

遠赤外線加温による睡眠潜時の短縮

Latency of sleep is reduced by far-infrared warming

市村孝雄¹⁾、貞野友里恵²⁾、中山薫³⁾、福田由貴⁴⁾、札幌翔子⁵⁾
Takao ICHIMURA¹⁾, Yurie SADANO²⁾, Kaoru NAKAYAMA³⁾,
Yuki FUKUDA⁴⁾, Shoko FUDAMOTO⁵⁾

Abstract

The latency of sleep was examined in subjects under different levels of far-infrared irradiation. Subjects were laid on the bed equipped with a far-infrared radiator board and a heat regulator. Electroencephalogram (EEG) was recorded from subjects exposed to irradiation of low level (group 1) or of higher level (group 2), and EEG recordings were analyzed to determine the average latency of the stage 1 and the stage 2 sleep in each group. The average latency of the stage 1 sleep was 15min in the 1st group, and 8min in the 2nd group. The average latency of the stage 2 sleep was 18min in the 1st group, and 12min in the 2nd group. The results may suggest that the higher level of far-infrared irradiation significantly stimulated the peripheral blood flow in the subjects followed by a reflex cooling of the brain circulation, thus reduced awake level and latency of stage 1 and stage 2 sleep in the subjects.

Key Words: sleep, sleep latency, far-infrared ray, EEG

抄録

多様な熱源から放射される赤外領域輻射線の遠隔温熱作用が入眠を促す効果について実証的に検証することを目的として、寝具と寝台の物理的溫度管理を行った睡眠環境において健常な任意被験者の入眠過程を解析した。

寝台は、電熱加温した遠赤外線源を敷き詰めた上に薄い寝具を重ね、事前に寝具内溫度を31℃にセットして被験者を入床させ、手足末梢の溫度と心電図をモニターしつつ、背景脳波を60～90分間連続記録した。記録した脳波のスペクトル解析を行い、8～13Hz帯域（アルファ波）の時間変動と睡眠段階の特徴波を尺度として30秒ごとの睡眠深度と入眠の経過を調べた。対照には、寝台を事前加温しない25℃の一定室温環境を設定した。

脳波記録の上でアルファ波が占める時間割合が50%以下に減衰するまでの時間によって睡眠ステージ1に達するまでの入眠時間を判定した結果、事前加温しない場合には平均15分であったが、事前加温した場合には平均8分であった。さらに、睡眠ステージ2に達するまでの所要時間は、事前加温の有無でそれぞれ12分、18分となった。ステージ1ステージ2ともに、事前加温によって到達所要時間（睡眠潜時）は短縮し、その差は統計的に有意（1%水準）であった。

被験者には、減衰しつつ持続する遠赤外線加温を受ける条件下で身体末梢からの熱放散が起こり、冷やされた静脈還流によって深部体温が下げられた結果、睡眠が誘導されたとする考えを、近年の関連研究と比較検討した。

