【カテゴリーⅡ】

日本建築学会環境系論文集 第75巻 第654号, 669-674, 2010年8月
J. Environ. Eng., AIJ, Vol. 75 No. 654, 669-674, Aug., 2010

睡眠時の皮膚温および放熱量と行動性体温調節に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN SKIN TEMPERATURE, HEAT DISCHARGE AND BEHAVIORAL THERMOREGULATION DURING SLEEPS

糸井川 高穂*1, 羽 山 広 文*2, 山 岸　浩*3

Takaho ITOIGAWA, Hirohumi HAYAMA and Hiroshi YAMAGISHI

This study was designed to record some physiological responses to research relationship between skin temperature, heat discharge and behavioral thermoregulation during sleeps. Changes in skin temperature, heat discharge and behavioral thermoregulation were recorded for 7 hours from 0:00 to 7:00. Changes in skin temperature and heat discharge show that during 0:00～1:30, they rise as time passes in all experimental conditions. One side, average behavioral thermoregulation occurs during 0:00～1:30 more than that of during 0:00～7:00. When average heat discharge during 0:00～1:30 was less than that of during 0:00～7:00,average behavioral thermoregulation during 0:00～1:30 occurs more than that of during 0:00～7:00. Results shows that the less the body loses its heat during 0:00～1:30, the more behavioral thermoregulation occurs.

Keywords *: behabioral themoregulation, sleep, skin-temperature,*
行動性体温調節, 睡眠, 皮膚温

1．はじめに

睡眠時の体動の出現が熱や光、音などの周辺環境の影響を受けることは知られている。例えば岡田ら [1]が暑熱環境では体動が出現しやすいことを、Kawada ら [2]が騒音環境では体動が生じやすいことを報告している。

自律性体温調節と行動性体温調節に大別されている温熱環境に対する人体の体温調節反応においては、行動性体温調節として体動が出現することが報告されている [3]。すなわち、寒冷環境下では放熱面積の少ない姿勢をとり、暑熱環境下では体動により寝床内の空気を流出させることで、寝床気候の快適化が図られていることを岡田らが報告している [1]。また、入眠直後に脳を冷やすためと思えるような皮膚温の上昇が生じること [4)5)]が知られており、この皮膚温の上昇による暑さが、睡眠時の体動の一因になっていると考えられている。

REM 期の睡眠における自律性体温調節の働きは、覚醒時のそれより低いことが知られている [3]ことからも、体動が睡眠時の体温調節に重要な役割を果たしていることが十分推測できる。しかしながら、周辺環境の温熱条件により体動の出現量が異なるにも関わらず、現在までのところ人体の熱収支が睡眠中の体動の出現に及ぼす影響に言及した報告は少ない。岡田ら [1]は胸と背の放熱量を基に平均放熱量を算出し、冬季にはおよそ 23W/m^2 の放熱量となるよう体動が寝床気候を調節することを報告している。測定部位が体幹部に限定されているため、布団や被服から露出しやすい下腿や前腕などを含めたより全身的な人体の熱収支の検討が必要であると考える。また、睡眠中の皮膚温の変動により経時的に放熱量も変化するが、皮膚温や放熱量の経時的な変化を勘考した研究は少ない。

本研究では、暑熱環境における睡眠時の体動の増減を経時的に把握するとともに、皮膚温と放熱量を測定しそれらを比較することで、体動が出現しやすい条件を明らかにし、睡眠時の体動の少ない温熱環境を検討することを目的とする。

2．研究計画

2－1．実験条件

暑熱環境への順化が過渡期の場合、実験期間中に暑熱環境への生理・心理反応が変動する可能性がある。本研究では、人体が暑熱環境へ十分に順化していると考えた 2005 年 10 月に実験を行った。実験のスケジュールを表 1 に示す。控え室での室温 28℃、相対湿度 50%の温熱環境への曝露中に、被験者に熱電対や熱流計を装着した。その後、被験者を実験室に移動させ、設定条件に 8 時間曝露した。室温の違いによる皮膚温と放熱量、および体動の出現の様子の違いを検討するために、夏季の睡眠時に快適な温熱環境とされている室温 28℃、相対湿度 50%[6]を参考に、26℃、28℃、30℃の室温と 50%で一定の相対湿度を実験の設定条件とした。床上 1.5m の壁面に取り付けた温度センサーで測定した室温が設定室温となるように、フ

*1 北海道大学大学院工学院　博士後期課程　Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
*2 北海道大学大学院工学研究院　教授・博士(工学)　Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
*3 ㈱トヨックス　TOYOX CO., LTD.

