

■ 原著

# 一過性睡眠制限が中強度運動時の心拍数に与える影響

## Effects of temporary sleep deprivation on heart rate during moderate intensity exercise

関川 清一<sup>1)</sup> 小柳 翔太郎<sup>2)</sup>

Sekikawa Kiyokazu<sup>1)</sup> Koyanagi Shotaro<sup>2)</sup>

1) 広島大学大学院医歯薬保健学研究院

〒734-8551 広島県広島市南区霞 1-2-3

電話番号 : 082-257-5426 E-mail : sekikawa@hiroshima-u.ac.jp

2) 広島大学医学部保健学科

1) Institute of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

1-2-3.Kasumi, Minami-ku, Hiroshima 734-8553, Japan

+81-82-257-5426

2) Institute of Health Sciences Faculty of Medicine, Hiroshima University

保健医療学雑誌 6 (2): 43-47, 2015. 受付日 2015年6月29日 受理日 2015年9月7日

JAHS 6 (2): 43-47, 2015. Submitted Jun. 29, 2015. Accepted Sep. 7, 2015.

### ABSTRACT:

This study aimed to clarify the effects of sleep deprivation on heart rate during exercise. Eleven healthy males ( $21.5 \pm 1.0$  year,  $174.4 \pm 9.3$  cm,  $70.7 \pm 10.9$  kg) performed a 30-min load exercise using a bicycle ergometer at 60% maximal oxygen uptake. This study was carried out over two days: once after a night of normal sleep and once after a sleep-deprived night. The measurements were examined using a two-way ANOVA (time and sleep conditions). Oxygen uptake during middle intensity exercise was not significantly altered by sleep deprivation ( $p = 0.25$ ), but heart rate was significantly lower ( $p < 0.05$ ). These results suggest that the use of heart rate for predicting exercise intensity is more effective after a sleep-deprived night.

**Key words:** sleep deprivation, heart rate, exercise intensity

### 要旨:

本研究は、睡眠制限が中強度運動時の心拍数に与える影響を明らかにすることを目的とした。対象は健康成人男性 11 名とした。運動条件は睡眠充足日、睡眠制限日の 2 条件とし、最大酸素摂取量の 60% に相当する負荷量にて自転車エルゴメータを用いた 30 分間の定量運動負荷を実施した。測定結果は睡眠条件と経過時間を二要因とした二元配置分散分析を用いて検討した。睡眠制限により定量運動時の酸素摂取量は睡眠充足日と比較して有意に変化しなかったが ( $p=0.25$ )、心拍数は有意に低値を示した ( $p<0.05$ )。睡眠不足を有する健康者に対して運動処方を行う際に、心拍数を基準とした場合に、通常より生理学的運動強度が高くなる可能性がある。

キーワード: 睡眠制限, 中強度運動, 心拍数

## はじめに

運動は、健康づくりのために重要であり、全ての世代に共通する運動として中強度の運動を1回30分以上、週2回以上行うことが提言されている<sup>1)</sup>。運動実践の構成要素として、運動の種類、運動強度、運動時間、運動の頻度があり、その中でも適切な運動強度を設定することは、重要である。運動処方時の運動強度の基準として、心拍数より酸素摂取といった生理学的運動強度を推定する事が可能であることから<sup>2, 3)</sup>、心拍数を指標することが多く利用されている<sup>4-6)</sup>。

現在、日本人の睡眠時間は徐々に短縮しており、慢性的な睡眠不足に悩まされている人が多く<sup>7)</sup>、日本に居住する成人の5人に1人が不眠を訴え、慢性的な睡眠障害や睡眠不足は高血圧などの生活習慣病との関連も指摘されている<sup>8)</sup>。

さらに、慢性的な睡眠不足では、睡眠が十分に取れている状態と比較して、最高酸素摂取量が有意に減少するといった運動耐容能が低下することが報告されている<sup>9)</sup>。また、一過性の睡眠制限により運動耐容能が低下すること<sup>9, 10)</sup>は明らかになっているが、睡眠制限が中強度運動時における身体活動に与える影響についての報告は少なく<sup>10)</sup>、不明な点が多い。そこで本研究は、睡眠制限が中強度運動時の心拍数に与える影響を明らかにし、睡眠不足を有する者への心拍数を基準とした生理的運動強度推定のあり方について検討することを目的とした。

## 対象と方法

### 対象

健常成人男性11名とした(年齢:  $21.5 \pm 1.0$  歳, 身長:  $174.4 \pm 9.3$  cm, 体重:  $70.7 \pm 10.9$  kg, BMI:  $23.1 \pm 1.8$ )。対象者に対して、睡眠健康調査票<sup>11)</sup>を使用し、睡眠障害がなく、睡眠習慣が規則的であることを確認した。研究に先立ち、対象者に対して、本研究の内容について口頭ならびに書面にて説明を行い、同意が得られた上で実施した。なお、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能制御科学講座倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号: 1324)。

