

体温サーカディアンリズムを考慮した室温変化が 夏期終夜睡眠に及ぼす影響

後藤 和貴子¹⁾, 石田 明子²⁾, 久保 博子²⁾ 杉崎 智子³⁾

¹⁾奈良女子大学大学院 ²⁾奈良女子大学 ³⁾東芝キャリア株式会社

Effects of Thermal Environment on Changes in Circadian Rhythm of Rectal Temperature During Night Sleep in Summer

Wakiko GOTO¹⁾, Akiko ISHIDA²⁾, Hiroko KUBO²⁾, Satoko SUGISAKI³⁾

¹⁾ Graduate School of Human Life and Culture, Nara Women's University

²⁾ Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University ³⁾ Toshiba Carrier Corporation

Abstract: The close relationship between sleep and body temperature is well documented. In this study, we focused on circadian rhythm of rectal temperature and investigated physiological and psychological responses to changes in thermal environment during night sleep in summer. Seven healthy female college students participated in a sleep experiment in the climate chamber. Subjects slept for 8 hours under two environmental conditions. Condition 1: Ambient temperature was decreased to 2°C from 27°C over 1 hour, maintained for 2 hours, and subsequently increased to 3°C for 5 hours. Condition 2: Ambient temperature was increased from 2°C to 27°C over 1 hour, and maintained for 7 hours. Measurements included EEG, rectal temperature (Tre), skin temperature (Tsk), heart rate, and responses to the OSA sleep evaluation. Changes in ambient temperature influenced both Tsk and Tre. In addition, it was possible to assess the influence of ambient temperature on percentages of sleep stage during sleep and OSA evaluate sleep evaluation by sleepless, worries, integrated sleep feeling, and sleep initiation.

Key Words: sleep, ambient temperature, circadian rhythm, rectal temperature

要旨：睡眠と体温の間には密接な関係があることが知られている。本研究では深部体温の日内変動に着目し、体温のサーカディアンリズムを考慮した室温変化が睡眠中の人体に及ぼす影響について検討することを目的とした。夏期において青年女子7名を被験者とし、8時間の終夜睡眠実験を行った。実験は環境調節室において実施し、深部体温のサーカディアンリズムに即した「条件1; -2°C」(室温27°Cで実験を開始し、1時間かけて25°Cまで室温を下降させる。その状態を2時間保ち、その後5時間かけて28°Cまで室温を上昇させる)を設定した。比較として「条件2; +2°C」(室温27°Cから実験を開始し、1時間かけて29°Cまで室温を上昇させ、その状態を7時間保つ)を設定した。実験中は脳波や皮膚温、直腸温、心拍数を測定し、睡眠前後に環境や睡眠に関する心理評価を得た。結果：室温の変化は皮膚温だけでなく、深部体温にまで影響を及ぼした。さらに睡眠深度出現割合や起床時のOSA睡眠調査票の結果にまでその影響がみられ、眠気・気がかり・寝つき・統合的睡眠の各因子で有意差があり、条件1; -2°Cの方がよい睡眠感を得ていたことが明らかになった。以上の結果からサーカディアンリズムを考慮した室温環境下において睡眠をとることの有効性が示唆された。

キーワード：睡眠、室温、サーカディアンリズム、直腸温

1. はじめに

日本の夏期は高温多湿で、快適な温熱環境を実現するための手段としてエアコンによる室温制御が広く行

われている。しかし日中と同様に終夜連続使用した場合、冷えすぎて不快に感じる者も多く、より快適な室温制御が求められている。

一方、体温はサーカディアンリズムの制御化にあり、明暗サイクルなどの外的同調因子により約 24 時間のリズムを呈している。既往の研究(山本、1994)より睡眠のリズムもまた体温のリズムと一定の位相関係を有していることが明らかになっている。そこで本実験では直腸温と睡眠の関係に着目し、核心温の変化に合わせた環境が睡眠に与える影響について検討することを目的とする。

2. 方法

2-1 実験概要

実験概要を Table1 に、被験者の属性を Table2 に示す。あらかじめ選択気温実験(佐々、2000)を行い温熱的に中性な被験者を起用した。実験手順を Fig.1 に示す。実験は卵胞期に統一し、初日は検討に加えなかった。

