

## 午前と午後で比較した漸増漸減運動に対する 心拍および血圧応答特性

西村一樹\*・高本健彦\*\*・吉岡 哲\*\*\*・野瀬由佳\*\*\*\*・  
小野寺昇\*\*\*\*\*・高本 登\*\*\*\*\*

### Comparison of heart rate and blood pressure response during gradually increasing and decreasing workload exercise between in the morning and in the afternoon

Kazuki NISHIMURA \*, Takehiko TAKAMOTO \*\*, Akira YOSHIOKA \*\*\*,  
Yuka NOSE \*\*\*\*, Sho ONODERA \*\*\*\*\* and Noboru TAKAMOTO \*\*\*\*\*

#### Summary

The purpose of this study was to compare of heart rate (HR) and blood pressure (BP) response during gradually increasing and decreasing workload exercise between in the morning and in the afternoon. Subjects of this study, comprising 9 healthy male volunteers, performed cycling exercise for 32 min, recovered for 1 min in the sitting position and for 10 min in the supine position. They performed the exercise in two portions, a calibration test portion (12 min) and a triangular test portions (20 min). Both experimental tests were performed in the morning (8-10 a.m.) and the afternoon (3-7 p.m.). HR, BP and cardiac autonomic nervous system activity were continuously measured under both experiments. Maximal and minimal HR values, amplitude and phase lags at workload top and bottom were measured in each triangular exercise cycle. T30 was calculated on the basis of HR decrease rate from R-R intervals for 30 sec after exercise. Double Product (DP) was calculated by multiplying systolic BP (SBP) and HR. HR, SBP and DP at 20%  $\dot{V}O_{2max}$  and bottom of workload exercise in the morning was significantly lower than the same workload exercise in the afternoon ( $p < 0.05$ ). However, at 60%  $\dot{V}O_{2max}$  and workload top, HR showed no significant differences under both conditions.

- 
- \* 広島工業大学地球環境学科 (〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅2-1-1)  
Department of Global Environment Studies, Hiroshima Institute of Technology
- \*\* 福山平成大学健康スポーツ科学科 (〒720-0001 広島県福山市御幸町上岩成正戸117-1)  
Department of Health and Sports Science, Fukuyama Heisei University
- \*\*\* 香川大学医学部 (〒761-0793 香川県木田郡三木町大字池戸1750-1)  
Faculty of Medicine, Kagawa University
- \*\*\*\* 川崎医療福祉大学大学院健康科学専攻 (〒701-0193 岡山県倉敷市松島288)  
Doctoral Program in Health Science, Graduate School of Kawasaki University of Medical Welfare
- \*\*\*\*\* 川崎医療福祉大学健康体育学科 (〒701-0193 岡山県倉敷市松島288)  
Department of Health and Sports Science, Kawasaki University of Medical Welfare
- \*\*\*\*\* 広島工業大学健康情報学科 (〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅2-1-1)  
Department of Health Science, Hiroshima Institute of Technology

The DP (relative resting value) at 60%  $\dot{V}O_2$ max and workload top of morning exercise was significantly higher than that of afternoon ( $p < 0.05$ ). The amplitude of morning exercise was also significantly higher than that of afternoon ( $p < 0.05$ ). The T30 of morning exercise was significantly lower than that of afternoon ( $p < 0.05$ ). HR and BP responses during morning exercise might be enhanced by increased cardiac parasympathetic nervous system modulation in the morning, high intensity exercise in the morning should therefore be avoided.

**Key words:** circadian rhythms, gradually increasing and decreasing workload exercise, heart rate response, blood pressure, double product

## I. 緒言

ヒトは、1日を周期として変動するサーカディアンリズムを有する。体温は、起床後（午前7時頃）最も低く、その後上昇し16-18時頃ピークを迎え、夜再び下降する<sup>25)</sup>。体温のリズムは、最も基本的なサーカディアンリズムである。体温、心拍数、血圧などの生理指標は、ヒトがサーカディアンリズムを有することを示唆する<sup>1, 2, 24, 25, 27, 29)</sup>。

ヒトの自律神経系は、夜間睡眠中の副交感神経系が優位な状態から起床後に交感神経系にスイッチングし、日中は交感神経系が亢進し、副交感神経系は抑制される<sup>2, 24)</sup>。先行研究は、早朝の高強度運動の危険性を指摘する<sup>13, 18, 26)</sup>。心筋梗塞、脳梗塞などを誘発する心臓あるいは脳血管系のイベントは、起床後から3時間以内に多く生じる<sup>13)</sup>。循環器系イベントの要因として、起床後から正午までの心拍数、収縮期血圧の上昇、カテコールアミンの上昇などの関連が指摘されている<sup>18, 26)</sup>ことから、心虚血および自律神経系の異常、とくに圧受容器感受性の低下が循環器系イベントに関連すると考えられる。起床前後の自律神経系のスイッチングがスムーズに移行すれば、循環器系イベントの発生は抑制されるものと推測される。

正弦波運動負荷試験<sup>5, 6, 11, 14, 15, 19)</sup>あるいは漸増漸減負荷運動試験<sup>31)</sup>は、運動負荷に対する生体の適応力を評価できることから、追従性を指標として研究に用いられている。非定常負荷法である運動負荷試験を用いれば、運動負荷に対する生理機能の応答特性を振幅あるいは遅れ時間から評価できる<sup>11)</sup>。正弦波運動負荷試験に対する酸素摂取量の追従性を観察したFukuoka et al.は、非鍛錬者に比較して持久性運動習慣者の運動負荷に対する振幅が大きいことと位相時間の遅れが短いことを明らかにした<sup>6)</sup>。アメリカ

ンフットボール選手と非鍛錬者の振幅および位相の遅れ時間に差がないことから、運動負荷に対する振幅と位相の遅れ時間が持久性能力を強く反映する指標である可能性を指摘した<sup>6)</sup>。鍋倉らは、正弦波運動負荷試験の心拍応答においても運動習慣者の運動負荷に対する心拍応答の振幅が大きく、位相の遅れ時間が短く、追従性に優れることを明らかにした<sup>15)</sup>。これらのことから、心拍応答の振幅あるいは位相時間の遅れは、持久的なトレーニングによって改善すると考えられている<sup>14)</sup>。

運動負荷に対する上昇局面と下降局面における心拍変動スペクトル解析を行った先行研究は、心臓副交感神経系の指標であるHF成分が下降局面において有意に高値を示すことを明らかにした<sup>15)</sup>。このことから、上昇局面と下降局面における追従性の差異は、運動強度に対応した自律神経系の活動水準に起因し生じる可能性が考えられる<sup>19)</sup>。これらの先行研究は、心臓副交感神経系の高い活動水準が、心拍応答の振幅の増大あるいは位相の遅れ時間の短縮に寄与する可能性を示唆する。

