

平成 22 年度

「自転車による健康増進のための自然科学的研究」

報告書

(財) 日本自転車普及協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

目次

I はじめに	1
(財) 日本自転車普及協会	
II 研究成果の概要	2
III 研究成果の公表	6
IV 研究成果	
研究 I スポーツサイクリングに関する研究	
1 サイクリングの実施が心理的健康に及ぼす影響に関する調査研究	13
広沢 正孝、川田 裕次郎、沖 和砂、那須野 歩、高橋 麻衣子、土屋 大志郎、 林田 章紀、仁藤 恵里子、蛭田 秀樹	
2 サイクリストの運動実施状況に関するアンケート調査	18
形本静夫、吉原利典、野川春夫、北村 薫、澤田 亨	
3 エンデューロレース中の運動強度とエネルギー消費量	25
形本静夫、中瀧崇、石原美彦	
4 長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが日本人自転車愛好家のエネルギー動態及び心筋マーカーに及ぼす影響	31
形本静夫、尾崎隼朗、村出真一朗、柿木 亮、中瀧 崇、吉原利典、内藤久士、 島田和典、田村好史	
5 長時間サイクリングが血清熱ショックタンパク質に及ぼす影響	40
内藤久士、柿木亮、吉原利典、形本静夫	
6 エンデューロ時の運動強度およびエネルギー消費量－競技選手の場合－	47

形本静夫, 村出真一朗, 尾崎隼朗, 中潟崇

7 ツーリング時の運動強度およびエネルギー消費量 53

形本静夫, 村出真一朗, 中潟崇

8 サイクリング愛好者における日常サイクリング時のエネルギー消費量 61

形本静夫, 村出真一朗, 中潟崇, 石原美彦

9 日常的なサイクリングが血清の抗酸化能力に及ぼす影響 65

形本静夫, 吉原利典、後藤佐多良

10 サイクリング愛好者の有酸素性作業能 71

形本静夫, 中潟崇, 石原美彦

11 自転車運動時における脳酸素動態の部位別変化と自然走行と固定走行との差異検出の試み 77

河合祥雄, 山本正彦, 染谷由希

研究II サドル高に関する研究

1 サドル高がペダリング運動時のエネルギー消費量および下肢筋活動に及ぼす影響 . 96

形本静夫, 村出真一朗, 坂本彰宏, 柿木亮

研究III サルコペニア予防に関する研究

1 スプリントサイクリング運動中の筋内環境の変化の観察および運動介入による筋肥大・筋力増強効果の検証 104

谷本道哉, 佐賀典生, 村出真一朗, 形本静夫

1 はじめに

近年、飛躍的にサイクリング愛好者が増加し、ロード用自転車を用いて、連日数十キロの自転車通勤を行っている人達も珍しくはない。都内には、これらの人々を対象にした自転車保管場所とシャワー付きのロッカールームを備えた商用施設も見られるようになってきた。しかし、自転車に乗ることが身体諸機能に及ぼす影響については、必ずしも十分な調査・研究が行われているわけではなく、科学的根拠に基づいた自転車による正しい健康づくりの方法論の開発には、さらなる資料の蓄積が必要とされるのが現状である。

このような社会的背景をもとに、昨年度、本会が調査研究を企画・公募し、順天堂大学の協力を得て、自転車による健康増進に関する研究を実施し、研究成果を「自転車による健康増進のための自然科学研究」としてまとめた。ここでは基礎的な内容である、血液、ケイデンス、などのデータの採取・分析、さらには自転車が心理学的、社会学的に人体に及ぼす影響の分析を行った。

本年度は、その成果をさらに発展させ、エビデンス蓄積並びに、詳細な分析を意図して、サイクリングの生理生化学的ならびに心理的特徴、サドル高とエネルギー消費、サイクリングと筋力増強、を対象として多様な調査と実験研究を行った。その結果、明らかとなったサイクリングの精神保健学的效果、サイクリングのエネルギー消費特性と生体負担度、サイクリング愛好者の有酸素能力や抗酸化能力サドル高とエネルギー消費・筋活動関係、ならびにサイクリングの筋力増強効果は、今後自転車による健康づくりの一助となる事が期待できるであろう。

しかし、サイクリングに関する自然科学的研究はその緒についたばかりであり、多くの解決されなければならない問題が残されていることも事実である。昨年度および本年度の研究成果が、今後の研究を進めるときに参考になれば幸甚であるとともに、忌憚のないご批判と示唆をいただければ幸いである。

財団法人 日本自転車普及協会
平成23年3月

II 研究成果の概要

研究Ⅰ スポーツサイクリングに関する研究

1 サイクリングの実施が心理的健康に及ぼす影響に関する調査研究

本研究は、サイクリングの実施が心理的健康にどのような影響をもたらすのかを検討することを目的に行われた。研究Ⅰでは、サイクリングを行っている者の方が行っていない一般人よりも主観的な健康度が良好であることが示唆された。研究Ⅱでは、サイクリングの実施状況は、主観的健康度に影響を及ぼさないが、種々の抑うつ症状を抑制する可能性があることが示された。さらに、研究Ⅲでは、サイクリングへの関わり方は、「ポジティブな関わり方(commitment)」と「ネガティブな関わり方(addiction)」の少なくとも 2 つの側面が存在することが明らかになった。

2 サイクリストの運動実施状況に関するアンケート調査

本研究の目的は、地域在住のサイクリング愛好者（33名）を対象に日常の運動実施状況に関するアンケートを実施し、運動実施状況についての調査することであった。本研究において対象としたサイクリング愛好者は、週 2 回以上自転車に乗る者が 8 割以上を占め、1 回に 60~80km の距離（1~2 時間程度）を走行し、各自の体重管理に対しても高い意識を持っていることが示された。

3 心拍数法を用いたエンデューロレース中の運動強度とエネルギー消費量

本研究の目的は、32名のサイクリング愛好者を対象に、運動負荷試験により得られた心拍数・酸素摂取量関係式に、レース中の心拍数を代入することにより、サイクリング愛好者耐久レース時の運動強度およびエネルギー消費量を評価することであった。レース中の平均心拍数は 166.4 ± 10.8 拍/分であり、運動負荷試験で得られた個人の最高心拍数の $90.0 \pm 4.6\%$ であった。また、レース中の心拍数の平均値から推定された相対的運動強度は $87.6 \pm 7.4\% \dot{V}_{O2max}$ であった。レース中の総エネルギー消費量は最大 4125kcal であり、相対値で評価すると、 $13.2 \pm 1.6\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $23.5 \pm 4.1\text{kcal}/\text{km}$ となり、これから値から推定した

サイクリングのエネルギーコストは、 $0.37\pm0.05\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ となり、後述のツーリング時に得られた値とほぼ同様であった。

4 長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが日本人サイクリング愛好者のエネルギー動態及び心筋マーカーに及ぼす影響

長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが日本人サイクリング愛好者のエネルギー動態及び心筋マーカーの変化に及ぼす影響を検討することを目的として検討を行なった。その結果は、日本人サイクリング愛好者（男女 28名）を対象とした 4 時間を超えるような長時間耐久レースは、血中乳酸濃度の増加はないものの、2 時間程度までのレースと比較して、活動筋のみならず、心筋においても脂質利用を増大させ、またより大きなストレスを与える可能性が示唆された。

5 長時間サイクリングが血清熱ショックタンパク質に及ぼす影響

本研究は、一般男性サイクリスト 25 名を対象に、免疫調節に重要な役割を持つと考えられている血中熱ショックタンパク質が、長時間サイクリング運動によってどのように変化するかを検討した。その結果、長時間サイクリングは、血清熱ショックタンパク質濃度の有意な増加をもたらし、免疫系が亢進していると考えられた

6 エンデューロ時の運動強度およびエネルギー消費量—競技選手の場合—

本研究は、競技サイクリスト（6 名）とサイクリング愛好者（32 名）のエンデューロレース時の生理生化学的応答を調査・比較し、自転車の健康・体力づくりにおける意義を追究したものである。本研究対象のエンデューロレースにおける競技サイクリストの運動強度および被験者の体重 1kg を 1km 進めるのに必要なエネルギー消費量（エネルギーコスト）： $0.39\pm0.03\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ は、研究Ⅱにおいて、サイクリング愛好者について得られた値($0.36\pm0.08\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)とほぼ同様であった。しかし、走行スピードの差は大きく、同一エネルギー消費に対する走行スピードの差がパフォーマンスに果たす影響は大きいと示唆される。

7 ツーリング時の運動強度およびエネルギー消費量

平均年齢 43 ± 12 歳の男女サイクリング愛好者 6 名(男子 4 名および女子 2 名)を対象に、往復 136km の登坂路を含むツーリング時（平均 5 時間 34 分）の心拍数を記録した。停止時を除いた走行中の平均心拍数は 133 ± 20 拍/分、相対運動強度は $61.6\pm16.1\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ で、有酸素的能力の改善が十分に期待できる水準にあった。また、走行時の推定総エネルギー消費量は 2978 ± 830 kcal、単位時間・単位体重あたりの推定エネルギー消費量は 9.3 ± 2.1 kcal·kg $^{-1}$ ·hr $^{-1}$ であった。また、走行中のエネルギーコスト(0.38 ± 0.08 kcal·kg $^{-1}$ ·km $^{-1}$)、エンデューロ時に競技選手(0.39 ± 0.03 kcal·kg $^{-1}$ ·km $^{-1}$)やサイクリング愛好者(0.36 ± 0.08 kcal·kg $^{-1}$ ·km $^{-1}$)が示した値とほぼ同様であったが、ランニングや歩行よりも低い水準にあり、自転車が経済性に優れた移動手段であることが改めて示された。

8 サイクリング愛好者における日常サイクリング時のエネルギー消費量

本研究の目的は、サイクリング愛好者 7 名の日常のスポーツサイクリングにおけるエネルギー消費量を心拍応答から明らかにすることであった。サイクリング愛好者が日常の練習において消費しているエネルギー量は、平均 1714.7 ± 387.3 kcal であった。この値は、代表的な健康スポーツとして知られるランニングと比較して、サイクリングがより多くのエネルギーを消費できることを示していると考えられた。

9 日常的なサイクリングが血清の抗酸化能力に及ぼす影響

本研究の目的は、日常的なサイクリングがサイクリストにおける血清の抗酸化能力および血液性状に及ぼす影響について検討することであった。その結果、サイクリング愛好者（33 名）の血清抗酸化能力は、一般成人（34 名）と比較して高値を示し、心・肝機能障害に関わるマーカーは低値を示した。サイクリング愛好者の血清の抗酸化能力に亢進が見られたことから、サイクリングにはメタボリックシンドロームの予防・改善効果をもたらす可能性のあることが示唆された。

10 サイクリング愛好者の有酸素性作業能

本研究の目的は、これまで報告されていなかったサイクリング愛好者の有酸

素性作業能を測定し、評価することであった。週 2~3 回、サイクリングを継続的に行っている 18 歳から 63 歳までの日本人サイクリング愛好者男女 33 名（男性 29 名、女性 4 名）の有酸素性作業能力を自転車エルゴメータ運動によって測定した。その結果、男女サイクリング愛好者の最高心拍数はそれぞれ 185.4 ± 10.1 および 183.3 ± 8.7 拍/分の値が示され、最大酸素摂取量は 52.1 ± 7.2 , および $46.5 \pm 4.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と、一般人よりも高い水準にあった。したがって、週 2~3 回サイクリングを愛好することは、有酸素性作業能力の改善に寄与していると考えられた。

1.1 自転車運動時における脳酸素動態の部位別変化と自然走行と固定走行との差異検出の試み

近赤外線分光法を用い、複数の脳部位の酸素動態を計測し、運動による多幸感と関連する脳部位の推定、屋内での固定走行と自然走行時の脳酸素動態の差異および心理変化を明らかにすることを目的とした。

その結果、運動時多幸感時に前頭前野と左側頭葉での酸素化ヘモグロビン濃度減少が記録された。固定状態での自転車運動と自然走行での自転車運動における比較では、自然走行に快感を覚えた被験者が多い傾向にあったが、左前頭部での脳酸素動態には明確な差は検出できなかった。

研究Ⅱ サドル高に関する研究

1 サドル高がペダリング運動時のエネルギー消費量および下肢筋活動に及ぼす影響

本研究は、自転車競技部に所属する男子大学生 14 名を対象とし、ロードバイクにおけるサドル高の変化が酸素摂取量および心拍数に及ぼす影響を明らかにすること、ならびに各ペダリング局面における筋活動量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。その結果、サドル高を増加させると（各自の好みのサドル高の 95, 97.5, 100, 102.5, 105%）一定負荷運動時（60 および 90rpm）の換気量、酸素摂取量および心拍数には増加が認められたが、固定の自転車エルゴメータで報告されている U 字状の変化は観察されなかった。サドル高の変化に伴うこのような呼吸循環応答の増加には、股関節や膝関節角度の変化に関わる筋の活動の増大が関与していることが示唆された。

研究III サルコペニア予防に関する研究

1 スプリントサイクリング運動中の筋内環境の変化の観察および運動介入による筋肥大・筋力増強効果の検証

本研究の目的は、加齢に伴う筋力減退（サルコペニア）予防の観点から、サイクリング運動の筋肥大・筋力増強効果を長期運動介入により明らかにすること、ならびにサイクリング運動中の一過性の代謝応答の観察することであった。その結果、スプリントサイクリング運動は筋肥大、筋力増強に効果的な運動であることが示唆され、筋肥大を誘発する運動刺激として筋内の酸素環境の大きな変化などの代謝環境の変化が関係している可能性が考えられた。

III 研究成果の公表

1 日本体育学会(平成22年9月8日～10日)

1) 沖和砂、上野朋子、川田裕次郎、山田泰行、形本静夫、広沢正孝 サイクリングと精神的健康の関連について 日本体育学会大会予稿集, (61), 308, 2010.

2 日本健康体力栄養学会(平成23年3月12日)

1) 日常的なサイクリングが血清の抗酸化能力に及ぼす影響

○吉原利典、形本静夫、内藤久士（順天堂大学大学院）

【目的】近年、脂肪細胞に起因する酸化ストレスの増大がメタボリックシンドロームに関連することが示されていることから、運動・トレーニングにより抗酸化能力を高めることその予防・改善に重要であると考えられる。本研究は、日常的なサイクリングが血清の抗酸化能力および血液性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】対象者は一般のサイクリスト33名（男性29名、女性4名）および健康な一般成人34名（男性27名、女性7名）であった。それぞれの群の年齢、身長、体重および体格指数の平均値は、 42.9 ± 11.2 歳、 169.8 ± 7.7 cm、 62.0 ± 8.2 kg、 21.4 ± 2.0 および 40.9 ± 12.7 歳、 168.8 ± 7.0 cm、 68.9 ± 11.2 kg、 24.1 ± 3.2 であった。全ての対象者に

安静空腹時において採血を行い、中性脂肪、 γ -GTP、LDH、尿素窒素などの血液性状の一般検査項目の内の数項目について分析を行った。また、血清の総合的な抗酸化能力（Potential Anti Oxidant; PAO）を生化学的な手法により評価した。加えて、日常のサイクリングの実施状況に関するアンケート調査を行った。

【結果】アンケートの結果より、本研究におけるサイクリング愛好者の運動実施状況として、1回につき60分以上のサイクリング（60～80km程度）を週2～3回の頻度で行っていることが明らかとなった。また、生化学的な血液分析の結果、サイクリストのPAOは一般成人と比較して有意に高い値を示した（ $1288.1 \pm 69.4 \mu\text{M}$ vs. $1009.0 \pm 68.5 \mu\text{M}$, $p < 0.05$ ）。さらに、心・肝機能障害に関わるマーカー（LDH、H-FABP、NT-proBNP）は一般成人と比較してサイクリストで有意に低い値を示した。

【考察】これまで、持続的なトレーニングにより抗酸化能力が増加することが報告されていることから、日常的にサイクリングを行なっているサイクリストにおいて血清の抗酸化能力の増加がみられ、心・肝疾患に関わるマーカーは一般成人よりも低値を示していたと考えられる。このことから、日常的に行うサイクリングは、血清中の抗酸化能力を向上させ、メタボリックシンドロームの予防・改善効果をもたらす可能性がある。

3 ヨーロッパ・スポーツ科学会議(平成 23 年 7 月 6 日～9 日、リバプール、発表予定)

1) Endurance cycling exercise increases serum heat shock protein 72 in humans

¹Ryo Kakigi, ¹Hisashi naito, ¹Shinichiro Murade, ¹Toshinori Yoshihara, ¹Takashi Nakagata, ¹Hayao Ozaki and ¹Shizuo Katamoto.

¹Graduate School of Health and Sports Sciences, Juntendo University, Chiba, Japan.

Introduction:

Heat shock proteins (HSPs) play important physiological roles in various cells as a molecular chaperone. Some studies have shown that HSPs are released into the systemic circulation during exercise. Walsh et al. reported that extracellular HSP72 increases 30 and 60 min after treadmill running at 70% Vo_{2max}. Suzuki et al. reported that plasma HSP72 concentration were elevated after Ironman triathlon race. However, the effect of endurance cycling exercise on extracellular heat shock protein 72 in human has not been established.

Purpose:

To examine serum HSP72 after endurance cycling exercise in humans.

Methods:

Recreationally male cyclists (n=25, age; 42.7 ± 11.7 years, weight; 65.2 ± 7.1 kg and VO_{2peak}; 51.3 ± 7.4 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) volunteered and participated the endurance cycling race. Heart rate was recorded to estimate %VO_{2peak} during race. Before and immediately after race, blood sample were taken for determining blood lactate concentration and HSP72 concentration. HSP72 in serum were quantified by EIA methods.

Results:

Mean exercise time was 145 ± 91 min. In addition, estimated %VO_{2peak} during race was 87.9 ± 9.7 %. In addition, Serum HSP72 concentrations were significantly increased after endurance cycling race (pre; 0.52 ± 0.47 ng/ml, post; 0.79 ± 0.55 ng/ml, p<0.05). Blood lactate concentrations were also significantly elevated after race. (pre; 2.2 ± 1.3 mmol/l, post; 4.6 ± 2.4 mmol/l, p<0.05). There was no relationship between serum HSP72 and blood lactate concentration, %Vo_{2max} and exercise time.