キーワード 睡眠、入眠潜時、遠赤外線、脳波

¹⁾ 山口県立大学名誉教授 Professor Emeritus, Yamaguchi Prefectural University

²⁾ 徳山中央病院 Tokuyama Central Hospital

³⁾ 山口大学医学部附属病院 Yamaguchi University Hospital

⁴⁾ 光市保健所 Hikari City General Center for Social Welfare

⁵⁾ 済生会下関病院 Yamaguchi-ken Saiseikai Shimonoseki General Hospital

緒言

近年、運動、入浴、暖房、栄養剤（グリシン）、ホルモン剤（メラトニン）など、睡眠の質を向上させる環境条件がさまざまな視点から論じられている。日中の運動は総睡眠時間と深睡眠時間を増加させてレム睡眠潜時を短縮するとする報告がある¹⁾。就寝前の入浴による入眠過程の改善^{2),3)}、あるいは、足部温水浴が睡眠に与える影響^{4),5),6)}を検討した研究がある。寝具の快適さの心理的な評価が睡眠に与える影響について検討した報告⁷⁾がある。また、寝具の温度特性、あるいは、寝室の温度環境と睡眠過程の関係を検討した多くの研究がある^{8),9),10),11)}。これらの先行研究において、体温と環境温度と入眠過程の関係については検討されているが、就寝時に直接身体に触れる睡眠環境となる寝具と寝台の物理的溫度管理と睡眠の質との関係については、未だ十分に理解されたとはいえない。また、多様な熱源から放射される赤外領域輻射線の遠隔温熱作用が寝具とそれに包まれた身体を温めることによって入眠を促す効果があることが経験的には知られているが、実証的な研究は十分ではない。

一方、疼痛緩和の目的で臨床的に応用される赤外線照射の生体作用について、末梢神経に対する興奮伝導の促進あるいは抑制の作用、組織の微小循環における細動脈の血管径と血流速に対する影響、血管内皮の機能あるいは酸化ストレスの緩和、星状神経節照射による神経節ブロック様の作用など、赤外領域輻射線の遠隔温熱作用の基礎的な研究ならびに臨床応用の事例が多数報告されている^{12),13),14),15),16)}。

これらの報告によれば、赤外線照射の作用には、皮膚温度受容器刺激による血管平滑筋の反射活性化、皮膚温度受容器刺激による局所脊髄反射の活性化、ブラジキニン、一酸化窒素など血管作動性メディエーターによる平滑筋弛緩、交感神経活動抑制による局所血管の平滑筋弛緩、末梢血流の増加、熱放散の増大などが認められている。神経筋への作用では、神経伝導速度と発火率の変化による筋弛緩、痛覚伝達の抑制的脊髄ゲートコントロールによる痛覚閾値上昇、 α 運動ニューロンの温度上昇による筋力の一時的低下などがある。代謝への影響では、酵素反応速度上昇による代謝率の上昇、酸素ヘモグロビン解離曲線右方シフトによる酸素放出の増加がある。組織伸展性の変化には、組織コラーゲン線維の構造変化・粘弾性変化による軟部組織の伸展性向上が知られている¹⁷⁾。

N産業（株）は、低レベル遠赤外線の温熱作用によって入眠過程を改善する目的で、寝台の床面直下に遠赤

外線輻射効率の高い鉱石を粉碎成型した放射板を敷設し、放射板を底面から加温することによって遠赤外線を増強し、その作用で寝具と身体末梢を温める寝台を開発した。筆者らは、この寝台を用いて寝台と寝具内の温度・湿度をモニターしつつ、手足末梢の温度、脳波と心電図を記録し、睡眠時の寝具内温度と入眠の経過ならびに睡眠深度との関係を調べた。

その結果、放射板の加熱によって増強された遠赤外線が寝台・寝具とそこに眠る被験者の身体表層を加温する結果、フィードバック制御による深部体温低下が誘導されて睡眠ステージ1の入眠潜時ならびに睡眠ステージ2の潜時を有意に短縮する効果が認められた。

脳波記録の上でアルファ波が占める時間割合が50%以下に減衰するまでの時間によって入眠時間を判定した結果、事前加温しない場合には平均15分であったが、事前加温した場合には平均8分に短縮した。

方法

測定は、2008年8月から2009年7月にかけて、山口県立大学において実施した。床面と壁面に電磁気遮蔽を施し、暗幕で遮光した静穏な測定室に試験用寝台を設置し、室温を25℃に保って実施した。

被験者には、自発的に参加する18-25才の女子学生から、測定前24時間以内に飲酒、激しい運動、薬の服用が無く、発熱のない16名を採用した。

寝台は、木製枠に木製床材を張り、住宅設置型電熱床暖房パネルヒーター（ツツミPTC床暖房システム）、遠赤外線放射板（5種の鉱石粉末を板状に成形）、薄畳（厚さ15mm）、敷き布団（5mm）の順に敷き重ね、その上に被験者を仰臥位で就寝させ、薄い羽毛の掛け布団で覆った。