### 方法

対象者には、最大運動負荷試験および2通りの睡眠条件にて一定運動負荷を実施した(図1)。睡眠充足日は、各対象者より事前に聴取した1日の平均睡眠時間以上の睡眠時間を満たした日とした。睡眠制限日は測定前日より覚醒状態を続けた日とし、測定前日の23時30分から翌日の測定開始時刻まで8時間の睡眠を制限した。対象者の一晩分の睡眠を制限し、覚醒状態を維持した日を睡眠制限日とした。睡眠制限の際の過ごし方の注意点として、激しい運動や飲酒、カフェインを含んだ食品の飲食や測定前3時間の飲食を避けることを対象者に指示し、それ以外の過ごし方は自由とした。この場合、検者が対象者に付き添い、定量運動負荷試験開始まで覚醒状態を維持していたことを確認した。

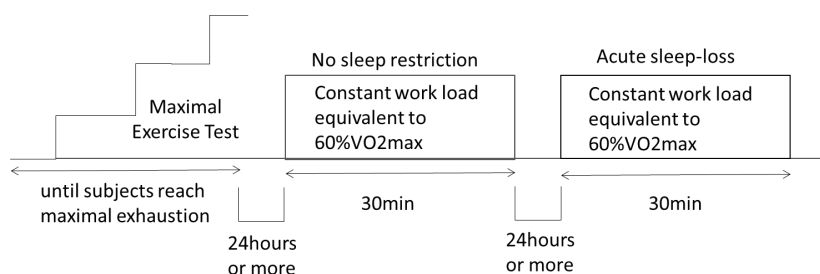


Figure 1. Schematic diagram of the experimental protocol

Each subject was performed maximal exercise test for estimation of 60%VO<sub>2</sub>max, and 30min constant load exercise tests. The conditions of constant load exercise test were no sleep restriction state, and acute sleep-loss state.

定量運動負荷における運動強度を決定するために、睡眠充足日において、多段階最大運動負荷試験を実施した。負荷装置には、自転車エルゴメータ (232CX; コンビ) を用いた。酸素摂取量は、呼気ガス分析装置 (AE-300S; ミナト医科学) を使用し、breath-by-breath 法にて連続測定し、心拍数は心拍計 (Dynascope-3140; フクダ電子) を用いて測定した。それぞれのデータは、パーソナルコンピューターに取り込み、専用ソフトウェアを用いて収集した。得られたデータから酸素摂取量-心拍数関係式を算出し、60%VO<sub>2</sub>max となる目標ワット数を算出した。

最大運動負荷試験実施から 2 日以上の間隔を空けて定量運動負荷を実施した。定量運動負荷は、5 分間の安静坐位後、1 分間負荷なしでのウォーミングアップを行い、60%VO<sub>2</sub>max となるワット数にての 30 分間実施した。定量運動負荷中の酸素摂取量および心拍数は、呼気ガス分析装置および心拍計を用いて連続的に測定した。さらに時系列データ解析プログラム (TAWARA/WIN; 諏訪トラス) を用いて、連続的に心拍変動を解析した。心拍変動の解析は、心拍ゆらぎリアル解析プログラム (MemCalc/TARAWA; GMS) を使用し、0.15-0.4Hz の高周波 (High frequency: HF) 成分を連続的に解析した。

酸素摂取量および心拍数の経時変化は、安静、定量運動負荷 5 分後の数値を抽出した。HF 値は、安静および運動開始 30 分後の数値を抽出した。

#### 統計処理

定量運動負荷中の酸素摂取量および心拍数は、運動条件 (睡眠充足・睡眠制限) と経過時間を二要因とした二元配置分散分析を行った。安静時における HF 値は、ウイルコクソン検定により検討した。運動負荷による HF 値の経時変化の比較は、各運動条件においてフリードマン検定により比較した。統計処理には統計解析ソフトウェア (IBM SPSS statics 21.J for Windows; IBM) を使用し、有意水準は全て 5%未満とした。

## 結果

定量運動負荷における目標心拍数は 144.5 ± 5.2bpm, 目標ワット数は 125.3 ± 21.0watt であった。

表 1 に定量運動負荷中の酸素摂取量および心拍数の経時変化を示した。酸素摂取量の経時的変化は、交互作用を認めなかった ( $p=0.194$ )。また時間条件による主効果を認めたが ( $p<0.001$ )、運動条件による主効果を認めなかった ( $p=0.251$ ) (表 1)。心拍数の経時的変化では、交互作用を認め ( $p=0.014$ )、時間条件と運動条件に主効果を認めた ( $p<0.001$ ,  $p=0.003$ ,) (表 1)。

