

局所冷暖房に対する睡眠時の温熱生理反応

睡眠
温熱生理量

温熱環境
人体熱モデル

局所冷暖房

正会員 ○日比野 裕*1 同 高田 暁*4
同 銚井 修一*2 同 仲嶋 正訓*5
同 吉田 勝亮*3 同 山手 美穂*5

1. はじめに

前報¹⁾では、快適な睡眠環境の形成を目的として、入浴前から起床に至る過程の実験と解析を行った。

本報では、足部に冷温風を吹きかける局所冷暖房下において睡眠実験を行い、温熱生理反応を調べるとともに、人体熱モデルを用いて人体生理量の再現を試みた結果について報告する。

2. 局所冷暖房下での睡眠実験

2.1 実験概要

実験は寝室を模した実験室(図1,2)にて夏期に3回、冬期に4回行った。実験条件を表1(夏期)、表2(冬期)に示す。被験者は健康な男子大学生1名である。着衣は、夏期には綿の半袖Tシャツ、膝丈ズボン、トランクスを、冬期には綿の長袖Tシャツ、長ズボン、トランクスを着用した。掛布団は夏期は使用せず、冬期は厚さ5cm程の綿製のものを使用した。ただし、冬期実験第4回目のみ、消灯時には掛布団を掛けず、室温を上げた。その際、ベッド脇に掛布団を置き、就床中に寒と感じた場合には掛けるように被験者に指示した。睡眠時は床置エアコンによって室内温度を一定に保つとともに、ダクトにより壁付エアコン送風口より冷温風を取り込み、ダクト出口を足元に設置して足周りのみを局所的に冷暖房した。実験ごとにダクトの出口の位置を変え、風向を変えた。

表1 夏期実験の実験条件

	第1回	第2回	第3回
床置エアコン 設定温度[℃]	28.0	28.0	28.0
相対湿度[%]	52.4±1.0	45.8±1.3	61.4±1.8
ダクト吹出し 口温度[℃]	26.0	26.0	26.0
ダクトによる 風向	足元横方向	足元から 頭部方向	足元垂直 下方向
掛布団	なし	なし	なし

表2 冬期実験の実験条件

	第1回	第2回	第3回	第4回
床置エアコン 設定温度[℃]	21.0	21.0	21.0	24.0
相対湿度[%]	37.9±1.5	38.6±1.3	43.1±0.9	36.9±1.6
ダクト吹出し 口温度[℃]	34.0	34.0	34.0	34.0
ダクトによる 風向	足元 横方向	足元から 頭部方向	足元垂直 下方向	足元垂直 下方向
掛布団	あり	あり	あり	なし

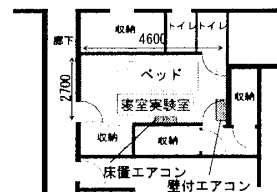


図1 実験室見取り図



図2 実験室全景写真

2.2 実験結果(図3のEで表示)

結果の例として、夏期実験第3回目の皮膚温度(額、腹、下腿、平均)と深部温度(直腸)の結果を図3に示す。

(1) 深部(直腸)温度(図3 上図)

深部温度は時間とともに低下した。いずれの実験においても同様の傾向であった(図省略)。

(2) 皮膚温度

額温度はいずれの実験においても、35℃～36℃で安定していた。局所冷暖房を行った足部の温度は時間的に大きく変動した。風が強く当たる時間帯とそうでない時間帯があると推測される。体幹部温度にも変動がみられるが、足部からの気流が体幹部にも当たったためと考えられる。平均皮膚温度も時間的に変動するが、平均的には深部温度同様に睡眠の経過に伴って徐々に低下した。

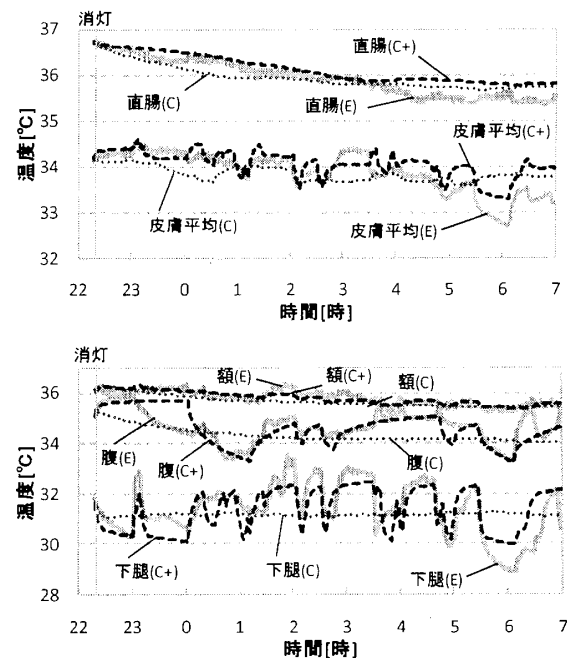


図3 各部位の温度(上:直腸, 皮膚平均 下:額, 腹, 下腿)

Thermal Physiological Response to Local Heating and Cooling during Sleep

HIBINO Yu, HOKOI Shuichi, YOSHIDA Katsuaki, TAKADA Satoru, NAKAJIMA Masanori and YAMATE Miho

