

入眠後及び起床前に温湿度を変化させた時の睡眠の質に関する実験的研究

垣 鏐 直^{*1}^{*1}名城大学理工学部 教授・工博**Evaluation on sleep quality under dynamic thermal conditions
during sleep in summer**Naoshi KAKITSUBA^{*1}^{*1}Prof., Meijo university, School of Engineering, Dr.Eng (naoshi@ccmfs.meijo-u.ac.jp)

ABSTRACT: To evaluate the effect of dynamic thermal conditions on quality of sleep, four healthy male subjects volunteered for sleep experiments in August 2007. As opposed to the control condition where room temperature (Tr) and relative humidity (RH) were consistently controlled at 28°C and 60% during sleep, three different thermal conditions were tested. Tr was controlled to increase from 26°C to 28°C soon after sleep and decrease from 28°C to 27°C or 26°C before awake. RH was also controlled to increase from 50% to 60% soon after sleep. EEG, EOG and body movement during sleep were continuously recorded during sleep. Subjective evaluation on sleep was evaluated with the OSA sleeping questionnaire. The results demonstrated that the step changes in Tr of 26°C to 28°C after sleep may be most effective among the given conditions for improving quality of sleep.

Key Words: sleep, temperature, relative humidity, body movement, EEG, EOG

要旨: 睡眠中の温湿度を変化させる制御により睡眠の質が向上するか否かを確かめるために、昨年8月に4名の男子学生を対象に睡眠実験を実施した。コントロール条件として28°C/60%一定の条件を与え、3条件を評価した。比較条件では、入眠後に温度を26°C~28°Cにステップ的に上昇させ、起床前に28°C~27°C或いは26°Cにステップ的に低下させた。また、相対湿度も、入眠後に50%~60%に上昇させる条件を設定した。睡眠中の脳波、体動を連続測定し、入眠前と起床後にOSA睡眠調査票を用いて、主観的睡眠感を記録した。その結果、入眠後に室温を26°C~28°Cに上昇させる条件が睡眠の質を向上させる効果があることを確かめた。

1. はじめに

近年、夜間の最低気温が25°C以上になる熱帯夜が著しく増加し、夏期における夜間睡眠において、エアコンなしでは快適な睡眠を得ることが困難となってきた。しかし、利用方法が不適切なため、睡眠中における覚醒や過度な冷房による起床後の体調不良などの被害が多いことがこれまでのアンケート調査などで確かめられている(垣鏐, 2001)。

先行研究(川島ら, 2004)として、2001年~2003年の夏期に青年男子を対象とした被験者実験を実施し、心理・生理反応を比較検討した結果、一定制御では温度28°C、湿度60%の温湿度設定が心理・生理的に最も快適な睡眠が得られることを確かめている。しかしながら、サーカディアンリズムを考慮した場合、入眠後や起床前の温熱環境をダイナミックに制御する方法がより快適な睡眠環境を提供できると考えた。そこで、

本研究では、入眠時や起床時の温湿度をステップ変化させた時の効果を評価した。

2. 実験方法

健康な男子学生4名を被験者として、名城大学環境創造学科に設置されている人工気候室(幅: 2.2m×奥行: 2.4m, 天井高: 2.6m)を用いて、2007年の8月下旬~9月下旬に実施した。

実験当日は、被験者は21:30に前室に入室し、電極を装着した後に30°C/80%(非空調時を想定)に曝露された。その後、22:00に主室へ移動し、24:00に入眠(消灯)し、翌朝の7:00に起床した。シャワーと夕食は20:00時までに済ませてもらい、実験中の食事は厳禁とした。但し、水(500ml×1本)の摂取に限り、就寝30分前まで許可した。被験者の着衣条件は綿100%の半袖Tシャツとハーフパンツとし、寝具は綿シーツを

