

# スポーツ競技者の運動パフォーマンスとサーカディアンリズムとの関連性に関する研究

研究代表者: 西村一樹(広島工業大学地球環境学科)

## 目 次

要約	1
緒言	2
方法	3
結果	5
考察	13
まとめ	15
謝辞	16
参考文献	17

西村一樹, 長崎浩爾, 山口英峰, 吉岡哲, 小野寺昇, 高本登

## 要約

本研究は、午前の軽運動実施が強弱の明確なサーカディアンリズム形成に寄与し、このことが午後の運動パフォーマンスを向上させる要因であるものとの研究仮説の検証を行った。本研究は、新体力テスト、無酸素パワーテストおよび漸増漸減負荷運動における位相の遅れ時間、振幅割合を運動パフォーマンスの指標とし、午前中の軽運動と運動パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。本研究の目的を遂行するために以下の3つの研究課題を設定した。午前中の軽運動実施が午後の運動パフォーマンスに及ぼす影響(研究課題1)。午前中の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響(研究課題2)。午前中の軽運動実施と非定常負荷運動中の生理応答との関連性(研究課題3)。研究課題1は、成人男性15名を対象に午後4時30分に文部科学省の新体力テストおよび無酸素パワーテストを実施した。測定条件は、8時30分に最大酸素摂取量の40%強度の自転車運動を30分間実施する条件と座位姿勢で安静に過ごす条件とした。午前の軽運動実施は、20m シャトルラン、立ち幅跳び、長座体前屈および最大無酸素パワーを有意に向上させた。さらに、新体力テストの総合得点は、午前の軽運動実施によって有意に向上した。研究課題2は、成人男性9名を対象に午前の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響を明らかにした。対象者は、実験当日7時から16時まで1時間毎に仰臥位安静時の生理応答の測定を行った。測定条件は、8時30分に最大酸素摂取量の40%強度の自転車運動を15分間実施する条件(朝運動条件)と座位姿勢で安静に過ごす条件(対照条件)とした。測定項目は、心拍数、血圧、ダブルプロダクト、心臓自律神経系調節および舌下温とした。朝運動条件および対照条件の各測定項目に有意な差は観察されなかった。研究課題3は、午後4時30分に漸増漸減負荷運動を実施した。対象者および測定条件は、研究課題2と同一とした。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。運動終了後に運動後回復期の測定を行った。測定項目は、心拍数、血圧、ダブルプロダクト、主観的運動強度(RPE)および酸素摂取量とした。漸増漸減負荷運動における心拍数および酸素摂取量の5周期を加算平均し、曲線回帰式を推定した。推定式から最高値、最低値、位相の遅れ時間および振幅割合を算出した。血圧は、各周期の最高および最低負荷局面に測定を開始し、5周期の平均値をそれぞれの負荷局面における血圧とした。血圧測定を行った30秒間の平均心拍数と収縮期血圧との積をダブルプロダクトとした。朝運動条件における運動中の心拍数、収縮期血圧およびダブルプロダクトは、対照条件に比較して有意な低値を示した。運動中の酸素摂取量は、両条件に有意な差は観察されなかった。心拍応答および酸素摂取量の運動負荷に対する位相の遅れ時間は、対照条件に比較し、朝運動条件において有意に短縮した。さらに、酸素摂取量の振幅割合においても朝運動条件が有意な高値を示した。運動後回復期の生理応答に及ぼす朝運動の影響は小さいことが示された。以上のことから、午前8時30分に実施する最大酸素摂取量の40%強度の自転車運動は、午後4時30分に実施する運動パフォーマンスを向上させる。また、同一運動負荷に対する生理応答を低値で推移させ、心拍応答および酸素摂取量の追従性を高めることが明らかになった。これらのことは本研究で示された新しい知見であり、スポーツ競技者の競技当日のコンディショニング法および日々のトレーニング効果増大に寄与するものである。

---

代表者所属: 広島工業大学地球環境学科

## 緒言

ヒトは、約 1 日を 1 周期とするサーカディアンリズムを有する。体温、心拍数、血圧などの生理指標は、サーカディアンリズムに対応した応答を示す。体温は、起床前の夜間睡眠中(午前 4-6 時)に最も低く、その後上昇し、午後 4-6 時頃にピークとなり、再び下降する(Weinert D and Waterhouse J, 2007)。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。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移行し、日中は交感神経系が亢進し、副交感神経系は抑制される(Vandewalle G et al., 2007; 白ほか, 2006; 山口ほか, 2009)。我々は、朝食摂取および運動習慣を有さない者の体温の概日リズム位相が後退し、体温の起床時と最高値の差が低値を示すことを報告した(西村ほか, 2013)。さらに、朝食摂取および午前中の軽運動の実施が体温の概日リズムの後退を修正し、強弱の明確なサーカディアンリズムの形成に寄与する可能性を示す知見を得た。サーカディアンリズムと運動パフォーマンスに関する先行研究は、握力の日内変動が体温のリズムと同調し、午後 7 時頃にピークを示す(Ilmarinen J et al., 1980)こと、最大無酸素性能力が午後 9 時に最高値を示し(Hill DW and Smith JC, 1991)、全身反応時間が午後 9 時に最も低値を示す(柳本と戒, 1994)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で変動し、1 日のうちで夕方から夜間にかけて高値を示すことを示唆する。早朝の激運動の危険性は、循環器系応答の観点から多くの先行研究によって指摘される(Muller JE et al., 1989; Shimada K et al., 2001; White WB, 2000; 山口ほか, 2009)。一方、競技スポーツにおいては、早朝の軽運動実施が、運動パフォーマンスの向上やトレーニング効果を高めるものと考えられている。実際、遠征や合宿などにおいて、起床後に散歩などの軽運動を実施する競技スポーツ選手は多く存在する。しかしながら、早朝の軽運動の実施と午後実施する運動時の生理応答との関連性に関する知見は、我々の文献渉猟範囲では不足する。

漸増漸減負荷運動(西村ほか, 2011, 2012)あるいは正弦波負荷運動(Fukuoka Y et al., 1995, 2002; 池上, 1989; 鍋倉ほか, 2006, 2007; Sone R et al., 1997)などの非定常負荷運動法は、運動負荷に対する心拍数および酸素摂取量の位相の遅れ時間および振幅割合を指標として、生体の適応力(追従性)を評価できる(池上, 1989)。正弦波負荷運動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振幅割合が高値を示し、位相時間の遅れが短いことを明らかにした(Fukuoka et al., 1995)。アメリカンフットボール選手と非鍛錬者の振幅割合および位相の遅れ時間に有意な差が観察されないことから、運動負荷に対する振幅割合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(Fukuoka et al., 1995)。鍋倉らは、持久性トレーニングの実施が心拍応答の振幅割合の増大と位相の遅れ時間の短縮を引き起こすことを明らかにした(鍋倉ほか, 2007)。これらのことから、位相時間の遅れあるいは振幅割合は、持続的性運動能力および持久性トレーニングの効果を反映するものと考えられる。我々は、漸増漸減負荷運動に対する心拍応答の追従性を午前と午後で比較した。午前は、運動負荷に対する心拍応答の振幅割合が増大し、追従性に優れることを報告した(西村ほか, 2011)。正弦波負荷運動中の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(Sone R et al., 1997)。このことから、上昇局面と下降局面における位相の遅れ時間の差異は、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指摘される(Sone R et al., 1997)。

運動負荷試験を実施する場合、心拍数、血圧および酸素摂取量は、モニタリングする必須の生理指標であり、安静時、運動時、運動後回復期における各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

試験中の分時換気量および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、換気性作業閾値および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(Tanaka H et al., 1997; Nishimura K et al., 2011)。このことから、運動中の心拍数、血圧、ダブルプロダクトおよび酸素摂取量は、運動強度の把握および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。

以上の知見から、午前中の軽運動実施は、強弱の明確なサーカディアンリズム形成に寄与し、このことが午後の運動パフォーマンスを向上させる要因であるものと仮説立てした。また、午前中の軽運動実施が、運動パフォーマンスを向上させるのであれば、運動負荷に対する生理応答の追従性は、午前の軽運動実施によって高められるものと推測する。本研究は、新体力テスト、無酸素パワーテストおよび漸増漸減負荷運動における位相の遅れ時間、振幅割合を運動パフォーマンスの指標とし、午前中の軽運動と運動パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。

本研究の目的を遂行するために以下の3つの研究課題を設定した。

研究課題 1: 午前中の軽運動実施が午後の運動パフォーマンスに及ぼす影響

研究課題 2: 午前中の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響

研究課題 3: 午前中の軽運動実施と非正常負荷運動中の生理応答との関連性

## 方法

### 研究課題 1

対象者は、成人男性 15 名とした。対象者の特性は、年齢  $21.9 \pm 1.3$  歳、身長  $169.3 \pm 7.9$  cm、体重  $64.6 \pm 9.9$  kg、BMI  $22.5 \pm 3.3$  kg/m<sup>2</sup>であった。対象者には、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。

