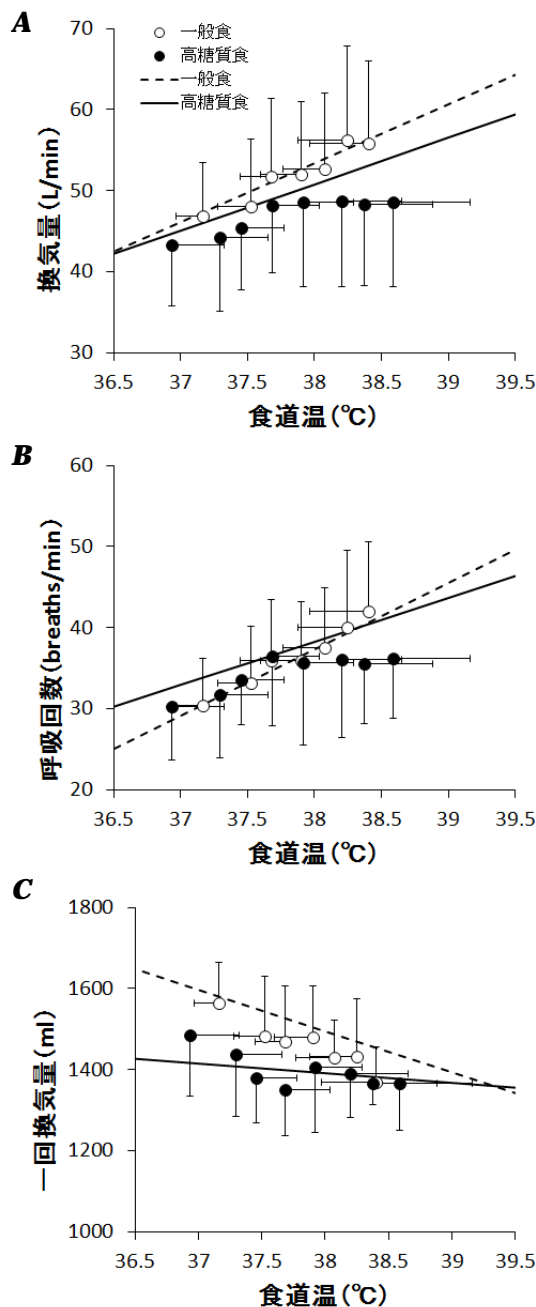


図2．一般食 (○) と高糖質食 (●) 摂取における換気量 (A)、呼吸回数 (B)、一回換気量 (C) と食道温の関係。

表1．回帰直線 (図2) の傾きと切片

	一般食	高糖質食
換気量		
傾き, L/min/	7.3 ± 3.5	5.7 ± 6.3
切片, L/min	-222.2 ± 123.8	-164.8 ± 231.5
呼吸回数		
傾き, breaths/min/	8.2 ± 3.6	5.4 ± 5.8 ($P < 0.07$)
切片, breaths/min	-273.4 ± 128.9	-166.0 ± 209.5 ($P < 0.06$)
一回換気量		
傾き, ml/	-102 ± 79	-24 ± 81 ($P < 0.05$)
切片, ml	5371 ± 3056	2304 ± 3030 ($P < 0.05$)

帰直線の傾きと切片で差がみられる傾向があり (それぞれ $P < 0.07$, $P < 0.06$)、一回換気量と食道温の関係においては、条件間で有意差がみられた (図2、表1)。

直線回帰分析の結果、摂取する食事の内容 (栄養素比率) の違いによって体温上昇に対する換気亢進時の呼吸パターンが異なることが示された。このことは、本実験においては差がみられなかったが、食事内容を変化させることで、呼吸パターンを変化させて、二酸化炭素の過剰排出を抑え、結果的に脳血流量の低下を抑制できる可能性があることを示唆する結果と考えられる。

これら2つの実験結果は、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。今後の課題としては、どのような食事 (栄養素) が呼吸パターンの変化に関わるのか、また実際に呼吸パターンが変化することで二酸化炭素の過剰排出が抑制されるのか等を詳細に明らかにして、熱中症の予防や運動パフォーマンスの向上に関わる方法を開発していくこと等が考えられる。

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 1件)

Hayashi K, Ito N, Ichikawa Y, Suzuki Y. Effect of postprandial thermogenesis on the cutaneous vasodilatory response during exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 39(8): 920-926, 2014. 査読有
doi: 10.1139/apnm-2013-0506

[学会発表] (計 4件)

林 恵嗣．体温上昇による呼吸の変化．第

28 回呼吸研究会 . 2014.9.18. 長崎大学 (長崎県).

林 恵嗣 . 体温上昇による換気亢進反応 . 第 22 回日本運動生理学会大会 . 2014.7.19. 川崎医療福祉大学 (岡山県).

Tsuji B, Filingeri D, Fujii N, Hayashi K, Eguchi T, Kondo N, Honda Y, Nishiyasu T. Effects of CO₂ on ventilatory and cerebrovascular responses during passive heating in humans. 19th annual congress of the European College of Sport Science. 2014.7.3. Amsterdam (Netherland).

林 恵嗣 . 食事誘発性熱産生が皮膚血管拡張の体温閾値に及ぼす影響 . 日本生理人類学会第 68 回大会 . 2013.6.8. 金沢大学 (石川県).

[図書] (計 1 件)

林 恵嗣 . 丸善出版 , 人間科学の百科事典 . (日本生理人類学会 編集) 「 6. ヒトと環境 高温環境 . 」 2015 年 1 月 , p.287-288.

[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 :
出願年月日 :
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 :