

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29日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700659

研究課題名（和文） 暑熱環境下での一過性血圧低下時における循環調節機能低下の
日内変動特性とその予防法研究課題名（英文） Diurnal variation of changes in regulatory system of circulation
during thermal stress with transient decreases in blood pressure

研究代表者

青木 健（AOKI KEN）

日本大学・医学部・助教

研究者番号：60332938

研究成果の概要（和文）：

入浴など高温環境下では、倒れやすい状態となる。本研究では温熱負荷、全身冷却および運動負荷時の一過性血圧低下に対する循環調節機能の日内変動特性について各実験を行い、朝に予見される機能低下の予防となるか否かを検討することを目的とした。結果、温熱負荷中の一過性血圧低下に対する循環調節機能は、朝に比べて夕方の方が優れていた。さらに全身冷却や運動負荷による機能の向上にも日内変動特性が存在した。

研究成果の概要（英文）：

Hyperthermic conditions lead orthostatic intolerance. The purpose of this study is to investigate the diurnal variation of changes in regulatory system of circulation during thermal stresses with transient decreases in blood pressure and evaluate the effect of whole body skin cooling and moderate exercise to maintain orthostatic tolerance. The regulation of cerebral blood flow to transient decreases in blood pressure only improved in the evening under mild hyperthermic condition. It was shown that the diurnal variations of improvement of circulation system by skin cooling and exercise.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：運動生理学、衛生学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツ生理学、サーカディアンリズム、脳循環、体温調節、温熱環境

1. 研究開始当初の背景

(1) 動的運動、暑熱や寒冷環境のような生体にとって過酷な状況下においても、生体機能に異常をきたさないよう、体温調節機能は重要な役割を担っている。一方、それらの状況下において、突然の起立動作などにより血圧が一過性に低下する状態でも脳への血液量

を維持するうえで、脳血流の自動調節機能が、また動的運動時のように活動筋をはじめとして全身に多量の血液を循環させるうえで、心臓血管系の神経性調節機能が重要な役割を果たしている。

(2) 運動や温熱負荷に対して、これらの各機

能はそれぞれ1日の中で変動を示すことが報告されている。特にこれまでの研究代表者らの研究結果から、温熱負荷に対する深部体温上昇時には、朝（午前中）においては、持続的な下半身への血液貯留（数分間の直立不動状態を模擬）に対して、起立耐性が著しく低下し、同時に心臓血管系の神経調節機能も顕著に低下することが明らかとなっている。

(3)実際の生活場面においても、入浴中の死亡事故における死因のひとつとして意識障害や失神による溺死があげられる。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」の時間帯により多くの事例が報告されていることから、これまでに得られた研究結果との関連が示唆される。

(4)しかしながら、入浴場面であれば浴槽からの出浴動作時のように、突然の起立動作に伴って生じる一過性に血圧が低下するような状態に対して、脳循環調節系・心臓血管調節系の機能が日内変動特性を示すか否かについては、未だ明らかになっていない。さらに、特に朝（午前中）に予想される、深部体温上昇時における脳循環調節系および心臓血管調節系の機能低下への予防手段として、軽度の全身冷却や、動的運動による自律神経活動の賦活などが有用であるか否かについては、検討の余地を多分に残している。

2. 研究の目的

そこで本研究では、1)温熱負荷時において大腿カフ解除法により一過性血圧低下が引き起こされた際の脳循環調節系・心臓血管調節系の機能における日内変動特性、2)軽度の全身冷却ならびに 3)自転車運動によるウォームアップが、朝の時間帯に予見されるこれら機能低下の予防となるか否かを検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)実験条件

各実験とも本大学・学部倫理委員会による承認を得た。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：8時から）と夕方（午後：17時から）の各2回ずつ、日を変えて実施した。実験室内の環境は、室温約24℃、相対湿度約50%に調整した。

(2)各実験のプロトコル

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、大腿部には大腿カフを装着し、仰臥位姿勢を保持した（図

2）。

実験では、常温環境下（全身皮膚温35℃）から全身加温により高温環境下（全身皮膚温38℃）への温熱負荷を実施した。各温度環境下において、両大腿部に巻いたカフをその時の収縮期血圧より30～40mmHg高く加圧し、3分後に急速解除することで一過性の血圧低下を生じさせた。

実験中、舌下温、局所皮膚温、心電図、血圧、中大脳動脈血流速度ならびに呼吸パラメータを非観血的に測定した。



図1 温水還流服



図2 実験風景

実験2)：実験1と同様に、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、大腿部には大腿カフを装着し、仰臥位姿勢を保持した（図2）。