対象者は、16時30分に新体力テスト(文部科学省)および無酸素パワーテストを実施した。測定条件は、8時30分に最大酸素摂取量の40%強度の自転車運動を30分間実施する条件(朝運動条件)と座位姿勢で安静に過ごす条件(対照条件)とした。対象者は、両条件とも実験前日23時に就寝し、7時に起床した。また、7時30分に指定した朝食(熱量 629 kcal、たんぱく質 19.2 g、脂質 16.5 g、炭水化物 100.9 g、ナトリウム 1.3 g)を、12時30分に指定した昼食(熱量 647 kcal、たんぱく質 19.5g、脂質 20.8 g、炭水化物 94.6 g、ナトリウム 2.8 g)を摂取した。各食事は、10分間とした。16時30分に新体力テストおよび無酸素パワーテストを実施した。実施種目順は、握力、上体起こし、長座体前屈、反復横跳び、50m 走、立ち幅跳び、20m シャトルラン、無酸素パワーテストとした。両条件の測定順はランダムとし、異なる日に実施した。両条件の測定間隔は、1週間とした。

各種目の記録は、平均  $\pm$  標準偏差(mean  $\pm$  SD)で示した。各種目の平均値の比較に対応ありの t 検定を用いた。危険率 5%未満を有意な差とした。

### 研究課題 2

対象者は、成人男性 9 名とした。対象者の特性は、年齢  $23.4 \pm 1.9$  歳、身長  $171.0 \pm 4.7$  cm、体重  $67.6 \pm 5.4$  kg、BMI  $23.2 \pm 2.2$  kg/m<sup>2</sup>であった。喫煙者、高血圧者、肥満者および循環器系疾患を有する者は対象者から除外した。対象者には、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。

対象者は、実験前日 22 時から実験当日 16 時 30 分まで環境管理された実験室で過ごし、実験当日 7 時から 16 時まで 1 時間毎に仰臥位安静時の生理応答の測定を行った。対象者は、測定開始 5 分前からベッドに仰臥位姿勢を保持し、舌下温、血圧、心拍数の順で測定した。測定条件は、朝運動条件と対照条件とした。朝運動条件は、8 時 30 分に最大酸素摂取量の 40%強度の自転車運動を 15 分間行った。対照条件は、運動を実施しない条件とした。両条件とも睡眠時間は 23 時から 7 時までの 8 時間とした。また、7 時 30 分に指定した朝食(熱量 629 kcal, たんぱく質 19.2 g, 脂質 16.5 g, 炭水化物 100.9 g, ナトリウム 1.3 g)を、12 時 30 分に指定した昼食(熱量 647 kcal, たんぱく質 19.5g, 脂質 20.8 g, 炭水化物 94.6 g, ナトリウム 2.8 g)を摂取した。測定中の飲料水は、麦茶(0kcal, ノンカフェイン)を 1,200ml とした。食事摂取時間は 10 分間とし、飲料水の摂取時間および量は任意とした。対象者の身体活動量を制限し、指定した飲食物以外の摂取を禁止した。両条件の測定順はランダムとし、異なる日に実施した。両条件の測定間隔は、1 週間とした。実験室内の室温および湿度は、 $23.6 \pm 1.8$  °C および  $29.5 \pm 5.9$  %であった。

測定項目は、心拍数、血圧、ダブルプロダクト、心臓自律神経系調節および舌下温とした。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(メモリー心拍数計 LRR-033;アームエレクトロニクス株式会社)。各測定時刻に 5 分間記録し、平均値を用いた。血圧は、自動血圧計(オムロン自動血圧計 HEM-7420;オムロンヘルスケア株式会社)を用い、各測定時刻に 2 回測定を行い、平均値を用いた。ダブルプロダクトは、各測定時刻の平均心拍数と収縮期血圧の積から算出した。心臓自律神経系調節の測定に修正型最大エントロピー法(MemCalc 法)を用いた(常盤野ほか, 2002)。解析には、心拍ゆらぎリアルタイム解析システム MemCalc/Tarawa(株式会社ジー・エム・エス)を用いた。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(AD12-8(PM); CONTEC Crop.)し、パーソナルコンピューター(Microsoft Windows XP;IBM Crop.)に取り込み、解析を行った。得られた直近 30 秒間の R-R 間隔データを MemCalc 法によって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低周波帯域(0.04-0.15Hz)のパワー積分値(Low Frequency;LF)および高周波帯域(0.15-0.40Hz)のパワー積分値(High Frequency;HF)を算出した(Pomeranz et al., 1985)。LF 成分および HF 成分の和をトータルパワー(TP)として、心臓自律神経系調節の活動水準の指標として用いた(小川と岩崎, 2008)。また、HF 成分の分布に正規性を得るために自然対数変換した  $\ln$  HF を心臓副交感神経系調節の指標として用いた(西村ほか, 2011)。呼吸数の影響を除外するため、電子メトロノームを用いて呼吸数を 4 秒に 1 回(2 秒吸気, 2 秒呼気)に制御した(Brown TE et al, 1993; Hayano J et al., 1994)。舌下温は、電子体温計(MC-672;オムロンヘルスケア株式会社)を用い、実測値を測定した。

測定値は、平均値  $\pm$  標準偏差(mean  $\pm$  SD)で示した。朝運動条件および対照条件の各パラメーターの差を繰り返しのある二元配置分散分析(two-way ANOVA)を用いて検定した。両条件の平均値の比較は、対応のある t-test を用い検定した。いずれの場合も危険率 5%未満( $p < 0.05$ )を有意な差とした。

### 研究課題 3

対象者は、実験 2 と同一の成人男性 9 名であった。

測定条件は実験 2 と同一とし、16 時 30 分に自転車運動を実施した。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%負荷強度の順とし、各負荷 4 分間とした。漸増漸減負荷運動は、最大酸素摂取量の 40%負荷強度から 15 秒毎に 5%負荷強度ずつ 60%負荷強度まで漸増させ、60%負荷強度からは同様に 20%負荷強度まで漸減さ

せた。1 周期の運動時間は 4 分間とし、5 周期実施させた。32 分間の運動終了後に座位姿勢で 1 分間および仰臥位姿勢で 10 分間の運動後回復期の測定を行った。実験室内の室温および湿度は、 $21.2 \pm 1.1$  °C および  $27.8 \pm 6.9$  %であった。

測定項目は、心拍数、血圧、ダブルプロダクト、主観的運動強度(RPE)および酸素摂取量とした。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(メモリー心拍数計 LRR-033;アームエレクトロニクス株式会社)。定常負荷運動にける各負荷強度の 3 分目から 4 分目の 1 分間の平均値をその負荷強度における心拍数とした。20%負荷強度と 60%負荷強度との心拍数の差を定常負荷運動における振幅とした。さらに、漸増漸減負荷運動における心拍数の 5 周期を加算平均し、曲線回帰式を推定した。推定式から漸増漸減負荷運動における心拍応答の最高値、最低値、振幅(最高値と最低値との差)および運動負荷に対する位相の遅れ時間を算出した(西村ほか, 2011, 2012)。さらに、定常負荷運動における振幅を基準とした漸増漸減負荷運動の振幅の相対値を振幅割合とした(西村ほか, 2011, 2012)。血圧は聴診法用い、測定時間は 30 秒間とした。定常負荷運動は、各負荷強度 2 分 30 秒後および 3 分 30 秒後に測定を開始し、平均値を各負荷強度の血圧とした。漸増漸減負荷運動における血圧は、各周期の最高および最低負荷局面に測定を開始し、5 周期の平均値をそれぞれの負荷局面における血圧とした。血圧測定を行った 30 秒間の平均心拍数と収縮期血圧と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た。RPE は、ボルグスケールを用い、対象者に口頭で申告させた。定常負荷運動は各負荷強度の終了 5 秒前、漸増漸減負荷運動は各周期の最高および最低負荷局面に申告させた。酸素摂取量の測定には、ブレスバイブレス法(AE300S;ミナト医科学株式会社)を用いた。酸素摂取量の評価は、心拍数と同様に定常負荷運動の各負荷強度の酸素摂取量、振幅、定常負荷運動における最高値、最低値、振幅、位相の遅れ時間および振幅割合を求めた。

測定値は、平均値  $\pm$  標準偏差(mean  $\pm$  SD)で示した。朝運動条件および対照条件の各パラメーターの差を繰り返しのある二元配置分散分析(two-way ANOVA)を用いて検定した。両条件の平均値の比較は、対応のある t-test を用い検定した。いずれの場合も危険率 5%未満( $p < 0.05$ )を有意な差とした。