運動負荷試験を実施する場合、心拍数および血圧は、モニタリングする必須の生理指標であり、安静時、運動時、運動後回復期の両指標を観察することが必要である。ダブルプロダクト（二重積）は、心拍数と収縮期血圧の積で表され、心筋の酸素需要量を簡便に評価できる指標である。漸増負荷試験中のダブルプロダクトは、漸増的な負荷に対して一定の勾配で増加するが、ある負荷を境に急増する。この急増するポイントが、ダブルプロダクトブレーキングポイントであり、無酸素性作業閾値と有意な相関関係が認められている<sup>20)</sup>。このことから、運動中の心拍数、収縮期血圧およびダブルプロダクトは、運動実施の安全性の観点からもモニタリングすべき

指標であると考えられる。

以上の先行研究の知見に基づき、心臓副交感神経系が亢進を示す午前中に実施する漸増漸減負荷運動は、運動負荷に対する心拍および血圧応答の追従性の指標が高値を示すものと仮説を立てた。本研究は、運動を実施する時間帯を午前中8～10時および午後3～7時に設定し、運動を実施する時間帯と漸増漸減負荷運動時の心拍数、血圧およびダブルプロダクトの関連性を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### A. 被験者

被験者は、健康成人男性9名とした。被験者の特性は、年齢 $20.4 \pm 0.5$ 歳 (mean $\pm$ SD)、身長 $172.0 \pm 4.3$ cm、体重 $65.7 \pm 9.8$ kg および最大酸素摂取量 $45.6 \pm 8.1$ ml/kg/min.であった。被験者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿い、研究の目的、方法、期待される効果、不利益がないこと、危険を排除した環境とすること、個人情報保護について説明を行い、書面にて研究参加の同意を得た。

### B. 測定条件

実験に先立ち被験者は、自転車エルゴメーター(AEROBIKE75XL II; COMBI社)を用いた漸増負荷運動試験によって最大酸素摂取量の測定を行った。漸増負荷運動試験は、40wattからスタートし、1分毎に20watt漸増させ、被験者をオールアウトに至らせた。最大酸素摂取量の測定は、午後3時～7時に実施した。被験者は、仰臥位姿勢の安静を5分間保った後に32分間の自転車運動を行った。運動終了後1分間の自転車エルゴメーター上で座位姿勢の後に仰臥位姿勢を10分間保持した。運動課題は、12分間の定常負荷運動および20分間の漸増漸減負荷運動とした。定常負荷運動は、最大酸素摂取量の20%、60%および40%負荷強度の順序とし、各負荷4分間とした。漸増漸減運動は、最大酸素摂取量の40%から15秒毎に5%ずつ60%まで漸増させ、60%からは同様に20%まで漸減させた。1周期の運動時間は4分間とし、5周期実施させた。測定条件は、午前8時～10時に運動を行う午前運動条件および午後3～7時に運動を行う午後運動条件の2条件を設定した。午前運動条件は、被験者の起床後2時間以内に実験を開始するものとした。両条件は異なる日に実施した。午前運動条件を先に実施した被験者が

4名、午後運動条件を先に実施した被験者が5名であった。被験者には、前日のアルコール摂取不可、実験当日のカフェイン摂取不可を指示した。また、午前運動条件は実験前日午後10時からの絶食、午後運動条件は実験開始3時間前からの絶食を指示した。午前運動条件の室温および湿度は、 $21.7 \pm 2.0$ °C および $22.5 \pm 2.9$ %であった。午後運動条件の室温および湿度は、 $20.8 \pm 1.6$ °C および $23.2 \pm 2.8$ %であった。午前運動条件と午後運動条件の温度および湿度に有意な差は観察されなかった。

### C. 測定項目

測定項目は、心拍数、血圧および心臓自律神経系活動とした。安静時、運動時および回復期の心拍数は、胸部双極誘導法から得られた心電図波形の1分間のR波の数とした(メモリ心拍数計LRR-03; アームエレクトロニクス株式会社)。さらに、漸増漸減負荷運動における心拍応答5周期分を加算平均し、曲線回帰式を推定した。推定式から心拍応答の最高値、最低値および遅れ時間を算出した<sup>14,15)</sup>。心拍応答の最高値から最低値までを漸増漸減負荷運動時の振幅とし、定常負荷運動における20%負荷強度から60%負荷強度までの振幅(定常負荷運動時の振幅)との相対値(振幅割合)を算出した<sup>14,15)</sup>。また、運動終了後30秒間のR-R間隔データを自然対数変換し、一次回帰直線を算出した。得られた一次回帰直線の勾配をT30とし、運動負荷に対する心臓副交感神経系の再亢進の指標とした<sup>12)</sup>。血圧測定は聴診法を用い、測定時間は30秒間とした。安静時は、4分目および5分目に測定を行い、平均値を安静時血圧とした。定常運動負荷時は、各負荷の3分および4分に測定を行い、平均値を各負荷における血圧とした。漸増漸減負荷運動時は、各周期の最高負荷時と最低負荷時に測定を開始し、5周期の平均値を用いた。血圧測定を行った30秒間の平均心拍数と収縮期血圧の積をダブルプロダクトとし、心筋の酸素消費量の指標として用いた。心臓自律神経系活動の測定に修正型最大エントロピー法(MemCalc法)を用いた。解析には、心拍揺らぎリアルタイム解析システムMemCalc/Tarawa(諏訪トラスト製)を用いた<sup>22)</sup>。R-R間隔変動スペクトルは、胸部双極誘導法にて採取・増幅された心電図データを12ビットAnalog to Digital変換(CONTEC Crop.

