夜間睡眠時の中途覚醒時間の長さと再入眠後の体温変動

早稲田大学	佐々木由香 ^{1) 2)}
東京都神経科学総合研究所	宮下 彰夫
	犬上 牧
ノートルダム清心女子大学	石原 金由
福島大学	福田 一彦
日本学術振興会特別研究員	竹内 朋香

Effects of the length of sleep interruption on body temperature after the subsequent sleep onset

SASAKI, Yuka
Department of Psychology, Waseda University, Tokyo
MIYASITA, Akio & INUGAMI, Maki
Department of Psychology, Tokyo Metropolitan Institute for Neuroscience, Tokyo
ISHIHARA, Kaneyoshi
Faculty of Home Economics, Notre Dame Seishin University, Okayama
FUKUDA, Kazuhiko
Department of Education Psychology, Fukushima University, Fukushima
TAKEUCHI, Tomoka
Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo

This study investigated the effects of the length of sleep interruption on body temperature. Subjects were 5 male students mean aged 21.1 years old (19.5-22.1). We recorded polysomnography with measurement of rectal temperature (RT) during a whole night. Following two adaptation and one baseline nights, four consecutive nights were interrupted once a night at 20 min after the onset of NREM sleep in the 2nd sleep cycle. The length of sleep interruption was set at 10, 40, 60 and 90 min. When sleep interruptions were of 10-min and 40-min length, temporal patterns of RT were not different from the baseline night which was not interrupted. When the length of sleep interruption was 60 or 90 min, drops of RT during the interval from the second lights-out to the point an hour after the second sleep onset were significantly larger in both conditions than in 10-min condition. In addition, the temporal position of minimum RT tended to be earlier as the interruption length was extended. The minimum RT appeared earliest when sleep interruption was 90 min. There was no significant correlation between the drop of RT and the amount of SWS (slow wave sleep) during the period of 60 min after the 1st and 2nd sleep onset, suggesting that the drop of RT appears irrespective of the amount of SWS.

Key words: sleep interruption, body temperature, slow wave sleep

【要 約】 健康な男子大学生 5 名を用い、夜間睡眠の中途覚醒時間の長さ(10・40・60・90分)が再入眠後の直腸温に与える影響を検討した。その結果、夜間睡眠時の中途覚醒時間が延長すると、再入眠時に直腸温の低下が大きくなるという結果を得た。この再入眠時の直腸温の低下は再消灯後から始まり、中途覚醒時間が60・90分条件での低下量は初めの入眠時の直腸温低下量と差がなかった。また、一夜の直腸温変動について検討した結果、中途覚醒時間が延長すると、直腸温の最低温の出現する時間が早くなる傾向が認められた。再入眠時の直腸温低下量とSWS出現量との相関を検討したが、両者の間に相関は認められなかった。

1) Address correspondence and reprint requests to Yuka Sasaki, Department of Psychology, Tokyo Metropolitan Institute for Neuroscience, Musashidai 2-6, Fuchu-shi, Tokyo 183, Japan.

2) 現在の所属： 郵政省通信総合研究所（科学技術特別研究員）

1994. 4. 20 受稿, 1995. 4. 12 受理

ヒトの代表的な概日リズムに、体温リズムがある。体温の変動は、内因的のオシレータによる変動と、外因性の変動（マスキング）との両方がある（Wever, 1985）。外因的変動要因として、睡眠（Mills, Minors & Waterhouse, 1978）、食事、行動量、姿勢（Samel, Wegmann & Vejvoda, 1993）などが指摘されている。これらの外因的変動要因の中で、睡眠はそれ自体が睡眠・覚醒リズムとして独立したオシレータを持っていると考えられており、ヒトの代表的な概日リズムにとりあげられるものである（Aschoff, 1965）。

睡眠・覚醒リズムと体温リズムは、互いにまったく独立したリズムではなく、相互に影響しあうと考えられている。時差ボケやシフトワーカーの心身不調なども、急激な睡眠期移行による体温リズムと睡眠・覚醒リズムとの間の内的脱同調の結果であると考えられている（Klein, Wegmann & Hunt, 1972; Tapp & Natelson, 1989; Wegmann, Klein, Conrad & Esser, 1983; Gundel & Spencer, 1992）。また、早朝覚醒や徐波睡眠の減少などの睡眠・覚醒リズムの変化を特徴とする鬱病にも、体温リズムの振幅変化が報告されている（Schulz & Lund, 1983; Avery, Wildscødtz, Smallwood, Martin & Rafaelsen, 1986）。しかし、この睡眠・覚醒リズムと体温リズムの交互作用については、いまだ十分に解明されていない。