## 結果

### 研究課題 1

表 1-1 に朝運動条件および対照条件における新体力テストの各種目の比較を示した。朝運動条件における 20m シャトルラン、立ち幅跳びおよび長座体前屈の記録は、対照条件に比較し、有意な高値を示した(20m シャトルラン; $p = 0.010$ , 立ち幅跳び; $p = 0.008$ , 長座体前屈; $p = 0.009$ )。その他の新体力テストの種目に両条件に有意な差は観察されなかった。両条件における新体力テストの総合得点の比較を図 1-1 に示した。新体力テストの総合得点は、対照条件に比較し、朝運動条件において有意な高値を示した( $p = 0.038$ )。最大無酸素パワーの朝運動条件および対照条件の比較を図 1-2 に示した。朝運動条件における最大無酸素パワーは、対照条件に比較し、有意な高値を示した( $p = 0.044$ )。

### 研究課題 2

朝運動条件および対照条件における仰臥位安静時の心拍数の推移を図 2-1 に示した。仰臥位安静における両条件の心拍数に有意な差は観察されなかった( $F = 1.275$ ,  $p = 0.257$ )。朝運動条件における 9 時の心拍数は、対照条件に比較して有意な高値を示した( $p = 0.020$ )。図 2-2 に収縮期および拡張期血圧の両条件の比較を示した。朝運動条件および対照条件における収縮期血圧は、有意な変動を示さなかった( $F =$

表1-1 午前中の軽運動実施の有無で比較した午後の新体カテストの記録

	C condition	E condition	p-value
50m走(秒)	7.34 ± 0.39	7.34 ± 0.42	0.951
上体起こし(回)	32.9 ± 5.1	31.6 ± 5.0	0.149
握力右(kg)	40.1 ± 6.5	39.7 ± 5.7	0.613
握力左(kg)	37.6 ± 4.2	38.2 ± 5.5	0.497
立ち幅跳び(cm)	216 ± 20	222 ± 20	0.008
反復横跳び(回)	58.6 ± 2.7	57.8 ± 3.3	0.100
20mシャトルラン(回)	71.7 ± 15.5	77.0 ± 15.3	0.010
長座体前屈(cm)	44.6 ± 9.0	46.9 ± 8.5	0.009