Ltd. AD12-8PM) し、パーソナルコンピューター (IBM Corporation; Microsoft Windows XP) に取り込み、解析を行った。MemCalc 法を用い直近30秒間のR-R間隔データの周波数解析を行った。先行研究に基づき周波数解析から得られた高周波帯域 (0.15-0.40Hz) のパワーの積分値 (High Frequency; HF) を算出した<sup>17)</sup>。HF成分の分布に正規性を得るために自然対数変換した natural logarithms HF (ln HF) を心臓副交感神経系調節の指標とした。心拍変動スペクトル解析によって求められるパワーは、呼吸数の影響を受ける<sup>3,14)</sup>ことから、安静時および回復期の測定は、呼吸数の影響を除外するため、呼吸数を4秒に1回 (2秒吸気, 2秒呼気) に制御した<sup>16)</sup>。運動時は、自然呼吸とした。

#### D. 統計処理

測定値は、平均 ± 標準偏差 (mean ± SD) で示した。午前運動条件および午後運動条件の各パラメータの平均値の比較は、対応のある t-test を用い検定した。危険率 5% 未満 ( $p < 0.05$ ) を有意な差とした。

### Ⅲ. 結果

表1に被験者毎の安静時の心拍数, ln HF, 収縮期血圧, 拡張期血圧およびダブルプロダクトの午前運動条件と午後運動条件の比較を示した。午前運動条件 (63.8 ± 9.2 bpm) の安静時心拍数は、午後運動条件 (69.2 ± 9.5 bpm) と比較して有意な低値を示し

た ( $p < 0.05$ )。心臓副交感神経系調節の指標である ln HF は、午後運動条件 (6.37 ± 0.67) と比較して午前運動条件 (6.64 ± 0.55) において、有意な高値を示した ( $p < 0.05$ )。午前運動条件 (116.3 ± 7.3 mmHg) の収縮期血圧は、午後運動条件 (121.9 ± 7.0 mmHg) と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。拡張期血圧は、午前運動条件 (64.4 ± 7.5 mmHg) と午後運動条件 (68.8 ± 6.9 mmHg) 間に有意な差が観察されなかった。午前運動条件 (74.2 ± 11.2 mmHg · bpm) のダブルプロダクトは、午後運動条件 (84.4 ± 13.0 mmHg · bpm) と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。

図1に午前運動条件および午後運動条件で比較した定常負荷運動における (a) 心拍数, (b) 血圧, (c) ダブルプロダクト (絶対値), (d) ダブルプロダクトの安静比および (e) ln HF の比較を示した。20% (午前運動条件; 84.6 ± 6.5 bpm, 午後運動条件; 91.9 ± 8.3 bpm) と40% 負荷強度 (午前運動条件; 118.1 ± 12.2 bpm, 午後運動条件; 123.6 ± 12.2 bpm) における午前運動条件の心拍数は、有意な低値を示した (それぞれ,  $p < 0.05$ )。60% 負荷強度の午前運動条件 (136.0 ± 11.9 bpm) と午後運動条件 (139.9 ± 12.5 bpm) には有意な差は観察されなかった。各負荷強度における午前運動条件 (20% 負荷; 124.2 ± 7.0 mmHg, 60% 負荷; 168.0 ± 13.0 mmHg, 40% 負荷; 144.3 ± 13.9 mmHg) の収縮期血圧は、午後運動条件 (20% 負荷; 132.2 ± 5.3 mmHg, 60% 負荷; 177.3 ± 15.5 mmHg, 40% 負荷; 155.6 ± 7.9 mmHg)

Table 1 Characteristics of subjects at resting.

subjects	hight	body weight	HR(bpm)		ln HF		SBP(mmHg)		DBP(mmHg)		DP(mmHg · bpm)	
			M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
a	174.0	66.4	58.4	64.9	6.51	5.86	115.0	119.0	68.0	71.0	67.1	77.2
b	170.0	72.8	52.9	54.3	7.82	7.66	120.0	132.0	55.0	77.0	63.5	71.7
c	172.0	82.0	58.4	67.3	5.93	5.40	108.0	116.0	64.0	62.0	63.0	78.1
d	170.0	63.6	70.0	75.9	6.41	6.41	118.0	117.0	57.0	66.0	82.6	88.8
e	167.0	45.8	81.4	86.3	6.56	6.32	108.0	127.0	63.0	69.0	87.9	109.6
f	170.0	59.6	60.7	70.5	6.21	5.84	128.0	123.0	81.0	71.0	77.7	86.8
g	170.0	68.4	72.5	74.4	6.43	6.50	126.0	132.0	65.0	79.0	91.3	98.3
h	173.0	66.0	64.3	70.7	7.09	7.03	112.0	113.0	66.0	67.0	72.0	79.9
i	182.0	67.0	55.6	58.9	6.78	6.78	112.0	118.0	61.0	57.0	62.3	69.5
mean	172.0	65.7	63.8	69.2*	6.64	6.37*	116.3	121.9*	64.4	68.8 n.s.	74.2	84.4*
SD	±4.3	±9.8	±9.2	±9.5	±0.55	±0.67	±7.3	±7.0	±7.5	±6.9	±11.2	±13.0

