

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：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500676

研究課題名(和文) 運動後低血圧現象と脳血流動態、心的状態および計算能力との関係

研究課題名(英文) The relationships between post-exercise hypotension and brain oxygenation, mood states and mental arithmetic performance

研究代表者

曽根 涼子 (Sone, Ryoko)

山口大学・教育学部・教授

研究者番号：50271078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：健康な正常血圧の若年者において、持久性運動を午前と午後のいずれの時間帯に行った場合にも、運動を行わない場合に比べて、運動後の収縮期血圧は運動後24時間の平均で見ると2～3 mmHg低下することが明らかになった。また、血圧の低下が大きいほど、疲労感が強まる傾向があった。加えて、血圧低下の大きい、持久性運動後1～2時間までの血圧応答(本研究における血圧低下は収縮期血圧10 mmHg程度まで)と脳血流、心的状態と暗算パフォーマンスの間には、明らかな関係はないことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In healthy normotensive young men, systolic blood pressure averaged over 24h after moderately endurance exercise was 2-3 mmHg lower in both morning and evening exercise conditions compared with no exercise conditions, and the greater blood pressure lowering after exercise was concomitant with greater fatigue sensation. The blood pressure until 1-2 h after the exercise usually lowers greatest appears to be not related to brain oxygenation, mood states and mental arithmetic performance.

研究分野：運動生理学

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：運動後低血圧 持久性運動 近赤外分光法 POMS 暗算

1. 研究開始当初の背景

1回の運動によって、血圧は運動前に比べて運動後に一時的に低下する場合がある。この現象は、運動後低血圧 (Post-exercise Hypotension, PEH) と呼ばれており、高血圧の改善のためのより効果的な運動療法の検討やそれ自体の発生機序の解明のために、特に近年、精力的に研究されている。

運動によって生じる血圧上昇は、通常は若年者に比べてより高齢者において、また正常血圧者と比較して高血圧者においてより大きいことが認められているが、PEH現象についても、安静時の血圧に依存して変化し、正常血圧者に比べて高血圧者でより顕著に認められている。実際のPEH現象の大きさは、高血圧者では20 mmHgを超えるような場合が比較的頻繁にあるが、正常血圧者では5 mmHg程度と小さい場合が多い。ただし我々は、正常血圧の健康な若年男性を対象として疲労困憊までの20分間程度の走運動を行わせたところ、運動後1時間の時点で、運動前と比べて平均20 mmHgにも及ぶ収縮期血圧 (SBP) の低下を認めている。PEH現象は、数十分間の中強度以上の持続的運動後に生じ、それより短い時間、あるいは低強度の運動の場合は生じないことが多いと報告されている。また、正常血圧者において、運動後20分間について調査された血圧応答は運動の実施時間帯によって異なり、午前8時の運動後よりも午後4時の運動後のほうがSBPがより大きく低下したことが示されている。したがって、運動の条件や時間帯によっては正常血圧者でも顕著なPEH現象が生じることが考えられる。

また、PEH現象の持続時間について、我々の先行報告 (曾根ら、1993) では、運動後1時間の時点でSBPの顕著な低下を認めたが、運動の2~5時間後には低下を認めなかった。一方、PEH現象が運動後十時間以上継続することを認めた報告もある。また、朝に運動を行った後に24時間にわたって自由行動下で血圧応答を調査した先行報告は、夜間睡眠中にのみ平均動脈血圧の有意な低下を認めている。血圧自体、および血圧の調節に関与した体温などの様々な生理機能パラメータに日内変動が見られる。したがって、運動による血圧低下作用は、かなり長時間にわたって継続する場合があること、および運動の時間帯の影響を受けることが考えられるが、PEH現象に関する研究は運動終了後数時間以内について調査したものが多く、より長時間にわたって夜間睡眠中も含んで調査し、検討したものは非常に少ない。

安静時に血圧が脳血流量の減少を伴って低下すると、まずは倦怠感、眠気や集中力の低下を生じる。したがって、通常、運動の実

施は爽快感や活動性を増すなど、リフレッシュ効果があることが広く知られているが、運動後に脳血流量の減少を伴うようなPEH現象を生じる場合には逆に倦怠感などを増して、ひいては各種の作業や学習に対してマイナスの影響を及ぼすことが考えられる。また、仮に、睡眠中に脳血流量の減少を伴うような顕著なPEH現象が生じるとすると、それは睡眠の質を低下することが推測される。