2.3 考察

- 送風方向の違いによる影響をみると、夏期の実験では、
- ・足元横方向から送風を行った場合(第1回)、覚醒時間は長く体動も比較的多く、体温の低下は最も鈍かった。但し、この結果には第1夜効果による影響も含まれている可能性がある。
 - ・足元から頭部方向に送風を行った場合(第2回)には、寝付きが良くなく、起床時の主観申告では、顔への気流が気になり乾燥感も感じたことあった。
 - ・足元上から垂直下向きの送風を行った場合(第3回)には、最もよく眠れており、体温はよく低下していた。

以上より、送風方向は足元上から垂直下向きが最も好ましいと考えられる。冬期の実験では、風向の違いによる影響はあまりみられなかった。掛布団を使用していたためと考えられる。

3. 人体熱モデルによる睡眠時の生理量の解析

3.1 人体熱モデルの概要

解析に用いたモデルは、Stolwijk et al.の人体熱モデル²⁾を元に、石黒らによって改良されたもの³⁾である。睡眠時には、布団に接するか室空気に接するかで、周囲環境への放熱のし易さは大きく異なる。このモデルでは、それを考慮するために図4のように人体を上下にも分割し、計27部位の熱収支を考えて温度を予測する。また、各部位の皮膚血流量比率には、高田らによるモデル⁴⁾を用いた。

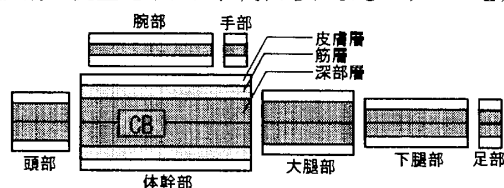


図4 人体熱モデルの模式図

3.2 解析結果(図3のCで表示)

(1) 深部温度

実験値に比べて計算値の方が前半では低く、後半では逆に高くなる傾向が一部にみられるが、全体的によく再現できている。

(2) 皮膚温度

顔については実験値を概ね再現できた。体幹部や四肢部では、平均的には再現できたが、時間的な変動の一致は良くない。本実験ではダクトにより足部に局所的な冷暖房を行ったため、特に足部においては寝姿勢の変化に伴う皮膚表面と周辺環境との間の熱コンダクタンスの変化が大きい。そのため、温度変動が忠実に再現されていないと考えられる。

4. 寝姿勢および足部位置の変化を考慮した解析

計算値の改善を目指して、寝姿勢及び足部位置の変化を熱コンダクタンスの違いとして考慮し再度計算を行った。

4.1 解析方法

赤外線カメラの画像から寝姿勢の変化を読み取り、それに応じて皮膚と周辺環境との間の熱コンダクタンスの値を時間的に変化させた。足部位置に関してはダクトの先に対する足部の位置を読み取り、それに応じて熱コンダクタンスを4段階に分けた。熱コンダクタンスの値は、実験値をよく再現するような最適な値を探索した。

4.2 解析結果(図3のC+で表示)

(1) 深部温度

寝姿勢及び足部位置の変化を考慮しない場合と大きな差はない。熱コンダクタンスの変化は深部温度には大きく影響していないといえる。

(2) 皮膚温度

寝姿勢及び足部位置を考慮することにより、体幹部や四肢部の時間的な変動をととも精度よく再現できた。寝姿勢や足部位置の変化に伴う熱コンダクタンスの変化が、皮膚温度の変動に大きく影響しているといえる。これは局所冷暖房の場合には特に顕著になり、風の影響を人体熱モデルにおける熱コンダクタンスにより量的に表すことができる可能性を示唆している。

5. まとめ

本報では、局所冷暖房下における睡眠実験の結果及び人体熱モデルによる実験結果の再現を試みた結果について報告を行った。足部への気流の向きによって体温の変動や睡眠深度に違いがみられ、足元上から垂直下向きに送風を行うと体温は低下し、よく眠れていた。

足部への局所冷暖房下においては、皮膚温度の時間的な変動が大きい。寝姿勢及び足部位置を考慮した計算を行うことで、実験値を精度よく再現することができた。これは、熱コンダクタンスの変化が、皮膚温度に大きな影響を及ぼすという物理的には自明なことを示している。

【参考文献】

- 1) 吉田勝亮, 銚井修一, 高田暁, 石黒晃子: 睡眠時の快適な温熱環境の形成に関する研究 その2入浴前から起床に至る過程の実験と解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 353-356, 2009
- 2) Stolwijk, J. A. J. and Hardy, J. D.: Temperature regulation in man - theoretical study, Pflügers Archiv., Vol. 291, pp. 129-162, 1966
- 3) 石黒晃子, 銚井修一, 高田暁, 石津京二: 着衣・寝具を考慮した睡眠時の人体熱モデルに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第636号, PP. 141-149, 2009
- 4) Abdul Munir, Satoru Takada and Takayuki Matsushita: Re-evaluation of Stolwijk's 25-node human thermal model under thermal-transient conditions: Prediction of skin temperature in low-activity conditions, Building and Environment, 44, pp. 1777-1787, 2009

*1 京都大学大学院工学研究科 修士課程

*2 京都大学大学院工学研究科 教授・工博

*3 京都大学大学院工学研究科 修士課程

*4 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

*5 関西電力株式会社 エネルギー利用技術研究所

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Dr. Eng.

Kansai Electric Power Company, Inc., Energy Use R&D Center