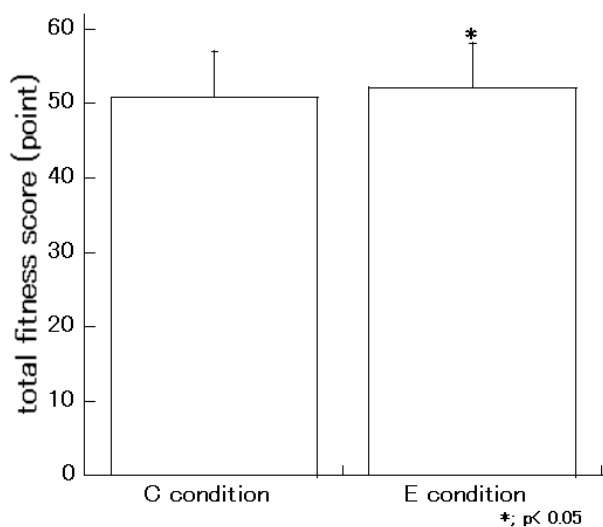


図1-1 両条件で比較した新体カテストの総合得点

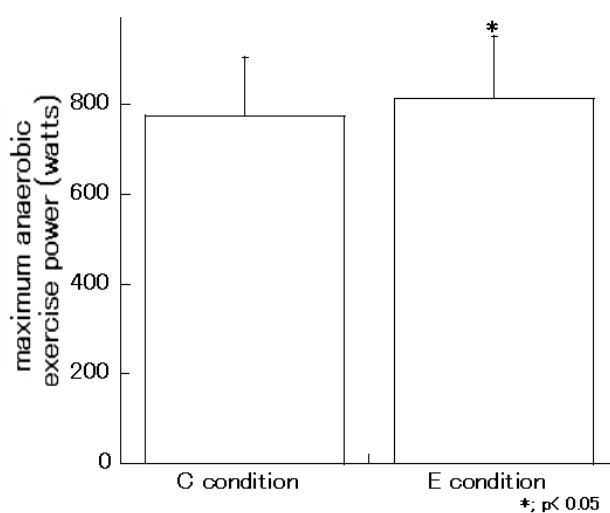


図1-2 両条件で比較した最大無酸素パワー

○▽; 対照条件, ●▼; 朝運動条件

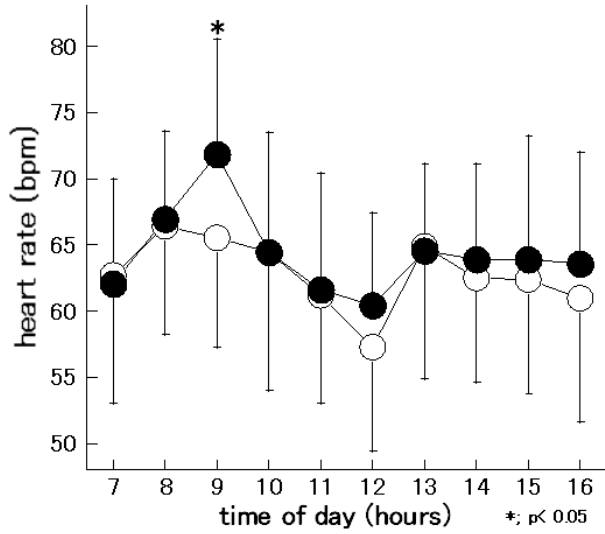


図2-1 両条件で比較した仰臥位安静時の心拍数

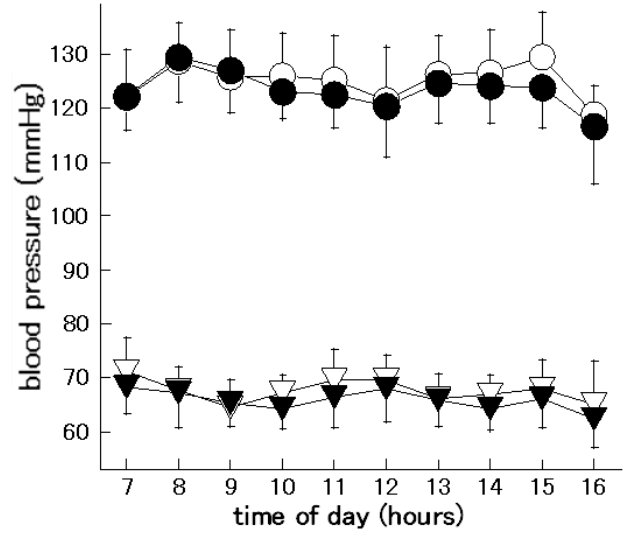


図2-2 両条件で比較した仰臥位安静時の血圧

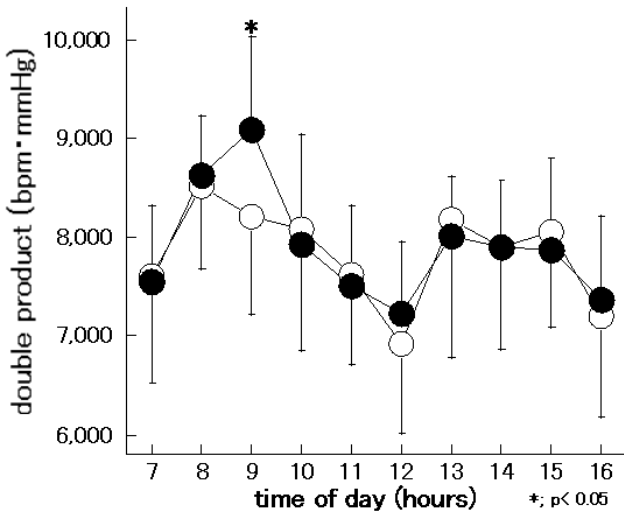


図2-3 両条件で比較した仰臥位安静時の二重積

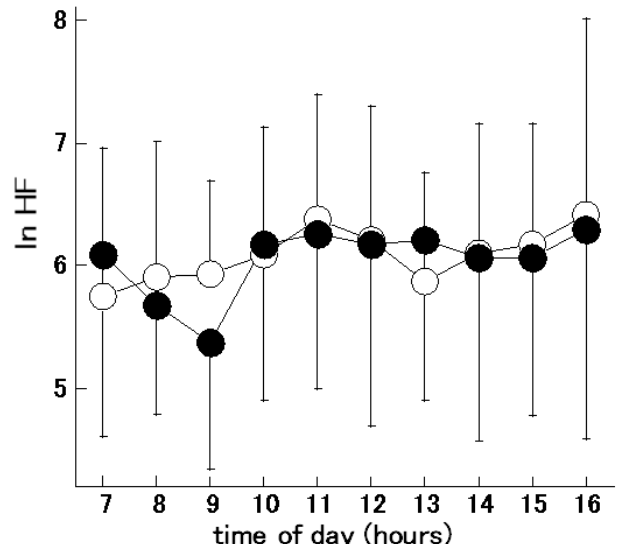


図2-4 両条件で比較した仰臥位安静時のln HF

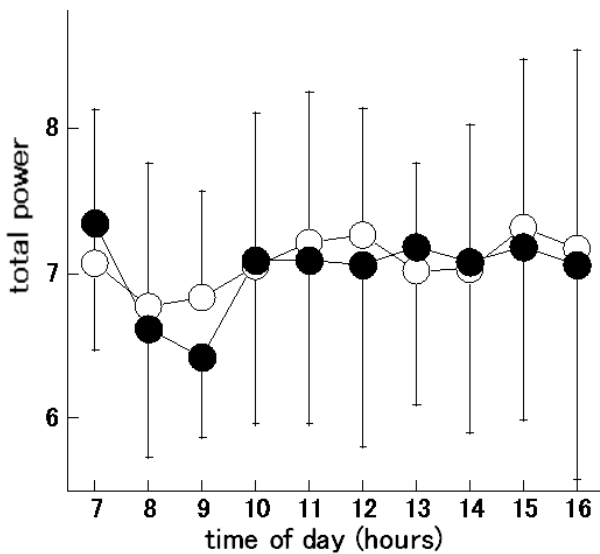


図2-5 両条件で比較した仰臥位安静時のトータルパワー

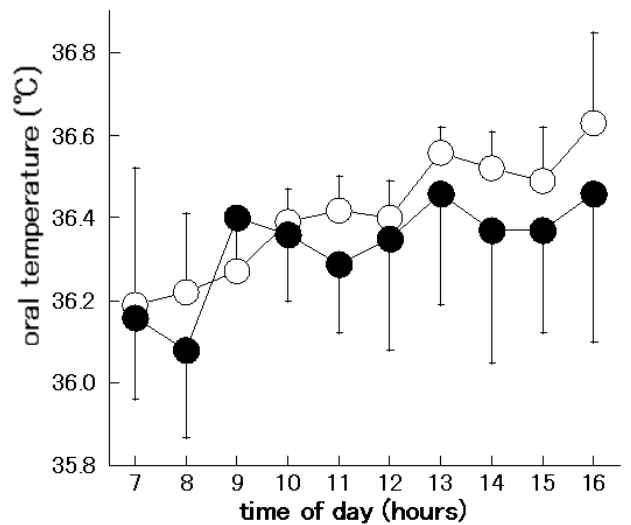


図2-6 両条件で比較した仰臥位安静時の舌下温



0.956,  $p=0.479$ ). 拡張期血圧においても両条件間に有意な差は観察されなかった( $F=0.575$ ,  $p=0.815$ ). 朝運動条件および対照条件における仰臥位安静時のダブルプロダクトの推移を図 2-3 に示した. 両条件のダブルプロダクトは, 有意な変動を示さなかった( $F=1.325$ ,  $p=0.230$ ). 朝運動条件の 9 時のダブルプロダクトは, 対照条件に比較して有意な高値を示した( $p=0.017$ ).

心臓副交感神経系調節の指標である ln HF の両条件における推移を図 2-4 に示した. 朝運動条件における ln HF は, 対照条件に比較して有意な変動は観察されなかった( $F=0.832$ ,  $p=0.588$ ). 図 2-5 に心臓自律神経系調節の活動水準の指標であるトータルパワーの両条件の推移を示した. 朝運動条件および対照条件におけるトータルパワーは, 有意な変動を示さなかった( $F=0.527$ ,  $p=0.853$ ). 両条件における舌下温の推移を図 2-6 に示した. 朝運動条件および対照条件における舌下温に有意な変動は, 観察されなかった( $F=1.150$ ,  $p=0.333$ ).

### 研究課題 3

図 3-1 に朝運動条件および対照条件で比較した定常負荷運動における心拍数の推移を示した. 定常負荷 20%強度における両条件の心拍数に有意な差は観察されなかった( $p=0.482$ ). しかしながら, 定常負荷 60%および 40%強度における朝運動条件の心拍数は, 対照条件に比較して有意な低値を示した(60%強度; $p=0.023$ , 40%強度; $p=0.020$ ). 両条件における定常負荷運動の収縮期および拡張期血圧の比較を図 3-2 に示した. 定常負荷 20%強度における収縮期血圧は, 両条件間に有意な差は観察されなかった( $p=0.187$ ). しかしながら, 定常負荷 60%および 40%強度における朝運動条件の収縮期血圧は, 対照条件に比較して有意な低値を示した(60%強度; $p=0.013$ , 40%強度; $p=0.005$ ). 定常負荷運動の各強度における拡張期血圧は, 両条件間に有意な差は観察されなかった(20%強度; $p=0.652$ , 60%強度; $p=0.134$ , 40%強度; $p=0.687$ ). 朝運動条件および対照条件における定常負荷運動のダブルプロダクトの比較を図 3-3 に示した. 定常負荷 20%強度のダブルプロダクトは, 両条件間に有意な差は観察されなかった( $p=0.171$ ). しかしながら, 定常負荷 60%および 40%強度のダブルプロダクトは, 対照条件に比較して, 朝運動条件において有意な低値を示した(60%強度; $p=0.003$ , 40%強度; $p=0.001$ ). 図 3-4 に朝運動条件および対照条件における定常負荷運動の酸素摂取量の比較を示した. 定常負荷運動各強度における酸素摂取量に両条件間に有意な差は観察されなかった(20%強度; $p=0.138$ , 60%強度; $p=0.465$ , 40%強度; $p=0.489$ ). 両条件における主観的運動強度の比較を図 3-5 に示した. 朝運動条件および対照条件の主観的運動強度に有意な差は観察されなかった(20%強度; $p=0.732$ , 60%強度; $p=0.626$ , 40%強度; $p=0.140$ ).

図 3-6 に漸増漸減負荷運動における心拍数の最高値および最低値の両条件の比較を示した. 朝運動条件における心拍数の最高値および最低値は, 対照条件に比較して, 有意な低値を示した(最高値; $p=0.020$ , 最低値; $p=0.009$ ). 朝運動条件および対照条件における漸増漸減負荷運動中の収縮期および拡張期血圧の漸増負荷局面および漸減負荷局面の比較を図 3-7 に示した. 漸増負荷局面における収縮期血圧は, 両条件間に有意な差は観察されなかった( $p=0.143$ ). しかしながら, 朝運動条件における漸減負荷局面の収縮期血圧は, 有意な低値を示した( $p=0.033$ ). 漸増負荷局面および漸減負荷局面の拡張期血圧は, 対照条件に比較して, 朝運動条件において有意な低値を示した(漸増負荷局面; $p=0.015$ , 漸減負荷局面; $p=0.034$ ). 図 3-8 に朝運動条件および対照条件における漸増負荷局面および漸減負荷局面のダブルプロダクトの比較を示した. 漸増負荷局面におけるダブルプロダクトに両条件間に有意な差は観察されなかった( $p=0.107$ ). しかしながら, 朝運動条件における漸減負荷局面のダブルプロダクトは, 対照条件に比較して, 有意な低値を示した( $p=0.048$ ). 漸増漸減負荷運動における酸素摂取量の最高値および最

