

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K08785

研究課題名(和文) 高温高湿下での頭部血液量増加に対する循環調節機能の日内変動特性に関する実験的研究

研究課題名(英文) Diurnal variation of changes in regulatory system of circulation during head down tilt under humid heat exposure

研究代表者

青木 健 (AOKI, KEN)

山口大学・教育学部・准教授

研究者番号：60332938

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では入浴時における肩レベルまでの浸水状態の模擬として仰臥位水平安静からのヘッドダウンティルト(頭を脚よりも下に傾ける)を行うことにより頭部における血液量を増加させた際の循環応答について検討した。夕方においては、高温環境のみおよび高温高湿環境下においてヘッドダウンから水平位に戻した際に、平均血圧に上昇が認められた。このことは、夕方は下肢への急速な血液移動に対する反応として皮膚血管の収縮性を高めることで中心血液量の維持を図ったことが示唆される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the diurnal variation of changes in regulatory system of circulation to head down tilt under humid heat exposure. In the evening, the response of increasing blood pressure was effective during supine position after head down tilt under humid heat exposure. It was indicated that higher activities of cutaneous vasoconstriction in the evening assisted to maintain of the central blood volume after postural change.

研究分野：衛生学

キーワード：暑熱環境 循環調節 体温調節 概日リズム 入浴

1. 研究開始当初の背景

(1) 高温動物であるヒトは、高温・高湿環境のような生体にとって過酷な状況下においても、深部体温（脳温）を一定の範囲内に維持するため、発汗や皮膚血管拡張などの優れた体温調節機能を有している。しかしながら、多量の発汗は脱水を、過度の皮膚血管拡張は心臓や脳への循環血液量の低下につながり、全身の循環調節には大きな負担ともなる。特に体温の上昇時には起立耐性が顕著に悪化する（倒れやすくなる）。その原因として、特に心臓血管系への神経性調節機能の低下や皮膚血管への血流配分の増加に関係した脳血流量の減少が考えられる。

(2) 実際の生活場面においては、家庭内の不慮の事故の内、浴室での溺水・溺死事故数は毎年 4~5 千件に上り、その主な原因として入浴中の意識障害や失神が考えられる。なかでも、これら入浴事故の発生時間帯として、深夜から早朝により多くの事例報告がされている（引用文献①）。

(3) ヒトにおける多くの生体機能の中でも、深部体温は 1 日 24 時間を 1 周期として変動する明確な概日リズムを有している。この深部体温の概日リズムに伴い、体温調節機能についても日内変動を示す。なかでも、末梢循環として暑熱刺激時の皮膚血管拡張や寒冷刺激時の皮膚血管収縮反応には皮膚血管を支配する神経の活動性の変動による明確な日内変動特性が認められる。

(4) そこで、起立耐性の維持に関係するところの“血圧の変化に対して脳血流を一定に保つ働きをする「脳循環自動調節能」”や、心臓血管系の神経性調節機能も概日リズムに関係して日内で変動する。そして、その変動が朝の時間帯に多く報告されている入浴中の意識障害や失神による事故に関係しているとの仮説のもと、入浴時にみられる特徴的な動作による生体反応として、●数分間の起立状態（シャワー時）や、●一過性の血圧低下（急な出浴動作時）、●血圧上昇（サーマルショック）等を模擬した際の循環応答について、一連の実験的研究を系統的に実施してきた。

①まず、深部体温の上昇がみられる暑熱環境下での下半身陰圧負荷による持続的な下肢への血液貯留（●数分間の起立状態を模擬）に対して、朝は夕方に比べて起立耐性が顕著に悪くなる（引用文献②）。その原因として、特に起立耐性が悪化する群においては、下半身陰圧負荷に対する皮膚血管の収縮力が著しく減弱していること（引用文献②）や、全被験者において暑熱刺激による体温上昇時には、動脈圧受容器心臓反射機能が顕著に低下し、特に朝は夕方に比べてその低下の程度が大きくなる（引用文献③）ことがあげられる。一方、脳循環調節機能については夕方のみ、代償的にその調節能が良化されることが示される（引用文献③）。

