

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32671

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700708

研究課題名(和文) 暑熱環境下での持久的運動時における脳血流低下のメカニズムを探る

研究課題名(英文) The distribution of blood flow in the carotid arteries during dynamic exercise with heat stress

研究代表者

佐藤 耕平 (SATO, Kohei)

日本女子体育大学・体育学部・准教授

研究者番号：00409278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：暑熱環境下での運動時に起こる脳血流低下のメカニズムは不明である。我々は、体温の上昇に伴う外頸動脈血流量の増加が、脳血流の低下に一部関与するとする仮説を設定した。本研究では、暑熱環境下(35℃)および正常環境下(25℃)での中強度運動時における、内頸動脈(ICA)、外頸動脈(ECA)、椎骨動脈(VA)の血流量を超音波診断装置により測定した。その結果、運動時における内頸動脈血流量の低下には、外頸動脈血流量の増加が一部関与する可能性が示され、この関係性は暑熱環境下で高まることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The mechanism underlying the relative decrease in cerebral blood flow (CBF) during exercise with hyperthermia remains unclear. We hypothesized that cerebral perfusion is limited during exercise with heat stress due to a redistribution of carotid artery blood flow (extracranial blood flow). To identify the distribution of blood flow among the arteries supplying the head and brain, we evaluated common carotid artery (CCA), internal carotid artery (ICA), external carotid artery (ECA) and vertebral artery (VA) blood flow during dynamic exercise with and without heat stress using Doppler ultrasound. Our results suggest that during exercise with and without heat stress the decrease in CBF is partly due to a large increase in ECA blood flow, which is selectively increased to prioritize thermoregulation.

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：脳血流 暑熱運動 体温調節

1. 研究開始当初の背景

1) 脳循環調節は恒常性の維持に極めて重要である：脳は体重の約 2% の重量にも関わらず、心拍出量の 15% もの血液が供給されている。これは、脳への酸素・グルコースの供給が必要不可欠だからである。脳血流 (cerebral blood flow: CBF) の急激な変化は、生理機能の維持に悪影響を与える恐れがある。脳は、様々な環境の変化に対して、安定した血流供給を可能にする特殊な調節機能を有する。特に暑熱環境下でのマラソンのような極めて過酷な環境では、脳血流の調節が極めて重要になる。

2) 暑熱 (高温) 環境下では持続的運動能力の低下が起こる：環境温度や核心温度は持続的運動のパフォーマンスを決定する重要な因子である。暑熱環境下の運動時に惹起される高体温が、末梢および中枢性 (脳) 疲労を誘発し、運動能力の低下、引いては熱中症を引き起こす。高体温は脳活動にも大きな影響をもたらす、特に CBF の低下がトリガーとなって中枢性疲労を引き起こすと考えられている。

3) CBF の低下は動脈血二酸化炭素濃度の低下だけでは説明できない：高体温での運動時に起こる脳血流低下のメカニズムとして、高温環境がもたらす運動時の過剰換気が、動脈血二酸化炭素濃度 (PaCO<sub>2</sub>) の低下を誘発し、CBF を低下させる説が考えられている。しかしながら、PaCO<sub>2</sub> の低下だけでは CBF の低下を説明できない。

4) 運動時に起こる CBF の低下は、内頸動脈経路のみで起こる：運動時における CBF 評価は、内頸動脈経路が主流であり、椎骨動脈の血流応答は不明であった。我々は、内頸動脈と椎骨動脈血流の同時測定を行った結果、内頸動脈血流のみが高強度運動時に低下し、椎骨動脈においては持続的な増加を示した (Sato and Sadamoto 2010)。この差異は両経路の解剖学的な特徴が影響していると考えられた。

5) CBF は外頸動脈の血流に影響を受ける：総頸動脈から分岐する内頸動脈は脳へ、外頸動脈は顔面および頭皮に血液を供給する。我々は運動時に外頸動脈血流量が顕著な増加 (約 3 倍) を示すことを明らかにしており、これは顔面および頭部の皮膚血流の増加による (Sato et al. 2011)。

6) 外頸動脈への血流のスチールが CBF 低下のメカニズムの一つではないか？：運動時の

顔面および頭部の熱放散機能は、他の部位よりも高い。つまり「暑熱下運動時の体温調節機能の亢進に伴う、顔面および頭部の皮膚血流の顕著な増加が、外頸動脈血流量の増加を促し、結果的に CBF の低下につながる」という示唆をもたらす。つまり血流のスチール・再分配が影響する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の仮説は「暑熱環境下での運動時においては、外頸動脈の血流増加が CBF 低下に関与する」であり、研究目的は「暑熱環境下での持続的運動時に起こる脳血流低下のメカニズムを明らかにする」ことである。

3. 研究の方法

1) 研究：研究では、運動を含まない温熱負荷による深部体温上昇時の、CBF および外頸動脈血流応答を測定し、それらの関係性を検討した。また、高体温時に外頸動脈血流がどこまで増加し、体温調節機能の亢進に伴う、熱放散機能を有しているかを明らかにすることを目的とした。初めに、水循環スーツ内に 35 の湯を循環させベースライン測定 (安静時) を行った。その後、循環スーツ内に 50 の湯を循環させる温熱負荷を食道温度が ~1.5 上昇するまで行った。この実験には、12 人の成人被験者 (平均年齢 22.2 歳) が参加した。安静時および深部体温上昇時における外・内頸動脈血流および椎骨動脈血流量を超音波診断装置により測定した。