Discussion:

Previous studies showed that treadmill running and marathon increase extracellular HSP72 in humans. We also demonstrated that serum HSP72 was increased after endurance cycling exercise. Although cycling exercise is non-bearing weight and does not contain eccentric contractions, differences of exercise mode may not affect extracellular HSP72 during exercise. In addition, our data suggests that eHSP72 may constantly release into the systemic circulation during exercise, since eHSP72 concentrations were elevated after race regardless of exercise time.

Conclusion:

Endurance cycling exercise increases serum HSP70 in humans.

2) Effect of saddle height on oxygen consumption and EMG of lower limb muscles during submaximal cycling on a free-roller in cyclists

Shinichiro Murade¹, Akihiro Sakamoto², Ryo Kakigi¹, Shizuo Katamoto¹

¹ Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University

² Department of Human System Science, Tokyo Institute of Technology

Introduction

Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) during pedaling exercise on a cycle ergometer has been shown to increase when the saddle height is low or high as compared to the optimal height (Nordeen-Snyder, 1977). However, this change has not been confirmed using an actual road bicycle although the kinetics and kinematics of pedaling may differ between cycle ergometer and actual bicycle. Therefore, this study aimed to investigate the effect of saddle height on $\dot{V}O_2$ using an actual road bicycle.

Methods

Fourteen male competitive cyclists (18-25 yr) performed 4-min submaximal pedaling using their own road bicycles on a free-roller with a selected gear to produce the speed of 31km/h at 60 and 90 rpm (120-150 w). Five saddle heights (95, 97.5, 100, 102.5 and 105 % of preferred saddle height) were randomly assigned for each cadence without informing the subjects of the saddle height condition. During each trial, $\dot{V}O_2$ and heart rate (HR) were measured. Surface EMG signals were also recorded unilaterally (the right side) from the gluteus maximus (GM), biceps femoris (BF), gastrocnemius lateral head (GL), vastus lateralis (VL) and tibialis anterior (TA) between 2'50" and 3'00" of each pedaling trial.

Results

Increased saddle height resulted in an quadratic rise in $\dot{V}O_2$ ($p < 0.001$) and HR ($p < 0.01$) for both cadences. Unlike the previous finding using cycle ergometer (Nordeen-Snyder, 1977), $\dot{V}O_2$ did not show a U-shaped change with varying saddle heights, demonstrating a different cardiorespiratory response between the cycle ergometer and actual bicycle pedaling. Higher saddle heights resulted in significantly greater integrated EMG (iEMG, mean of 5 cycles) in GM (60 & 90 rpm, $p < 0.001$) and GL (60 rpm, $p = 0.001$), but iEMG of other three muscles (BF, VL, TA) were not influenced by the saddle height changes for both cadences.

Discussion

The increased iEMG in GM and GL with higher saddle heights may have resulted from a greater effort to generate torque to maintain a given speed due to the effect of angle-torque relationship, and from exaggerated kinetic or kinematic behaviors of the hip and ankle joints. These changes possibly accounted for the observed rise in $\dot{V}O_2$ and HR with higher saddle heights. Further EMG analysis as well as mechanical analysis is warranted to uncover the exact mechanisms for the different cardiorespiratory responses between cycle ergometry and actual road bicycle, and among saddle heights.

Reference

Nordeen-Snyder, K. The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Med. Sci. Sports.* 9 (2): 113-117, 1977.

3) Aerobic work capacity in Japanese middle-aged recreational cyclists.

Takashi Nakagata, Shinichiro Murade, Yoshihiko Ishihara, Shizuo Katamoto, Hisashi Naito,
Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University

Introduction

Recently, the recreational cycling becomes increasingly popular to prevent to lifestyle related disease such as diabetes and improve physical fitness in Japan. Cycling is one of the representative non-impact type exercise, and many people can cycle over prolonged duration irrespective of age and sex. However, the available data of the aerobic work capacity in Japanese recreational cyclists are only few. Therefore, we aimed to clarify the aerobic work capacity of Japanese middle-aged recreational cyclists.

Methods

Subjects were thirty-three healthy Japanese recreational cyclists aged 18-63 years old (29 males and 4 females). They usually enjoyed cycling 2-3 days/week over 120-240 km/week. Age and physical characteristics of male and female subjects were 42.8 ± 11.1 and 38.0 ± 10.3 yr, 171.8 ± 4.7 and 154.7 ± 5.9 cm, 64.9 ± 6.7 and 48.0 ± 4.7 kg, respectively. The male subjects were divided into 4 groups by ages; less than 30yr (U30, n=4), 30-39 yr (30G, n=5), 40-49 yr (40G, n=12), above 50 yr (50G, n=8). They performed a maximal exercise test using a cycle ergometer at 60 rpm. During the exercise test, heart rate (HR), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) and blood lactate (La) were measured. $\dot{V}O_2$ peak obtained individual during the exercise test was considered as $\dot{V}O_{2\text{ max}}$.

Results

The mean $\dot{V}O_{2\text{max}}$ and HRmax of male and female subjects were 52.1 ± 7.2 and 46.5 ± 4.8 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 185 ± 10 and 183 ± 9 bpm respectively, and declined with aging (56.6, 54.2, 51.3, 49.7 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ and 194.8, 191.0, 185.3, 177.5 bpm for each group). $\dot{V}O_2$ at lactate threshold (LT) was also declined with aging (34.8, 30.7, 30.6, 30.7, 28.3 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), but there was no age-related changes in % $\dot{V}O_{2\text{max}}$ at LT (60.7, 56.5, 59.1, 61.2, 60.3%).

Discussion

Previous studies demonstrated that $\dot{V}O_{2\text{max}}$ declines with aging and the lack of physical activity. In this study, however, $\dot{V}O_{2\text{max}}$ of 40G and 50G was 38.5 % higher compared with the reference values that of age-matched Japanese people¹⁾ and the same level as joggers in 40-60yr²⁾. $\dot{V}O_2$ at LT was 63 % higher than that of sedentary Japanese in 50yr and equivalent to joggers in 40-60yr²⁾. Especially, $\dot{V}O_{2\text{max}}$ and HRmax in 50G were comparable to that of Japanese adolescents on treadmill running. These results indicate that regularly cycling of 2-3 days/week over 120-240km in middle-aged men might stimulate their cardiorespiratory functions and contribute to improving their aerobic work capacity to higher level.

Reference

- 1) Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006 (EPAR2006) *J Epidemiol.* 17(5): 177, 2007
- 2) Takeshima, N et al. Maximal oxygen uptake and lactate threshold in middle-aged and older runners: with special reference to aging. *Jpn J Phys Fit Sports.* 38(5): 197-207, 1989.

4) The effects of the differences of cycling time on energy dynamics and biochemical markers of heart damage for Japanese recreational cyclists

Hayao Ozaki, Shinichiro Murade, Ryo Kakigi, Takashi Nakagata, Toshinori Yoshihara, Shizuo Katamoto, Hisashi Naito

Juntendo University

Introduction

Prolonged cycling and running impact energy dynamics and cardiac function (Costill, 1970; Neumayr et al., 2005). However, the effects of the differences of cycling time on energy dynamics and biochemical markers of heart damage have not yet been explored. Therefore the aim of this study was to investigate them for Japanese recreational cyclists.

Methods

A total of 28 recreational cyclists, aged 18-63 years, participated in the same local enduro and were divided into 3 groups by the race time: within 1-hour group (1H, n=7), 1-2 hour group (2H, n=14), more than 4-hour group (4H, n=7). Venous blood samples were obtained from an actecubital vein before the start of the race (Pre) and immediately after the race (Post). Then insulin, non-esterified fatty acid (NEFA), heart type fatty acid-binding protein, N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP), cardiac troponin T (cTnT), creatine kinase, creatine kinase MB (CK-MB), myoglobin, lactate dehydrogenase, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase (ALT) and γ -glutamyl transpeptidase (γ -GTP) were measured at commercially available laboratories. Blood lactate (LA) and glucose levels were evaluated with blood from a fingertip, respectively.

Results

There were not differences in all value-Pre and was a time effect in all value except ALT and γ -GTP. LA-Post in the 2H group (7.1 ± 0.8 mmol/l) was significantly higher than that in the 1H (4.8 ± 0.8 mmol/l) and 4H (2.3 ± 0.2 mmol/l) group. There was a significant increase in NEFA-Post for the 4H (1433 ± 94 μ Eq/L) group compared to the 1H (243 ± 35 μ Eq/L) and 2H (590 ± 76 μ Eq/L) group. cTnT-Post and CPK-MB-Post in the 4H (0.073 ± 0.027 , 9.2 ± 1.9 ng/mL) group were significantly higher than that in the 1H (0.005 ± 0.002 , 4.3 ± 1.2 ng/mL) and 2H (0.013 ± 0.002 , 5.4 ± 0.5 ng/mL) group and NT-proBNP-Post in 4H (99 ± 27 pg/mL) group was higher than that in the 2H (51 ± 16 pg/mL) group.

Discussion

LA after the race increased until 2-hour but was lower in the 4H group than 1H and 2H group. Costill (1970) has also shown the same results in running. Meanwhile, NEFA significantly increased in the 4H group after the race compared to the 1H and 2H group. Thus the differences of cycling time influenced energy dynamics in enduro. Additionally, although there are not different in the value associated with hepatic function after the race among three groups, cTnT, CPK-MB and NT-proBNP as clinical indicators of cardiac damage significantly increased in the 4H group compared to the 1H and 2H group. Therefore, such a race over 4-hour may put great stress on

cardiac system for Japanese recreational cyclists.

References

- Costill DL (1970). J Appl Physiol, 28(3), 251-255.
Neumayr G et al (2005). Am J Cardiol. 96(5), 732-735.

4 学術論文

- 1) 川田裕次郎、高橋麻衣子、林田章紀、土屋大志郎、蛭田秀樹、仁藤恵里子、沖和砂、那須野歩、上野朋子、中島宣行、形本静夫、広沢正孝 サイクリングの実施と主観的健康度及び抑うつの関連について—サイクリング愛好家と一般人を対象とした予備的検討—（投稿準備中）
- 2) 高橋麻衣子、川田裕次郎、林田章紀、土屋大志郎、蛭田秀樹、仁藤恵里子、沖和砂、那須野歩、上野朋子、中島宣行、形本静夫、広沢正孝 サイクリングの実施が主観的健康度に及ぼす影響（投稿準備中）
- 3) 土屋大志郎、川田裕次郎、高橋麻衣子、林田章紀、蛭田秀樹、仁藤恵里子、那須野歩、沖和砂、上野朋子、中島宣行、形本静夫、広沢正孝 サイクリングの実施状況が主観的健康度及び抑うつに及ぼす影響（投稿準備中）
- 4) 林田章紀、川田裕次郎、土屋大志郎、高橋麻衣子、蛭田秀樹、仁藤恵里子、那須野歩、沖和砂、上野朋子、中島宣行、広沢正孝 サイクリングへの関わり方（没頭）と主観的健康度及び抑うつの関連（投稿準備中）

5 雑誌

- 1) 谷本道哉、荒川裕志. 自転車選手の太い腿と自転車運動の生理特性. Coaching Clinic 2011.5, 64-67 (掲載予定)

IV 研究成果

研究 I スポーツサイクリングに関する研究

1 サイクリングの実施が心理的健康に及ぼす影響 に関する調査研究

広沢 正孝^{1,2} 川田 裕次郎²、沖 和砂²、那須野 歩²、
高橋 麻衣子²、土屋 大志郎²、林田 章紀²、仁藤 恵里子²、蛭田 秀樹²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

1. はじめに

サイクリングは、ランニングやウォーキングと並ぶ代表的な有酸素運動であり、幅広い年代で性別を問わずにできる運動として、人気の高いスポーツの一つとなっている。サイクリングがランニングやウォーキングと異なる点としては、サドルで体重が支えられる「non-weight bearing exercise」であり、着地に伴う衝撃が少なく腰や膝への負担が小さいため体重が重い人でも容易に運動を行うことができること、ランニングやウォーキングに比べ、運動エネルギーコストが 1/3 以下であること、風を切って走行することが爽快感をもたらすことなどがあげられ、多くの身体的・精神的効果が期待できると考えられている。

これまでのサイクリングが心理的健康に及ぼす影響を検討した我々の調査(広沢・川田ら 2010, 沖・上野ら, 2010)によれば、①サイクリング愛好者の方が一般事務職員よりも主観的健康度が良好であること、②サイクリングには、うつ症状を乗り越えやすくする効果がある一方で、本来治療が必要なうつ症状を隠ぺいする危険も併せて存在する可能性があること、③サイクリングへの没頭は、ランニングほどアディクションを生じさせにくい可能性があること、以上の 3 つの点が報告されている。これらの報告は、これまでに行われてきた身体活動が心理的な健康度に対して肯定的に寄与することを報告している研究

(玉井ら 1995, Gordon & Grant, 1997, 竹中 2002)と一致している。また、スポーツへの関わり方が心理的な健康に影響を及ぼす可能性があることを報告している研究 (Morgan, W. P., 1979, Sachs, M. L. and Pargman. D., 1987, 和田・津田ら 1993, 上野 2007) とも一致している。

しかしながら、前回の我々の調査において、サイクリングが心理的健康に対して肯定的に寄与する可能性が報告されているものの、どの程度のサイクリングの実施状況が心理的健康に影響を及ぼすのか、また、どのようなサイクリングへの関わり方が心理的な健康に影響を及ぼすのか等が十分に検討されていない。従って、以上の点を検討するための基礎的な資料の蓄積が急務となっている。上記のことが明らかにされば、サイクリングが心理的健康にどのように影響を及ぼすのかが明らかとなり、サイクリングが健康の保持増進に役立つ可能性を示すことができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サイクリングの実施が心理的健康にどのような影響をもたらすのかを検討することである。

3. 研究のデザイン

研究方法としては、「インターネット調査」と「フィールド調査」を行い、研究 I ~ III の 3 つの研究を設定して研究を進めた（表 1 参照）。

表 1. 本研究の研究デザイン

研究 No.	調査目的	調査方法
研究 I	サイクリングの実施が主観的健康度に及ぼす影響	インターネット調査
研究 II	サイクリングの実施状況が主観的健康度及び抑うつに及ぼす影響	フィールド調査
研究 III	サイクリングへの関わり方と主観的健康度及び抑うつとの関連	フィールド調査

4. 研究 I 「サイクリングの実施が主観的健康度に及ぼす影響」

(1) 目的

サイクリングの実施の有無が主観的健康度に影響を及ぼすか否かを検討すること。

(2) 方法

①対象者：定期的（週 2 回以上）にサイクリングを行っている「サイクリング愛好家（以下、愛好家）」500 名（男性 371 名、女性 129 名、20～29 歳 13%、30～39 歳 24%、40～49 歳 22%、50～59 歳 12%、60～69 歳 17%）と定期的な運動をほとんど行っていない「一般人」1000 名（男性 499 名、女性 501 名、20～29 歳 19%、30～39 歳 22%、40～49 歳 19%、50～59 歳 22%、60～69 歳 19%）を対象とした。

②調査方法：インターネットを用いて調査を行った。

③調査時期：2010 年 6 月

④質問紙の構成

- 個人プロフィール（性別、年齢、サイクリングの実施の有無など）
- 「日本語版精神健康調査票(General Health Questionnaire: GHQ-30)」

主観的健康度を測定するため、「日本語版精神健康調査票(General Health Questionnaire: GHQ-30)」（中川・大坊, 1996）を用いた。GHQ-30 は、自己評価式の質問紙であり、合計得点を算出することによって、主観的な身体的健康度と精神的健康度を測定することができる。また、下位尺度として、「一般的疾患傾向」「身体的症状」「睡眠障害」「社会的活動障害」「不安と気分変調」「希死念慮うつ傾向」の 6 つの尺度があり、それぞれ下位尺度の得点を算出することによって、より詳細な主観的健康度の検討が可能となる。算出された得点は、低い値ほど主観的健康度が良好であることを示す。

(3) 結果と考察

先行研究（中川・大坊,1996, 河村壯一郎,2004）によって GHQ-30 の得点に性差が存在することが報告されているため、「性別」と「サイクリングの実施の有無」の 2 つの要因を独立変数（説明変数）に設定し、GHQ-30 の合計得点と下位尺度の得点を従属変数（結果変数）に設定して二要因の分散分析を行った。その結果、GHQ-30 の合計得点において、サイクリング実施の有無の主効果が確認され ($p<.10$)、サイクリング愛好家の方が主観的健康度の得点が低いことが示された。これは、サイクリングの実施が主観的健康度に影響を及ぼす可能性を示唆するものである。また、サイクリング愛好家の得点が一般人よりも低く示されたことは、サイクリングを行うことによって主観的健康度を良好に保つことができる可能性を示唆するものと考えられる。

次に、主観的健康度の下位尺度別に検討した結果、「一般的疾患傾向」においては、サイクリング実施の有無の主効果が確認されなかった。

「身体的症状」では、性別の主効果 ($p<.10$) 及び交互作用 ($p<.01$) が確認された。そのため、単純主効果の検定を行ったところ、男性においてサイクリング実施の有無の単純主効果が認められ ($p<.05$)、サイクリング愛好家の方が一般人よりも平均得点が高かった。また、女性においてもサイクリング実施の有無の単純主効果が認められ ($p<.05$)、サイクリング愛好家の方が一般人よりも平均得点が低かった。一般人において性別の単純主効果が認められ ($p<.05$)、男性の方が女性よりも平均得点が低かった。サイクリング愛好家において性別の単純主効果が認められ ($p<.05$)、女性の方が男性よりも平均得点が低かった。

「睡眠障害」では、サイクリング実施の有無の主効果が確認されなかつた。

「社会的活動障害」では、サイクリング実施の有無の主効果 ($p<.05$) が確認され、サイクリング愛好家の方が一般人よりも平均得点が低かつた。

「不安と気分変調」では、サイクリング実施の有無の主効果 ($p<.05$) が確認され、サイクリング愛好家の方が一般人よりも平均得点が低かつた。

た。

「希死念慮うつ傾向」では、サイクリング実施の有無の主効果が確認されなかつた（表2参照）。

これらの結果は、サイクリングを行うことによって「社会的活動障害」、「不安と気分変調」といった主観的健康度を良好に保つことができる可能性を示唆するものと考えられる。