睡眠・覚醒リズムと体温リズムの交互作用を検討する手法は2つに大別できる。時間的手がかりの無い環境下に被験者を置いてフリーランさせる方法と、実験者が睡眠期を統制したり中途覚醒させたりする方法である。いずれの方法による研究も、次に述べるように体温と睡眠との関連を示唆している。

フリーランの実験からは、体温リズムの下降相や最低温期に入眠しやすいことが報告されている（Wever, 1979; Strogatz, Kronauer & Czeisler, 1986）。また、体温リズムの下降相や最低温期に入眠するとREM睡眠が増加することが明らか

になった（Czeisler, Weitzman, Moore-Ede, Zimmerman & Knauer, 1980）。

実験者が睡眠期を統制する方法からは、同じ時刻帯であっても覚醒時より睡眠時において、体温の振幅が大きく、かつ平均値が低くなり、さらに、入眠直後に最も大きな体温低下が生じることが報告されている（Barret, Lack & Morris, 1993）。また、この入眠期の体温低下は、一日の様々な概日リズムの相においても認められた（Gillberg & Åkerstedt, 1982）。

入眠期の体温低下は、夜間睡眠を短時間中断した後の再入眠期にも生じること、Sasaki, Miyasita, Takeuchi, Inugami, Fukuda & Ishihara (1993) が明らかにした。それによれば、夜間睡眠の第2睡眠周期において約1時間、被験者を中途覚醒させた結果、再入眠時に基準夜よりも直腸温が低下し、さらに、最低温の出現時刻が基準夜より早くなった。

これに対して、Aschoff, Fatranska, Gerecke & Giedke (1974) は、夜間睡眠時に、1回20分の中途覚醒を1夜に2度行なったが、基準夜と比較して、最低温が出現する時期など、全体的な直腸温パターンにおける変化は認められなかったと結論した。しかし、彼らは、中途覚醒後の再入眠時に一過性に急激な体温の低下が生じたとも記述している。両報告の中途覚醒時間は異なっているため（1時間と20分）、中途覚醒時間が体温変化に影響するかどうかを検討する必要がある。

睡眠中の体温変化は、徐波睡眠（slow wave sleep; 以下 SWS）の量とも関連することが報告されている。それらは、入眠時のSWS量は、入眠時の体温の絶対値や、体温低下量と関連があるというものである（Sewitch, Kittrell, Kupfer & Reynolds, 1986; Horne & Shackell, 1987; Sewitch, 1987; Berger, Palca, Walker & Phillips, 1988; Bunnell, Agnew, Horvath, Jopson & Wills, 1988; Jordan, Montgomery & Trinder, 1990）。一方、SWSの出現量と体温低下量の関連を否定す

る報告もある (Dijk, Cajochen, Tobler & Borbély, 1991; Sasaki et al., 1993). そこで, SWSが体温制御にどの程度関わっているかを明らかにするため, 体温の低下量と SWS 出現量との関連をさらに検討する必要があるだろう.

本研究では, 夜間睡眠の中途覚醒時間の長さを变化させ, その後の再入眠における体温変化にどのように影響するか, また, 体温変化量と SWS 出現量に関連があるかどうかを検討した.

方 法

被験者 被験者は, 心身ともに健康な男子大学生 9 名であった. そのうち, 本研究での分析対象としたのは, 直腸温記録が完全に行われた 5 名である. この 5 名の平均年齢は 21.1 歳 (19.5–22.1 歳) であった.

手続き Fig. 1 に実験計画を示す. 消灯は第 1 から 7 夜を通して, 約 23:30 とした. 第 1 夜と第 2 夜の実験室順応夜, 第 3 夜の基準夜においては

中途覚醒を行わずに 7.5 時間の睡眠をとらせた. 第 4 夜から第 7 夜までの連続 4 夜を中途覚醒夜とし, 第 2 睡眠周期が 20 分経過した時点で, 強制的に被験者を覚醒させた. 中途覚醒夜では, 中途覚醒時間を除いた睡眠時間の合計が 7.5 時間に達した時点で, 被験者を起床させた. 第 2 睡眠周期で中途覚醒を行った理由は, 被験者の再入眠のしやすさに配慮したためと, 第 1 睡眠周期に次いで SWS が出現し易い睡眠周期であるためである.

中途覚醒時間は, 10・40・60・90 分とした. 以後, それぞれを W10・W40・W60・W90 条件とする. 本実験は被験者内計画で行い, 第 4 夜から, 1 夜に 1 条件ずつ, 連続 4 夜に割り振った. 条件の順序系列については, 被験者間でカウンターバランスをとった. ただし, 分析対象の 5 名に限ると, カウンターバランスは不完全であった.

中途覚醒時においては, 質問紙で被験者の自覚症状 (自覚症状調べ; 大島, 1979) や眠気 (関学式眠気調査; 石原・斎藤・宮田, 1982) について

Fig. 1 Experimental design.

