

2008年度 修士論文

就寝前の高強度運動が睡眠に及ぼす影響

The Effects of Pre-Sleep High-Intensity
Exercise on Sleep

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5007A030-1

塩田 耕平

Kohei, Shioda

研究指導教員： 内田 直 教授

就寝前の高強度運動が睡眠に及ぼす影響

The Effects of Pre-Sleep High-Intensity Exercise on Sleep

スポーツ医科学研究領域 5007A030-1 塩田 耕平
指導教員 内田 直 教授

I. 序論

日常的な経験や一般的な認識からは、運動は睡眠に良い影響を及ぼすと考えられている。運動が睡眠に与える影響についての生物学的メカニズムは未だ明らかになっていないが、運動が睡眠の改善につながるのであれば、その意義は大きい。

一過性の運動が睡眠に及ぼす影響については、多くの研究が成されているが、一貫した結果が示されていない。しかし、運動が睡眠に影響を及ぼすメカニズムについてはいくつか提唱されている。その一つとして、過度の運動が身体に対してストレス反応を引き起こし、オーバートレーニング症候群のように睡眠を阻害するということが示されている。

また、これまでの研究では有酸素運動による夜間睡眠の影響を見たものがほとんどである。無酸素運動が睡眠に及ぼす影響を見た研究は、長期的なウェイトリフティング運動や、パワー系アスリートと持久系アスリートの睡眠を比較したものがある。しかしながら、一過性の無酸素運動による睡眠への影響を見た研究はほとんど行われていない。よって本研究では、就寝時刻の3-4時間前に行った高強度無酸素運動が、夜間睡眠に及ぼす影響について明らかにすることを目的としている。

II. 方法

運動習慣の無い健康な若年男性 7 名(平均年齢 21.57 ± 1.40 歳)を対象とした。

実験ではベッドタイムを 23:30-07:30 の 8 時間に固定し、PSG による夜間睡眠の評価を行った。運動は power max エルゴメーターによる全力のペダリング運動を行った。

運動の詳細については、負荷を体重の 7.5%とし、

5 秒間の全力ペダリング運動→25 秒休憩×10 セット

30 分間休憩

5 秒間の全力ペダリング運動→25 秒休憩×10 セット

を行った。

運動の影響を客観的に示すために、運動の前後・睡眠の前後に呼気ガス諸量 (VO₂、VCO₂、RER、VE)、血中乳酸値、血糖値を測定した。また、実験期間中はアクチグラフィによる身体活動量と光暴露量、直腸温度、心拍数を継

続的に記録した。図 1 に実験スケジュールを記す。



図 1. 実験スケジュール

睡眠のデータは視察判定に基づいて各睡眠変数を算出し、control 条件と exercise 条件を比較した。

睡眠変数については、それぞれの項目において control 条件と exercise 条件に対して、対応のある t 検定を行った。呼気ガス諸量、血中乳酸値、血糖値、POLAR による呼気ガス諸量測定中の心拍数については、独立変数を条件 (control 条件・exercise 条件)、測定時間 (運動前・運動後・就寝前・起床後) として対応のある二元配置の分散分析を行った。そして交互作用が見られた項目は、全てのポイントにおいて対応のある一元配置の分散分析を行い、その後 Bonferroni の多重比較を行った。

III. 結果

control 条件と exercise 条件における、夜間睡眠全体での睡眠変数の比較では、全ての項目において有意な違いは見られなかった。中途覚醒 (WASO) においては exercise 条件の方が増加する傾向が見られた (表 1)。

睡眠の最初の 2 時間における睡眠変数の比較においても、control 条件と exercise 条件に有意な違いは見られなかった。しかし、睡眠段階 2 において exercise 条件の方が減少する傾向が見られた (表 2)。

表1.control条件とexercise条件の睡眠変数の比較 (8h)

	control	exercise	P
Sleep Efficiency (%)	97.73	96.37	0.21
Time In Bed (min)	480.00	480.00	
Total Sleep Time (min)	469.08	462.58	0.21
Sleep Onset Latency (min)	7.08	12.67	0.16
REM Latency (min)	63.83	85.83	0.40
Wake time After Sleep Onset (min)	5.00	8.83	0.07 †
stage REM (min)	101.67	86.50	0.11
stage 1 (min)	44.17	49.58	0.43
stage 2 (min)	289.42	287.33	0.83
stage 3 (min)	32.25	41.25	0.14
stage 4 (min)	2.08	0.92	0.47
stage 3+4 (min)	34.33	42.17	0.27
5秒以上の体動 (回数)	38.00	37.50	0.92

† p < 0.1

表2.睡眠開始後2時間におけるcontrol条件とexercise条件の睡眠変数の比較

	control	exercise	P
Sleep Efficiency (%)	93.82	88.61	0.21
Time In Bed (min)	120.00	120.00	
Total Sleep Time (min)	112.58	106.33	0.21
Wake time After Sleep Onset (min)	0.33	1.17	0.50
stage REM (min)	7.58	6.50	0.72
stage 1 (min)	11.58	15.00	0.56
stage 2 (min)	72.50	62.17	0.10 †
stage 3 (min)	23.83	29.17	0.26
stage 4 (min)	1.83	0.92	0.49
stage 3+4 (min)	25.67	30.08	0.35

† p < 0.1

表3.呼吸ガス諸量等の二元配置分散分析の結果

	運動前	運動後	就寝前	起床後	運動条件	測定時間	交互作用
VO2 (ml/min)					0.00	0.00	0.00
control	235.71 ± 30.01	246.60 ± 38.87	234.93 ± 26.27	222.89 ± 29.83			
exercise	246.30 ± 39.08	354.74 ± 51.34 ^{§§††}	265.93 ± 35.24	220.20 ± 30.38 [§]	0.00 **	0.00 **	0.00 **
VCO2 (ml/min)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	204.69 ± 30.69	223.56 ± 35.79	216.94 ± 19.75	198.74 ± 29.60			
exercise	222.73 ± 40.87	318.34 ± 63.52 [†]	241.60 ± 34.21	198.81 ± 24.47	0.49	0.47	0.54
RER					0.06	0.00 **	0.02 *
control	0.87 ± 0.05	0.91 ± 0.02	0.93 ± 0.06	0.89 ± 0.03			
exercise	0.90 ± 0.05	0.90 ± 0.11	0.91 ± 0.05	0.91 ± 0.04	0.06	0.00 **	0.02 *
VE (l/min)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	16.83 ± 2.29	16.69 ± 2.79	15.73 ± 3.06	14.45 ± 2.52			
exercise	16.60 ± 1.54	21.96 ± 5.63	15.72 ± 3.06	15.31 ± 2.68	0.00 **	0.00 **	0.00 **
血中乳酸値 (ml/dL)					0.06	0.00 **	0.09
control	3.96 ± 3.63	2.54 ± 1.63	2.23 ± 0.68	1.77 ± 0.39			
exercise	1.81 ± 0.67	15.70 ± 1.75 ^{§§††}	3.13 ± 0.96	1.96 ± 0.66	0.06	0.00 **	0.09
血糖値 (mg/dL)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	104.71 ± 6.99	106.714 ± 6.87	126.14 ± 14.54	86.29 ± 7.93			
exercise	102.71 ± 12.72	93.29 ± 9.86	122.71 ± 12.62	85.43 ± 9.03	0.00 **	0.00 **	0.00 **
HR (bpm)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	59.63 ± 7.47	59.37 ± 8.74	59.69 ± 6.77	57.00 ± 6.08			
exercise	63.09 ± 7.96	102.91 ± 6.90 ^{§§††}	75.20 ± 8.24 ^{§†}	58.60 ± 4.39	0.00 **	0.00 **	0.00 **

条件内における運動前との比較 [†]P<0.05, ^{††}P<0.01
同じ測定時間におけるcontrolとの比較 [§]P<0.05, ^{§†}P<0.01

IV. 考察

実験の結果から、就寝時刻の3-4時間前に行った無酸素の高強度運動がその後の夜間睡眠に及ぼす影響は、視察判定による段階判定の結果からは、有意な違いが見られなかった。