ファンコイルユニット（以下、FCU）を制御した。午前7時に起床し、被験者を控え室に移動し、熱電対などのセンサーを取り外し、1回の実験を終えた。

2－2．実験室

株式会社トヨックス富山本社事務所棟内に病室を想定して試作した人工気候室（以下、実験室）を用いて実験を行った。実験室の平面図および断面図を図1および図2に示す。実験室の奥行きは5.4m、幅は2.9m、病床部分の天井高さは2.6m、出入り口付近の天井高さは2.3m、床面積は約12.1m²、容積は30.4m³であった。

冷房設備として、FCUを図2の中で示した位置に取り付けた。FCUの吹き出し口の形状は縦0.08m、横0.6mで、その有効開口率は80%であった。FCUの吹き出し気流速度をおよそ2.7m/s、吹き出し風量をおよそ11.8回/hとし、いずれの被験者の就寝位置においても気流速度が同じとなる吹き出し方向とした。

FCUに冷房の顕熱負荷を負担させるため、換気の吹き出し温度を各実験の設定室温と同じとした。また、換気の吹き出し湿度を調節することで、実験室内の相対湿度を50%に維持した。換気の吹き出し口の形状を縦0.03m、横1.2mとした。換気の吹き出し気流速度を2.3m/s、吹き出し風量をおよそ10回/hとした。

2－3．被験者

被験者の属性を表2に示す。健康な青年男女各2名を被験者とし、実験条件毎に各1回参加させた。日本人を対象とした体表面積の算出式[7]を、本研究では用いた。図3に、被験者の着衣の外観を示す。一般に病院で用いられている寝間着と被験者に用意させた下着を着衣とし、着衣の重量を基にした推定式[8]を用いて着衣の熱抵抗を算出した。厚さ0.2mのマットレスに薄いシーツをかけたベッドを用いた。ベッド上面は床上0.4mで、ベッド上面から天井までは2.2mの距離がある。マットレスに背部、腕部、足部および頭部の一部が覆われるため、平均皮膚温の算出には対流伝熱面積の損失を考慮[9]－[11]した。また、図4に示すように、被験者毎の形態係数[12]が同じになるよう、被験者の就寝位置を設定した。被験者には実験開始の2時間前からの飲食と、実験当日の過度の運動の制限を依頼した。女性の被験者の実験は、月経による体温変動の小さな期間[3]に行った。なお、被験者には本実験の趣旨について十分に説明し内容を理解させるとともに、同意を得たうえで本実験へ参加させた。

2－4．測定項目

表3に、測定項目とその測定機器および測定位置を示す。上下温度分布を測定する床上0.3m間隔の測定位置を含む18点の空気温度を、0.3mmφのT型熱電対を用いて測定し、その平均値を室温とした。上下温度分布の測定を、FCUと換気の吹き出し気流が直接あたらない位置で行った。被験者の頭部と同じ程度の位置で、超音波風速計（株式会社ジェイエムエス製 UA30）を用いて気流速度を測定した。φ0.15mφのグローブ温度計を用い、被験者と同じ高さでグローブ温度を測定した。湿度計（株式会社第一科学製 THT-B111/THP-B4）を用いて相対湿度を測定し、湿度センサー（株式会社芝浦電子製 CHS-2）を用いて絶対湿度を測定した。0.3mmφのT型熱電対を用い、天井、壁、床の表面温度をそれぞれ7点、8点、2点測定した。室温、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、室内各部位表面温度を、データロガー（横河電機株式会社製 DARWIN-DA100）を介してパソコンに30秒間隔で連続記録し、気

表1 実験スケジュール

時刻	21:00	23:00	07:00
場所	控え室	実験室	控え室

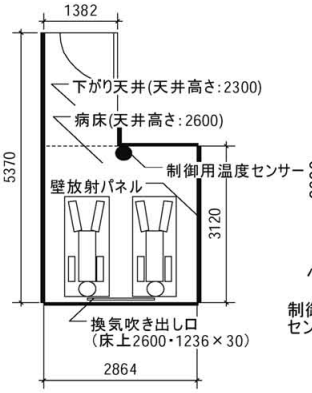

図1 人工気候室平面図（単位・mm）

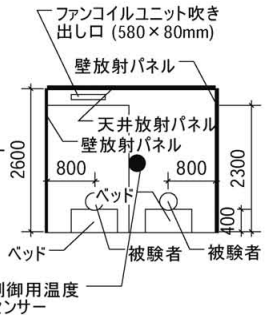

図2 人工気候室断面図（単位・mm）

表2 被験者の属性

被験者	Sub.1	Sub.2	Sub.3	Sub.4
年齢	19	19	20	20
性別	男性	男性	女性	女性
身長[m]	1.83	1.85	1.52	1.43
体重[kg]	66.0	68.0	52.2	56.0
体表面積[m²]	1.9	1.9	1.5	1.5
出生地	富山県	富山県	富山県	富山県

図3 被験者の着衣

図4 被験者の位置

表3 測定項目

測定項目	測定機器	測定位置
室温	0.3mmφT型熱電対	18点
気流速度	超音波風速計	床上0.4m
グローブ温度	グローブ温度	床上0.4m
相対湿度	湿度計	床上1.2m
絶対湿度	湿度センサー	床上1.2m
室内表面温度	0.3mmφT型熱電対	天井7点、壁8点、床2点
皮膚温	0.3mmφT型熱電対	H-D 7点
熱流量	熱流計	H-D 7点
Actigraphy	Actiwatch	利き腕と逆の手首

