

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：25406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16561

研究課題名(和文) 熱中症予防を目指した高体温誘因の過換気と脳血流低下反応の特性解明

研究課題名(英文) Characteristics of heat-induced hyperventilation and cerebral hypoperfusion in humans

研究代表者

辻 文(Tsuji, Bun)

県立広島大学・総合教育センター・講師

研究者番号：40707212

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)：暑熱環境下で運動を行い体温が上昇すると、高体温誘因の換気亢進(過換気)反応が見られ、この過換気により動脈血中CO₂分圧の低下とそれに付随する脳血流の低下が起こる。本研究は、暑熱下運動時における過換気および脳血流低下反応に及ぼす時刻の影響について検討した。その結果、運動時における換気量および中大脳動脈血流速度(脳血流量の指標)は、早朝と夕方では有意な違いはみられなかった。これらの結果から、暑熱下運動時における過換気および脳血流低下反応は時刻の違いによる影響を受けないことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Hyperthermia during exercise leads to increases in minute ventilation independently of metabolic factors, resulting in hypocapnia and cerebral hypoperfusion. This study examined the effect of time of day on respiratory and cerebrovascular responses during prolonged exercise in the heat. We showed that ventilation, estimated arterial CO₂ pressure and middle cerebral artery blood velocity during prolonged exercise in the heat did not differ between morning and evening. These results suggest that time of day has no effect on the time course of hyperventilation, PaCO₂ and cerebral blood flow response during prolonged exercise in the heat.

研究分野：運動生理学

キーワード：高体温 過換気 熱中症 脳虚血

1. 研究開始当初の背景

熱中症の要因としては、一般的に体温の上昇、脱水や循環調節の不全などが知られているが、これらに加えて、体温上昇時に起こる換気亢進反応（過換気）が関与している可能性が示唆されている。実際に、病院に運ばれた熱中症患者 233 名のうち 33% もの者が過換気の反応を示していたことが報告されている (Mustafa *et al.* 1983)。この温熱性の過換気により動脈血中 CO_2 分圧 (PaCO_2) が低下し (低二酸化炭素症)、脳血管収縮による脳血流量の低下とそれに付随する脳温上昇 (Nybo *et al.* 2002) や中枢性疲労 (Ross *et al.* 2011) が起こることが報告されており、これらが熱中症や運動パフォーマンスの低下の一因である可能性が示唆されている。しかしながら、この体温上昇に伴う過換気および脳血流低下反応の特性やメカニズムについては十分に明らかではない。

運動パフォーマンスは時刻の影響を受けることが報告されている。その中で、最大発揮筋力や短時間運動時の発揮パワーといった一般的な運動パフォーマンスは早朝よりも夕方が高くなるが (Reilly & Waterhouse 2009)、暑熱下での持続的運動パフォーマンスは、早朝よりも夕方に低下することが報告されている (Hobson *et al.* 2009)。その一因として、夕方では安静時や運動時の深部体温が高く、より早く高体温に達することが考えられている。しかしながら、前述の体温上昇に伴う過換気および脳血流低下反応が時刻の違いによってどのような影響を受けるのか、さらに脳血流低下が暑熱下運動パフォーマンスの日内変化の一因であるのかは明らかではない。

2. 研究の目的

本研究は、暑熱下運動時における過換気とそれに付随する脳血流低下反応に及ぼす時刻の影響を検討する。

3. 研究の方法

健常男性を対象として、早朝および夕方に、暑熱環境下 (室温 35℃, 相対湿度 40%) において、中強度 (最大酸素摂取量の 50% 負荷) の一定負荷自転車運動を実施した。運動は、1) 深部体温の指標である食道温が 39.0℃ に達するか、2) 運動を維持できないか (RPE が 20 に近い状態) 3) 運動時間が 60 分に達した場合に終了とした。

測定項目は、食道温 (深部体温の指標)、平均皮膚温 (7 部位から算出)、心拍数、血圧、呼気ガス (換気量、一回換気量、呼吸回数、呼気終末 CO_2 分圧など)、中大脳動脈血流量速度 (脳血流量の指標、経頭蓋超音波ドプラー法)、主観的運動強度、主観的温度感覚、呼吸努力度であった。

動脈血 CO_2 分圧の推定値 ($\text{PaCO}_{2,\text{estimated}}$) を呼気終末 CO_2 分圧と一回換気量の値から Jones *et al.* (1979) の計算式を用いて算出した。

脳血管コンダクタンスは、脳血流速度を平均血圧で除することにより算出した。脳血流速度および脳血管コンダクタンスはベースライン時の平均値を 100% とし、運動時の相対値を算出した。

4. 研究成果

食道温は、運動前で早朝よりも夕方に有意に高値を示した。運動時においてもその差は維持されたが、時間経過とともに徐々に差は小さくなり、運動終了時で違いはみられなかった (図 1)。換気量は、運動時間経過に伴い徐々に増加したが、早朝と夕方に有意な違いはみられなかった (図 2)。 $\text{PaCO}_{2,\text{estimated}}$ は、運動時間経過に伴い徐々に低下したが、早朝と夕方に有意な差はなかった (図 2)。中大脳動脈血流量速度においても徐々に低下し、時刻の違いによる有意な影響はみられなかった (図 2)。これらの結果から、暑熱下運動時における換気および脳血流反応は早朝と夕方には違いはみられず、時刻の違いによる影響を受けないことが示唆された。先行研究において、暑熱下運動時における脳血流低下の大部分が過換気誘因の PaCO_2 の低下によるものであること (Rasmussen *et al.* 2006; Hayashi *et al.* 2011)、また、安静での常体温時における PaCO_2 に対する脳血流速度の応答性は早朝と夕方に違いはみられないこと (Ameriso *et al.* 1994) が報告されている。本研究において、 $\text{PaCO}_{2,\text{estimated}}$ と脳血流速度の関係における回帰直線の傾きを検討したところ、早朝で $4.4 \pm 2.9\% \text{baseline/mmHg}$ 、夕方で $4.1 \pm 3.3\% \text{baseline/mmHg}$ であり、条件間で有意な差はみられなかった。したがって、暑熱下運動時においても、 PaCO_2 に対する脳血流速度の応答性に時刻の違いはみられないことが示唆される。以上のことから、本研究において暑熱下運動時の脳血流低下に時刻の影響がみられなかった原因として、換気亢進さらには PaCO_2 の低下反応に時刻で違いがみられなかったことが関係していると考えられる。