実験では、常温環境下（全身皮膚温35℃）から全身冷却による冷温環境下（全身皮膚温31℃）への冷却負荷を実施した。各温度環境下において、両大腿部に巻いたカフをその時の収縮期血圧より30～40mmHg高く加圧し、3分後に急速解除することで一過性の血圧低下を生じさせた。

測定項目は実験1と同じである。

実験3)：実験中被験者は、大腿部に大腿カフを装着し、自転車エルゴメーター上にて座位姿勢を保持した。

実験では、常温環境下において80～100ワットの中強度自転車運動を40分間負荷した。各温度環境下において、両大腿部に巻いたカフをその時の収縮期血圧より30～40mmHg高く加圧し、3分後に急速解除することで一過性の血圧低下を生じさせた。

測定項目は実験1と同じである。

(3) 脳循環調節機能の解析：

1)：一心拍ごとの中大脳動脈平均脳血流速度を周波数解析し、全脳血流変動を評価した。また血圧変動に対する脳血流速度の割合を伝達関数解析により解析した。

動的脳循環自動調節能の評価には、この解析によるGainを用いた。このGainは1mmHgあたりの血圧変動に対する脳血流速度の変動量(cm/sec)として表され、その値が大きいほど血圧の変動を受けて脳血流が大きく変動していることとなるので、自動調節は悪くなっていると解釈できる。一方、その値が小さいほど自動調節能は強く、調節が良く効いていると解釈できる(図3)。

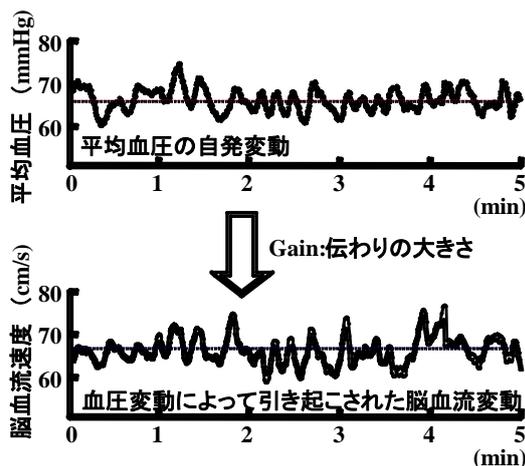
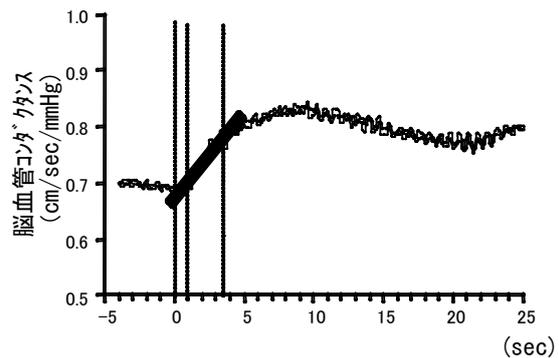


図3 平均血圧の自発変動(上段)により引きこされた脳血流変動(下段)。その「伝わりの大きさ: Gain (矢印)」を求めることで動的脳循環自動調節能を評価する。

2)：両大腿部に巻いたカフをその時の収縮期血圧より30～40mmHg高く加圧し、3分後に急速解除することで生じる一過性の血圧低下に対して、脳血流量が瞬時に増加する反応について解析した。脳血管での血液の流れやすさの指標である脳血管コンダクタンス(脳血流量/血圧)の、大腿カフ解放後1～3.5秒の区間における増加度(傾き)を算出した(図4)。さらに、この間の血圧の低下量に対する1秒あたりの脳血流の調節割合を求めた。

すなわち、カフ開放による血圧低下に対して、1秒あたりの脳血流の調節割合が大きければ、



より早く脳血流の回復がなされていると解釈できる。

図4 大腿カフ解放後の脳血管コンダクタンスの反応

(3) 心循環調節機能の解析：

1)：一心拍ごとの収縮期血圧と心電図R-R間隔などに周波数解析を施し、低周波数帯(0.04～0.15Hz)と高周波数帯(0.15～0.5Hz)のスペクトルパワーをもとめ、自律神経機能を評価した。心電図R-R間隔の高周波数帯パワーは心臓副交感神経活動をあらわす指標とされる。また、血圧変動の低周波数帯パワーは血管運動性交感神経活動をあらわす指標とされる。