表2. サイクリング実施の有無が主観的健康度に及ぼす影響

	一般人				サイクリング愛好家				主効果		交互作用	
	男性		女性		男性		女性		実施の有無	性別		
	N=499	M	SD	N=501	M	SD	N=144	M	SD	F値	F値	
一般的疾患傾向	1.3	1.45		1.5	1.58		1.2	1.31		1.1	1.64	1.75
身体的症状	0.9	1.26		1.1	1.31		1.2	1.27		0.5	0.83	1.12
睡眠障害	1.3	1.60		1.5	1.64		1.4	1.66		1.1	1.48	0.59
社会的活動障害	0.9	1.26		0.9	1.24		0.6	0.95		0.5	0.76	4.70*
不安と気分変調	1.1	1.62		1.4	1.72		0.8	1.37		0.9	1.81	4.18*
希死念慮うつ傾向	0.7	1.46		0.7	1.47		0.6	1.39		0.8	1.65	0.02
GHQ合計	6.1	6.47		7.1	6.51		5.9	5.63		4.7	5.79	2.83†

N:人数、M:平均値、SD:標準偏差

†p < .10, *p < .05, **p < .01

(4) 結論

研究Iの結果から以下の2つの結論が得られた。

- ①サイクリングの実施は「主観的健康度」に肯定的な影響を及ぼす。
- ②サイクリングの実施によって「社会的活動障害」、「不安と気分変調」を軽減し、これらの主観的健康度を良好に保つことができる可能性がある。

5. 研究Ⅱ 「サイクリングの実施状況が主観的健康度及び抑うつに及ぼす影響」

(1) 目的

サイクリングの実施状況が主観的健康度及び抑うつに及ぼす影響を検討すること。

(2) 方法

①対象者：サイクリング愛好家 223 名（男性 195 名、女性 25 名、平均年齢 33.9 ± 8.9 、年齢範囲 16-60 歳）を対象とした。尚、本研究では女性のデータが少ないため、男性のデータ 195 名のみを分析の対象とした。また、本研究では、サイクリングの実施状況を一週間あたりのサイクリングの回数（実施頻度）と 1 回のサイクリングでの実施時間（実施時間）を掛け合わせた数値で捉え、実施状況が 1 時間未満の者を「なし群」、1~3 時間までを「低群」、4~7 時間まで「中群」、8 時間以上を「高群」に分類した。

②調査方法：サイクリング愛好家に対する調査は、ツインリンク茂木（栃木県）において開催された「第 7 回もてぎ 7 時間エンデューロ」の会場にて実施された。

③調査時期：2010 年 10 月下旬

④質問紙の構成

- 個人プロフィール（性別、年齢、サイクリングの実施の実施頻度など）
- 「日本語版精神健康調査票 (General Health Questionnaire: GHQ-30)」

本尺度に関する説明は研究 I 参照。

- 日本語版自己評価式抑うつ性尺度 (Self-rating Depression Scale: SDS)」

うつ症状を測定するため、うつの身体的症状と精神的症状の両側面を測定することが可能な「日本語版自己評価式抑うつ性尺度 (Self-rating Depression Scale: SDS)」(福田・小林, 1973) を用いた。

SDS は、自己評価式の質問紙であり、各質問項目の和を算出することによって、抑うつの程度を測定する尺度である。また、各項目の得点（全 20 項目）を算出することによって、より詳細な、抑うつの症状を把握することが可能となる。さらに、この尺度は、健常者から臨床患者まで包括的に適用が可能であり、世界的に用いられている。そのため、多くの先行研究との比較検討が可能であるという利点がある。抑うつの重篤度は、合計得点を基準に「正常（20-39 点）」、「軽度（40-47 点）」、「中等度（48-55 点）」、「重度（56 点以上）」に分類される。

（3）結果と考察

「サイクリングの実施状況」を独立変数（説明変数）に設定し、GHQ-30 の合計得点と下位尺度の得点を従属変数（結果変数）に設定して一元配置の分散分析を行った。その結果、GHQ-30 の合計得点、GHQ-30 の下位因子得点とともに、サイクリング実施状況の主効果は確認されなかった（表 3 参照）。これは、サイクリング実施状況が主観的健康度に影響を及ぼさないことを示唆するものである。

表 3. サイクリング実施状況が主観的健康度に及ぼす影響

	なし N=54		低 N=36		中 N=51		高 N=47		F値
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
一般的疾患傾向	1.55	1.28	1.30	1.21	1.21	1.14	1.02	1.05	1.64
身体的症状	1.55	1.45	1.36	4.25	1.29	1.06	1.66	1.45	0.77
睡眠障害	1.35	1.51	1.33	1.57	1.43	1.46	1.76	1.43	0.81
社会的活動障害	0.40	0.95	0.67	1.15	0.73	1.17	0.43	0.71	1.37
不安と気分変調	0.98	1.51	1.06	1.51	1.44	1.64	1.04	1.20	1.00
希望念慮うつ傾向	0.70	1.39	0.36	0.99	0.42	0.82	0.57	1.05	0.88
GHQ合計	6.41	6.33	5.82	5.56	6.60	4.87	6.31	4.68	0.14

N: 人数, M: 平均値, SD: 標準偏差

次に、「サイクリングの実施状況」を独立変数（説明変数）に設定し、SDS の合計得点と下位尺度の得点を従属変数（結果変数）に設定して一元配置の分散分析を行った。その結果、SDS の合計得点において、サイクリング実施状況の主効果は確認され、「低群」が「なし群」よりも低い値を示した ($p<.05$)（表 4 参照）。これは、サイクリング実施状況が抑う

つ症状に影響を及ぼすことを示唆するものである。

また、SDS の下位因子得点の「日内変動 (p<.05)」、「体重減少 (p<.05)」、「便秘 (p<.05)」、「疲労 (p<.05)」、「自殺念慮 (p<.05)」、において、サイクリング実施状況の主効果は確認された（表 4 参照）。これは、サイクリング実施状況が抑うつ症状の「日内変動 (p<.05)」、「体重減少 (p<.05)」、「便秘 (p<.05)」、「疲労 (p<.05)」、「自殺念慮 (p<.05)」、といった症状を抑制する可能性を示唆するものである。

表 4. サイクリング実施状況が抑うつに及ぼす影響

	なし N=56		低 N=38		中 N=51		高 N=48		F値	多重比較
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD		
抑うつ、憂うつ、悲哀	1.55	0.57	1.58	0.72	1.65	0.69	1.44	0.54	0.94	
日内変動	3.32	0.79	2.89	0.95	3.27	0.72	3.29	0.77	2.58 [†]	低くなし
啼泣	1.38	0.62	1.34	0.58	1.36	0.60	1.25	0.57	0.04	
睡眠	1.56	0.69	1.24	0.44	1.55	0.78	1.58	0.82	2.05	
食欲	2.04	1.09	1.76	1.17	1.55	0.99	1.79	1.10	1.80	
性欲	1.84	0.99	1.94	1.10	1.62	0.90	1.94	1.00	1.11	
体重減少	1.96	1.01	1.51	0.69	1.84	0.97	2.23	0.93	4.34**	低<高
便秘	1.43	0.60	1.18	0.39	1.53	0.70	1.46	0.71	2.38 [†]	低<中
心悸亢進	1.53	0.72	1.34	0.67	1.41	0.70	1.38	0.57	0.72	
疲労	2.13	0.74	1.74	0.72	1.90	0.83	1.83	0.72	2.32 [†]	低くなし
混乱	2.73	0.86	2.61	0.72	2.57	0.90	2.38	0.91	1.51	
精神運動性減退	1.98	0.75	2.18	0.83	2.22	0.86	2.34	0.87	1.69	
指針運動性興奮	1.98	0.92	1.71	0.87	1.92	1.00	1.83	0.79	0.77	
希望のなさ	2.36	0.94	2.34	0.82	2.51	0.97	2.60	1.01	0.84	
焦燥	1.71	0.68	1.53	0.76	1.65	0.72	1.67	0.76	0.53	
不決断	2.54	0.85	2.42	0.92	2.59	0.92	2.65	1.06	0.44	
自己過小評価	2.63	0.96	2.61	0.92	2.45	0.81	2.56	0.92	0.38	
空虚	2.39	0.85	2.18	0.87	2.29	0.90	2.21	0.97	0.55	
自殺念慮	1.39	0.68	1.08	0.27	1.37	0.72	1.25	0.57	2.47 [†]	低くなし
不満足	2.25	0.82	2.24	0.91	2.35	0.97	2.15	0.95	0.45	
SDS合計	40.75	5.70	36.24	4.48	39.47	5.82	39.73	5.05	3.77*	低くなし、低<高

N: 人数, M: 平均値, SD: 標準偏差

[†]p<.10, *p<.05, **p<.01

(4) 結論

- ①サイクリングの実施状況は、主観的健康度に関連しない。
- ②サイクリングの実施状況は、種々の抑うつ症状に影響を及ぼす可能性がある。
- ③週 1～3 時間程度のサイクリング実施状況では、他の実施状況よりも「日内変動」、「体重減少」、「便秘」、「疲労」、「自殺念慮」といった症状を抑制する可能性がある。

6. 研究Ⅲ 「サイクリングへの関わり方と主観的健康度及び抑うつとの関連」

(1) 目的

サイクリングへの関わり方と主観的健康度及び抑うつとの関連を検討すること。

(2) 方法

①対象者：サイクリング愛好家 223 名（男性 195 名、女性 25 名、平均年齢 33.9 ± 8.9 、年齢範囲 16-60 歳）を対象とした。尚、本研究では女性のデータが少ないため、男性のデータ 195 名のみを分析の対象とした。

②調査方法：サイクリング愛好家に対する調査は、ツインリンク茂木（栃木県）において開催された「第 7 回もてぎ 7 時間エンデューロ」の会場にて実施された。

③調査時期：2010 年 10 月下旬

④質問紙の構成

- 個人プロフィール（性別、年齢、サイクリングの実施の有無やサイクリング実施頻度など）
- 「日本語版精神健康調査票(General Health Questionnaire: GHQ-30)」
本尺度に関する説明は研究 I を参照のこと。
- 「日本語版自己評価式抑うつ性尺度(Self-rating Depression Scale: SDS)」
本尺度に関する説明は研究 II を参照のこと。
- 「サイクリングに対する気持ち・関わり方に関する尺度」（今回の研究において作成）
サイクリングに対する関わり方を測定するため、「ランニングに対する気持ち・関わり方に関する尺度」（和田・津田, 1993）を修正して用いた。この尺度は、ランナーを対象に作成された尺度であるため、各質問項目の“ランニング”という表現を“サイクリング”という表現

に修正して用いることとした（「サイクリングに対する気持ち・関わり方に関する尺度：CA」）。この尺度は、合計得点を算出することによって（逆転項目の処理を含む）、サイクリングへの関わり方（没頭状態）の程度を測定することができる。また、下位尺度として、スポーツを行うことが快適な心理状態（楽しい、気持ちがよいなど）をもたらすためスポーツに積極的に取り組もうとする「ポジティブな関わり方（Commitment）」とスポーツを行うことが不快な心理状態（気持ちが落ち着かない、とらわれるなど）を回避するためスポーツに積極的に取り組もうとする「ネガティブな関わり方（Addiction）」の 2 側面を捉えることが可能である。本尺度は、サイクリング愛好者のみを対象に回答を求めた。

（3）結果と考察

まず、サイクリングにおいてポジティブな関わり方とネガティブな関わり方が実際に観察されるかを明らかにするため、サイクリングへの関わり方に関する質問項目を、探索的因子分析（同じ種類の項目を統計的にまとめる手法）を用いて検討した。探索的因子分析（主因子法、プロマックス回転）を行った結果、固有値 1 以上で 2 因子構造が得られ、和田・津田らにより、開発された「ランニングに対する気持ち・関わり方に関する尺度」と同様に 2 因子構造であることが確認された（表 3 参照）。

第 1 因子は、『私はサイクリングが楽しみだ』『サイクリングの後は、気分がすっきりする』など 12 項目からなり、運動そのものの楽しさなどポジティブな側面を測定する因子と考えられ「Commitment」と命名した。第 2 因子は、『必要があれば、サイクリングのために他の予定を変更する』『私にとってサイクリングはなくてはならないほど大切なものだ』など 9 項目からなり、不適切なとらわれなどネガティブな側面を測定する因子として考えられるため「Addiction」と命名した。以上のように「ランニングに対する気持ち・関わり方に関する尺度」と同様に独立した 2 因子が抽出された。各下位尺度の信頼性係数（クロンバッックの α 係数）を示すは「Commitment」では $\alpha=.90$ 「Addiction」は $\alpha=.89$ であり、概

ね高い値が示された（表5参照）。この結果は、サイクリングにおいてもランニングと同様に、「ポジティブな関わり方」と「ネガティブな関わり方」の独立した2つの側面が存在することを示唆するものである。

表5. サイクリングへの関わり方に関する質問項目の因子分析

サイクリングへの関わり方(CA)の項目	F I	F II	共通性
ポジティブな関わり方(commitment)			
サイクリングは疲れるだけでつまらない	.912	.432	.640
サイクリングをしなくてすむと思うとほっとする	-.821	.417	.563
私はサイクリングを楽しんではいない	-.797	.214	.534
私はサイクリングが楽しみだ	.782	.097	.776
サイクリングの後は、気分がすっきりする	.678	.255	.772
私は続けられる限りサイクリングを続けるであろう	.673	.211	.735
サイクリングは楽しい	.652	.124	.572
サイクリングによって私の生活はより豊かになっている	.598	.301	.738
私にとって、レクリエーションのようなものだ	.517	.114	.505
ネガティブな関わり方(addiction)			
必要があれば、サイクリングのために他の予定を変更する	.150	.681	.642
サイクリングをし損ねると憂鬱で気分がすっきりしない	-.256	.673	.392
サイクリングをしないと一日が始まらないと感じることがある	-.175	.669	.405
サイクリングは日常での共通した話題である	.079	.642	.508
サイクリングをしなければ気がすまないことがある	-.050	.624	.472
天候や体調が少々悪くても、サイクリングを実施する	-.170	.612	.391
本当に走りたくない日でも、スケジュール通りにサイクリングをする	-.320	.602	.306
サイクリングは私の生活様式に影響を及ぼしている	.196	.586	.601
私にとってサイクリングはなくてはならないほど大切なものだ	.313	.573	.636
もしサイクリングをやめると、身体の健康は著しく低下するだろう	.179	.564	.489
サイクリングをしている時が、一日の中で最高だ	.234	.556	.545
サイクリングをしている時、たいていサイクリングハイを経験する	.198	.486	.461
累積寄与率(%)	37.56	48.95	
寄与率(%)	37.56	11.38	
信頼性係数(α)	0.90	0.89	
因子間相関	F I	.540	

次に、サイクリングへの関わり方である「ポジティブな関わり方」と「ネガティブな関わり方」が主観的健康度とどのように関連するのかを相關分析を用いて検討した。その結果、サイクリングの関わり方と主観的健康度の間には統計的に有意な関連は示されなかった。この結果は、ランニングにおける上野ら（2008）で示されたランニングへの「ネガティブな関わり方」が主観的健康度を悪化させる可能性を示す報告とは異なる結果となった。本研究の結果からは、サイクリングにおいては、関わり方が「ポジティブな関わり方」であっても「ネガティブな関わり方」

であっても主観的健康度には大きな影響はないと言えよう。加えて、サイクリングに没頭することがランニングに没頭することよりも主観的な健康度を悪化させる可能性を低いことを示したと言える。

表 4. サイクリングへの関わり方と主観的健康度との関連

主観的健康度(GHQ-30)	サイクリングへの関わり方	
	Commitment	Addiction
一般的疾患傾向	0.10	0.09
身体的症状	0.02	0.05
睡眠障害	0.08	0.02
社会的活動	0.11	0.01
不安と気分変調	0.07	0.03
希死念慮うつ傾向	0.14	0.09
GHQ-30合計	0.13	0.01

最後に、サイクリングにおいて「ポジティブな関わり方」と「ネガティブな関わり方」が抑うつとどのように関連するのかを相関分析を用いて検討した。その結果、SDS の合計得点において統計的に有意な関連が確認された ($r=.32$, $p<.05$)。この結果は、サイクリングへの「ポジティブな関わり方 (commitment)」は、種々の抑うつ症状を抑制する可能性を示唆するものである。

また、「ポジティブな関わり方」、「ネガティブな関わり方」と SDS の下位項目との関連を検討した。その結果、「ポジティブな関わり方」は、「啼泣 ($r=-0.16$, $p<.05$)」、「睡眠 ($r=-0.18$, $p<.05$)」、「体重減少 ($r=-0.21$, $p<.01$)」、「心悸亢進 ($r=-0.20$, $p<.01$)」、「疲労 ($r=-0.25$, $p<.01$)」、「混乱 ($r=-0.19$, $p<.01$)」、「精神運動性減退 ($r=-0.23$, $p<.01$)」、「精神運動性興奮 ($r=-0.19$, $p<.01$)」、「希望のなさ ($r=0.22$, $p<.01$)」、「焦燥 ($r=-0.26$, $p<.01$)」、「不決断 ($r=-0.16$, $p<.05$)」、「自己過小評価 ($r=-0.18$, $p<.01$)」、「空虚 ($r=-0.20$, $p<.01$)」、「自殺念慮 ($r=-0.14$, $p<.05$)」、「不満足 ($r=-0.16$, $p<.05$)」において統計的に有意な関連を示した。一方、「ネガティブな関わり方」は、「日内変動 ($r=-0.16$, $p<.05$)」、「体重減少 ($r=0.28$, $p<.01$)」、「疲労 ($r=-0.18$, $p<.05$)」、「希望のなさ ($r=0.15$, $p<.05$)」、「自己過小評価 ($r=-0.16$, $p<.05$)」において統計的に有意な関連を示した。これら結果は、サイクリングにおける関わり方が「ポジティブな関わり方」であ

っても「ネガティブな関わり方」であっても、基本的には、抑うつ症状を抑制する可能性を示唆するものと言えよう。正の相関を示した「体重減少」と「精神運動性減退」に関しては、運動への取り組みが高まるほど低減されることを考慮すると当然の結果と言えよう。しかし、「希望のなさ」と正の相関を示したことは予想外の結果であり、今後詳細に検討していく必要があると考えられる。