運動の影響については、exercise条件における運動後と就寝前の心拍数が有意に高く、高強度運動の影響が入眠時にまで持続していることが示された。にもかかわらず、入眠潜時におけるcontrol条件とexercise条件の比較では有意差が認められなかった。その理由として、運動による深部体温の上昇と睡眠との関連性が考えられる。本実験で行った高強度の無酸素運動は、運動強度による身体への影響としては有酸素運動と変化はないが、実質の運動時間は有酸素運動に比べ圧倒的に少ない。したがって、運動後の深部体温上昇は、高強度有酸素運動を行った先行研究と比較すると大きいものではなかった。

本実験において、高強度運動の影響により就寝時の心拍数は有意に高かったにもかかわらず、深部体温の上昇は見られず、睡眠潜時がcontrol条件と変わらないという結果が示された。本研究の目的である、就寝3-4時間前に行う高強度無酸素運動が夜間睡眠に及ぼす影響は、視察判定による段階判定の結果からは有意な違いが認められなかった。しかしながら、高強度無酸素運動に対する深部体温や心拍数などの生理学的応答は、無酸素運動が睡眠に及ぼす影響についての貴重なデータを示している。

呼吸ガス諸量等の二元配置分散分析の結果は表3に示した。VO2・VCO2・VE・血中乳酸値・心拍数(HR)において交互作用が認められた。Bonferroniの結果は、VO2・血中乳酸値・HRにおいては、exercise条件の運動後の値が、他の全ての条件と比較して有意に高い値を示した。さらに、HRではexercise条件の就寝前の値も、他の全ての条件と比較して有意に高い値を示していた。

目次

1.序論 -----	1
1-1.運動と睡眠の関係	1
1-2.先行研究	4
1-3.本研究の目的	7
2.方法 -----	8
2-1.対象・実験場所	8
2-2.実験スケジュール	9
2-3.測定項目	11
2-4.統計分析	18
3.結果 -----	19
3-1.睡眠	19
3-2.運動	21
3-3.その他の測定	24
4.考察 -----	27
5.結論 -----	35
6.引用文献 -----	36
7.謝辞 -----	42

1. 序論

1-1. 運動と睡眠の関係

日常的な経験や一般的な認識からも運動は睡眠に良い影響を及ぼすと考えられている。例えば、無作為に選出された回答者に対し、どのような行動が最も睡眠を促進させるか、という自由回答式質問法を行った調査では、運動は最も重要な行動として挙げられた〔1〕。さらに、アメリカ睡眠障害協会（American Sleep Disorders Association）では非薬理的に睡眠を改善させる方法の一つとして、運動を承認している〔2〕。

運動と睡眠の関連性については一貫性のある結果が報告されておらず、その根拠となる証拠は未だ明らかになっていないが、運動が睡眠の改善につながるのであれば、その意義は大きい。

まず運動の睡眠改善効果について、これまでに提示されてきた仮説を挙げる。

[不安減少作用]

睡眠の乱れは、不安の顕著な特質であるとされている〔3〕。このことから不眠症に対して運動が有効な理由の一つとして、運動による精神衛生面での効果、つまり不安の減少による睡眠改善が考えられる。O'Connorら〔4〕は一時的な運動は状態不安を減少させ、長期的（習慣的）な運動は特性不安の安定した減少につながることを報告している。

[熱発生作用]

Horneら〔5, 6〕は、運動後の深部体温の上昇によって睡眠徐波が増加すると報告した。しかしこの報告は、入浴によって受動的に深部体温を上昇させた場合にも睡眠徐波が増加したことを示した研究と一致して

いた〔7〕。さらに McGinty ら〔8〕が報告した睡眠の体温低下調節機能仮説とも一致している。

Avery ら〔9〕は、うつ病患者や不眠症患者などの睡眠障害を有する人々は、夜間睡眠における体温低下が脆弱になっていると報告している。仮説として、就寝前に運動を行うことで深部体温が上昇し、それによって睡眠が改善されるという可能性が考えられる。

〔概日位相移動作用〕

睡眠は、サーカディアンリズムの位相と大きく関連している。このサーカディアンリズムは主に光による影響を受けるが、その他にも温度、食事などの様々な要因によって位相が移動されると考えられている〔10〕。サーカディアンリズムの位相が移動すると、いわゆる時差ボケといった、生体リズムと生活リズムとのズレが生じ睡眠が著しく阻害される。

運動にもサーカディアンリズム位相を移動させる働きがあると Edwards ら〔11〕は報告している。特に夜間に運動を行った場合、サーカディアンリズムは遅延するとされる。また、Van Reeth ら〔12〕によると 2.5 時間の穏やかな運動は、同条件下において 5000lux の明るい光に 3 時間暴露した場合と同様のサーカディアンリズム位相変化への作用があると報告している。

運動が睡眠に影響を及ぼすメカニズムとして、細胞から産生されるタンパク質であるサイトカインとの関連も報告されている。サイトカインは、体温調節や食物摂取、睡眠や行動のパターンを調節していると考えられている〔13、14〕。そして一過性の運動は、炎症性サイトカインであるインターロイキン-1 (IL-1) やインターロイキン-6 (IL-6)、腫

瘍壊死因子- α (Tumor Necrosis Factor: TNF- α) の濃度の増加を促進し、その増加は運動によって数時間持続される可能性があるとして Santos ら [15] は報告している。

しかし一方では、過度の運動は身体に対してストレス反応を引き起こし [16]、オーバートレーニング症候群などのように、睡眠や免疫系などに対して悪影響を及ぼすことも報告されている [17]。オーバートレーニング症候群とは、過度の運動が身体に対してストレスとなり、コルチゾールの分泌異常など、自律神経系・内分泌系に乱れが生じ睡眠や免疫系などが悪化すると仮定されている [17]。

1-2. 先行研究

一過性の運動、および長期間の運動が睡眠に及ぼす影響についてはこれまでにいくつかの研究が成されている。一過性の運動が睡眠に及ぼす影響については、結果としてはその影響は大きいものではない。Youngstedtら〔18〕が行った38の研究のメタ分析によると、一過性の運動は睡眠潜時や中途覚醒時間にほとんど影響はなく、総睡眠時間（Total Sleep Time）および、徐波睡眠量（Slow Wave Sleep）は軽度増加し（TST：10分、SWS：1.6分）、REM睡眠量は軽度に減少した（6分）と報告している。しかしながら、このような変化は運動を実施する時間帯や運動の種類、強度によって異なってくると考えられる。運動を実施する時間帯について Kubitzら〔19〕は午後の早い時間帯の運動は睡眠に良い影響を与え、睡眠直前の運動は睡眠に悪影響を及ぼすと報告した。また、Dworakら〔20〕が12歳の子どもに対して就寝3-4時間前にエルゴメーターによる高強度運動（85-90%HRmaxを10分×3セット）行ったところ、睡眠徐波が有意に増加したと報告している。

しかし、Youngstedtら〔21〕は睡眠直前に65-75%HRRのサイクリング運動を3時間行わせ、このような激しい運動でもその後の睡眠を必ずしも悪化させないという結果を報告している。さらに、O'Connorら〔22〕も、健常な若年成人男性に対して、就寝時直前（30-90分前）に行う中強度運動はその後の夜間睡眠に影響を及ぼさないと報告した。本邦の研究では白川ら〔23〕が、就寝時刻の1時間前に高強度運動（トレ

ッドミルで 80% HRR を 30 分間) を行わせ、その後の夜間睡眠において REM 睡眠と TST が有意に減少したと報告している。

また、Driver ら [24] は、8 名の持久系アスリートに対して、ウルトラ - トライアスロン (21km : カヌー、96km : サイクリング、42km : ランニング) を行わせたところ、15km ランニング、および 42.2km ランニングを行った場合と比較して睡眠が阻害されたと報告している。さらに、若年女性に対して 12 週間の運動プログラム (エルゴメーターによるペダリング運動 70% VO₂max を 1 時間 : 週 3 回) を 16 : 00 - 19 : 00 に行ったところ、徐波睡眠量が減少している [25]。

