

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：33301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700855

研究課題名(和文) アスリートにおける運動後低血圧応答とそのメカニズムの解明

研究課題名(英文) The mechanisms of post-exercise hypotension in athletes

## 研究代表者

斉藤 陽子 (Saito, Yoko)

金沢星稜大学・人間科学部・講師

研究者番号：90549461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：一過性運動後に血圧が低下した状態が一定時間継続する現象は運動後低血圧応答として知られている。本研究は、アスリートにおけるこの運動後低血圧にトレーニング特性を含めたその実施状況(トレーニングステータス)やトレーニング環境が及ぼす影響について検討した。その結果、トレーニングステータスによる違いは認められなかった。一方、高所環境下での持久性運動は運動後の血圧低下応答を持続させ、そのことには血管拡張能が関連する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we investigated effects of athletes' training status and training environment to post-exercise hypotension, an acute reduction of blood pressure induced after an acute exercise. No differences were observed in the blood pressure reduction and the related parameters between the endurance athletes and power athletes. However, the reduction of blood pressure persisted for longer and vasodilator function was enhanced after endurance exercise under altitude conditions when compared to sea level conditions.

研究分野：運動生理学(運動トレーニングに対する心血管機能の適応に関する研究)

キーワード：血管拡張 血管内皮機能 高所 持久系トレーニング パワー系トレーニング アスリート

### 1. 研究開始当初の背景

一過性運動後数時間に渡り血圧が低下した状態が継続する現象が初めて報告されたのは、1966年と古くさかのぼる(Kraul et al. 1966)。この現象に関する知見がまとめられ「運動後低血圧 (Postexercise Hypotension; 以下 PEH)」という言葉とともに定義されたのは 1990 年代のことである(Kenny et al. 1993)。それ以降、そのメカニズムや生理学的意義を明らかにするための研究が数多く行われてきている。

しかしながらアスリートのような運動トレーニングへの適応を有する対象に関してはまだ十分に研究がなされていない。数少ない報告の中で、サッカー選手(Dujic et al. 2006)や持久系運動の鍛錬者(Sentiko et al. 2002)の PEH は一般健常者と比較して同程度に生じるものの、そのメカニズムは異なると報告されている。すなわち、血圧は主に心拍出量と血管抵抗によって規定され、一般健常者の PEH が血管抵抗の低下によって生じるのに対し、彼らの PEH は心拍出量の低下に起因する(Dujic et al. 2006, Sentiko et al. 2002)。しかしアスリートは、従事する運動トレーニングの特性によって異なる心血管系の適応を生じており(Otsuki et al. 2007)、彼らの PEH 応答の程度やメカニズムは、運動習慣の有無に加え、従事する運動の特性を含めたトレーニング実施状況(トレーニングステータス)によって異なる可能性が考えられる。

上述のようなトレーニングステータスによる違いに加え、アスリートの PEH を検討する上で、その応答に大きな影響を与えるものとして、トレーニング環境が考えられる。主に持久系アスリートを中心として生理学的な負荷を与える目的で、高所でのトレーニングが実施されているが、低酸素環境においては血圧規定因子である血管抵抗の調節因子が低酸素の程度に応じて変動するため(moderate な低酸素環境下では交感神経活動が亢進[Tamisier et al. 2005]し、severe な低酸素環境下では血管拡張物質の放出が促進される[Huang et al. 2002])、PEH 応答も通常環境下と比較して異なることが予想される。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、運動トレーニングへの適応者であるアスリートを対象に、トレーニングステータスやトレーニング環境が PEH に及ぼす影響について明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

本研究は 2 つの実験系(実験 1 および実験 2)より構成されている。

(1) 実験 1: トレーニングステータスに関する検討

対象

対象は男子大学生 29 名であり、陸上長距

離選手群(以下 R 群) 10 名、ウエイトリフティング選手群(以下 W 群) 9 名、一般大学生群(以下 S 群) 10 名の 3 群に分類した。

運動プロトコル

自転車エルゴメータによる最大漸増負荷運動を実施した。初期負荷を 120W とし、2 分毎に 17W ~ 30W ずつ漸増させ、疲労困憊に至るまで実施した。回転数は 60 回転を維持させた。

運動中の呼気ガスは自動呼気ガス分析装置にて breath by breath で測定した。呼気ガス濃度と換気量から酸素摂取量( $VO_2$ )の 30 秒毎の平均値を求め、得られた最大値を最大酸素摂取量( $VO_{2max}$ )とした。