表 5. サイクリングへの関わり方と抑うつとの関連

抑うつ症状(SDS)	サイクリングへの関わり方	
	Commitment	Addiction
憂うつ、抑うつ、悲哀	-0.12	0.01
日内変動	-0.06	-0.16 *
啼泣	-0.16 *	0.04
睡眠	-0.18 *	-0.02
食欲	-0.13	0.01
性欲	-0.10	-0.04
体重減少	0.21 **	0.28 **
便秘	-0.09	-0.03
心悸亢進	-0.20 **	0.06
疲労	-0.25 **	-0.18 *
混乱	-0.19 **	-0.09
精神運動性減退	0.23 **	0.12
精神運動性興奮	-0.19 **	0.04
希望のなさ	0.22 **	0.15 *
焦燥	-0.26 **	-0.02
不決断	-0.16 *	-0.03
自己過小評価	-0.18 **	-0.20 **
空虚	-0.20 **	-0.20
自殺念慮	-0.14 *	0.07
不満足	-0.16 *	-0.06
SDS合計	-0.32 **	-0.05

*p < .05, **p < .01

(4) 結論

- ①サイクリングへの関わり方は、「ポジティブな関わり方(commitment)」と「ネガティブな関わり方 (addiction)」の少なくとも 2 つの因子で構造化される。
- ②サイクリングへの関わり方は、主観的健康度に関連しない。
- ③サイクリングへの「ポジティブな関わり方 (commitment)」は、種々の抑うつ症状を抑制する可能性がある。

7. 全体的考察

本研究は、サイクリングの実施が心理的健康にどのような影響をもたらすのかを検討することを目的に行われた。

研究Ⅰでは、サイクリングを行っている者の方が行っていない一般人よりも主観的な健康度が良好であることが示唆された。この結果は、定期的な運動習慣を有している者は、精神的健康度が高いことを報告している須藤（2002）の研究と一致する結果であった。

ランナーを対象にした上野（2008）の研究では、GHQ-30 の下位尺度項目において、ランナーは一般人よりも「一般的疾患傾向」と「睡眠障害」に問題があると述べている。多くの先行研究により、運動は精神的健康に良いとされているが、ランニングを行っている者は一般健常者よりも精神的健康に何らかの問題を抱えていることが明らかとなっている。しかし、本研究の結果からは、サイクリングを行っている者は一般人よりも精神的健康が良好であることが示唆されたと言えよう。

次に、主観的健康度を因子別に検討したところ、サイクリング愛好家は一般人よりも社会的な活動に対して困難を抱えることが少なく、不安や気分の変化の問題を抱えることが少ないことが示された。牛島ら（1998）の研究によれば、エアロビック・ダンスや卓球などの有酸素運動は、「活動性」、「社会的愛情」、「活力・積極性」を増加させ、ネガティブな気分をポジティブに変化させる効果があることを報告している。また、運動は不安低減をもたらし、長期的運動は神経症や不安症の軽減をもたらすことが報告されている（Petruzzello et al. 1991, McDonald & Hodgdon, 1991）。さらに、荒井ら（2002）はサイクリングが「否定的感情」や「快感情」を改善すること明らかにしている。本研究においても、有酸素運動の一つであるサイクリングが社会的な活動を良好にすることや不安や気分の変化を和らげる効果を持つ可能性が示唆された。

研究Ⅱでは、サイクリングの実施状況は、主観的健康度に影響を及ぼさないが、種々の抑うつ症状を抑制する可能性があることが示された。この結果は、サイクリングを行うことによって主観的な健康度そのものは影響を受けないが、抑うつ症状の発現には抑制的に機能する可能性を示唆する

ものである。

また、GHQ-30 によって測定された抑うつ傾向では、サイクリングの実施状況によって数値に差が確認されなかつたが、SDS で測定された抑うつ症状には差が確認された。この結果は、サイクリングには、うつ症状を乗り越えやすくする効果がある一方で、本来治療が必要なうつ症状を隠ぺいする危険が存在する可能性を示唆するものであろう。さらに、週 1~3 時間程度のサイクリング実施状況が、他の実施状況よりも「日内変動」、「体重減少」、「便秘」、「疲労」、「自殺念慮」といった抑うつ症状を抑制する可能性があることが明らかになった。また、SDS の合計得点において、「低群」が「なし群」だけなく「高群」よりも良好な結果を示したことは、サイクリングの実施状況に最適な度合が存在することを意味するものである。

研究Ⅲでは、サイクリングへの関わり方は、「ポジティブな関わり方 (commitment)」と「ネガティブな関わり方 (addiction)」の少なくとも 2 つの側面が存在することが明らかになった。この結果は、ランニングへの関わり方を調査した結果（和田・津田,1993）と一致するものであった。

また、サイクリングへの関わり方は、主観的健康度に関連しないことが示された。この結果は、ランニングにおける上野ら（2007）で示されたランニングへの「ネガティブな関わり方」が主観的健康度を悪化させる可能性を示す報告とは異なる結果となった。本研究の結果からは、サイクリングにおいては、関わり方が「ポジティブな関わり方」であっても「ネガティブな関わり方」であっても主観的健康度には大きな影響はないことが示された。加えて、サイクリングに没頭することがランニングに没頭することよりも主観的健康度を悪化させる可能性が低いことが示されたと言える。

最後に、サイクリングへの「ポジティブな関わり方 (commitment)」は、種々の抑うつの症状を抑制する可能性があることが示された。このことは、サイクリングへの適切な関わり方が健康の保持増進に役立つことを示唆するものである。そのため、サイクリングを行う場合は、サイクリングそのものに楽しみを見出すこと、サイクリングを行うことによって快適な気分を味わうことなどが非常に重要なってくると言える。反対に、日々の生活の中で過度にサイクリングの価値を高めてしまい、とらわれるようサイ

クリングへ関わることは心理的には健康な状態であるとは言い難い。そのため、サイクリングを健康の保持増進に役立てるならば、サイクリングへの関わり方を見直す必要があると言えよう。

8. 結論

本研究の結果から、以下の 8 つの結論が得られた。

- (1)サイクリングの実施は「主観的健康度」に肯定的な影響を及ぼす。
- (2) サイクリングの実施によって「社会的活動障害」、「不安と気分変調」を軽減し、これらの主観的健康度を良好に保つことができる可能性がある。
- (3)サイクリングの実施状況は、主観的健康度に関連しない。
- (4)サイクリングの実施状況は、種々の抑うつ症状に影響を及ぼす可能性がある。
- (5)週 1~3 時間程度のサイクリング実施状況が、他の実施状況よりも「日内変動」、「体重減少」、「便秘」、「疲労」、「自殺念慮」といった症状を抑制する可能性がある。
- (6)サイクリングへの関わり方は、「ポジティブな関わり方 (commitment)」と「ネガティブな関わり方 (addiction)」の少なくとも 2 つの因子で構造化される。
- (7)サイクリングへの関わり方は、主観的健康度に関連しない。
- (8)サイクリングへの「ポジティブな関わり方 (commitment)」は、種々の抑うつの症状を抑制する可能性がある。

9. 引用文献

荒井弘和, 竹中晃二, 岡浩一朗, 堤俊彦 (2002). 一過性のストレングス・エクササイズが感情に与える影響—サイクリングに伴う経時変化との比較—. スポーツ心理学研究, 29 (1), 21-29.

福田一彦、小林重雄 (1973) 自己評価式抑うつ性尺度の研究, 精神神経誌, 75, 673-679.

Gordon, J., Grant, G. (1997) How we feel. London: Jessica Kingsley.

広沢正孝、川田裕次郎、沖和砂、上野朋子、那須野歩(2010) サイクリングと主

観的健康の関連性について. (財)自転車普及協会委託研究自転車研究報告書(心理学領域) .

河村壮一郎 (2004). 精神健康調査票を用いた短期大学生の精神的健康に関する要因の検討 鳥取短期大学研究紀要, 50, 17-25.

Morgan, W. P. (1979) Negative addiction in runners. *The Physician and Sports medicine*, 7, 57-69.

McDonald, G. D., & Hodgdon, A. J. Psychological effects of aerobic fitness training: Research and theory. New York: Springer-Verlag.

中川彬、大坊邦夫 (1996) 日本版 GHQ 精神健康調査票手引き, 日本文化科学社. 沖和砂、上野朋子、川田裕次郎、山田泰行、形本静夫、広沢正孝 サイクリングと精神的健康の関連について 日本体育学会大会予稿集, (61), 308, 2010.

Petruzzello, J. S., Landers, M. D., Hatfield, D. B., Kubitz, A. K., & Salazar, W. (1991). A meta-analysis on the anxiety-reducing effects of acute and chronic exercise: Outcomes and mechanisms. *Sports Medicine* , 11, 143-82.

Sachs, M. L. and Pargman. D. (1987) Running addiction: A depth interview examination. *Journal of sport Behavior*, 2, 143-155.

須藤美智子 (2002). 運動と職業性ストレース—運動を活用した職域におけるストレス対策— 産業ストレス研究, 9 (4), 219-226.

竹中晃二 (2002) メンタルヘルスの改善に影響を与える運動スポーツの実践, 臨床精神医学, 31(11), 1315-1320.

玉井光・阿部和彦 (1995) 運動の精神的効果 精神医学, 37(5), 456-466.

上野朋子、西泰信、広沢正孝 (2007) 日本スポーツ心理学会第 34 回大会発表抄録集, 230-231.

上野朋子 (2008). ランニング Addiction をめぐる精神保健学的研究—性格・練習方法・精神健康度との関連から— 順天堂大学スポーツ健康科学研究所 修士論文.

牛島一成, 志村正子, 渡辺裕晃, 山中隆夫 (1998). 有酸素運動が体力および精神状態に及ぼす長期的影響と短期的影響 心身医学, 38 (4), 259-266.

和田尚・津田忠雄 (1993) Addiction 傾向からみた市民ランナーの心理的特性に関する実証的研究, 体育学研究, 38, 58-71.

2 サイクリストの運動実施状況に関するアンケート調査

形本静夫^{1,2} 吉原利典²、野川春夫^{1,2}、北村 薫^{1,2}、澤田 亨¹

¹ 順天堂大学スポーツ健康科学部

² 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに－背景と目的

近年、健康づくりのための運動・スポーツへの関心は、より一層の高まりをみせている。笛川スポーツ財団が 1992 年から実施している「スポーツライフに関する調査」によると、定期的（週 2 回、30 分/回、『ややきつい』運動強度以上）に運動・スポーツを行っている愛好者は 2010 年の時点で 1,771 万人に上ると推定されている²⁾。そのうちサイクリングを行っている者は 2.3%（40 人に 1 人）と、ジョギング・ランニング（2.9%）に続く実施率であり、推定サイクリング人口は 239 万人に上る。このことから、サイクリングが人々の健康に果たす役割は大きく、今後その需要はますます高まっていくことが期待される。本研究は、地域在住のサイクリング愛好者を対象に日常の運動実施状況に関するアンケートを実施し、運動実施状況についての調査を行った。

調査方法

1) 対象

対象者は、地域在住のサイクリング愛好者 33 名（男性 29 名、女性 4 名）であり、身体特性を表 1 に示した。

表 1. 対象者の身体特性

年齢	身長	体重	BMI
42.9±11.2	169.8±7.7	62.0±8.2	21.4±2

※ BMI (Body mass index) ; 体格指数

2) アンケート調査

33 名のサイクリストを対象にして、日常のサイクリングの実施状況に関するアンケート調査を行った。アンケートは、表 2 に示す通りであった。また、アンケートには、運動およびサイクリングの実施状況の他に食事や既往歴等に関する内容も含まれていた。

調査結果

1) 運動実施状況

図1は、サイクリストの日常の運動実施状況について示したものである。サイクリングを含めた運動の頻度は、「週1回」が12%、「週2~3回」が43%、「週4~5回」が33%、「週6回以上」が12%であった。1回の運動時間は、「30~60分」が6%で、残りの94%が「60分以上」と回答した。1日の運動として、「ジョギング・ランニング」を行っている者は2%、「水泳」3%、「サイクリング」82%、「テニス」5%、「その他」8%であった。

週2回以上運動を行うものが88%を占め、1回の運動時間も60分以上であるものがほとんどであった。この結果は、「スポーツライフに関する調査」に示されるサイクリング愛好者と比較して同等あるいはそれ以上の運動習慣を有していることを示している²⁾。また、サイクリストを対象とした調査であることから、運動としてサイクリングを行うものが8割以上を占めていた。

2) サイクリングの実施状況

図2は、サイクリングの実施状況について示したものである。自転車に乗る頻度は、「月1~2回」が3%、「週1回」が15%、「週2~3回」が43%、「週4~5回」が27%、「週6回以上」が12%であった。また、サイクリングの実施状況について、一回に乗る距離は、「30km未満」が6%、「30~40km」が12%、「40~60km」が24%、「60~80km」が31%、「80km以上」が27%であった。また、主に使用している自転車は、「ロード用バイク」が86%、「マウンテンバイク」が11%、「クロスバイク」が3%であった。本研究のサイクリストは、週2回以上自転車に乗る者が8割以上を占め、1回に60~80kmの距離(1~2時間程度)を走行している者が多い結果となった。サイクリング時に消費するエネルギー量について、Ainsworthら¹⁾は、32km/時を超えるような自転車運動における酸素消費量より算出したメツツ(metabolic equivalent; MET)が、16METsに相当することを明らかにしている。すなわち、本研究の対象者(平均体重62kg)が1~2時間サイクリングを行った場合には、推定消費エネルギー(kcal)=体重(kg)×METs×運動時間(時間)=62(kg)×16METs×1~2(時間)=992~1984(kcal)となる。これと同等のエネルギーをジョギング(7METs)やランニング(8km/時:8METs)で消費しようとした場合には、2~4時間の時間がかかるとなる。また、サイクリングは、ランニングなどと比較して膝や

表 2. サイクリストにおけるアンケート調査項目

年　月　日記入			
1 氏名	男・女	年	月　日生(満　歳)
2 身長 . cm	体重 . kg		

以下の設問については、該当する番号を○で囲んでください

3 直近6ヶ月の運動実施状況についてお尋ねします

1) サイクリングも含めてどのくらいの頻度で運動していますか

- ① まったくしていない
- ② 月1~2回
- ③ 週1回
- ④ 週2~3回
- ⑤ 週4~5回
- ⑥ 週6回以上

2) 1回につき、どのくらいの時間ですか

- ① ~15分
- ② 15分~30分
- ③ 30分~60分
- ④ 60分以上

3) どんな運動を行っていますか(複数可)

- ① ジョギング・ランニング
- ② ウォーキング
- ③ 水泳
- ④ サイクリング(MTB、ロード)
- ⑤ テニス
- ⑥ 野球
- ⑦ その他

(自由記載:)

4 サイクリングの実施状況についてお尋ねします

1)どのくらいの頻度で自転車に乗られていますか

- ① 月1~2回
- ② 週1回
- ③ 週2~3回
- ④ 週4~5回
- ⑤ 週6回以上

2) 1回につき、どのくらいの距離乗られますか

- ① 30km未満
- ② 30km~40km
- ③ 40km~60km
- ④ 60km~80km
- ⑤ 80km以上

3) 主にどんな種類の自転車を使用していますか

- ① ロード用バイク
- ② MTBバイク
- ③ クロスバイク
- ④ その他 (自由記載:)

5 サイクリングを行っている理由はどんなところにありますか(複数回答可)

- ① 健康・体力づくりのため
- ② 病気を治すため
- ③ 生活習慣病予防のため
- ④ 気分転換のため
- ⑤ 趣味のため
- ⑥ 仲間といふと楽しいので
- 6 レースについてお尋ねします
- ① レースに出たことはない
- ② レース参加は本格的なロードレースを中心に行っている
- ③ もっぱらセンチュリーランなどのツーリングタイプのサイクリングに参加している
- ④ その他 (自由記載:)

7 日常の食事についてお尋ねします

1) 1日3食(朝食、昼食、夕食)摂られていますか

- ① はい
- ② いいえ

2) 1)で「いいえ」と答えられた方にお尋ねします。抜くことが多い食事は3食のうちどれですか(複数回答可)

- ① 朝食
- ② 昼食
- ③ 夕食

8 これまでに医師に診断された大きな病気はありますか

- ① ない
- ② ある (病気の名前:)

9 ご家族の中に「高血圧、糖尿病、高脂血症、虚血性心疾患、急死、不整脈」と診断された方はおられますか

- ① いない
- ② いる(病名を○で囲んでください。複数回答可)
高血圧、糖尿病、高脂血症、虚血性心疾患、急死、不整脈

10 ご自分の適正体重をご存知ですか

- ① 知らない
- ② 知っている

11 太り過ぎないように体重のコントロールに心がけておられますか

- ① いない
- ② いる

腰に掛かる負担が少ないことが知られている。これらのことから、サイクリングは短時間で多くのエネルギーを消費できるだけでなく、障害予防の観点からも推奨できるスポーツであるといえる。

また、サイクリングを行っている理由としては、「健康体力づくりのため」26%、「病気を治すため」2%、「生活習慣病予防のため」9%、「気分転換のため」15%、「趣味のため」31%、「仲間といふと楽しいので」17%であった。レースの参加については、「レースに出たことはない」3%、「レース参加は本格的なロードレース中心に行なっている」55%、「もっぱらセンチュリーランなどツーリングタイプのサイクリングに参加している」24%、「その他」18%であった。このように、健康体力づくり（26%）や趣味（31%）のためにサイクリングを行っているものが多く、そのため本格的なロードレースに参加しているサイクリストが過半数を占めている。