安静時における HF 値は 2 群間に有意な変化を認め ( $p<0.05$ )、定量運動負荷における HF 値の経時変化は、睡眠群において運動開始 10 分後より、睡眠制限群は 15 分後より有意な変化を認めた ( $p<0.01$ ) (表 2)。

Table 1. Time course of changes in oxygen uptake and Heart rate

	Oxygen uptake		Heart rate	
	Sleep	Non-sleep	Sleep	Non-sleep
Baseline	295.3 ± 49.0	298.0 ± 45.1	71.7 ± 9.9	68.6 ± 6.5
Exercise				
5min	1788.2 ± 254.6	1736.9 ± 292.0	139.8 ± 8.3	134.3 ± 9.4
10min	1843.3 ± 230.6	1770.9 ± 274.0	150.7 ± 9.9	142.5 ± 9.9
15min	1832.7 ± 248.4	1804.2 ± 282.2	155.3 ± 11.5	146.1 ± 9.2
20min	1889.6 ± 246.6	1796.9 ± 266.0	158.4 ± 12.3	149.5 ± 11.3
25min	1907.5 ± 234.5	1845.4 ± 249.2	162.5 ± 13.8	151.8 ± 11.9
30min	1930.1 ± 256.0	1834.3 ± 262.2	165.5 ± 13.8	153.4 ± 12.8

Mean values ± S.D. of each parameter are presented.

Two-way ANOVA for repeated measures: (Oxygen uptake) main effect of session,  $P=0.251$ ; main effect of time,  $P<0.001$ ; interaction effect of session × time,  $P=0.194$ . (Heart rate) Main effect of session,  $P<0.05$ ; main effect of time,  $P<0.001$ ; interaction effect of session × time,  $P<0.014$ .

Table 2. Time course of changes in High-frequency heart rate variability

	Sleep	Non-sleep
Baseline	368.0 ( 433.0 )	595.0 ( 426.0 ) †
Exercise		
5min	2.00 ( 2.96 )	2.10 ( 4.36 )
10min	0.59 ( 0.56 ) *	0.67 ( 0.97 )
15min	0.15 ( 0.69 ) *	0.41 ( 1.05 ) *
20min	0.34 ( 0.74 ) *	0.47 ( 0.14 ) *
25min	0.34 ( 1.33 ) *	0.37 ( 0.31 ) *
30min	0.26 ( 0.18 ) *	0.26 ( 0.12 ) *

Median values (Interquartile Range) of each parameter are presented.

Wilcoxon rank sum test. † $P<0.05$ , versus Sleep

Friedman test: \* $P<0.01$ , versus baseline

## 考察

本研究は、睡眠制限が中強度運動時の心拍数に与える影響を明らかにすることを目的とした。その結果、定量運動負荷中における酸素摂取量は睡眠制限により影響を受けないが、心拍数は、睡眠

制限により影響を受け、低値を示した。

Oliver ら<sup>10)</sup>は、健常男性を対象に睡眠充足日、一日の睡眠制限日における中強度運動時の酸素摂取量動態について検討しており、一日の睡眠制限は定量運動時の酸素摂取量動態に影響を与えなかったと報告している。本研究においても同様の結果が得られた。酸素摂取量は心拍数、一回心拍出量および動静脈酸素較差の積から算出することができる。本研究では睡眠制限によって心拍数が減少したにもかかわらず、睡眠制限は酸素摂取量に影響を与えなかった。その原因として、一回心拍出量の変化が影響する可能性が考えられる。田辺ら<sup>12)</sup>は、一日の睡眠制限ではカテコラミンの分泌は増加傾向を示すが、慢性的な睡眠制限ではカテコラミンの分泌は低下傾向を示すと報告している。さらに、慢性的な睡眠不足では交感神経系や副腎皮質、髄質がストレスに対して十分に作用しない状態になるという報告もある<sup>13)</sup>。カテコラミンは、血管収縮や心機能亢進を起こして血圧を上昇させたり、肝臓のグリコーゲン分解を促進して血糖値を上昇させたりすることが知られている<sup>14)</sup>。このカテコラミンの作用の作用が一回心拍出量の推移に影響を与え、酸素摂取量が一定に保たれると考える。しかし本研究において運動中の一回拍出量およびカテコラミンを検討していない。今後は、カテコラミンや一回拍出量を計測し、これら要因が心拍数にどのように影響を与えるかを明らかにする必要がある。