測定項目

運動前および運動終了後に仰臥位安静をとらせ、運動前安静および運動後 15、30、60、90 分に以下の心血管項目を測定した。

オシロメトリック法により左上腕から収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)および心拍数(HR)を測定した。平均血圧(MBP)は  $2/3DBP + 1/3SBP$  として求めた。

超音波画像は 5.0MHz のセクタプローブを用い、B モードにて傍胸骨左縁より左室長軸画像を描出し、さらに M モードにて連続 10 心拍を記録した。解析は画像計測ソフトを用いてオフラインで行った。左室拡張末期径(LVIDd)、左室収縮末期径(LVIDs)、心室中隔壁厚(IVSTd)、左室後壁厚(PWTd)を計測した。さらに TeishoIts の方法によって拡張末期容量(EDV)および収縮末期容量(ESV)を求めた。一回拍出量(SV)は  $EDV - ESV$  として求め、HR を乗じて心拍出量(CO)とした。SV と CO は体表面積(BSA)で補正し、それぞれ SVindex、COindex とした。また Petrovic et al. (1999)の方法に従い、平均壁厚(IVSTd と PWTd との平均)の LVIDs に対する比を左室心肥大の指標として用いた。総末梢血管抵抗(TPR)は  $TPR = MBP / COindex$  として求めた。

前腕血流量(FBF)はストレインゲージプレチスモグラフィにより測定した。ラピッドカフインフレーターを加圧用カフを右上腕に、またストレインゲージを右前腕に装着し、50mmHg で 5 秒間加圧、10 秒間弛緩のサイクルで計 3 分間の加減圧を繰り返した。プレチスモグラフィの出力電圧はアナログデジタル変換の後、汎用 PC のチャートソフトに取り込み解析に用いた。前腕血管抵抗(FVR)は  $FVR = MBP / FBF$  として求めた。

(2) 実験 2: トレーニング環境に関する検討対象

対象は大学陸上長距離男子選手 7 名であった。

測定条件

低圧チャンバー内気圧を変化させた 3 条件を設定した。Normobaric Normoxia 条件(以下 NN 条件、760mmHg 標高 0m 相当)、Hypobaric Hypoxia 条件(以下 HH 条件、586mmHg、標高 2200m 相当)に加え、運動の絶対強度を統一

した比較を行うため、第3の条件として、NN環境下でHH条件と同一の運動負荷で運動を行う Normobaric Normoxia submaximal 条件（以下 NNsubmax 条件、760mmHg、標高 0m 相当）を設定した。3条件の実施順はランダムになるように割り当てた。

#### 運動プロトコル

トレッドミルを用いた最大漸増負荷運動を実施した。初速を 286m/min とし、3分毎に 14~20m/min ずつ 4段階で漸増させた。5段階目以降は 11m/min ずつの増加とし、疲労困憊に至るまで実施した。

運動中の呼気ガスは自動呼気ガス分析装置にて breath by breath で測定した。呼気ガス濃度と換気量から酸素摂取量 ( $VO_2$ ) の 30秒毎の平均値を求め、得られた最高値を最高酸素摂取量 ( $VO_{2peak}$ ) とした。

#### 測定項目

運動前および運動終了後に仰臥位安静をとらせ、運動前安静および運動終了後 15, 30, 60分以下に以下の心血管項目を測定した。

オシロメトリック法により右上腕から SBP, DBP および HR を測定し、実験 1 同様に MBP を求めた。

心機能計測は実験 1 に準じて行った。LVd, LVIDs, EDV, ESV を求め、SVindex, COindex, TPR を算出した。

左人差指指尖に装着したパルスオキシメーターより動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) を測定した。

運動前および運動後 60分における心血管系項目の測定を終えた後に反応性充血 (FMD) の測定を行った。ラピッドカフインフレーターにより、右前腕に装着したカフを 250mmHg で 5分間加圧し、前腕の動脈阻血を行った。3.5MHz のリニアプローブを用い、duplex モードにより上腕動脈の縦断画像と血流速度のパルスドプラ画像を、阻血前安静 1分間および阻血開放 1分前から阻血解放後 2分まで連続的に記録した。阻血開放後の血管径の最大値を最大血管径として、運動前の阻血前血管径から各最大血管径への拡張率を %FMD とした。