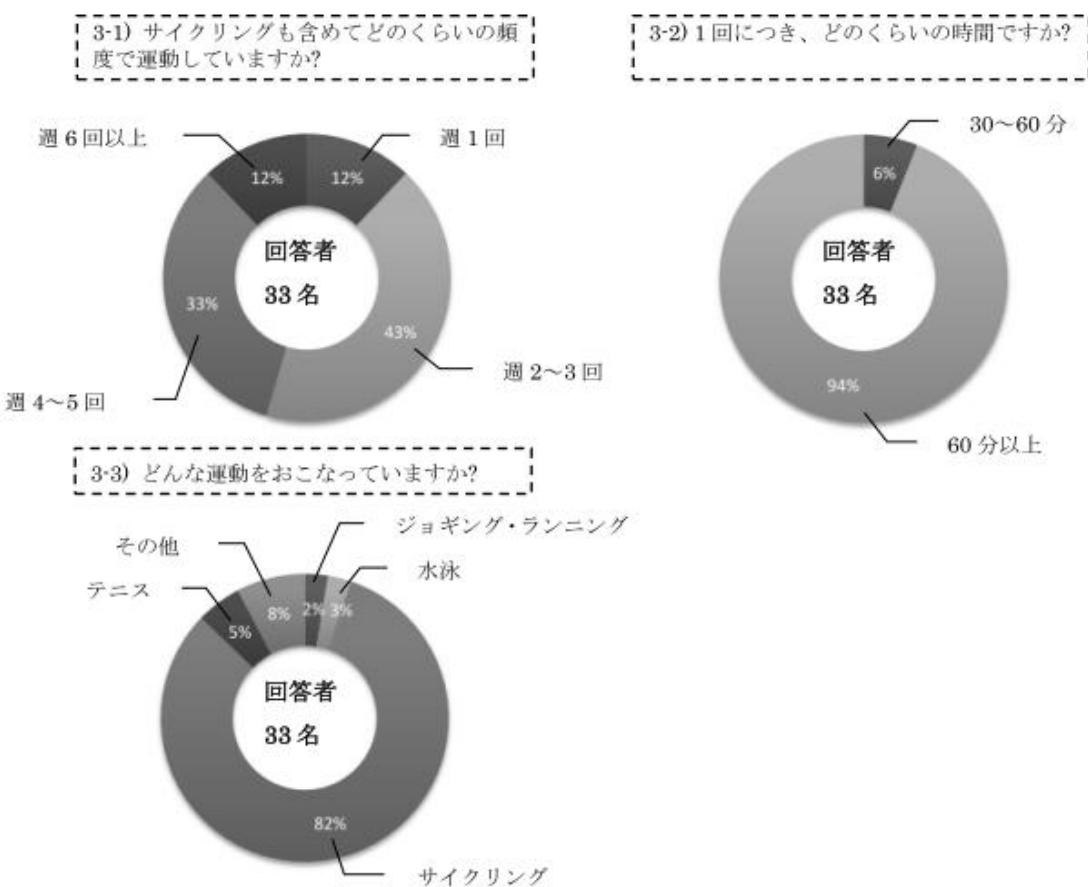


図1. サイクリストの運動実施状況について

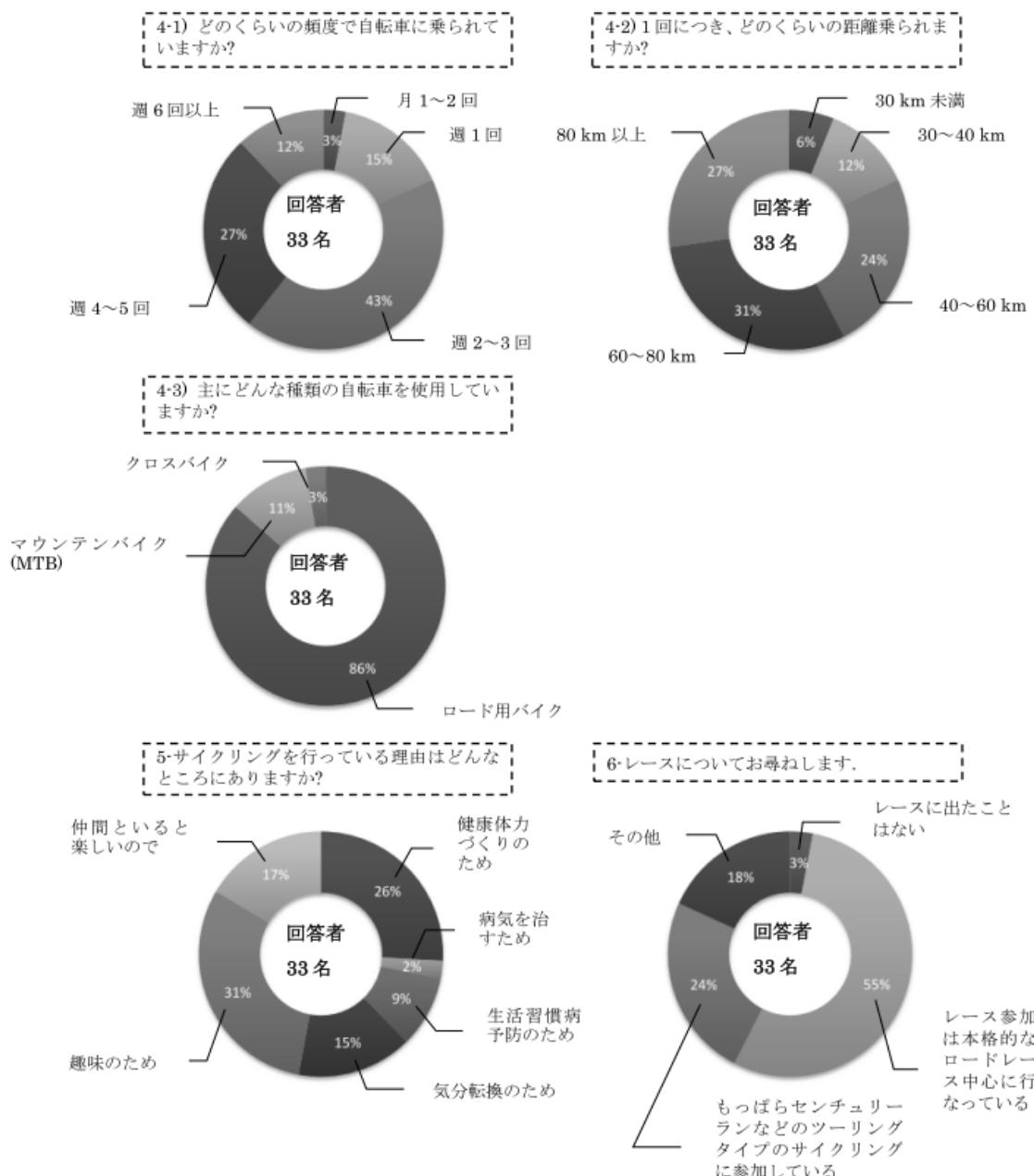


図 2. 日常のサイクリングの実施状況について

3) 日常の食事や既往歴について

日常の食事について、「1日3食摂られていますか」という質問に対して「はい」と答えた者が93.9%、「いいえ」と答えた者が6.1%であり、毎日規則正しい食生活を送っているサイクリストが多い。「いいえ」と答えた者のうち、抜くことの多い食事は、「朝食」が66.7%、「昼食」が0%、「夕食」が33.3%であった。

疾病歴について、これまで医師に大きな病気があると診断されたことの「ある」者は36.4%で、診断されたことが「ない」と答えた者は63.6%であった。家族の中に「高血圧、糖尿病、高脂血症、虚血性心疾患、急死、不整脈」と診断された「いない」と答えた者が51.5%、「いる」と答えた者が48.5%であった。いると答えた者のうち、「高血圧」が81.3%、「糖尿病」が6.3%、「不整脈」が6.3%、「その他」が6.3%であった。これまで、大きな病気があると診断されたことの「ない」者が63.6%を占めていることは注目すべき点であるが、日常のサイクリングとの因果関係については明らかではない。

また、自分の適正体重をご存知ですかという質問に対し、「知らない」と答えた者が27.3%、「知っている」と答えた者が72.7%であった。さらに、太り過ぎないように体重のコントロールを心がけて「いる」者は69.0%で、「いない」者は30.3%であった。本研究の対象者は体重のコントロールを心がけている者や自分の適正体重について知っている者が7割程度を占めており、本研究で対象としたサイクリスト達の健康に対する意識の高さが伺える。

7-1)1日3食(朝食、昼食、夕食)摂られていますか?

	回答数	パーセント
はい	31	93.9
いいえ	2	6.1
合計	33	100

7-2)抜くことが多い食事は3食のうちどれですか?

	回答数	パーセント
朝食	2	66.7
昼食	0	0
夕食	1	33.3
合計	3	100

8-これまでに医師に診断された大きな病気はありますか?

	回答数	パーセント
ない	21	63.6
ある	12	36.4
合計	33	100

9-ご家族の中に「高血圧、糖尿病、高脂血症、虚血性心疾患、急死、不整脈」と診断された方はおられますか?

	回答数	パーセント
いない	17	51.5
いる	16	48.5
合計	33	100

病名	回答数	パーセント
高血圧	13	81.3
糖尿病	1	6.3
不整脈	1	6.3
その他	1	6.3
合計	16	100

10-ご自分の適正体重をご存知ですか?

	回答数	パーセント
知らない	9	27.3
知っている	24	72.7
合計	33	100

11-太り過ぎないように体重のコントロールに心がけておられますか?

	回答数	パーセント
いない	10	30.3
いる	23	69.7
合計	33	100

図3. 食事や既往歴について

まとめ

本研究で対象としたサイクリストは、週2回以上は自転車に乗り、1回に60~80km(1~2時間程度)の距離を走行する、非常に高い活動水準を有する者達であった。また、日常の食事や既往歴に関するアンケートの結果から、健康に対する意識の高さも伺える。今後このようなサイクリストが増えることで、人々の健康はますます増進していくことが期待される。

しかしながら、日本における自転車の利用環境はヨーロッパの自転車利用先進国に比較して大きく遅れており、自転車専用レーンやサイクリングロードなどはまだまだ十分に整っているとはいえない。サイクリストに限らず健康を目的とした自転車の利用者が安全かつ安心して自転車を利用できる環境を整えることが今後の課題であると考えられる。

文献

- 1) Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, Bassett DR Jr, Schmitz KH, Emplaincourt PO, Jacobs DR Jr, Leon AS. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32: S498-504, 2000.
- 2) 小野清子. スポーツライフデータ 2010. 笹川スポーツ財団, 東京, 2011.

3 エンデューロレース中の運動強度とエネルギー消費量

形本静夫¹、中渴崇²、石原美彦²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに -背景と目的-

世界的に生活習慣病が問題となり、特に肥満に関してはその増加率が著しい。国際的な共同研究によれば、BMI25 以上を肥満と定義した場合、男性は 10 人に 1 人、女性は 7 人に 1 人が肥満であり、その数は、1980 年から約 20 年間で 2 倍まで増えたと推測されている。肥満をはじめ生活習慣病は、食事、睡眠、運動などの生活習慣が複合的に影響し合っていることが報告されているが、遺伝的要因を除けば、エネルギー出納バランスの不均衡が大きな要因である。これまでのところ、エネルギー摂取量の増加とエネルギー消費量の減少のどちらが問題なのか定かではないが、近年はエネルギー消費量を高めることに関心が集まっている。

ところで、1 日のエネルギー消費量 (TEE:Total Energy Expenditure) を推定する方法は、二重標識水法 (DLW)、ヒューマンカロリーメーター、加速度計法、心拍数法、アンケート法など多岐にわたる。これらの方法において、対象者への拘束性を限りなく排除し、かつ高い精度という観点で、DLW がゴールドスタンダードとされている。しかし、DLW 法はコストが高く、身体活動の種類や強度を判別することができないため、動的な身体活動中のエネルギー消費量 (EE:Energy Expenditure) を推定する場合は、心拍数法が用いられてきた。

心拍数法とは、酸素摂取量と心拍数に一定の比例関係が認められるため、事前に「酸素摂取量-心拍数」関係式を求め、実際の活動中に心拍数を得られた回帰式に代入することで、およそそのエネルギー消費量を推定する方法である。また、エネルギー消費量だけでなく、運動強度も測定することができることから、これまで、さまざまな活動時の心拍数、運動強度および活動中のエネルギー消費量が報告してきた。しかし、ウォーキング、ジョギングと並び人気が高まってきているサイクリング時の運動強度およびエネルギー消費量について報告しているものは大柄ら³⁾ の数例であり、実際のレース中のそれらについては明らかにされていない。

そこで本研究は、

1. 実験室における運動負荷試験により得られた心拍数-酸素摂取量関係式を求める
2. レース中に得られた心拍数を、心拍数-酸素摂取量関係に代入し、レース中のエネルギー消費量を推定する
3. また、レース中の心拍数から、運動負荷試験により得られた心拍数-運動強度関係式に代入し、レース中の運動強度を%最大酸素摂取量として相対的に評価することを目的とする。

測定方法

1) 対象者

32名のサイクリング愛好者とする（詳細は前述の有酸素性作業の章に記載）。

本研究を行うにあたり、事前にすべての対象者に対して研究の意義と内容、社会への貢献度、方法を十分説明し、同意を得た。また、本研究は順天堂大学倫理委員会にて承認されている。

2) 対象レース

対象レースは、2010年第7回もてぎ7時間エンデューロ（栃木県ツインリンクもてぎ）とした。出場種目は、4時間エンデューロであった。心拍数の測定は、携帯型心拍数計（CS400, Polar, Finland）を用い、5秒モードを採用し、レース前からレース終了まで連続的に測定した。対象者によりレース出場時間が異なるため、各対象者の走行中の心拍数のみを抽出し、すべての値を平均化したものをレース中の平均心拍数とした。

3) 心拍数-酸素摂取量関係式および運動負荷試験

対象者的心拍数-酸素摂取量関係を得るために自転車エルゴメータを用いた最大運動負荷試験を実施した。すべての負荷試験は、順天堂大学健康科学研究所（ハイテクリサーチセンター）で実施し、測定環境は室温20°C、湿度50%に保たれていた。

対象者は身長、体重を測定した後、恒温恒湿室にて少なくとも15分間の安静状態を保った。その後、疲労困憊（all-out）に至るまでの漸増最大運動負荷試験を実施した。測定プロトコルは、回転数60回転に規定し、初期負荷1.0kp（約60Watts）でウォーミングアップを2分行い、その後、毎分0.3kpずつ漸増させた。測定項目は、運動中の酸素摂取量、

心拍数、血中乳酸濃度を測定した。対象者 33 名が最大酸素摂取量の基準を満たした。(詳細は、「サイクリング愛好者の有酸素性作業能」に記載)

また、各対象者的心拍数—酸素摂取量関係は、1 分ごとに連続して得られた心拍数と酸素摂取量との関係を直線回帰することによって求めた。得られた心拍数—酸素摂取量関係にレース中の平均心拍数を代入することによって相対的運動強度(最大酸素摂取量にする割合)ならびにエネルギー消費量(kcal)を算出した。エネルギー消費量の計算にあたっては、運動中の呼吸交換比の平均値が 0.9、すなわち酸素 1Lあたり 4.924kcal の熱量に等しいとした。

研究結果

すべての測定数値は、平均値±標準偏差 (Mean±SD) で表した。
エネルギー消費量については、レース出場時間、走行距離の違いを補正するために、単位時間あたり、単位体重当たり、単位距離あたりの値として表した。

1) 有酸素性作業能

運動負荷試験により得られた男性 28名、女性 4名の最大酸素摂取量はそれぞれ 52.1 ± 7.3 , $46.5 \pm 4.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 185.4 ± 10.3 , 183.3 ± 8.7 拍/分であり、本研究の対象者は日本人の平均的な一般人¹⁾と比較して、高い有酸素性作業を持つ集団であった(詳細は有酸素性作業の章に記載)。

表1. 対象者の身体的特性および有酸素性作業能

項目	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最大酸素摂取量 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	最大心拍数 (拍/分)
男性(n=28)	45.5	171.7	64.8	52.1	185.4
女性(n=4)	38.0	154.7	48.0	46.5	183.3

2) レース時の運動強度およびエネルギー消費量

レース中の心拍数変動の一例を図 1 に示した。

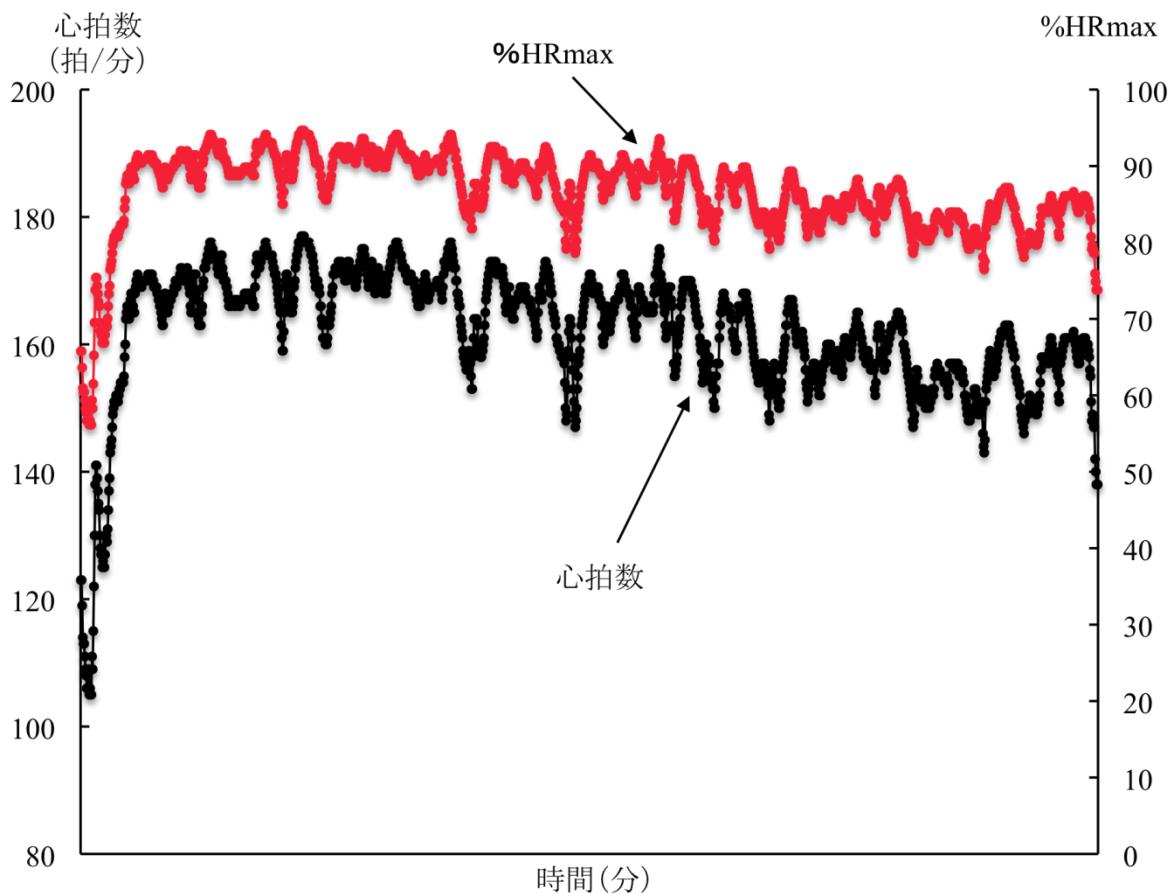


図1. レース中の心拍数の変化

表2に、レース時の運動強度および推定エネルギー消費量に関する各パラメーターを示す。レース中の心拍数の平均値は 166.4 ± 10.8 拍/分であり、運動負荷試験で得られた個人の最高心拍数の $90.0 \pm 4.6\%$ 、レース中の最高心拍数の $90.7 \pm 2.7\%$ であった。また、レース中の心拍数の平均値から推定された相対的運動強度は $87.6 \pm 7.4\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$ であった。また、対象者のレース中のエネルギー消費量の平均値は、 $13.2 \pm 1.6 \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $23.5 \pm 4.1 \text{kcal}/\text{km}$ 、 $0.37 \pm 0.05 \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ であった。