調査した。W10条件では、質問紙記入の後、すぐに再消灯した。それ以外の3条件では、睡眠実験室内で椅子に座らせて、聴覚性のヴィジランスタスクを行った。このタスクを負荷する時間は、W40条件では20分間、W60条件では40分間、W90条件では60分間とした。ただし、自覚症状や眠気、および、ヴィジランスタスクの結果については、本論ではふれない。

記録 睡眠時および中途覚醒時とも、脳波、眼球運動、筋電図、直腸温、心拍、指尖容積脈波、呼吸、皮膚電位活動を記録した。ただし、心拍、指尖容積脈波、呼吸、皮膚電位活動の結果については、本論では言及しない。脳波は10-20法に基づき、 C_3 と O_1 を、あるいは C_4 と O_2 を、それぞれ A_2 あるいは A_1 を基準として記録した。眼球運動は、左右の眼窩外側縁から、 A_2 あるいは A_1 を基準として水平方向運動を単極導出した。筋電はオトガイ筋より表面筋電図で記録した。脳波、眼球運動、筋電図は、ポリグラフ（三栄測器製1A52sp型）で紙送り10mm/sにて記録した。睡眠段階は、Rechtschaffen & Kales(1968)の基準により30秒毎に視察判定した。入眠は睡眠段階1の初出の時点とした。ただし、睡眠段階1の初出後、段階Wにより睡眠が中断した場合、原則としてその後の睡眠段階1の再出現時点を入眠とした。

直腸温はサーミスタ温度計（芝浦電子製作所製のMGAⅢ型）を用いペン書き連続記録した。サーミスタは、肛門より15cmから20cm程挿入するよう被験者に教示した。直腸温はペン書き記録されたものを30秒ごとに読み取り、基準夜では入眠後1時間ごとの平均値を算出した。中途覚醒夜では、睡眠中1時間ごとの平均値に加えて、中途覚醒時間中の平均値と再消灯から再入眠までの平均値を算出した。

結 果

中途覚醒時間 Table 1に、各条件における中途覚醒時間と再入眠潜時（再消灯から入眠まで）、

Table 1 Mean length and SE of interruption and the 2nd sleep latency (min).

	Interruption	2nd sleep latency	total
W10	8.7±0.49	28.0±7.18	36.7±7.36
W40	34.1±0.51	14.3±1.27	48.4±1.16
W60	54.8±0.16	15.1±1.50	69.9±1.41
W90	77.9±0.56	20.8±2.50	98.7±3.00

および、両者の合計時間の平均と標準誤差を示した。W10条件において、1名の被験者の再入眠潜時が99.5分と長かったため、中途覚醒時間の平均が設定条件である10分間を大幅に超えた。4条件間の中途覚醒時間（中途覚醒時間と再入眠潜時の合計）について、繰り返しのある1要因の分散分析を行ったところ、条件間に有意差が認められた($F(3/12)=11.184$, $p<0.001$)。下位検定の結果、W10条件とW90条件($t=5.382$, $df=12$, $p<0.05$)、W40条件とW90条件($t=4.366$, $df=12$, $p<0.05$)の間に有意差が認められた。再入眠潜時には条件差は認められなかった（繰り返しのある一要因の分散分析： $F(3/12)=0.590$, NS ）。

終夜の直腸温変動 Fig. 2は、基準夜と中途覚醒夜のW10・W40・W60・W90条件それぞれの被験者5人による平均直腸温と標準誤差を示している。基準夜では、入眠後420分に最低温を示した。中途覚醒夜では、W10・W40条件の直腸温が基準夜と類似した変動を示した。これに対し、W60・W90条件では、再消灯から再入眠までの間に直腸温は大きく低下した。このように、中途覚醒時間が延長すると、再入眠時の直腸温の低下が大きくなり、かつ、直腸温が最低温を示す時期、すなわち、直腸温が上昇し始める時期が早くなった。

初めの入眠時の直腸温(Fig. 2の左端の1ポイント目)からの低下量を変量として、基準夜を含む5条件と時系列要因との2要因(5×9)で、繰り返しのある分散分析を行った。中途覚醒夜では、中途覚醒期間中の値(図の●)を除く9ポイ

ントの1時間毎の値を用いた。

Fig. 2 Rectal temperature (RT) for baseline, W10, W40, W60 and W90 conditions. The first points at 0 min (sleep onset) represent mean RT from the 1st light-out to the 1st sleep onset. The closed circles stand for mean RT during the interruption. The closed diamonds show mean RT from the 2nd light-out to the 2nd sleep onset. The open circles are mean RT for one hour. These are proportionally plotted according to elapsed time from the 1st sleep onset. When the sleep before the interruption was longer than 2 hours, RT values obtained beyond 2 hours were included into the mean 2-hour point (the 2nd open circles). So were the RT values beyond 5 hours following the interruption into the last points.