## 4. 研究成果

### (1) 実験 1

一要因分散分析の結果、運動持続時間および  $VO_{2max}$  は R 群が他の 2 群と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

群 × 時間の二要因による反復測定分散分析の結果、MBP には時間による主効果が認められ ( $p < 0.05$ , Fig. 1), 安静値と比較して運動後 15, 30, 60, 90 分の値が低値を示した ( $p < 0.05$ )。データは平均値 ± 標準誤差で示した (以下同様)。

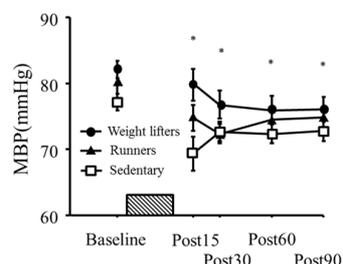


Fig.1 Mean blood pressure (Study1)

■:Exercise \*;  $p < 0.05$  vs. Baseline

Average wall thickness/LVID には群間差が認められず、3群に心形態の差は認められなかった。

TPR は時間による主効果のみが認められ、( $p < 0.05$ , Fig. 2A), 安静値と比較して運動後 90分まで低値を示した ( $p < 0.05$ )。一方、FVR には交互作用が認められ ( $p < 0.05$ , Fig. 2B), 各要因の単純主効果を検討したところ、安静時において群に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ )、W 群が R 群と比較して低値を示した ( $p < 0.05$ )。また R, S 群においては時間に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ )、安静値と比較して R 群は運動後 30分まで、S 群は運動後 15分まで低値を示した ( $p < 0.05$ )。

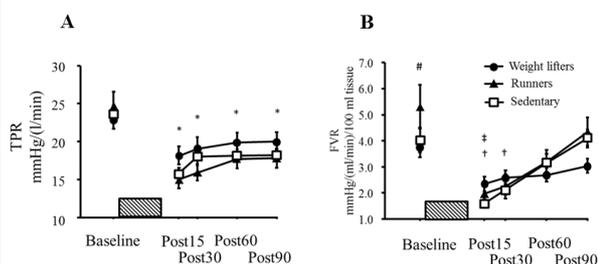


Fig.2 Vascular Resistance (Study1)

■:Exercise \*;  $p < 0.05$  vs. Baseline

#;  $p < 0.05$  Weight lifters vs. Runners  
+;  $p < 0.05$  vs. Baseline for Runners  
‡;  $p < 0.05$  vs. Baseline for Sedentary

本研究は、持久性トレーニングに適應した陸上長距離選手とパワー系トレーニングに適應したウェイトリフティング選手を対象とし、それぞれのトレーニングステータスによる PEH へ影響を検討した。しかし、血圧および血圧規定因子である心拍出量や総末梢血管抵抗にも違いは認められなかった。一方、局所の血管抵抗である FVR はウェイトリフティング選手が低値を維持し、局所へのトレーニング効果が影響している可能性が示唆された。

### (2) 実験 2

一要因分散分析の結果、安静時の  $SpO_2$  においては条件間で有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ )、HH 条件で NN および NNsubmax 条件と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。運動持続時間および最高走速度は、条件間で有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ )、HH 条件および NNsubmax 条件で NN 条件と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。

条件 × 時間の二要因による反復測定分散

分析の結果, MBP には条件 × 時間の交互作用が認められた (Fig. 3). 各要因の単純主効果を検討したところ, HH 条件において時間に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), 安静時と比較して運動後 30 分, 60 分に低値を示した ( $p < 0.05$ ).

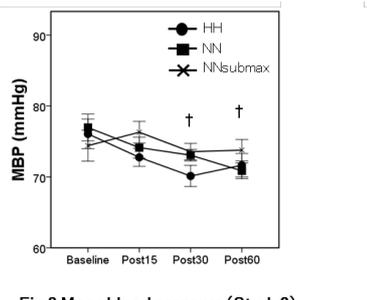


Fig. 3 Mean blood pressure (Study2)

†,  $p < 0.05$  vs. Baseline for HH

TPR においても交互作用が認められた ( $p < 0.05$ , Fig. 4). 各要因の単純主効果を検討したところ, すべての条件において時間に関する有意な主効果が認められた ( $p < 0.05$ ). HH 条件は運動後 60 分まで安静値より低値を示したが ( $p < 0.05$ ), NN, NNsubmax 条件は安静値からの低下を認めなかった. 運動後 60 分においては, 条件に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), HH 条件は NNsubmax 条件と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ ).