2-2 環境条件

環境条件を Fig.2 に示す。睡眠は体温の下降期に始まり、上昇期に入ったところで覚醒するのが一般的パターンである。(山本、1994) 条件 1;「 -2°C 」はそのパターンに基づき条件を決定した。室温 27°C から実験を開始し、1 時間で 25°C まで室温を低下させる。そのまま 2 時間一定を保った後、5 時間かけて 28°C まで上昇させる。条件 2;「 $+2^{\circ}\text{C}$ 」既往の研究(宮原、2004)を基に、就床直前までエアコンを使用し、エアコンを切って就床した場合の室温変化を想定している。室温 27°C から実験を開始し、開始後 1 時間で 29°C まで室温を上昇させ、その後起床まで一定を保つ。室内の相対湿度は両条件とも 50~60% に設定した。

2-3 測定項目及び測定方法

終夜、脳波及び EEG/EMG を測定し、Rechtschaffen & Kales の睡眠段階判定基準(1968)に基づき、各睡眠段階に区分した。皮膚温、直腸温、心拍数、体動、寝床内温湿度(背部)、衣服内温湿度(胸部)は終夜連続測定を行い、測定間隔は 60 秒とした。皮膚温の測定部位は Hardy & DuBois の 7 点法(1968)に従い、平均皮膚温を算出した。また、睡眠前後に血圧・心拍数、舌下温、体重の測定を行った。心理的反応として起床時に OSA 睡眠調査(小栗ら、1985)などを実施した。

3. 結果

3-1 平均皮膚温

Fig.3 に平均皮膚温を 30 分間毎の平均値で示す。条件 2; $+2^{\circ}\text{C}$ においては就寝後すぐに皮膚温が上昇しているのに対し、条件 1; -2°C では一過性の上昇がみられるものの、180 分まで皮膚温が低下し、その後室温の上昇とともに皮膚温も上昇した。入床後 60~330 分に有意差が継続してみられ、いずれの条件においても環境温が大きく影響していたと考えられる。

Table 1 Outline of the experiments

Period	2005.8/2-9/6
Time	11 p.m.-7 a.m (8hour)
Location	Climete chamber at Nara Woman's University
Subject	7 female college students
Index	EEG, EOG, EMG, Skin temperature (forehead, abdomen, forearm, back of hand, thigh, shin and instep), Rectal temperature, Heart rate and Body movement
	Air temperature, Humidity, Clothing microclimate (chest), Bed microclimate
Before and After	Body weight, Blood pressure and pulse, Oral temperature, Subjective evaluation of condition, OSA sleep inventory (only after sleeping)
Bedding	Sheet (100% cotton), Feather pillow and blanket (100% cotton)
Clothing	wearing panties, half pants, and short-sleeve pajamas

Table 2
Subjects' physical characteristics
and preferred temperatures

Height (cm)	156.7 $\pm$ 3.7
Weight (kg)	48.6 $\pm$ 3.9
Preferred temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27.8 $\pm$ 0.8

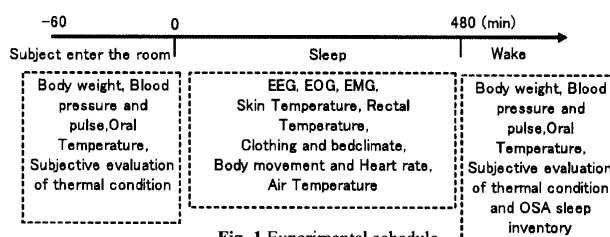


Fig. 1 Experimental schedule

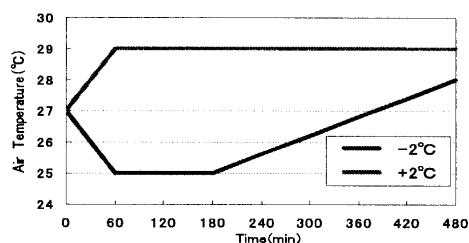


Fig. 2 Changes in air temperature

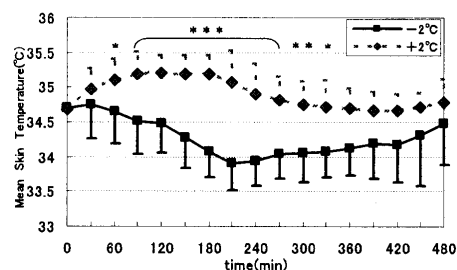


Fig. 3 Changes in mean skin temperature. (n=7)

