

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 13 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700614

研究課題名(和文) 暑熱下運動時に静脈血管応答は体温と循環のどちらを優先的に調節するのか？

研究課題名(英文) Venous vascular responses of skin and muscle area during exercise under a hot environment

研究代表者

大上 安奈(Ooue, Anna)

東洋大学・食環境科学部・助教

研究者番号：00550104

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)：本研究の目的は『暑熱下運動時の静脈血管応答は体温と循環のどちらを優先的に調節するのか？』を明らかにすることであった。検討の結果、暑熱環境下において筋層由来の深在性静脈は循環調節を、皮膚層由来の表在性静脈は体温調節を優先する可能性が示唆された。この結果は、静脈血管応答を検討する場合、皮膚層と筋層の両者を考慮する必要があることを示している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the venous vascular responses of skin and muscle area during prolonged exercise under a hot environment. The deep vein (muscle area) might be prior to the cardiovascular regulation, but the superficial vein (skin area) might be prior to the thermoregulation. Based on these results, it is considered that venous vascular responses of skin and muscle area should be assessed separately.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：静脈コンプライアンス 熱放散反応 血圧調節 静脈還流

1. 研究開始当初の背景

静脈血管は伸展性(コンプライアンス)が高いことから容量血管とも呼ばれ、安静時には約 60%の血液が静脈系に存在する。したがって、運動時の静脈血管応答は心拍出量増大などに欠かせない存在ではあるが、その調節機構や役割については未解決な部分が多い。

運動時において静脈血管は相反する応答を要求される場合がある。具体的には、血管を収縮することでコンプライアンスを低下させ血圧を維持する働き(循環調節)と、血管を拡張することでコンプライアンスを高め熱放散を促進する働き(体温調節)である。常温下での自転車運動やランニングなど動的運動開始初期において、内臓や非活動肢の静脈血管は収縮し(Bergeron et al. 2001, Kenney and Ho 1995, Rehrer et al. 2001, Rowell 1993, Rowell and Brengelmann 1971, Zitnik et al. 1971)、静脈還流量を増加させることで、心拍出量増大や血圧維持(循環調節)に貢献している。しかし、この運動開始初期の非活動肢の静脈血管収縮は高体温時には消失する(Rowell and Brengelmann 1971, Zitnik et al. 1971)。これらの結果は、運動開始初期において循環調節と体温調節が競合した場合、非活動肢の静脈血管は拡張することで体温調節を優先することを示している。一方、暑熱下で運動を長時間行った場合、発汗量や皮膚血流量の増加により心臓に還る血液量(中心血液量)は減少し、過度な一回拍出量低下や心拍数上昇、ひいては血圧低下が生じる(Coyle and Gonzalez-Alonso 2001)。このような条件下でも静脈血管は拡張を維持しコンプライアンスを高めることで体温調節を優先させるのであろうか?前述のように短時間運動時の非活動肢の静脈血管応答を検討されているが、暑熱下長時間運動時において静脈血管応答は体温と循環のどちらを優先的に調節するのか明らかではない。

2. 研究の目的

『暑熱下長時間運動時の静脈血管応答は体温と循環のどちらを優先的に調節するのか』を明らかにするために、以下の2つの研究課題を設定した。

研究課題 1: 短時間の動的運動時における皮膚層(表在性静脈)と筋層(深在性静脈)の静脈コンプライアンスの検討。

研究課題 2: 暑熱下および常温下における長時間自転車運動時の皮膚層(表在性静脈)と筋層(深在性静脈)の静脈コンプライアンスの検討。

3. 研究の方法

(1) 研究課題 1

被験者は健康な若年男女 14 名であった。座位姿勢での約 30 分間の安静後、座位安静時(REST)および最大酸素摂取量の 35%と 70%に相当する自転車運動時(EX35%と EX70%)の

静脈コンプライアンスを測定した。それぞれの条件は約 15 分間の休息を挟みながら REST、EX35%そして EX70%の順で実施した。

プロトコルは、1 分間安静ののち、右上腕部を 60mmHg で 8 分間加圧後、1mmHg/sec の割合で 1 分間かけて徐々に圧を 0mmHg まで抜く脱気法を用いた。自転車運動は測定開始 5 分目から脱気終了までの計 5 分間実施した(図 1)。