その結果、条件差による主効果は認められなかったが ($F(4/16)=1.735$, NS), 時系列 ($F(8/32)=52.541$, $p<0.001$), および条件×時系列の交互作用が有意であった ($F(32/128)=2.738$, $p<0.001$). この交互作用について下位検定を行ったところ、7ポイント目 ($F(4/144)=2.628$, $p<0.05$), 8ポイント目 ($F(4/144)=4.525$, $p<0.005$), 9ポイント目 ($F(4/144)=5.008$, $p<0.001$) に、中途覚醒条件間に有意差があった。また時系列要因は基準夜および全ての中途覚醒条件において有意であった ($F(8/160)\geq 7.288$, $p<0.001$). 以上の結果は、中途覚醒時間の長さが、再入眠時の直腸温の低下量や、直腸温の上昇し始める時期に影響を与えたことを示唆している。

再入眠時の直腸温低下 中途覚醒を行った4条件の直腸温の低下量（絶対量）をはじめの入眠後1時間と再入眠後1時間の間（入眠時期）で比較した (Table 2). 2要因の繰り返しのある分散分析の結果、条件間に有意差は認められなかったが ($F(3/12)=0.339$, NS), 入眠時期の効果 ($F(1/4)=13.003$, $p<0.05$), および条件×入眠時期の交互作用が有意だった ($F(3/12)=4.022$, $p<0.05$). この交互作用について下位検定を行った結果、W10条件 ($F(1/16)=16.019$, $p<0.05$) とW90条件 ($F(1/16)=9.200$, $p<0.05$) で入眠時期の効果が認められた。以上の結果は、再入眠時の直腸温低下量は、W40およびW60条件では、はじめの入眠期と同じ程度であるが、W10およびW90条件では、はじめの入眠期の直腸温低下量より小さ

Table 2 Mean drop and SD of rectal temperature for one hour after the 1st and 2nd sleep onset(°C).

	1st sleep onset	2nd sleep onset
W10	0.305 ± 0.084	0.033 ± 0.152
W40	0.175 ± 0.125	0.113 ± 0.067
W60	0.149 ± 0.112	0.170 ± 0.094
W90	0.300 ± 0.147	0.094 ± 0.037

いことを示している。

しかし、Fig. 2 に示した通り、W90 条件では W10 条件と異なり再消灯から再入眠までにすでに直腸温が低下しており、再入眠時の直腸温低下量を吟味するためには、再消灯から再入眠までの直腸温低下量を再入眠後の低下量と分けて検討する必要がある。Fig. 3 は、各中途覚醒条件での再入眠時の直腸温低下を、再消灯から再入眠直前までの区間（図中の○）と再入眠後 1 時間の区間（図中の●）とに分割し、両者の合計（図中の棒グラフ）とともに示したものである。これらの直腸温低下量は、中途覚醒期間中の平均直腸温（縦軸の 0 値）を基準にとり差を算出した。

再消灯から再入眠直前までの区間における直腸温は、W10 条件以外の条件で低下し、中途覚醒時間が延長すると、直腸温の低下の度合いが大きくなった。さらに、再入眠後 1 時間の区間の直腸温低下量も条件間で異なっている。そこ

Fig. 3 Rectal temperature changes around the 2nd sleep onset. Temperature changes (°C) in the vertical axis represent difference from mean RT value during the interruption. The open circles represent mean RT changes from the 2nd light-out to the 2nd sleep onset. The closed circles indicate mean RT changes during one hour after the 2nd sleep onset. The open bars show sum of both open and closed circles.

で直腸温の低下量について、中途覚醒条件×区間の 2 要因とも繰り返しのある分散分析を行った。その結果、中途覚醒条件の主効果のみが有意だった ($F(3/12)=6.486, p<0.01$)。区間の主効果 ($F(1/4)=0.038, NS$)、および 2 要因間の交互作用 ($F(3/12)=1.478, NS$) は認められなかった。中途覚醒条件について下位検定を行ったところ W10 条件と W60 条件との間 ($t=3.647, df=12, p<0.05$)、および W10 条件と W90 条件との間 ($t=3.758, df=12, p<0.05$) に有意差が認められた。これらは、中途覚醒時間が延長すると、再消灯から再入眠後 1 時間経過した時点までの直腸温低下量が大きくなることを示している。

また、Table 2 において W90 条件で再入眠後 1 時間の直腸温低下量がはじめの入眠後 1 時間の直腸温低下量より少なかったのは Fig. 3 に示すとおり、W90 条件で再入眠直前までに直腸温が大きく低下していたためであると考えられる（図中の○）。合計の低下量（図中の棒グラフ）では、4 条件のうち最大の低下量を示している。

