

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：32206

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870831

研究課題名(和文) 暑熱環境における効率的な脳冷却、体温調節方法の検討

研究課題名(英文) Brain protection against heat

研究代表者

松田 真由美 (Matsuda, Mayumi)

国際医療福祉大学・成田看護学部・講師

研究者番号：40634572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：温度条件によって生じる快・不快感を「温熱的快適感」という。温熱的快適感には部位差がある。例えば暑熱環境では顔や頸部の冷却で強い快適感が生じるが、腹部の冷却で生じる快適感は小さい。この温熱的快適感の特徴は、暑い時に頭頸部を冷やす行動と結びつき、脳温を低く保つ為に役立っているのではないかと考えた。実験でヒトの脳温を直接測定することは難しいが、鼓膜温は脳表面の温度を反映すると報告されている。本研究では鼓膜温を脳温の指標とし、正常体温、高体温時に頭頸部冷却を行い、脳温(鼓膜温)へ及ぼす影響について検証した。

研究成果の概要(英文)：Regional differences in thermal pleasantness over the body surface are present in humans. During mild heat exposure, local cooling is most pleasant when applied to the face. Conversely, during mild cold exposure, local warming of the trunk area produced a strong pleasant sensation. These preferences would induce humans to cool their heads in the heat and maintain the warmth of the trunk area in the cold. The preference for a low facial temperature in the heat may help avoid heat-induced damage to the brain. Brain temperature cannot be measured easily in healthy humans. Some studies have reported that tympanic temperature is not affected by skin temperature and reflect body core temperature. The purpose of this study is to demonstrate validity of tympanic temperature as an index of body core temperature under normothermic condition, and to evaluate the effect of the head or neck cooling on brain temperature (tympanic temperature) under hyperthermic condition.

研究分野：環境生理学

キーワード：選択的脳冷却 行動性体温調節 自律性体温調節 温熱的快適感

### 1. 研究開始当初の背景

温度条件によって生じる快・不快感を「温熱的快適感」という。研究代表者は身体どの部位を加温・冷却することが暑さ・寒さによる不快感の軽減に効果的かを検討する為、体表面 10 部位の局所的な加温・冷却実験を行ってきた。温熱的快適感には、部位差があり、例えば暑熱環境では顔や頸部の冷却で強い快適感が生じるが、腹部の冷却で生じる快適感是非常に小さい(Nakamura et al.,2008, 2012)。しかしこの温熱的快適感の部位差に関する、生理的意義を明らかにするには至っていない。暑熱環境において顔や頸部の冷却により強い快適感が生じることは、暑い時に顔を冷やす行動と関係し、脳を熱による障害から守るために役立つという生理的意義がある可能性も考えられる。

高体温時、脳温を低く維持する機構がネコ科動物や羊など偶蹄類に存在する(選択的脳冷却機構)(Jessen, 2001)。脳は 41 以上になるとタンパク質の変性により損傷を受けるリスクが高まるが、ネコ科動物などでは体幹部の深部体温が 41 以上になっても、脳だけは 41 以下に保つことができる。しかしヒトで選択的脳冷却が起こるか否かは未解決の課題で 30 年来の論争となっている(White et al., 2011 ; Nybo and Secher, 2011)。

ヒトにおける選択的脳冷却の実験における問題は、直接脳温を測ることが難しいため、鼓膜温を脳温の指標とすることである。鼓膜温は外気温、皮膚温の影響を受け、正確に脳温を反映しないと指摘されている(Shiraki, 1988)。しかし、鼓膜温は皮膚温の影響を受けず、脳温の変化を反映するという報告もある(Brinnel and Cabanac, 1989; Sato et al., 1996)。

そこで、本研究では鼓膜温に対する皮膚温の影響を確認した上で実験を行うこととした。選択的脳冷却は高体温の時に起こるとされている(Cabanac, 1993)。つまり高体温時には脳温の指標である鼓膜温が低い値を示す可能性がある。その為、鼓膜温に対する皮膚温の影響の確認は、平常体温時に行う必要がある。

ヒトにおける選択的脳冷却を報告した研究では顔面送風を行っている研究が多く(Cabanac and Caputa, 1979a, 1979b)、額や頸部の冷却で選択的脳冷却が起こるとい報告はない。しかし、額は冷たさに最も敏感な部位の一つであり、高体温時に冷却すると、発汗の抑制が強く起こることが報告されている(Crawshaw et al., 1975)。また暑熱環境において、頸部の冷却がスポーツパフォーマンスを向上させる(Tyler and Sunderland, 2011; Tyler et al., 2010)。額や頸部冷却による上記の現象も選択的脳冷却によるものかもしれない。

選択的脳冷却は脳を熱による障害から守る為の機構と考えられるが、ヒトでも選択的脳冷却が起こるとすれば、そのデメリットも

考えられる。本来体温を下げるべき状況で、脳温だけが下がってしまうと、体から熱を放散するための発汗や皮膚血流が抑制されてしまうことが考えられる。暑熱環境での有益な冷却方法を考える上では脳温だけでなく、発汗や血流などの体温調節反応と合わせて検討する必要がある。