表4 実験条件（SD）

設定室温	26℃	28℃	30℃
室温 T_a[℃]	25.4(0.4)	27.5(0.2)	30.1(0.2)
相対湿度 RH[%]	52.7(1.2)	50.1(1.0)	47.6(4.3)
グローブ温度 T_g[℃]	26.1(0.1)	28.1(0.0)	30.1(0.2)
気流速度 V[m/s]	0.12(0.0)	0.11(0.0)	0.12(0.0)
壁表面温度 T_w [℃]	26.9(0.0)	29.0(0.0)	30.9(0.0)
FCU吹出温度 T_f [℃]	21.1(0.5)	23.9(0.4)	28.1(0.5)
FCU吹出速度 V_f [m/s]	2.7(0.0)	2.7(0.0)	2.7(0.0)
換気吹出温度 T_v [℃]	25.7(0.1)	28.2(0.1)	29.5(0.1)
換気吹出速度 V_v[m/s]	1.4(0.0)	1.4(0.0)	1.4(0.0)

流速度についても同じく30秒間隔で連続記録した。

0.3mmφの T 型熱電対を、通気性のあるサージカルテープで、Hardy-DuBois の7点法[13]の部位の皮膚表面に直接貼り付けることで、皮膚温を測定した。本研究では、睡眠中に無意識に生じる体動により可動式のデータロガーと熱電対の接触部分で熱電対が断線することを防ぐため、0.3mmφの熱電対を皮膚温の測定に用いた。熱流量は、Hardy-DuBois の7点法に従い、熱流計（英弘精機株式会社製 MF-180）を医療用テープで直接皮膚表面に貼り付けて測定した。皮膚温および熱流量をデータロガー（横河電機株式会社製 MV200）に30秒間隔で連続記録した。また、利き腕ではない腕の手首に Actiwatch（Mini-Mitter 社製 AW-L）を装着し、サンプリング周期32Hz、最小分解能0.05G で体動を測定した。

３．実験結果

３－１．実験条件

表4に、各実験条件の下での室温 T_a、相対湿度 RH、グローブ温度 T_g、気流速度 V、壁表面温度 T_w、FCU 吹き出し温度 T_f、FCU 吹き出し気流速度 V_f、換気吹き出し温度 T_v、換気吹き出し気流速度 V_vを示す。Ta は設定条件の±0.6℃以内、RH は設定条件の±3%以内、V は0.15m/s 以下の静穏であった。したがって、本研究の実験条件は、概ね設定条件を満足していたと考える。

３－２．皮膚温

図5に、平均皮膚温の経時変化の様子を被験者の平均値で示す。全体的な傾向として、設定室温に関わらず平均皮膚温は午前1時33分（標準偏差±11分）まで上昇した。また、設定室温30℃の場合、平均皮膚温の変動は、26℃および28℃の場合より緩やかであることが分かった。本研究で得られたこのような平均皮膚温の経時変化の様子は、多くの既往の研究成果[3)14)−21)]と一致する。また、設定室温に関わらず、入眠からおよそ1時間半をかけて平均皮膚温がおよそ35℃まで上昇することが明らかになった。なお、設定室温毎の平均皮膚温は、1%の有意水準で異なることを確認した。

３－３．体動

図6に、睡眠時の体動の経時的な変化の様子を示す。全体的な傾向として、設定室温に関わらず睡眠時の体動は入眠から1時間27分（標準偏差±15分）の間に多く生じており、それは経時的に減少する傾向があることが分かった。

図7に、入眠から1時間半の間の体動(limited activity score)と入眠から起床までの体動(total activity score)を、その95%信頼区間と併せて示す。total activity score は、睡眠研究の分野で用いられている概念であり[22)−24)]、limited activity score は、本研究で定義する概念である。図より、total activity score は、設定室温26℃と28℃と比較し30℃で高くなる傾向があることが分かった。一方、入眠から1時間半の間の limited activity score は、設定室温の低い条件で高くなる傾向があることが分かった。設定室温が高いほど limited activity score は低くなる一方で total activity score が高くなるのは、入眠からおよそ1時間半経過し、体動の発生頻度が低下した後も断続的に生じている体動が、設定室温が高いほど多いことによる。なお、total activity score と limited activity score のいずれも設定室温毎に1%の有意水準で異なることを確認した。

