

平成22年 5月17日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19370103
 研究課題名（和文） 発汗閾値および代謝閾値からみた温熱環境適応能の個体差と
 その影響要因の解明
 研究課題名（英文） Evaluation of individual variation in thermal adaptability by body
 temperature thresholds for sweating and cold-induced thermogenesis
 研究代表者
 前田 享史（MAEDA TAKAFUMI）
 北海道大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：90301407

研究成果の概要（和文）：本研究では、発汗開始および代謝上昇時の閾値体温間の幅への影響要因を明確に見いだせなかったが、発汗開始までの耐暑反応および代謝亢進までの耐寒反応には、最大酸素摂取量、日常活動量、血管機能が、深く関わっていることが明らかとなった。また、耐寒反応に関わる要因の一つである基礎代謝量に食物摂取量と日常暴露気温が関連しており、これら2要因は基礎代謝量の変化を通じて寒冷曝露時の代謝上昇までの時間に関連することが示された。

研究成果の概要（英文）：This study could not reveal the effective factors on threshold temperatures at the start for sweating and heat production. However, this study showed that maximum oxygen uptake, daily activity, and vascular function affected to physiological responses to heat stimuli before sweating and to cold stimuli before increasing of thermogenesis. Also, this study showed that basal metabolic rate, which was influenced by food intake and air temperature, affected to the starting time for increasing metabolism during cold exposure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：生理人類学、温熱生理学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：環境適応能、体温調節、温熱環境、個人差、発汗、代謝、血管機能、交差適応

1. 研究開始当初の背景

人類は熱い熱帯の地方で繁栄し、そして新たな居住地をもとめて寒冷地域に拡散していった。つまり、元来暑さに対しては適応しうる生理的能力を保持していたが、寒冷地域

へ居住地を広げるに従い、寒冷地域にも生理的に適応していったと考えられる。現在を生きる我々は、過去の人類が経験することによって獲得してきた自然環境における厳しい暑さ寒さに対する適応能力を保持している

と考えられる。

一方、現在の人類、特に日本に居住する現代人は、生活の大半をエアコンなどによって一年中同程度の気温に制御された人工環境の中で生活しており、厳しい温度環境にさらされる機会が少なくなっている。このような人工的な温和な環境が、ヒトの暑さ寒さに対する適応能力を劣化していくことが危惧されている。

暑さ寒さに対する適応能力を評価する上で重要である身体核心温の発汗開始閾値や代謝上昇閾値は、年齢や性別のほか、馴化の程度、季節、運動トレーニングによって影響を受けることが報告されているが、その他の生活要因やその他の生理機能による影響も考えられる。

暑熱時発汗開始および寒冷時代謝上昇までの生理反応である血管拡張および血管収縮には血管の機能が深く関わっていると考えられる。しかし、血管機能が暑熱および寒冷時の体温調節反応への影響について検討した研究は不十分である。

2. 研究の目的

以上のことから、代謝閾値と発汗閾値およびこの2つの閾値間の温度範囲（血管運動のみで体温調節が可能な範囲、ニュートラルゾーン、図1）には、循環系の機能、特に血管の機能（能力）が関与していると考えられる。

本研究では血管の機能およびそれを調節する自律神経機能と代謝閾値、発汗閾値、閾値間体温幅との間の関係を解明し、耐寒性および耐暑性の個体差を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

健康な若年男性を対象に、血管機能の測定、最大酸素摂取量の測定、全身寒冷暴露実験、暑熱負荷実験、基礎代謝量測定、被験者の生活調査（生活習慣、生活環境、生活時間）を実施した。各被験者に対して実験内容を書面および口頭にて説明し書面にて同意を得た。

尚、本研究の実験手順および同意を得る方法は、北海道大学工学部ヒトに関する研究倫理審査委員会において承認された。

(2) 血管機能の測定

血管機能として反応性充血による血管内皮機能の測定、および指尖容積脈波による加速度脈波の測定を行った。

①血管内皮機能の測定

椅座位安静にて左上腕に装着したカフを瞬間的に約200mmHgまで加圧して5分間保持し、加圧前後の前腕の血流量をストレンジャープレスティモグラフィを用いて15秒ごとに測定した。駆血解除直後の前腕血流量、駆

