

## 病室における睡眠時の対流式冷房に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTS OF CONVECTIVE AIR CONDITIONING SYSTEM  
DURING SLEEPS IN HOSPITALS糸井川 高穂\*<sup>1</sup>, 羽山 広文\*<sup>2</sup>, 絵内 正道\*<sup>3</sup>, 山岸 浩\*<sup>4</sup>*Takaho ITOIGAWA, Hirohumi HAYAMA, Masamichi ENAI  
and Hiroshi YAMAGISHI*

This study was designed to record some psychological and physiological responses to evaluate the effects of such responses by a convective air conditioning system in a hospital on the quality of sleep. Changes in skin temperature, degree of relaxation, movement in sleep and feeling of sleep were recorded. Results of skin temperature and autonomic nervous system showed sleep is composed 3 periods, 24:00~2:00, 2:00~5:00 and 2:00~5:00. During first period of 24:00~2:00, 26°C was found to be better than 28°C and 30°C. As for second and third periods of 2:00~7:00, 26~28°C is superior to 30°C for sleep in a hospital.

**Keywords** : hospital, psychological responses, physiological responses, control method

病室、心理反応、生理反応、制御方法

## 1. はじめに

人体が覚醒状態であるなら、暑く感じるときには木陰へ移動し、寒く感じるときには重ね着するなど、行動性体温調節により各自で各自が曝される温熱環境を微調整することができる。しかし、人体が睡眠状態である場合、無意識な人体が十分な行動性体温調節を行うことは難しい。また、睡眠が REM 期である場合、自律性体温調節の働きも弱く、体温は周辺の温熱環境の影響を受けやすくなる。つまり、睡眠時の人体の曝されている温熱環境への対応能力は、覚醒時の人体のそれより低く、その温熱環境が人体にとって不適切である場合、寒くて体調を崩すなどの生理的・心理的な負担が生じやすい。したがって、行動性体温調節への期待を含むような、覚醒状態の人体を対象とした冷房の設定室温や運転時間の制御は、睡眠状態の人体を対象とする場合、不適切な制御となる危険性があり、睡眠時の生理反応・心理反応に基づいた細かな制御が必要である。

このような視点に基づいた研究<sup>1)~11)</sup>は、多くの研究者により進められている。川島ら<sup>12),13)</sup>は2時間のみ冷房を行う間欠冷房と連続冷房を比較し、連続冷房の優位性を明らかにした。さらに、久保ら<sup>14)</sup>は睡眠時の体温変動を参考にした室温変動が、一定温度の連続冷房より快適であることを示した。また、糸井川ら<sup>15)</sup>は、自律神経の活動の変動に基づいた天井放射冷房の制御方法を提案した。

そこで、本研究では、皮膚温の他に自律神経系の活動の様子も参考にした室温変動など、睡眠に適した対流式冷房時の室温や運転時間の制御方法を提案することを目的とする。また、行動性体温調節

の対象となりやすい着衣やベッドの状態に、好みや個人差を反映させにくい病室での睡眠を想定した。本研究では健康な青年男女各2名を用い、生理反応として各部皮膚温、自律神経系の活動、体動を測定し、心理反応として起床時の睡眠感を測定する被験者実験を行った。

## 2. 研究計画

## 2-1. 設定条件

表1に実験の設定条件を示す。睡眠時に快適な温熱環境とされている室温 28°C、相対湿度 50%<sup>16)</sup>を参考に、26°C、28°C、30°C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 1500mm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

表1 実験の設定条件

控え室			実験室		
設定室温	相対湿度	冷房方式	設定室温	相対湿度	冷房方式
28[°C]	50[%]	対流式	26[°C]	50[%]	対流式
			28[°C]		
			30[°C]		

表2 最大熱負荷計算における設定条件

立地	東京	外壁の熱貫流率	0.92[W/m <sup>2</sup> °C]
室名	病室	内壁の熱貫流率	2.86[W/m <sup>2</sup> °C]
窓の方位	南	在室者	2[人]
床面積	12.05[m <sup>2</sup> ]	隙間風量	0.00[m <sup>3</sup> /h]
容積	30.38[m <sup>3</sup> ]	照明発熱量	10.00[W/m <sup>2</sup> ]
窓面積	19.20[m <sup>2</sup> ]	機器発熱量	175.00[W/m <sup>2</sup> ]
日射遮蔽係数	0.44[ND]	壁の	8.70[W/m <sup>2</sup> °C]
窓の熱貫流率	4.90[W/m <sup>2</sup> °C]	総合熱伝達率	

\*1 日立アプライアンス(株) 修士(工学)

\*2 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

\*3 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

\*4 (株)トヨックス

Hitachi Appliances, Inc., M. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

TOYOX CO., LTD.