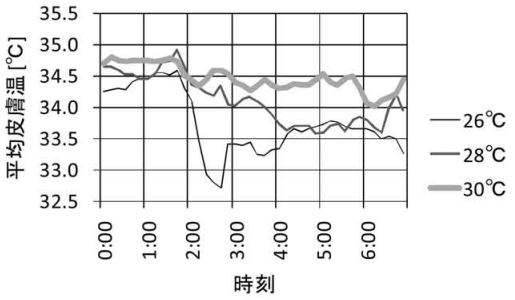

図5　平均皮膚温の経時変化

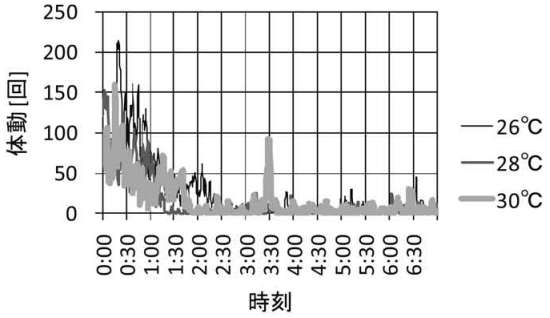

図6　体動の経時変化

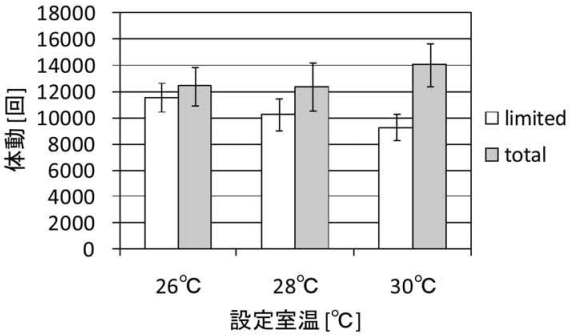

図7　入眠から1時間半の間の体動と入眠から起床までの体動およびそれらの95%信頼区間

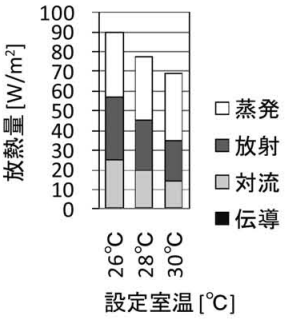

図8　成分毎の放熱量

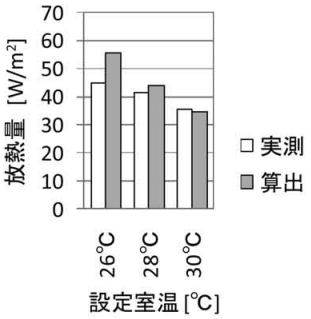

図9　放射成分と対流成分の放熱量

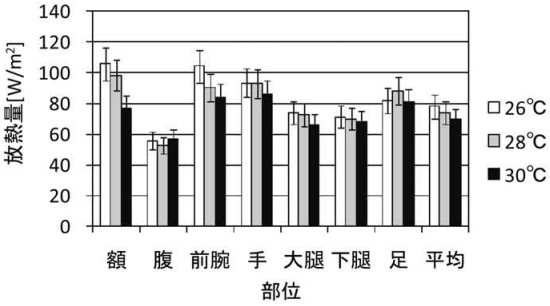

図10　平均放熱量と各部放熱量およびそれらの95%信頼区間
(0:00〜7:00)

３－４．放熱量

図 8 に、室温等の実験結果を基に算出した成分ごとの放熱量を示す。設定室温の違いにより最大 20W/m² 程度の差はあるが、およそ 70W/m² であることが知られている睡眠時の代謝量 [3] と図 8 の結果はほぼ一致する。発汗の閾値より低い設定室温であるため蒸発成分はすべて不感蒸泄による放熱と考えるが、およそ 25%と報告されている全放熱量に占める不感蒸泄による放熱量の割合 [25] に対して本研究の結果はやや大きい値となった。図 9 に、単位面積当たりの放射と対流による熱交換量の算出値および実測値を示す。設定室温 26℃において、算出値と実測値に 10W/m² 程度の差が生じたが、おおむね全ての実験条件において算出値と実測値は一致したと判断する。また、伝導による熱交換量の算出値はすべての設定条件でほぼ 0W/m² であった。なお、以下の放熱量の計算においては、蒸発による熱交換量には算出値を用い、実測した放射と対流による熱交換量には実測値を用いる。

図 10 に、入眠から起床までの間の単位時間あたりの平均放熱量と各部放熱量を示す。図 10 より、掛け布団と着衣で覆われている腹部を除き、設定室温が高いほど放熱量が少なくなる傾向があることが分かった。平均放熱量と各部放熱量は、設定室温毎に 1%の有意水準で異なることを確認した。

また、図 11 に、入眠から 1 時間半の間の単位時間あたりの平均放熱量と各部放熱量を示す。入眠から起床までの放熱量が設定室温の高低と関連があるのと同様に、腹部を除き設定室温が高いほど入眠から 1 時間半の間の平均放熱量と各部放熱量は少なくなる傾向があることが分かった。入眠から 1 時間半の間の平均放熱量についても、設定室温毎に 1%の有意水準で異なることを確認した。

