

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月30日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500689

研究課題名（和文） 運動直後の血圧低下が運動トレーニングによる慢性的な降圧効果につながる機序の解明

研究課題名（英文） The mechanisms of the anti-hypertensive benefits of exercise in relation to the link between acute and chronic effects

研究代表者

三浦 朗（MIURA AKIRA）

県立広島大学・人間文化学部・教授

研究者番号：30190581

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、運動直後の血圧低下(PEH)が運動トレーニングによる慢性的な降圧効果につながる機序の解明であった。有酸素性トレーニング（6週間、週3回、60分の脚自転車運動）期間中を通してPEHが確認された。また、就寝中の平均血圧の平均値は、トレーニング前と比較して1週目・5週目・6週目に有意な低下を示した。トレーニング後1週目にも平均血圧の低下がみられ、慢性効果への定着が確認された。また、睡眠時の血圧低下には、自律神経系緊張度が関与している可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The main purpose of this study was to clarify the interrelationships between acute and chronic mechanisms that have been linked to the anti-hypertensive benefits of exercise. Post-exercise hypotension (PEH) was observed through 6-week aerobic-endurance training program (60-min cycling, three times a week). Compared to pre-training nocturnal measurements, mean blood pressure was lower during weeks 1, 5, and 6 of the training period and during one week post training. The lower nocturnal BP was associated with both lower sympathetic and higher parasympathetic estimated activities.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：応用健康科学

キーワード：運動処方と運動療法、運動後低血圧

1. 研究開始当初の背景

自転車運動といった全身性の動的運動を1時間程度行くと、運動後の血圧は、運動前の安静値より数時間にわたって低下するという現象が認められ、運動後低血圧（post-exercise hypotension: PEH）と呼ばれている（HalliwillによるPEHに関するレ

ビュー, MSSE, 2001)。これは、運動の高血圧に対する急性効果であり、運動が血圧を下げるという端的な証拠であるといえる。一般に、軽度本態性高血圧患者や中高年齢者において、長時間の有酸素運動を習慣的に繰り返し行くと、日常の血圧値は薬理的作用に頼ることなく低下する、という恩恵の効果がある

ことは広く認められている。これは、運動の高血圧に対する慢性効果と捉えることができる。つまり、運動による降圧作用は、「1回の運動で認められる急性の効果」と、「習慣的トレーニングによる慢性の効果」のふたつがあることになり、それらの関連性を検討することは興味深い。しかし、この急性効果から慢性効果（急性効果の定着）への移行機序についてはその詳細が明らかにされていないとは言えないのが現状である。

いうまでもなく、血圧は心拍出量と総末梢血管抵抗 (TVR) の積で決まるので、運動後低血圧 (PEH) の成因としては次に示すような要因が想定される。①まず、運動直後には、運動肢を中心とした末梢血管拡張により血管抵抗 (vascular resistance: VR) が低下する。その結果、②血管拡張している部位、器官および組織への血流量が増加して、静脈サイドへの血液貯留 (venous pooling: VP) を引き起こしている。また、③運動後では筋ポンプ作用 (muscle pump: MP) が消失するので、VP を助長する。④この VP 増大は、運動による血漿量 (plasma volume: PV) 減少と相まって、中心静脈圧を減じ、結果として心臓への前負荷を下げ、心臓充満圧を減じる。⑤この心臓の前負荷の低下にもかかわらず、一回拍出量は、心臓の後負荷の低下や、おそらく増強された心収縮力で、維持され、心拍出量 (cardiac output: CO) の低下を軽減しているのではないかと考えられる。⑥このような「末梢の血管」と「心臓」の変化の差し引きの結果として、CO は上昇したままである。従って、PEH は、CO を増大している状況下において、動脈および心肺圧反射を介してもうまく補償できない VR の著しい低下という、CO と VR のアンバランスの結果として、PEH を引き起こしているのではないかと考えられる。運動後の血管抵抗の低下は、良く知られている事実である (Kenny ら, Hypertension, 1993)。しかし、下肢血液貯留の程度の役割については、詳細は不明である。動脈側の血管拡張については良く知られているが、静脈側の血管機能については明らかにされていない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、慢性効果の要因となるターゲットを絞る目的で、「1回の運動で認められる、運動肢の血液貯留と血漿量低下の関与」に着目し、下腿の静脈伸展性 (コンプライアンス: VC) を検討し PEH への関与を探った。加えて、PEH に及ぼす運動後の水分摂取の効果を検討した。