表2. レース中の各パラメーターおよびエネルギー消費量

項目	走行時間	速度	平均心拍数	%HRmax	% $\dot{V}_{O_2\text{max}}$	エネルギー消費量		
	(分)	(km/h)	(拍/分)	(%)	(%)	(kcal \cdot kg $^{-1}$ \cdot h $^{-1}$)	(kcal/km)	(kcal \cdot kg $^{-1}$ \cdot km $^{-1}$)
平均値	119.3	35.6	166.4	90.0	87.6	13.2	23.5	0.38
標準偏差	77.4	5.0	10.8	4.6	7.4	1.6	4.1	0.05

考察

1) 運動強度

本研究で得られたレース中の運動強度 ($90.0\pm4.6\% \text{HRmax}$ 、 $87.6\pm7.4\% \dot{V}_{\text{O}2\text{max}}$) は、アメリカスポーツ医学会²⁾などが推奨している運動強度 (50～70%HRmax、40～60% $\dot{V}_{\text{O}2\text{max}}$) と比較して高い値であった。またレース中の速度の点から運動強度を検討した場合、本研究のレース中の平均時速 35.6km は、Ainsworth ら¹⁾により作成された活動区分表に当てはめると約 12.0 メツツに相当し、時速 12.5km (分速 200m) のランニングと同等のメツツ強度であることからも運動強度が高いことが推察される⁴⁾。

2) エネルギー消費量

今回対象としたエンデューロはチーム出場も可能であるため、レース出場時間は 1 時間未満から最長 4 時間と個人差が大きいが、最もエネルギー消費量が高かった対象者は 4125kcal であった。歩行およびランニングの単位体重・距離あたりエネルギー消費量が 0.5、 $1.0 \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ であるが、エンデューロレースは $0.37\pm0.05 \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ と低い値であった。サイクリング運動は歩行およびランニングと比較して経済性の高いことが報告されているが、エンデューロレースにおいても同様であった。

本研究の意義および限界

本研究はサイクリング爱好者を対象に、これまで明らかにされていなかったエンデューロレース中のエ運動強度およびエネルギー消費量を明らかにした。レース出場時間が対象者により異なる点は無視できないが、4 時間エンデューロレースにおける総エネルギー消費量が最大 4125.5kcal であった点は栄養学的側面においても興味深い。本研究はレース当日および日常生活における食事栄養調査を実施していないため、エネルギー消費量に見合うカロリー補給が食事によってなされていたかどうかは不明であるが、この点は今後栄養学的調査と照らし合わせる必要があるだろう。

まとめ

1. 本研究はエンデューロレース中の運動強度およびエネルギー消費量を明らかにすることを目的とした。
2. 対象者は、千葉県佐倉市のサイクリングクラブに在籍する 18 歳から 63 歳までのサイクリング愛好者男女 32 名（男性 28 名、女性 4 名）であった。
3. 最大酸素摂取量は男性女性それぞれ 52.1 ± 7.3 , $46.5 \pm 4.8 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり、日本人の平均的な値と比較して高い集団であった。
4. レース中の平均心拍数は、運動負荷試験により得られた最高心拍数の $89.2 \pm 4.6\%$ 、レース中に得られた最高心拍数の $90.1 \pm 2.7\%$ であった。また、レース中の運動強度は $87.6 \pm 7.4\% V_{\text{O}_2\text{max}}$ に相当した。
5. レース中のエネルギー消費量はレース出場時間が対象者間でばらつきがあるが、最大 4125.5kcal 、相対値に補正すると $0.37 \pm 0.05 \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ であった。
6. 今後、栄養学的調査、エネルギー摂取量の観点からの分析も必要であろう。

文献

- 1) Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET mintensities. *Med Sci Sports Exerc* 32: S498 - 504, 2000.
- 2) アメリカスポーツ医学協会編（日本体力医学会体力科学編集委員会監訳）. 運動処方の指針 原著第 7 版, 南江堂, 東京, 2006.
- 3) 大柿哲郎, 堀田昇. 自転車路上走行時の酸素摂取量. 自転車による健康づくり III. 青木純一郎編, pp.54-71, 自転車普及協会, 東京, 1990.
- 4) 健康づくりのための運動指針 2006 ～身体活動・運動・体力～ 運動所要量・運動指針の策定検討会.

4 長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが日本人 サイクリング愛好者のエネルギー動態及び心筋マーカーに及ぼす影響

形本静夫^{1,2}, 尾崎隼朗², 村出真一朗², 柿木 亮², 中潟 崇², 吉原利典², 内藤久士^{1,2}

島田和典³、田村好史³

¹ 順天堂大学スポーツ健康科学部

² 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

³ 順天堂大学医学部

はじめに－背景と目的

サイクリングをはじめランニングや水泳といった持久性運動の定期的な実施が、日常身体機能の維持・改善や生活習慣病の予防のために複数の健康関連機関から推奨されている³⁾。しかし、サイクリング愛好者の中には、こうした健康・体力づくりの枠を超えて、自らの目標達成や競技レベルの向上のために、長時間耐久レースに参加する者も少なくない。これまで先行研究によって、長時間のサイクリングやランニングが選手のエネルギー動態や心筋マーカーの変化に大きな影響を与えることが示されている^{1,2,4)}。例えば Costill et al. (1970)は、良く鍛錬された長距離走者において、その走行距離とレース後の血中乳酸濃度は反比例の曲線関係にあることを示し¹⁾、また Mingels et al. (2010)は、ランニング愛好者を対象として、運動後的心筋トロポニン T の血漿濃度は走行距離と正の関係にあることを報告している²⁾。またサイクリング運動においても、Neumayr et al. (2005)は、良く鍛錬されたサイクリング愛好者を対象に、230km の長距離レース後にヒト脳性ナトリウム利尿ペプチド前駆体 N 端フラグメントの血漿濃度が 1128% 増加していたことを示している⁴⁾。しかし、サイクリング時間の違いがこうしたエネルギー動態や心筋マーカーの変化に与える影響を検討した研究はほとんどみられない。

そこで本研究では、長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが日本人サイク

リング愛好者のエネルギー動態及び心筋マーカーの変化に及ぼす影響を検討することを目的とした。

研究方法

A. 被験者

本研究は、18-63 歳のサイクリング愛好者の男女 28 名を対象に実施した。被験者は皆同一の長時間耐久レースに出場し、その走行時間により、1 時間以下の群(1H 群; n=7)、1-2 時間の群(2H 群; n=14)、4 時間以上の群(4H 群; n=7)の 3 群に分けられた。本研究はヘルシンキ宣言の精神に則って実施され、すべての対象者に研究目的、内容、リスクなどを十分に説明した後、口頭及び書面にて実験参加に対する同意を得た。また本研究は順天堂大学スポーツ健康科学研究科の倫理審査委員会の承認を得て実施された。

B. 測定

静脈血のサンプルは肘正中静脈からレース前(Pre)とレース終了直後(Post)に採取された。インスリン(Ins)、遊離脂肪酸(NEFA)、ヒト心臓由来脂肪酸結合蛋白(H-FABP)、ヒト脳性ナトリウム利尿ペプチド前駆体 N 端フラグメント(NT-proBNP)、心筋トロポニン T(cTnT)、クレアチンキナーゼ(CK)、CK-MB、ミオグロビン(Mb)、乳酸脱水素酵素(LD)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)、アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)、 γ -GTP の血清濃度の測定を SRL 社に依頼した。血中乳酸濃度(LA)及びグルコース濃度(Glu)は指先から血液を採取し、それぞれ評価した。

C. 統計処理

結果はすべて、平均値と標準誤差で示した。統計処理は 2 元配置分散分析を実施し、事後検定には Bonferroni の多重比較法を適用した。また 3 群間でのトレーニング前の基礎値の比較については、1 元配置分散分析を実施した。有意水準は p<0.05 とした。

研究結果

A. 被験者特性

本研究の被験者特性を表 1 に示した。各群における走行時間及び走行時間は、1H 群で $0:40 \pm 0:05$ 、 19.5 ± 2.5 km、2H 群で $1:27 \pm 0:04$ 、 50.2 ± 3.4 km、4H 群で $4:09 \pm 0:01$ 、 151.9 ± 2.9 km であった。

表 1. 被験者特性

	1 時間未満 (n = 7)	1-2 時間 (n = 14)	4 時間以上 (n = 7)	P Group
年齢 [yr]	43 ± 4	39 ± 3	49 ± 3	0.10
体重 [kg]	59 ± 4	64 ± 2	64 ± 2	0.48
身長 [m]	1.68 ± 0.04	1.70 ± 0.02	1.71 ± 0.04	0.79
走行時間	$0:40 \pm 0:05$	$1:27 \pm 0:04$	$4:09 \pm 0:01$	* # <0.0001
走行距離 [km]	19.5 ± 2.5	50.2 ± 3.4	151.9 ± 2.9	* # <0.0001

* p<0.001, vs. 1H; # p<0.001, vs. 2H

B. エネルギー動態

レース前のいずれの値においても、各群間で有意な差は見られず、またすべての値がレース後に有意に増加した。Post の LA は 2H 群(7.1 ± 0.8 mmol/l)が 1H 群(4.8 ± 0.8 mmol/l)及び 4H 群(2.3 ± 0.2 mmol/l)よりも高く、1H 群は 4H 群よりも有意に高かった。また、Post の NEFA は 4H 群(1433 ± 94 μ Eq/L)が 1H 群(243 ± 35 μ Eq/L)及び 2H 群(590 ± 76 μ Eq/L)よりも高く、2H 群は 1H 群よりも有意に高かった。Glu、Ins 及び TG では各群間に差は認められなかった。

C. 心筋マーカー

レース前のいずれの値においても、各群間で有意な差は見らなかつた。ALT、 γ -GTP 以外の値はすべてレース後に有意に上昇した。Post の cTnT と CPK-MB は 4H 群(0.073 ± 0.027 , 9.2 ± 1.9 ng/mL)で 1H 群(0.005 ± 0.002 , 4.3 ± 1.2 ng/mL)及び 2H 群(0.013 ± 0.002 , 5.4 ± 0.5 ng/mL)に比べて有意に上昇した。Post の NT-proBNP は 4H 群

(99±27 pg/mL)で 2H 群(51±16 pg/mL)よりも有意に高かった。Post の CK は 2H 群(140±12 U/L)及び 4H 群(206±18 U/L)において 1H 群(226±28 U/L)よりも有意に増加した。Mb、LD、AST、ALT、γ-GTP では各群間に差は認められなかった。

考察

本研究では、日本人サイクリング愛好者を対象に、長時間耐久レースにおけるサイクリング時間の違いが、エネルギー動態や心筋マーカーの運動後の変化に大きく影響を与えることが示唆された。

LA は 2 時間までのレースではレース後に有意に増加していたものの、4 時間を超えるレースにおいてはレース前後で変化は認められなかった。また有意な差ではなかったものの、レース後の Ins は、4H 群で 1H 群や 2H 群の半分程度までしか上昇を示さなかった。Costill (1970)も同様に長時間に渡るランニングのレースでは LA の上昇率が低下することを示している¹⁾。一方で、レース後の NEFA は 4H 群で 1H 群の約 6 倍、2H 群の約 2.5 倍にまで上昇し、4 時間を超えるような長時間耐久レースでは 2 時間程度のレースと比べ脂質の利用が急激に上昇することが明らかとなった。また H-FABA は心臓での NEFA の細胞輸送を司り、心筋細胞へのエネルギー供給に重要な働きを担っているが、これも時間の経過とともに上昇傾向にあり (Interaction: p=0.05)、サイクリング運動時に長時間酷使される下肢を中心とした活動筋のみではなく、心筋のエネルギー利用もサイクリング時間の違いによって大きく影響を受けている可能性が示唆された。

また 4 時間を超える耐久レース後には、cTnT や CPK-MB、NT-proBNP といった心筋マーカーが 2 時間程度までのレースに比べて大きく上昇していた。4H 群のレース後の NT-proBNP や CPK-MB は 1H・2H 群の約 2 倍、cTnT に至っては、2H 群の約 6 倍、1H 群の約 15 倍にまで上昇していた。また CK や Mb も時間の経過とともに増加傾向にあり、心筋のみならず活動筋へのストレスも当然増加していることが示唆された。同様に Neumayr et al. (2005)も長時間のサイクリングレース後に NT-proBNP や cTnT が大きく上昇したことを示している⁴⁾。しかし一方で、その上昇は 24 時間後には低下していたこと

から、こうした一過性の上昇は心損傷というよりは心疲労を反映していると指摘しており、本研究でも同様の意味を有すると推測される。一方で、肝臓関連の生化学的マーカーには

表2. 長時間サイクリング運動に伴うエネルギー動態の変化

	1時間未満 (n=7)		1-2時間 (n=14)		4時間以上 (n=7)		P		
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	Group	Time	Interaction
LA [mmol/l]	2.2±0.4	4.8±0.8	†	1.4±0.1	7.1±0.8	††‡	2.0±0.2	2.3±0.2	‡#
Glu [mg/dl]	104±6	136±7		113±4	148±9		119±12	124±16	
Ins [μIU/ml]	7.30±1.33	18.11±5.20		7.54±1.09	21.28±3.33		4.74±0.72	10.35±2.77	
NEFA [μEq/ml]	361±81	243±35		389±53	590±76	†‡‡	317±54	1433±94	††*#
TG [mg/ml]	70±12	97±14		106±18	162±37		61±5	66±8	

†P<0.05, ††p<0.001, vs. Pre; ‡P<0.05, ‡‡p<0.01, * p<0.001, vs. 1H; # p<0.001, vs. 2H

表 3. 長時間サイクリング運動に伴う損傷マーカーの変化

	1 時間未満 (n = 7)		1-2 時間 (n = 14)		4 時間以上 (n = 7)		P		
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	Group	Time	Interaction
H-FABP [ng/ml]	2.4±0.2	5.2±2.2	2.2±0.2	8.0±1.4	2.5±0.2	12.9±2.8	0.07	<0.0001	0.05
NT-proBNP [pg/ml]	21±4	51±16	17±5	40±10	†	27±9	99±27	†† §§	0.11 <0.0001 <0.05
cTnT [ng/mL]	0.003±0.000	0.005±0.002	0.003±0.000	0.013±0.002	0.004±0.001	0.073±0.027	†† * #	<0.01	<0.01 <0.01
CPK-MB [ng/ml]	3.2±0.7	4.3±1.2	4.0±0.4	5.4±0.5	3.4±0.5	9.2±1.9	†† §§	0.11	<0.0001 <0.01
CK [U/L]	103±10	140±12	148±14	206±18	†† #	123±14	226±28	†† #	0.06 <0.0001 <0.05
Mb [ng/ml]	37±3	79±17	50±4	174±30	49±5	214±27	<0.05	<0.0001	0.05
LD [U/L]	172±7	192±10	171±5	201±8	184±19	214±21	0.56	<0.0001	0.65
AST [U/L]	23±2	25±2	24±2	26±2	29±7	32±7	0.42	<0.001	0.74
ALT [U/L]	19±2	19±2	23±3	24±3	25±8	26±8	0.62	0.10	0.33
γ-GTP [U/L]	30±7	31±9	31±6	34±7	36±11	37±11	0.91	0.07	0.42

† P<0.05, †† p<0.001, vs. Pre; ‡ p<0.01, * p<0.001, vs. 1H; §§ p<0.01, # p<0.001, vs. 2H

ほとんど変化は認められず、4 時間を超える長時間運動においても、肝機能はさほど影響を受けないことが推測された。

以上のように、本研究では、日本人サイクリング愛好者を対象として、4 時間を超えるような長時間耐久レースにおいては、2 時間程度までのレースと比較して、活動筋のみならず、心筋においても脂質利用を増大させ、より大きなストレスを与える可能性が示唆された。

まとめ

本研究では、サイクリング時間の違いが日本人サイクリング愛好者のエネルギー動態及び心筋マーカーの変化に及ぼす影響を検討した。

- 1) 4 時間を超える運動ではレース前後に LA に変化は見らなかつた一方で、2 時間程度までの運動と比較して、NEFA が大きく上昇していた。
- 2) また肝臓関連の生化学的マーカーはレースの前後でほとんど変化しなかつた一方で、cTnT や NT-proBNP、CPK-MB、Mb、CK などの心筋や骨格筋のストレスマーカーは 4 時間を超える耐久レース後に大きく増加していた。

以上のことから、本研究では、日本人サイクリング愛好者を対象として、4 時間を超えるような長時間耐久レースにおいては、2 時間程度までのレースと比較して、活動筋のみならず、心筋においても脂質利用を増大させ、またより大きなストレスを与える可能性が示唆された。

文献

- 1) Costill DL. Metabolic responses during distance running. J Appl Physiol 28: 251-255, 1970.
- 2) Mingels AM, Jacobs LH, Kleijnen VW, Laufer EM, Winkens B, Hofstra L, Wodzig WK, Dieijken-Visser MP. Cardiac troponin T elevations, using highly sensitive assay, in recreational running depend on running distance. Clin Res Cardiol 99: 385-391,

2010.