３－５．皮膚温の経時的な変化と体動

平均皮膚温が上昇し体動が減少する入眠からおよそ 1 時間半の間について、各被験者の平均皮膚温を平均し設定室温毎に検討した。図 12 に、1 時間半の間の 1 分間毎の平均皮膚温の変化の程度とその 95%信頼区間を示す。図 12 よりその傾きが正であることから、全体的な傾向として入眠から 1 時間半の間では、時間の経過に伴い平均皮膚温が上昇することが分かった。また、設定室温が高いほど、平均皮膚温の上昇の傾きが小さいことが明らかになった。特に、26℃と 28℃の間の 2℃の設定室温の差による平均皮膚温の上昇の傾きの違いに比べ、28℃と 30℃の間の 2℃の設定室温の差によるその違いが大きい傾向にあることが分かった。有意差の水準は、26℃と 28℃、28℃と 30℃、26℃と 30℃のいずれの間も 1%であった。

図 13 に、入眠から 1 時間半の間の平均皮膚温の経時的な変化の傾きと limited activity score を、その 95%信頼区間と併せて示す。図 13 より、平均皮膚温の経時的な変化の傾きと limited activity score は正の相関関係があることが明らかとなり、その相関係数は 0.965 であった。

図 14 に、直線回帰により算出した各被験者の入眠から 1 時間半の間の各部皮膚温の傾きを平均して示す。また、部位の違いによる標準偏差は、設定室温毎に 26℃では 0.06、28℃では 0.06、30℃では 0.04 であった。部位毎の比較では、設定室温 26℃と 28℃で大腿の皮膚温の上昇が顕著であることが分かった。一方、設定室温 30℃では、部位毎の傾きの差が 26℃、28℃の場合より小さくなることが分かった。

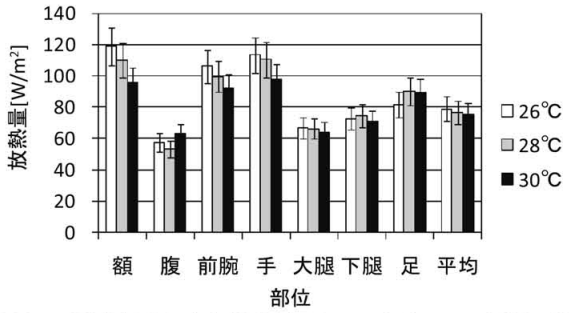

図 11　平均放熱量と各部放熱量およびそれらの 95%信頼区間（0:00～1:30）

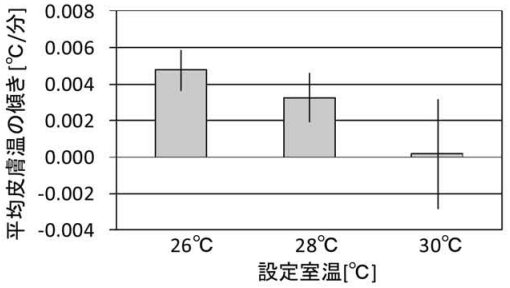

図 12　平均皮膚温の傾きとその 95%信頼区間（0:00～1:30）

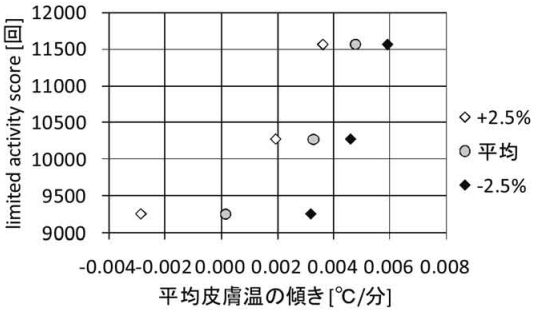

図 13　平均皮膚温の傾き体動の比較とその 95%信頼区間（0:00～1:30）

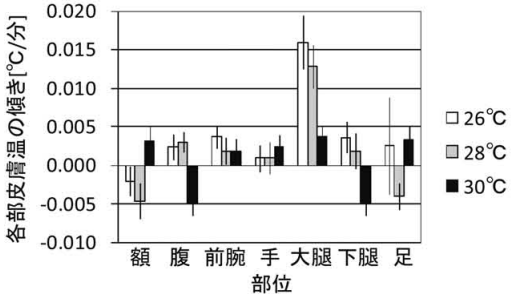

図 14　各部皮膚温の傾きとその 95%信頼区間（0:00～1:30）

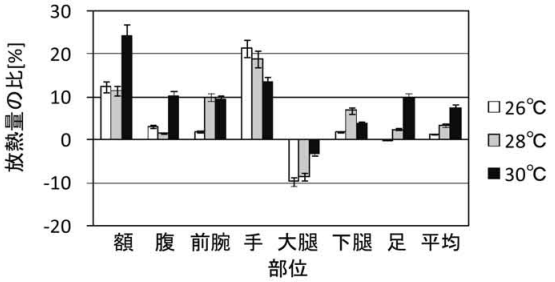

図 15　入眠から 1 時間半と入眠から起床までの放熱量の比

３－６．放熱量と体動

図 15 に、入眠から起床までの単位時間あたりの放熱量（図 9）を 100%とした場合の、入眠から 1 時間半の間の単位時間あたりの放熱量（図 10）との差を示す。図 15 より、大腿を除き、単位時間あたりの平均放熱量および各部放熱量は、入眠から起床までの放熱量より、入眠から 1 時間半の間の放熱量の方が大きいことが明らかとなった。一方大腿では、終夜の平均的な放熱量と比較し、入眠から 1 時間半の間の放熱量が小さい結果となった。