3-2 直腸温

Fig.4 に実験開始時の温度を 0 とした直腸温降下度を 30 分間毎の平均で示す。両条件とも入床後に若干の下降が見られる。条件 1; -2°C では直腸温が 300 分まで下降し続けるのに対し、条件 2; $+2^{\circ}\text{C}$ では直腸温の下降が非常に小さいものであった。これは高い室温下で、皮膚からの放熱が阻害されたことにより、核心温の下降が起こりにくかったためと考えられる。さらに睡眠前半での下降が小さかったため、明け方の上昇はほとんどみられなかった。更に条件 1; -2°C において皮膚温は 210 分、直腸温は 300 分に最低値に達した。環境温は 60~180 分に低くなっていることから、環境温の変化に皮膚温は速やかに応答するのに対し、直腸温の変化には時間がかかることがわかった。

3-3 脳波

Fig.5 に終夜における各睡眠段階の出現率を、Fig.6,7 に Stage 2, Stage3+4 の出現率を 120 分毎に示す。W+M は Stage Wake と体動、REM は REM 睡眠の出現率を示す。終夜で比較すると条件間で各睡眠段階の出現率に有意な差はみられなかった。しかし 120 分毎に区切って比較した場合、入床後 120~240 分において、条件 1; -2°C の Stage2 の出現割合が有意に少なく、Stage3+4 の出現割合が有意に高くなっていた。入床後 120~240 分は、環境温が最も異なっていた時間帯である。

また、明け方の入床後 360~480 分には条件 2; $+2^{\circ}\text{C}$ において Stage3+4 の出現割合が有意に高くなった。これは前半に不足した深睡眠を補うための反応であると考えられる。

3-4 OSA 睡眠調査票

Fig.8 に OSA 睡眠調査票値の結果を示す。この調査票は起床時の睡眠感を評価するために小栗ら(1985)によって開発されたものである。

因子ごとにみると、両条件とも睡眠維持の因子の値が低くなっていたが、慣れない環境において測定機器類を装着しての睡眠であったことを考えればこの結果は当然ともいえる。しかし眠気、統合的睡眠、気がかり、寝つきの各因子において条件 1; -2°C が有意に高い値をとっており、かなり良い睡眠感が得られたことがわかった。

4. 室温変化が睡眠へ及ぼす影響の検討

4-1 方法

本実験と同様に体温と睡眠の関係に着目した環境下において睡眠をとる実験が久保ら(2004)により行われている。本実験の結果との比較を行い、室温変化が睡眠へ及ぼす影響を検討する。被験者の属性を Table3 に、環境条件を Fig.9 に示す。

Table 3 Subjects' physical characteristics and preferred temperatures

	2003	2005
Height (cm)	155.7 $\pm$ 5.0	156.7 $\pm$ 3.7
Weight (kg)	49.0 $\pm$ 2.7	48.6 $\pm$ 3.9
Preferred temperature ($^{\circ}\text{C}$)	26.7 $\pm$ 1.4	27.8 $\pm$ 0.8

被験者は予め好みの気温を選択する選択気温実験(佐々、2000)を行い、その気温を基準として環境条件を決定した。条件 3; -1°C は選択気温から実験を開始し、1 時間で 1°C 低下した後、1 時間平衡を保つ。その後 6 時間かけて選択気温より 1°C 高い温度まで上昇させる。条件 4; constant は選択気温から実験を開始し、終夜一定の温度を保った。相対湿度は 50~60% に設定した。実験手順、測定項目及び測定方法は本実験と同様であったため、ここでは省略する。

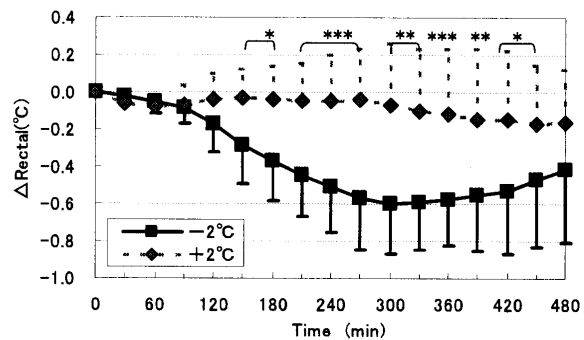


Fig. 4 The decrease in rectal temperature. (n=7)