測定項目は、上腕部の尺側皮(表在性)静脈と上腕(深在性)静脈の血管横断面積(CSA)、心拍数および血圧とした。

静脈コンプライアンスの評価は次のように行った。右上腕部の圧脱気中(プロトコル 9 分から 10 分目)の静脈 CSA を連続的に測定し、カフ圧と CSA の関係から「 $CSA = C_0 + C_1 \times (\text{カフ圧}) + C_2 \times (\text{カフ圧})^2$ 」を算出した後、この式を微分して静脈コンプライアンスを推定した「静脈コンプライアンス = $\frac{1}{C_1 + 2 \times C_2 \times (\text{カフ圧})}$ 」。

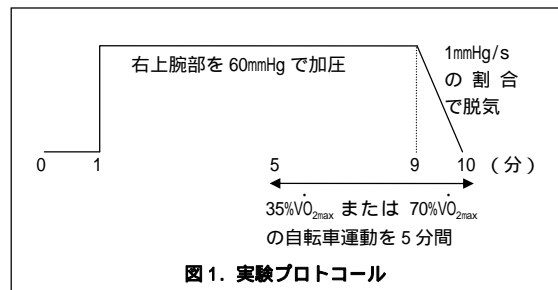


図 1. 実験プロトコル

(2) 研究課題 2

被験者は健康な若年男性 9 名であった。すべての被験者は、常温環境下(25)および暑熱環境下(35)において深部体温が約 1.2 上昇するまで最大酸素摂取量の 65%強度で自転車運動を実施した。安静時(安静)、運動初期(3 分目: 運動 1)および運動継続時(深部体温 1.2 上昇時: 運動 2)の静脈コンプライアンスを測定した。静脈コンプライアンスの評価方法は研究課題 1 と同様とした。

測定項目は、直腸温(深部体温の指標)、局所皮膚温(前額、胸、前腕、手甲、背、大腿および下腿)、上腕動脈血流量、心拍数、平均血圧、一回拍出量、心拍出量、上腕部の尺側皮(表在性)静脈と上腕(深在性)静脈の CSA であった。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

研究課題 1

心拍数および平均血圧は、運動強度が高まるほど高値を示した(心拍数: REST: 67 ± 2 bpm, EX35%: 103 ± 2 bpm, EX70%: 151 ± 2 bpm, 平均血圧: REST: 78 ± 2 mmHg, EX35%: 89 ± 2 mmHg, EX70%: 108 ± 3 mmHg)。

カフ圧-表在性静脈 CSA の関係は、運動強度に依存して下方にシフトした(図 2-A)。カフ圧-深在性静脈 CSA の関係は、REST と比較して EX75%において下方に位置した(図 2-B)。一方、表在性および深在性静脈とも、カフ圧

-静脈コンプライアンス関係は短時間自転車運動によって変化しなかった(図 2-C, D)。

短時間の動的運動時において、非活動肢の深在性静脈および表在性静脈のコンプライアンスは変化しないが、CSA には低下が認められ、その程度は静脈間で異なる可能性が示唆された。CSA 低下の違いは深在性静脈よりも表在性静脈の方が交感神経刺激に対する感受性が高いためと考えられた。

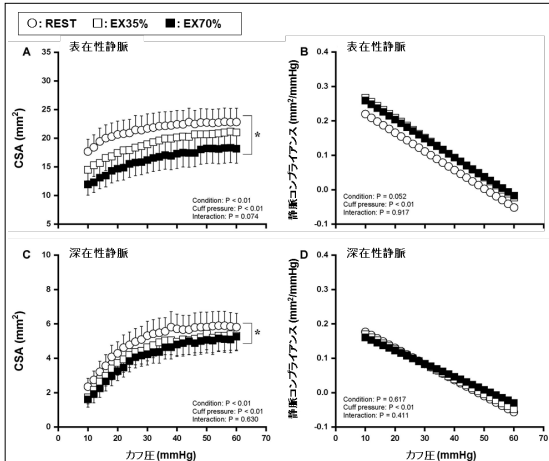


図 2. 安静時(REST)および 35%VO_{2max} または 70%VO_{2max} 強度の短時間自転車運動時(EX35%と EX70%)におけるカフ圧変化に伴う静脈血管横断面積(CSA)とコンプライアンスの変化。
*: P < 0.05, 条件間差