\*: in the morning vs in the afternoon;  $p < 0.05$

M: in the morning, A: in the afternoon

## 午前と午後で比較した運動時の生理応答特性

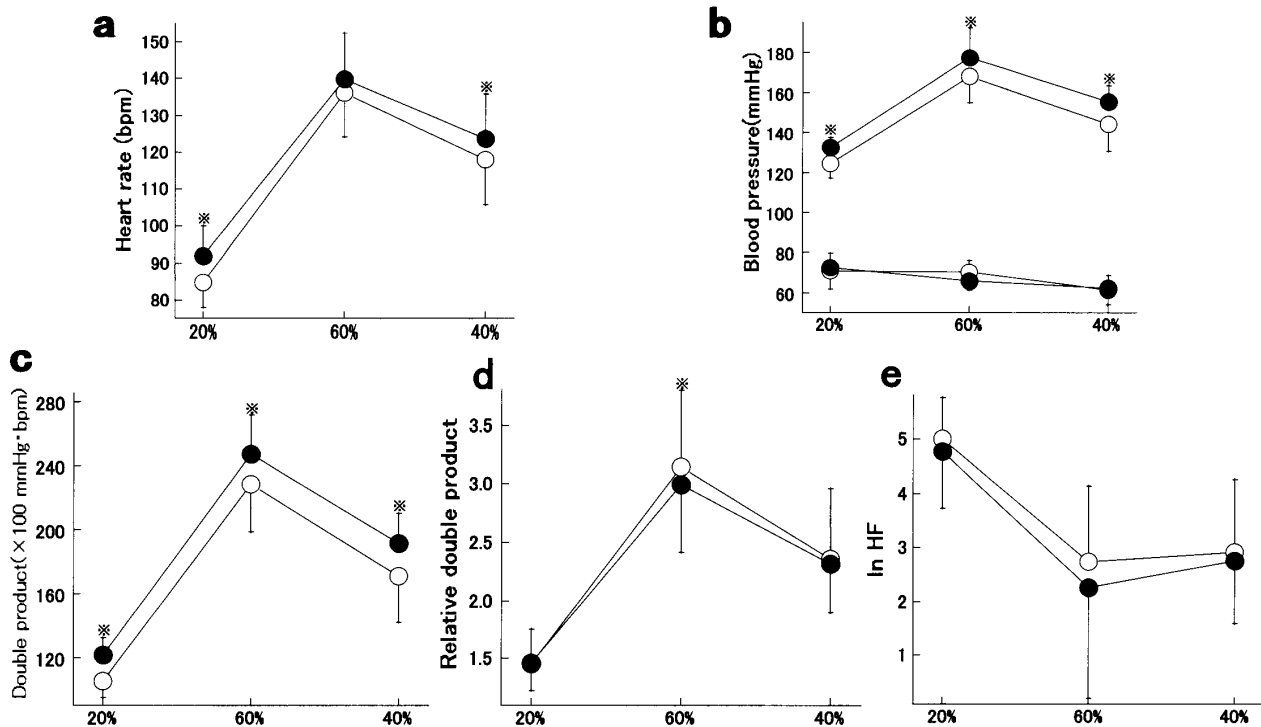


Figure 1 Comparison of physiological parameters between exercise in the morning and exercise in the afternoon during steady state workload exercise.

a. heart rate b. blood pressure

c. double product d. relative double product (relative value for resting value) e. ln HF

○: exercise in the morning, ●: exercise in the afternoon

※: exercise in the morning vs exercise in the afternoon;  $p < 0.05$

と比較して有意な低値を示した（それぞれ、 $p < 0.05$ ）。拡張期血圧は、負荷の増減にも関わらず一定の範囲で推移し、午前運動条件（20%負荷； $70.8 \pm 9.0 \text{ mmHg}$ 、60%負荷； $61.3 \pm 7.5 \text{ mmHg}$ 、40%負荷； $70.1 \pm 9.0 \text{ mmHg}$ ）および午後運動条件（20%負荷； $72.7 \pm 7.2 \text{ mmHg}$ 、60%負荷； $65.9 \pm 10.0 \text{ mmHg}$ 、40%負荷； $62.3 \pm 6.2 \text{ mmHg}$ ）に有意な差は観察されなかった。20%、60%および40%負荷強度の午前運動条件（20%負荷； $105.1 \pm 10.3 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ 、60%負荷； $228.8 \pm 29.9 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ 、40%負荷； $171.0 \pm 28.7 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ ）のダブルプロダクト（絶対値）は、午後運動条件（20%負荷； $121.4 \pm 11.0 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ 、60%負荷； $24.5 \pm 24.3 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ 、40%負荷； $192.0 \pm 18.3 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ ）と比較して有意な低値を示した（それぞれ、 $p < 0.05$ ）。20%と40%負荷強度におけるダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、午前運動条件（20%負荷； $1.45 \pm 0.30$ 、40%負荷； $2.36 \pm 0.60$ ）および午後運動条件（20%負荷； $1.46 \pm 0.24$ 、40%負

荷； $2.32 \pm 0.42$ ）間に有意な差を示さなかった。しかしながら、60%負荷強度の午前運動条件（ $3.15 \pm 0.65$ ）ダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、午後運動条件（ $2.99 \pm 0.58$ ）と比較して有意な高値を示した（ $p < 0.05$ ）。各定常負荷における午前運動条件（20%負荷； $5.00 \pm 0.77$ 、60%負荷； $2.73 \pm 1.40$ 、40%負荷； $2.91 \pm 1.34$ ）のln HFは、午後運動条件（20%負荷； $4.77 \pm 1.05$ 、60%負荷； $2.26 \pm 2.05$ 、40%負荷； $2.76 \pm 1.18$ ）と比較して、有意な差は観察されなかった。

漸増漸減負荷運動における（a）心拍数、（b）血圧、（c）ダブルプロダクト（絶対値）、（d）ダブルプロダクトの安静比および（e）ln HFの午前運動条件と午後運動条件の比較を図2に示した。漸増漸減負荷運動時の心拍応答の最高値には、午前運動条件（ $132.4 \pm 12.5 \text{ bpm}$ ）と午後運動条件（ $135.9 \pm 11.3 \text{ bpm}$ ）間に有意な差が観察されなかった。しかしながら、午前運動条件（ $111.5 \pm 12.8 \text{ bpm}$ ）の心拍応答の最低値は、午後運動条件（ $117.9 \pm 11.5 \text{ bpm}$ ）と比

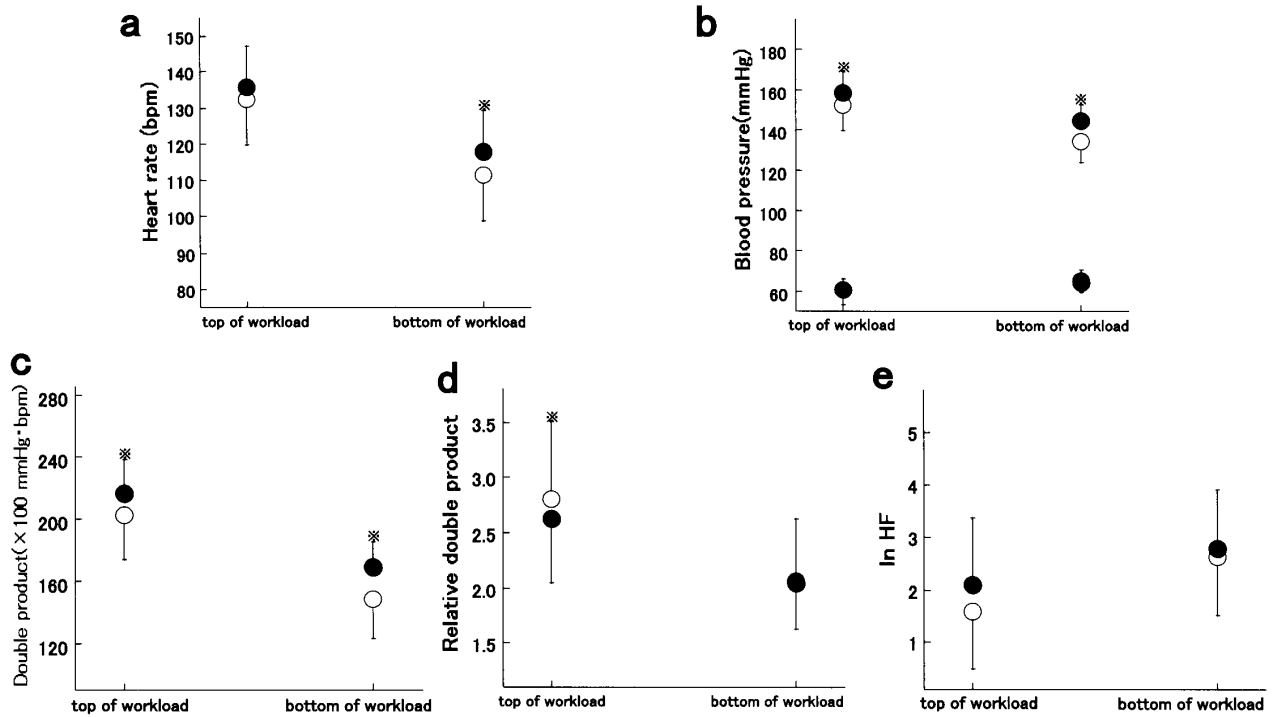


Figure 2 Comparison of physiological parameters between exercise in the morning and exercise in the afternoon during gradually increasing and decreasing workload exercise.