図 16 に、入眠から起床までの放熱量と入眠から 1 時間半の間の放熱量の比と limited activity score の関係を、その 95%信頼区間と併せて示す。図 16 より、放熱量の比と limited activity score は負の相関関係があり、その相関係数は－0.960 であった。

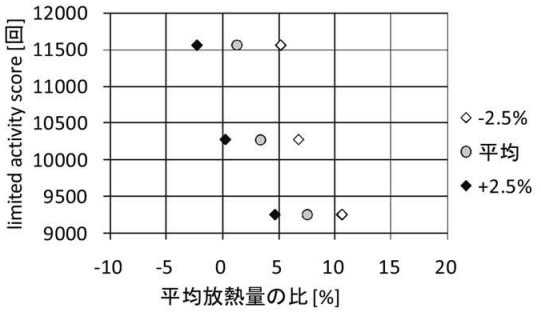

図 16　入眠から 1 時間半と入眠から起床までの放熱量の比と体動

４．考察

睡眠時の体動の生理的な意味として、体動数と睡眠段階の変動数との間に有意な相関があるという結果から、体動はより浅い睡眠段階への移行を容易にするものであるという報告 [26)27)]がある。また、睡眠中の体動の頻度が一定の水準まで高まると、睡眠の飽和状態に達して覚醒に至るという考えも示されている [28)]。

一方、睡眠時の体動の主観的な評価の基準として、一時間当たりの体動数、平均静止時間、最大静止時間があり、一時間あたりの体動数が少ないほど、また平均静止時間と最大静止時間が長いほど、起床時の目覚め感が良好であることが報告されている [29)]。さらに、total activity score の値と主観的睡眠感としての OSA(MA 版)を比較した研究から、睡眠中の体動が多いほど入眠と睡眠維持の得点が低いことが報告されている [30)]。

これらの研究から、睡眠中の頻繁な体動は、生理的には睡眠を覚醒に近付け、心理的には寝入り感や目覚め感を低下させると推測することができる。

岡本らは、睡眠時の体動は放熱を促進させるために生じると報告した [1)]。また、多くの睡眠研究では、入眠直後から深部体温が低下することが報告されている [31)32)]。本研究においても、図 13 および図 14 に示す通り、体動が多く生じた入眠から 1 時間半の間において、平均皮膚温の上昇が大きく、また終夜を平均した単位時間あたりの放熱量と比較してその時間帯の単位時間あたりの放熱量が少なく放熱が妨げられている条件ほど、その時間帯の体動の発生が多いことが明らかとなった。すなわち、入眠直後は四肢の皮膚表面付近の血流が増え皮膚温が高くなるが、掛け布団や被服により皮膚表面が覆われるなど放熱が妨げられると、覆いを取り除くといった皮膚表面からの放熱を促進させるための体動が生じると推測することができる。また、本研究では青年男女を被験者としたが、都築は高齢者を対象とした睡眠時の体温調節について報告している [33)]。すなわち、青年と比較して自律性体温調節やサーカディアンリズムの弱い高齢者の場合、睡眠時に十分な放熱量を得られないため深部体温の低下も小さく、その結果として睡眠中の覚醒が増える傾向があることを示している。

さらに、図 14 および図 15 より、本研究では入眠から 1 時間半の間の放熱が大きく妨げられた部位は、Hardy-DuBois による体表面の 7 部位においては大腿であった。行動性体温調節の観点からは、布団や被服に覆われている腹と大腿の皮膚温の上昇が大きくなる可能性がある。生理面に着目すると、およそ設定室温 28℃が腹の皮膚付近の血流が最少となる温度であり [25)]、28℃前後を条件とした本研究では腹の皮膚温の上昇は小さいと考えることができる。一方、皮下脂肪の少ない四肢の皮膚温は上昇しやすく、また、皮膚付近の最小血流温度はおよそ 20℃である [25)]。これらのことが、大腿で生じた皮膚温の上昇に関わっていると考える。さらに、生理的には対流熱伝達率が四肢先端と比較し小さく、また汗腺が少なく潜熱による皮膚の冷却も他の部位に比べて少量な部位である。このことは、図 10 および図 11 に示すように、腹や大腿からの放熱量が他の部位からの放熱量より小さいことからも推測することができる。すなわち、掛け布団など外部の影響により放熱が妨げられやすく、一方生理的な放熱量の少ない部位である大腿は、睡眠中の体動の発生に影響を与えやすい部位である可能性があると考えることができる。また、足や下腿のように大腿を室内に露出し放熱を促進することは、夏季の睡眠時の体動の発生を減少させ、睡眠段階の移行時での覚醒回数の低減や主観的睡眠感の向上を図ることができる方法の一つである可能性があることが示唆されている。