睡眠制限により安静時の HF 成分は有意に高値を示した。HF 成分は心臓迷走神経の活動の指標として用いられ、運動強度の増大に伴い急激に低下する<sup>15)</sup>。健常な男女を対象に、睡眠制限における安静時の HF 成分、心拍数について検討した先行研究<sup>16)</sup>では、睡眠制限の期間が長くなるにつれて、HF 成分は睡眠充足日と比較して有意に高値を示し、HF 成分の増加に伴い安静時の心拍数も有意に低値を示すと報告している。さらに、Konishi ら<sup>17)</sup>によると、一日の睡眠制限により睡眠充足日と比較して心臓迷走神経の出力が増加している状態で最大運動負荷試験を行うと、安静時、運動開始後 5 分、10 分、最大時の心拍数は睡眠充足日と比較して有意に低値を示したと報告している。本研究において、睡眠制限による心臓迷走神経機能が定量運動負荷試験中の心拍数に影響を与える可能性が推測される。

睡眠制限に関する先行研究では、睡眠制限を本研究と同様に一日と設定する場合<sup>9, 10, 12, 13, 16-18)</sup>や、二日やそれ以上と設定する場合<sup>9, 12, 13, 16)</sup>があり、睡眠制限の継続時間に応じて、身体には様々な影響があると考えられる。本研究は一晩の睡眠制限後の中強度運動を想定しており、睡眠制限の期間が一日と短いものであった。今後は慢性的な睡眠不足者や長時間の睡眠制限者を想定する検討が必要である。

本研究は、睡眠制限が中強度運動時の HR に与える影響を明らかにし、睡眠不足を有する者への HR を基準とした運動処方の方について検討することを目的とした。その結果、一日の睡眠制限は中強度運動時の  $\dot{V}O_2$  に影響を与えなかった。一方で、一日の睡眠制限により中強度運動時の HR は、睡眠充足日と比較して有意に低値を示した。このことから、一過性の睡眠不足を有する健常者に対して運動処方を行う際に、HR を基準とした場合に、通常より生理学的運動強度が高くなる可能性があり、注意を要することが明らかとなった。

## 文献

- 1) 厚生労働省: 健康づくりのための身体活動基準 2013.  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf>  
(2015.6.23)
- 2) Davis JA, Convertino VA: A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Med Sci Sports*. 7:295-298, 1975.
- 3) Hooker SP, Greenwood JD, Hatae DT, et al.: Oxygen uptake and heart rate relationship in persons with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc*. 25:1115-1119, 1993.
- 4) Roecker K, Niess AM, Horstmann T, et al.: Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics. *Med Sci Sports Exerc*. 34:881-887, 2002.
- 5) Montgomery PG, Green DJ, Etxebarria N, et al.: Validation of heart rate monitor-based predictions of oxygen uptake and energy

- expenditure. *J Strength Cond Res.* 23:1489-1495, 2009.
- 6) Miller WC, Wallace JP, Eggert KE: Predicting max HR and the HR-VO<sub>2</sub> relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc.* 25:1077-1081, 1993.
- 7) 日本睡眠学会: 睡眠学, pp 411-412, 朝倉書店, 2009.
- 8) Kim K, Uchiyama M, Okawa M, et al.: An epidemiological study of insomnia among the Japanese general population. *Sleep.* 23:41-47, 2000.
- 9) 長田尚彦, 田辺一彦, 大宮一人, 他.: 睡眠不足状態における心肺機能についての検討. *日本臨床生理学雑誌.* 23:517-523, 1993.
- 10) Oliver SJ, Costa RJ, Laing SJ, et al.: One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance. *Eur J Appl Physiol.* 107:155-161, 2009.
- 11) 日本睡眠改善協議会: 睡眠健康調査票. <http://www.jobs.gr.jp/shri.html> (2015.6.23)
- 12) 田辺一彦, 長田尚彦, 横山泰広, 他: 疲労ストレス時の心肺機能およびマグネシウム代謝に関する検討. *Japanese Circulation Journal.* 58:1138-1142, 1995.
- 13) 長田尚彦: 慢性疲労における心肺機能及びストレスホルモン動態の基礎的検討. *日本臨床生理学雑誌.* 24:187-196, 1994.
- 14) 鈴木はる江: 自律神経系によるホルモン分泌の調節とその研究の流れ. *人間総合科学会誌.* 1:27-32, 2005.
- 15) 髻谷満, 林由紀子, 関川清一, 他: 運動中の心拍変動と換気性作業閾値との関連 MemCalc 法による検討(第一報). *体力科学.* 50:185-191, 2001.
- 16) Vaara J, Kyrolainen H, Koivu M, et al.: The effect of 60-h sleep deprivation on cardiovascular regulation and body temperature. *Eur J Appl Physiol.* 105:439-444, 2009.
- 17) Konishi M, Takahashi M, Endo N, et al.: Effects of sleep deprivation on autonomic and endocrine functions throughout the day and on exercise tolerance in the evening. *J Sports Sci.* 31:248-255, 2013.
- 18) Holmes AL, Burgess HJ, Dawson D: Effects of sleep pressure on endogenous cardiac autonomic activity and body temperature. *J Appl Physiol* (1985). 92:2578-2584, 2002.