○◇; 対照条件, ●◆; 朝運動条件

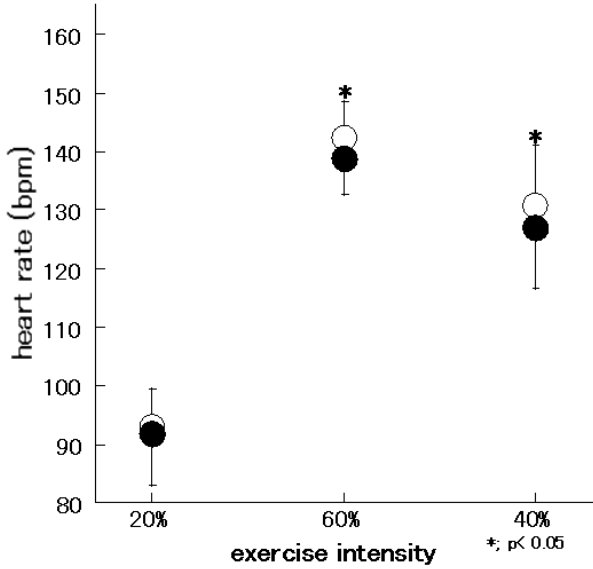


図3-1 両条件で比較した定常負荷運動の心拍数

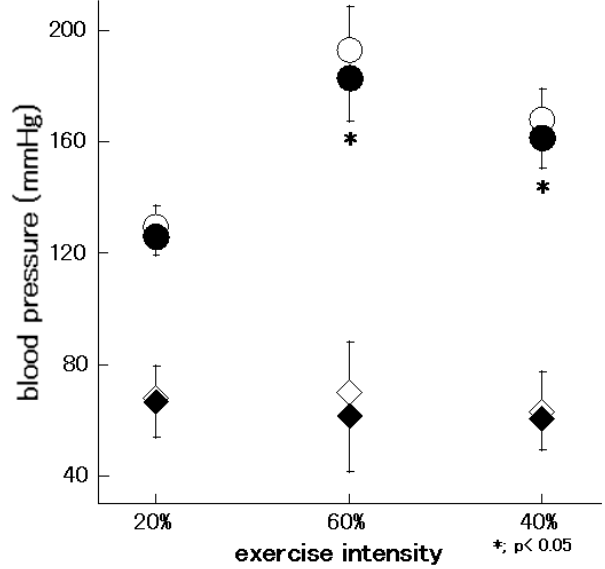


図3-2 両条件で比較した定常負荷運動の血圧

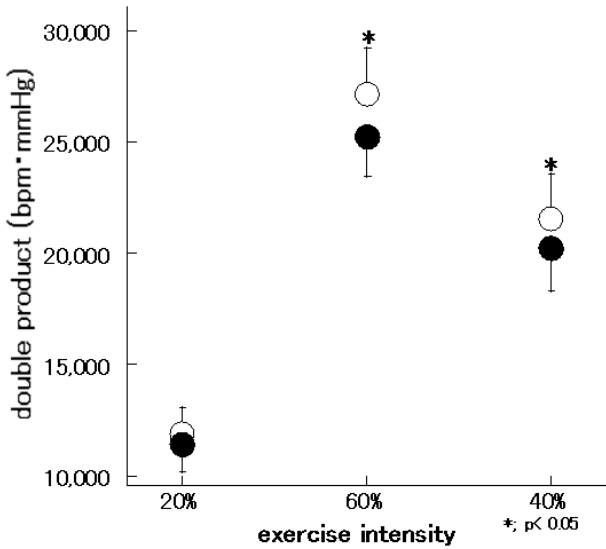


図3-3 両条件で比較した定常負荷運動のダブルプロダクト

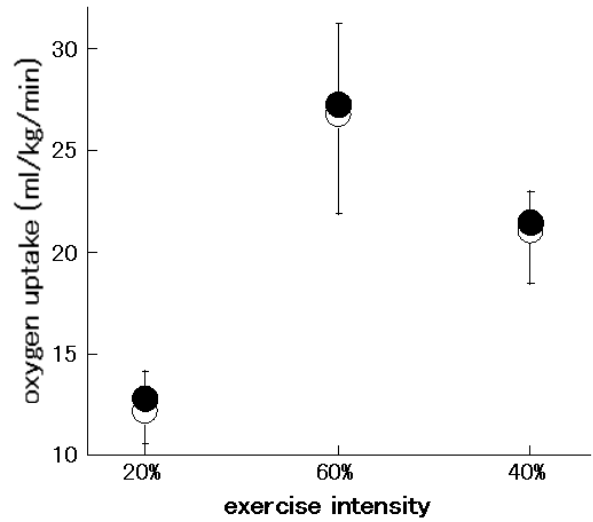


図3-4 両条件で比較した定常負荷運動の酸素摂取量

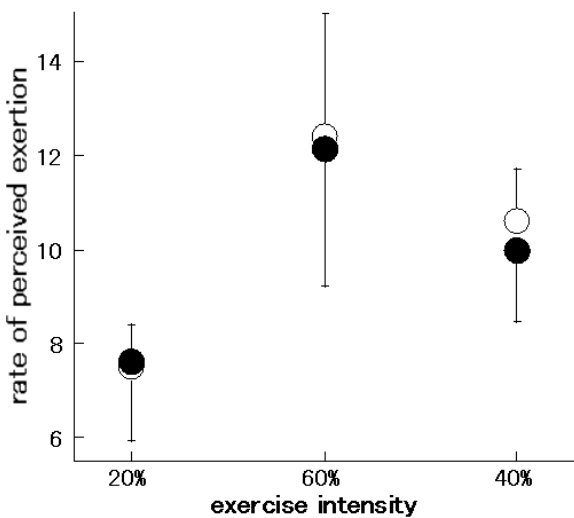


図3-5 両条件で比較した定常負荷運動の主観的運動強度

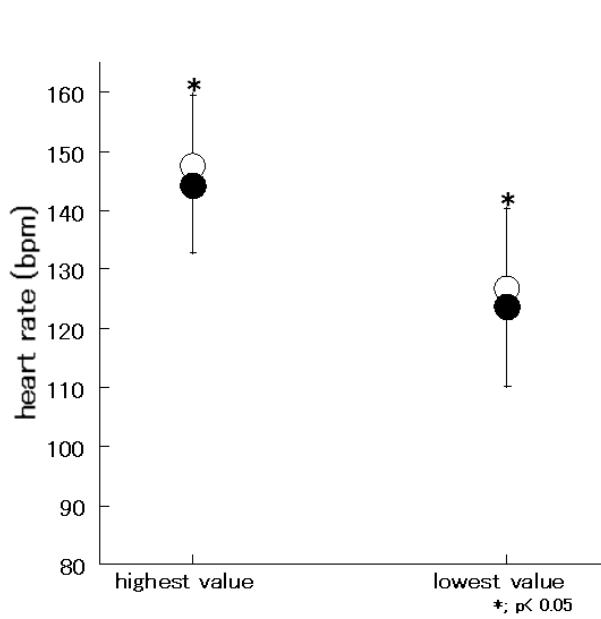


図3-6 両条件で比較した漸増漸減負荷運動の心拍数の最高値および最低値

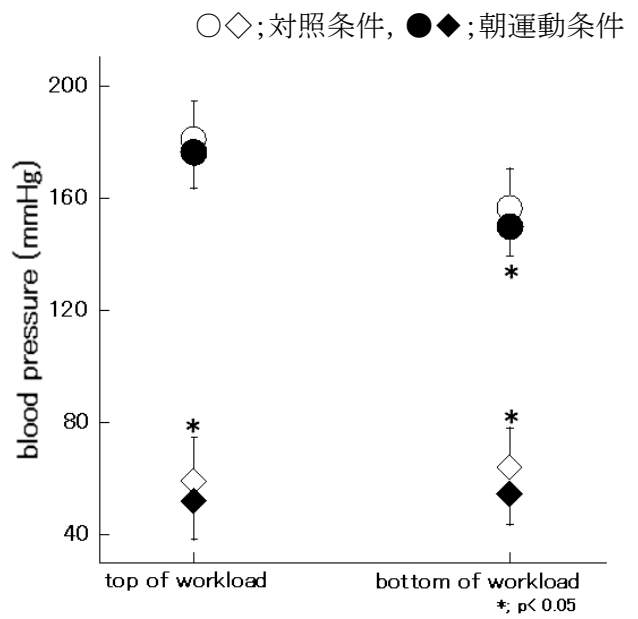


図3-7 両条件で比較した漸増漸減負荷運動の血圧

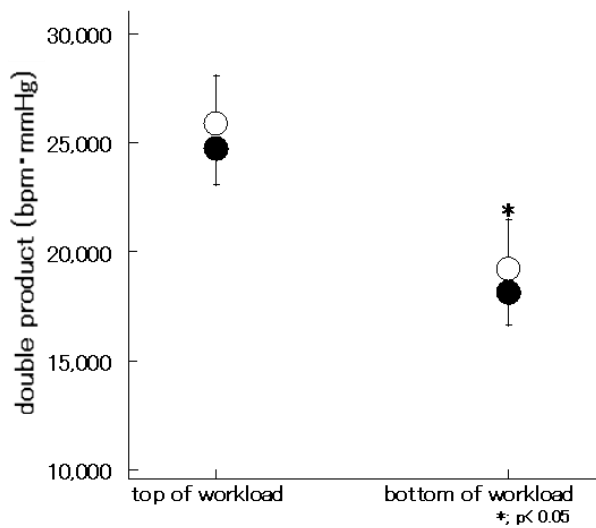


図3-8 両条件で比較した漸増漸減負荷運動のダブルプロダクト

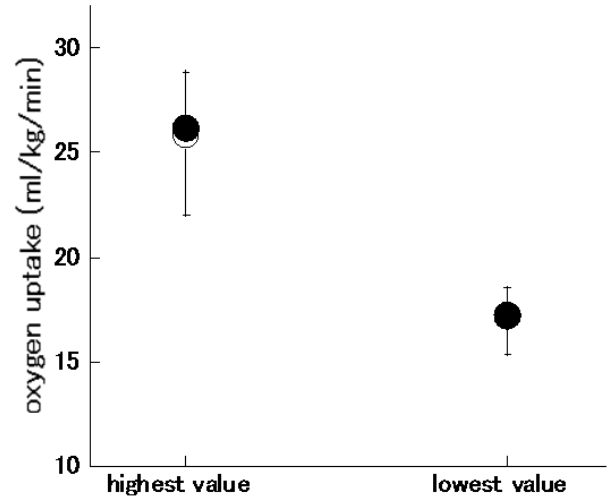


図3-9 両条件で比較した漸増漸減負荷運動の酸素摂取量の最高値および最低値

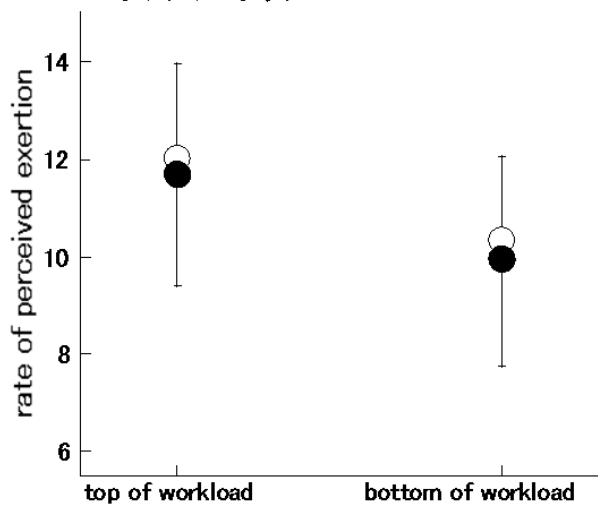


図3-10 両条件で比較した漸増漸減負荷運動の主観的運動強度

○; 対照条件, ●; 朝運動条件

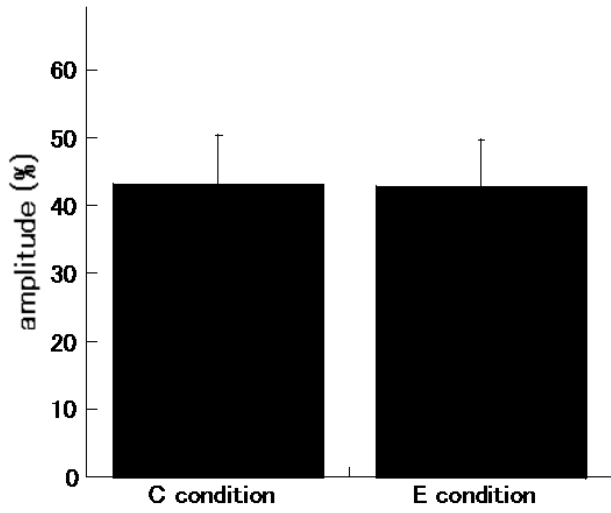


図3-11 両条件で比較した心拍数の振幅割合

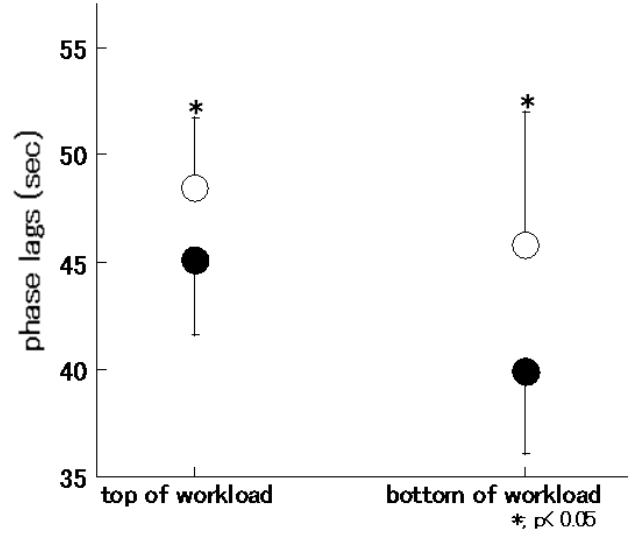


図3-12 両条件で比較した心拍数の位相の遅れ時間

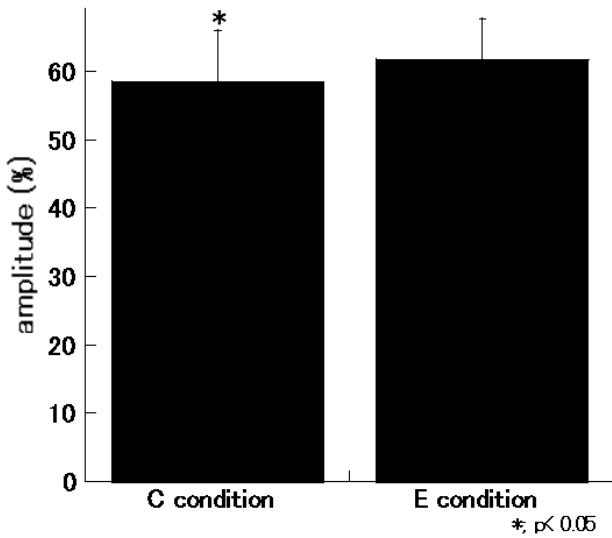


図3-13 両条件で比較した酸素摂取量の振幅割合

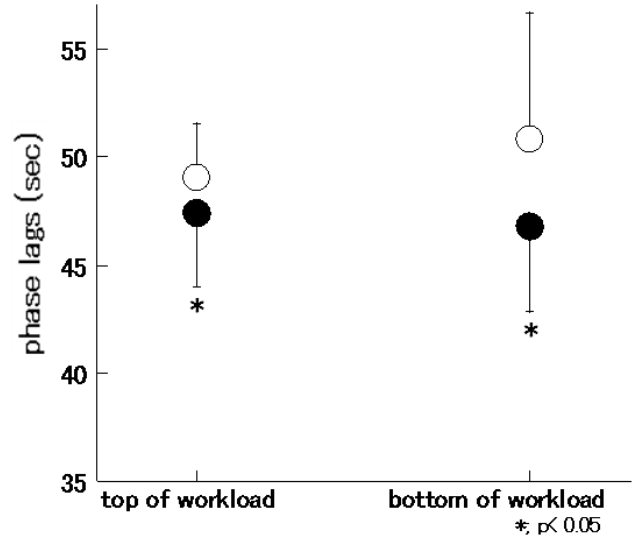


図3-14 両条件で比較した酸素摂取量の位相の遅れ時間

○▽; 対照条件, ●▼; 朝運動条件

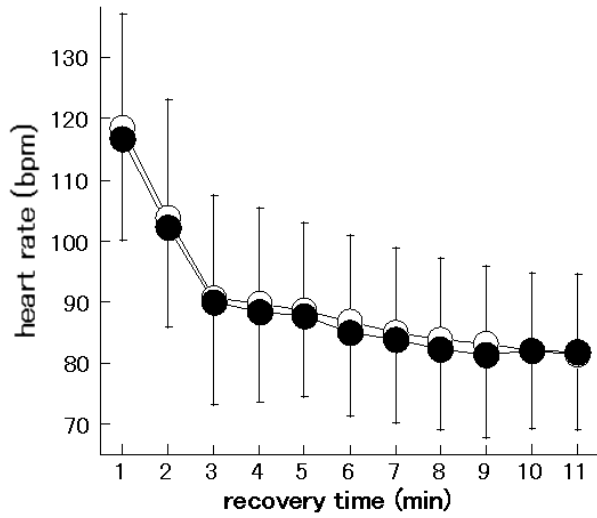


図3-15 両条件で比較した運動後回復期の心拍数

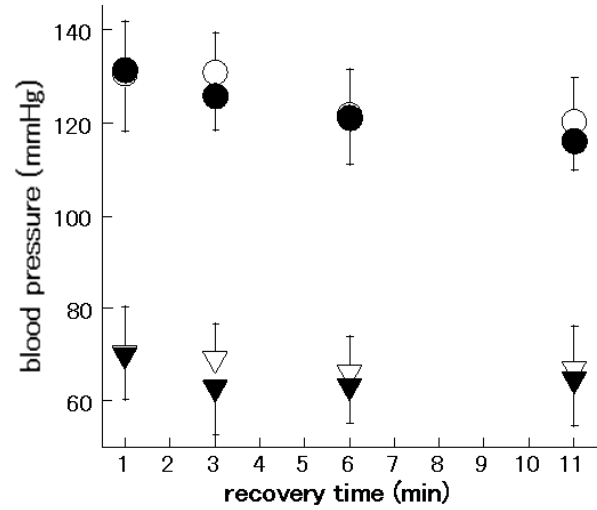


図3-16 両条件で比較した運動後回復期の血圧

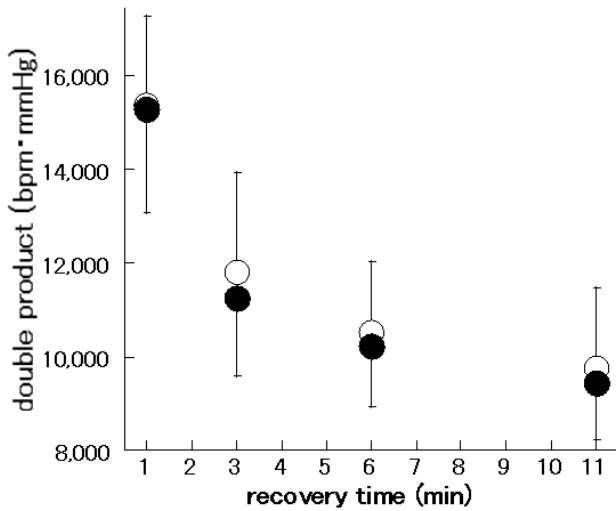


図3-17 両条件で比較した運動後回復期のダブルプロダクト