このように一過性の運動が睡眠に及ぼす影響については、十分に確立した見解が得られていないのが現状である。したがって、一過性の運動と睡眠の関連性についてはより詳細な研究が必要である。

さらに、これまで挙げてきた研究は全て有酸素運動が睡眠に及ぼす影響について検討したものであったが、無酸素運動が睡眠に及ぼす影響についての研究もいくつか行われている。Singh ら [26] は 60 歳以上の高齢者に対して一日 1 時間のウェイトリフティング運動を、週 3 日、10 週間行ったところ、衛生教育プログラムに参加したコントロール群と比較して、自己報告の睡眠の質が向上したと報告している。さらに、無酸素系のトレーニングを行っているパワー系のアスリートと持久系のアスリートの睡眠を比較すると、持久系のアスリートの方が徐波睡眠量、睡眠時間が多く、睡眠潜時が短いという研究結果も報告されている [27、28]。しかしながら、無酸素運動がその後の睡眠に及ぼす影響については未だに研究自体が圧倒的に少ないのが現状であり、今後さらなる研究が必要となる領域である。

一方で、長期間の運動が睡眠に及ぼす影響についての研究も報告があ

る。これまでの研究をまとめると、一過性の運動と同様に睡眠に対する変化は必ずしも大きくはないという結果になっている。例えば、Tworogerら〔29〕の研究では173名の中年女性に対して1年間の運動プログラム（週5日、少なくとも45分以上の中強度運動：トレッドミルウォーキングやエルゴメーター）を行った群とストレッチのみを行った群を比較し、睡眠の質に有意差はなかったと報告している。その他にも、Guilleminaultら〔30〕は中年の不眠症患者30名を3つの群に無作為に振り分け、各群における睡眠の変化を調査した。3つの群は、運動群（1日45分の早歩き）、光暴露群（1日30分）、コントロール群である。これらを4週間行い、睡眠を評価した。この実験では、睡眠はアクチグラフィと睡眠記録で評価されている。結果は、コントロール群において睡眠潜時（SOL）の微小な増加（1分）と、総睡眠時間（TST）の減少（3分）を示したが、一方で運動群はSOLとTSTにおいてそれぞれ7分の減少と17分の増加が見られた。さらに光暴露群でもSOLの減少（8分）とTSTの増加（44分）が見られた。しかしこれらの値に有意差は認められなかった。

以上のように、運動と睡眠の関連性を調査した研究は数多く存在するが、一過性の運動についても長期の運動についても、未だ統一された見解が得られていない。

1-3. 本研究の目的

これまでの先行研究では有酸素運動による夜間睡眠の影響を見たものが多く、無酸素運動による影響を見た研究は少ない。そして、同じ高強度運動でも有酸素運動と無酸素運動では身体に及ぼす影響に違いが生じると考えられる。よって本研究では、就寝時刻の3-4時間前に行ったpower maxエルゴメーターによる高強度無酸素運動が、夜間睡眠に及ぼす影響について明らかにすることを目的としている。

2. 方法

2-1. 対象・実験場所

健常な男子大学生 7 名を被験者とした。被験者の平均年齢、体重、身長、BMI はそれぞれ、 21.57 ± 1.40 歳、 69.73 ± 13.87 kg、 172.71 ± 4.46 cm、 23.30 ± 4.23 、であった。被験者は以下のような条件をもとに抽出した。①若年男性、②精神疾患の既往歴がなく心身ともに健康な者、③薬物を使用していない者、④日常の生活リズムが比較的安定している者、⑤現在、定期的な運動習慣のない者、以上 5 つの条件全てに当てはまる者に被験者となってもらった。

実験は 2008 年 9 月から 11 月までに、7 名の被験者を 4 期に分け、早稲田大学所沢キャンパスフロンティアリサーチセンター内、114 および 115 室で行った。睡眠中は外からの光を遮断し、室温は $24 \sim 26^{\circ}\text{C}$ に設定した。寝具はシングルベッドを使用し、就寝時の着衣は被験者らが普段着ている寝やすいものを持参させ、着用させた。実験期間中は日中もフロンティアセンターから外出せず、外部からの光に当たらないようにした。

2-2. 実験スケジュール

本実験では、多くの睡眠研究において用いられている PSG による夜間睡眠の評価を行った。ベッドタイムは 23:30-07:30 に固定した。

運動は power max エルゴメーター (COMBI 社) によるペダリング運動とし、睡眠の 2-3 時間前にあたる 20:00-21:00 に行った。各被験者に対する運動の身体への影響を示すために、運動の前後、そして就寝の前後に呼気ガス諸量 (VO₂、VCO₂、RER[呼吸交換比: Respiratory Exchange Ratio]、VE[換気量: expiratory minute volume])、血中乳酸値、血糖値を測定した。(図 1)

本実験では各被験者とも合計 3 夜の、夜間睡眠の脳波測定を行った。実験 1 日目は脳波電極を装着した状態での睡眠に慣れるため、およびフロントリアリサーチセンター内の部屋での睡眠に慣れるための adaptation (適応夜)、実験 2 日目は control 条件 (基準夜: 運動を行わない条件) とし、実験 3 日目は exercise 条件 (運動夜: power max エルゴメーターによるペダリング運動を行った条件) とした。各夜とも PSG 測定のための電極を装着した後、23:30 に消灯し、8 時間の睡眠時間を取り、7:30 に起床させた。食事は全被験者に対して同じものを同じ時刻に摂取してもらうようにコントロールした。それぞれ、09:00 (459kcal)、12:30 (606kcal)、18:00 (665kcal)、22:00 (180kcal) であった。なお、22:00 には就寝時に空腹感による睡眠への悪影響をなくすために、ゼリーを摂取させた。飲料は水のみ許可し、被験者自身が適宜摂取した。



図 1. 実験スケジュール

全ての被験者は実験の前に実験概要についての説明を受け、同意書にサインの上、実験に参加してもらった。被験者には実験日より4日以上前から、実験と同様の睡眠覚醒スケジュール（23：30 就寝、07：30 起床）を送り、過度の運動を控えるよう指示した。さらに被験者の非利き手に、アクチグラフィ（ACTIWATCH：AW-L：Mini-Mitter社）を装着し、睡眠覚醒リズムと活動量、光暴露量を計測した。また、実験期間中は身体活動量と光暴露量（アクチグラフィ）の他に直腸温度（LT-8A：gram社）、心拍数（RS400：POLAR社）も測定した。

2-3. 測定項目

2-3-i. 運動負荷

power max エルゴメーターによる全力のペダリング運動を行った。運動の詳細については、2種類のウォームアップを行い、それから全力運動を30分の休憩を挿んで2回行った。最初のウォームアップは体重の2%の負荷、回転数70のペースで2分間行った。その後1分間の休憩を挿み、負荷を5%に上げて回転数120のペースで20秒間行った。3分間の休憩後、負荷を7.5%とし全力ペダリング運動を行った。内容は以下の通りである。

5秒間の全力ペダリング運動→25秒休憩×10セット

30分間休憩

5秒間の全力ペダリング運動→25秒休憩×10セット

なお、2回目の全力運動の前にはウォームアップは行っていない。全力ペダリング運動中の各セットのピーク回転数とパワーを記録した。

運動の評価

運動強度の指標として、呼気ガス諸量（VO₂、VCO₂、RER、VE）、血中乳酸値、血糖値を運動の前後（19：30、21：00）・就寝の前後（23：30、07：30）に測定した。

呼気ガス諸量は被験者をベッド上で仰臥位にさせ、マスクを装着して

測定した（AE-300S：ミナト医科学株式会社）。血中乳酸値・血糖値は簡易測定器を使用し（ラクテートプロ：ARKRAY社製・ニプロフリースマイルメーター：ニプロ株式会社製）、指先からの微量採血によって測定した。