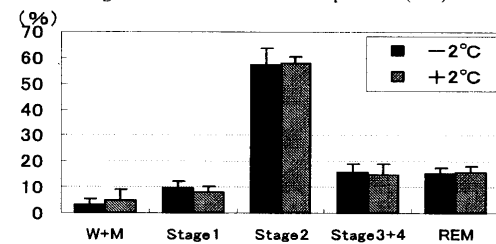


Fig. 5 Percentages of each sleep stage during sleep (n=7)

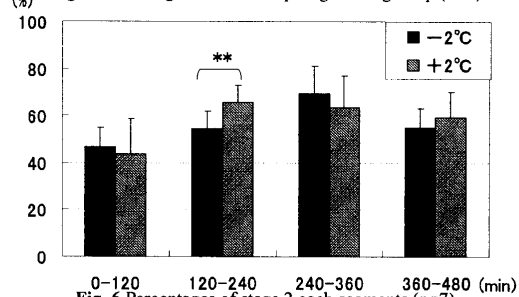


Fig. 6 Percentages of stage 2 each segments (n=7)

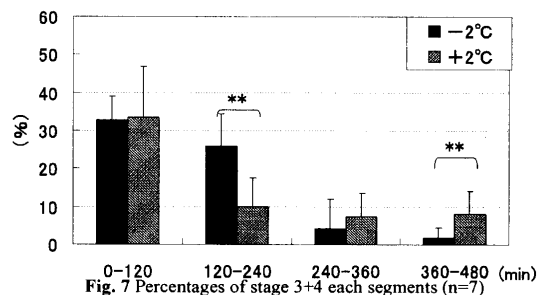


Fig. 7 Percentages of stage 3+4 each segments (n=7)

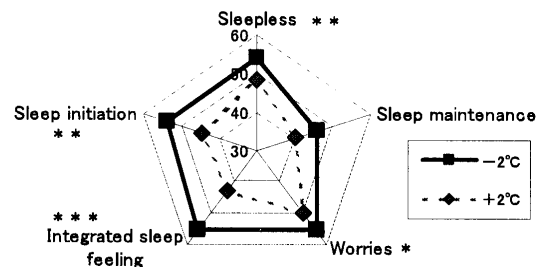


Fig. 8 OSA sleep inventory. Values are means. (n=7)

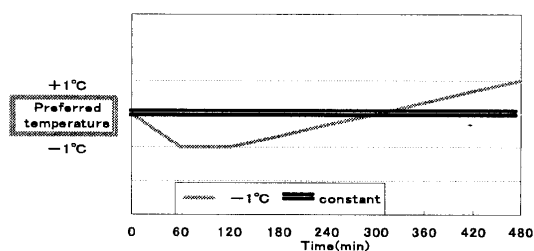


Fig. 9 Changes in air temperature (2003&2005)

4-2 結果

(1) 脳波

終夜における各睡眠段階の出現率は、本実験同様、条件間に有意差はみられなかった。

(2) 直腸温

Fig.10 に直腸温の降下度を 30 分ごとに示す。条件 2;+2℃を除き、いずれの条件でも直腸温の下降が起っていたが、降下度は-2℃>-1℃>constant の順になっており、環境の変化が大きいほど大きくなっていた。このことから、環境温の変化が核心温にまで大きく影響したと考えられる。

また、条件 1;-2℃と条件 3;-1℃は明け方にかけて直腸温の上昇が見られるのに対し、条件 2;+2℃と条件 4;constant は直腸温の上昇がほとんどみられない。以上の結果から、明け方にかけて室温が上昇する条件では、直腸温の上昇を促す効果があったと考えられる。

(3) OSA 睡眠調査票

Fig.11 に OSA 睡眠調査表値を示す。

眠気、気かきの因子については条件 1;-2℃と条件 4;constant の間にのみ有意差が認められた。睡眠維持の因子については条件 2;+2℃、条件 4;constant と条件 1;-2℃の間に有意差が認められ、条件 1;-2℃の室温変化は中途覚醒が生じにくく、睡眠がより強固に維持されていたことがわかった。また眠気の因子は条件 1;-2℃と他の 3 条件との間に有意な差が生じており、条件 1;-2℃において朝の覚醒度が高かったと考えられる。

