HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	運動介入が睡眠に及ぼす影響の大きさと就床時における生理的変化の関係
Author(s)	小田, 史郎
Citation	北海道大学大学院教育学研究科紀要, 99, 113-121
Issue Date	2006-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.99.113
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14790
Type	departmental bulletin paper
File Information	2006-99-113.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学大学院教育学研究科
紀 要　第 99 号　2006 年 9 月

運動介入が睡眠に及ぼす影響の大きさと就床時における生理的変化の関係

小　田　史　郎

Relationship between effect-size of exercise on sleep and exercise-induced physiological changes at bedtime

Shiro ODA

【要旨】本研究では，運動介入が夜間睡眠に及ぼす影響の大きさが就床時における生理的変化に依存するかどうかを検討するため，これまで実施してきた運動介入実験のデータをもとに就床時における生理的変化量と睡眠変化量の関係について検討した。研究対象は 21 名（延べ 40 名）の男子大学生，実施した運動プロトコルは 6 種類であった。測定項目は睡眠ポリグラフより入眠潜時，徐波睡眠出現時間，睡眠効率の 3 項目，就床時における生理的変化の指標として就床時直腸温，就床前 1 時間における直腸温低下速度，就床時心拍数，就床時 HF パワー値，就床時 LF/HF の 5 項目であった。運動介入効果の大きさの指標として，各運動日のすべてのデータについて，特に運動実施を行わなかった対照日からの変化量（⊿）を求めた。こうして得られた睡眠変化量と就床時における生理的変化量について，ピアソンの相関係数の検定を行った。その結果，⊿就床前直腸温低下速度，⊿就床時心拍数，⊿就床時 HF パワー値の 3 項目において，⊿入眠潜時との間に有意な相関関係が認められた。以上の結果から，運動実施に伴う就床時の生理的変化は，その日の入眠に及ぼす影響の大きさを反映すると考えられた。
【キーワード】運動，睡眠，入眠，直腸温，副交感神経系

1．目　的

日中の運動実施とその後の夜間睡眠の関係について，これまで数多くの報告がなされてきたが，運動が夜間睡眠を改善するという確固たる証拠は得られていない[1,2]。その要因の 1 つとして Youngstedt[3] が提唱する CF（Ceiling and Floor）効果があげられる。CF 効果とは，普段から睡眠が良好な人は改善幅が小さいために，運動などの介入効果が現れにくいという考え方である。先行研究のほとんどは，ある特定の運動を実施した日の睡眠と運動しなかった日の睡眠を比較するという横断実験を行っており，CF 効果によって運動介入効果が得られにくかった可能性が考えられる。

また運動プロトコル（運動の種目，持続時間，強度，時間帯など）や実施者の特性（年齢，性別，運動習慣の有無，体力レベルなど）の差異も，睡眠への影響が一致しない要因と考えら

* 浅井学園大学健康プランニング学科　助教授

れている[2]。この考えを支持するように，運動鍛錬者と非鍛錬者では同じ運動を行ったときの効果が異なることが報告されている[4]。これらのことから，睡眠改善のための運動介入方法を考える上で，運動プロトコルと実施者の特性の両者を併せて検討することが重要と考える。

一方，運動負荷を課さないコンスタントルーティン（CR）条件において，就床前後における生理状態とその後の夜間睡眠との関連性が示されてきた[5,6]。特に体温変動は夜間睡眠と密接に関連すると考えられており，手足などの末梢部位からの熱放散増加が眠気や入眠を促進することが知られている[5]。また Murphy and Campbell[6] は，90％以上の人において深部体温の低下速度のピークが入眠前に認められることを示し，急激な深部体温低下が入眠を促進するキーメカニズムの１つであると考えた。また心身の積極的な回復に関与する徐波睡眠が，脳の温度を積極的に下げる働きを持つことも知られている[7]。この作用を反映するように，運動や入浴による一時的な身体加熱を行うと徐波睡眠が増加する一方，加熱と同時に冷却を行うことで体温を上げないようにすると徐波睡眠の増加が認められなくなるとの報告がなされている[8,9]。以上のことから，運動介入が夜間睡眠に及ぼす影響の大きさも運動実施に伴う生理的変化に依存しているのではないかと考えられる。そこで本研究では，運動日の就床時における生理的変化量に着目し，睡眠変化量とどのような関係にあるのかについて検討を行った。