入床前90分間、電熱ヒーターに通電して遠赤外線放射板を加温し、表面温度を47℃とするパネルヒーターの温度設定によって、寝具（敷き布団）の内部を31℃に保った。90分間の加温の後、電熱ヒーターを遮断し、被験者を臥床させて脳波と心電図の記録電極を装着し直ちに安静閉眼を指示し、記録を開始した。

遠赤外線源を電熱加温する場合は、被験者を入床させる際の寝具内温度を熱的中性域に設定した後は電熱源を絶って遠赤外線放射を減衰させることで被験者の安全に配慮した。

脳波のアナログ信号をAD変換の後BIMUTAS社VITAL RECORDERを用いて卓上コンピュータに取り込み、記録終了後にBIMUTAS社BIMUTAS ANALYZERを用いてスペクトル解析を行った。脳波

記録は60秒ごとに周波数帯域ごと含有率を求め、時間変動を調べた。心電図記録は、睡眠中の被験者の状態をモニターする目的でのみ使用した¹⁸⁾。

入眠からステージ1までの到達時間すなわち入眠潜時を判定するには、8 Hz ~ 13 Hz帯 α 波の時間占有率を自動計測して50%以下となるまでの所要時間を入眠潜時とした。ステージ2、ステージ3、ステージ4、およびレム睡眠の潜時を判定するには、それぞれ、K複合波の出現、2 Hz以下75 μ V以上のデルタ波の出現率20 ~ 50%、同デルタ波の出現率50 ~ 100%、眼電図所見とステージ1同様の脳波所見によって用事で行った。

睡眠ステージ1, 2の潜時について事前加温の有無2群間の有意差を検定するには標準的なt-検定を行った。

結果

1 寝台の温度特性

寝台は、遠赤外線放射板から放射される遠赤外線によって下から温められる構造をもつことから、遠赤外線放射強度を決定する放射板表面の温度と被験者に触れる寝具の温度との差を明らかにするために、被験者の入床しない状態で、その温度特性を計測した。

パネルヒーターの上に配置した遠赤外線放射板の表面温度を室温25°Cの測定室環境において測定した結果、加温開始90分後に、あらかじめ設定した47°Cに到達した(図1)。頭頸部に当たる位置は入眠を妨げる温度上昇をさける目的で熱源を除いた¹⁸⁾。寝台上面を覆う畳の表面と寝具(布団)の内部は、同様に加温開

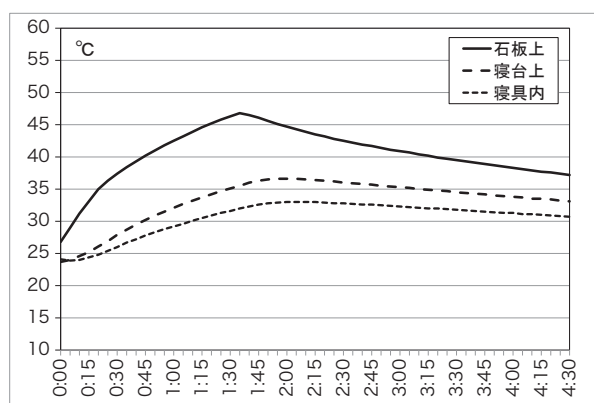


図1 室温25°Cの測定環境で計測した遠赤外線放射板の表面温度(石板上)、寝台上面の温度(寝台上)、敷き布団上面の温度(寝具内)。放射板を加熱するパネルヒーターに通電した90分間、それに続く切断後180分間の時間経過を示す。