2) 研究：研究では、暑熱環境での運動時における CBF 低下に外頸動脈血流量の増加が関与するか否かを検討した。9 名の成人被験者 (平均年齢 21.4 歳) に対して、暑熱環境 (35 ) および正常環境下 (25 ) における運動負荷実験を行った。運動強度は、60% 最高酸素摂取量で行い、両条件共に 50 分間の運動を実施した。運動時における内頸動脈血流量、外頸動脈血流量、椎骨動脈血流量を超音波診断装置により測定した。

4. 研究成果

1) 研究

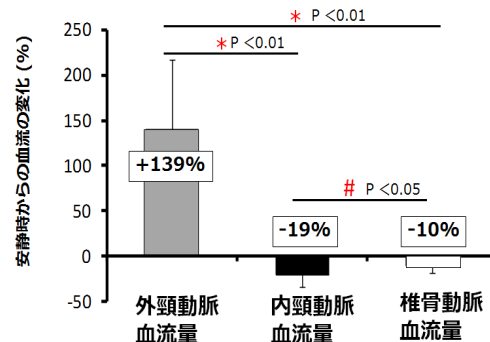


図 1. 温熱負荷に対する頸部動脈血流量の変化

図1に示したように、温熱負荷による体温上昇時に外頸動脈血流量は、+139%も増加し、体温調節機能の亢進において、外頸動脈血流は重要な熱放散機能を有することが明らかになった。また、内頸動脈血流量および椎骨動脈血流量はそれぞれ、-19%、-10%低下した。

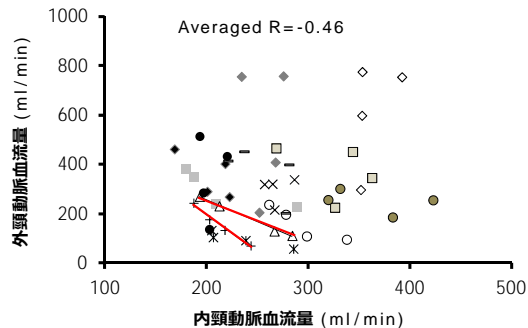
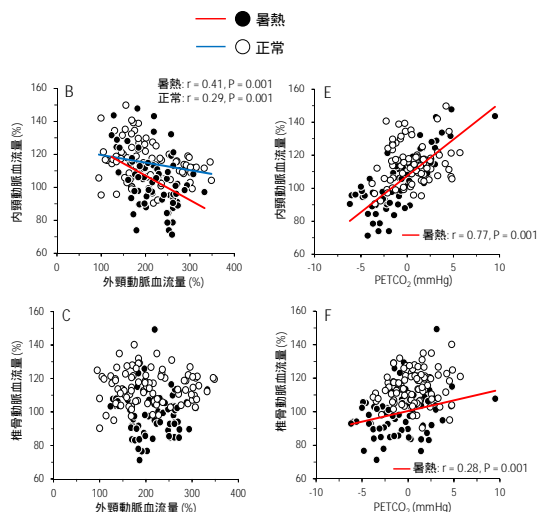


図2.個人内における外頸動脈血流量と内頸動脈血流量の関係性

しかしながら、被験者内においては、外頸動脈血流の増加と内頸動脈血流の低下に有意な相関関係が認められた被験者は13名中2名であった(平均相関係数 = -0.46)。この結果は、運動を伴わない温熱環境による高体温時においては、CBFの低下に対して外頸動脈の影響は小さいことを示唆する。恐らく、高体温に伴うCBFの低下は、過換気によるPaCO<sub>2</sub>の低下が主なメカニズムであることが示唆された。

## 2) 研究

図3.暑熱および正常環境下での運動時における外頸動脈血流量と脳血流量との関係性



研究においては、運動時における外頸動脈血流量と脳血流量の関係性を検討した。その結果、両条件共に外頸動脈の変化と内頸動脈

血流量の変化の間に有意な負の相関関係が認められた。一方、両条件共に、椎骨動脈血流量との間には関係性が認められなかった。この結果は、我々の仮説通り、CBFの低下には、外頸動脈血流量の増加が一部関与する可能性を示唆するものである。しかし、解剖学的特徴から、椎骨動脈においてはこのような血流のスチール現象が認められなかったと考えられる。

## 3) まとめ

本研究の結果は、運動を伴わない温熱負荷および暑熱環境下での運動時ともに、外頸動脈血流量は顕著に増加し、これは体温調節機能の亢進によるものであると考えられた。しかし、運動時のみ外頸動脈血流量の増加がCBF(特に内頸動脈血流量)の低下に関与する可能性が示唆された。

## 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)

Ogoh S, Sato K, Okazaki K, Miyamoto T, Hirasawa A, Morimoto K, Shibasaki M. Blood flow distribution during heat stress: cerebral and systemic blood flow. *J Cerebral Blood Flow and Metabolism* 33: 1915-20, 2013. (査読あり)

Sato K, Sadamoto T, Hirasawa A, Oue A, Subudhi A, Miyazawa T, and Ogoh S. Differential blood flow responses to CO<sub>2</sub> in human internal and external carotid and vertebral arteries. *J Physiol* 590: 3277-90, 2012. (査読あり)

[学会発表](計1件)

佐藤 耕平, 平澤 愛, 岡崎 和伸, 宮本 忠吉, 小河 繁彦, 芝崎 学. 暑熱負荷における脳血流量低下に対する外頸動脈血流量の関係性. 第51回日本生気象学会大会, 長野, 2012.

[図書](計1件)

佐藤 耕平, 運動と循環 -脳血流-, 宮村 実晴編「ニュー運動生理学」, 真興 交易医書出版, 印刷中.

[その他]

ホームページ等

<http://www.jwcpe.ac.jp/research/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 耕平 (SATO, Kohei)

日本女子体育大学・体育学部・准教授  
研究者番号：00409278