２．方　法

１）被験者

本研究では，1998 年から 2005 年までに筆者らが実施してきた運動介入実験のデータを再検討した[10,11]。表１に本研究で取り上げた運動プロトコルと被験者について示した。被験者は 19～27 歳の男子大学生 21 名（延べ人数は 40 名）であった。被験者 21 名の平均身長（±SD）および体重は，それぞれ 172.0±3.7 cm，65.4±7.8 kg であった。被験者はいずれも定期的な運動を実施していない男子大学生であった。

２）運動プロトコル

本研究で再検討した運動は，①水中エアロビクス（aqua aerobics: AA）[10]，②歩行＆走運動（walking and running: WR），③快適自己ペース走（comfortable self-paced running: CSPR）[11]，④高強度走運動（high intensity running: HIR），⑤就床１時間前の中等度強度走運動（moderate intensity running performed 1 hour before bedtime: MIR (1h)），⑥就床３時間前の中等度強度走運動（moderate intensity running performed 3 hours before bedtime: MIR (3h)）の６種目であった（表１）。

AA は水温 30℃に設定したプール内において，アップテンポな音楽とインストラクターの動きに合わせながら，エアロビックダンスを実施した。残る５種目はすべてトレッドミルを用いた歩行あるいは走運動を行った。運動時間は 40 分間あるいは 50 分間と各運動間に大きな差はなかったが，運動強度は 37％～80％心拍予備量（heart rate reserve: HRR）と広範囲に分布した。特に AA，WR，CSPR の３種目の運動は，運動中に心拍数が刻々と変化したため，50 分間の平均値をその運動の強度とした。また水温 30℃の水中において立位運動を行ったときには，同強度の陸上運動に比べて心拍数が約 10 拍/分低く現れることが報告されている[12]。WR は AA に比べて約 10 拍/分高い心拍数を目標値として実施しており，この２つの運動はほぼ同程

表 1　本研究で再検討した 6 種類の運動プロトコル

No	運動種目	運動時間	運動強度	運動時刻	就床時刻	運動終了から就床までに要した時間	被験者
No.1	水中エアロビクス (aque aerobics: AA)	50分	37%HRR	16:00-16:50	22:44	5 時間54分	男子大学生 5 名 ・年齢：20-27歳 ・運動習慣なし
No.2	歩行＆走運動 (walking and running: WR)	50分	44%HRR	16:00-16:50	23:05	6 時間15分	男子大学生 5 名 ・年齢：20-27歳 ・運動習慣なし
No.3	快適自己ペース走 (comfortable self-paced running: CSPR)	50分	59%HRR	19:30-20:20	23:09	2 時間49分	男子大学生 8 名 ・年齢：20-27歳 ・運動習慣なし
No.4	高強度走運動 (high intensy running: HIR)	40分	80%HRR	21:20-22:00	23:00	1 時間00分	男子大学生 8 名 ・年齢：19-21歳 ・運動習慣なし
No.5	中等度強度走運動 (moderate intensity running performed 1-h before bedtime: MIR (1h))	40分	60%HRR	21:20-22:00	23:00	1 時間00分	男子大学生 8 名 ・年齢：19-21歳 ・運動習慣なし
No.6	中等度強度走運動 (moderate intensity running performed 3-h before bedtime: MIR (3h))	40分	60%HRR	19:20-20:00	23:00	3 時間00分	男子大学生 6 名 ・年齢：19-21歳 ・運動習慣なし

HRR：Heart Rate Reserve（心拍予備量）

度の強度であったといえる。CSPR は，本人が快適と感じるスピードを自ら調節しながら走行したため，運動強度には大きな個人差が認められた。残る HIR，MIR (1h)，MIR (3h)の 3 種目は 40 分間のうち，始まりと終わりの 5 分間をウォームアップとクールダウン，その間の 30 分間をメインエクササイズで構成した。メインエクササイズの運動強度は，HIR で 80%HRR，MIR で 60%HRR に設定して行った。すべての運動は，夕方から就床直前までの様々な時間帯（16：00～22：00）で実施したため，運動終了から就床までに要した時間は 1 時間～ 6 時間 15 分と広範囲に分布した。