②次に、実際、一過性に血圧が低下する状態（●急な出浴動作時を模擬）を人工的に生じさせたところ、夕方は朝に比べて一過性の血圧低下により減少した脳血流を回復させる反応がより強いことが確認された（引用文献④）。この結果は、高温下での夕方における代償的な脳循環自動調節能の良化と同様の反応と解釈できる。一方、一過性の血圧低下分に対する心拍数の上昇度については、朝の方が夕方に比べて、暑熱刺激によるその低下率が大きくなる（引用文献⑤）。

③これらの高温環境下での実験に対して、軽度の寒冷環境を模擬した軽度身体冷却を用いた実験では、冷却刺激により安静状態での動脈圧受容器心臓反射機能は良化するのに対し（引用文献⑥）、冷却刺激中に一過性の血圧低下を人工的に生じさせたところ、一過性の血圧低下分に対する心拍数の上昇度については、夕方のみ身体冷却により良化を示す（引用文献⑦）。

④対して、一過性に血圧が上昇する状態（●サーマルショックを模擬）を人工的に生じさせたところ、常温環境ならびに高温環境下での血圧上昇に対する心拍応答には、朝においても目立った悪化は認められない（引用文献⑧）が、反対に冷却刺激時において一過性に血圧が上昇する状態を生じさせた場合には、血圧上昇に対する心拍応答は、朝は夕方に比べて劣る。

2. 研究の目的

入浴時にみられる特徴的な動作による生体反応について、各動作を模擬した実験的研究により各循環調節の日内変動特性について明らかにしてきた一方、実際の浴槽内での浸水時を模擬した際の各循環調節反応については明らかでないことが多い。浴槽内での一定時間の肩レベルまでの浸水時には、水圧により頭部での血液鬱滞やそれに伴う心臓への還流量の低下が予想される。このような一定時間の肩レベルまでの浸水状態を模擬として仰臥位水平安静からのヘッドダウンティルト（頭を脚よりも下に傾ける）を用いることで可能となる。また、実際の入浴状況を鑑みると頭部における付加的な高湿環境が各調節機能の日内変動特性に及ぼす影響についても明らかにする必要がある。そこで、本研究では、ヘッドダウンティルトにより持続的な頭部の血液増加と頭部における付加的な高湿環境の有無による循環調節への影響について、その日内変動特性に着目し検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験条件

各実験について実施に先立ち、大学・学部倫理に関する委員会による承認を得た。また実験に際し、口頭と文書での研究内容説明後、本実験への自由意志による参加の同意が

得られた若年成人男性を被験者とした。実験は時間帯の異なる朝（午前9時から）と夕方（午後16時から）の各2回ずつ、日を変えて実施した。

(2)各実験のプロトコル

①実験1)：実験中、被験者は温水還流服（皮膚に接したチューブ内に温水を還流させる服：図1）を着用した状態で、ティルトベッド上にて仰臥位姿勢を保持した(図2)。



図1：温水還流服の写真



図2：ティルトベッドの写真（水平位）

実験は、まず常温環境下（全身平均皮膚温 35℃）での5分間の安静区間（常温安静）に続き、ヘッドダウンティルト（-15°：頭を水平0℃よりも下げる）(図3)を20分間実施後、水平位に戻した回復区間5分となる。



図3：ティルトベッドの写真（-15°のヘッドダウンティルト時）

その後、約40~50分間の全身加温による暑熱刺激を施し、それによる高温環境下（全身皮膚温38℃）において、5分間の安静区間（高温安静）に続き、再びヘッドダウンティルト（-15°）を20分間実施後の後、回復区間を5分間設けた。

実験中、舌下温、局所皮膚温、心電図波形、血圧パラメータならびに呼吸パラメータ等を非観血的に測定した。

②実験2)：実験1と同様に、実験中被験者は、温水還流服(図1)を着用した状態で、ティルトベッド上にて水平での仰臥位安静を保持した。実験では、常温環境下（全身平均皮膚温35℃）での5分間の安静区間（常温安静）に続き、ヘッドダウンティルト（-15°：頭を水平0℃よりも下げる）を20分間実施後、水平位に戻した回復区間5分となる。その後、約40~50分間の全身加温による暑熱刺激を施すとともに、実験室内の湿度を上げることにより、皮膚面が露出している頭部における付加的に高温環境を設定した。それによる高温高湿環境下（全身皮膚温38℃）において、5分間の安静区間（高温安静）に続き、再びヘッドダウンティルト（-15°）を20分間実施後の後、回復区間を5分間設けた。