始90分後にそれぞれ35°C、31°Cに達した(図1)。

電熱源を切断して90分後に、放射板表面温度は6°C低下し41°Cに下がった。この間、寝具(布団)の内部温度は 32 ± 1 °Cに留まった(図1)。

2 睡眠時の脳波変動

測定開始前に90分間、電熱源に通電して寝台・寝具を加温、あるいは加温せず室温に維持した後に被験者を60 ~ 90分間就寝させ、脳波の連続記録をとって周波数解析を行った結果、睡眠ステージ1およびステージ2の睡眠を確認した8例および事前加温を加えなかった対照8例から、事前加温による入眠時間(入眠潜時)の明らかな短縮を認めた。

脳波記録の上でアルファ波が占める時間割合が50%以下に減衰するまでの時間によって入眠時間を判定した結果、事前加温しない場合には平均15分であったが、

	加温・非加温	潜時(分)								平均	分散
		2	6	7	7	8	9	9	15		
ステージ1	事前加温	2	6	7	7	8	9	9	15	7.9	3.6
	非加温	9	10	10	15	15	18	19	23	14.9	5
ステージ2	事前加温	3	8	9	11	13	13	18	20	11.9	5.5
	非加温	13	15	16	17	17	19	22	25	18	3.9

表1 睡眠ステージ1(8例)と睡眠ステージ2(8例)の潜時(分)。ステージ毎に事前加温の場合(上段)と非加温の場合(下段)を示す。それぞれの場合について、潜時(分)の平均と分散(標準偏差)を示す。

事前加温した場合には平均8分に短縮した(表1)。

各々8例の潜時の分布は図2aのとおりであった。t-検定では1%水準で有意差が認められた。平均・分散を計算して正規分布ガウス曲線で近似すると、入

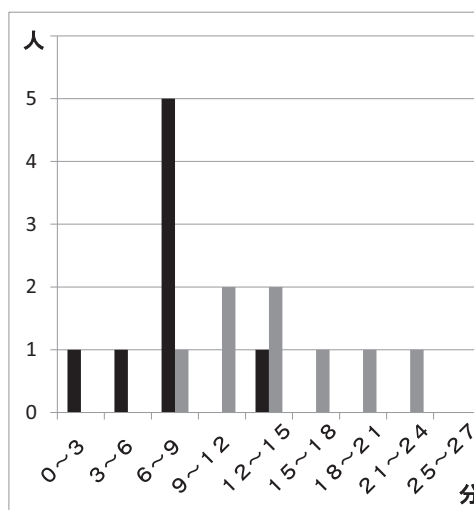


図2a 睡眠ステージ1の潜時(分)の分布を、事前加温の場合(黒)と事前非加温の場合(灰)それぞれ8例について示す。

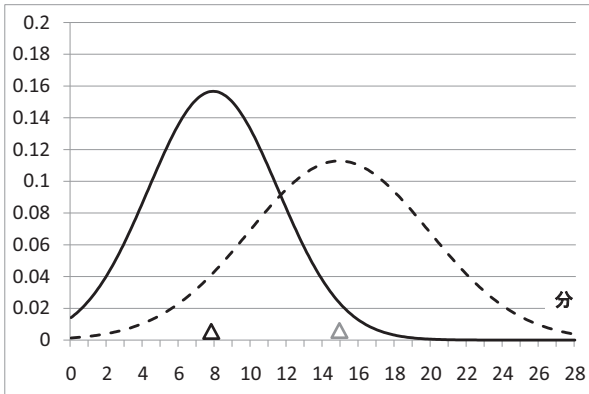


図2b 睡眠ステージ1の潜時(分)の分布(図2a)と同一のパラメーター(平均と分散(標準偏差))をもつ正規分布曲線。事前加温の場合(黒、実線)と事前非加温の場合(灰、破線)の分布を近似して、統計的有意さを視覚化した。