3 ）測定項目

(1)　直腸温

すべての運動日において，運動中から睡眠終了まで直腸温の連続記録を行った。直腸温記録には，携帯用サーミスタ温度計（K 210，Technol Seven），または携帯用体温ロガー（LT-8A，Gram Co.）を用い，1 分ごとの時系列データを得た。これらのデータから，①就床時直腸温と②就床前直腸温低下速度（＝就床前 1 時間における低下幅）の 2 項目のデータを得た。

(2)　RR 間隔

AA, WR を除くすべての運動実験において，運動中から睡眠終了まで 1 分ごとの RR 間隔の連続記録を行った。RR 間隔の記録にはアクティブトレーサー（AC-301，GMS）を用いた。さらに MEMCALC 解析（TARAWA，GMS）を行い，①就床時心拍数，②就床時 HF パワー値（HF は high frequency の略，0.15～0.40 Hz の高周波数帯域のパワー値で，副交感神経系の活動動態を示す），③就床時 LF/HF（LF は low frequency の略，0.04～0.15 Hz の低周波数帯域パワー値である。LF/HF は，交感神経系と副交感神経系の活動バランスを示す）の 3 項目の

データを得た。

⑶ 睡眠ポリグラフ

夜間睡眠時には，Rechtschaffen and Kales[13] の方法に従って，終夜ポリグラフ記録を行った。ポリグラフ記録は脳波（C 3，C 4，P 3，P 4），眼球運動（左側眼窩外側縁の 1 cm 上方と右側の 1 cm 下方），筋電図（オトガイ筋）によって構成した。AA，WR，CSPR 実験においては，マルチテレメーターシステム（WEB-5000，Nihon Kohden）とカセットデータレコーダー（XR-510，TEAC）を用いて記録した。HIR，MIR (1h)，MIR (3h) 実験においては，ポリメイト（AP1132，TEAC）を用いて記録した。記録したデータは Rechtschaffen and Kales の睡眠段階判定基準[13] に従って視察判定を行い，エポック（1 エポック＝20 秒間）ごとに睡眠段階を判定した。睡眠段階はW（覚醒），S 1，S 2，S 3，S 4（ノンレム睡眠の第 1，2，3，4 段階），SREM（レム睡眠）の 6 段階であった。これらの判定結果から，①入眠潜時（就床から入眠までに要した時間であり，寝つきの良否を示す。S 2，S 3，S 4，SREM のいずれかの睡眠段階が 1 分間以上連続して出現したときのはじめの時点を入眠と定義した），②徐波睡眠出現時間（S 3 と S 4 の合計時間で，睡眠の深さを示す），③睡眠効率（全就床時間に占める総睡眠時間の割合であり，十分な睡眠時間が確保できたかどうかの指標となる）の 3 項目のデータを得た。

4 ）データ分析方法

特に運動を実施しなかった対照日にも同様に，上記したすべてのデータを得た。各運動プロトコルに睡眠改善効果が認められたかどうかについては，運動日と対照日のデータの比較を行った。両群の比較には対応ある 2 群の差の検定を用いた。

また運動介入効果の大きさの指標として，各運動日のすべてのデータについて，対照日からの変化量を求めた。これにより就床時における生理的変化量の指標として①⊿就床時直腸温，②⊿就床前直腸温低下速度，③⊿就床時心拍数，④⊿就床時 HF パワー値，⑤⊿就床時 LF/HF の 5 項目のデータを得た。また睡眠変化量の指標として①⊿入眠潜時，②⊿徐波睡眠，③⊿睡眠効率の 3 項目のデータを得た。これら就床時の生理的変化量と睡眠変化量の関連性を検討するために，ピアソンの相関係数の検定を行った。すべての統計処理は，危険率 5 %未満を有意水準とした。