a. heart rate b. blood pressure

c. double product d. relative double product (relative value for resting value) e. ln HF

○ : exercise in the morning, ● : exercise in the afternoon

※ : exercise in the morning vs exercise in the afternoon;  $p < 0.05$

較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ ). 午前運動条件の最高負荷局面 ( $152.2 \pm 12.4 \text{ mmHg}$ ) と最低負荷局面 ( $134.4 \pm 10.7 \text{ mmHg}$ ) における収縮期血圧は、午後運動条件 (最高負荷;  $158.6 \pm 10.1 \text{ mmHg}$ , 最低負荷;  $144.6 \pm 8.2 \text{ mmHg}$ ) と比較して有意な低値を示した (それぞれ,  $p < 0.05$ ). 最高負荷局面と最低負荷局面の拡張期血圧は、午前運動条件 (最高負荷;  $61.0 \pm 7.9 \text{ mmHg}$ , 最低負荷;  $65.4 \pm 6.0 \text{ mmHg}$ ) および午後運動条件 (最高負荷;  $60.7 \pm 5.7 \text{ mmHg}$ , 最低負荷;  $64.3 \pm 6.2 \text{ mmHg}$ ) に有意な差は観察されなかった. 午前運動条件の最高負荷局面 ( $202.6 \pm 28.3 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ ) と最低負荷局面 ( $149.0 \pm 25.4 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ ) におけるダブルプロダクトの絶対値は、午後運動条件 (最高負荷;  $216.7 \pm 21.6 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ , 最低負荷;  $169.1 \pm 16.6 \times 100 \text{ mmHg} \cdot \text{bpm}$ ) と比較して有意な低値を示した (それぞれ,  $p < 0.05$ ). 午前運動条件 ( $2.80 \pm 0.70$ ) の最高負荷局面におけるダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、午後運動条件

( $2.63 \pm 0.58$ ) と比較して有意な高値を示した ( $p < 0.05$ ). 最低負荷局面におけるダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、午前運動条件 ( $2.06 \pm 0.57$ ) と午後運動条件 ( $2.05 \pm 0.42$ ) 間に有意な差が観察されなかった. 午前運動条件 (最高負荷;  $1.59 \pm 1.11$ , 最低負荷;  $2.64 \pm 1.13$ ) の ln HF は、午後運動条件 (最高負荷;  $2.11 \pm 1.27$ , 最低負荷;  $2.79 \pm 1.12$ ) と比較して有意な差は観察されなかった.

図 3 に (a) 定常負荷運動時の心拍応答の振幅、(b) 漸増漸減負荷運動時の心拍応答の振幅および (c) 振幅割合 (定常負荷運動時を基準とした相対値) を示した. 午前運動条件の定常負荷運動 ( $53.9 \pm 5.7 \text{ bpm}$ ) と漸増漸減負荷運動 ( $21.3 \pm 4.2 \text{ bpm}$ ) における心拍応答の振幅は、午後運動条件 (定常負荷;  $49.5 \pm 6.6 \text{ bpm}$ , 漸増漸減負荷;  $18.2 \pm 3.8 \text{ bpm}$ ) と比較して有意な高値を示した (それぞれ,  $p < 0.05$ ). 午前運動条件 ( $41.0 \pm 8.4\%$ ) の振幅割合においても、午後運動条件

## 午前と午後で比較した運動時の生理応答特性

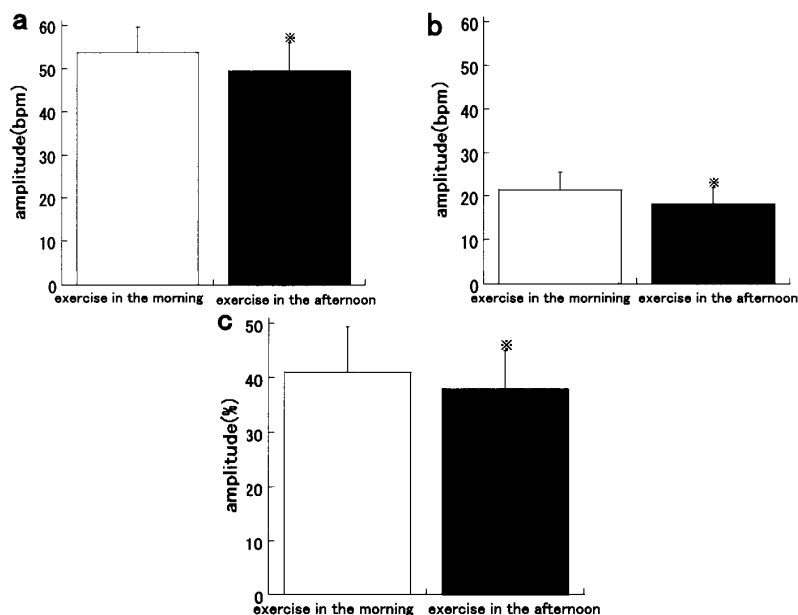


Figure 3 Comparison of amplitude of heart rate response between exercise in the morning and exercise in the afternoon.

a. during steady state workload exercise b. during gradually increasing and decreasing workload c. relative value for steady state workload

□: exercise in the morning, ■: exercise in the afternoon

※: exercise in the morning vs exercise in the afternoon;  $p < 0.05$

( $38.0 \pm 7.1\%$ ) と比較して有意な高値を示した ( $p < 0.05$ ).