ように、ファンコイルユニット（以下、FCU）への送水量を比例制御した。最大熱負荷計算法に基づき、冷房負荷を算出した。冷房負荷は設定室温 26℃の場合で約 470W、28℃の場合で約 430W、30℃の場合で約 400W となり、それらの負荷を壁放射パネルの表面温度をそれぞれ約 27.0℃、約 29.0℃、約 30.9℃とすることで発生させた。最大熱負荷計算に用いた想定条件<sup>17)~19)</sup>を表 2 に示す。

## 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、2005 年 10 月 3 日から 2005 年 10 月 31 日に実験を行った。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 5370.0mm、幅は 2864.0mm、病床部分の天井高さは 2600.0mm、出入口付近の天井高さは 2300.0mm、床面積は約 12.1m<sup>2</sup>、容積は 30.4m<sup>3</sup>であった。

対流式の冷房設備として、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 80.0mm、横 580.0mm 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。

図 1 の中で太線で示した壁放射パネルは、41.5mm の硬質ウレタンフォームと 15.0mm 間隔で配置した内径 2.3mm の配水管を、厚さ 0.4mm で滑らかな表面のカラー鉄板ではさんだ構造とした。壁表面温度が設定値となるよう、各放射パネルへの送水量を制御した。

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 30.0mm、横 1236.0mm 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. 実験スケジュール

実験のスケジュールを表 3 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、被験者に熱電対や心電図解析器を装着した。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。午前 7 時の起床直後に、被験者に仰臥姿勢を維持させたまま心理反応を申告させた。心理反応の申告の後、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。

## 2-4. 被験者

被験者の属性を表 4 に示す。健康な青年男女各 2 名を被験者とした。日本人を対象とした体表面積の算出式<sup>20)</sup>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<sup>21)</sup>を用いて着衣の熱抵抗を算出した。厚さ 200.0mm 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 400.0mm で、ベッド上面から天井までは 2200.0mm 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<sup>22)~24)</sup>した。また、被験者毎の形態係数<sup>25)</sup>が同じになるよう、被験者の就寝位置を設定した。図 4 に被験者と周囲の壁面の位置関係を示し、図 5 および表 5 に形態係数を示す。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<sup>26)</sup>に行った。なお、被験者には実験後に適切な報酬を支払った。

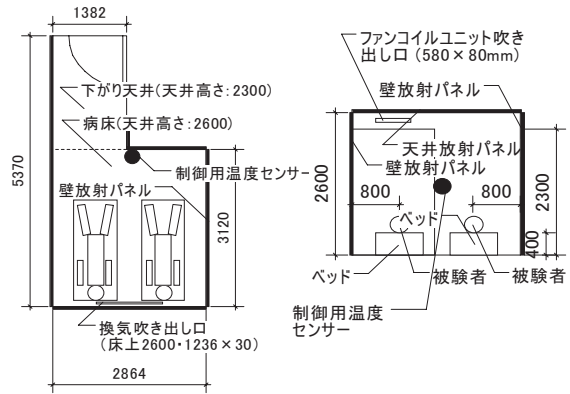


図 1 人工気候室平面図 図 2 人工気候室断面図  
(単位・mm)

表 3 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

表 4 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	1.83[m]	1.85[m]	1.52[m]	1.43[m]
体重	66.0[kg]	68.0[kg]	52.2[kg]	56.0[kg]
体表面積	1.9[m <sup>2</sup> ]	1.9[m <sup>2</sup> ]	1.5[m <sup>2</sup> ]	1.5[m <sup>2</sup> ]
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