眠時間短縮効果が明瞭であった(図2b)。

同様に、睡眠ステージ2に達するまでの所要時間を脳波記録から判読すると、事前加温の有無でそれぞれ12分、18分となった(表1)。各々8例の潜時の分布は図3aのとおりであった。t-検定では1%水準で有意差が認められた。正規分布ガウス曲線で近似すると、到達時間短縮効果が明らかであった(図3b)。

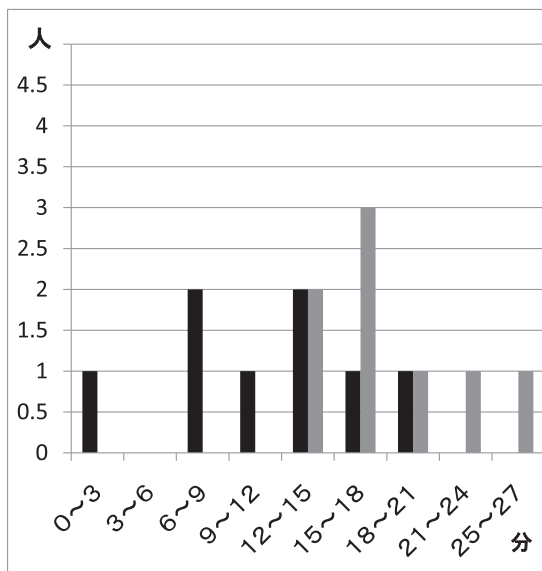


図3a 睡眠ステージ2の潜時(分)の分布を、事前加温の場合(黒)と事前非加温の場合(灰)それぞれ8例について示す。

考察

この測定によって、放射板を電熱加熱することによって増強した遠赤外線的作用で寝台・寝具と背部体表を間接的に加温した結果、入眠潜時が有意に短縮するという結果が得られた。このことは、遠赤外線によ

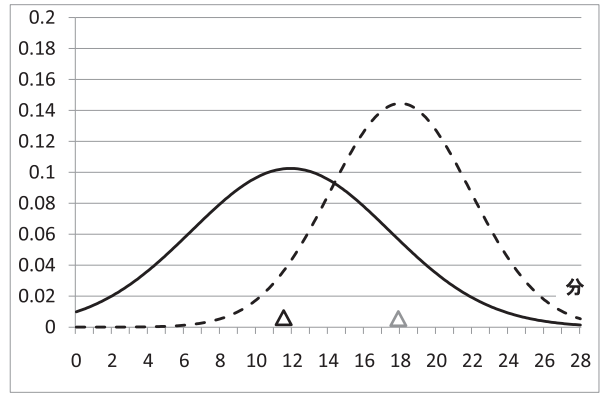


図3b 睡眠ステージ2の潜時(分)の分布(図3a)と同一のパラメーター(平均と分散(標準偏差))をもつ正規分布曲線。事前加温の場合(黒、実線)と事前非加温の場合(灰、破線)の分布を近似して、統計的有意さを視覚化した。

る寝台と寝具の加温に、入眠を早め、睡眠の質を高める効果があることを示唆している。

測定時の寝具内温度環境は、遠赤外線、恒常性維持機構を備えた被験者の身体、寝室の物理的環境の3条件で規定される動的な平衡状態にある。我々が入床時の寝具内温度として設定した31℃は、発汗による熱放散が起こらない乾性物理的調節域、あるいは熱的中性域の上限内にあたり、入眠に障害とはならないレンジにある¹⁹⁾。一方、事前加温せずに入床する場合には、寝具内温度は室温と平衡に達して25℃にある。熱的中性域の下限となるこの温度では、入床後に熱産生のためのふるえが起こると考えられる。さらに、熱損失を避けるために末梢血管を収縮させる交感神経の緊張が加わることになる²⁰⁾。このように、遠赤外線加温によって、あらかじめ入眠に有利な寝具内温度環境(31℃)を用意した場合には、その用意をしない場合(25℃)に比べて体温を維持するための熱産生に化学的エネルギーを消費することがなく、入眠体制に入ろうとする者に熱産生のための負荷をかけないことになる。

