

運動時の発汗特性と平均皮膚温予測モデル(温熱環境)

著者	窪田 英樹, 松尾 朋浩, 朝比奈 亮, 山越 健弘, 竹内 崇, 真木 学, 山崎 大史
雑誌名	学術講演梗概集. D-1, 環境工学I, 室内音響・音環境, 騒音・固体音, 環境振動, 光・色, 給排水・水環境, 都市設備・環境管理, 環境心理生理, 環境設計, 電磁環境
巻	1998
ページ	715-716
発行年	1998-07-30
URL	http://hdl.handle.net/2297/14360

運動時の発汗特性と平均皮膚温予測モデル

温熱環境 発汗 平均皮膚温

正会員 ○ 窪田 英樹*3 同 山越 健弘*1
同 松尾 朋浩*2 同 竹内 崇*1
同 朝比奈 亮*1 同 真木 学*1
同 山崎 大史*1

1. はじめに

人体の温熱環境を評価する上で、主に発汗の観点から人間の活動を安静時と運動時に分けて考える必要がある。安静時(椅座状態)については、多くの研究が行われているが、運動時(立位、歩行、スポーツなど)については人体の温熱状態を予測する実用的な方法が得られておらず、研究が急がれている。

この研究では、作業時(自転車エルゴメータ作業時)の温熱性発汗に関して実験を行い、発汗率が平均皮膚温の中立温度からの偏差に一次比例することを確認し、椅座時も含めた全作業域に適用できるPMSTモデルを構築するのが目的である。

2. 実験概要

実験条件は、室温 22-34℃、湿度 50%、無風である。実験着衣は、海水パンツで着衣抵抗は約 0 clo である。被験者は、実験着衣に着替えた後、サーミスタを体の7点に付け(Hardy-Duboisの7点法)、皮膚温 t_{sk} を測定しながら、この着衣の中立温感温域(室温 28℃、相対湿度 50%、無風)に設定した実験室前室に30分間滞在する。その後、実験室に入室し、所定の位置の自転車エルゴメータに乗り、代謝量が3と4 Met 相当の2種類(設定ワット 50, 81 [W])の運動を10分サイクル[自転車エルゴメータ運動 9分 + 体重測定 1分]で行わせる。3Met(設定ワット 50 [W])の運動時は120分間、4Met(設定ワット 81 [W])の運動時は90分間運動させる。その間、皮膚温 t_{sk} を5分毎に測定し、温熱感覚申告を20分毎に申告させる。尚、被験者は、健康な男子学生2名である。

3. 代謝率設定

本論文では、自転車エルゴメータ作業時の作業効率 η を net 効率 23 [%] と設定した²⁾。

$$\eta_{net} = W / (M_t - M_{rest}) = 0.23$$

W: 外部仕事量 [W/m²]、M_t: 総エネルギー代謝量 [W/m²]、M_{rest}: 安静時代謝量 (-42) [W/m²]

[設定ワット 50 [W] (28.9 [W/m²]) のとき] 人体の総熱量 H [W/m²] は、

$$H = 147.70 \quad [W/m^2]$$

$$H/58.15 = 2.54 \quad [Met] \dots (1)$$

[設定ワット 81 [W] (46.8 [W/m²]) のとき]

$$H = 204.69 \quad [W/m^2]$$

$$H/58.15 = 3.52 \quad [Met] \dots (2)$$

実験における[9分間自転車エルゴメータ作業+1分間体重測定]の平均代謝率を、式(1),(2)と体重測定時の代謝率を1.2 [Met] としたものを、時間で重みつけし下記のように算定した。

$$\begin{aligned} & \text{「設定ワット 50 [W] 作業時」} \\ H/58.15 &= 0.1 \times 1.2 + 0.9 \times 2.54 \\ &= 2.41 \quad [W/m^2] \dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{「設定ワット 81 [W] 作業時」} \\ H/58.15 &= 0.1 \times 1.2 + 0.9 \times 3.52 \\ &= 3.29 \quad [W/m^2] \dots (4) \end{aligned}$$

すなわち、本実験における発熱量を代謝率で表した場合 2.4 [Met], 3.3 [Met] となった(以下、混乱を避けるために発熱量に着目した代謝率を [Met_H] と表すことにする)。

4. 運動時の温熱性発汗

熱収支式

$$H / A_{Du} = E_{res} + C_{res} + E_{dif} + E_{swe} + E_{swt} + R + C \quad [W/m^2] \dots (5)$$

H/A_{Du}: 人体からの総発熱量 [W/m²], E_{res}: 呼吸による温性放熱 [W/m²], C_{res}: 呼吸による乾性放熱 [W/m²], E_{dif}: 皮膚からの不感蒸泄による放熱 [W/m²], E_{swe}: 運動性発汗による放熱 [W/m²], E_{swt}: 温熱性発汗による放熱 [W/m²], R: 体表面からの放射による放熱 [W/m²], C: 体表面からの対流による放熱 [W/m²]

式(5)で表わされる人体の熱収支のなかで水分収支を伴うのは、E_{res}, E_{dif}, E_{swe}, E_{swt} である。その和が、実験で得られた体重減少量 (Weight loss 以下 Wloss) と等しいとみなして温熱性発汗を算定する。

$$Wloss = E_{res} + E_{dif} + E_{swe} + E_{swt}$$

$$E_{swt} = Wloss - (E_{res} + E_{dif} + E_{swe}) \quad [W/m^2] \dots (6)$$

E_{res}, E_{dif}, E_{swe} は、P.O.Fanger³⁾が、求めた値を適用した。

ここで、運動性発汗 E_{swe} による放熱は次式で表される。

SWEAT RATE OF SUBJECTS IN EXERCISE AND PREDICTION OF MEAN SKIN TEMPERATURE

KUBOTA Hideki, MATUO Tomohiro, ASAHINA Ryo, YAMAKOSHI Takehiro, TAKEUTI Tkashi, MAKI Manabu and YAMAZAKI Taishi

$$E_{swt} = 0.42 (H / A_{Du} - 58.15) \quad [W/m^2] \cdot \cdot (7)$$

5. 実験結果

平均皮膚表面温度は、概ね 30 分後には定常に達しており、2.4 [Met_H] 作業時には、30~120 分の平均値を 3.3 [Met_H] 作業時には、30~90 分の平均値のデータを用いた。体重減少量は、体重測定の際時変化の回帰直線から算定した。