(実験 1) 有酸素性運動前後の下腿静脈コンプライアンス (VC) の検討。

(実験 2) PEH に及ぼす運動後の水分摂取の効果。

(実験 3) 10 日連続の有酸素性トレーニングが運動後の血圧に及ぼす影響。

実験 1 及び 2 の結果、すなわち運動直後の血圧低下 (運動後低血圧: PEH) には運動に伴う下肢血液貯留や血漿量低下が直接的には関与していないこと、PEH の成因には、TVR の低下に関与する要因 (血管拡張に関与する要因) が主役をなしていることを踏まえて、PEH の効果の持続と定着に関する実験を開始し、血管拡張に関与する要因 (自律神経系の緊張度) について、血圧の低下との関連性を見ていくこととした。

(実験 4) 有酸素性トレーニング期間における PEH の急性効果の定着についての検討。

6 週間の有酸素性運動トレーニング期間中の、PEH を連続的に観察するとともに、亜急性期である、夜間の血圧を測定した。また、夜間睡眠中の血管抵抗の低下に関与すると考えられる、自律神経緊張度も併せて検討した。

3. 研究の方法

(1) 有酸素性運動前後の下腿静脈コンプライアンス (VC) の検討 (実験 1):

運動肢の静脈血管網の血液貯留に着目し、その大きさを規定する VC を安静時と運動後と比較した。被験者は健康な男女 8 名であった。各被験者は 50%VO₂max の負荷で自転車エルゴメーター運動を 60 分間行った。運動前後には、下腿静脈全体のコンプライアンス (VCp) と膝窩静脈のコンプライアンス (VCu) を算出した。

(2) PEH に及ぼす運動後の水分摂取の効果 (実験 2):

成人男性 7 名は、脚自転車エルゴメーター運動 (60% 予備心拍強度で 1 時間) を行った。水分摂取のないコントロール条件と、水分摂取条件として、コントロール条件における体重減少に相当する水分を運動中に摂取させた。

(3) 10 日連続の有酸素性トレーニングが運動後の血圧に及ぼす影響 (実験 3):

7 名の被験者は、脚自転車運動 (40%peakVO₂, 60min, 60rpm) を 1 日 1 回、10 日間連続して行った。10 日間のトレーニング期間中、運動前後に仰臥位安静にて、60 分間 (10 分間隔)、血圧を測定した。

(4) 有酸素性トレーニング期間における PEH の急性効果の定着についての検討 (実験 4):

有酸素性トレーニング期間における PEH の急性効果の定着について検討した。その際、運動後の血管抵抗の低下に関与すると考えられる、自律神経緊張度も併せて検討した。健康な男性 9 名が本実験に参加した。各被験

者は、1週目・8週目を運動なし条件とする8週間のトレーニング実験(3回/週)を行った。トレーニング運動は、50%HRRの強度、60分間の一定負荷自転車エルゴメーター運動とした。1週目・8週目は、運動なし条件で安静60分間の血圧・心拍数を測定した(安静測定)。2週目・4週目・7週目にはPEHを確認するために、運動後に60分間の安静測定を行った。また8週間を通して、睡眠中の血圧を、ホルタ心電・血圧計で記録した(夜測定)。また、同時に心拍数をRR間隔で測定し、周波数解析により自律神経系緊張度の評価をした。

4. 研究成果

本研究では、運動後低血圧(PEH)への運動肢の下肢血液貯留の関与を検討することを目的として、平成21年度は「1回の運動で認められる、運動肢の血液貯留と血漿量の関与」に着目した実験を2つ行った。

(1) 有酸素性運動前後の下腿静脈コンプライアンス(VC)の検討(実験1):

VC試行中における平均血圧(MAP)は、運動前に比べ、運動後で有意な低下が認められ、運動後低血圧(PEH)が確認された。VCpおよびVCuは、運動前の安静と、PEH中において、有意な差は認められなかった。また、VCpおよびVCuと、 Δ MAP(血圧の差)の間には、有意な相関関係は認められなかった。以上のことから、PEHには下肢血液貯留が直接的には関与していないことが示唆された。