以上のことから、日常における仕事や学習の効率を上げ、健康の維持・増進にも役立つような運動の実践を考えた場合、PEH現象が生じやすい運動の時間帯を明らかにすることやPEH現象と脳血流動態、心的状態や仕事や学習の能力との関係を検討することは非常に有意義であると考えられる。また、日常生活に支障を来すようなPEH現象が生じにくい運動条件について検討するとともに、PEH現象を弱める方法についても検討することも重要であろう。PEH現象は主には末梢血管抵抗の低下によるとされているので、血管拡張が顕著に生じる活動筋周囲を運動の後に圧迫することによってPEH現象を弱められる可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 運動の時間帯 (朝・夕) がPEH現象に及ぼす影響について、運動後24時間にわたって血圧応答を調査し、睡眠中も含めて明らかにすることを目的とした。また、睡眠中は活動量を測定して、睡眠の質について評価し、その結果から、PEH現象と睡眠の質との関係についても検討することを目的とした。(研究1)

(2) PEH現象と心的状態 (活動性、疲労感など)、脳血流動態、集中力や計算能力との関係について検討することを目的とした。加えて、運動後における弾性ストッキングによる活動筋周囲の圧迫やガム咀嚼がPEH現象や脳血流動態に及ぼす影響についても検討することを目的とした。(研究2および3)

3. 研究の方法

(1) 研究1

被検者：定期的に運動を行っていない健康な若年男性9名とした。

手順：トレッドミルを用いて、多段階漸増負荷法による最大運動負荷テストを行い、最大酸素摂取量を測定した。次に、最大酸素摂取量の60%強度での30分間の走運動を、日を変えて午前8時 (ExAm 実験) と午後4時 (ExPm 実験) から行い、いずれの場合にも、運動後24時間について携帯型の自動血圧計および温度口ガーを用いて血圧、心拍数と直腸温を連続的に測定した。また、ExAm実験およびExPm実験のそれぞれのコントロールそ

れぞれ ConAm 実験および ConPm 実験)として、運動は行わずに、各運動実験と同じ時刻からスタートし、24 時間測定を行った。運動実験およびコントロール実験と次の実験との間には、それぞれ 1 週間および 2 日間程度空けた。また、実験の順序はランダムとした。

生活管理: 24 時間の測定を行う全実験において、起床、朝食、昼食、夕食、入浴、および就寝の時間は、それぞれ 6:30、6:30~7:00、12:15~12:45、18:15~18:45、21:15~21:45、および 23:30 とした。また、実験において行う運動時以外はできる限り安静に過ごした。9:00~17:00 の間は実験室に在室とした。実験中の食事は、日本人の食事摂取基準に従い、1 日あたりの摂取エネルギー量が 2,250 kcal、それに占める炭水化物、脂質、およびタンパク質の割合がそれぞれ 60、25、および 15%になるようにした、同じメニューのものを全実験条件の場合に提供した。水分摂取は、ナチュラルウォーターを提供し、各時点での測定開始前 5 分間を除き、自由に行ってもらった。

測定および解析

血圧、心拍数および直腸温: 携帯型自動血圧計を用いて、1 時間ごとに 24 時間を通して血圧を非利き腕で自動的に測定した。同時に心拍数(実際には脈拍数)も測定した。覚醒下では、各測定時に、椅座位と仰臥位のそれぞれで 5 分間の安静後に測定した。血圧や心拍数が前値と比べて 20 以上異なった場合には、再測定を 3 回行った。再測定の結果については、基本的には平均して測定値とした。日中は、日常では椅座位の姿勢をとることが多いが、PEH 現象は姿勢の影響を受けるため、睡眠時の血圧応答との比較のために、仰臥位でも測定した。直腸温については温度ロガーを用いて 1 分毎に測定した。

眠気および心的状態の調査: 覚醒下における血圧の測定のたびに、眠気を 1(眠くない)~5(眠った)で評価した。また、心的状態の変化を調べるため、心的状態描写テスト(Profile of Mood States, POMS テスト)を 2~3 分間で行った。結果は、緊張、活動性、疲労、怒り、抑鬱、および情緒混乱の因子別に集計した。

睡眠時の活動量: 睡眠時には、寝返りなどによる活動量を測定するために、加速度センサーを内蔵した体動計を利き手の手首に装着した。活動量は、23:50~6:10 の間の単位時間あたりの平均値を算出した。

(2) 研究 2

被検者: 定期的に運動を行っていない健康な若年男性 6 名とした。

手順: 自転車エルゴメータを用いて、多段階漸増負荷法による最大運動負荷テストを

行い、最高酸素摂取量を測定した。次に、運動後タイツ非着用(ExN)条件、運動後弾性タイツ着用(ExCG)条件、運動後非弾性タイツ着用(ExT)条件、および安静後タイツ非着用(ReN)条件の 4 つの条件の実験を実験間に 3 日間~1 週間空けて、ランダムに実施した。実験の時間帯は、同一被検者内では全条件について同じになるようにし、被検者 2 名については午前、残り 4 名については午後を実施した。運動は、最高酸素摂取量の 70%強度での計 30 分間の自転車運動を行った。その間、ReN 条件では安静を保った。運動終了後には、ExCG 条件では弾性タイツ、および ExT 条件では一般的な非弾性タイツを速やかに着用した。測定は運動の前(pre)、運動後約 40 分(post1)および約 80 分(post2)に仰臥位で行った。各測定時には、血圧、心拍数、一回拍出量および前頭前野の血流動態[近赤外分光法(NIRS)による]を安静および暗算テスト(各 10 分間)時に連続的に測定した。暗算テストは 4 桁から 2 桁の減算行い(14 秒/問)、回答は口頭で行った。また、各時点に眠気と心的状態の調査も行った。