さらに、POLARによる呼気ガス諸量測定中の心拍数、運動中の最高心拍数、を記録した。

2-3-ii . 睡眠の PSG 記録

睡眠中は TEAC 社製 Polymate を用いて睡眠ポリグラフ記録を行った。ポリグラフの測定はサンプリング周波数 1000Hz で記録し、時定数は脳波と眼球運動が 0.3 秒、オトガイ筋筋電図が 0.01 秒、心電図が 1.50 秒で記録した。ハイカットフィルターは脳波と眼球運動と心電図が 100Hz、オトガイ筋は 200Hz で記録した。

脳波（EEG）電極は、国際脳波学会連合基準電極配置法 10-20 法に基づき、A1・A2 を基準対側電極として、C3・C4、O1・O2 に装着した。眼球運動（EOG）は眼右上、左下に電極を装着した。また、顎の左右に電極を装着し、オトガイ筋筋電図（EMG）測定、さらに左右鎖骨上部に電極を装着し、心電図（ECG）の記録を行った。その他に額のリファレンスとアース電極を含め、合計 14 箇所電極を装着した。頭部への電極装着は睡眠中に外れる可能性があったため、コロジオンをガーゼに染み込ませて電極の上から頭部に固定した。取り外しの際にはアセトン液を使用した。全ての電極にはアクティブ電極を使用した。

記録の解析

睡眠ポリグラフの記録は睡眠ポリグラフ判読支援プログラム PSGViewer を用いて視察による睡眠段階判定を行った。睡眠段階の視察判定は、以下に述べる Rechtschaffen&Kales ら（31）の判定基準に基づ

いて、1 エポック 30 秒で判定を行った。

- stage Wake

stage Wake は覚醒の状態であり、さまざまな低電位周波数の脳波が混在している。特に O1・O2 において α 波（8–13Hz）が顕著に見られる。筋電位が高く、長時間の体動が見られる。また、瞬目を含めた眼球運動が非常に多く見られる。

- MT (Movement Time)

MT は体動に伴う筋緊張などのアーチファクトによって、EEG 及び EOG の判読が困難である場合、そのエポックは MT と判定する。本実験では体動によるアーチファクトがエポックの 50% 以上を占めている場合に MT と判定した。

- stage 1

α 波が減少し、O1・O2 に占める α 波の割合が 1 エポックの 50% 以下となり、8Hz 未満で 20 μ V 以上の様々な周波数の脳波が混在している状態。つまり覚醒中の安静閉眼時と比べ、覚醒水準の低下を表す脳波が、1 エポックの 50% 以上を占めている状態である。また、stage 1 では C3・C4 において 75 μ V 以上の振幅で 5–14Hz の先鋭な波形（頭頂部鋭波）が見られる。さらに、緩やかに滑らかな正弦波様の緩徐眼球運動（Sloe Eye Movements : SEMs）が見られる。SEMs の振幅は 200 μ V 以上、周期は 10 秒以下である。

- stage 2

K 複合（K-complex）や睡眠紡錘波（sleep spindle）が見られる状態。K 複合の定義は、0.5 秒以上の持続時間があること、振幅が頂

点間で $200\mu\text{V}$ 以上あること、背景脳波から際立っていること、すなわち、前後 5 秒以内に高振幅な脳波が見られないことである。睡眠紡錘波を伴っても伴わなくてもよい。

睡眠紡錘波の定義は、 $12-16\text{Hz}$ の周波数で、振幅が $10\mu\text{V}$ 以上の脳波が連続して 6 波以上もしくは 0.5 秒以上持続して出現していることである。K 複合や睡眠紡錘波が途切れても、3 分以内に K 複合や睡眠紡錘波が見られる場合には、その間に異なる段階の特徴が見られたとしても stage 2 として判定する（3 分則）。

- stage 3

2Hz 以下で $75\mu\text{V}$ 以上の振幅の脳波（徐波： δ 波）の占める割合が、1 エポックの $20-50\%$ の状態。睡眠紡錘波は出現することもしないこともある。

- stage 4

2Hz 以下で頂点間の振幅が $75\mu\text{V}$ 以上の脳波（徐波： δ 波）の占める割合が、1 エポックの 50% より多い状態。

- stage REM

stage REM は比較的低電位の脳波で、散発的な速い眼球運動（Rapid Eye Movements：REM）の共存的出現の段階である。この段階では、筋電図の振幅は低く、最低レベルになる。脳波パターンは stage 1 と似ているが、stage REM では頭頂部鋭波が目立たず、睡眠紡錘波と K 複合は見られない。

以上の段階判定について PSGViewer を用いて、30 秒を 1 エポックとしてコンピューター画面上で視察的に行った。1 エポック上に異なる段階が存在している場合には、割合が多い方の段階として判定した。

さらに、MT と判定されなかった 5 秒以上の短い体動の数を段階判定とは別にカウントした。

睡眠変数

上記の視察判定に基づいて、各夜間睡眠の睡眠変数を算出し、解析を行った。以下にそれぞれの睡眠変数について記す。

- ・ 総就床時間 (Time In Bed : TIB)

就床から起床までの時間。本実験においては全て 8 時間に統一した。

- ・ 総睡眠時間 (Total Sleep Time : TST)

入眠から翌朝の最後の覚醒までの時間の内、中途覚醒を除いた時間。

- ・ 睡眠効率 (Sleep Efficiency : SE)

$TST / TIB \times 100 (\%)$

- ・ 入眠潜時 (Sleep Onset Latency : SOL)

就床時から入眠までに要した時間。本実験においては、入眠の定義として、就床時刻から最初の stage 2 が出現した時点までとした。つまり就床から stage 2 が出現するまでの stage 1 については、stage Wake として判定した。

- ・ REM 潜時 (REM Latency : RL)

入眠から REM 睡眠が出現するまでに要した時間。

- ・ 中途覚醒時間 (Wake time After Sleep Onset : WASO)

入眠から翌朝の最後の覚醒までの内の、覚醒時間。

- ・ 睡眠段階出現時間

TIB において、各睡眠段階 (stage 1、2、3、4、3+4、REM) の占める時間。

睡眠変数は夜間睡眠全体（8時間）と最初の2時間（23：30－01：30）
の2種類を算出した。

2-3-iii. その他の測定

[1]アクチグラフィ

アクチグラフィを被験者の非利き手に装着し実験期間中の身体活動量と光暴露量を記録した。1 エポック 1 分として記録し、シャワー時のみ取り外した。

0 : 00 – 23 : 59 までを 1 日とし、1 日の身体活動量と光暴露量を平均し算出した。また、実験開始前 3 日間のそれぞれのデータを平均し実験前データとし、control 条件、exercise 条件と比較した。

[2]深部体温

シャワー、大便時を除き直腸温用プローブを外気温の影響を受けないように 10cm 挿入し、記録した。温度ロガーの計測周期は 1 分とした。

30 分間のデータを平均し、それぞれのポイントを時系列に示し、control 条件と exercise 条件を比較した。

[3]心拍数

シャワー、睡眠時を除いて POLAR による心拍数を 1 エポック 1 分として測定した。睡眠時に POLAR を外した理由として、ベルトによる胸の圧迫感が睡眠に悪影響を及ぼす恐れがあったためである。さらに、睡眠ポリグラフの記録によって心拍数(心電図)も同時に記録できるので、就寝中は POLAR を外した。

前述した、呼気ガス諸量測定中の心拍数、運動時の最高心拍数以外に、08 : 00 – 19 : 00 までの心拍数を平均し、日中の平均心拍数とした。

2-4. 統計分析

睡眠変数については、それぞれの項目において control 条件と exercise 条件に対して、対応のある t 検定を行った。有意確率は 5%とし、10%未満には傾向がみられたとして結果に記した。

呼気ガス諸量、血中乳酸値、血糖値、POLAR による呼気ガス諸量測定中の心拍数については、独立変数を条件 (control 条件・exercise 条件)、測定時間 (運動前・運動後・就寝前・起床後) として対応のある二元配置分散分析を行った。交互作用が見られた項目は、すべてのポイントにおいて対応のある一元配置分散分析を行い、その後 Bonferroni の多重比較を行った。その他の測定値は control 条件と exercise 条件との比較として t 検定を行った。有意確率は 5%として解析を行った。