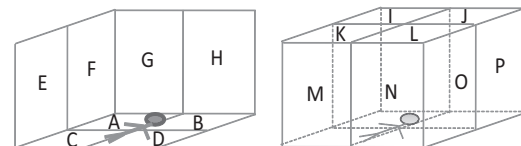


図 5 形態係数の算出点

表 5 形態係数

算出点	A	B	C	D
形態係数	0.070	0.090	0.068	0.107
算出点	E	F	G	H
形態係数	0.090	0.055	0.032	0.083
算出点	I	J	K	L
形態係数	0.010	0.025	0.018	0.045
算出点	M	N	O	P
形態係数	0.018	0.040	0.050	0.029

## 2-5. 測定項目

表6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300.0mm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。150.0mmφ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<sup>27)</sup>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。心拍変動の測定には、携帯型心電図解析器（日本光電富岡株式会社製 RAC-1202）を用いた。皮膚温をデータロガー（横河電機株式会社製 MV200）に30秒間隔で連続記録し、心拍変動を連続記録した。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、Actigraphy を測定した。

被験者の心理反応として、OSA 睡眠調査票 (MA 版)<sup>28)~31)</sup>を用い、主観的睡眠感を測定した。

## 3. 実験結果

### 3-1. 実験条件

表7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。 $T_a$  は設定条件の  $\pm 0.6^\circ\text{C}$  以内、RH は設定条件の  $\pm 3\%$  以内、V は  $0.15\text{m/s}$  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6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。図より、曝露される設定室温に関わらず、平均皮膚温は午前2時頃まで上昇し、その後午前5時頃まで下降し、午前5時頃から午前7時頃までほぼ一定の値となった。特に、午前2時頃から午前5時頃までは、設定室温が低いほど皮膚温の低下量も大きいことが分かった。本研究で得られたこのような皮膚温の経時変化の様子は、既往の研究成果<sup>26)32)33)</sup>と一致する。また、設定室温  $30^\circ\text{C}$  の場合、平均皮膚温の変動は、 $26^\circ\text{C}$  および  $28^\circ\text{C}$  の場合より緩やかであることが分かった。なお、午前2時まで設定室温  $30^\circ\text{C}$  の場合の平均皮膚温が、 $28^\circ\text{C}$  の場合の平均皮膚温より低いのは、 $30^\circ\text{C}$  の場合に掛け布団を掛けていなかった被験者がいたためである。

図7に、午後0時から午前7時までの各部皮膚温の平均値を被験

表6 測定項目

測定項目	測定機器	測定位置
室温	0.3mmφ T型熱電対	18点
気流速度	超音波風速計	床上400mm
グローブ温度	グローブ温度	床上400mm
相対湿度	湿度計	床上1200mm
絶対湿度	湿度センサー	床上1200mm
室内表面温度	0.3mmφ T型熱電対	天井7点、壁8点、床2点
皮膚温	0.3mmφ T型熱電対	H-D 7点
心拍変動	心電図解析器	-
Actigraphy	Actiwatch	利き腕と逆の手首
主観的睡眠感	OSA 睡眠調査票	-

表7 実験条件 (SD)

設定室温	26[°C]	28[°C]	30[°C]
$T_a$	25.4(0.4) [°C]	27.5(0.2) [°C]	30.1(0.2) [°C]
RH	52.7(1.2) [%]	50.1(1.0) [%]	47.6(4.3) [%]
$T_g$	26.1(0.1) [°C]	28.1(0.0) [°C]	30.1(0.2) [°C]
V	0.12(0.0) [m/s]	0.11(0.0) [m/s]	0.12(0.0) [m/s]
$T_w$	26.9(0.0) [°C]	29.0(0.0) [°C]	30.9(0.0) [°C]
$T_f$	21.1(0.5) [°C]	23.9(0.4) [°C]	28.1(0.5) [°C]
$V_f$	2.7(0.0) [m/s]	2.7(0.0) [m/s]	2.7(0.0) [m/s]
$T_v$	25.7(0.1) [°C]	28.2(0.1) [°C]	29.5(0.1) [°C]
$V_v$	1.4(0.0) [m/s]	1.4(0.0) [m/s]	1.4(0.0) [m/s]