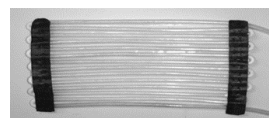
上記のような背景から本研究では、鼓膜温を脳温の指標とし、平常体温および高体温の条件において頭部または頸部冷却を行い脳温へ及ぼす影響、自律性体温調節反応に及ぼす影響について検証した。

### 2. 研究の目的

- 1) 平常体温時に鼓膜温が皮膚温の影響を受けないことを確認する。
- 2) 高体温時の頭部または頸部冷却が脳温(鼓膜温)に与える影響を検証する。
- 3) 頭部または頸部冷却が自律性体温調節反応に及ぼす影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

健康な成人男性 8 名を対象とし、同一の参加者に対して 4 回の実験を行った(扇風機で顔面送風[FAN]、額を温度刺激装置で冷却[HEAD]、頸部を温度刺激装置で冷却[NECK]、冷却無し[コントロール施行])。FANでは扇風機を 2 台使用し、被験者の左前、右前 45°の位置にそれぞれ配置した。HEAD、NECK で用いた温度刺激装置は、ビニールチューブをつなぎ合わせて作成したもので、面積はいずれも 200cm<sup>2</sup> の物を使用した(図 1)。温度刺激装置を額または頸部に装着し、非冷却時は 33 (皮膚温程度) 冷却時は 20 の水を循環して温度刺激を行った。1 回の実験につき 1 種類の冷却とし、各実験は最低 5 日の間隔をあけ別の日に行った。



(額用)



(頸部用)

図 1. 温度刺激装置

被験者は午前 9 時に室温 26℃、湿度 30% に設定した人工気象室に入室し、体重を測定した後安静座位を保った。測定用センサーおよび水循環服(スーツの内側にチューブが貼り巡らされており設定した温度の水を還流できるようにになっている)と雨具を装着した後、水循環服の水温を 32℃とした平温の条件で安静座位 10 分後、頭部または頸部の冷却を 15 分を行い、冷却を止めて 15 分間安静のまま測定を続けた。その後リコンビナントエルゴメーターを用い最大心拍数 60%の強度で

食道温が平常体温時より 1 上昇するまで (約 20 分間) 運動を行なった。食道温が 1 上昇した後、体温の低下を防ぐため水循環服に環流する水の温度を 45 とした状態で平常時と同様に頭部または頸部の冷却を 15 分間行なった。冷却を止め 15 分間測定を続けた後実験を終了した。

鼓膜温の測定には熱電対を脱脂綿で覆ったものを使用し、被験者自身がスクラッチングノイズが聞こえ、軽い痛みを感じるころまで挿入した。鼓膜温が食道温と同等の値を示していることを確認した上で耳介に固定して測定した。また外気温の影響を防ぐために防音用のイヤーマフを装着した。食道温は熱電対を医療用チューブで覆ったものを使用し、身長 1/4 の長さを鼻腔から挿入し測定した。皮膚温の測定には熱電対を使用し、全身の 12 カ所 (上腕、手背、手指、大腿、下腿、足背、腹部、胸部、背部、額、前頸部、後頸部) で測定した。全身平均皮膚温は各部位の面積の比率で重みづけをする Hardy-Dubois の式を用いて算出した (Hardy and Du Bois, 1938)。鼓膜温と食道温、皮膚温はデータロガー (Agilent34970A, Agilent Technologies Inc, CA, USA) を用いて 10 秒毎に測定した。発汗量は前腕において発汗計 (POS-02、スキノフ技研、愛知) を用いて測定した。皮膚血流量は額、胸部、前腕の 3 点においてレーザー Doppler 法で測定した (ALF21、アドバンス、東京)。発汗量と皮膚血流量のデータは 1 秒毎にデータ収集した。心拍数は心電計 (ベットサイドモニタ BSM-2400, 日本光電、東京) を用いて 5 分毎に測定した。血圧は上腕にカフを装着し、5 分毎に測定した (STBP-780, コーリンメディカルテクノロジー、愛知)。平均動脈血圧 (MAP) は以下の式で計算した。拡張期血圧 + ((収縮期血圧 - 拡張期血圧) / 3)。また血管の固さの指標として皮膚血管コンダクタンス (CVC) を皮膚血流量 / MAP で算出した。感覚は温度感覚、温熱的快適感を長さ 10 cm の直線スケールを用いて VAS 法 (Visual analog scale) によって測定した。温度感覚、温熱的快適感に関しては、全身的な感覚、冷却部位の局所的な感覚の測定を行った。感覚の測定は冷却開始後の 2 分と、それ以外は 5 分毎に行なった。