掛けたベッドとタオルケットのみとした。タオルケットは被験者に自由に使用させた。被験者資料を表1に実験のプロトコルを図1に示す。

先行研究の結果(川島ら, 2004)を参考に, 基準条件として28℃/60%をコントロール(条件1)とした。比較条件として, 入眠後と起床前の温湿度をステップ的に変化させる3条件を設定した。入眠時は体温の低下を促進するために室温を低めにすると効果があると考え, 3条件共に入眠時は室温を26℃に設定し, 1時間後に27℃, 2時間後に28℃にステップ的に上昇させた。相対湿度は, 入眠時の放熱を促進する効果を期待して, 入眠時は50%にし, 1時間後或いは2時間後に60%に上昇させた。さらに, 起床時に体温を低下させる目的で起床1時間前に室温を25℃或いは26℃に低下させた。図2に睡眠中の温湿度条件を示す。

脳波計 (EEG-1100, 日本光電工業)を用いて, 睡眠中の被験者の脳波, 眼球電図及び筋電図を連続測定した。睡眠段階は*Rechtschaffen and Kales*の睡眠段階判定マニュアル(*Rechtschaffen & Kales, 1968*)に従って判定し, 最終的に総就床時間, 入眠潜時, 総睡眠時間, 睡眠効率, 各睡眠段階出現率を求めた。

脳波測定と同時にアクティウォッチにより覚醒リズムも測定した。小型の照度計と加速度計, 記憶装置を内蔵した腕時計型の測定器アクティウォッチ (ITC Actiwatch light 198-0102-AM)を睡眠中に装着してもらい, 連続測定した。測定結果から, 寝つきのよさを示す睡眠潜時と中途覚醒時間などから睡眠の質を分析した。

Table 1 Subjects' physical characteristics

Subjects	Y.H	Y.K	T.K	T.H	Av.
Age	22	22	23	22	22.3±0.5
Height[cm]	177.2	169.0	181.5	179.2	176.7±5.4
Weight[kg]	54.0	57.8	64.0	57.1	58.2±4.2
A _p [m ²]	1.7	1.7	1.8	1.7	1.72±0.1
Average sleep duration[hr]	7.3	6.4	7.9	6.4	7.02±0.7
Average bed time	AM 1:45	AM 1:15	AM 1:18	AM 2:10	AM 1:37
Average wake-up time	AM 9:05	AM 7:40	AM 9:00	AM 8:25	AM 8:32