図4に (a) T30, (b) 運動終了後1分間の心拍数および (c) ln HF, (d) 仰臥位回復10分間の心拍数および (e) ln HFの午前運動条件と午後運動条件の比較を示した。午前運動条件 ( $67.9 \pm 29.1$ ) のT30は、午後運動条件 ( $125.4 \pm 37.0$ ) と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。運動終了後1分間の心拍数は、午後条件 ( $106.1 \pm 11.8$  bpm) に比較して、午前運動条件 ( $98.4 \pm 13.5$  bpm) において有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。運動終了後1分間のln HFは、午後条件 ( $3.66 \pm 1.30$ ) に比較して、午前運動条件 ( $4.26 \pm 1.18$ ) において有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。仰臥位回復期10分間の午前運動条件 ( $77.0 \pm 9.5$  bpm) の心拍数は、午後運動条件 ( $84.5 \pm 8.3$  bpm) と比較して有意な低値を示した ( $p < 0.05$ )。仰臥位回復期10分間の午前運動条件 ( $5.49 \pm 1.06$ ) のln HFは、午後運動条件 ( $4.89 \pm 1.06$ ) と比較して有意な高値を示した ( $p < 0.05$ )。

#### IV. 考察

定常負荷20%および40%、漸増漸減負荷における

心拍数の最低値は、午前運動において有意な低値を示すことが明らかになった。また、定常負荷および漸増漸減負荷における収縮期血圧およびダブルプロダクト絶対値は、午前運動において有意な低値を示した。しかしながら、午前運動条件のダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、60%負荷強度の午後運動条件と比較して有意に高値を示した。このことから、運動を午前中に実施する時に生理的パラメータの絶対値は低値を示すが、安静時を基準とした相対的な負担は午後実施する運動時と比較して大きくなることが示唆された。

本研究は、最大酸素摂取量の測定を午後3~7時に実施した。最大酸素摂取量の日内変動に関する知見は、最大酸素摂取量が夜間に高値を示す<sup>1,27)</sup>あるいはサーカディアンリズムと同調した応答を示さない<sup>4,32)</sup>など様々である。Hillらは、最大酸素摂取量が日内変動を示す要因の一つとして生活習慣を指摘し、朝型の生活習慣を有する者の最大酸素摂取量の日内変動が有意な差を示さないことを報告した<sup>8)</sup>。本研究の被験者は男子大学生であり、毎日午前8時までに起床する習慣がある者であった。本研究の被験者の最大酸素摂取量の日内変動については午前中

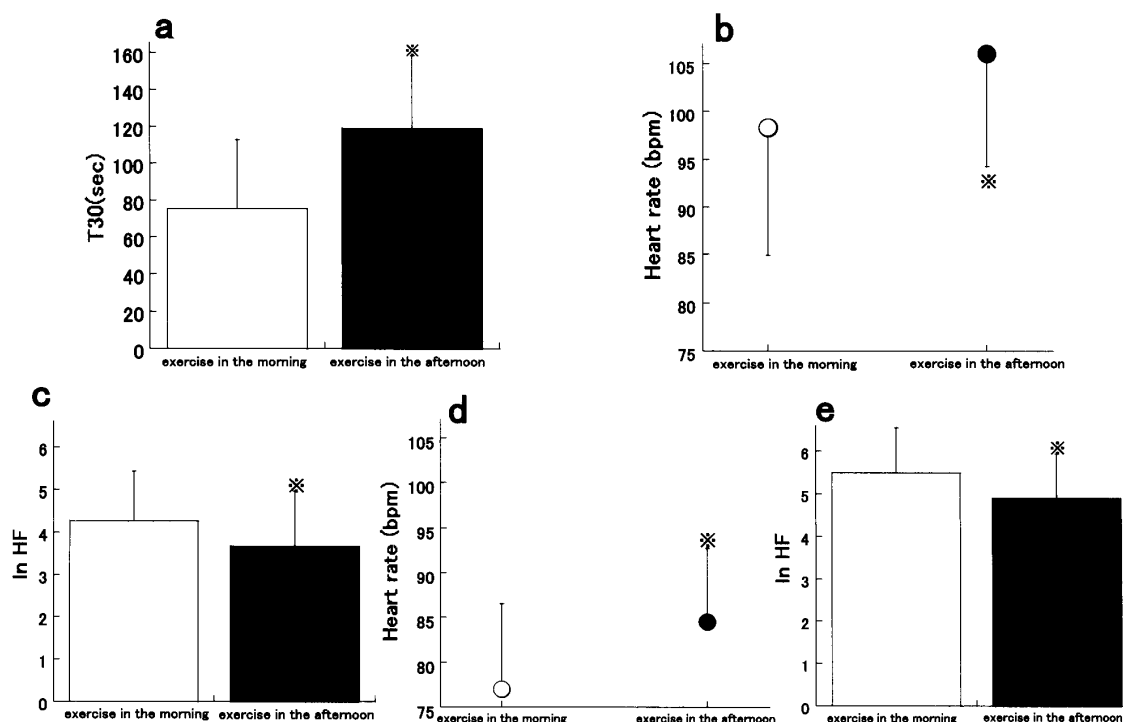


Figure 4 Comparison of T30, heart rate and ln HF between exercise in the morning and exercise in the afternoon.

a. T30 b. heart rate during sitting recovery for 1min. c. ln HF during sitting recovery for 1min. d. heart rate during supine recovery for 10min. e. ln HF during sitting recovery for 1min.

□, ○: exercise in the morning, ■, ●: exercise in the afternoon

\*: exercise in the morning vs exercise in the afternoon;  $p < 0.05$

の測定を行っていないため不明であるが、朝型の生活習慣を有していることから最大酸素摂取量の日内変動は小さいものと推測する。

午前の安静時心拍数、収縮期血圧、ln HF およびダブルプロダクトは午後の安静時と比較して有意な差が観察された。これらの応答は、ヒトのサーカディアンリズムに関する先行研究<sup>1, 2, 24, 25, 27, 29)</sup>と同調であった。

定常負荷運動における午前運動条件の20%負荷の心拍数と収縮期血圧は、午後運動条件と比較して有意な低値を示した。運動を実施する時間帯の違いによる生理応答の差異を検討した先行研究<sup>29)</sup>は、運動強度を最大酸素摂取量の50-60%に設定している。最大酸素摂取量の20%強度の定常負荷における生理応答については、これまでに明らかになっていない。無酸素性作業閾値強度以下の運動時の心拍数の増加は、心臓副交感神経系の抑制によって引き起こされること<sup>28)</sup>から、午前中の心臓副交感神経系の高い活動水準が、無酸素性作業閾値強度以下の運動時