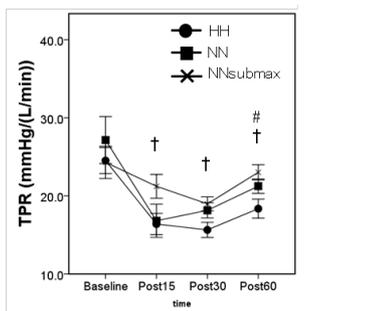


Fig. 4 Total peripheral resistance (Study2)

†,  $p < 0.05$  vs. Baseline for HH  
#,  $p < 0.05$  HH vs. NNsubmax

Fig. 5A に運動前および運動後に実施した FMD の血管径の変動 (阻血前および阻血開放後最大値) を示す. 交互作用が有意であり ( $p < 0.05$ ), 各要因の単純主効果を検討したところ, 運動後阻血前において条件に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), HH 条件が NNsubmax 条件と比較して高値を示した ( $p < 0.05$ ). また運動後阻血開放後において条件の有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), HH 条件が NN 条件と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ). またいずれの条件においても時間に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), 全ての条件において運動前の阻血前後で血管径は増大した ( $p < 0.05$ ). 運動後においては HH および NNsubmax 条件下において阻血前後で血管径は増大した ( $p < 0.05$ ).

運動前後の %FMD を 3 条件で比較したところ, 交互作用が有意であった ( $p < 0.05$ , Fig. 5B). 各要因の単純主効果を検討したと

ころ, HH 条件においては時間に関する有意な主効果が認められ ( $p < 0.05$ ), 運動前と比較して運動後において有意な高値を示した ( $p < 0.05$ ).

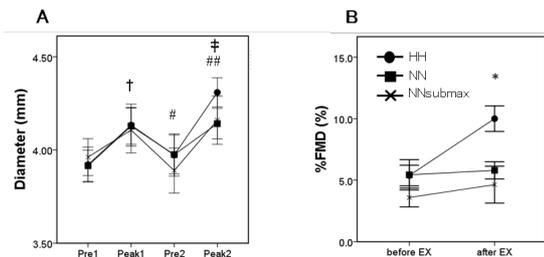


Fig. 5 Flow mediated dilation (Study2)

Pre1; pre-occlusion before exercise  
Peak1; peak diameter after occlusion before exercise  
Pre2; pre-occlusion after exercise  
Peak2; peak diameter after occlusion after exercise

#,  $p < 0.05$  HH vs. NNsubmax  
##,  $p < 0.05$  HH vs. NN  
†,  $p < 0.05$  vs. Pre1 for all conditions  
‡,  $p < 0.05$  vs. Pre2 for HH and NNsubmax  
\*,  $p < 0.05$  vs. before EX for HH

高所環境における持久性運動後に一過性の血圧低下応答が認められた. そのことには総末梢血管抵抗の低下, ならびに血管拡張反応の増大が関連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 0 件)

[学会発表](計 5 件)

齋藤陽子, アスリートにおける運動後の血圧低下応答, 第 67 回日本体力医学会大会, 平成 24 年 9 月 15 日, 長良川国際会議場 (岐阜県岐阜市)

Yoko Saito, Postexercise hypotension in strength-trained athletes, the 17th annual Congress of the European College of Sport Science, July 6<sup>th</sup>, 2012, Site Oud Sint-Jan, Bruges (Belgium)

齋藤陽子, 高所における持久性運動後の一過性血圧低下応答, 第 68 回日本体力医学会大会, 平成 25 年 9 月 21 日, 日本教育会館 (東京都千代田区)

Yoko Saito, Hypotension after endurance exercise at altitude, the 19th annual Congress of the European College of Sport Science, July 3<sup>rd</sup>, 2014, Amsterdam RAI Convention Centre, Amsterdam, (Netherlands)

齋藤陽子, 高所における運動後の一過性血圧低下応答と血管拡張能の関連, 第 69 回日

本体力医学会大会，平成 26 年 9 月 20 日，長崎大学（長崎県長崎市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕  
出願状況（計 0 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 0 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

斉藤 陽子 (Yoko Saito)  
金沢星稜大学 人間科学部 講師  
研究者番号：90549461

##### (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

大槻 毅 (Takeshi Otsuki)  
流通経済大学 スポーツ健康科学部 教授  
研究者番号：20375372