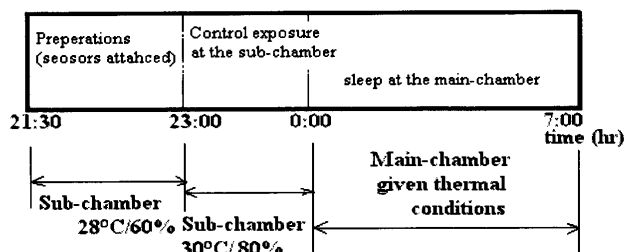


Fig.1 Experimental protocol

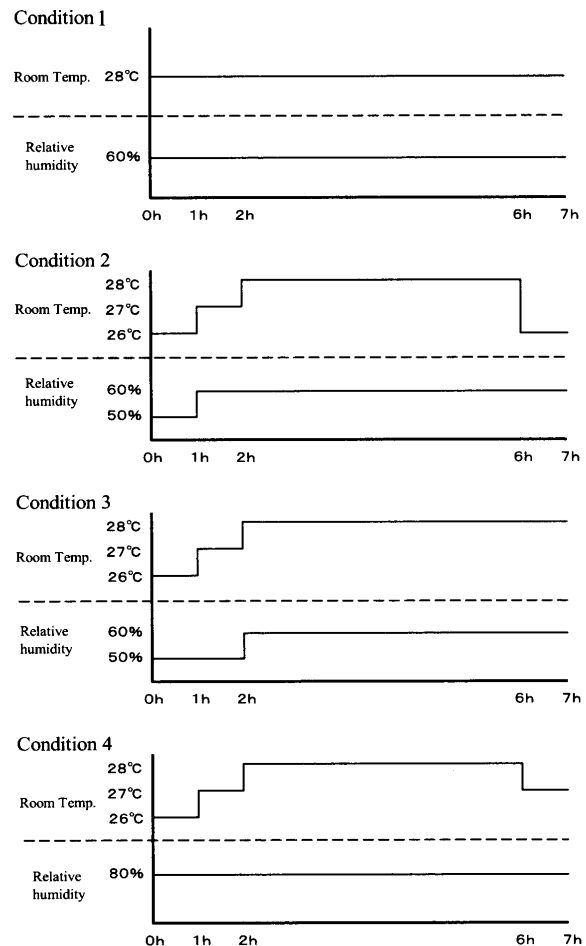


Fig.2 Experimental conditions

実験中の被験者の睡眠の質を評価するため, 就寝直前と起床直後にOSA睡眠調査票を記入してもらった。回答を分析し, 主観的睡眠感の5因子(眠気因子, 睡眠維持因子, 気がかり因子, 統合的睡眠因子, 入眠因子)の得点を算出した。

3. 結果及び考察

3.1 就寝直前と起床直後の体温, 心拍数, 血圧

各条件での就寝直前と起床直後の体温, 心拍数及び最高血圧, 最低血圧を比較した。一例として舌下温の結果を図3に示す。サーカディアンリズムを考慮すると, 入眠時と起床時の体温の差が大きい方が望ましいが, 結果を見ると, 期せずして条件1で体温の差が最も大きいことがわかる。他の条件においても, 一樣に入眠時より起床時の体温が低くなっているが, 条件間の差は見られなかった。

起床時の心拍数は, 入眠前の値と比較すると, 条件1と条件2で低く, 条件3で高く, 条件4では差が見られなかった。起床時の最高血圧は, 入眠前の値と比較すると, 条件1と条件2で低く, 条件3と条件4では高

かった。また、最低血圧は全ての条件で起床後の値が入眠前の値より低かった。これらの結果で判断すると、条件1よりも他の条件で睡眠の質が高かったとは言えない。

3.2 OSA睡眠調査票による心理反応評価

OSA睡眠調査票を用いて調査した主観的睡眠感の5因子の平均値と標準偏差を図4に示す。ねむけ因子においては条件3と条件4が高かった。また、睡眠維持因子及び総合的睡眠因子は条件4が最も高く、気がかり因子及び寝つきの因子は条件3が最も高かった。従って、主観的睡眠感で判断すると、条件3及び4が睡眠中における中途覚醒が少なく、起床後における眠気の訴えも少ないことがわかる。加えて、入眠後に室温を低温側から28℃にステップ変化させると円滑な入眠を誘引する効果が期待できるが、相対湿度を50%から60%に変化させても効果はあまり期待できないことが示唆された。

起床前の温度変化に関しては、条件2のねむけ因子の得点が条件1、条件3より有意 ($p < 0.05$) に低かったことから、むしろ起床前に室温を低下させるのは逆効果になることが示唆された。