(2) PEHに及ぼす運動後の水分摂取の効果(実験2):

コントロール条件でのMAPは、運動前と比較して有意な低下が認められた。一方、水分摂取条件では運動前に対して、運動終了約15分後には有意なMAPの増加が認められ、その後は運動前と同じ水準を維持した。PVは水分摂取のないコントロール条件、水分摂取条件ともに、運動終了直後に減少を示したが、30分目には回復した。これらの結果より、PEHには運動に伴う血漿量低下が直接的には関与していないこと、また運動中に水分摂取を行うとPEHがほぼ消失することが明らかとなった。

(3) 10日連続の有酸素性トレーニングが運動後の血圧に及ぼす影響(実験3):

トレーニング第1日目(day1)の運動前後の各被験者のMAPの平均値(\pm SD)は、運動前 81.6 ± 9.6 vs 運動後の最低値 76.7 ± 9.1 であった。同様に、day2: 76.9 ± 9.5 vs 75.34 ± 8.9 , day3: 80.6 ± 7.9 vs 78.9 ± 7.6 , day4: 80.9 ± 9.6 vs 80.5 ± 7.7 , day5: 80.9 ± 8.6 vs 80.2 ± 7.5 ,

day6: 82.7 ± 6.9 vs 80.2 ± 6.7 , day7: 80.2 ± 6.9 vs 79.5 ± 7.8 , day8: 81.9 ± 9.2 vs 79.8 ± 8.6 , day9: 80.6 ± 8.6 vs 79.0 ± 9.0 , day10: 81.1 ± 7.6 vs 79.7 ± 7.1 であった。結果として、10日間の短期有酸素性トレーニングにおいては、PEHの持続的な低下や、翌日の安静血圧の低下は認められなかった。

上記の結果を受けて、夕方に実施した脚自転車運動(40%peakVO₂, 60min, 60rpm)が、その後24時間の血圧に及ぼす影響についての実験を追加した。睡眠中の平均血圧の最低値は運動を実施した日に低くなる傾向があったが、統計的には有意ではなかった。また翌朝の血圧の値にも、有意差は認められなかった。この検討は、実験4において、継続して行われた。

(4) 有酸素性トレーニング期間におけるPEHの急性効果の定着についての検討(実験4):

トレーニング2週目・4週目・7週目における運動後の血圧は、運動前と比較して、運動後30分~60分に収縮期血圧において有意な低下がみられ、PEHが確認された。睡眠中の血圧を観察すると、1週目の睡眠時間中の全平均値と比較して、収縮期血圧においては5週目・6週目・8週目に、拡張期血圧と平均血圧においては2週目・6週目・7週目・8週目に有意な低下がみられた。トレーニング後半に血圧低下が現れていることより、急性の降圧効果(PEH)が定着するまでには、週3回の1時間程度の有酸素運動トレーニングで、5-6週間の期間が必要であると考えられる。また、運動を行わない8週目(脱トレーニング1週目)にもトレーニング前に比べて、睡眠時の収縮期・拡張期・平均血圧に有意な低下が認められたことにより、トレーニングによる血圧低下は一過性のものではなく、慢性的な降圧効果につながっている可能性が示唆された(図1)。

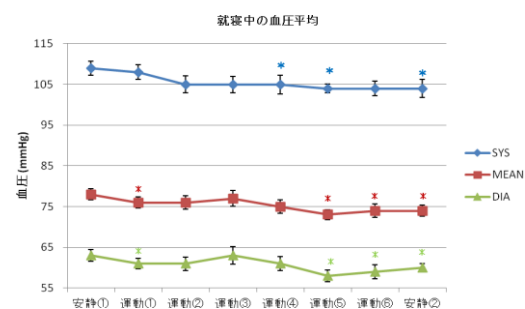


図1. 就寝中の血圧の平均値

*: 安静①(トレーニング前)と比較して有意差あり($p < 0.05$)。運動①は、トレーニング1週目、安静②はトレーニング後1週目を指す。SYS(収縮期), MEAN(平均), DIA(拡張期)。