最低温の出現時期 Fig. 2 に示した通り、中途覚醒時間が長いと、直腸温の最低温の出現が早くなる。入眠から最低温出現までの平均経過時間と標準偏差は、基準夜 414.5 ± 30.0 分、W10 条件 376.8 ± 104.4 分、W40 条件 425.2 ± 48.4 分、W60 条件 347.9 ± 96.5 分、W90 条件 285.6 ± 21.7 分であった。最低温の出現時期は 1 時間ごとに平均した値から求めたため、個々のデータには 1 時間の幅があり、パラメトリックな検定になじまない。そこで、被験者内で、5 夜における最低温の出現時間について順位をつけフリードマン検定を行った。その結果、有意ではないが差のある傾向が条件間に認められた ($\chi^2=8.32, df=4, p<0.1$)。

SWS 量と直腸温低下 基準夜・W10・W40・W60・W90 条件における終夜の平均 SWS 出現量と標準偏差は、それぞれ、 96.1 ± 25.1 分、 94.4 ± 19.8 分、 99.5 ± 14.8 分、 94.0 ± 19.3 分、 112.3 ± 17.2 分であった。繰り返しのある 1 要因の分散分

析の結果、有意差は認められなかった ($F(4/16)=1.170$, NS). 再入眠後 1 時間における平均 SWS 出現量と標準偏差は、W10・W40・W60・W90 条件の順に 9.9 ± 8.4 分、 21.3 ± 5.1 分、 22.4 ± 9.4 分、 17.7 ± 10.0 分となり、繰り返しのある 1 要因の分散分析を行ったが、4 条件間に有意差は認められなかった ($F(3/12)=1.827$, NS). ちなみに、全中途覚醒夜の再入眠後 1 時間の平均 SWS 出現量は、基準夜の第 2 睡眠周期における SWS 出現量 22.9 分の 77.8% に相当した.

次に、再入眠後 1 時間における直腸温の変化量と SWS の出現量について条件差を無視して両者の相関を調べた. Fig. 4 に示すように、再入眠後 1 時間における直腸温変化量と SWS 出現量の相関は認められなかった. ($r=-0.07$, $df=18$, NS). また、はじめの入眠期である第 1 睡眠周期においても両者の相関は認められなかった ($r=0.14$, $df=18$, NS).

Fig. 4 Scattergram for the amount of SWS and rectal temperature changes for an hour following the 2nd sleep onset.

考 察

中途覚醒時間の長さと直腸温低下 再消灯から再入眠までの直腸温変化量と再入眠後 1 時間の直腸温低下量を合わせても W10 条件では直腸温の低下はわずかであり、W60 条件及び W90 条件との間に有意な差が認められた (Fig. 3). 再消灯から再入眠までに、W10 条件のみ平均直腸温はわずかに

上昇したが、これは W10 条件で再入眠潜時が 90 分を超えてしまった例外的被験者 1 名のみに起因するのではない. それ以外にも 2 名、計 3 名の被験者の直腸温が中途覚醒時よりも上昇していた. 今回の結果は、再入眠時にははじめの入眠期同様の直腸温低下が起きることを示唆した Sasaki et al. (1993) の報告を基本的に支持している.

本研究は中途覚醒後の再入眠時における直腸温低下が生じるか否かは、60 分以上の覚醒時間の長さが重要な要因であることを示している. Sasaki et al. (1993) は、夜間睡眠における中途覚醒時間を約 1 時間とする条件下で、再入眠時の直腸温低下を検出し最低温の出現が前進することを示唆した. 今回の結果、中途覚醒時間が長くなると直腸温の最低温が早く出現する傾向が認められた (Fig. 2). Aschoff et al. (1974) は主として最低温出現の時期に注目して分析を行ったが、中途覚醒時間が 20 分であったため、最低温の出現時期が基準夜と変わらなかったと考えられる. このことから、夜間睡眠における中途覚醒時間の長さについて、体温の変動に影響を与える閾値の存在が仮定できよう.

健康成人でも夜間睡眠には数分間の自発的覚醒が含まれている. (堀・渡辺, 1967; Brezinová, 1975). しかしながら体温は夜間睡眠中に大きな変動を伴わず低下する (Geschickter, Andrews & Bullard, 1966; Heller & Glotzbach, 1977). つまり、夜間睡眠中に生じるごく短時間の中途覚醒は、終夜の体温変動に影響しない. 短時間の中途覚醒であれば、それを睡眠継続のための許容範囲として処理すると考えられる.