各測定区間における動脈圧受容器心臓反射機能の評価には、収縮期血圧変動とR-R間隔との間に施した伝達関数解析によるGain、ならびにシーケンス検索法による回帰直線の傾きを用いた。なお、これらの値が大きいほど圧受容器反射機能は高く、反対に値が小さいほど圧受容器反射機能が低下したと解釈できる。

2)：両大腿部に巻いたカフをその時の収縮期血圧より30～40mmHg高く加圧し、3分後に急速解除することで生じる一過性の血圧低下に対して、心拍数が増加する反応について解析した(図5)。この一過性の血圧低下に対する心拍数の増加率が大きければ、一過性の血圧低下に対して心循環応答が優位であると解釈できる。

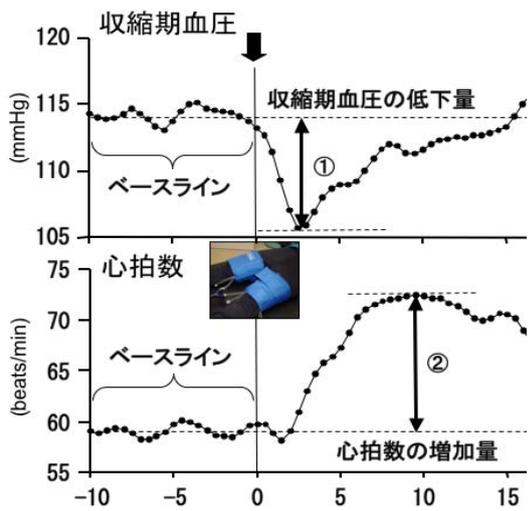


図5 大腿カフ解放後の収縮期血圧および心拍数の反応。収縮期血圧の低下量①に対する心拍数の増加量②を算出した。

4. 研究成果

(1) 温熱負荷の影響について:

温熱負荷の前後に実施した大腿カフの急速解除により生じた一過性の血圧低下に対する脳血管コンダクタンスの増加度は、温熱負荷による深部体温上昇時の夕方が、朝ならびに常温環境下での夕方に比べて有意に大きくなった (図6)。

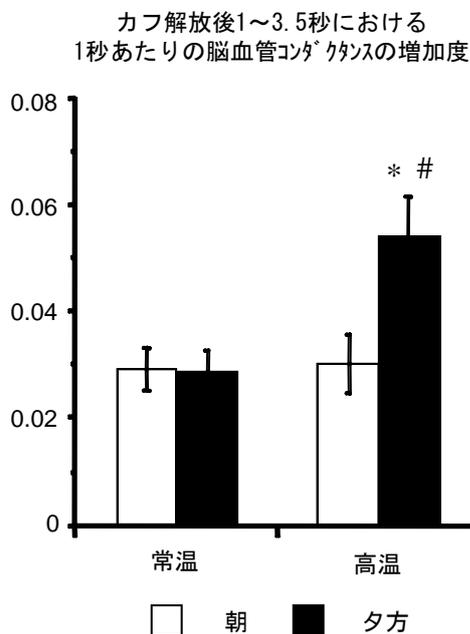


図6 #: 朝と夕方の間に有意差あり (P<0.05)、*: 常温安静との間に有意差あり (P<0.05)。

一方、この一過性血圧低下に対する心拍の増加率における温熱負荷による変化は、朝の

ほうが夕方に比べて有意に大きな低下を示した (図7)。

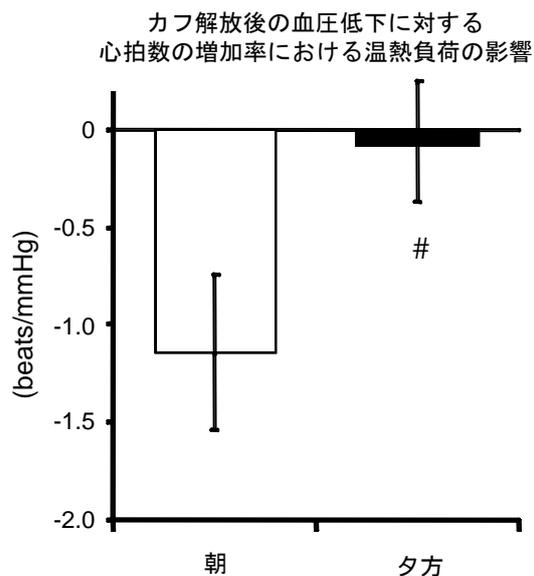


図7 #: 朝と夕方の間に有意差あり (P<0.05)。

(2) 冷却負荷の影響について:

大腿カフの急速解除により生じた一過性血圧低下に対する心拍の増加率における冷却負荷による変化は、夕方のほうが朝に比べて大きな増加を示す傾向にあった (図8)。

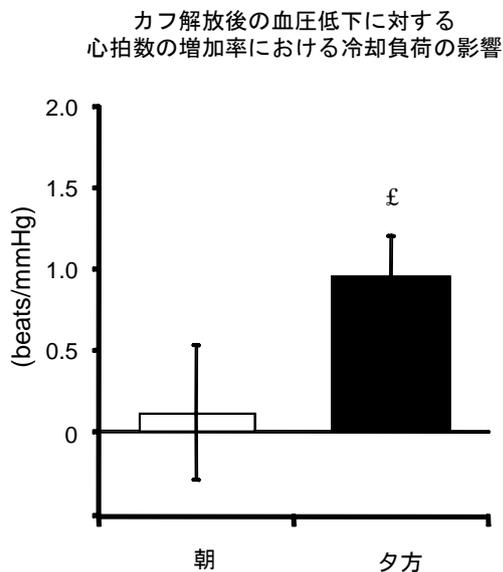


図8 £: 朝と夕方の間に傾向あり (P<0.07)。

(3) 中強度運動負荷の影響について;

動的脳循環自動調節能の指標である Gain における運動負荷による変化は、朝のほうが夕方に比べて大きな低下を示す傾向にあった (図9)。

脳循環自動調節能の指標における
中強度自転車運動の影響

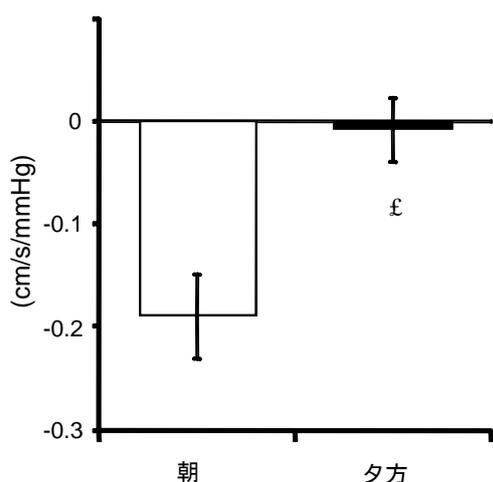


図9 £:朝と夕方の間に傾向あり (P<0.09)。

(4) まとめ：

本研究による新たな結果として、深部体温が上昇するような高温環境下において、大腿カフの急速解除により生じた一過性血圧低下に対して、夕方は朝に比べてより早く脳血流の回復がなされていることが示唆された。この結果は、これまでの研究において示した、温熱負荷時の動的脳循環自動調節能は、夕方のみ増強されるというものと一致した。

一方、一過性血圧低下に対する心拍の増加率は、温熱負荷により特に朝において顕著な低下が認められる。このことより、同じ温熱刺激においても、心循環系への負荷は朝のほうが大きくなっていると推察される。この実験で得られた結果は、先行研究において示した深部体温が上昇するような高温環境下での起立耐性は、朝において顕著に低下することにも関係している要因であると考えられる。

軽度の全身冷却により一過性血圧低下に対する心拍の増加率は、夕方において大きくなる傾向にあった。このことは、冷却により心循環系調節の機能は増強を示すが、この効果は夕方のほうが大きいことを示唆している。

中強度の運動により動的脳循環自動調節の指標は、朝が夕方に比べてより低下を示す(良化する)傾向にあった。この結果は、受動的な温熱負荷における結果とは、異なるものであり、過度の体温上昇を伴わないような軽運動(ウォームアップ)については、特に朝の時間帯に顕著となる起立耐性低下を予防する一つの手段となる可能性を示唆している。

本研究で得られた結果は、早朝を含めた午前における、体温上昇を伴うスポーツや運動

の場面に加え、入浴などの一般生活場面や高温環境下での作業時の安全確保などにつながる有用な情報(予防法)を提起するものであると思われる。

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1件)

- ① 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、日本衛生学雑誌、査読有、66巻、2011、568-572、<http://dx.doi.org/10.1265/jjh.66.568>

[学会発表] (計3件)

- ① 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、第82回日本衛生学会総会、2012年3月25日、京都大学吉田キャンパス
- ② 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、第81回日本衛生学会総会、2011年3月26日、昭和大学旗の台キャンパス
- ③ 青木 健、物理的(温熱)環境に対する生体反応からみた宇宙医学-衛生学における実験的研究の観点から-、第80回日本衛生学会学術総会：宇宙医学連携研究会、2010年5月9日、仙台国際センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 健 (AOKI KEN)
日本大学・医学部・助教
研究者番号：60332938