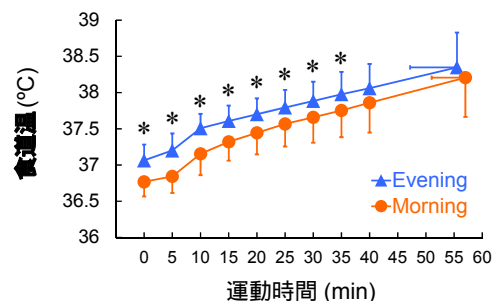


図 1. 暑熱下運動時における食道温 (深部体温の指標) の経時変化。* $P < 0.05$, morning vs. evening.

前述の通り、暑熱下運動時には深部体温が著しく上昇し、この深部体温の上昇自体が熱中症の一因であるとともに、深部体温上昇に

よって換気量の増加が引き起こされ、これによりCO₂の過剰排出による低二酸化炭素症と、それに付随する脳血管収縮による脳血流量低下が起こる。しかし、この体温上昇時の脳血流低下反応に及ぼす時刻の影響を調べた検討は皆無であった。本研究は、暑熱下運動時の脳血流低下反応に時刻の違いはみられないことを初めて明らかにし、この結果は暑熱環境下における安全確保とその具体策を提示する上で重要な基礎的な知見になると考えられる。

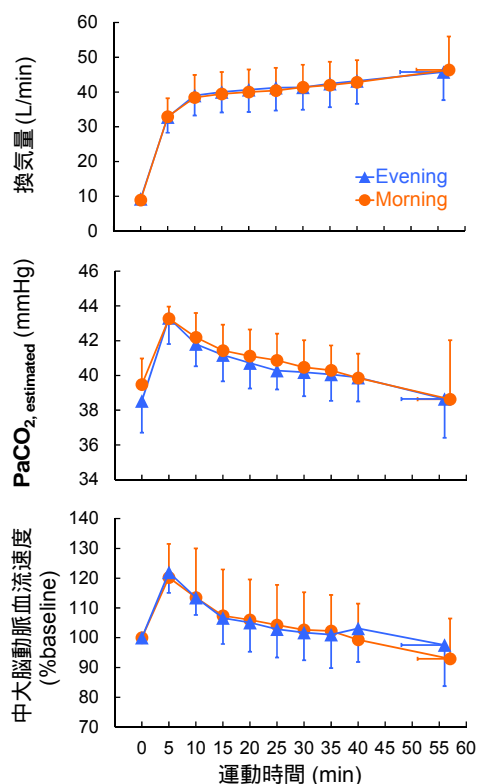


図2. 暑熱下運動時における換気量(上), 動脈血CO₂分圧推定値(中)および中大脳動脈血流速度(下)の経時変化

< 引用文献 >

Ameriso SF, Mohler JG, Suarez M, Fisher M. Morning reduction of cerebral vasomotor reactivity. *Neurology* 44: 1907-1909, 1994.
 Hayashi K, Honda Y, Miyakawa N, Fujii N, Ichinose M, Koga S, Kondo N, Nishiyasu T. The effect of CO₂ on the ventilatory sensitivity to rising body temperature during exercise. *J Appl Physiol* 110: 1334-1341, 2011.
 Hobson RM, Clapp EL, Watson P, Maughan RJ. Exercise capacity in the heat is greater in the morning than in the evening in man. *Med Sci Sports Exerc* 41: 174-180, 2009.
 Jones NL, Robertson DG, Kane JW. Difference between end-tidal and arterial PCO₂ in exercise. *J Appl Physiol* 47: 954-60, 1979.

Mustafa M, Khougali M, Gumaa K. Respiratory pathophysiology in heat stroke. 1983.
 Nybo L, Secher NH, Nielsen B. Inadequate heat release from the human brain during prolonged exercise with hyperthermia. *J Physiol* 545: 697-704, 2002.
 Rasmussen P, Stie H, Nielsen B, Nybo L. Enhanced cerebral CO₂ reactivity during strenuous exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 96: 299-304, 2006.
 Reilly T, Waterhouse J. Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role?. *Eur J Appl Physiol* 106:321-32, 2009.
 Ross EZ, Cotter JD, Wilson L, Fan JL, Lucas SJ, Ainslie PN. Cerebrovascular and corticomotor function during progressive passive hyperthermia in humans. *J Appl Physiol* 112: 748-758, 2012.

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)

〔学会発表〕(計1件)

Bun Tsuji, Akari Nakane, Naoto Fujii, and Takeshi Nishiyasu. Effect of time of day on respiratory and cerebrovascular responses during prolonged exercise in the heat, ARIHHP Human High Performance International Forum 2018 “Sport Sciences for Olympic and Paralympic Games”, 2018.

〔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

辻 文 (TSUJI, Bun)

県立広島大学・総合教育センター(兼)健康科学科・講師

研究者番号：40707212