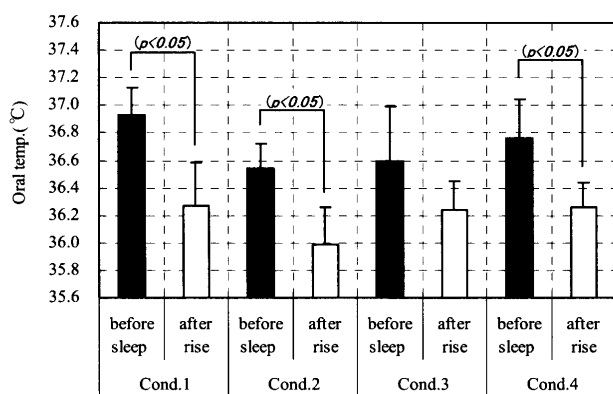


Fig.3 Difference in body temperature before sleep and after rise

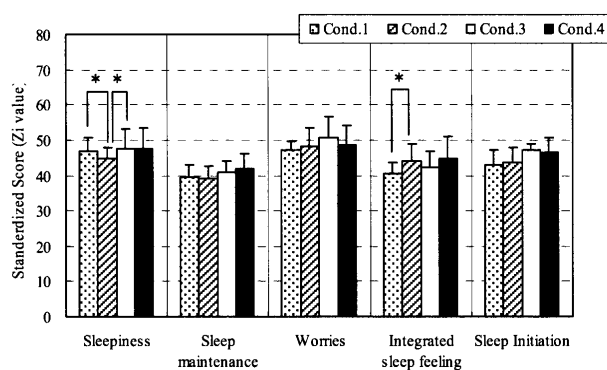


Fig. 4 Evaluation on subjective sleepiness with OSA scores at each condition

3.3 睡眠覚醒リズムの分析結果

アクティウォッチによる睡眠覚醒リズムの計測結果から睡眠潜時を分析した結果を図5に示す。睡眠潜時は短いほうが望ましい。条件1に比べると他の条件の睡眠潜時が短かった。また、条件4の睡眠潜時が最も短かったことから、入眠後に室温を変化させることの効果はある程度期待できるが、相対湿度を変化させてもあまり効果は期待できないことが示唆された。

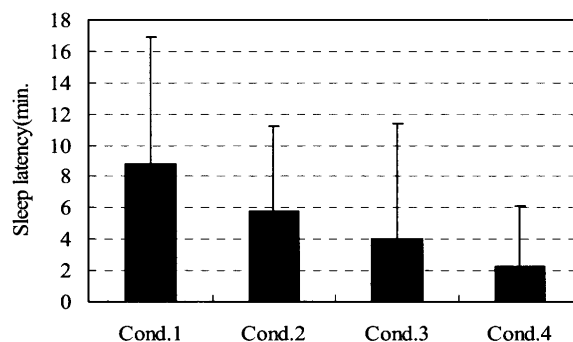


Fig. 5 Sleep latency at each condition

3.4 脳波分析の結果

各条件の睡眠段階の出現率の平均値と標準偏差のみを図6に示す。条件2で徐波睡眠 (SWS) とレム睡眠 (REM) の出現率が他の3条件よりも高かった。条件1でステージ2の出現率が条件2より有意 ($p < 0.05$) に高く、ステージ3の出現率は、条件1より条件4が、条件2より条件3と条件4が有意 ($p < 0.05$) に低かった。また、ステージ4では条件2が条件3より有意 ($p < 0.05$) に高く、MTでは条件1と条件2の間に有意差 ($p < 0.05$) 見られた。これらの結果を総合的に評価すると、他の条件よりも条件2で睡眠の質が高かったと言える。

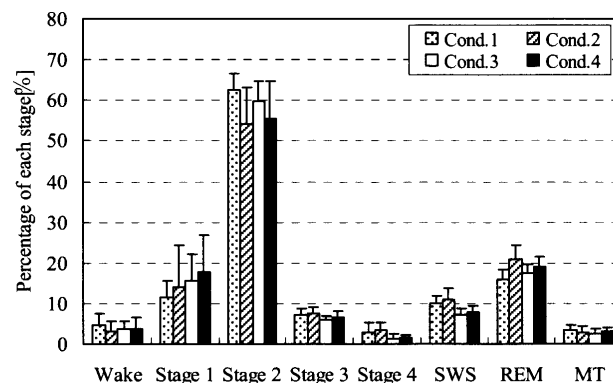


Fig.6 Percentages of sleep stages at each condition

各条件における睡眠効率を図7に示す。条件2は他の3条件に比べ睡眠効率が高いことがわかる。このことから、他の条件より条件2で質の良い睡眠が得られたと考えられる。また、条件1よりも3条件の睡眠効率が高かったことから、入眠後に温湿度をステップ変化させると効果があることが示唆された。