3．結　果

1 ）各運動プロトコルの睡眠改善効果について

運動日における測定結果と，対照日からの変化量を表 2 に示した。まず就床時直腸温に関しては，就床 1 時間前に行った HIR および MIR (1h)のみ，対照日に比べて運動日に有意に高い値を示した。また，上昇度の大きさは運動強度に依存した（HIR＞MIR (1h)）。就床前直腸温低下速度では，HIR 後における低下速度が最も大きく，平均－1.71℃/h であった。心拍数においても同様に，就床 1 時間前に行った 2 種目の運動のみ有意に値が高く，運動強度による違いが認められた。就床時 HF パワー値については，就床時刻に近い時間帯に運動を実施した CSPR，HIR，MIR (1h) の 3 種目において有意に低い値が認められた。一方，交感神経系と副交感神経系の活動バランスの指標とされる就床時 LF/HF に関しては，すべての運動日において対照日

表 2　各運動プロトコルの睡眠改善効果と生理的変化量

	就床時直腸温（℃）	就床前直腸温低下速度（℃/時間）	就床時心拍数（拍/分）	就床時HFパワー値（msec²）	就床時LF/HF	入眠潜時（分）	徐波睡眠（分）	睡眠効率（%）
AA (n=5)	37.10 (−0.03) n.s.	−0.12 (−0.07) n.s.	測定なし	測定なし	測定なし	22.9 (+2.4) n.s.	62.4 (+8.5) n.s.	91.9 (−1.3) n.s.
WR (n=5)	36.75 (−0.38) n.s.	−0.24 (−0.19) n.s.	測定なし	測定なし	測定なし	14.3 (−6.2) n.s.	63.9 (+10.0) n.s.	90.9 (−2.3) n.s.
CSPR (n=8)	37.17 (+0.02) n.s.	−0.44 (−0.29) n.s.	66.6 (+2.0) n. s.	374 (−287) p<0.05	3.6 (−0.3) n. s.	7.5 (−4.9) n.s.	68.3 (−13.1) n.s.	90.2 (−0.1) n.s.
HIR (n=8)	37.15 (+0.42) p<0.05	−1.71 (−1.53) p<0.05	76.8 (+20.4) p<0.05	273 (−492) p<0.05	3.5 (+0.3) n. s.	29.4 (+14.7) n.s.	48.7 (+1.8) n.s.	89.6 (−3.2) n.s.
MIR (1h) (n=8)	37.00 (+0.27) p<0.05	−1.14 (−0.97) p<0.05	66.4 (+10.0) p<0.05	461 (−305) p<0.05	3.8 (+0.6) n. s.	19.9 (+5.3) n. s.	43.9 (−3.1) n. s.	91.3 (−1.5) n. s.
MIR (3h) (n=6)	36.85 (+0.13) n.s.	−0.18 (−0.01) n.s.	60 (+2.7) n.s.	706 (−134) n.s.	2.0 (−1.9) n.s.	12.1 (−2.3) n.s.	48.4 (+0.3) n.s.	93.0 (−0.2) n.s.

上段に運動日の平均値，中段に対照日からの変化量（運動日-対照日），下段に対応ある 2 群の差の検定（運動日vs対照日）の結果を示した。
HF：high frequency（0.15-0.40Hz），LF：low frequency（0.04-0.15Hz），AA：水中エアロビクス，WR：歩行＆走運動，CSPR：快適自己ペース走，HIR：高強度走運動，MIR (1h)：就床 1 時間前における中等度強度走運動，MIR (3h)：就床 3 時間前における中等度強度走運動

との間に有意差は認められなかった。また睡眠ポリグラフのデータについても，すべての運動日において対照日との間に有意差は認められなかった。

2）運動介入に伴う就床時の生理的変化量と睡眠変化量の関係

本研究では就床時における生理的変化量と睡眠変化量の両者の関連性についてピアソンの相関係数の検定を行った。表 3 に解析結果を示したが，⊿入眠潜時×⊿就床前直腸温低下速度，⊿入眠潜時×⊿就床時 HF パワー値の 2 つの組み合わせにおいて有意な負の相関関係が認められた（図 1，2）。また⊿入眠潜時×⊿就床時心拍数との間に有意な正の相関関係が認められた（図 3）。これらの相関係数はいずれも 0.4 以下であり，有意ではあるが非常に弱い相関関係であった。一方，⊿徐波睡眠や⊿睡眠効率に関しては，就床時における生理的変化量との間に有意な相関関係は認めなかった。