- 3) Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, Macera CA, Castaneda-Sceppa C; American College of Sports Medicine; American Heart Association. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 116: 1094-1105, 2007.
- 4) Neumayr G, Pfister R, Mitterbauer G, Eibl G, Hoertnagl H. Effect of competitive marathon cycling on plasma N-terminal pro-brain natriuretic peptide and cardiac troponin T in healthy recreational cyclists. *Am J Cardiol* 96: 732-735, 2005.

5 長時間サイクリングが血清熱ショックタンパク質に及ぼす影響

内藤久士^{1,2}、柿木亮²、吉原利典²、形本静夫^{1,2}

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに—背景と目的

生体は、様々な外部環境の変化すなわちストレスにさらされているが、これに対して内部環境の恒常性を維持するために様々な機構を備えている⁵⁾。すなわち、細胞が様々なストレスに対して速やかにある種の蛋白質を合成し、細胞自身の恒常性を維持する仕組みがある。この蛋白質の一つとして、熱ショック蛋白質（HSP）が知られている⁴⁾。この HSP は、身体運動によって組織内に誘導されることが多くの研究で示されている⁶⁾⁷⁾。これまで、ヒトを対象に、身体運動を行わせると、組織中の HSP72 に先だって血中 HSP72 濃度が増加することが報告されており¹⁰⁾、この血中 HSP72 濃度の増加は、免疫システムの調節に重要な役割を持つと考えられている¹⁾。しかしながら、長時間サイクリングが、免疫システムの調節機構の一つとして考えられる血中の HSP72 濃度にどのような影響をもたらすかについては、明らかではない。

そこで本研究では、被験者に長時間サイクリングを行わせ、走行前後の血清熱ショック蛋白質を測定するとともに、身体的作業負荷と血清熱ショックタンパク質との関連性について検討を加えた。

研究方法

(1) 被験者

被験者には、一般男性サイクリスト 25 名を用いた。彼らは、普段から規則的なサイクリングを行っており、第 7 回もてぎ 4 時間エンデューロに参加予定の者であった。また、彼らは、順天堂大学ハイテクリサーチセンター内にて自転車エルゴメータによる漸増負荷運動を行い、運動中の心拍数—酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) 関係式が求められていた者であった。測定にあたっては、各被験者にその趣旨および概要を説明するとともに、自由意志によりいつでも測定を辞退できることを理解させた上で、参加の同意を得た。彼らの年齢、身長、

体重および自転車エルゴメータ運動による最大酸素摂取量、最大心拍数を表 1 に示した。

表 1. 被験者の身体特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最大酸素摂取量 (ml/kg・分)	最高心拍数 (拍/分)
平均	42.7	171.8	65.3	51.3	185.2
SD	11.7	4.9	7.1	7.4	10.6

(2) 実験手続き

各被験者は、測定前日から測定までの少なくとも 8 時間は、飲食を避け上で、ツインリンクもてぎ（栃木県）に集まり、走行前に HSP72 応答のための採血を受けた。血液は、被験者の前腕正中静脈より血清分離剤入りの真空採血管に採取した。

採血後、被験者は、各自ウォーミングアップを行い、各自の自転車を使用して第 7 回もてぎ 4 時間エンデューロのレースに出場した。その際、被験者の胸部には携帯型心拍計 (CS400、Polar 社製) を取り付け、レース中の走行時間および心拍数を記録した。心拍数—酸素摂取量関係式から運動中の酸素摂取量を推定し、相対運動強度の評価として % $\dot{V}o_{2\text{max}}$ で表した。なお、被験者は、個人戦あるいはチーム戦のいずれかに出場したため、走行時間および走行距離は、個人によって異なり、走行時間の最大は 4 時間であった。レース中の気温はおよそ 16.3°C であり、天候は曇りであった。各被験者は、レースが終了したところで、再度採血を行った。

採取された血液は、30 分間の静置後、毎分 3000rpm で遠心分離し、血清を分析まで凍結保存した。血中 HSP72 濃度は、凍結保存した血清を用いて、HSP70 ELISA (EKS-715、Assay-Designs-Stressgen, MI, USA) キットを用いて取扱説明書に従って分析した。

(3) 統計処理

得られた値は、平均値±標準偏差で示した。また、走行前後の比較には、Student の対応のある t-test を用いて検定した。有意水準は、p<0.05 に設定した。

研究結果

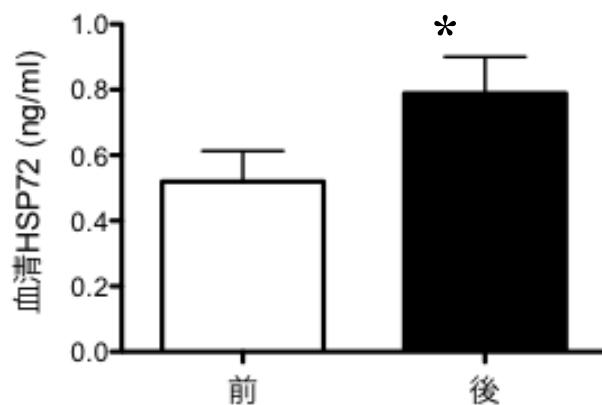
各被験者が、エンデューロのレースを行った際の平均走行時間、平均走行距離、平均心

拍数および相対運動強度を表 2 に示した。平均走行時間、平均走行距離、平均心拍数および相対運動強度の平均値±標準偏差は、それぞれ 121.2 ± 74.9 分、 73.4 ± 48.4 km、 165.9 ± 11.7 拍/分および 87.6 ± 8.0 % $\dot{V}o_{2\text{max}}$ であった。

表 2. 走行中の運動強度

	平均走行時間 (分)	平均走行距離 (km)	平均心拍数 (拍/分)	相対運動強度 (% $\dot{V}o_{2\text{max}}$)
平均	121.2	73.4	165.9	87.6
SD	74.9	48.4	11.7	8.0

走行前後における血清 HSP72 濃度を図 1 に示した。血清 HSP72 濃度は、走行により有意に血清 HSP72 濃度が増加した ($0.52 \pm 0.47 \rightarrow 0.79 \pm 0.55$ ng/ml、 $p < 0.05$)。



* $p < 0.05$

図 1. 自転車走行前後の HSP72 濃度

走行中の平均心拍数と走行前後の血清 HSP72 濃度の変化分との関係を図 2 に示した。走行中の平均心拍数と血清 HSP72 濃度の変化との間に、正の相関関係 ($r=0.547$ 、 $p < 0.05$) が示された。

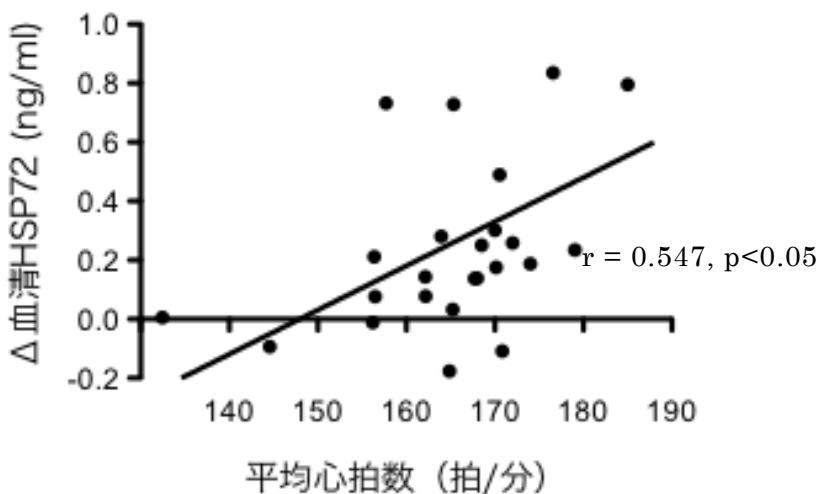


図 2. 走行中の平均心拍数と血清 HSP72 濃度の変化量の関係

考察

本研究は、長時間サイクリングが血清 HSP72 に及ぼす影響を検討した。その結果、サイクリング運動は、サイクリング愛好者の血清 HSP72 を増加させることが明らかとなつた。その増加には、走行中の平均心拍数と関連があることも示された。

本研究において一般男性サイクリストの安静時の血清 HSP72 濃度は、 $0.52 \pm 0.47 \text{ ng/ml}$ であった。この値は、先行研究⁷⁾において、定期的な運動を行っていない白人若年男性 4 名の血清 HSP72 濃度 ($0.13 \pm 0.10 \text{ ng/ml}$) と比して、高値であった。一方、Dulin ら²⁾は、中高齢者 (40-60 歳) の血清 HSP72 濃度を検討したところ、平均して 1.26 ng/ml であったことを報告している。本研究では、中高齢者のサイクリング愛好者が多く含まれていたことから、安静時の血清 HSP72 濃度は、Walsh ら⁷⁾が報告した値より高かった可能性が考えられるが、Dulin ら²⁾が報告している値よりは低かった。本研究では、運動を行っていない一般人との比較を行っていないので、安静時の血清 HSP72 の値が、日常的なスポーツサイクリングを行っている結果であるのかについては明らかには出来なかったが、血清 HSP72 濃度が低いということは、免疫系にストレスが少なく、普段の定期的な運動を通して健康な状態を維持していることを示しているかもしれない。

また、Pockley ら⁵⁾は、健康でストレスを受けていない男性被験者における HSP72 濃度を定量したところ、血清中の HSP72 濃度は大きな分散を持っていることを報告している。本研究においても、安静時の血清 HSP72 濃度の値には分散が大きいことが示された。し

たがって、安静時の HSP72 濃度は、年齢や生活習慣など様々な要因に影響を受けることから、安静時の個人差の比較は慎重に行わなければならないことが示唆される。

本研究では、走行中の相対運動強度が平均して $87.6\% \dot{V}o_{2\text{max}}$ であったことから、高強度の持久的運動であったと考えられる。これまで、持久的運動は、ヒトの血清 HSP72 を増加させることが知られている³⁾⁷⁾。Walsh ら⁷⁾は、 $70\% \dot{V}o_{2\text{max}}$ の強度でトレッドミルランニングを行ったところ、運動後に血清の HSP72 濃度を増加させた。また、Febbraio ら³⁾もまた、 $50\% \dot{V}o_{2\text{max}}$ の強度での下半身のサイクル運動によって、血清 HSP72 濃度を増加させることを報告している。本研究では、先行研究³⁾⁷⁾とは異なり一定負荷の運動ではなかったが、先行研究と同様に運動後に血清 HSP72 濃度が増加した。したがって、本研究における実走レースの自転車運動は、血清 HSP72 の増加をもたらし、免疫システムを亢進させることが示唆された。

また、Suzuki ら⁶⁾は、アイロンマラソン（水泳: 3.8 km、自転車: 180 km、ランニング: 42.2 km）に参加した白人男性においてレース後の血中 HSP72 濃度を検討したところ、安静時の 22 倍まで増加したことを報告した。また、Walsh らも、1 時間のトレッドミルランニングを 1 時間行うことで、血清 HSP72 濃度が安静時のおよそ 10 倍に増加したことを報告している。この大きな増加は、ランニング運動中の脚への伸張性運動による筋損傷に起因していると考えられる。筋損傷が生じると、その修復のために HSP72 は誘導されることが知られている⁴⁾ので、長時間のランニング中にこのような筋損傷により HSP72 の大きな増加が生じたと考えられる。一方、本研究では、安静時のわずか 1.5 倍に増加したのみである。自転車運動は、伸張性収縮は含まれていないため筋の損傷が生じにくい運動であることから、血清 HSP72 濃度の増加が少なかったと考えられる。おそらく長時間のサイクリングによる HSP72 の増加は、主に運動中の体温の増加や筋グリコーゲンの枯渇あるいは酸化ストレスによってもたらされる可能性が考えられる。

興味深いことに、本研究では、走行中の平均心拍数と HSP72 増加量との間に正の相関関係が示された。その関係性について説明することは困難であるが、心拍数の増加による酸素の供給量の増加が、HSP72 の増加をもたらしているかもしれない。運動中、組織の酸素需要は高まるが、それにより活性酸素種が産生され、組織内の酸化ストレスが生じる。酸化ストレスは、HSP を誘導させる因子として知られているため、組織内の酸化ストレスが引き金となって、血清 HSP72 を増加させたかもしれない。また、一定負荷運動中の心拍数の増加は、体温の上昇によってさらに上昇することも知られている。我々は、運動に

伴う血清 HSP72 の上昇には、同時に体温上昇が必須条件であることを動物を用いた研究で明らかにしている⁷⁾。したがって、走行中の平均心拍数の増加は、体温の上昇によってもたらされ、その結果血清 HSP72 が増加したために、平均心拍数と血清 HSP72 増加との間に関連が見られた可能性も考えられる。しかしながら、本研究では、運動前後の酸化ストレスのマーカーや体温について検討を行っていないので、今後は運動前後の酸化ストレスや体温と血清 HSP72 との関係を明らかにする必要が考えられる。これらのことを見ることで、自転車運動によって増加する HSP72 を運動ストレスの指標として、運動中の運動強度の設定などに用いることができるかもしれない。

結論

相対運動強度が 87.6 % $\dot{V}\text{O}_{\text{max}}$ である長時間の自転車運動は、血清 HSP72 濃度を増加させる。

文献

- 1) Asea A. Stress proteins and initiation of immune response: chaperokine activity of HSP72. *Exerc Immunol Rev* 11: 34-45, 2005.
- 2) Dulin E, Barreno PG, Guisasola MC. Extracellular heat shock protein 70 (HSPA1A) and classical vascular risk factors in a general population. *Cell Stress Chaperones* 15: 929-937, 2010.
- 3) Febbraio MA, Ott P, Nielsen HB, Steensberg A, Keller C, Krstrup P, Secher NH, Pedersen BK. Exercise induces hepatic release of heat shock protein 72 in humans. *J Physiol* 544: 957-962, 2002.
- 4) Locke M. The cellular stress response to exercise: role of stress proteins. *Exerc Sport Sci Rev* 25: 105-1036, 1997.
- 5) 内藤久士、小倉裕司. 細胞レベルでのストレス応答-ストレスタンパク質の発現と機能-. 体力科学 53: 455-460, 2004.
- 6) Naito H, Powers SK, Demirel HA, Aoki J. Exercise training increases heat shock protein in skeletal muscles of old rats. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 729-734, 2001.
- 7) Ogura Y, Naito H, Akin S, Ichinoseki-Sekine N, Kurosaka M, Kakigi R, Sugiura T, Powers SK, Katamoto S, Demirel HA. Elevation of body temperature is an essential factor for exercise-increased extracellular heat shock protein 72 level in rat plasma. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*

294: R1600-7, 2008.

- 8) Pockley AG, Shepherd J, Corton JM. Detection of heat shock protein 70 (HSP70) and anti-HSP70 antibodies in the serum of normal individuals. *Immnol Invest* 27: 367-377, 1998.
- 9) Suzuki K, Peake J, Nosaka K, Okutsu M, Abbiss CR, Surriano R, Bishop D, Quod MJ, Lee H, Martin DT, Laursen PB. Changes in markers of muscle damage, inflammation and HSP70 after an Ironman triathlon race. *Eur J Appl Physiol* 98: 525-534, 2006.
- 10) Walsh RC, Koukoulas I, Garnham A, Moseley PL, Hargreaves M, Febbraio MA. Exercise increases serum Hsp72 in humans. *Cell Stress Chaperones* 6: 386-393, 2001.