これに対し、1 時間を超える中途覚醒は、今回の結果から次のように推測できる. 長時間の覚醒は睡眠継続の許容範囲から逸脱し、再入眠する際にはそれ以前の睡眠がリセット (Miyasita, Fukuda & Inugami, 1989) され、併せて入眠期の生理的作用の一部 (Sasaki et al., 1993) としての直腸温低下が再び生じるのであろう. 逆に言えば再入眠時の

直腸温の低下勾配や最低温の出現時期の前進は、再入眠前の睡眠がリセットされたか否かを示す指標としての可能性があるといえよう。

以上、再入眠時の直腸温低下が睡眠リセット時に特有の現象であることを示したが、ここでは、さらに別の2つの要因の影響についても検討を加えたい。それらは、各条件での再入眠時における体温の概日リズム上の位相差、および、再消灯時に生じる被験者の姿勢変化である。以下に再入眠時に認められた直腸温低下がこれら2つの要因では説明できないことを示す。

まず、体温リズムの位相差についてであるが、中途覚醒時間が長くなると、各条件間で再入眠時の概日リズムの位相が異なり、体温のセットポイント(堀・中山, 1981)が異なっている可能性がある。体温のセットポイントは体温が調節されるべき目標値を意味するので、朝方が最低となる概日リズムを持つ。中途覚醒のない基準夜がセットポイントを反映した直腸温変動をしていると仮定すれば、入眠から約420分までは、時間が経過するほどセットポイントが低下していく(Fig. 2)。したがって、中途覚醒時間の間に体温低下が生じなければ、再入眠の時刻(入眠からの経過時間)が遅いほど、その時の直腸温とセットポイントとの差が大きくなり、再入眠による体温低下勾配は大きくなるとも予想できる。

この点から今回の結果をみると、最初の入眠から中途覚醒後の再入眠までの平均経過時間は、W10条件では160分、W40条件160分、W60条件190分、W90条件200分であった³⁾。W10条件とW90条件では、およそ40分間の差しがなく、概日リズムの位相差は無視できよう。また、中途覚醒夜の再入眠時の直腸温と基準夜のほぼ同時刻の直腸温の絶対値にも差が無かった($F(4/16)=0.648$, NS)。したがって、再入眠時のセットポイントの

条件差はないといえる。

また、Sasaki, Miyasita, Takeuchi, Inugami & Fukuda (1991)は、明らかに位相差のある第2睡眠周期と第4睡眠周期で60分間の中途覚醒を行い、再入眠時の直腸温の低下を比較した。しかし、再消灯から再入眠後1時間にかけての直腸温の低下量には両者に差がみられなかったことを示唆している。つまり、再入眠時に生じる直腸温低下量は、仮に体温の概日リズム位相によってセットポイントが異なっていたとしても、その影響を受けないと考えられる。

次に、再入眠直前の直腸温低下に対する姿勢変化の影響を検討する。Kleitman & Doktorsky (1933)は、日中に約1時間の立位後に続く仰臥位開始時と終了時の直腸温を比較し、覚醒時の仰臥位では、平均 -0.02°C 直腸温が変化したことを報告している。また、同じ覚醒時の仰臥位でも、引き続き入眠してしまう場合は、仰臥位開始時と終了時(入眠直前)との差が増加し、平均 -0.11°C の変化であった。この仰臥位に続く睡眠開始と終了時(平均睡眠持続時間52分)との差は平均 -0.15°C であった。

今回得られた、再消灯から再入眠までの直腸温平均変化は、W10条件で $+0.01^{\circ}\text{C}$ 、W40条件 -0.03°C 、W60条件 -0.14°C 、W90条件 -0.23°C であった(Fig. 3)。Kleitman & Doktorsky (1933)の直腸温変化の算出方法は、われわれと若干異なるが、あえて比較すると、W10・W40条件での直腸温変化量は、彼らの覚醒仰臥位期における変化に近く、W60・W90条件での直腸温変化量は、入眠直前における仰臥位期の数値と等しいかあるいはそれより大きい。よって、中途覚醒時間が1時間を超える場合には、再入眠潜時に差がなくても(Table 2)、入眠の準備段階である再消灯の時点から、単なる姿勢変化(仰臥位)による体温低下よ

3) 各条件間における中途覚醒時間の差と、入眠から再入眠までの経過時間の差は、このように一致しなかった。それは、中途覚醒を行うタイミングを時刻や入眠からの経過時間を基準とせず、睡眠周期を基準としていたため、睡眠周期の長さによらつきがあったことによる結果である。

りも大きく直腸温が低下し始めるといえる。

体温低下とSWS出現量 再入眠後のSWS出現量と体温の低下量については有意な相関を見いださなかった (Fig. 4). Dijk et al. (1991), Sasaki et al. (1993) も、入眠時の体温の低下とSWS出現量について関連を認めておらず、今回の結果は、それらと一致する。