測定および解析:

血圧: 自動血圧計(オシロメトリック法)を用いて 1 分毎に測定した。

心拍数: 心電図を連続的に測定し、実験終了後に心拍数を 1 拍毎に自動計測した。

一回拍出量: 頸部と胸部にアルミ箔電極を巻き付けてインピーダンス法によって測定した。

NIRS パラメータ: 前頭前野に対応する、国際脳波学会による 10-20 法の電極位置、F_{p1} と F3 の中間点に測定プローブを取り付けて、NIRS によって、前頭前野の酸素化ヘモグロビン(O₂Hb)、脱酸素化ヘモグロビン(HHb)および総ヘモグロビン(cHb)の濃度変化を連続的に測定した(浜松ホトニクス社、赤外線酸素モニタ装置 NIRO-120)。例えば、O₂Hb、HHb と cHb のそれぞれが上昇、一定および上昇の場合は脳血流量は上昇、およびそれぞれが減少、上昇および減少の場合は脳血流量は減少したことを意味するので、それらの 1 分毎の値を求めて、血圧などとの関係について検討した。

眠気および心的状態の調査: 実験 1 と同様の方法で、暗算テスト後に行った。

暗算テスト: テストの正答率と出題から回答までの時間(回答時間)を求めた。

(3) 研究 3

被検者: 定期的に運動を行っていない健康な若年男性 6 名とした。

手順: 自転車エルゴメータを用いて、最大下運動負荷テスト(3 強度、5 分間/強度)を行った後、安静および運動実験を実験間に 3

～7 日間空けて、同一被検者内では午後の同一時間帯に行った。両実験では、まず、プレ (pre) 測定を行った後、運動実験では 60% 心拍予備強度の運動を 40 分間行い、安静実験ではその間、椅座位安静を保った。その後は 30、60 および 90 分後の各時点に測定した。各時点には、安静および暗算テスト (各 10 分間) 中の循環および NIRS パラメータの測定を行い、その後、集中力・眠気の測定と心的状態の検査を行った。測定は半仰臥位で行った。また、90 分後の測定では、安静時の 5 分目以降暗算テスト終了まで、ガム (市販のもの) を咀嚼した。

暗算テスト：まず、パソコンのディスプレイに表示された 4 桁の数を記憶し、次にキーボードの Enter キーを自分で押し、その後にディスプレイに表示される 2 桁の数を前に記憶した 4 桁の数から引いた答えを口頭で回答し、回答を言い終わった時点で再度、Enter キーを押して次の問題に進むという方法で行った。

測定および解析：基本的には平成 24 年度と同様であったが、眠気と集中力は Visual Analogue Scale によって測定した。暗算パフォーマンスは、総回答数、正答数、正答数の変化率などを測定した。

4. 研究成果

(1) 研究 1

仰臥位における血圧の 24 時間の平均値は、SBP について、運動を行わなかったコントロール条件に比べて ExAm と ExPm の両運動条件の方が 2～3 mmHg 低かった ($p < 0.05$)。一方、拡張期血圧 (DBP) については条件間に明らかな差はなかった。夜間睡眠中の血圧は、コントロール条件に比べて、ExAm 条件では低い傾向、および ExPm 条件では逆に高い傾向を示した。ExPm 条件の SBP は、運動の翌日に、再度、Cont 条件に比べて低値を示した ($p < 0.05$)。運動後の覚醒下における SBP の低下は、仰臥位に比べて座位の方が小さかった。

運動による疲労感の増大は、ExPm 条件よりも ExAm 条件の方が長時間持続した。また、特には座位における血圧の低下が大きいほど疲労感の増加も大きいという関係があった。

直腸温の応答には、3 条件間で差が見られなかった。

睡眠の質との関係で測定された夜間睡眠中の活動量の応答には、血圧応答との間に明らかな関係はなかった。

以上のことから、午前 8 時と午後 4 時のいずれの時間に運動を行った場合にも、運動後の覚醒下の SBP は長時間にわたって低下すること、および夜間睡眠中の血圧応答は運動の