また、これらの血圧低下と自律神経系緊張

度の関連性を検討したところ、トレーニング前と比較して睡眠時の平均血圧の平均値が有意に低下した5週目において、睡眠時の平均血圧が最も低下した時の交感神経の緊張度が、トレーニング前と比較して有意に低下した。また、同様に6週目において、平均血圧の変化量(トレーニング前との差)と副交感神経の緊張度の変化量に有意な正の相関関係が認められた。以上の結果から、有酸素トレーニングにおける睡眠中の血圧降下には、自律神経緊張度の変化が関与してい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4件)

- ① Miura A, Shiragiku C, Hirotochi Y, Kitano A, Endo MY, Barstow TJ, Morton RH, Fukuba Y. The effect of prior heavy exercise on the parameters of the power-duration curve for cycle ergometry. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 査読有, 34: 1001-1007, 2009, DOI: 10.1139/H09-103
- ② Miura A, Yamamoto N, Yamaoka M, Ueoka H, Yamada M, Kuno SY, Sato H, Fukuba Y. Effect of aerobic leg exercise training on subcutaneous adipose tissue of thigh in young Japanese women. *J Physiol Anthropol.* 査読有, 28:247-250, 2009, DOI: 10.2114/jpa2.28.247
- ③ Fukuba Y, Sato H, Sakiyama T, Yamaoka M, Yamada M, Ueoka H, Miura A, Koga S. Autonomic nervous activities assessed by heart rate variability in pre-and post-adolescent Japanese. *J Physiol Anthropol.* 査読有, 28:269-273, 2009, DOI: 10.2114/jpa2.28.269
- ④ Fukuba Y, Shinhara Y, Houman T, Endo MY, Yamada M, Miura A, Hayashi N, Sato H, Koga S, Yoshida T. VO2 response at the onset of heavy exercise is accelerated not by diathermic warming of the thigh muscles but by prior heavy exercise. *Res Sports Med.* 査読有, 20(1): 13-24, 2012, DOI: 10.1080/15438627.2012.634672

[学会発表] (計7件)

- ① Endo MY, Shimada K, Mizokami A, Yamada M, Miura A, Fukuba Y, Regional hemodynamics and calf venous compliance during post-exercise hypotension in humans., *American College of Sports Medicine*, 2009, Seattle, USA
- ② Morishita A, Yamada M, Endo MY, Miura A, Fukuba Y. Postexercise appetite and

hunger do not alter in parallel. *Experimental Biology*, April 2010, Anaheim, California, USA

- ③ Fukuba Y, Myouken S, Yamada M, Kashima H, Miura K, Miura A, Endo MY. Effects of aerobic exercise in early evening on the following nocturnal sleep. *ACSM Conference on Integrative Physiology of exercise*, September, 2010, Florida, USA
- ④ 三浦康平, 山岡雅子, 山田雅子, 森下愛, 三浦 朗, 福場良之. 夕方実施の有酸素性運動がその後の循環機能ならびに睡眠に及ぼす影響. 第65回日本体力医学会大会, 2010年9月, 千葉
- ⑤ 鍛島英明, 山田雅子, 山岡雅子, 三浦朗, 福場良之. 運動終了直後のグルコースおよびフルクトース飲料摂取が運動回復期の血圧動態に及ぼす影響. 第65回日本体力医学会大会, 2010年9月, 千葉
- ⑥ 山田雅子, 山岡雅子, 三浦 朗, 福場良之. 運動後低血圧時における頸動脈洞圧反射機能特性 1: 中心循環応答. 第64回日本体力医学会大会, 2009年9月, 新潟
- ⑦ 山岡雅子, 山田雅子, 三浦 朗, 福場良之. 運動後低血圧時における頸動脈洞圧反射機能特性 2: 末梢循環応答. 第64回日本体力医学会大会, 2009年9月, 新潟

[図書] (計2件)

- ① 福場良之, 三浦朗, 上岡はつみ. 運動能力は先天的か?, *カラダの百科事典*, 丸善, 2009, pp.369-372
- ② 福場良之, 三浦朗. *ガス交換のモデリング, 身体運動と呼吸・循環機能*, 真興交易(株) 医書出版部, 2012 (印刷中)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 朗 (MIURA AKIRA)
県立広島大学・人間文化学部・教授
研究者番号: 30190581

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

福場 良之 (FUKUBA YOSHIYUKI)
県立広島大学・人間文化学部・教授
研究者番号: 00165309

山岡 雅子 (YAMAOKA MASAKO)
県立広島大学・人間文化学部・助教
研究者番号: 30336911