研究課題 2

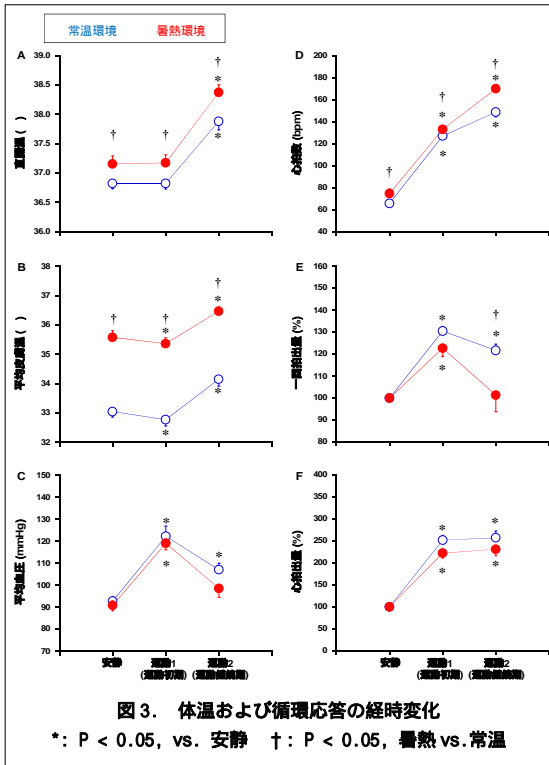


図 3. 体温および循環応答の経時変化

*: P < 0.05, vs. 安静 †: P < 0.05, 暑熱 vs. 常温

直腸温はいずれの環境条件でも長時間の運動(運動 2)によって約 1.2 上昇したが、安静の時点ですでに常温よりも暑熱下での値が高値を示していた(図 3-A)。平均皮膚温もまた、常温よりも暑熱下での値が高い値であった(図 3-B)。

平均血圧および一回拍出量は、常温条件下では運動初期(運動 1)で増大し、その増大が運動 2 でも維持されたが、暑熱条件下では運動 1 でみられた増大が、運動 2 では安静レベルまで戻った(図 3-C, E)。一方、心拍数は運動継続によって増大し、その増大程度は暑熱条件の方が顕著であった(図 3-D)。これらの結果から、心循環ドリフトが常温よりも暑熱条件下で顕著であったことが示唆された。

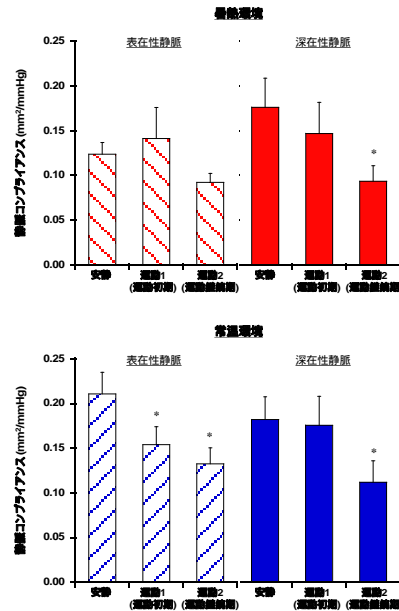


図 4. カフ圧が 20mmHg 時の静脈コンプライアンス
*: P < 0.05, vs. 安静

長時間運動によって、深在性静脈では両環境条件下で、表在性静脈は常温条件下でコンプライアンスの低下が認められた(図 4)。長時間運動時には、発汗や皮膚血流の増大に伴い、中心血液量が減少するため、心肺圧受容器の脱負荷に伴う交感神経活動亢進が生じていたと予想され、このため、静脈コンプライアンスが低下したと推察される。

一方、暑熱条件下のみ長時間運動に伴う表在性静脈コンプライアンスの低下は認められなかった。このような、コンプライアンス低下の消失が、一回拍出量低下をはじめとした顕著な心循環ドリフトの要因のひとつと考えられる。

また、興味深いことに、常温と比べ暑熱条件下では、安静の時点ですでに表在性静脈コンプライアンスは低下していた。安静時の直腸温や平均皮膚温が暑熱条件下で高値を示していたことから、熱放散のための皮膚血流量増大が安静時の表在性静脈コンプライアンス低下に関連していたと考えられる。このような安静時からのコンプライアンス低下のために、長時間運動によるさらなる低下が認められなかったのかもしれない。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究の目的は『暑熱下運動時の静脈血管応答は体温と循環のどちらを優先的に調節