血解除後1分間の前腕血流量平均値から血管内皮機能を評価し、血管柔軟性および反応性の指標とした。

②加速度脈波による血管の硬化度の測定

加速度脈波は安静座位状態で左第2指にて測定した。これは指尖容積脈波波形を2回微分することによって得られるもので、加速度脈波の波形成分から $APGI = (-b+c+d)/a$ 、 $-b/a$ 、 d/a を算出し、血管柔軟性の指標とした。

(3) 最大酸素摂取量測定

自転車エルゴメータ上で、ペダル回転数50rpm、+20W/minのランプ負荷運動を疲労困憊に至るまで継続したときの呼気ガス分析から、体重あたりの V_{O2max} を求め、持久的運動能力の指標とした。

(4) 暑熱負荷試験

室温25°C、相対湿度50%に制御した人工気候室に入室し、計測器具を貼付し、椅座位安静状態を約60分間保った後、42°Cに設定した湯の中に下肢を30分間浸した。その後、湯から下肢を出し、10分間安静状態を継続した。測定項目は、生体温として皮膚温10部位（前額、腹、前腕、手背、大腿、下腿、足背、胸、背、手指腹側）、核心温2部位（舌下、直腸）、発汗量5部位（前額、胸、背、前腕、大腿）、皮膚血流量4部位（前額、前腕、手背腹側、大腿）、心拍数、血圧、手指血管幅、酸素摂取量、主観申告であった。また、7点の皮膚温から平均皮膚温を算出し、直腸温と平均皮膚温から平均体温を算出した。被験者の着衣は短パン、Tシャツ（0.3c1o）とした。

(5) 寒冷負荷試験

室温27°C、相対湿度50%に制御した人工気候室に入室し、計測器具を貼付し、仰臥位安静状態を約60分間保った後、室温を90分間で5°Cまで低下した。測定項目は、発汗量を除いて、暑熱負荷実験と同様であった。被験者の着衣は短パン、Tシャツ（0.3c1o）とした。

(6) 生活調査

生活行動調査として、5日間の起床、就寝、食事、運動などの生活行動と滞在場所、暖房使用時間の調査を自記式にて行い、活動量計により、運動量、歩数、総消費量を計測した。また、気温、相対湿度、照度の環境要因を5日間連続計測した。食生活はFFQg-エクセル栄養君食物摂取頻度調査を用いて、自記式にて行った。

4. 研究成果

(1) 血管機能に及ぼす要因の検討

日常活動量の指標である1日の総エネルギー消費量と最大酸素摂取量との間に正相

関が得られた ($p < 0.05$)。また、加速度脈波の指標である $-b/a$ 、 c/a 、APGI と VO_{2max} との間で正相関が認められた ($-b/a$: $p < 0.05$ 、 c/a : $p < 0.05$ 、APGI : $p < 0.01$ 、図 1)。つまり、日常の活動量が多いほど最大酸素摂取量が高く、血管柔軟性も高いことが示唆された。このほか、年齢と APGI、 $-b/a$ との間で負の相関が得られた ($p < 0.05$)。これは先行研究と一致した結果が得られた。

(2) 暑熱負荷時の体温調節反応と血管機能

APGI と発汗開始時前腕皮膚温の間 (図 2) および最大酸素摂取量と発汗開始時平均皮膚温・前腕皮膚温の間に正相関が認められた。また APGI および $-b/a$ と暑熱負荷中の手指腹側部皮膚血流量 (LDF) の間で正相関が認められ、 $-b/a$ と暑熱負荷中の手指腹側部 %LDF (安静時からの血流変化率) との間で正相関が認められた (図 3)。また、反応性充血時の最大血流量と暑熱負荷 30 分目の前腕血流量の間にも正相関が認められた ($p < 0.05$)。以上の結果から、日常活動量が多い人ほど血管の柔軟性が向上し、血管柔軟性の向上が暑熱負荷時の皮膚血管拡張反応を増大させ、皮膚血流の増加および皮膚温の増加をもたらしたことが考えられる。つまり、生活習慣、特に運動習慣が血管機能を向上させ、発汗によらない熱放散能力の向上につながったと考えられた。