図-1 に平均皮膚温偏差 ($t_{sk} - t_{skh}$) と温熱性発汗量 m_{swt} [g/hm²] の関係を示す。

この結果より、作業時(自転車エルゴメーター作業時)の温熱性発汗が平均皮膚表面温度の中立温度の偏差に一次比例の関係が成立することが確認される。

$$m_{swt} = 42.5(t_{sk} - t_{skh}) \quad [g/hm^2] \quad (8)$$

$$E_{swt} = 28.4(t_{sk} - t_{skh}) \quad [W/m^2] \quad (9)$$

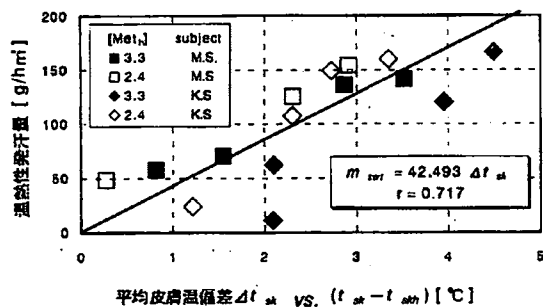


図-1 平均皮膚温偏差 Δt_{sk} と温熱性発汗量 m_{swt} の関係

本実験で得られた発汗量(温熱性発汗量 + 運動性発汗量)と平均皮膚表面温度の関係を図-2 に示す。

図中にある(—, ---) が筆者らが開発した PMST-Model における発汗量特性であり、実験値をよく対応していることが確認できる。また、温熱性発汗量として椅座状態の特性に近い値が得られており、次式を椅座状態も含めた全代謝域に対して適用できよう。

$$E_{swt} = 30(t_{sk} - t_{skh}) \quad [W/m^2K] \quad (10)$$

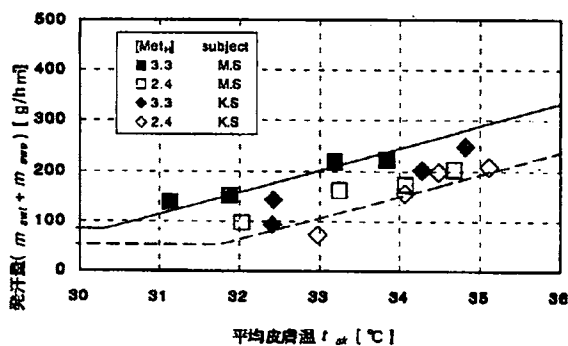


図-2 運動時における平均皮膚温 t_{sk} と発汗量 ($m_{swt} + m_{svo}$) の関係

6. 平均皮膚表面温度

— 予測値と実測値の比較 —

平均皮膚表面温度について実測値と PMST-Model を用いた予測値とを比較したのが図-3 である。実験において、汗が体表を流れ滴り落ちる現象が濡れ率 0.5 前後で観察されており、分析の結果、汗が滴り落ちる無効発汗(体温調節機能に寄与しない)は濡れ面積率 0.55 と推定された。同図の予測値は、最大有効濡れ面積率を 0.55、相対風速を 0.18 m/s としたときの値である。

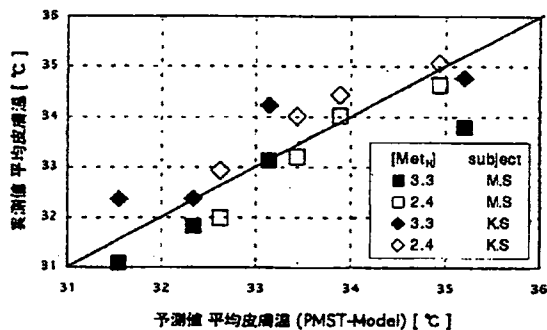


図-3 平均皮膚温 (t_{sk}) の予測値と実測値の関係
(相対風速 0.18 m/s, 最大濡れ面積率 0.55)

7. 考察

温熱性発汗量 E_{swt} [W/m²K] が皮膚温の中立温度からの偏差に一次比例することを確認した。その結果、PMST-Model は、椅座(作業)時を含めて全作業時に適用可能であることを示した。

$$E_{swt} = 30(t_{sk} - t_{skh}) \quad [W/m^2K]$$

また有効発汗に関する最大濡れ面積率が 0.55 程度であることを明らかにした。

【参考文献】

- 1) 窪田英樹, 伊地知健, 堀井崇司, 松尾朋浩(1995), 人体皮膚表面温度に着目した温熱環境評価: 空気調和・衛生工学会北海道支部第 30 回学術講演論文集, p57
- 2) 佐藤方彦監修(1992) 人間工学基準数値数式便覧(技報堂出版)
- 3) P.O.Fanger(1970): THERMAL COMFORT, McGraw-Hill Company

*1 室蘭工業大学大学院修士課程
*2 室蘭工業大学大学院博士課程
*3 室蘭工業大学工学部
建設システム工学科 教授・工博

Graduate Student. Muroran Inst. of Tech.
Graduate Student. Muroran Inst. of Tech.
Prof., Dept. of Civil Eng. & Architecture,
Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.