#### 4. 研究成果

##### <結果>

##### 1) 鼓膜温、食道温、冷却刺激部位皮膚温の比較

平常体温時、頭部または頸部冷却開始後、冷却刺激部位皮膚温はすぐに低下した。鼓膜温は、冷却部位皮膚温と共に低下することなく食道温と同程度の値を示した。各冷却試行において、鼓膜温と食道温との間に有意差は認められなかった。

高体温時には FAN でのみ冷却終了後に鼓膜温が食道温より有意に低い値を示した。コン

トロール施行、HEAD、NECK では鼓膜温が食道温より有意に低い値を示すことはなかった。

##### 2) 鼓膜温

平常体温時、高体温時の鼓膜温は、コントロール試行と各冷却試行との間に有意な差は認められなかった。

##### 3) 食道温

平常体温時、高体温時の食道温は、コントロール試行と各冷却試行との間に有意な差は認められなかった。

##### 4) 発汗量

高体温時の発汗量は、コントロール試行と各冷却試行との間に有意な差は認められなかった。しかし、FAN では他の試行と比べて冷却時に発汗量は低下する傾向が認められた。

##### 5) 額の皮膚血流量変化率

高体温時、額の皮膚血流量変化率は、コントロール施行よりも FAN において有意に低い値を示した。

##### <考察>

本実験では、平常体温時には鼓膜温は食道温と同程度の値を示し、頭部または頸部冷却時の皮膚温低下の影響を受けず、妥当な深部体温を示すことを確認することができた。また高体温時の局所冷却により、今回用いた温度刺激装置による額や頸部の冷却では脳を冷やす効果はないが、高体温時に顔面へ送風することにより脳を冷やす効果が得られることが示唆された。頭部全体に風を送り、蒸散性熱放散を促進することにより脳冷却効果が得られる可能性がある。

本実験の高体温時コントロール施行では鼓膜温と食道温に差が無く、顔面へ送風すると鼓膜温が食道温以下に低下することから、ヒトにおいて脳温を体幹部深部温よりも低く保つには、顔を冷やすという行動性の調節が必要であると言える。頭部における温熱的快適感の特徴は顔を冷やす行為と関係し、脳を熱による障害から守るために役立つと考えられる。

高体温時に選択的脳冷却によって脳温のみが低下した場合、本来高体温になることで引き起こされる発汗、皮膚血流量の増加など自律性体温調節機能が抑制され、熱中症のリスクを高める可能性も考えられる。高体温時の顔面送風 (FAN) では、他の施行と比べて発汗量が低下する傾向にあった。また額の皮膚血流量変化率は顔面送風 (FAN) において、コントロール施行よりも低い値を示した。高体温時の顔面送風 (FAN) により自律性体温調節反応が抑制されたが、食道温、鼓膜温共に、顔面送風施行 (FAN) で、他の施行よりも高い値を示すことはなかった。つまり選択的脳冷却が起きたと考えられる高体温時顔面送風で、皮膚血流や発汗が抑制される傾向はあるが、熱中症のリスクを高める可能性は低いと考えられる。

#### < 結論 >

本研究では、平常体温時に鼓膜温が皮膚温の影響を受けないことを示した上で、鼓膜温を脳温の指標とし、ヒトにおける選択的脳冷却の有無を検証した。高体温時に顔面へ送風すると体幹部深部温より脳温（鼓膜温）を低く維持できる可能性が示唆された。また高体温時の顔面送風が自律性の体温調節反応を抑制する傾向が認められたが、顔面送風を行うことで深部体温が上昇することはなく、熱中症のリスクを高める可能性は低いと考えられる。

#### 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)

M. Matsuda-Nakamura, K. Nagashima, 2014, Protection of the brain against heat damage, The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 3 (2):217-221、(Short review, 査読有)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsm/3/2/3\\_217/article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsm/3/2/3_217/article)

[学会発表](計4件)

M. Matsuda-Nakamura, S. Wada, S. Marui, N. Sato, and K. Nagashima, 2014, The effect of the head or neck cooling on body core temperature and thermal sensation in humans, Experimental Biology, San Diego, USA.

松田(中村)真由美、和田 哲志、丸井朱里、佐藤暢夫、永島 計, 2013, 頭頸部冷却が深部体温に及ぼす影響, 第52回日本生気象学会大会, 米子.

M. Matsuda-Nakamura, S. Marui, N. Sato, L. Cheng-Hsien and K. Nagashima, 2013, The effect of head cooling on body core temperature and thermoregulation in humans, 第90回日本生理学会大会, 東京.

M. Matsuda-Nakamura, S.Wada, S. Marui, N. Sato, and K. Nagashima, 2014, The effect of the head or neck cooling on body core temperature and thermal pleasantness in humans, 第91回日本生理学会大会, 鹿児島.

#### 6 . 研究組織

##### (1)研究代表者

松田 真由美 (Matsuda, Mayumi)  
国際医療福祉大学・成田看護学部・講師  
研究者番号：40634572