3. 結果

3-1. 睡眠

本実験で得られたデータのうち、1名の被験者において夜間に2時間以上にわたる長時間の覚醒が認められ、正常な睡眠データが記録できなかったため、分析から除外し n=6 として解析を行った。

夜間睡眠全体（8h）の睡眠変数について表1に示す。

表1.control条件とexercise条件の睡眠変数の比較（8h）

	control	exercise	P
Sleep Efficiency (%)	97.73	96.37	0.21
Time In Bed (min)	480.00	480.00	
Total Sleep Time (min)	469.08	462.58	0.21
Sleep Onset Latency (min)	7.08	12.67	0.16
REM Latency (min)	63.83	85.83	0.40
Wake time After Sleep Onset (min)	5.00	8.83	0.07 †
stage REM (min)	101.67	86.50	0.11
stage 1 (min)	44.17	49.58	0.43
stage 2 (min)	289.42	287.33	0.83
stage 3 (min)	32.25	41.25	0.14
stage 4 (min)	2.08	0.92	0.47
stage 3+4 (min)	34.33	42.17	0.27
5秒以上の体動（回数）	38.00	37.50	0.92

† p < 0.1

control条件とexercise条件における、夜間睡眠全体での睡眠変数の比較では、全ての項目において有意な違いは見られなかった。中途覚醒

(WASO) においては exercise 条件の方が増加する傾向が見られた。

睡眠の最初の 2 時間 (23:30-01:30) の睡眠変数を表 2 に示す。

表2.睡眠開始後2時間におけるcontrol条件とexercise条件の睡眠変数の比較

	control	exercise	P
Sleep Efficiency (%)	93.82	88.61	0.21
Time In Bed (min)	120.00	120.00	
Total Sleep Time (min)	112.58	106.33	0.21
Wake time After Sleep Onset (min)	0.33	1.17	0.50
stage REM (min)	7.58	6.50	0.72
stage 1 (min)	11.58	15.00	0.56
stage 2 (min)	72.50	62.17	0.10 †
stage 3 (min)	23.83	29.17	0.26
stage 4 (min)	1.83	0.92	0.49
stage 3+4 (min)	25.67	30.08	0.35

†p < 0.1

睡眠の最初の 2 時間における睡眠変数の比較においても、control 条件と exercise 条件に有意な違いは見られなかった。しかし、睡眠段階 2 は exercise 条件の方が減少する傾向が見られた。

3-2. 運動

power max エルゴメーターによる 1 回目と 2 回目の全力ペダリング運動のピーク回転数とパワー値の平均を図 2 に示す。

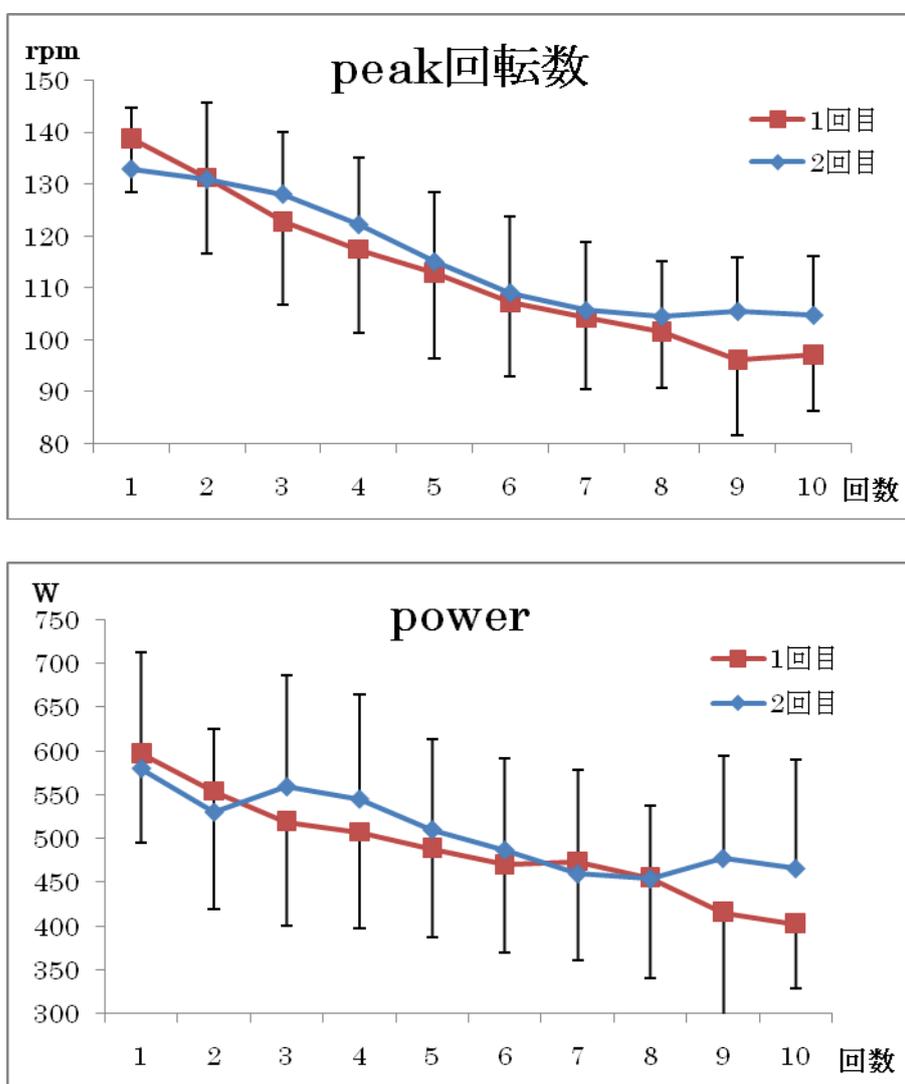


図 2. power max エルゴメーターによるペダリング運動のピーク回転数とパワーの平均

ピーク回転数、パワー値ともに回数を重ねる毎に数値が低下していた。

運動中の最高心拍数の平均は 172.71 ± 8.64 bpm だった。

呼気ガス諸量、血中乳酸値、血糖値、呼気ガス諸量測定中の心拍数について、運動条件（control 条件・exercise 条件）と測定時間（運動前・運動後・就寝前・起床後）を独立変数とした二元配置分散分析を行い、その結果から、交互作用の見られた VO_2 ・ VCO_2 ・ VE ・血中乳酸値・心拍数（HR）において、8 ポイント全てに対して対応のある一元配置分散分析を行い、その後 Bonferroni の多重比較を行った。（表 3）

なお、被験者 1 名において就寝前の呼気ガス諸量測定中の心拍数が記録できていなかったため、測定直前の心拍数を採用した。

表3.呼気ガス諸量等の二元配置分散分析の結果

	運動前	運動後	就寝前	起床後	運動条件	測定時間	交互作用
VO2 (ml/min)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	235.71±30.01	246.60±38.87	234.93±26.27	222.89±29.83			
exercise	246.30±39.08	354.74±51.34 §§††	265.93±35.24	220.20±30.38 §			
VCO2 (ml/min)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	204.69±30.69	223.56±35.79	216.94±19.75	198.74±29.60			
exercise	222.73±40.87	318.34±63.52 †	241.60±34.21	198.81±24.47			
RER					0.49	0.47	0.54
control	0.87±0.05	0.91±0.02	0.93±0.06	0.89±0.03			
exercise	0.90±0.05	0.90±0.11	0.91±0.05	0.91±0.04			
VE (l/min)					0.06	0.00 **	0.02 *
control	16.93±2.29	16.69±2.79	15.73±3.06	14.45±2.52			
exercise	16.60±1.54	21.96±5.63	15.72±3.06	15.31±2.68			
血中乳酸値 (ml/dL)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	3.96±3.63	2.54±1.63	2.23±0.68	1.77±0.39			
exercise	1.81±0.67	15.70±1.75 §§††	3.13±0.96	1.96±0.66			
血糖値 (mg/dL)					0.06	0.00 **	0.09
control	104.71±6.99	106.714±6.87	126.14±14.54	86.29±7.93			
exercise	102.71±12.72	93.29±9.86	122.71±12.62	85.43±9.03			
HR (bpm)					0.00 **	0.00 **	0.00 **
control	59.63±7.47	59.37±8.74	59.69±6.77	57.00±6.08			
exercise	63.09±7.96	102.91±6.90 §§††	75.20±8.24 §†	58.60±4.39			
条件内における運動前との比較 §P<0.05, §§P<0.01					* P<0.05		
同じ測定時間におけるcontrolとの比較 †P<0.05, ††P<0.01					** P<0.01		