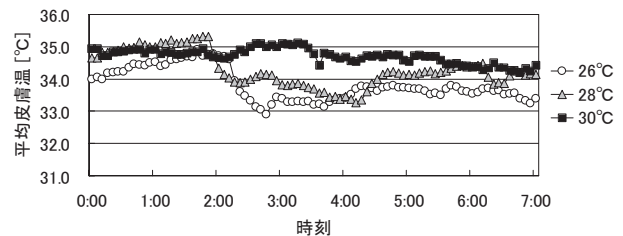


図6 平均皮膚温の経時変化

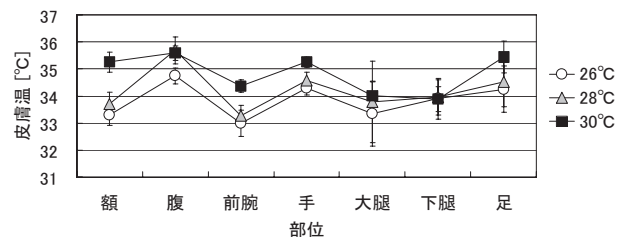


図7 各部皮膚温の平均値

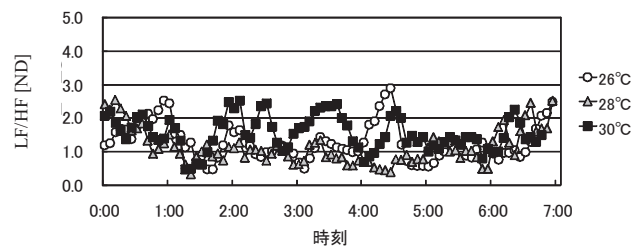


図8 交感神経の活動の経時変化

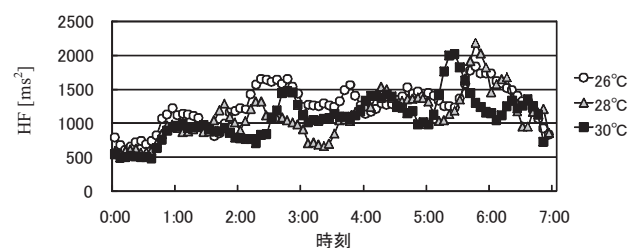


図9 迷走神経の活動の経時変化

者の平均値で示す。着衣や布団で覆われている腹、大腿および下腿の皮膚温は、設定室温に関わらず概ね一定の値となった。室内に皮膚が露出している額、及び末梢部である前腕、手、足の皮膚温は、設定室温 26℃および 28℃の場合で概ね等しい値となった。一方、30℃の設定室温に曝露した場合、それらの部位の皮膚温は、26℃および 28℃の場合の値より高くなった。

### 3-3. 自律神経

図 8 および図 9 に、心拍変動の高周波数成分のパワー (Power of the High-Frequency Component of Heart Rate Variability 以下、HF[ms<sup>2</sup>]) と心拍変動の低周波数成分のパワー (Power of the Low-Frequency Component of Heart Rate Variability 以下、LF[ms<sup>2</sup>]) の比 LF/HF の経時変化の様子および HF の経時変化の様子を被験者の平均値で 10 分間の移動平均で示す。心拍変動の周波数のうち、0.15~0.40Hz の高周波成分のパワーは HF、0.04~0.15Hz の低周波成分のパワーは LF と呼ばれ、LF/HF により交感神経の活動の様子を評価することができ、HF により迷走神経の活動の様子を評価することができる<sup>34)~37)</sup>。睡眠時においては、交感神経の活動が活発であると、眠気を抑制するホルモンの分泌が盛んになり眠りにくくなり、逆に迷走神経の活動が活発であると眠気を促進するホルモンの分泌が盛んになり眠りやすくなる。

図 8 より、交感神経の活動は、およそ午前 2 時頃まで低下し、その後午前 5 時頃まで一定の値で推移し、午前 5 時頃から午前 7 時頃まで上昇した。図 9 より、迷走神経の活動は、およそ午前 2 時頃まで上昇し、その後午前 5 時頃まで一定の値で推移し、午前 5 時頃から午前 7 時頃まで低下した。また、このような交感神経および迷走神経の時間的な変動の様子は、3 つの設定室温のいずれの場合も概ね同じ時刻に生じた。

### 3-4. 体動

図 10 および図 11 に、Actigraphy のうち、Actual Sleep および Total Activity Score、表 8 に入眠時刻および覚醒時刻を被験者平均で示す。Actual Sleep は、入眠から起床までの時間に占める、途中の覚醒時間を除く実際の睡眠時間の割合を示す。また、Total Activity Score は、入眠から起床までの間に Actiwatch が動いた回数を示す<sup>38)</sup>。なお、実験のスケジュールに従い入床するため、入床時間と睡眠時間の関係が稀薄となることを考慮し、Actigraphy から得られる成果のうち、算出に入床時間の申告値である Bed time が関係する Sleep efficiency および Sleep latency の結果は用いなかった。