(3) 寒冷暴露時の体温調節反応と血管機能

身体活動量と酸素摂取量上昇開始時間の間に正相関が得られた ($p < 0.01$)。APGI と前腕 %LDF (図 4)、運動量と前腕皮膚温変化量、 d/a と寒冷時酸素摂取量増加率 (図 5) の間に負の相関が得られた。つまり、血管柔軟性が高い個体では寒冷時に四肢血流量をより抑制することができ、そのために寒冷時の代謝亢進が遅延したと考えられた。また、基礎代謝量と寒冷時の % VO_2 の間に正相関が認められたことから、日常活動量の増加は血管機能の向上とともに基礎代謝量の向上をもたらし、基礎代謝量の向上は寒冷時の代謝亢進を遅延させることが考えられた。

(4) まとめ

血管機能、最大酸素摂取量、日常活動量、自律神経機能、食物摂取量、被験者周囲の温熱環境要因と発汗閾値体温および代謝閾値体温間の明確な関係は得られなかった。しかし、暑熱負荷時および寒冷曝露時の体温調節反応のいくつかの指標との間に以下に示すような相関関係が得られた。血管柔軟性の指標である加速度脈波指数及び d/a と発汗開始時皮膚血流量及び皮膚温の間に正相関が認められ、加速度脈波指数と代謝上昇時の皮膚血流量の間に負の相関が認められた。最