するのか?』を明らかにすることであった。検討の結果、暑熱環境下において筋層由来の深在性静脈は循環調節を、皮膚層由来の表在性静脈は体温調節を優先する可能性が示唆された。加えて、常温環境下では、いずれの静脈とも循環調節を優先する可能性が示された。

皮膚層と筋層を区別せず体肢全体の静脈血管応答を測定している研究は数多くみられる。しかし、本研究において、特に暑熱条件下では、表在性静脈と深在性静脈のコンプライアンス変化に違いが認められた。この結果は、今後、静脈血管応答を検討する場合、皮膚層と筋層の両者を考慮する必要があることを示しており、未解決な点が多い運動時の静脈血管応答を理解するうえで有意義な情報になると考えられる。

(3) 今後の展望

本研究では、長時間運動という体液量が減少するような場合に静脈血管伸展性が低下した。上述のように心肺圧受容器脱負荷に伴う交感神経活動の亢進が関与したものと推察されるが、本研究では直腸温や皮膚温といった体温上昇の影響も同時にみられていた。今後は、圧受容器反射と体温の要因を分離して、さらに詳細に運動時の静脈血管応答の調節機構を解明したい。

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10件)

Ooue A, Hirasawa A, Sato K, Yoneya M, Sadamoto T. Response of venous outflow from a head to dynamic exercise at low intensity in women. *J Exerc Sci* 23: 1-7, 2014. (査読有)

<http://www.jwcpe.ac.jp/research/bulletin/new.html>

Hirasawa A, Sato K, Ooue A, Sadamoto T, Ogoh S. Near-infrared spectroscopy determined oxy-hemoglobin concentration does not reflect intracranial cerebral oxygenation especially during dynamic heavy exercise. *J Exerc Sci* 23: 8-17, 2014. (査読有)

<http://www.jwcpe.ac.jp/research/bulletin/new.html>

小林裕司, 大上安奈, 米谷茉里奈, 佐藤耕平, 定本朋子. 前腕部加温が下肢運動時における上腕動脈の逆行性血流成分を減少させる. *東京体育学研究* 5: 13-20, 2014. (査読有)

<http://tokyo-taiikugakkai.jp/journal/vol-5.html>

Ooue A, Sadamoto T. Central command and muscle metaboreflex effect on

superficial venoconstriction in the resting limb. *J Phys Fitness Sports Med* 2: 337-339, 2013. (査読無)

DOI: 10.7600/jpfsm.2.337

Ooue A, Sato K, Hirasawa A, Sadamoto T. Superficial venous vascular response of the resting limb during static exercise and post-exercise muscle ischemia. *Appl Physiol Nutr Metab* 38: 941-946, 2013. (査読有)

DOI: 10.1139/apnm-2012-0472

Ooue A, Sato A, Tsunozawa S, Hirasawa A, Sato K, Sadamoto T. Superficial venous vascular response of the inactive limb during static handgrip exercise at different work load in women. *J Exerc Sci* 22: 9-16, 2013. (査読有)

<http://www.jwcpe.ac.jp/research/bulletin/new.html>

Ooue A, Sato K, Hirasawa A, Sadamoto T. Tendon vibration attenuates superficial venous vessel response of resting limb during static arm exercise. *J Physiol Anthropol* 31: 29, 2012. (査読有)

DOI: 10.1186/1880-6805-31-29

Ishii K, Liang N, Ooue A, Hirasawa A, Sato K, Sadamoto T, Matsukawa K. Central command contributes to increased blood flow in the non-contracting muscle at the start of one-legged dynamic exercise in humans. *J Appl Physiol* 112: 1961-1974, 2012. (査読有)

DOI: 10.1152/jappphysiol.00075.2012
Sato K, Sadamoto T, Hirasawa A, Ooue A, Subudhi A, Miyazawa T, Ogoh S. Differential blood flow responses to CO₂ in human internal and external carotid and vertebral arteries. *J Physiol* 590: 3277-3290, 2012. (査読有)

DOI: 10.1113/jphysiol.2012.230425

大上安奈, 定本朋子. 運動と容量血管静脈コンプライアンスに関する研究の動向とその成果. 特集『運動と心臓・血管』. *体育の科学* 62: 279-284, 2012. (査読無)

<http://www.kyorin-shoin.co.jp/magazine.asp?PID=Z1#62>

[学会発表](計13件)

大上安奈, 佐藤耕平, 米谷茉里奈, 小林裕司, 定本朋子. 環境温度が長時間運動時における非活動肢の深在性静脈と表在性静脈コンプライアンス変化に及ぼす影響. 第68回日本体力医学会大会, 日本教育会館(東京), 2013年9月21-23日.