5. まとめ

本研究は体温と睡眠の關係に着目し、核心温の変化に合わせた環境下において睡眠をとった場合の生理・心理反応を明らかにすることを目的とし、実験を行った。

体温のサーカディアンリズムに即した温熱環境下で睡眠をとることにより、睡眠中の体温をより自然なサーカディアンリズムの変化に近づけることができた。また、環境温の変化が皮膚温だけでなく直腸温の変化も促し、起床時の睡眠評価において高得点を得た。

以上の結果より、体温のサーカディアンリズムに即した温熱環境で睡眠をとることにより、睡眠への導入、維持、覚醒をよりよいものとする可能性が示唆された。しかし、室温変化のパターンが少なく、室温の低下度や持続時間などの要因についての検討が不十分であることに加え、本実験では温熱的に中性な被験者を起用したため個人差についての考慮がなされていないことから、今後更に例数を増やし検討を重ねる必要がある。

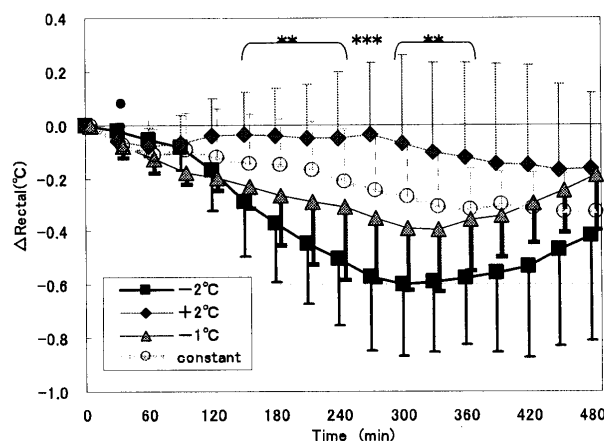


Fig. 10 The decrease in rectal temperature. (n=7)

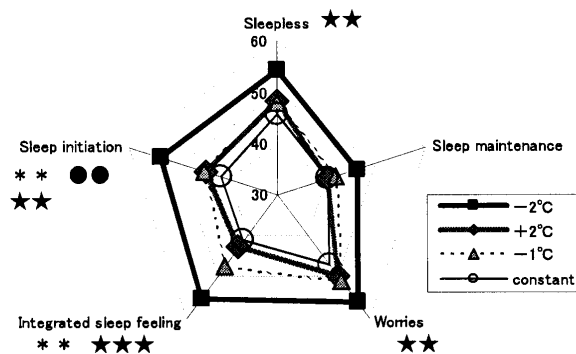


Fig. 11 OSA sleep inventory. Values are means. (n=7)

*=p<0.1 **=p<0.05 ***=p<0.01

* = Condition1;-2℃—condition2;+2℃

● = Condition1;-2℃—condition3;-1℃

★ = Condition1;-2℃—condition4;constant

6. 文献

J.D. Hardy et al. (1968): The technique of measuring radiation and convection, Journal of nutrition, 14, 461-475.

久保ら(2004):夏期における室温変化が終夜睡眠時の人体に及ぼす影響, HES28, 173-176

宮原律子、久保博子(2004):夏期における睡眠時の寝室温熱環境の実態調査第 26 回日本家政学会要旨集

小栗貢(1985):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, 791/799

Rechtschaffen A, Kales A. (1968): A manual of standardized terminology, technique and scoring system for sleep stages of human subjects. Public Health Service, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

佐々尚美(2000):夏期に好まれる気温の個人差に関する研究, 日本建築学会計画系論文集第 531 号, 31-35

山本光彦(1994):6 体温と睡眠調節, 睡眠学ハンドブック, 日本睡眠学会(編), 朝倉書店, 153

謝辞 実験に協力していただきました被験者の方々に感謝の意を表します。

<連絡先>

後藤 和貴子

奈良県奈良市北魚屋東町 奈良女子大学 E棟 552

奈良女子大学大学院 人間文化研究科

wakiko_g@hotmail.com