Bonferroni の多重比較による結果は以下の通りである。

条件内における運動前との比較について、control 条件では VO2・VCO2・VE・血中乳酸値・HR の全てにおいて有意差は認められなかった。一方で exercise 条件における運動前との比較では、VO2 では運動後と起床後、血中乳酸値では運動後、HR では運動後と就寝前において有意差が認められた。

同じ測定時間における control 条件との比較について、VO2・VCO2・血中乳酸値では運動後に有意差が認められた。また、HR では運動後と就寝前において有意差が認められた。

3-3. その他の測定

[1]アクチグラフィ

実験開始前・control条件・exercise条件の身体活動量、光暴露量を表4に示す。全ての項目において有意差は認められなかった。

表4.アクチグラフィによる身体活動量と光暴露量

	実験前(3日間)	control条件	exercise条件
身体活動量 (activity counts/min)	230.88±14.93	154.94±44.34	135.42±20.46
光暴露量 (lux/min)	209.55±148.87	158.16±55.31	315.42±236.98

[2]深部体温

control 条件と exercise 条件を比較した 20:15-07:45 までの体温データを図 3 に示す。control 条件と比較して exercise 条件の方が 20:15-22:15 まで、そして 01:15-04:15 までの間において、有意に高い値を示した。

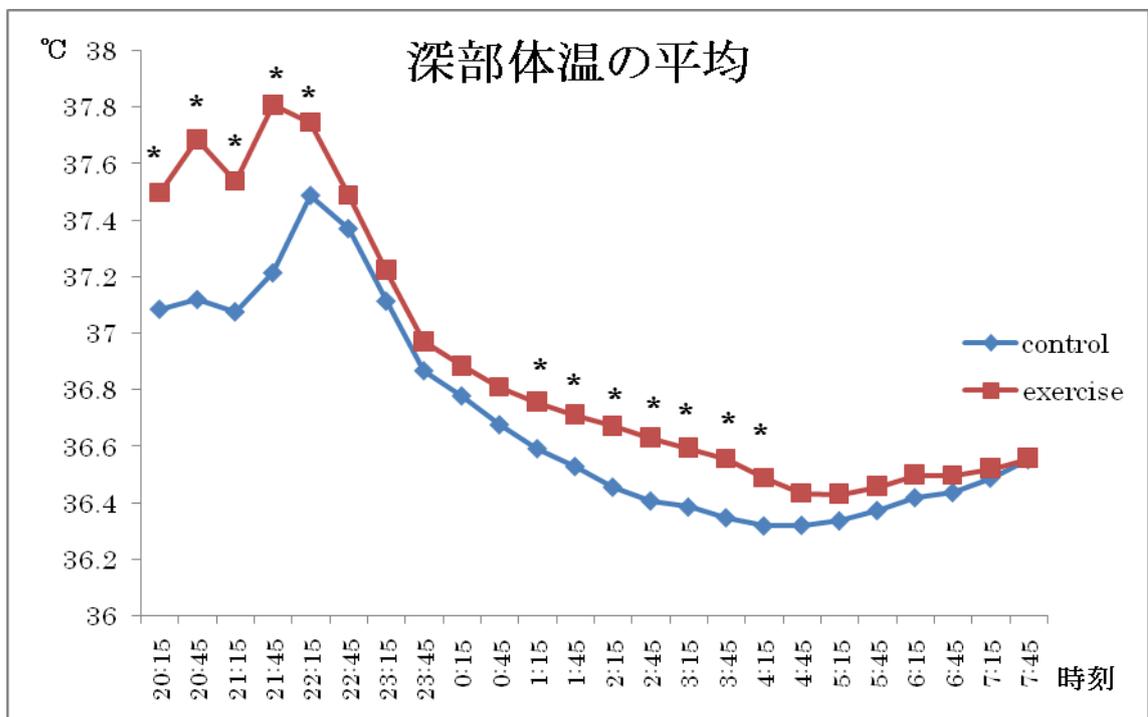


図 3. 深部体温の平均 *p<0.05

[3]心拍数

08:00-19:00までの平均心拍数は control 条件が 73.30 ± 9.01 bpm、
exercise 条件が 71.54 ± 7.23 bpm で有意差は認められなかった。(図 4)

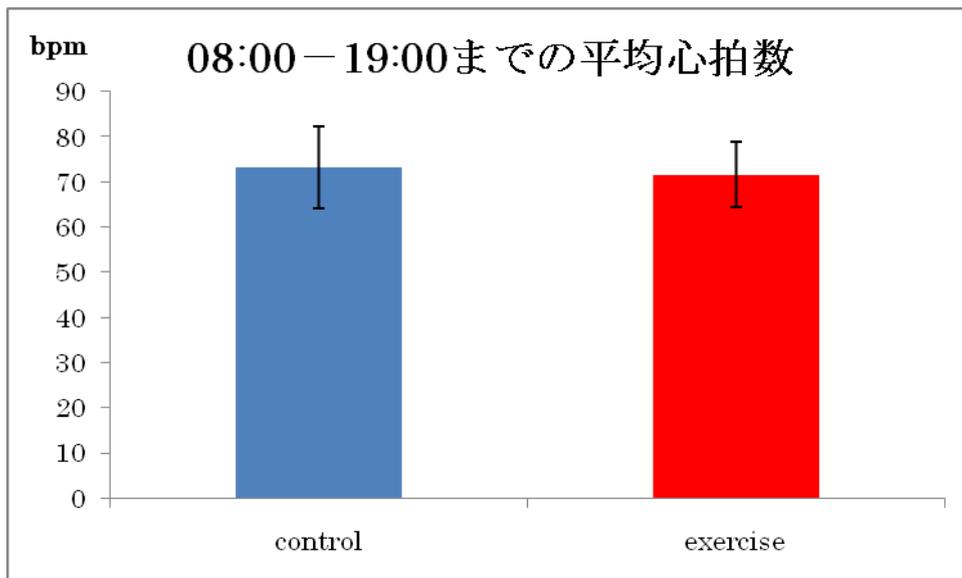


図 4. 08:00-19:00までの平均心拍数

4. 考察

本研究の目的は若年成人男性において夜遅い時間帯（睡眠の 2-3 時間前）に行う無酸素の高強度運動が夜間睡眠に及ぼす影響を明らかにすることであった。

本実験の結果から、夜間の高強度運動がその後の夜間睡眠に及ぼす影響は、視察判定による段階判定の結果からは、有意な違いが認められなかった。

まず、運動以外のコントロールについて、アクチグラフィによる日中の身体活動量、光暴露量、POLAR による日中の平均心拍数、全てにおいて control 条件と exercise 条件との間に有意差は認められなかった。

運動に関しては、power max のピーク回転数、パワーともに回数を重ねる毎に低下していき、運動中の最高心拍数が 172.71bpm であった。また、呼気ガス諸量 (VO₂)、血中乳酸値、呼気ガス諸量測定中の心拍数では、exercise 条件の運動前と比較して、運動後の値が有意に高い値を示し、さらに control 条件との比較において運動後の値は有意に高くなっていたことから、被験者に対する運動の強度は非常に高強度なものだったと考えられる。これまでの研究から、高強度運動を行ったものは、ともにエルゴメーターによるペダリング運動で、85 - 90% HRmax を 10 分×3 セット [20]、65-75% HRR を 3 時間 [21]、などが挙げられるが、これらは全て有酸素運動であり、今回の無酸素運動とは異なる運動である。しかしながら、運動中の最高心拍数や血中乳酸値、呼気ガス諸量等の結果から、本実験の運動強度は先行研究と同様の高強度運動であると考えられる。ただし、運動時間については非常に短くなっている。本実験は 5 秒間の全力運動×10 セットを 2 回行っているので、実質の運動時間は約 2 分間となった。このような短時間の高強度運動が、睡眠に及ぼす影響についてはほとんど研究されておらず、新しい知見となった。