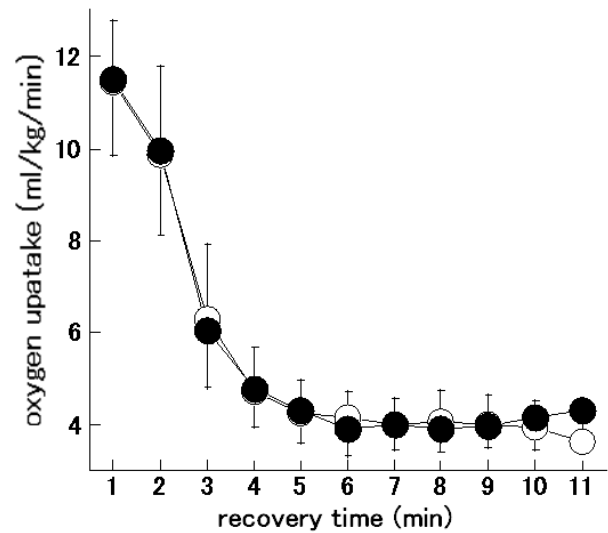


図3-18 両条件で比較した運動後回復期の酸素摂取量

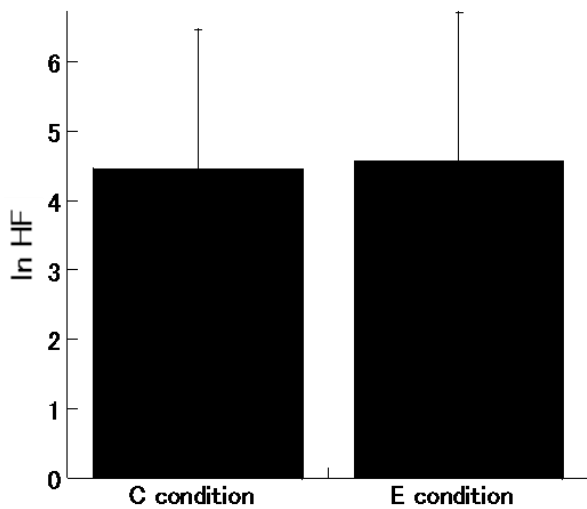


図3-19 両条件で比較した運動後回復期のln HF

低値の両条件の比較を図 3-9 に示した. 朝運動条件および対照条件における漸増漸減負荷運動の酸素摂取量の最高値および最低値に有意な差は観察されなかった(最高値; $p=0.462$ , 最低値; $p=0.877$ ). 図 3-10 に漸増漸減負荷運動における主観的運動強度の両条件の比較を示した. 漸増負荷局面および漸減負荷局面における主観的運動強度は, 朝運動条件および対照条件に有意な差は観察されなかった(漸増負荷局面; $p=0.397$ , 漸減負荷局面; $p=0.200$ ).

図 3-11 に心拍応答の振幅割合の両条件の比較を示した. 朝運動条件および対照条件における心拍応答の振幅割合に有意な差は観察されなかった( $p=0.704$ ). 両条件における漸増漸減負荷運動の心拍応答の位相の遅れ時間の比較を図 3-12 に示した. 漸増負荷局面および漸減負荷局面における心拍応答の位相の遅れ時間は, 対照条件に比較して, 朝運動条件において有意に短縮した(漸増負荷局面; $p=0.009$ , 漸減負荷局面; $p=0.001$ ). 両条件における酸素摂取量の振幅割合の比較を図 3-13 に示した. 朝運動条件における酸素摂取量の振幅割合は, 対照条件に比較して, 有意な高値を示した( $p=0.025$ ). 図 3-14 に朝運動条件および対照条件における酸素摂取量の位相の遅れ時間の比較を示した. 漸増負荷局面および漸減負荷局面における酸素摂取量の位相の遅れ時間は, 対照条件に比較して, 朝運動条件において, 有意な短縮を示した(漸増負荷局面; $p=0.035$ , 漸減負荷局面; $p=0.009$ ).

図 3-15 に朝運動条件および対照条件における運動後回復期の心拍数の推移を示した. 運動後回復期の心拍数に両条件間に有意な変動は, 観察されなかった( $F=0.153$ ,  $p=0.999$ ). 両条件における運動後回復期の収縮期および拡張期血圧の比較を図 3-16 に示した. 朝運動条件における運動後回復期の収縮期および拡張期血圧は, 対照条件に比較して, 有意な差は観察されなかった(収縮期血圧; $F=0.787$ ,  $p=0.508$ , 拡張期血圧; $F=0.566$ ,  $p=0.641$ ). 図 3-17 に両条件における運動後回復期のダブルプロダクトの比較を示した. 運動後回復期のダブルプロダクトは, 朝運動条件および対照条件に有意な差は観察されなかった( $F=0.138$ ,  $p=0.937$ ). 朝運動条件および対照条件における運動後回復期の酸素摂取量の推移を図 3-18 に示した. 運動後回復期の酸素摂取量に両条件間に有意な変動は観察されなかった( $F=0.585$ ,  $p=0.824$ ). 図 3-19 に呼吸調節を行った運動後回復期 6-11 分の ln HF の朝運動条件および対照条件の比較を示した. 運動後回復期の ln HF に両条件間に有意な差は観察されなかった( $p=0.630$ ).