時間帯によって異なることが示された。また、運動後の血圧応答と疲労感の間に関係があることが明らかになった。加えて、夜間睡眠中の血圧応答と睡眠の質との間に明らかな関係はないことが示された。

(2) 研究 2

運動後の SBP は、pre からの変化量でみると、post1・2 の両時点で $ReN > ExCG > ExT > ExN$ であり、実験条件によって異なる傾向があった ($p = 0.121$)。

全条件において、前頭前野の O_2Hb 、HHb および cHb 濃度は、いずれも運動後に増加し、暗算時には O_2Hb と cHb は増加、HHb は減少した。暗算に対する O_2Hb と cHb の応答は、実験条件間に有意な差はなく、全実験条件で運動後に弱まる傾向があった。

POMS テストの結果、および暗算の回答時間および正答率には、実験条件間に有意な差はなかった。

以上のことから、持久性運動後の血圧の低下傾向と前頭前野の血流量の応答に関係はないことが示唆された。また、運動後の血圧の応答と暗算パフォーマンスおよび心的状態の変化との間にも関係は認められなかった。ただし、これらの所見は運動後の低血圧化が顕著ではない状況下で得られた。運動後のタイツ着用の影響については、血圧を上昇する傾向があることが示された。

(3) 研究 3

post を通して、SBP は安静条件 > 運動条件であった ($p < 0.05$ 、90 分後の差 10.7 mmHg)。DBP には条件間に有意差はなかった。

心拍出量、総末梢血管抵抗、前頭前野の O_2Hb 、HHb および cHb 濃度と心的状態には、いずれにも条件間に有意な差はなかった。

暗算パフォーマンスは運動条件の総回答数のみ、明らかに変化し、pre に比べて 30 分後に増加した ($p < 0.05$)。

90 分後のガム咀嚼によって、血圧 (+3～4 mmHg)、CO と O_2Hb および cHb 濃度は上昇した ($p < 0.05$)。心的状態および暗算パフォーマンスは有意に変化しなかった。いずれの応答にも条件間に有意差はなかった。

以上のことから、持久性運動後には安静を保った場合よりも SBP は明らかに低下するが、そのような血圧低下と前頭前野の血流量の応答との間に明らかな関係はないことが示唆された。また、運動後の血圧応答と心的状態および暗算パフォーマンスとの間にも明らかな関係はないが、運動直後には暗算パフォーマンスは改善されることが示唆された。加えて、運動後の低血圧状態におけるガム咀嚼によって血圧は明らかに上昇することが示された。

5. 主な発表論文など
(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 1 件)

梶村曜平、曾根涼子、山崎文夫 (2013): 暑熱下での長時間運動がその後24時間の深部体温と皮膚温の変動に及ぼす影響、山口県体育学研究、56、1-10。(査読有り)

[学会発表](計 6 件)

曾根涼子、松本悠佳、宗吉泰宏、永川静香、山崎文夫、丹信介 (2013): 運動後における血圧応答と前頭前野の酸素化動態、心的状態および計算能力との関係、第 68 回日本体力医学大会、2013.9.21、日本教育会館(東京都千代田区)

Ryoko Sone, Fumio Yamazaki, Nobusuke Tan (2013): Effects of time of day on 24-h post-exercise blood pressure and mood in normotensive humans. Experimental biology 2013, 2013.4.22, Boston (アメリカ)

曾根涼子、尾崎真奈美、山口裕大、藤森正徒、山崎文夫、丹信介 (2012): 運動を行った時間帯が運動後 24 時間の血圧応答に及ぼす影響、第 67 回日本体力医学大会、2012.9.16、長良川国際会議場(岐阜市)

曾根涼子、山口裕大、丹信介 (2012): 午前と午後の運動後における夜間睡眠中の血圧および心拍変動性の応答に関する研究、第 20 回日本運動生理学会大会、2012.7.28、筑波大学大会会館(つくば市)

尾崎真奈美、藤森正徒、山口裕大、曾根涼子 (2011): 運動の時間帯が運動後の血圧および気分の変化に及ぼす影響、山口県体育学会第 56 回大会、2011.12.3、山口大学共通教育 SCS 教室(山口市)

山口裕大、藤森正徒、塩田正俊、丹信介、曾根涼子 (2011): 午前および午後の運動後その後の血圧応答に及ぼす影響、第 66 回日本体力医学大会、2011.9.17、下関市生涯学習プラザ(下関市)

[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:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページなど

6. 研究組織

(1) 研究代表者

曾根涼子 (SONE RYOKO)
山口大学・教育学部・教授
研究者番号: 50271078

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

丹信介 (TAN NOBUSUKE)
山口大学・教育学部・教授
研究者番号: 00179920

山崎文夫 (YAMAZAKI FUMIO)
産業医科大学・産業保健学部・准教授
研究者番号: 80269050