しかし、入眠時における体温の絶対値と入眠後のSWS量との関連や、入眠後の体温の低下量とSWS量とに関連があるとする報告も多い。それらの報告に共通する手続きは、強制的な冷・熱の温度負荷である。例えば、Sewitch et al. (1986) は低環境温26.7–28.3℃で被験者を全裸で入眠させた。Berger et al. (1988) は、低環境温下 (21℃と29℃⁴⁾) で被験者を全裸で入眠させた。また、Horne & Shackell (1987), Bunnell et al. (1988), Jordan et al. (1990) は、いずれも、入眠前に41℃から43℃の温水浴をさせ、その後の睡眠期におけるSWS量を測定するものであった。

Sewitch (1987) は、このような温度ストレス下では睡眠の質が低下する可能性がある」と指摘している。寒冷ストレスを与える方法では、Sewitch et al. (1986) での睡眠効率が88.5%に低下している。Berger et al. (1988) が典型例として報告した被験者1名のデータは、実験夜10夜中SWS量が80分を超えたのは1夜のみで、6夜が50分前後、3夜が40分未満であった。本研究の平均SWS出現量は99.3分であり、これと比較すると彼らのSWS出現量は半減していると考えられる。また、加温手続きを用いた Bunnell et al. (1988) もSWS出現量の増加を認めず、Jordan et al. (1990) でも代謝量測定用のフェイスマスクにより睡眠が障害され、SWS量が統制条件で57分しかなかった。

一方、入眠期に体温低下とSWS出現量の関連を認めていない報告は、強制的な体温上昇や体温低下の方法をとっていない。Dijk et al. (1991) は被験者を00時から15時まで可能な限り睡眠をとらせ、その間の直腸温低下時期とSWS出現時期、および直腸温低下量とSWS出現量が、それぞれ関連していなかったことを報告している。Sasaki et al. (1993) は夜間睡眠における中途覚醒後の再入眠時に、SWSの増加を伴わずに直腸温が低下したことを報告している。本研究の結果も、はじめの入眠時についても中途覚醒後の再入眠時についても、直腸温低下量とSWS出現量との間に相関を認めなかった。

以上、入眠期の体温低下とSWS量の関連が認められるのは、被験者に対して強制的な温度ストレスを与えた結果、睡眠効率やSWS出現量が減少している場合に限定されることを示した。被験者に温度ストレスを与えない状況では、SWS出現量に関係なく入眠時における体温低下が生起すると考えられる。

引用文献

- Aschoff, J. 1965 Circadian rhythms in man. *Science*, 148, 1427.
- Aschoff, J., Fatranska, M., Gerecke, U. and Giedke, H. 1974 Twenty-four-hour rhythms of rectal temperature in humans: Effects of sleep-interruptions and test-sessions. *Pflug. Arch.*, 346, 215–222.
- Avery, H. D., Wildschijdtz, G., Smallwood, R. G., Martin, D. and Rafaelsen, O. J. 1986 REM latency and core temperature relationships in primary depression. *Acta. Psychiatr. Scand.*, 74, 269–280.

4) 環境温29℃を低温とすることについて。梁瀬(1984)によると、寝具によって身体の周囲に形成される寝床気候は、四季を通じておよそ32℃から35℃である。Berger et al. (1988) では29℃を“neutral”として用いている。しかし、彼らの被験者は、低環境温に慣れていて、全裸で入眠可能な被験者に限定されていた。さらに、Sewitch (1987) は、環境温29℃をアブリオリに“neutral”とみなすことに疑問を呈し、自身の研究においては29℃を“mild cold stress”と位置づけている。