呼気ガス諸量のうち RER については、運動の効果が見られなかった。通常は高強度運動を行った場合、数時間後まで脂肪を燃焼するため RER

は低い値を示す。本実験の **exercise** 条件における就寝前測定時において **RER** が有意に低下しなかった理由の一つとして、**22:00** に摂取したゼリーが影響している可能性がある。つまり、就寝前にゼリーを摂取したことによって、運動数時間後における脂肪燃焼作用が抑制されたと考えられる。

次に運動が身体に及ぼす影響の持続時間について就寝前のデータに基づいて考察をする。血中乳酸値は **exercise** 条件の運動後のみ有意に高く、就寝前には高い値を示しているものの有意な違いは見られなかった。しかしながら、心拍数は運動後だけでなく就寝前においても有意に高く、少なくとも心拍数に関しては、入眠時にまだ運動の影響が残っていたと考えられる。翌朝の心拍数では **control** 条件と有意差はなく、運動の影響は取り除かれていた。

深部体温に関しては、**exercise** 条件の方が運動後約 1 時間は有意に高かったが、入眠時には **control** 条件と比較して有意差は認められなかった。翌朝の起床時も **control** 条件と **exercise** 条件に有意差は認められなかったが、睡眠中の **01:15-04:15** までは **exercise** 条件の方が有意に高かった。**Saltin** ら [32] が、体温上昇は運動負荷と比例して上昇する (60 分間の **70% VO2max** 運動は体温を約 2°C 上昇させる) と報告しているように、体温と運動負荷には関連があると考えられている。そして本実験では運動時間は約 2 分に対して、深部体温は **control** 条件と比較して最大約 0.6°C 上昇した。これは、運動時間からすると大きな上昇であるが、有酸素運動と比較するとその上昇率は大きいものではないと考えられる。例えば **Kenny** ら [33] は、15 分のトレッドミルでのランニングによる深部体温 (食道温) 上昇は **70% VO2max** で 0.97°C 、**93% VO2max** で 2.17°C であると報告した。以上から、運動による深部体温の上昇が入眠時まで

持続しなかった理由の一つとして、短時間の運動による体温上昇効果が不十分であったと考えられる。

また、直腸温は睡眠中の 01:15-04:15 において exercise 条件の方が有意に高い値を示していた。体温と睡眠の関係については、Horneら〔5〕の報告から、特に深部体温と徐波睡眠・入眠潜時などに関連性があると考えられている。それ故、運動の影響によって夜間の深部体温は有意に高くなっていることを考慮すると、今回の実験では段階判定による夜間睡眠に有意差は認められなかったものの、睡眠に対して何らかの影響を及ぼしている可能性は十分に考えられる。よってより詳細な睡眠解析を行う必要がある。

夜間睡眠全体（8h）の睡眠変数に対して control 条件と exercise 条件を比較すると、全ての項目において有意差は認められなかった。しかしながら、中途覚醒では exercise 条件の方が減少する傾向が見られた。また、睡眠の最初の 2 時間の睡眠変数では有意な違いは見られなかったが、睡眠段階 2 において exercise 条件の方が減少する傾向が見られた。このことにより、2-3 時間前の高強度運動はその後の夜間睡眠に対して影響を及ぼさなかったと考えられる。しかし、今回の実験では睡眠の評価が視察判定による段階判定しか行われていないため周波数帯域における解析を行い、より詳細な睡眠のデータを得ることが必要になる。

今回行った無酸素の高強度運動の身体への影響は、血中乳酸値においては就寝時には消失していたが、心拍数においては有意に高い値を示し、就寝時まで運動の影響が持続していたと考えられる。また有意差はないものの、VO₂ と VCO₂ においても exercise 条件の就寝前の値は運動後の次に高い値を示していた。したがって、就寝時には身体的な興奮が持続していた可能性が高いと考えられる。それにもかかわらず入眠潜時における control 条件と exercise 条件の比較では有意差が認められなかった。その理由としては、深部体温の上昇と大きく関連しているのではないだろうか。先述しているように、深部体温と入眠には大きな関連があると報告されている。しかし今回の実験においては、運動後の深部体温は有意に上昇したものの、入眠時には control 条件と同等の値を示している。つまり control 条件と exercise 条件において、入眠時の深部体温に差が生じなかったため、入眠潜時においても差が生じなかったと考えられる。そして高強度運動を行ったにもかかわらず、先行研究と異なり、

入眠時の深部体温に有意差が生じなかった理由としては、無酸素運動による深部体温への影響が大きいためであろう。これまでの先行研究では、高強度の有酸素運動を行ったことによる深部体温の上昇は大きく、入眠時に大きな影響を及ぼしていた。しかしながら本実験で行った高強度の無酸素運動は、運動強度による身体への影響としては有酸素運動と変化はないが、実質の運動時間は有酸素運動に比べ圧倒的に少ないため、運動後の深部体温上昇が長く持続しなかったのではないだろうか。それ故本実験のデータは、これまでの先行研究とは異なり有酸素運動と無酸素運動の睡眠に対する影響の違いを示す貴重な結果となり、今後さらに詳細な研究が必要になると考える。

改善点

本実験における改善点をいくつか挙げる。

まず被験者に関するコントロールをもっと厳密にするべきであった。被験者の条件として、運動習慣のない健常な男子大学生としたが、現在運動習慣がなくてもこれまでの運動習慣によって多少なりとも運動に対する耐性が異なる可能性が考えられるため、現在の運動習慣だけでなくこれまでの運動歴なども考慮する必要がある。さらに、youngstedt (34) が天井効果 (ceiling effect) を提唱しているように、高齢者に比べ健常な若年成人は睡眠が変化しにくく、運動の睡眠に対する影響が十分に明らかにされない傾向がある。よって運動の睡眠に対する影響を調べるためには、高齢者や不眠傾向のある人々などの、影響を受けやすい睡眠習慣を有した被験者を選定する必要がある。

空腹感による睡眠への影響を排除するために 22:00 にゼリーを被験者に与えたが、これにより血糖値や RER にゼリーの影響が生じてしまった。被験者の睡眠環境を整えることは重要だが、実験結果に影響を及ぼすようなプロトコルは十分に検討する必要がある。

睡眠の解析については段階判定のみ行っている。先行研究からも運動が睡眠に及ぼす影響については、必ずしも大きいものではないということとを考慮すると、より詳細に睡眠を解析する必要がある。したがって、睡眠解析については視察判定による段階判定のみではなく、周波数帯域での解析や睡眠周期毎の解析を行う必要がある。

本実験では、シャワーの水温・入浴時間などについて厳密なコントロールは行っていない。深部体温の上昇は睡眠に大きな影響を及ぼすため、運動の深部体温の上昇作用を明確にするためには、他の体温上昇要因をできるだけ取り除く必要がある。その一つとして、入浴による深部体温の上昇が考えられるので、シャワーの水温や入浴時間などもコントロールすべきであった。

5. 結論

本実験の結果から、就寝時から3-4時間前の無酸素高強度運動は、その後の夜間睡眠において、視察判定による睡眠段階判定では有意な変化は認められなかった。

無酸素運動特有である短時間の高強度運動は、長時間にわたる有酸素の高強度運動とは異なった身体への影響を及ぼした。高強度運動の影響により就寝時の心拍数は高かったにもかかわらず、深部体温の上昇は見られず、睡眠潜時が control 条件と変わらなかったことは大変興味深い事実であり、これまでの研究では示されていない新たなデータを示すこととなった。つまり、無酸素の高強度運動は有酸素とは異なる影響を身体に及ぼし、その後の睡眠にも異なった影響を及ぼす可能性が示唆された。