佐藤耕平, 平澤 愛, 米谷茉里奈, 大上安奈, 木村憲, 定本朋子. 高齢期における椎骨・内頸動脈血流量の経年的変化. 第 68 回日本体力医学会大会, 日本教育会館 (東京), 2013 年 9 月 21-23 日.

大上安奈, 小林裕司, 米谷茉里奈, 佐藤耕平, 定本朋子. 短時間自転車運動は非活動肢の静脈コンプライアンスを変化させない. 日本体育学会第 64 回大会, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀), 2013 年 8 月 28-30 日.

村岡慈歩, 佐藤耕平, 平澤 愛, 安田 翼, 大上安奈, 米谷茉里奈, 定本朋子. 中高年齢期以降の筋厚及び皮下脂肪厚の変化. 日本体育学会第 64 回大会, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀), 2013 年 8 月 28-30 日.

Ooue A, Kobayashi Y, Sato K, Yoneya M, Sadamoto T. Brief cycling exercise does not alter the compliance of superficial and deep veins in resting upper arm. The 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, National Institute of Physical Education of Catalonia (Barcelona), Spain, 26th-29th, June 2013.

Yoneya M, Sato K, Ooue A, Hirasawa A, Sadamoto T. Effects of endurance training on the internal carotid and vertebral artery blood flow responses to graded dynamic exercise. The 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, National Institute of Physical Education of Catalonia (Barcelona), Spain, 26th-29th, June 2013.

小林裕司, 大上安奈, 米谷茉里奈, 佐藤耕平, 定本朋子. 前腕部加温が下肢運動時における上腕動脈の逆行性血流成分を減少させる. 東京体育学会第 4 回学会大会, 国土館大学世田谷キャンパス梅ヶ丘校舎 (東京), 2013 年 3 月 6 日.

大上安奈, 佐藤耕平, 平澤 愛, 米谷茉里奈, 定本朋子. 安静時および交感神経活動亢進時における静脈コンプライアンス特性 -表在性静脈と深在性静脈の違いに着目して-. 第 67 回日本体力医学会大会, 長良川国際会議場 (岐阜), 2012 年 9 月 14-16 日.

平澤 愛, 佐藤耕平, 大上安奈, 定本朋子, 小河繁彦. 高強度運動時の NIRS 信号は頭蓋内酸素化動態を反映しない. 第 67 回日本体力医学会大会, 長良川国際会議場 (岐阜), 2012 年 9 月 14-16 日. 米谷茉里奈, 佐藤耕平, 大上安奈, 平澤 愛, 定本朋子. 運動時脳血流の CO₂ reactivity 指標に及ぼす持続性トレーニングの影響. 第 67 回日本体力医学会大会, 長良川国際会議場 (岐阜), 2012 年 9 月 14-16 日.

佐藤耕平, 平澤 愛, 米谷茉里奈, 大上安奈, 中村 泉, 定本朋子. 高齢期女性における脳血流量と血圧の関係性. 第 67 回日本体力医学会大会, 長良川国際会議場 (岐阜), 2012 年 9 月 14-16 日. 大上安奈, 平澤 愛, 佐藤耕平, 米谷茉里奈, 定本朋子. 動的運動時における頭部静脈血流応答特性. 第 20 回日本運動生理学会大会, 筑波大学 (茨城), 2012 年 7 月 28-29 日.

Ooue A, Sato K, Hirasawa A, Sadamoto T. Greater compliance in superficial than deep vein during resting and sympathoexcitation. The 17th Annual Congress of the European College of Sport Science, The 'Oud Sint-Jan' Congress Centre (Bruges), Belgium, 4th-7th, July 2012.

〔図書〕(計 1 件)

大上安奈. 静脈血管応答. 身体運動と呼吸・循環機能, 宮村実晴 編, p324-329, 真興交易株式会社, 2012.

〔その他〕

ホームページ等

<http://researchmap.jp/abc1/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大上 安奈 (OOUÉ, Anna)

東洋大学・食環境科学部・助教

研究者番号: 00550104