図 10 および図 11 より、設定室温が高いほど、Actual Sleep は低くなり、Total Activity Score が高くなる傾向があることが分かった。有意差は認められないものの、設定室温が 26℃および 28℃の場合と比較し 30℃の場合の方が、睡眠時の体動が多いことが分かった。

### 3-5. 主観的睡眠感

図 12 に、主観的睡眠感を構成する因子 I (起床時眠気)、因子 II (入眠と睡眠維持)、因子 III (夢み)、因子 IV (疲労回復)、因子 V (睡眠時間) を被験者平均で示す。これら 5 つの因子は標準化得点で評価され、この値が大きいほど良好な睡眠であったことを意味する。

図 12 より、因子 III および因子 V において、設定室温 28℃とする制御で有意に高い得点を得た。また、設定室温 30℃とする制御で、

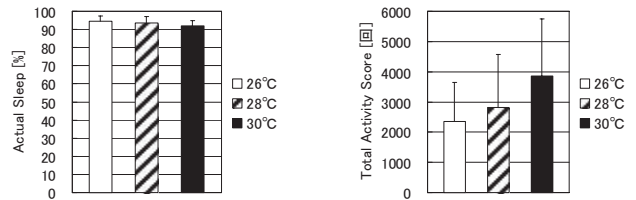


図 10 Actual Sleep

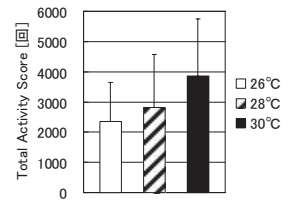


図 11 Total Activity Score

表 8 入眠時刻および覚醒時刻

設定室温	26[°C]	28[°C]	30[°C]
入眠時刻	0:21	0:11	0:31
覚醒時刻	6:46	6:54	6:48

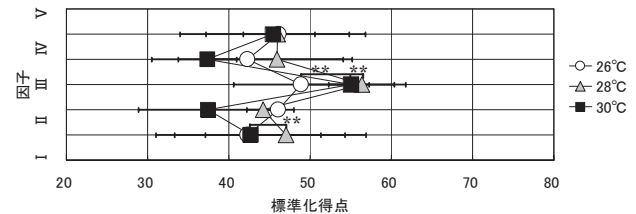


図 12 主観的睡眠感 (\*:P<0.05, \*\*:P<0.01)