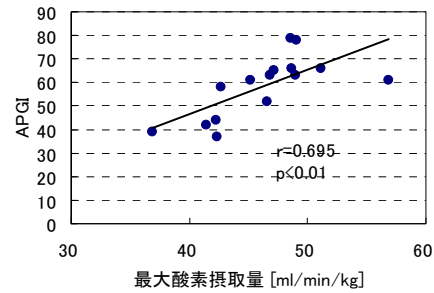


図 1 最大酸素摂取量と加速度脈波指数の関係

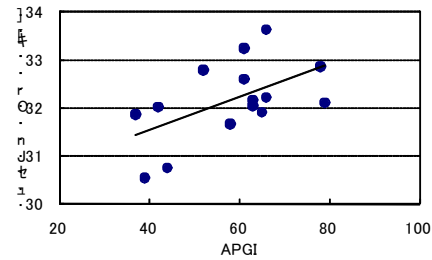


図 2 加速度脈波指数 (APGI) と暑熱負荷時の発汗開始時前腕部皮膚温の関係

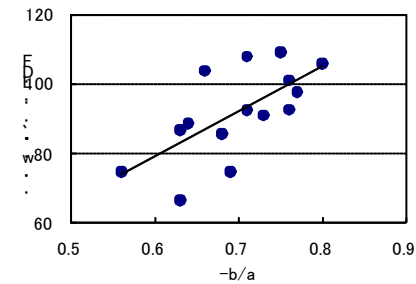


図 3 $-b/a$ と暑熱負荷時の手指部皮膚血流量変化率の関係

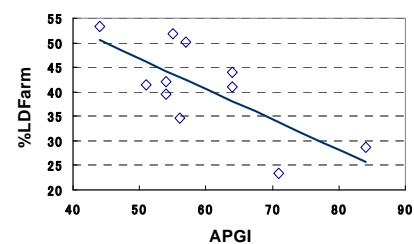


図 4 APGI と寒冷時前腕血流量変化率 (%LDF_{arm}) の関係

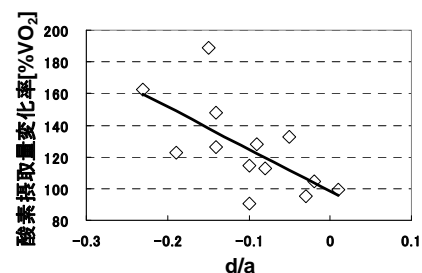


図 5 d/a と寒冷時酸素摂取量増加率の関係

大酸素摂取量及び日常活動量と発汗開始時の皮膚温の間に正相関が認められ、日常活動量と寒冷曝露時の前腕部皮膚温の間に負の相関が得られた。また、日常活動量と代謝亢進までの時間の間に正相関が認められた。最大酸素摂取量と加速度脈波指数の間にも有意な相関関係が得られた。食物摂取量と基礎代謝量に正の相関が認められ、冬季の昼間の被験者周囲気温と基礎代謝量との間に負の相関が得られた。以上のことから、発汗閾値および代謝閾値体温からみた体温閾値幅への影響要因は見いだせなかったが、発汗開始までの耐暑反応には最大酸素摂取量、日常活動量、血管機能が大きく関わっており、代謝亢進までの耐寒反応には最大酸素摂取量、日常活動量、血管機能が深く関わっていることが示唆された。また、耐寒反応に関わる要因の一つである基礎代謝量に食物摂取量と日常暴露気温が関連しており、これら2要因は寒冷曝露時の代謝上昇までの時間に関連することが示唆された。

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 7 件)

廣田傑, 前田享史, 岡田恭明, 石橋浩, 倉前正志, 横山真太郎、暑熱負荷時の血流・発汗反応に影響を及ぼす要因の検討、空気調和・衛生工学会北海道支部第 44 回学術講演会論文集、査読無、2010、1-4

岡田恭明, 前田享史, 石橋浩, 廣田傑, 倉前正志, 横山真太郎、血管機能が暑熱・寒冷曝露時の体温調節反応に及ぼす影響、空気調和・衛生工学会北海道支部第 44 回学術講演会論文集、査読無、2010、19-22

石橋浩, 廣田傑, 前田享史, 横山真太郎, 倉前正志、暑熱曝露時における生理反応とそれを修飾する要因に関する研究、空気調和・衛生工学会北海道支部第 43 回学術講演会論文集、査読無、2009、103-106

Takafumi Maeda、Tetsuhito Fukushima、Masashi Kuramae、Shintaro Yokoyama、Relationship between Vascular Function and Vasoconstrictive Response to Cold、Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics、査読無、2009、(CD-Rom)

廣田傑、西尾美奈子、前田享史、横山真太郎、倉前正志、暑熱負荷時の発汗反応に及ぼす要因に関する研究、空気調和・衛生工学会北海道支部第 42 回学術講演会論文集、査読無、

2008、21-24

廣田傑, 前田享史, 横山真太郎, 倉前正志、暑熱下における体温調節反応に及ぼす要因に関する研究、第 16 回衛生工学シンポジウム論文集、査読無、2008、105-108

[学会発表] (計 5 件)

前田享史、横山真太郎、倉前正志、血管機能と寒冷時血流反応の関係、日本生理人類学会第 6 2 回大会、2010 年 5 月 16 日、大阪国際大学、守口市

廣田傑, 石橋浩, 前田享史, 横山真太郎, 倉前正志、寒冷曝露時の代謝亢進に影響を及ぼす要因の検討、日本生理人類学会第 60 回大会、2009 年 6 月、北海道大学、札幌市

石橋浩, 廣田傑, 前田享史, 横山真太郎, 倉前正志、暑熱環境下における皮膚血流量と加速度脈波の関係、日本生理人類学会第 60 回大会、2009 年 6 月、北海道大学、札幌市

廣田傑, 前田享史, 石橋浩, 横山真太郎, 倉前正志、発汗反応の季節変動と個人差について、日本生理人類学会第 59 回大会、2008 年 10 月 18 日-19 日、実践女子大学、日野市

廣田傑, 前田享史, 西尾美奈子, 横山真太郎, 倉前正志、血管機能と暑熱時体温調節反応との関係、日本生理人類学会第 58 回大会、2008 年 6 月 7 日、大阪市立大学、大阪市

[図書] (計 1 件)

Takafumi Maeda, CRC Press, Human Variation: From the Laboratory to the Field, Chapter 7 Cold Tolerance and Lifestyle in the Modern Society, 2010, 99-109

[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

前田 享史 (MAEDA TAKAFUMI)
北海道大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90301407

(2) 研究分担者

横山 真太郎 (YOKOYAMA SHINTARO)
北海道大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90002279