## 考察

本研究の主な知見は, 午前の軽運動の実施が午後の運動パフォーマンス向上に寄与し, 運動負荷に対する心拍応答および酸素摂取量の追従性を高めることである. このことは, 本研究の研究仮説を部分的に支持するものである. 一方, 午前の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響は小さいことが示された.

本研究は, 運動課題として自転車運動を用い, 運動強度は最大酸素摂取量の 40%強度とした. 早朝の激運動の危険性は, 循環器系応答の観点から指摘されている(Muller JE et al., 1989; Shimada K et al., 2001; White WB, 2000; 山口ほか, 2009). また, 午前に実施する最大酸素摂取量の 60%強度の自転車運動時のダブルプロダクトの安静値は, 午後の運動と比較して有意な高値を示す(西村ほか, 2011). このことから, 午前の運動時の運動強度の違いは, 午後の運動パフォーマンスに有意な影響を及ぼすものと推測する. 本研究は, 前述の先行研究の知見およびスポーツ現場における実際のコンディショニング法などから運動強度を最大酸素摂取量の 40%強度とした. また, 午後の運動実施時間帯として, 午後 4 時 30 分を選択した. サーカディアンリズムに関する先行研究は, 体温, 握力などが午後 4-6 時に最高値を示すことを明らかにした(Ilmarinen et al., 1980). この知見から, 本研究は, 運動能力が最高値を示す時間帯に午後の運動課題

を実施した。本研究の知見に基づき、今後は午前の軽運動の運動強度、運動継続時間および運動課題の実施時間帯などを検討する必要性があるものと考える。

午前の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響は、運動終了15分後である午前9時の心拍数およびダブルプロダクトにおいて観察された。その他の時間帯においては、午前の軽運動実施の有無が生理応答に及ぼす影響は小さいことが示された。我々は、朝食摂取および午前の軽運動実施が、体温の最高値が出現する時刻を早めることを報告し、朝食摂取および午前の軽運動実施がサーカディアンリズムの修復・形成に寄与する可能性を指摘した(西村ほか, 2013)。サーカディアンリズムの同調因子として、午前中に日光を浴びること、朝食を摂取することなどの重要性が指摘される。本研究は、同一環境の測定室で過ごし、同一の朝食を摂取した。このことから、午前の軽運動実施が仰臥位安静時の生理応答に及ぼす影響は小さかったものと考える。