末梢の皮膚温度は主として皮膚動静脈吻合の血流を調節することによって制御されることが近年の研究によって明らかにされている²¹⁾。特に、腕、体幹、大腿、足部で、交感神経による動静脈吻合部の血流調節が皮膚温度を制御している²²⁾。これら末梢体部の皮膚が加温され、皮膚血流が増加して皮膚温度が上がると、そこで熱放散が進み、冷やされて深部に還る血流は深部体温を下げる。同時に、皮膚温度受容器から中枢に送られる末梢温度情報は、視索前野・前部視床下部にある温度感受性ニューロンによって統合され、視床下部に存在する睡眠中枢が活性化される結果として、睡眠

が強く誘導されると考えられている²³⁾。

我々の測定環境において被験者の入床前に寝具を加温した遠赤外線源は、輻射効率が高い複数の鉱物粉末素材を混合して板状に成型し、寝台床面に敷き詰めたものである。この遠赤外線源は、それを加熱するヒーターを切断した後も放射材が冷却するにつれ、Stefan-Boltzmanの法則 ($T-4$ 乗則) にしたがって強度を下げながら遠赤外線を放射し続ける。従って、ヒーター切断後に入床する被験者は、徐々に減衰していく遠赤外線のエネルギーを受け続け、皮膚末梢血管が拡張し末梢血流が増加する。そのため、皮膚からの熱放散によって深部体温が下がる結果となり、深部体温すなわち脳温の低下に伴って視索前野・前部視床下部の温度感受性ニューロンと睡眠中枢が活性化され、覚醒水準が下がって入眠に至ったものと考えられる^{24),25)}。その結果、事前加温によって、ステージ1に達するまでの入眠潜時が8分に短縮し、ステージ2に達するまでの潜時も6分短縮した。

入眠潜時のみならず、ステージ2睡眠への潜時を短縮するための十分条件の一つは、睡眠時の直接的な内部環境をつくる寝具の内部を温和な赤外線源を用いて適正な熱的中性温度域に維持することにあると考える。さらに進んで、ステージ3~4の深睡眠に入るまでの潜時を短縮させるにも、入眠後に寝具内温度を上昇させず発汗を減らすよう寝具内の温度を熱的中性域に維持することが有効であろうと考えられる。

謝辞

この研究は、文部科学省科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究21650175)、ならびに、山口県・中井産業(株)共同研究助成金を受けて実施した。