今後は本研究における改善点を考慮した上で、更なる検討を重ねることで、運動が睡眠に及ぼす影響についてより詳細に明らかにされることが期待される。

6. 引用文献

[1] Urponen H, Vuori I, et al. Self-evaluations of factors promoting and disturbing sleep: An epidemiological survey in Finland. Soc Sci Med 1988, Vol.26, No.4, pp.443-450

[2] Hauri PJ. Consulting about insomnia: A method and some preliminary data. Sleep 1993, Vol.16, No.4, pp.344-350

[3] The diagnostic and statistical manual of mental disorders 4th edition: DSM-IV. 1994, American Psychiatric Association

[4] O'Connor PJ, Raglin JS, Martinsen EW. Physical activity, anxiety and anxiety disorders. Int J Sport Psychol 2000, Vol.31, No.2, pp.136-155

[5] Horne JA, Moore VJ. Sleep EEG effects of exercise with and without additional body cooling. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1985, Vol.60, No.1, pp.33-38

[6] Horne JA, Staff LHE. Exercise and sleep: body-heating effects. Sleep 1983, Vol.6, No.1, pp.36-46

[7] Bunnell DE, Agnew JA, Horvath SM, et al. Passive body

heating and sleep: influence of proximity to sleep. *Sleep* 1988, Vol.11, No.2, pp.210-219

[8] McGinty D, Szymusiak R. Keeping cool: A hypothesis about the mechanisms and functions of slow-wave sleep. *Trends in Neurosci* 1990, Vol.13, No.12, pp.480-487

[9] Avery DH, Wildschiodtz G, Rafaelsen OJ. Nocturnal temperature in affective disorder. *J Affect Disord* 1982, Vol.4, pp.61-71

[10] Driver HS, Taylor SR. Exercise and sleep. *Sleep Med Rev* 2000, Vol.4, No.4, pp.387-402

[11] Edwards B, Waterhouse J, Atkinson G, et al. Exercise does not necessarily influence the phase of the circadian rhythm in temperature in healthy humans. *J sports Sci* 2002, Vol.20, pp.725-732

[12] Van Reeth O, Sturis J, Byrne MM, et al. Nocturnal exercise phase delays circadian rhythms of melatonin and thyrotropin secretion in normal men. *Am J Physiol* 1994, Vol.266, No.6, pp.E964-E974

[13] Turnbull AV. Regulation of the

hypothalamic-pituitary-adrenal axis by cytokines: Actions and mechanisms of action. *Physiological Rev* 1999, Vol.79, No.1, pp.1-71

[14] Li HY. Distinct mechanisms underlie activation of hypothalamic neurosecretory neurons and their medullary catecholaminergic afferents in categorically different stress paradigms. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996, Vol.93, No.6, pp.2359-2364

[15] Santos RVT, Tufik S, De Mello MT, Exercise, sleep and cytokines: Is there a relation? *Sleep Med Rev* 2007, Vol.11, No.3, pp.231-239

[16] Brenner I, Shek PN, Zamecnik J, et al. Stress hormones and the immunological responses to heat and exercise. *Int J Sports Med* 1998, Vol.19, No.2, pp.130-143

[17] Lehmann M, Foster, Carl D, et al. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 1998, Vol.30, No.7, pp.1140-1145

[18] Youngstedt SD, O'Connor PJ, Dishman RK. The effects of acute exercise on sleep: A quantitative synthesis. *Sleep* 1997, Vol.20, No.3, pp.203-214

[19] Kubitz KA, Landers DM, Petruzello SJ, Han M. The effect of acute and chronic exercise on sleep: A meta-analytic review. *Sport Med* 1996, Vol.21, No.4, pp.277-291

[20] Dworak M, Alfred W, et al. Increased slow wave sleep and reduced stage 2 sleep in children depending on exercise intensity. *Sleep Med* 2008, Vol.9, pp.266-272

[21] Youngstedt SD, Kripke DF, Elliott JA. Is sleep disturbed by vigorous late-night exercise? *Med Sci Sports Exerc* 1999, Vol.31, No.6, pp.864-869

[22] O'Connor PJ, Breus MJ, Youngstedt SD. Exercise-induced increase in core temperature does not disrupt a behavioral measure of sleep. *Physiol Behav* 1998, Vol.64, No.3, pp.213-217

[23] 白川和希, 小田史郎 就床前運動が夜間睡眠に及ぼす影響 浅井学園大学生涯学習システム学部研究紀要 第7号 2007

[24] Driver HS, Rogers GG, Mitchell D, et al. Prolonged endurance exercise and sleep disruption. *Med Sci Sports Exerc* 1994, Vol.26, No.7, pp.903-907

[25] Driver HS, Meintjes AF, Rogers GG, et al. Submaximal exercise effects on sleep patterns in young women before and after an

aerobic training programme. *Acta Physiologica Scandinavica* 1988, Vol.133, No.suppl.574, pp.8-13

[26] Singh NA, Clements KM, Fiatarone MA. A randomized controlled trial of the effect of exercise on sleep. *Sleep* 1997, Vol.20, No.2, pp.95-101

[27] Trinder J, Montgomery I, Paxton SJ. The effect of exercise on sleep: the negative view. *Acta Physiol Scand* 1988, Vol.134, No.suppl.574, pp.14-21

[28] Trinder J, Paxton SJ, Montgomery I, Fraser G. Endurance as opposed to power training: their effect on sleep. *Psychophysiol* 1985, Vol.22, No.6, pp.668-673

[29] Tworoger SS, Yasui Y, Vitiello MV, et al. Effects of a yearlong moderate-intensity exercise and a stretching intervention on sleep quality in postmenopausal women. *Sleep* 2003, Vol.26, No.7, pp.830-836

[30] Guilleminault C, Clerk A, Black J et al. Nondrug treatment trials in psychophysiologic insomnia. *Arch Intern Med* 1995, Vol.155, No.8, pp.838-844

[31] Rechtschaffen,A. & Kales,A. 1968 A manual of standardized

terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington. D.C. : Public Health Service, U.S. Government Printing Office. 清野茂博（訳） 1971. 睡眠脳波アトラス 標準用語・手技・判定法 医歯薬出版. 一部改変

[32] Saltin B, Hermansen L. Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *J Appl Physiol* 1966, Vol.21, No.6, pp.1757-1762

[33] Kenny GP, Niedre PC. The effect of exercise intensity on the post-exercise esophageal temperature response. *Eur J Appl Physiol* 2002, Vol.86, No.4, pp.342-346

[34] Youngstedt SD. Ceiling and floor effects in sleep research. *Sleep Med Rev* 2003, Vol.7, No.4, pp.351-365

7. 謝辞

この修士論文を作成するにあたり、多くの方々に支えていただきました。心より感謝申し上げます。

スポーツ科学部生時代からご指導下さった指導教官の内田直教授に、深く感謝申し上げます。内田先生のおかげで修士論文をまとめることができました。本当にありがとうございました。

副査を快くお引き受けいただいた山崎勝男教授と彼末一之教授にもこの場を借りて心より御礼申し上げます。口頭試問においてもご指導のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

実験の計画段階から様々なアドバイスやご指導を与えてくださいました、後藤一成先生に深く感謝申し上げます。運動について基礎的なことから貴重な助言をいただきありがとうございました。

関口浩文先生には、実験の計画や論文の作成方法など、さまざまなお指導をいただきました。本当にありがとうございました。心より感謝申し上げます。

小川さんには卒論から修論まで大変お世話になりました。睡眠段階判定を一緒に手伝って下さり、ありがとうございました。

お忙しいにも関わらず、多くのアドバイスをしてくださった飯田さん、ありがとうございました。博士論文、がんばってください。

2年間ともに学んだ寺本さん、同期として修士課程を過ごせて良かったです。ありがとうございました。

また、実験を一緒に行った上田君、中村さん、守田さん、富田君、井上さん、我如古君、住友君、皆さんのおかげで実験を最後までやりきることができました。ありがとうございました。

最後に、ずっと自分を支えてくれている家族に感謝します。無事に修士論文を書き上げることができました。本当にありがとうございます。

2009年 1月

塩田 耕平