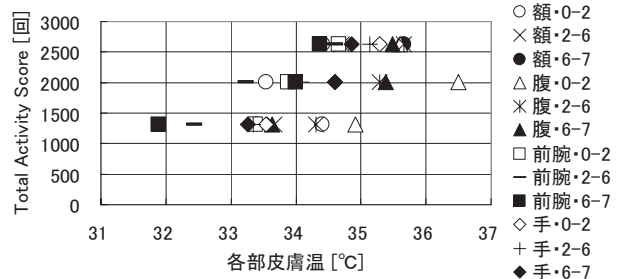


図 13 時間帯別に見た皮膚温と体動の関係

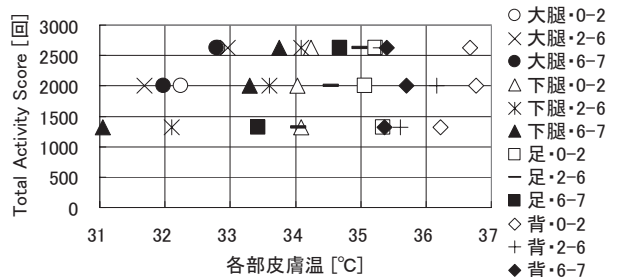


図 14 時間帯別に見た皮膚温と体動の関係

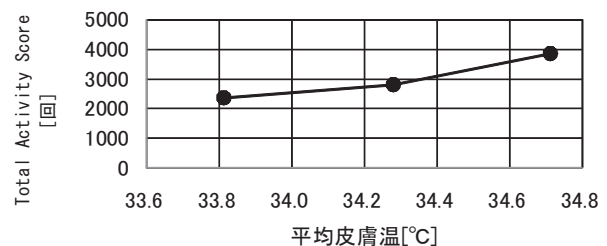


図 15 平均皮膚温と体動の関係

26℃~28℃とする場合より得点が低くなる傾向があることが分かった。

## 4. 考察

### 4-1. 時間帯別に見た皮膚温と体動の関係

図 6 で明らかにした平均皮膚温の変動する時刻と図 8 および図 9



で明らかにした自律神経系の活動の変動する時刻が同じであることから、睡眠時間を午後 0 時から午前 2 時、午前 2 時から午前 5 時、午前 5 時から午前 7 時の 3 つの時間帯に分け、それぞれの時間帯ごとに、各部皮膚温と Total Activity Score の関係を図 13 および図 14 に被験者平均にして示す。また、全体の傾向を検討するために、平均皮膚温と Total Activity Score の関係を、図 15 に示す。

図 13 および図 14 より、午前 2 時以降の時間帯では、末梢部である前腕、手、下腿、足の皮膚温が低いほど Total Activity Score が低く、特に前腕、下腿及び足では有意差を認めた。このことから、午前 2 時以降に末梢部の皮膚温が低くなるような環境での睡眠は、高い皮膚温を維持するような環境での睡眠に比べ、寝返りの回数が少なく寝心地が良い<sup>10)</sup>と考える。また、全体として平均皮膚温が高いほど、睡眠時の体動が多い傾向があることが分かった。

#### 4-2. 時間帯別に見た自律神経系

迷走神経および交感神経の活動の程度を、上述の 3 つの時間帯ごとに平均し、図 16 および図 17 に被験者平均で示す。図より、全ての時間帯で設定室温を 26℃とした場合に、迷走神経の活動は高くなる傾向があることが分かった。また、午後 0 時から午前 5 時の時間帯では設定室温を 28℃、午前 5 時から午前 7 時の時間帯では設定室温を 26℃とした場合に、その時間帯の交感神経の活動は低いことが分かった。

このことから、自律神経系に着目する場合、午後 0 時から午前 7 時まで、設定室温を 26~28℃とする温熱環境の方が、30℃とする場合より、就寝中のリラクスの程度が高いと考える。

#### 4-3. 時間帯別に見た皮膚温

図 6 と図 7 の比較から、設定室温 30℃の場合に平均皮膚温の低下量が小さいのは、額や足などの末梢部の皮膚温が高いことによると考える。このことから、皮膚温は曝露される温熱環境の変動をよく反映するという既往の研究成果<sup>14),39)</sup>を加味すると、特に午前 2 時以降の末梢部の皮膚温が低くなるような制御が、皮膚温の低下、深部体温の低下および深睡眠の増加につながると推測できよう。

#### 4-4. 睡眠に適した対流式冷房の制御方法

皮膚温、自律神経系の活動および Actigraphy の変動の様子や曝露される温熱環境との関係に、入眠初期の放熱の増加が深睡眠の増加につながることを示した既往の研究成果<sup>40)~42)</sup>を加味し、被験者周囲の気流速度が 0.15m/s 以下の静穏となるような病室での在室者の睡眠に適した対流式冷房の室温制御の方法として、午後 0 時から午前 2 時まで、設定室温を 26℃とし、午前 2 時から午前 7 時まで 26~28℃とすることを提案する。

### 5. まとめ

本研究では、自律神経の活動や起床時の睡眠感などの生理・心理反応に基づき、病室での睡眠に適した冷房設備の設定室温と運転時間の制御方法を提案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℃から 30℃の範囲内で行い、以下の知見を得た。

- ① 睡眠時の平均皮膚温の経時変化は、午後 0 時から午前 2 時までの上昇、午前 2 時から午前 5 時までの下降、午前 5 時から午前 7 時までの安定の 3 つの時間帯で構成される。
- ② 自律神経の活動の経時変化は、交感神経の場合、午後 0 時