の心拍数の上昇抑制に寄与したものと考えられる。しかしながら、60%負荷強度の心拍数は、両条件間に有意な差が観察されなかった。この生理応答は、前述の先行研究<sup>29)</sup>と同様の応答であった。Yamamoto et al. は、心拍変動スペクトル解析で得られるHF成分が、換気性作業閾値強度の90-110%強度においてほぼ消失することを明らかにした<sup>30)</sup>。このことから、60%負荷運動時の心拍数に及ぼす心臓副交感神経系の関与は少ないものと考えられる。これらの先行研究は、20%負荷強度と60%負荷強度の両条件間の生理応答の差異が安静時の心臓副交感神経系の活動水準の差異によって生じる可能性を示唆する。実際、本研究において、定常負荷60%におけるln HF (午前運動;  $2.73 \pm 1.40$ , 午後運動;  $2.26 \pm 2.05$ ) は、20%負荷 (午前運動;  $5.00 \pm 0.77$ , 午後運動;  $4.77 \pm 1.05$ ) と比較して有意な低値を示した。また、安静値 (午前;  $6.64 \pm 0.55$ , 午後運動;  $6.37 \pm 0.67$ ) と比較して有意な低値を示した。午前運動条件の漸増漸減負荷運動における心拍応答の最低値は、午後



運動条件と比較して有意な低値を示した。しかしながら、両条件間の心拍応答の最高値には、有意な差が観察されなかった。鍋倉らは正弦波運動中の最高負荷局面と最低負荷局面における心拍変動を観察し、心拍変動スペクトル解析から得られる HF 成分が最低負荷局面において有意に高値を示すことを明らかにした<sup>15)</sup>。このことから、午前運動条件における心臓副交感神経系の高い活動水準が、心拍応答の最低値を減少させたものと考えられる。

漸増漸減負荷運動における午前運動条件の心拍応答の振幅割合は、午後運動条件と比較して有意な高値を示した。定常負荷運動と漸増漸減負荷運動における心拍応答の振幅は、いずれも午前運動条件において有意な高値を示した。60%負荷強度の心拍数および心拍応答の最高値は両条件間に有意な差は観察されないことから、午前運動条件における心拍応答振幅の増大は20%負荷強度の心拍数と心拍応答の最低値の減少によるものと考えられる。短期間のトレーニングは、正弦波運動の心拍応答振幅割合の増大、安静時心臓副交感神経系の亢進を引き起こすこと<sup>12)</sup>から、午前運動条件における心臓副交感神経系の高い活動水準が低強度運動時心拍数の上昇の抑制を引き起こし、このことが心拍応答の振幅の増大に寄与するものと推測する。

ダブルプロダクトの絶対値は、定常負荷運動の20%、60%および40%負荷および漸増漸減負荷運動の最高負荷局面と最低負荷局面のいずれにおいても、午後運動条件と比較して午前運動条件が有意な低値を示した。しかしながら、午前運動条件のダブルプロダクトの安静値に対する相対値は、定常負荷運動における60%負荷強度および漸増漸減負荷運動の最高負荷局面において、午前運動条件が午後運動条件と比較して有意な高値を示した。梶久保らは、本態性高血圧患者を対象とし、循環動態の日内変動を検討した<sup>21)</sup>。起床後に顕著な血圧の上昇が観察されたが、絶対値は夕方と比較して必ずしも高くはないことを報告した<sup>21)</sup>。このことは、運動時の日内変動を評価する場合、絶対値評価のみならず安静時を基準とした相対的な評価の必要性を示唆する。本研究の結果は、ダブルプロダクトの安静値が低値を示す午前中の運動が絶対値が同一水準の午後運動と比較して生体負荷が増大することを示唆する。このことは、午前中の高強度運動実施に注意を払う必要性を指摘する先行研究を支持するものである<sup>13, 18, 26)</sup>。山

口らは、心臓副交感神経系と脊髄興奮性に関するサーカディアンリズムについて検討し、心臓副交感神経系が亢進を示す早朝において脊髄の興奮性が亢進することを明らかにした<sup>29)</sup>。このことから、自律神経系と脊髄興奮性のアンバランスが生じる早朝の激しい運動時は注意が必要であることを指摘した<sup>29)</sup>。定常負荷運動における20%と40%負荷強度および漸増漸減負荷運動の最低負荷局面におけるダブルプロダクトの安静値比は、両条件間に有意な差は観察されなかった。このことから、午前中に運動を実施する場合は、無酸素性作業閾値以下の低中強度の運動が望まれる。

午前運動条件の T30は、午後運動条件と比較して有意な低値を示した。このことは、午前中に実施する運動の心臓副交感神経系の再亢進割合が同一負荷様式の午後運動と比較して有意に高いことを示唆する。午前運動条件の運動終了後1分間 ln HF は、午後運動条件と比較して有意な高値を示した。これらの応答は、午前中に実施する運動の心臓副交感神経系の反応性が午後運動と比較して有意に高いことを示唆するものである。

先行研究は、握力のサーカディアンリズムが体温のサーカディアンリズムと同調し、午後7時頃にピークを示すこと<sup>10)</sup>、無酸素性能力<sup>9)</sup>が午後9時に最高値をまた全身反応時間<sup>30)</sup>が午後9時に最も低値を示すことを報告した。これらの先行研究は、運動パフォーマンスが日内変動を有し、1日のうちで夕方から夜間にかけて高値を持つことを示唆する<sup>1, 27, 32)</sup>。しかしながら、本研究の結果は、高い運動パフォーマンスを示しながらも、午後運動条件における心臓副交感神経系の再亢進の遅延を示唆するものである。これらの知見は、午後実施する運動の特性として、高い運動パフォーマンスを示す一方で心臓副交感神経系の再亢進は遅延することを示し、2つの指標に乖離が生じることを示唆する。このような考察に基づき本研究の結果を比較すると、運動後回復期10分間の平均心拍数は、午後運動条件(84.5±8.3bpm)が午前運動条件(77.0±9.5bpm)に比較して有意な高値を示した。午後運動を実施する場合、同一運動負荷様式における心臓副交感神経系の回復が遅延することを踏まえれば、運動の習慣化に取り組もうとする対象者については、運動と運動の間の休息時間を長く設定するなどの配慮が必要であることを示唆する。

## V. まとめ

運動を実施する時間帯の違いが、心拍応答、血圧応答およびダブルプロダクトに及ぼす影響について検討した本研究から以下の知見が示された。

1. 午前中に実施する低強度運動時の心拍数および収縮期血圧は、午後運動条件と比較して有意な低値を示した。しかしながら、運動強度が高い場合は、午前運動および午後運動に有意な差は観察されなかった。
2. 午前運動条件のダブルプロダクトの絶対値は、午後運動と比較して有意な低値を示した。しかしながら、ダブルプロダクトの安静値比は、60%負荷強度の午前運動条件が有意な高値を示した。
3. 午前運動条件の心臓副交感神経系の再充進割合は、午後運動と比較して、有意な高値を示した。