表 3　運動介入に伴う就床時生理的変化量と睡眠変化量の関係

	⊿入眠潜時	⊿徐波睡眠	⊿睡眠効率
⊿就床時直腸温	0.218	−0.127	0.024
⊿就床前直腸温低下速度	−0.331＊	0.058	0.244
⊿就床時心拍数	0.391＊	0.228	−0.215
⊿就床時HFパワー値	−0.372＊	0.170	0.276
⊿就床時LF/HF	0.127	−0.129	−0.168

値はピアソンの相関係数を表している。＊p<0.05

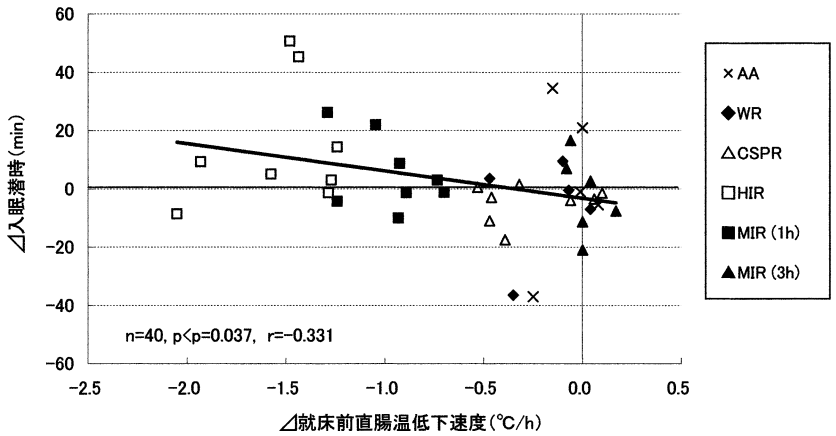

図 1　⊿就床前直腸温体温低下速度と⊿入眠潜時の関係

AA：水中エアロビクス，WR：歩行＆走運動，CSPR：快適自己ペース走，HIR：高強度走運動，MIR (1h)：就床 1 時間前における中等度強度走運動，MIR (3h)：就床 3 時間前における中等度強度走運動

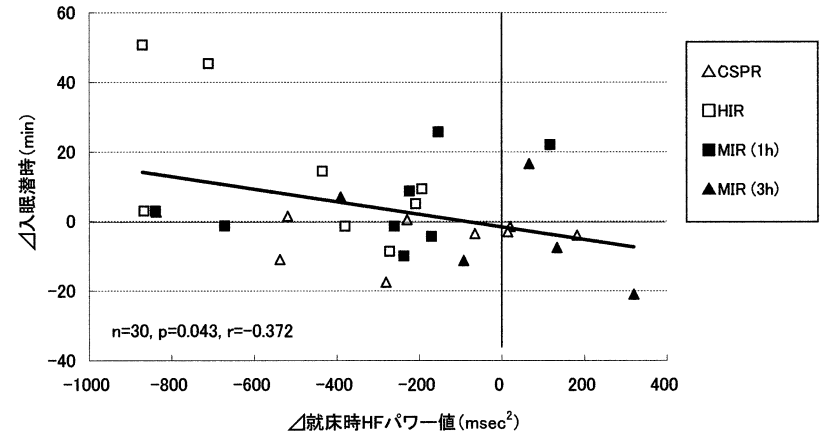

図 2　⊿就床時 HF パワー値と⊿入眠潜時の関係

CSPR：快適自己ペース走，HIR：高強度走運動，MIR (1h)：就床 1 時間前における中等度強度走運動
MIR (3h)：就床 3 時間前における中等度強度走運動