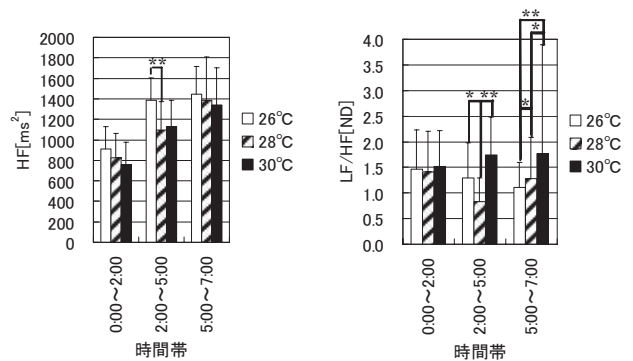


図 16 時間帯別に見た迷走神経 図 17 時間帯別に見た交感神経 (\*:P<0.05, \*\*:P<0.01) (\*:P<0.05, \*\*:P<0.01)

ら午前 2 時までの下降、午前 2 時から午前 5 時までの安定、午前 5 時から午前 7 時までの上昇で構成される。一方、迷走神経の場合、午後 0 時から午前 2 時までの上昇、午前 2 時から午前 5 時までの安定、午前 5 時から午前 7 時までの下降で構成される。

- ③ 腹や大腿などの非露出部分且つ体幹部の皮膚温は設定室温に関わらず概ね一定である。一方、露出部分である額や末梢部である手や足などの皮膚温は、設定室温 26℃および 28℃の下では概ね等しく、30℃の場合に高くなる。
- ④ 26℃から 30℃の設定室温の範囲内では、因子 III (夢み) および因子 V (睡眠時間) において、設定室温 28℃とする制御で有意に高い主観的睡眠感の得点を得た。また、設定室温を 30℃とする制御で、26℃~28℃とする場合より得点が低くなる傾向がある。
- ⑤ 設定室温が高いほど、Actual Sleep は低い。また、設定室温が高いほど、Total Activity Score は高い。
- ⑥ 午後 0 時から午前 2 時、午前 2 時から午前 5 時、午前 5 時から午前 7 時の 3 つの時間帯ごとの各部皮膚温の平均値と終夜の Total Activity Score の比較から、午前 2 時以降に末梢部の皮膚温が低くなるような環境での睡眠は、高い皮膚温を維持するような環境での睡眠に比べ、寝返りの回数が少なく寝心地が良い。
- ⑦ 26℃から 30℃の設定室温の範囲内では、午後 0 時から午前 5 時の時間帯では設定室温を 28℃、午前 5 時から午前 7 時の時間帯では設定室温を 26℃とした場合に、その時間帯の交感神経の活動は低いことが分かった。

以上の知見に入眠初期の放熱の増加が深睡眠の増加につながることを示した既往の研究成果を加味し、被験者周囲の気流速度が 0.15m/s 以下の静穏となるような病室での在室者の睡眠に適した対流式冷房の室温制御の方法として、午後 0 時から午前 2 時まで、設定室温を 26℃とし、午前 2 時から午前 7 時まで 26~28℃とすることを提案する。