以上の実験結果と考察より、入眠直後の放熱量に着目すると、図 15 に示すように人体の部位に関わらず入眠直後の放熱量は終夜を通した平均的な放熱量より大きく、自律性体温調節と行動性体温調節は、共に入眠直後に放熱を促進させる方向へ作用すると考えることができる。また、平均皮膚温の経時的な傾きと体動との間の強い相関関係、および放熱量の時間帯毎の比と体動との間の強い相関関係から、平均皮膚温の傾きがより小さく、一方放熱量の時間帯毎の比がより大きい設定室温 28℃が、入眠直後の体動が少なく、終夜の体動も他の条件とほぼ同等であり、本研究における条件の範囲内では最も睡眠時の体動が少ない温熱環境であると考える。加えて、入眠直後に皮膚温が上昇せず、また終夜の放熱量も他の条件より少ない設定室温 30℃は、入眠直後の体動は少ないが、終夜の体動は他の条件より多い温熱環境であると考える。

５．まとめ

本研究では、睡眠時の皮膚温と放熱量、体動の測定結果に基づき、体動を減少させ睡眠の質を向上させる方法を検討することを目的とし、健康な青年男女各 2 名を用いた被験者実験を、設定室温 26℃、28℃、30℃の 3 条件について行い、以下の知見を得た。

(1)　睡眠時の体動は、入眠からおよそ 1 時間半の間に多く生じており、それは経時的に減少する傾向がある。

(2)　入眠からおよそ 1 時間半の間では、時間の経過に伴い平均皮膚温は上昇し、単位時間あたりの放熱量も増大する。また、

設定室温が高いほど、その時間帯の平均皮膚温の上昇の傾きは小さく、単位時間あたりの放熱量も少ない。

(3) 入眠からおよそ 1 時間半の間の単位時間あたりの放熱量は、終夜についての単位時間あたりの放熱量より大きい傾向がある。

(4) 入眠からおよそ 1 時間半の間では、平均皮膚温の上昇の傾きと体動の発生回数には強い正の相関があり、平均皮膚温の上昇の傾きが大きいほど、体動が多くなる傾向が強い。

(5) 入眠から1時間半の間において、平均皮膚温の上昇が大きく、また終夜についての単位時間あたりの放熱量と比較してその時間帯の単位時間あたりの放熱量が少なく放熱が妨げられている条件ほど、その時間帯の体動の発生が多い。

(6) 入眠直後の放熱量に着目すると、人体の部位に関わらず入眠直後の放熱量は終夜を通した平均的な放熱量より大きく、自律性体温調節と行動性体温調節は、共に入眠直後に放熱を促進させる方向へ作用すると考える。

(7) 26℃、28℃、30℃の 3 条件の範囲内では、設定室温 28℃において平均皮膚温の傾きがより小さく、一方放熱量の時間帯毎の比がより大きいため、28℃の室温が最も睡眠時の体動の少ない温熱環境であると考える。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(C),16560522）「熱搬送動力の削減を目指したオフィス用空調方式の開発」（研究代表者：羽山広文）、科学研究費補助金（萌芽研究,18656161）「建築都市の安全性の評価分析とバリアフリー対策」（研究代表者：羽山広文）および国土交通省平成 17 年度建設技術研究開発費補助金「エネルギー自律型都市代謝システムの開発を通じた生活環境の改善」（研究代表者：絵内正道）の一環で実施しました。関係各位に感謝いたします。また、とやま健康パーク国際伝統医学センター上馬場和夫先生および許鳳浩先生には有益なご助言を数多くいただきました。ここに、厚く御礼申し上げます。さらに、本研究を遂行するにあたり、研究の主旨をご理解いただき被験者として参加していただいた方々に、深謝の意を表します。