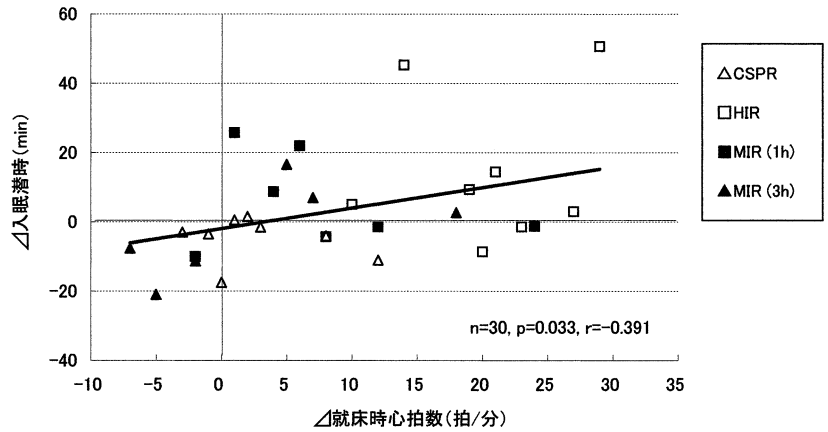

図 3　⊿就床時心拍数と⊿入眠潜時の関係

CSPR：快適自己ペース走，HIR：高強度走運動，MIR (1h)：就床 1 時間前における中等度走強度走運動
MIR (3h)：就床 3 時間前における中等度強度走運動

4．考　察

運動介入が睡眠に及ぼす影響の大きさは，運動後の特に就床時付近の生理的変化に関連しているのではないかと考え，これまでの運動介入実験データをもとに，就床時における生理的変化量と睡眠変化量の関連性について検討を行った。その結果，運動介入によって引き起こされた就床時における生理的変化は，睡眠開始の部分である寝つきとの間に有意な関連性を認めた。まず⊿入眠潜時と⊿就床時心拍数の間に正の相関関係が認められた。就床時の心拍数の増加度が大きい人ほど入眠潜時が延長したことを示しており，就床時まで過度の身体的興奮が持続することによって，寝つきの阻害というマイナスの影響が及ぼされた可能性が推察される。また⊿入眠潜時と⊿就床時 HF パワー値の間に負の相関関係が認められた。入眠潜時が大きく延長した被験者ほど，副交感神経系活動が抑制される度合いが大きかったことを示しており，就床時においてもなお副交感神経系への移行が十分になされていないことが推察される。以上の結果から，運動介入による入眠潜時への影響は，就床時における副交感神経系活動動態や身体的興奮度を反映することが推察された。

一方，⊿入眠潜時が⊿就床前直腸温低下速度との間に負の相関関係を認めたことは興味深い結果であった。これまで Krauchi et al[5] や Murphy and Campbell[6] の研究によって，末梢部位からの熱放散や深部体温の急激な低下は，入眠を促進する効果を持つと考えられてきた。この考えに従うと，就床前における深部体温低下速度を増加させることによって入眠が促進されることが予想される。しかし本研究では，運動介入により就床前直腸温低下速度が増加した人ほど入眠潜時が延長するという逆の関係が認められた。これらの結果の不一致について，深部体温低下の生理的機序の面から考察を加える。Murphy and Campbell は CR 条件にて実験を行っており，ここで見られた体温変動はおそらくサーカディアンリズムの影響を強く受けたものと考えられる。報告はなされていないが，これらの深部体温低下時に著しい身体的興奮はなく，副交感神経活動が亢進していたのではないかと考えられる。一方，本研究における深部体温低下は，運動によって引き起こされたダイナミックかつ急激な変化である。おそらく筋活動が停止したことによるエネルギー代謝の減少や，発汗による熱放散が深部体温を急激に低下させるように働き，副交感神経系の積極的な関与はなかったと考えられる。HF パワー値の結果はこの考えを支持し，就床時においてもなお副交感神経系の抑制が続いていることがわかる。このような生理的機序の差異のため，CR 条件で見られたような催眠効果が運動後の深部体温低下時には得られなかったのではないかと推察する。

また本実験で認められた⊿就床前直腸温低下速度と⊿入眠潜時の関係であるが，この関係性が認められる温度範囲については更なる検討が必要と思われる。本研究で用いたデータはすべて運動介入後の回復過程におけるものであり，ほとんどが就床前に低下傾向を示していた。熱放散に伴い催眠効果が高まるという理論に基づくと，就床前において逆に深部体温を上昇させることが入眠時間を短縮する効果をもつとは考えにくい。したがって，運動実施に伴って一時的に上昇した深部体温が回復する過程においてのみ，上記のような負の相関関係が認められるのではないかと推察する。

次に運動介入に伴う就床時の生理的変化が睡眠の構造（深さや持続性など）に及ぼす影響について考察する。これまで Horne らによって，就床時まで深部体温を高く維持しておくことが，徐波睡眠の増加に有効であることが示されてきた[8,9]。しかし，本研究では就床時に高体温を維