実験中、舌下温、局所皮膚温、心電図波形、血圧パラメータならびに呼吸パラメータ等を非観血的に測定した。また各区間（安静、ヘッドダウンティルト、回復安静）の終了時に主観的な疲労度を測定した。

4. 研究成果

主な結果とまとめを以下に示す。

(1)朝と夕方における高温環境下での循環応答

朝および夕方ともに同一の暑熱刺激を加えることで、舌下温や心拍数は常温環境下に比べて有意に高い値を示した。この動きはヘッドダウンティルト中も変わることなく認められた。なお、舌下温の上昇度は、朝のほうが夕方に比べて大きくなった(図4、5)。また、高温環境下においては、朝および夕方ともにヘッドダウン終了後、水平位への回復により心拍数のさらなる増加が認められたが、常温環境下においては、そのような反応は、朝および夕方ともに認められなかった。

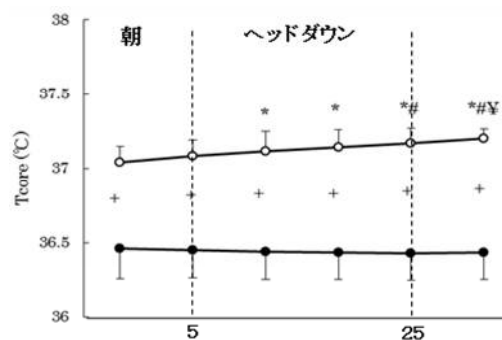


図4：朝におけるヘッドダウン中の舌下温の

変化 (●: 常温環境、○: 高温環境)

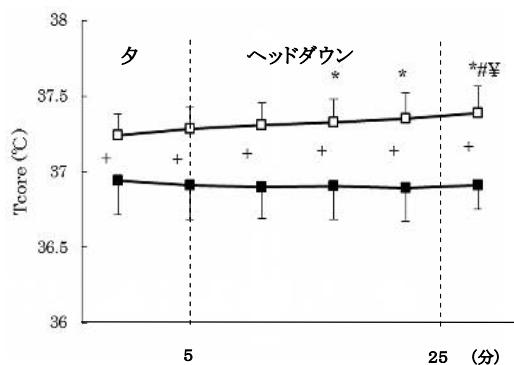


図 5: 夕方におけるヘッドダウン中の舌下温の変化 (■: 常温環境、□: 高温環境)

次に高温環境下における血圧応答としての平均血圧については、ヘッドダウンティルト中、夕方は朝に比べて低値を示した。また、夕方においてのみヘッドダウンティルトから水平位に戻すことにより平均血圧の上昇がみられた(図 6)。常温環境下においては、そのような反応は、朝および夕方ともに認められなかった。

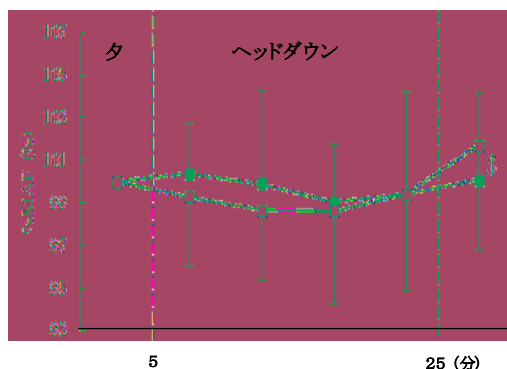


図 6: 夕方におけるヘッドダウン中の平均血圧の変化量の推移 (■: 常温環境、□: 高温環境) \$: 高温環境下で、ヘッドダウン中と回復(水平位)との間に有意差あり