- Barrett, J., Lack, L., and Morris, M. 1993 The sleep-evoked decrease of body temperature. *Sleep*, **16**, 93-99.
- Berger, R. J., Palca, J. W., Walker, J. M. and Phillips, N. H. 1988 Correlations between body temperature, metabolic rate and slow wave sleep in humans. *Neurosci. Lett.*, **86**, 230-234.
- Brezinová, V. 1975 The number and duration of the episodes of the various EEG stages of sleep in young and older people. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **39**, 273-278.
- Bunnell, D. E., Agnew, J. A., Horvath, S. M., Jopson, L. and Wills, M. 1988 Passive body heating and sleep: Influence of proximity to sleep. *Sleep*, **11**, 210-219.
- Czeisler, C. A., Weitzman, E. D., Moore-Ede, M. C., Zimmerman, J. C. and Knauer, R. S. 1980 Human sleep: Its duration and organization depend on its circadian phase. *Science*, **210**, 1264-1267.
- Dijk, D. J., Cajochen, C., Tobler, I. and Borbély, A. A. 1991 Sleep extension in humans: Sleep stages, EEG power spectra and body temperature. *Sleep*, **14**, 294-306.
- Geschickter, E. H., Andrews, P. A. and Bullard R. W. 1966 Nocturnal body temperature regulations in man: a rationale for sweating in sleep. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 623-630.
- Gillberg, M. and Åkerstedt, T. 1982 Body temperature and sleep at different times of day. *Sleep*, **5**, 378-388.
- Gundel, A. and Spencer, M. B. 1992 A mathematical model of the human circadian system and its application to jet lag. *Chronobiol. Int.*, **9**, 148-159.
- Heller H. C. and Glotzbach S. F. 1977 Thermoregulation during sleep and hibernation. *International Review of Physiology Environmental physiology II*, Volume 15 (Ed. David Robertshaw) Baltimore: University Park Press.
- 堀忠雄・渡辺尊己 1967 ヒトの正常睡眠脳波の推移. 臨床脳波, **11**, 345-354.
- 堀哲郎・中山昭雄 1981 体温調節中枢 中山昭雄(編) 温熱生理学 理工学社 Pp. 253-280.
- Horne J. A. and Shackell, B. S. 1987 Slow wave sleep elevations after body heating: Proximity to sleep and effects of Aspirin. *Sleep*, **10**, 383-392.
- 石原金由・斎藤敬・宮田洋 1982 眠気の尺度とその実験的検討. 心理学研究, **52**, 362-365.
- Jordan, J., Montgomery, I. and Trinder, J. 1990 The effect of afternoon body heating on body temperature and slow wave sleep. *Psychophysiology*, **27**, 560-566.
- Klein, K. E., Wegmann, H. M. and Hunt, B. I. 1972 Desynchronization of body temperature and performance circadian rhythm as a result of outgoing and homegoing transmeridian flights. *Aerospace Med.*, **43**, 119-132.
- Kleitman, N. and Doctersky, A. 1933 The effect of the position of the body and of sleep on rectal temperature in man. *Am. J. Physiol.*, **104**, 340-343.
- Mills, J. N., Minors, D. S. and Waterhouse, J. M. 1978 The effect of sleep upon human circadian rhythms. *Chronobiologia*, **5**, 14-27.
- Miyasita, A., Fukuda, K. and Inugami, M. 1989 Effects of sleep interruption on REM-NREM cycle in nocturnal human sleep. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **73**, 107-116.
- 大島正光 1979 自覚的疲労状態 疲労の研究 第2版 同文書院 Pp. 123-144.
- Rechtschaffen, A. and Kales, A. 1968 *A manual of standardized terminology and*

- scoring system for sleep stage of human subjects*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office.
- Samel, A., Wegman, H-M. and Vejvoda, M. 1993 Response of the circadian system to 6° head-down tilt bed rest. *Aviat. Space Environ. Med.*, **64**, 50-54.
- Sasaki, Y., Miyasita, A., Takeuchi, T., Inugami, M. and Fukuda, K. 1991 The timing of nocturnal sleep interruption and pattern change of rectal temperature. *Jpn. J. Psychiatr. Neurol.*, **45**, 949. (Abstract)
- Sasaki, Y., Miyasita, A., Takeuchi, T., Inugami, M., Fukuda, K. and Ishihara, K. 1993 Effects of sleep interruption on body temperature in human subjects. *Sleep*, **16**, 478-483.
- Sewitch, D. E., Kittrell, E. M. W., Kupfer, D. J. and Reynolds, C. F. 1986 Body temperature and sleep architecture in response to a mild cold stress in women. *Physiol. Behav.*, **36**, 951-957.
- Sewitch, D. E. 1987 Slow wave sleep deficiency insomnia: A problem in thermo-downregulation at sleep onset. *Psychophysiology*, **24**, 200-215.
- Schulz, H. and Lund. R. 1983 Sleep onset REM episodes are associated with circadian parameters of body temperature. A study in depressed patients and normal controls. *Biol. Psychiat.*, **18**, 1411-1426.
- Strogatz, S. H., Kronauer, R. E. and Czeisler, C. A. 1986 Circadian regulation dominates homeostatic control of sleep length and prior wake length in humans. *Sleep*, **9**, 353-364.
- Tapp, W. N. and Natelson, B. H. 1989 Circadian rhythms and patterns of performance before and after simulated jet lag. *Am. J. Physiol.*, **257**, 796-803.
- Wegmann, H. M., Klein, K. E., Conrad, B. and Esser P. 1983 A model for prediction of resynchronization after time-zone flights. *Aviat. Space Environ. Med.*, **54**, 524-527.
- Wever, R. A. 1979 *The circadian system of man*. New York: Springer-Verlag.
- Wever, R. A. 1985 Internal interactions within the human circadian system: the masking effect. *Experientia*, **41**, 332-342.
- 梁瀬度子 1984 寝具 鳥居鎮夫(編) 睡眠の科学 朝倉書店 Pp. 117-120.