持していたHIR運動日にも徐波睡眠増加は認められなかったほか，⊿就床時直腸温と⊿徐波睡眠の間にも明らかな相関関係は認められなかった。先行研究と結果が一致しなかった理由として，ここでも強い身体的興奮の持続が重要と考える。入眠時に深部体温が高すぎると，徐波睡眠を増加させるのではなく，入眠の遅延を引き起こすと考えられる。就床時にどの程度まで深部体温を高く維持するかによって，プラスの影響を及ぼすか（速やかに入眠し，徐波睡眠を増加させる），マイナスの影響を及ぼすか（寝つき時間を延長させる）に分かれるのではないかと考える。もしこのような閾値が存在するのであれば，定期的な運動を実施していない人では，運動鍛錬者に比べて閾値レベルは低いと考えられる。この考察を反映するように，高い体力レベルを有する自転車競技者が就床30分前に65-75%$\dot{V}O_{2max}$の運動を3時間行っても，入眠は阻害されなかったことが報告されている[14]。

本研究をまとめると，運動実施によって就床時の生理応答を変化させることが夜間睡眠の変化に関連するのではないかという仮説は，部分的に支持されたと言える。運動プロトコルごとでは特異的な睡眠改善効果が認められなかったことから，運動プロトコルそのものよりも，運動介入による生理的変化のほうが，その後の睡眠（特に入眠）の良否を反映しやすいものと考えられる。

謝　辞

本年度で退官される森谷絜教授には，学部生の時から現在に至るまで貴重かつ温かい御指導，御鞭撻を頂きました。長年のご指導に対しまして，ここに厚く御礼を申し上げます。

[引用文献]

1）Driver, H. S., Taylor, S. R. Exercise and sleep. Sleep Med. Rev., 2000, 4 (4): 387-402.
2）Youngstedt, S. D., O'Conner, P. J., Dishman, R. K. The effects of acute exercise on sleep: a quantitative synthesis. Sleep, 1997, 20 (3): 203-214.
3）Youngstedt, S. D. Ceiling and floor effects in sleep research. Sleep Med. Rev., 2003, 7 (4): 351-365.
4）Bunnell, D. E., Bevier, W. C., Horvath, S. M. Nocturnal sleep, cardiovascular function, and adrenal activity following maximum-capacity exercise. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1983, 56: 186-189.
5）Krauchi, K., Wirz-Justice, A. Circadian clues to sleep onset mechanisms. Neuropsychopharmacology, 2001, 25: S92-96.
6）Murphy, P. J., Campbell, S. S. Nighttime drops in body temperature: a physiological trigger for sleep onset? Sleep, 1997, 20 (7): 505-511.
7）McGinty, D., Szymusiak, R. Keeping cool: a hypothesis about the mechanisms and functions of slow wave sleep. Trends. Neurosci., 1990, 13: 480-487.
8）Horne, J. A., Moore, V. J. Sleep EEG effects of exercise with and without additional body cooling. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1985, 60: 33-38.
9）Horne, J. A., Reid, A. J. Night-time sleep EEG changes following body heating in a warm bath. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1985, 60: 154-157.
10）Oda, S., Moriya, K. The effects of recreational underwater exercise in early evening on sleep for physically untrained male subjects. Psychiat. Clin. Neurosci., 2001, 55: 179-181.
11）Oda, S., Seino, A., Takumi, Y., Sugawara, M., Kiyoshi, M. The effects of comfortable self-paced running in the late evening on rectal temperature and sleep. Proceedings of the International Council on Health, Physical Education and Sports in Northeast Eurasia, 2002, 8-12.

12) Shimizu, T., Kosaka, M., Fujishima, K. Human thermoregulatory responses during prolonged walking in water at 25, 30 and 35 degrees C. Eur. J. Appl. Physiol., 1998, 78 (6): 473-478.
13) Rechtschaffen, A., Kales, A. A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stage of human subjects. Government Printing Office, Washington, DC. 1968
14) Youngstedt, S. D., Kripke, D. F., Elliott, J. A. Is sleep disturbed by vigorous late-night exercise? Med. Sci. Sports Exercise, 1999, 31 (6): 864-869.