参考文献

1)岡田モリエ、磯田憲生、梁瀬度子：床面温度の睡眠に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp681-682、1981
2)T.Kawada, P.Xin, M.Kuroiwa, Y.Sasazaki, S.Suzuki, Y.Tamura: Haituation of sleep to road traffic noise as determined by phlysomnography and an accelerometer, Journal of Sound and Vibration, Vol.242,No.1, pp169-178, 2001
3)中山昭夫編：温熱生理学、理工学社、1981
4)Dennie McGinty, Ronald Szymusiak :Keeping cool, Trends in Neurosciences, Vol.13, No.12、pp480-487、1990
5)彼末一之、中島敏博：脳と体温、共立出版、2000
6)日本睡眠学会：睡眠学ハンドブック、株式会社朝倉書店、1994
7)藏澄美仁、堀越哲美、土川忠浩、松原斎樹：日本人の体表面積に関する研究、日本生気象学会雑誌、Vol.31、No.1、pp5-29、1994
8)空気調和・衛生工学会編：快適な温熱環境のメカニズム、丸善株式会社、1997
9)藏澄美仁、土川忠浩、角谷孝一郎、大和義昭、鳥居孝行、松原斎樹、堀越哲美：対流伝熱面積を考慮した平均皮膚温に関する研究－正座位、胡座位、横座位、立て膝位、投げ足位、側臥位、仰臥位姿勢の算出法－、日本建築学会計画系論文集、No.585、pp19－26、2004.11
10)藏澄美仁、土川忠浩、大和義昭、角谷孝一郎、松原斎樹、堀越哲美：姿勢と人体の有効対流面積率に関する研究、日本生気象学会雑誌、Vol.40、No.1、pp3-13、2003
11)持田徹、長野克則、嶋倉一寛、桑原浩平：仰臥姿勢における平均対流伝達率、空気調和・衛生工学会北海道支部　第 31 回学術講演論文集、pp1-4、1999
12)藏澄美仁、土川忠浩、大和義昭、中谷岳史、松原斎樹、堀越哲美：放射冷暖房空間における人体の放射熱収支に関する研究　横座位・投げ足位・側臥位・仰臥位姿勢の人体の有効放射面積と人体と矩形面との間の形態係数、空気調和・衛生工学会論文集、No.97、pp1-14、2005
13)Hardy, J. D.、DuBois, E. F. : The Technique of Measuring Radiation and Convection、Journal of Nutrition、No.15、pp461-475、1938
14)入來正躬編：体温調節のしくみ、株式会社文光堂、1995
15)中山昭雄、入來正躬編：新生理科学大系　第 22 巻　エネルギー代謝・体温調節の生理学、株式会社医学書院、1987
16)都築和代、水野一枝、水野康、岩城達也：高温高湿環境下における睡眠時の体温調節に関する研究、Symposium on Human-Environment System、pp183-186、2001
17) 都築和代、水野一枝：夏季の周囲温熱環境が就寝時の人体温熱反応に及ぼす影響、日本生気象学会雑誌、Vol.37、No.3、p29、2000
18)河栗真理子、吉池信幸：寝床内における人の温冷感、人間-生活環境系シンポジウム、第 17 回、pp202-204、1993
19)Yumiko Teramoto, Hiromi Tokura, Ikuko Ioki, Satsuki Suho, Ryo Inoshiri and Masaaki Masuda: The Effect of Room Temperature on Rectal Temperature during Night Sleep, Journal of Thermal Biology, Vol.23, No.1, pp15-21, 1998
20)V. Candas, J. P. Libert and A. Muzet: Heating and Cooling Stimulations during SWS and REM Sleep in Man, Journal of Thermal Biology, Vol.7, pp155-158, 1982
21)Kazue Okamoto-Mizuno, Kazuyo Tsuzuki, Koh Mizuno, Tatsuya Iwaki: Effects of Partial Humid Heat Exposure during Diferent Segments of Sleep on Human Sleep Stages and Body Temperature, Physiology and Behavior, Vol.83, pp759-765, 2005
22)Jennifer D. James: Actigraphy: A Key Choice, Sleep Review, Vol.4, No.2, pp14-17, 2003
23)Martin A. King, Marc-Olivier Jaffre, Emma Morrish, Jhon M. Shneerson, Ian E. Smith :The validation of a new actigraphy system for the measurement of periodic leg movements in sleep, Sleep Medicine, Vol.6, pp507-513, 2005
24)T.Kawada, M.Kuroiwa, Y.Sasazaki, S.Suzuki, Y.Tamura: Sleep time monitoring by accelerometer in two subjects for 1 year, Journal of Sound and Vibration, Vol.250, No.1, pp75-82, 2002
25)横山慎太郎：生体内熱移動現象、北海道大学図書刊行会、1993
26)Moses, J. , Lubin, A., Naitoh, P. and Johnson, L. C.: Reliability of sleep measures. Psychophysiology, No.9, pp78-82, 1972
27)Muzet, A. , Naitoh, P., Townsend, R. E. and Jahonson, L. C.: Body movements during sleep as a predictor of stage change. Psych on Science ., Vol.29, pp7-10, 1972
28)高橋信介，白川修一郎，阿住一雄:連続 7 夜における体動の解析.脳波と筋電図、Vol.5、pp44-55、1977
29)Mikie Kusunoki : Body Movements During Sleep as an Indicator of Comfort, Japanese Journal of Hygiene, Vol.39, No.6, pp886-893, 1985
30)糸井川高穂，羽山広文，繪内正道，山岸浩：病室における睡眠時の対流式冷房に関する実験的研究、日本建築学会環境系論文集、Vol.73、No.631、pp1133-1138、2008.9
31)Kazue Okamoto-Mizuno, Yumiko Nagai and Sachiko Iizuka : The effect of ambient temperature change on the covered area of the body during sleep, J.Home Econ. Jpn, Vol.54, No.12, pp1025-1030、2003
32)川島庸、垣鍔直、井上義美：睡眠時の湿度条件が心理・生理反応に及ぼす影響に関する実験的研究、Symposium on Human-Environment System、pp203-206、2002
33)都築和代：夏季の冷房が高齢者と青年の睡眠と体温調節に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp469-470、2003

（2009年12月 5 日原稿受理，2010年 5 月13日採用決定）