午前の軽運動実施は、文部科学省の新体力テストの総合得点を向上させた。このことは、午前の軽運動実施が運動能力を向上させることを示す。この要因として、運動実施による運動の影響の持続および運動実施に伴う生理応答の日内変動特性などが考えられる。有酸素性運動において、生体は機能的および構造的な応答を示す。運動開始に伴い、活動筋におけるエネルギー需要が増大し、血液によって酸素が運搬される。酸素を供給する機構は、呼吸器系および循環器系によって調整される。さらに、運動の習慣化によって、呼吸器系および循環器系はトレーニングに対して適応する。本研究における午前の運動影響が午後の生体に対してどのように作用したのかは不明であるが、午前の軽運動実施の影響が午後の生体に対して運動効果の継続として作用する可能性を推測する。前述の通り午前の軽運動実施が安静時の生理応答に及ぼす影響は小さい。しかしながら、朝食摂取習慣および運動習慣を有する者の舌下温の日内変動の最高値は、それらの習慣を有さない者のそれに比較して、有意に早い時刻で出現する(西村ほか, 2013)。この知見は、午前の軽運動を実施がサーカディアンリズムの修復・形成に寄与する可能性を示すものである。午前の運動が午後の運動パフォーマンスを向上させた要因について、今後さらなる検討が必要である。20m シャトルラン、長座体前屈および立ち幅跳びにおいて、午前の軽運動実施が午後の記録を向上させた。また、最大無酸素パワーも有意に向上した。記録の向上率は、20m シャトルランが  $8.1 \pm 9.8\%$ 、長座体前屈が  $5.6 \pm 6.9\%$ 、立ち幅跳びが  $3.2 \pm 3.7\%$ 、最大無酸素パワーが  $5.9 \pm 6.3\%$  であった。これらのことは、午前の軽運動実施による運動パフォーマンスの向上が全身持久力、柔軟性、跳躍力および無酸素性運動能力において顕著であることを示唆する。以上のことから、午前の軽運動実施は、競技スポーツ選手のコンディショニング法およびトレーニング法として効率的であるものと考えられる。

午前の軽運動実施は、午後4時30分に実施する同一負荷強度の自転車運動中の心拍数、収縮期血圧およびダブルプロダクトを低値で推移させた。このことは、午前の軽運動実施が午後運動時の相対的運動強度を軽減させる可能性を示唆する。しかしながら、酸素摂取量に両条件に有意な差が観察されなかったことから、循環器系に対する部分的な応答であるものと考えられる。午前の軽運動の実施は20m シャトルランの反復回数を有意に増大させたことから、同一反復回数における心拍数が低値であるものと推測する。同様の応答が同一負荷強度の自転車運動においても観察されたものと考えられる。

運動負荷に対する心拍数および酸素摂取量の位相の遅れ時間は、午前の軽運動実施によって、有意に短縮した。その応答は、漸減負荷局面において顕著であった。このことは、午前の軽運動実施が午後運動時の運動負荷に対する追従性を高めることを示す。先行研究は、位相の遅れ時間が持久性運動能力および持久性トレーニングの効果などを反映する指標であることを報告した(鍋倉ほか, 2007)。これらのことから、午前の軽運動実施が持久性運動能力を高め、このことが位相の遅れ時間短縮に寄与するものと考えられる。

える。漸増負荷局面および漸減負荷局面における位相の遅れ時間の差異は、運動強度に対応した自律神経系の活動水準の関与が指摘される(Sono R et al., 1997)。漸減負荷局面において位相の遅れ時間の短縮が顕著であったことから、午前の軽運動実施が午後に実施する高強度運動において抑制された副交感神経系の再亢進を高める可能性が考えられる。運動後回復期 10 分間の生理応答に午前の軽運動の実施の影響は観察されなかった。これらのことから、午前の軽運動実施は午後の運動パフォーマンスを向上させ、運動負荷に対する追従性を高めることが明らかになった。一方、その影響が仰臥位安静および運動後回復期の生理応答に及ぼす影響は小さいことが示された。

本研究は、血圧測定に聴診法を用いた。測定時間は 30 秒間であった。このことから、漸増漸減負荷運動中の各局面における血圧およびダブルプロダクトは、最高値あるいは最低値ではない可能性が考えられる。このことは本研究の限界であり、今後血圧応答の追従性に着目し、午前の軽運動実施が午後の運動時の生理応答に及ぼす影響をさらに検討する必要があるものと考えられる。

以上のことから、午前 8 時 30 分に実施する最大酸素摂取量の 40%強度の自転車運動は、午後 4 時 30 分に実施する運動パフォーマンスを向上させる。また、同一運動負荷に対する生理応答を低値で推移させ、心拍応答および酸素摂取量の追従性を高めることが明らかになった。これらのことは本研究で示された新しい知見であり、スポーツ競技者の競技当日のコンディショニング法および日々のトレーニング効果増大に寄与するものである。

## まとめ

午前中の軽運動実施が午後 4 時の運動パフォーマンス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 8 時半に実施する軽運動は、午後 4～6 時の運動パフォーマンス向上に寄与する。その傾向は、全身持久力、柔軟性、跳躍力および最大無酸素パワーにおいて顕著である。
2. 午前の軽運動の実施が、仰臥位安静時の心拍数、血圧、心臓副交感神経系調節および舌下温に及ぼす影響は小さいことが明らかになった。
3. 午前の軽運動実施は、午後 4 時半に実施した運動時の心拍数、収縮期血圧およびダブルプロダクトを低値で推移させた。その傾向は、中強度運動において顕著に観察された。また、心拍応答および酸素摂取量の運動負荷に対する位相の遅れ時間は、午前中の軽運動実施によって有意な短縮を示した。さらに、酸素摂取量の振幅割合においても高値を示した。
4. 午前の軽運動実施が、運動後回復期の生理応答に及ぼす影響は小さいことが示された。

以上の知見から、午前の軽運動実施は午後の運動パフォーマンス向上および運動負荷に対する追従性を高めることが明らかになった。スポーツ競技実施日のコンディショニング法として、午前中の軽運動実施が効果的であることが示された。また、午後のトレーニング効果を高めるために午前の軽運動実施が有効であるもの考える。



## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大な御協力を頂きました本研究室の学生諸子に心より感謝申し上げます。  
また、研究助成を賜りました一般財団法人上月財団に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 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
- 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
- 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
- Fukuoka Y, Gwon O, Sone R, Ikegami H (1995) Characterization of sports by the VO<sub>2</sub> dynamics of athletes in response to sinusoidal work load. Acta Physiol Scand 153:117-127
- 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
- Hill DW, Smith JC (1991) Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. Can J Sport Sci 16:30-32
- 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
- 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
- Muller JE, Tofler GH, Stone PH (1989) Circadian variation and triggers of onset acute cardiovascular disease. Circulation 79:733-743
- 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
- 鍋倉賢治, 吉岡利貢, 高嶋渉, 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
- Nishimura K, Yoshioka A, Takahara T, Seki K, Onodera S, Obara S (2011) Relationship among first heart sound amplitude, double product and cardiac parasympathetic nervous system modulation during graded exercise. Advances in Exercise and Sports Physiology 16(4):117-122
- 西村一樹, 高本健彦, 吉岡哲, 野瀬由佳, 小野寺昇, 高本登 (2011) 午前と午後で比較した漸増漸減負運動に対する心拍および血圧応答特性. 日本運動生理学雑誌 18(2):65-75

- 西村一樹, 吉岡哲, 小野寺昇, 高本登 (2012) スポーツウェアの材質・機能の違いが非定常負荷運動時生理応答に与える影響. デサントスポーツ科学 33:146-155
- 西村一樹, 長崎浩爾, 荒金圭太, 山口英峰, 吉岡哲, 野瀬由佳, 玉里祐太郎, 小野寺昇, 高本登:大学生の生活習慣と体温の日内変動との関連性. 体力科学 62(1):119
- 西村一樹, 長崎浩爾, 山口英峰, 吉岡哲, 玉里祐太郎, 小野寺昇, 高本登:朝食摂取, 午前運動と生理応答の日内変動との関連. 体力科学 62(6):575
- 小川洋二郎, 岩崎賢一 (2008) 自律神経性の循環調節機能機器. ペインクリニック 29:1633-1639
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- Weinert D, Waterhouse J (2007) The circadian rhythm of core temperature: effects of physical activity and aging. Physiol Behav 90:246-256
- White WB (2000) Ambulatory blood pressure monitoring: dippers compared with non-dippers. blood Press Monit 5:S17-23
- 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
- 柳本有二, 戒利光 (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