(2) 朝と夕方における高温高湿環境下での循環応答

皮膚面が露出している頭部における付加的に高温環境下において、実験 1 と同様のヘッドダウンティルトを実施したところ、各循環応答については、概ね実験 1 と類似の反応が得られた。高温環境下におけるヘッドダウン終了後の水平位への回復による平均血圧の上昇は、夕方においてのみ認められた。なお、ヘッドダウン中ならびに回復安静時における主観的疲労度については、高温高湿環境下(実験 2)のほうが、高温環境下(実験 1)に比べて、朝および夕方ともに高い値を示した。

(3) まとめ

① 本研究では入浴時における肩レベルまでの浸水状態の模擬として仰臥位水平安静からのヘッドダウンティルト(頭を脚よりも

下に傾ける) 行うことにより頭部における血液量を増加させた際の循環応答について検討した。20 分間のヘッドダウンを通しての反応について常温状態では朝と夕方に特徴的な差は認められなかった。一方、高温環境下においては、朝に比べて夕方の方が、ヘッドダウンを通して平均血圧が低く保たれていた。さらに夕方においては、ヘッドダウンから水平位に戻すことで、頭部方向により集まっている血流が下肢に移動することに対して、心拍数を増加させるとともに、平均血圧にも上昇が認められた。このことは、夕方は下肢への急速な血液移動に対する反応として皮膚血管の収縮性を高めることで中心血液量の維持を図ったことが推察される。この夕方における血圧反応は、高温高湿環境下でも認められたことから、先行研究と同様に、朝に比べて夕方のほうが暑熱刺激に対する反応性が高まる日内変動特性を有していることを示唆している。

<引用文献>

- ① 萩谷 円香、真砂 涼子、青木 健、入浴における事故因子に関する文献的検討、日本看護研究学会雑誌、31 巻、2008、295
- ② AOKI Ken, OGAWA Yojiro, IWASAKI Kenichi, Blunted cutaneous vasoconstriction and increased frequency of presyncope during an orthostatic challenge under moderate heat stress in the morning. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 2014, 629-638
- ③ 青木 健、小川 洋二郎、岩崎 賢一、向井 千秋、宇宙環境が循環調節に及ぼす影響とその要因解明へのアプローチ—衛生学における実験的研究の観点から—、日本衛生学雑誌、66 巻、2011、568-572
- ④ 青木 健、小川 洋二郎、柳田 亮、曷川元、岩崎 賢一、温熱負荷中の一過性血圧低下に対する脳循環変化の日内変動特性、日本衛生学雑誌、66 巻、2011、391
- ⑤ 青木 健、小川 洋二郎、柳田 亮、曷川元、岩崎 賢一、温熱負荷中の一過性血圧低下に対する心循環応答の日内変動特性、日本衛生学雑誌、67 巻、2012、287
- ⑥ 青木 健、小川 洋二郎、柳田 亮、曷川元、岩崎 賢一、軽度寒冷に対する圧受容器反射機能の日内変動特性日本衛生学雑誌、68 巻、2013、S204
- ⑦ 青木 健、小川 洋二郎、柳田 亮、曷川元、岩崎 賢一、軽度寒冷刺激中の一過性血圧低下に対する心循環応答の日内変動特性、日本衛生学雑誌、68 巻、2013、S158
- ⑧ 青木 健、小川 洋二郎、柳田 亮、岩崎 賢一、温熱刺激中の一過性血圧上昇に対する心循環応答の日内変動特性、日本衛生学雑誌、70 巻、2015、S186

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 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 健 (AOKI, Ken)
山口大学・教育学部・准教授
研究者番号： 6 0 3 3 2 9 3 8

(2) 研究分担者

柳田 亮 (Yanagida, Ryo)
日本大学・医学部・助手
研究者番号： 0 0 6 4 4 7 4 1

小川 洋二郎 (OGAWA, Yojiro)
日本大学・医学部・准教授
研究者番号： 6 0 4 3 4 0 7 3

岩崎 賢一 (IWASAKI, Kenichi)
日本大学・医学部・教授
研究者番号： 8 0 2 8 7 6 3 0

曾根 涼子 (Sone, Ryoko)
山口大学・教育学部・教授
研究者番号： 5 0 2 7 1 0 7 8