参考文献

- 1) Youngstedt SD : Effects of exercise on sleep. Clin Sports Med 24. 355, 2005
- 2) Kobayashi T, Tomita S, Arakawa K, Hot P : Effects of a hot bath on the sleep onset process. Proc. International Congress on Human-Environmental System IVHES 5 in Tokyo Japan. 122-125, 2005
- 3) 新村哲夫, 張びょう, 堀井裕子, 長瀬博文, 荒谷哲雄, 王紅兵, アリ・ナセル・モアデリ, アレックス・ガイナ, 関根道和, 鏡森定信 : 海洋深層水温浴のリラククス作用及び睡眠への影響に関する研究 深夜勤務明け後の朝の入浴についての検討. 日本温泉気候物理医学会雑誌 67 (3) . 155-164, 2004
- 4) 橋本知子, 松本明美, 高橋マツ子, 川島美佐子, 富沢美幸, 武村敏弘, 宮本郁子, 小林敏孝 : 足浴が睡眠に与える効果. 足利短期大学研究紀要28 (1) . 97-100, 2008
- 5) 市村孝雄 : 足浴の生理的作用について 31例のケーススタディ. 山口県立大学大学院論集 7. 75-80, 2006
- 6) 吉永亜子 : 睡眠を促す援助としての足浴についての文献検討. 日本看護技術学会誌 4 (2) . 4-13, 2005
- 7) 萬代宰, 犬山義明, 荒川一成 : 敷寝具の使用感に関する心理評価 寝具の温度特性が睡眠に与える影響について. 第19回睡眠環境シンポジウム研究論文19. 16-22, 2001
- 8) 都築和代 : 快適な睡眠をサポートする温熱環境, 眠りの科学とその応用. 本多和樹監修. シーエムシー出版. 2007
- 9) Okada M, Midorikawa-Tsurutani T, Tokura H : The effects of two different kinds of quilt on human core temperature during night sleep. Ergonomics 37 (5) . 851-857, 1994
- 10) 藤原義久, 岡田志麻, 鈴木伸吾, 黒田征平, 松浦英文, 安田昌司, 飯田健夫, 牧川方昭 : 寝床内温度フィードバック機能付きエアークントロールふとんの開発. 生体医工学42 (4) . 362-370, 2004
- 11) 岩瀬敏, 高田宗樹, 橋口真澄, 渡邊順子 : セラミック蒸着毛布が高齢者の体温調節に及ぼす影響. 自律神経 41 (2) . 195-199, 2004
- 12) 八塚美樹, 和田重人, 田澤賢次, 安田智美, 吉井美穂, 田澤賢一, 古田勲 : 遠赤外線による温熱療法が生体へ与える影響. 日本ハイパーサーミア学会誌 4. 257-265, 2004
- 13) Inoue S, Takemoto M, Ide T, Nishizaka M, Chishaki A, Sunagawa K : Leg heating using

- far-infrared radiation in patients with chronic heart failure acutely improves hemodynamics, vascular endothelial function and oxidative stress. *Circulation Journal* 73 (Suppl 1) . 347, 2009
- 14) 福井紈彦：痛みの生理学10, 痛みに対する物理療法の機序（1）. 理・作・療法7. 387-404, 1983
- 15) 細川豊史, 前川恭代：直線偏光近赤外線に関する基礎研究ダイジェスト（3）微小循環に及ぼす作用, 低反応レベルレーザーと直線偏光近赤外線. 小川節郎編, 真興交易（株）医書出版部. 23-29, 2001
- 16) 佐伯隆広, 薄井莊一郎, 高田重男：直線偏光近赤外線に関する基礎研究ダイジェスト（2）循環器系への作用, 低反応レベルレーザーと直線偏光近赤外線. 小川節郎編, 真興交易（株）医書出版部. 81-87, 2001
- 17) Michelle H Cameron（渡部一朗訳）：EBM物理療法. 医歯薬出版. 166-195, 2006
- 18) Okamoto-Mizuno K, Yamashiro Y, Tanaka H, Komada Y, Mizuno K, Tamaki M, Kitado M, Inoue Y, Shirakawa S : Heart rate variability and body temperature during the sleep onset period. *Sleep and Biological Rhythms* 6（1）. 42-49, 2008
- 19) 小林敏孝：頭部冷却と局所温熱制御による睡眠改善効果. *睡眠学*. 朝倉書店. 429-430, 2009
- 20) Van Someren EJW, Raymann RJEM, Scherder EJA, Daanen HAM, Swaab DF.:Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: Mechanism and functionalimplications. *Aging Res Reviews* 1. 721-778, 2002.
- 21) Brooks EM, Morgan AL, Kenney WL : Chronic hormone replacement therapy alters thermoregulatory and vasomotor function in postmenopausal women. *J Appl Physiol*. 83, 1997
- 22) Hensel H : Thermoreception and temperature regulation. Academic Press, 1981
- 23) Gilbert SS, van Den Heuvel CJ, Ferguson SA, Dawson D : Thermoregulation as a sleep signaling system. *Sleep Medicine Reviews* 8. 81-93, 2004
- 24) 入来正躬：体温生理学. 文光堂. 60～67, 2003
- 25) 北浜邦夫：脳と睡眠. 朝倉書店. 155-158, 2009