### 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) 川島庸、垣鏑直、井上義美: 睡眠時の冷房条件が心理・生理反応に及ぼす影響に関する実験的研究 その 2. 室温を 28°C 一定とした時の湿度の違いの影響、日本建築学会学術講演梗概集、pp467-468、2003
- 2) 川島庸、垣鏑直: 夏期の睡眠時における気流曝露の影響に関する実験的研究、人間と生活環境、11(1)、pp25-30、2004
- 3) 川島庸、垣鏑直、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、The 26th Symposium on Human-Environment System、pp203-206、2002
- 4) 垣鏑直: 夏期における睡眠時の好みの冷房条件、日本建築学会学術講演梗概集、pp409-410、2007
- 5) 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、日本建築学会学術講演梗概集、pp469-470、2003
- 6) 都築和代、水野一枝、水野康、岩代達也: 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、The 25th Symposium on Human-Environment System、pp183-186、2001
- 7) 都築和代: 冬季の低温環境が睡眠時の体温および睡眠に及ぼす影響、日本建築学会学術講演梗概集、pp415-416、2007
- 8) 新井潤一郎、石渡貴之、吉川肖子、岡本誉士夫: 温熱環境制御による快眠誘導 睡眠中の環境温度の動的制御による「深部体温」、「睡眠深度」コントロール、日本生理人類学会誌、Vol.10 特別号(1)、pp24-25、2005
- 9) E. H. Haskell, J. W. Palca, J. M. Walker, R. J. Berger and H. C. Heller: The Effects of High and Low Ambient Temperatures on Human Sleep, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 51, pp495-501, 1981.9
- 10) Wolfgang Bischof, Thomas Lund Madsen, Jesper Clausen, Peter Lund Madsen and Gordon Wildschiodtz: Sleep and Bed Climate - Sleep and the Temperature Field of the Bed, Journal of Thermal Biology, Vol.18, No.5/6, pp393-398, 1993
- 11) Yutaka Tochihara, Tadakatsu Ohnaka, Yumiko Nagai, Tetsuo Tokuda and Yoshikatsu Kawashima, Journal of Thermal Biology, Vol.18, No.5/6, pp355-361, 1993
- 12) 川島庸、垣鏑直、井上義美: 睡眠時の冷房条件が心理・生理反応に及ぼす影響に関する実験的研究 その 1 間欠冷房と連続冷房の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp401-402、2002
- 13) 川島庸、垣鏑直: 夏期の睡眠における最適な冷房条件に関する実験的研究、人間と生活環境、11、pp17-23、2004
- 14) 久保博子、磯田憲生、清水克浩、杉崎智子、熊谷登、木野真由美: 夏期における室温変化が終夜睡眠時の人体におよぼす影響、28th Symposium on Human - environment System、pp173-176、2004
- 15) 糸井川高穂、羽山広文、繪内正道、菊田弘輝、山岸浩: 病室における睡眠時の天井放射冷房に関する実験的研究、人間と生活環境、13(2)、pp87-93、2006
- 16) 日本睡眠学会: 睡眠学ハンドブック、株式会社朝倉書店、1994
- 17) 空気調和・衛生工学会編: 設計用最大熱負荷計算法、丸善株式会社、1996
- 18) 渡辺要編: 建築計画原論Ⅱ、丸善株式会社、1965
- 19) 井上市市: 空気調和ハンドブック、丸善株式会社、1996
- 20) 蔵澄美仁、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、No.31(1)、pp5-29、1994
- 21) 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
- 22) 蔵澄美仁、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、第 585 号、pp19-26、2004
- 23) 蔵澄美仁、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、40(1)、pp3-13、2003
- 24) 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
- 25) 蔵澄美仁、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
- 26) 中山昭夫編: 温熱生理学、理工学社、1981
- 27) Hardy, J. D., DuBois, E. F.: The Technique of Measuring Radiation and Convection, Journal of Nutrition, No.15, pp461-475、1938
- 28) 山本由華吏、田中秀樹、高瀬美紀、山崎勝男、阿住一雄、白川修一郎: 1999: 中高年・高齢者を対象とした OSA 睡眠感調査票 (MA 版) の開発と標準化、脳と精神の医学、10、401/409
- 29) 山本由華吏、田中秀樹、前田素子、山崎勝男、白川修一郎: 2000: 眠感に影響を及ぼす性格特性—神経症的、外向性・内向性傾向についての検討—、健康心理学研究、13、13-22
- 30) 小栗貢、白川修一郎、阿住一雄: 睡眠感調査項目の統計的解析—とくに項目分析による質問項目の選択のための統計処理—、臨床精神医学、11、pp63-73、1982
- 31) 小栗貢、白川修一郎、阿住一雄: OSA 睡眠調査票の開発—睡眠感評定のための統計的尺度構成と標準化—、精神医学、27(7)、pp791-799、1985
- 32) 入來正躬編: 体温調節のしくみ、株式会社文光堂、1995
- 33) 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
- 34) 山下格: 情動の精神生理、金原出版株式会社、1978
- 35) 末松弘行: 心身医学、株式会社朝倉書店、1994
- 36) 井上博編: 循環器疾患と自律神経機能、株式会社医学書院、2001
- 37) 日本健康心理学会編: 健康心理学事典、実務教育出版、1997
- 38) Jennifer D. James: Actigraphy: A Key Choice, Sleep Review, Vol.4, No.2, pp14-17、2003
- 39) 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、37(3)、pp29、2000
- 40) 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
- 41) 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
- 42) Kazuo Okamoto-Mizuno, Kazuyo Tsuzuki, Koh Mizuno, Tatsuya Iwaki: Effects of Partial Humid Heat Exposure during Different Segments of Sleep on Human Sleep Stages and Body Temperature, Physiology and Behavior, 83, pp759-765, 2005

(2007年7月9日原稿受理、2008年5月22日採用決定)