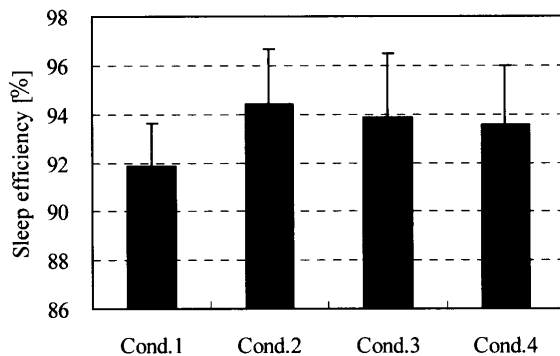


Fig. 7 Sleep efficiency at each condition

4. まとめ

OSA睡眠調査票を用いて調査した主観的睡眠感の総合的睡眠の因子と寝つきの因子は特に入眠時の心理を示しており、条件2と条件3で条件1よりも高い値が得られた。また、アクティウォッチによる覚醒リズムの結果から得た睡眠潜時を比較しても同様の結果が得られた。このことから、入眠時において室温をステップ変化させることで円滑な入眠を確保する効果があることを確かめた。

脳波分析では、睡眠効率が条件2で最も高い値を示したが、OSA睡眠調査票による心理評価では条件3及び条件4で中途覚醒が少なく、起床後における眠気も少ない結果を示した。つまり、心理・生理反応による評価が一致しなかった。原因としては、心理反応では起床直前の条件が大きく影響する傾向があるため、起床前に室温を2℃も低下させた条件2の評価が低くなったと考える。総合的睡眠の因子で条件2の値が高かったことを考慮すると、比較条件では条件2での睡眠の質が最も高かったと判断できる。また、睡眠ポリグラフの解析でも、条件2で徐波睡眠、REM睡眠の出現率が最も高かったことから、他の条件と比較して条件2で睡眠の質が高かったと判断できる。但し、条件2～条件4で全睡眠時間、入眠潜時、睡眠効率による評価が良かった。この点だけに注目すると、入眠後に室温だけでなく、相対湿度も変化させることは、ある程度睡眠の質を向上させる効果があると言える。

本実験では体温を経時的に測定しなかったが、一

定制御よりも入眠直後に温湿度を低下させると体温の低下を促進できたために、結果的に入眠潜時が短くなったと推測される。また、体動に関しては、28℃以下では湿度が高くなるほど体動が多くなると報告(今井ら, 1979)されているが、本実験では、残念ながら条件間で有意な差は確認できなかった。

以上の結果を総括すると、入眠時に室温を28℃より低い26℃前後に制御し、その後に28℃に上昇させる室温条件が睡眠の質を向上させる効果が期待できることを確かめた。但し、相対湿度に関しては、先行研究(川島, 2004)で指摘しているように60%前後の一定制御が好ましいと考える。

謝辞

本実験にご協力頂いた名城大学の理工学部環境創造学科の平成19年度卒業生の服部敏也君、加藤賀久君及び被験者の方々に感謝の意を表します。本研究は日立アプライアンス(株)の協力を得た。また、日比科学技術振興財団の研究助成を受けたことを明記する。

5. 文献

- 今井京子, 宮沢モリエ, 梁瀬度子, 花岡利昌, 1979: 夏期の睡眠環境の寝床気候・睡眠経過に及ぼす影響, 家政学研究, Vol26, No.1, pp.62-67
- 垣鏑直, 2001: 住宅における夏期のエアコン利用に関する実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.247-248
- 川島庸, 垣鏑直, 2004: 夏期の睡眠時の最適冷房環境に関する実験的研究, 人間-生活環境系会議雑誌人間と生活環境, vol.11, no.1: pp.17-23
- 川島庸, 垣鏑直, 2004: 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-生活環境系会議雑誌人間と生活環境, vol.11, no.1: pp.25-30
- Rechtschaffen, A., A. Kales, 1968: A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Public Health Service, Gov. Printing Office, Washington D.C.

連絡先)

垣鏑 直

〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
名城大学理工学部環境創造学科

Email: naoshi@ccmfs.meijo-u.ac.jp