以上のことから、午前中に実施する運動時の生体応答は、運動負荷に対する心拍と血圧応答の反応性が高値を示すことが示唆された。午前中に運動を実施する場合は低中強度の運動できれば無酸素性作業閾値を超えない運動が望ましいものと考え、一方、午後に運動を実施する場合は、運動負荷に対する回復が遅延することを考慮する必要がある。運動と運動の間の休息時間を長く設定するなどの配慮は、運動に伴うイベントの防止に寄与するものと考察する。

## 参考文献

- 1) Atkinson G, Reilly T (1996) Circadian variation in sports performance. *Sports Med* 21: 292-312
- 2) 白 優覧, 山崎 健, 西村正広, 小野寺昇 (2006) 心電図記録における調節呼吸が心臓自律神経日内変動に及ぼす影響. *宇宙航空環境医学* 43: 19-25
- 3) Brown TE, Beightol LA, Koh J, Eckberg DL (1993) Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. *J Appl Physiol* 75(5): 2310-2317
- 4) Faria IE, Drummond BJ (1982) Circadian changes in resting heart rate and body temperature, maximal oxygen consumption and perceived exertion. *Ergonomics* 25(5): 381-386
- 5) Fukuoka Y, Nakagawa Y, Ogoh K, Shiojiri T, Fukuba Y (2002) Dynamic of the heart rate response to sinusoidal work in humans: influence of physical activity and age. *Clinical Science* 102: 31-38
- 6) Fukuoka Y, Gwon O, Sone R, Ikegami H (1995) Characterization of sports by the  $\dot{V}O_2$  dynamics of athletes in response to sinusoidal work load. *Acta Physiol Scand* 153: 117-127
- 7) Hayano J, Mukai S, Sakakibara M, Okada A, Takata K, Fujinami T (1994) Effects of respiratory interval on vagal modulation of heart rate. *Am J Physiol* 267: H33-H40
- 8) Hill DW, Cureton KJ, Collins MA, Grisham SC (1988) Diurnal variations in responses to exercise of "morning types" and "evening types". *J Sports Med Phys Fitness* 28: 213-219
- 9) Hill DW, Smith JC (1991) Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. *Can J Sport Sci* 16: 30-32
- 10) Ilmarinen J, Ilmarinen R, Korhonen O, Nurminen M (1980) Circadian variation of physiological functions relate to physical work capacity. *Scand Work environ health* 6: 172-182
- 11) 池上晴夫 (1989) フィットネス評価法としての正弦波負荷法. *Health Sciences* 5: 3-8
- 12) Imai k, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, Takeda H, Inoue M, Kamada T (1994) Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 24: 1529-1535
- 13) Muller JE, Tofler GH, Stone PH (1989) Circadian variation and triggers of onset acute cardiovascular disease. *Circulation* 79: 733-743
- 14) 鍋倉賢治, 吉岡利貢, 中垣浩平, 辻村真一, 仙石泰雄 (2007) 正弦波負荷運動時の心拍数応答におけるトレーニング効果. *日本運動生理学雑誌* 14(2): 29-39
- 15) 鍋倉賢治, 吉岡利貢, 高嶋 涉, 篠田知之, 池上晴夫 (2006) 正弦波運動負荷に対する心拍応答と運動習慣の関係. *筑波大学体育科学系紀要* 29: 23-33
- 16) 西村一樹, 吉岡 哲, 関 和俊, 小野寺昇 (2009) 自転車エルゴメーター運動後の仰臥位浸水時の水温の違いが直腸温および心臓自律神経系調節に及ぼす影響. *宇宙航空環境医学* 46(1): 13-18
- 17) Pomeranz B, Macaulay RJ, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger AC, Shannon DC, Cohen RJ, Benson H (1985) Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol* 248: H151-H153
- 18) Shimada K, Kario K, Umeda Y, Hoshide S, Hoshide Y, Eguchi K (2001) Early morning

- surge in blood pressure. *Blood Press Monit* 6: 349-353
- 19) Sone Y, Yamazaki F, Fujii N, Fukuoka Y, Ikegami H (1997) Respiratory variability in R-R interval during sinusoidal exercise. *Eur J Appl Physiol* 75: 39-46
- 20) Tanaka H, Kiyonaga A, Terao Y, Ide K, Yamauchi M, Tanaka M, Shindo M (1997) Double product response is accelerated above the blood lactate threshold. *Med Sci Sports Exerc* 29: 503-508
- 21) 栃久保修, 宮島栄治, 名倉敏弘, 川野芳幸, 石井當男 (1995) ストレスによる血圧応答と循環動態の日内変動. *Japanese Circulation Journal* 58: 1143-1147
- 22) 常盤野和男, 大友詔雄, 田中幸雄 (2002) 最大エントロピー法による時系列解析 - MemCalc の理論と実際 - 北海道大学出版会, 札幌
- 23) 豊岡示朗, 吉川 潔, 足立哲司 (1995) 朝と夕のジョギングにおける血中基質の動態と代謝特性. *体力科学* 44: 419-430
- 24) Vandewalle G, Middleton B, Rajaratnam SM, Stone BM, Thorleifsdottir B, Arendt J, Dijk DJ (2007) Robust circadian rhythm in heart rate and its variability: influence of exogenous melatonin and photoperiod. *J Sleep Res* 16: 148-155
- 25) Weinert D, Waterhouse J (2007) The circadian rhythm of core temperature: effects of physical activity and aging. *Physiol Behav* 90: 246-256
- 26) White WB (2000) Ambulatory blood pressure monitoring: dippers compared with non-dippers. *Blood Press Monit* 5: S17-23
- 27) Winget CM, DeRoshia CW, Holley DC (1985) Circadian rhythms and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 17: 498-516
- 28) Xenakis AP, Quarry VM, Spodick DH (1975) Immediate cardiac response to exercise: physiologic investigation by systolic time intervals at graded work loads. *Am Heart J* 89: 178-185
- 29) 山口英峰, 関 和俊, 高原皓全, 小野寺昇, 永見邦篤 (2009) 日内変動における心臓自律神経系活動と反射機能との関係. 第24回健康医学研究助成論文集: 134-143
- 30) Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC (1991) Autonomic control of heart rate during exercise studies by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* 71: 1136-1142
- 31) 山崎 健, 蘇日塔拉図 (2008) 漸増漸減型自転車エルゴメーター負荷への瞬時心拍応答. *新潟大学教育人間科学部紀要* 10: 83-91
- 32) 柳本有二, 戎 利光 (1994) サーカディアンリズムと行動体力との関係. *体育学研究* 38: 437-445  
(2010年6月25日受付, 2010年10月4日訂正, 2010年11月10日受理)