6 エンデューロ時の運動強度およびエネルギー消費量 －競技選手の場合－

形本静夫^{1,2}、村出真一朗²、尾崎隼朗²、中瀬崇²

¹ 順天堂大学スポーツ健康科学部

² 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに—背景と目的

近年、環境に優しい交通手段として自転車が注目され、サイクリングを健康・体力づくりの手段として活用する人々が多く見られるようになってきた。また、これらのサイクリング愛好者を対象としたオンロードレースも多数開催されるようになり、中には5,000人を超える参加者が1日のうちにエントリーを完了するレースも存在する。しかし、自転車を利用した健康・体力づくりのために利用しうるデータは少なく、サイクリング愛好者がこのようなレースに参加したときの生体負担に関する資料はほとんど見られないのが現状である。そこで、我々は、自転車による健康・体力づくりに関するエビデンスの蓄積を意図して、このようなサイクリングブームを背景に、サイクリング愛好者を対象としたエンデューロレース時の生理・生化学的測定を通して生体負担度の評価を試みた結果を基に、同様なエンデューロレースにトレーニングされた競技サイクリストが出場した場合の生理生化学的応答を調査・比較し、自転車の健康・体力づくりにおける意義を追究した。

研究方法

1 被験者

被験者は、スポーツ系学部の自転車競技部に所属する男子大学生5名と大学院生1名の計6名であった。彼らは、いずれも自転車競技選手として全国レベルの大会への出場経験を持ち、大学院生は全国都道府県対抗選手権大会において優勝経験を有する者であった。また、いずれの被験者も平均して週6日の中・長距離のトレーニング経験を5年以上持ち、参加するエンデューロレースに対して、十分な適応能力を持つ者であると考えられた。彼らの年齢、身長、体重、および自転車エルゴメータによって測定した有酸素能力（最大酸素摂取量； $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）は、表1に示す通りであった。

表1 被験者の身体的特性および最大酸素摂取量

被験者	チーム	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	HRmax (beat/min)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)
1	a	25	174	62.0	194	67.4
2	a	19	183	72.0	193	57.4
3	b	18	174	63.2	186	61.2
4	b	20	168	62.0	193	65.7
5	c	18	176	68.2	186	63.6
6	c	18	178	69.9	175	60.8
平均値		19.7	175.5	66.2	187.8	62.7
標準偏差		2.7	5.0	4.4	7.3	3.6

2 測定方法

1) 対象としたエンデューロレース

対象としたレースは、千葉県袖ヶ浦市にある 1 周 2.4km の自動車レース場で行われた 4 時間エンデューロレースであった。6 名の被験者は 2 名一組となり、2 時間ずつ交代で走行した。このレースには、合計 462 チームが参加して行われた。参加した 3 チームの成績は、A チーム 3 位、B チーム 1 位、C チーム 2 位であった。

2) レース時の生体負担度の測定

レース時の運動強度およびエネルギー消費量の評価は、心拍数 (HR) を測定することによって行った。心拍数の測定は、Polar 社の CS400 心拍計を用いて行った。測定間隔 15 秒とした。運動強度とエネルギー消費量の評価は、得られた心拍数を後述の最大運動負荷テストによって得られた心拍数 - 酸素摂取量関係式に代入することによって行った。また、エネルギー消費量の評価にあたっては、酸素 1 ℥ は、4.924 kcal の熱量に相当するものとした。

なお、レースの前後には耳朶より採取した微量の血液を用いて、血中乳酸濃度と血糖値の評価を行った。

3) 最大運動負荷テスト

各被験者のレース時の運動強度およびエネルギー消費量を評価するために必要な心拍数 - 酸素摂取量関係式の作成および最大酸素摂取量測定のために、自転車エルゴメー

タ（POWERMAX VII、コンビ社製）による最大運動負荷テストを実施した。

各被験者は、身長と体重の測定を受け、心拍数測定のための電極の装着を受けた後、自転車エルゴメータに乗り、サドル高を各自の高さに調整した。その後、呼吸代謝測定のための採気用マスクの装着を受けたのち、毎分 60 回転のペダリング回転数で、随意的な疲労困憊に至るまで自転車エルゴメータをこぎ続けた。自転車エルゴメータの初期負荷は 90W（ワット）とし、この負荷で 2 分間ペダリングしたのち、1 分ごとに 18W ずつ仕事率の漸増を受けながら、疲労困憊に至るまでペダリングを行った。ペダリング回転数は、電子メトロノームによるスピーカー音によって規定した。

運動中の酸素摂取量は、自動呼吸代謝測定装置（AE300-S、ミナト医科学社製）を用いて 30 秒ごとに連続して測定した。最大酸素摂取量は、30 秒ごとに測定された酸素摂取量の最大値としたが、最大酸素摂取量の判定基準である、1)酸素摂取量に levelling-off が見られる、2)呼吸交換比が 1.10 以上に達する、3)心拍数が年齢相当の最高値・10 拍/分以上に達する、の 3 項目のうち、少なくとも 2 つ以上を満足するものとした。各被験者が示した酸素摂取量の最大値は、すべてが 2 つ以上の判定基準を満たすものであった。なお、自動呼吸代謝測定装置内の酸素分析計および二酸化炭素分析計は、各測定の直前に、市販のボンベから既知濃度の酸素および二酸化炭素が入った標準ガスを導いて較正した。

また、運動中の心拍数は胸部双極導出による心電位を自動呼吸代謝測定装置に導いて計測するとともに、Polar の CS400 心拍数計を用いてモニターすることによって 30 秒ごとに計測した。

測定はすべて、室温 20°C、相対湿度 50%にセットされた恒温恒室内において行われた。

研究結果と考察

1. 乳酸と血糖

レース開始前および終了後に測定した乳酸値と血糖値を表 2 に示した。レース前後で血糖値に変化は見られなかったものの、乳酸値はレース後に有意に上昇した ($p < 0.05$)。しかし被験者 2 を除いた 5 名ではその上昇は OBLA レベル (4 mmol/l) 以下であり、それほど大きな上昇ではなかった。一方、被験者 2 は 6 名の中で VO_{2max} が 60ml/kg/min を唯一下回っており、同一のレースであるにもかかわらず、相対的な有酸素能が低いために乳酸値が飛び抜けて高い値を示したものと推測される。

表2 試合前と試合後の乳酸値および血糖値

被験者	チーム	乳酸(前) (mmol/L)	乳酸(後) (mmol/L)	血糖(前) (mg/dl)	血糖(後) (mg/dl)
1	a	1.4	3.7	118	113
2	a	1.2	10.3	103	121
3	b	1.4	3.9	109	125
4	b	1.1	4.0	98	135
5	c	1.6	3.6	114	121
6	c	2.0	3.5	111	99
平均値		1.5	4.8*	108.8	119.0
標準偏差		0.3	2.7	7.3	12.1

* p < 0.05

2.エネルギー消費

レース中に記録したデータを平均値として表 3 に示した。また、同様のエンデューロレースに出場したサイクリング愛好者 32 名のレース中の呼吸循環応答を表 4 にまとめた。

本研究における競技サイクリストの平均心拍数（平均 HR）と最大酸素摂取量に対する%VO_{2max} はそれぞれ 170.0±4.2beat/min と 84.7±7.1%となり、同様なエンデューロレースに参加したサイクリング愛好者の値と差は大きくなかった。さらに、被験者の体重 1kg を 1km 進めるのに必要なエネルギー消費量は競技者で 0.39±0.03kcal/kg/km となりサイクリング愛好者の値と同程度であったことは、競技者と一般競技者のエネルギー消費の根本的な代謝レベルには違いは無いことを示唆している。しかし試合中の平均速度は、サイクリング愛好者において 36.2±5.0km/h であったのに対して、競技サイクリストでは 40.5±0.6km/h となり、競技サイクリストの走行時平均速度は非常に速いことが言える。これは、同じ距離を進むのに消費するエネルギーはサイクリング愛好者と競技サイクリストに差は見られないにも関わらず、絶対的なスピードが大きく異なっていることを示唆している。したがって、サイクリング愛好者と競技サイクリストのパフォーマンスの差の背景には、等エネルギー消費に対する効率が大きく影響していることが十分考えられ、ペダリングスキルやポジションによる効率変化など運動学的要因が大きく関与している可能性が推察される。しかし、本研究における結果からはパフォーマンスに影響を与える要因について明らかにすることはできなかったことから、今後サイクリング愛好者と競技サイクリストにおけるパフォーマンスに及ぼす要因について更なる検討が必要とされる。

本研究における被験者の消費エネルギーの平均値は 2070.7±185.3kcal となった。レース時間は 2 時間であったことから 1 時間あたりの消費エネルギーは約 1000kcal となる。

また、%VO₂max が 84.7±7.1% 及ぶことから高強度運動であることが分かる。高強度の持久的運動は筋グリコーゲンを減少させることがよく知られており²⁾、一般的に人がからだ全体のグリコーゲンから得られるエネルギーは約 1500kcal¹⁾であることから、高強度の持続的な持続運動が 2 時間の本レースにおいて、からだ全体に蓄えているグリコーゲンだけではエネルギー消費をまかなえない計算となる。エンデューロには 5 時間や 7 時間のカテゴリーもあることから、ソロで参加するサイクリストにとってはレース中のエネルギー補給が必要不可欠であることを示唆している。現に自転車が盛んなヨーロッパのプロロードレースの現場でも選手は走りながら飲食をしている様子を多々見ることができる。この結果は、消費エネルギーが同程度であった、サイクリング愛好者においても、長時間のレースを走るためにエネルギーの補給が重要であることが示唆される。

表3 平均値一覧(競技サイクリスト)

被験者	チーム	平均速度 (km/時)	平均HR (beat/min)	最大HR (beat/min)	. % VO ₂ max	エネルギー消費 量 (kcal)	エネルギー消 費量 (kcal/kg/km)
1	a	40.1	174	194	81.5	2012	0.40
2	a	40.1	173	195	85.2	2079	0.36
3	b	40.1	174	188	88.3	2017	0.40
4	b	41.4	167	183	79.1	1903	0.37
5	c	41.1	164	184	77.3	1982	0.35
6	c	40.1	168	187	96.7	2431	0.43
平均値		40.5	170.0	188.5	84.7	2070.7	0.39
標準偏差		0.6	4.2	5.0	7.1	185.3	0.03

表4 平均値一覧(一般サイクリスト)

n=32	平均速度 (km/時)	運動時間 (時)	平均HR (beat/min)	最大HR (beat/min)	. % VO ₂ max	エネルギー消費量 (kcal/kg/km)
平均値	36.2	2.0	164.5	182.6	87.1	0.36
標準偏差	5.0	1.3	10.8	9.9	7.4	0.08

まとめ

本研究では、レース前後の血糖値に変化は見られなかったものの、乳酸値はレース後に有意に上昇した。

本研究対象のエンデューロレースにおける競技サイクリストの運動強度および被験者の体重 1kg を 1km 進めるのに必要なエネルギー消費量はサイクリング愛好者の値と

差は見られなかった。しかし、走行スピードの差が大きく、等エネルギー消費に対するスピードの差がパフォーマンスに果たす影響は大きいと示唆される。また、レース中のエネルギー消費は莫大であり、長時間の運動を持続するためにはレース中のエネルギー補給が重要といえる。

文献

- 1). 勝田茂. 入門運動生理学, 第 2 版, 杏林書店, 東京, 3-4, 1997.
- 2). Karp JR, Johnston JD, Tecklenburg S, Mickleborough TD, Fly AD, Stager JM. Chocolate milk as a post-exercise recovery aid. Int J Sport Nutr Exerc Metab 16: 78-91, 2006.

7 ツーリング時の運動強度およびエネルギー消費量

形本静夫^{1,2}、村出真一朗²、中瀧 崇²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに—背景と目的

近年、自転車は環境に優しい輸送手段として社会の注目を浴びるとともに、健康・体力づくりの優れたツールとして、老若男女を問わず、多くの人々が楽しめる気軽なスポーツとの認識が高まり、週末にサイクリングを楽しむ姿が多数見られるようになってきた。平日も、「ジテ通」と称して、健康・体力づくりを兼ねて、自転車で通勤する人も見られるようになり、都内にはそのような人々のために、ロッカールームとシャワー室を備えた自転車預かり所が開設されるようになってきている。しかし、自転車に乗ることが私たちの身体諸機能にいかなる影響を及ぼしているのかについては、ほとんど利用しうるデータがないのが実情である。また、実際のサイクリングのエネルギーコストについても利用しうるエビデンスの蓄積がなされてきていない。

そこで、著者等はサイクリングが身体諸機能に及ぼす影響に関するデータの集積を意図して、ツアーサイクリング時の運動強度とエネルギー消費の測定を実施し、サイクリングに関するエビデンスの蓄積を試みた。

研究方法

1 被験者

被験者は、地域のサイクリングクラブに所属して、週に 3~5 日前後サイクリングを楽しんでいる愛好者男子 4 名、女子 2 名の計 6 名であった。彼らの性別、年齢、身長、体重、および有酸素能力（最大酸素摂取量）は、表 1 に示す通りであった。

表1 被験者の身体的特性および最大酸素摂取量ならびに最高心拍数

被験者	性	年齢	身長	体重	最大酸素摂取量	最高心拍数
		歳	cm	kg	ml・kg ⁻¹ ・分 ⁻¹	拍/分
1	男	35	164.5	58.4	55.7	193
2	男	46	176.5	68.5	45.8	187
3	男	49	167.5	61.0	58.2	192
4	男	63	173.2	69.0	58.4	156
5	女	30	158.5	48.4	46.1	191
6	女	36	151.5	42.0	47.2	187
平均		43	165.3	57.9	51.9	184
標準偏差		12	9.3	10.8	6.2	14

2 測定方法

1) ツアーサイクリング

ツアーサイクリングは、千葉県千葉市内から同県天津小湊往復の計 km であった。往路は全員が同じ時刻に出発し、互いに離れることはなく、同じ時刻に目的地に到着した。しかし、往路は、出発は同時刻であったが、疲労のためかバラバラになることが多く、待ちを繰り返しながら進むことが多く、最終到着には最大 20 分ほどの違いがあった。

なお、被験者が使用した自転車は、いずれはロード用自転車であった。

2) サイクリング時の心拍数の測定

サイクリング時の心拍数の測定は、Polar 社の CS400 心拍計を用いて行った。測定間隔 15 秒とした。

目的地の天津小湊で全員昼食をとったが、そのときの心拍数は、自転車に取り付けた受信機との距離が測定可能範囲外になつたため、記録することができなかつた。

3) 最大運動負荷テスト

各被験者のサイクリング時の運動強度およびエネルギー消費量を評価するために必要な心拍数-酸素摂取量関係の作成および最大酸素摂取量測定のために、自転車エルゴメータ (Powermax V II、コンビ社製) による最大運動負荷テストを実施した。

各被験者は、身長と体重の測定を受けたのち、心拍数測定のための電極の装着を受けた。その後、自転車エルゴメータに乗り、サドル高の調整を受けたのち、ガス交換指標測定の

ための採氣用マスクの装着を受け、毎分 60 回転にセットされた電子メトロノームのリズムに合わせて、随意的な疲労困憊に至るまで自転車エルゴメータをこぎ続けた。自転車エルゴメータの初期負荷は 90W（ワット）とし、この負荷で 2 分間ペダリングしたのちは、1 分ごとに 18W ずつ仕事率の漸増を受けながら、疲労困憊に至るまでペダリングを行った。

このとき、運動中の酸素摂取量を、自動呼吸代謝測定装置（AS300、ミナト医科学社製）を用いて 30 秒ごとに連続して測定した。最大酸素摂取量は、30 秒ごとに測定された酸素摂取量の最大値とし、最大酸素摂取量の判定のクライテリアとしては、1)酸素摂取量に levelling-off が見られる³⁾、2)呼吸交換比が 1.0 以上に達する²⁾、3)心拍数が年齢相当の最高値・10 拍/分以上に達する¹⁾、の 3 項目を用いた。各被験者について得られた酸素摂取量の最大値は、これらの 3 つの判定のためのクライテリアをすべて満足するものであった。なお、自動呼吸代謝測定装置内の酸素分析計および二酸化炭素分析計は、各測定の直前に、市販のポンベから既知濃度の酸素および二酸化炭素が入った標準ガスを導いて較正した。

また、運動中の心拍数は胸部双極導出による心電位を自動呼吸代謝測定装置に導いて計測するとともに、Polar の CS400 心拍数計を用いてモニターすることによって 30 秒ごとに計測した。

測定はすべて、室温 20°C、相対湿度 60% にセットされた恒温恒室内において行われた。

4) サイクリング時の生理学的応答の評価

サイクリング時に各被験者が受けた生理学的負担は、停止時および休息時を除いた心拍数とこれを心拍数－酸素摂取量関係式に代入して求めた酸素摂取量、運動強度（最大酸素摂取量に対する相対的割合;% $\dot{V}o_{2max}$, メツ;Mets）およびエネルギー消費量を用いて評価した。エネルギー消費量の推定に際しては、消費された酸素量 1 あたりの熱量が 4.924 kcal に相当するものとした。

また、走行距離および平均速度は、CS400 心拍数計を用いて計測した。

5) 統計処理

得られた結果は、すべて平均値±標準偏差で示した。また、

研究結果

測定対象としたサイクリングは、千葉市内から天津小湊まで、往路はおよそ 57km、復路は 79km の行程で行われた。停止時間を除く所要時間は、それぞれおよそ 2 時間 14 分ならびに 3 時間 20 分、合計 5 時間 34 分であった。

これら往復 5 時間 34 分にわたるサイクリング時の走行距離、平均速度ならびに平均心拍数、運動強度および推定エネルギー消費量を表 2 に被験者ごとにまとめて示した。

平均 5 時間 34 分にわたるサイクリングの走行距離は 136.4 ± 6.4 km、平均速度は 24.5 ± 1.0 km/hr であった。このときの平均心拍数は 133±20 拍/分、走行時の最高値は 179±14 拍/分であった。また、心拍数応答から推定した平均酸素摂取量は 31.5 ± 7.0 ml·kg⁻¹·分⁻¹ となり、平均 8.9 ± 2.4 Mets に相当した。さらに、この値から自転車エルゴメータにより得られた最大酸素摂取量に対する相対値として求めた運動強度は、 $61.6 \pm 16.1\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$ であった。

また、推定総エネルギー消費量は 2978 ± 830 kcal、単位時間・単位体重あたりのエネルギー消費量は 9.3 ± 2.1 kcal·kg⁻¹·hr⁻¹ であった。一方、このサイクリングにおけるエネルギーコストは 0.38 ± 0.08 kcal·kg⁻¹·km⁻¹ であった。

表2 サイクリングの走行時間、距離、速度および生理学的反応

被験者	走行時間	走行距離	速 度	サイクリング時の生理学的反応								
				心拍数		酸素摂取量		運動強度		エネルギー消費量		
				平均	最高	ml·kg ⁻¹ ·分 ⁻¹	%Vo _{2max}	Mets	kcal	kcal·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹	kcal·kg ⁻¹ ·km ⁻¹	
時 分		km	km/h	拍/分	拍/分							
1	5 23	126.8	23.6	120.2	178	18.1	32.5	5.2	1681	5.3	0.23	
2	5 33	133.9	24.1	132.9	181	29.3	64.0	8.4	3288	8.6	0.36	
4	5 34	146.0	26.2	110.0	154	35.4	60.5	10.1	3535	10.3	0.42	
3	5 36	138.7	24.8	121.4	179	35.0	60.2	10.0	4015	10.4	0.40	
5	5 36	138.7	24.8	157.6	189	36.2	78.6	10.3	2898	10.7	0.43	
6	5 41	134.5	23.7	155.1	195	34.8	73.7	9.9	2454	10.3	0.43	
平均	5 34	136.4	24.5	132.9	179	31.5	61.6	8.9	2978	9.3	0.38	
標準偏差	0 06	6.4	1.0	19.6	14	7.0	16.1	2.4	830	2.1	0.08	

註1 酸素摂取量、運動強度およびエネルギー消費量は、心拍数—酸素摂取量関係式による推定値

註2 走行時のみのデータで、停止時および休息時のデータは含まれない

考察

本研究で行われたツアーサイクリングのコースは、平坦地のみならずいくつかの登坂路も含まれていた。このようなコースを 136km にわたって走行したときの平均心拍数 133±20 拍/分で、各被験者の最大酸素摂取量のほぼ 62%に相当する強度であった。この強度は、形本と青木⁴⁾が一般男性に、24 インチ車のミニサイクルにより、健康づくりを意識して 20 分間走行させたときの強度 (65±12% $\dot{V}_{O_2\text{max}}$) にほぼ等しく、「やや強く」の主観的強度で 60 分間ミニサイクル走行を行わせたときの強度 (57±9% $\dot{V}_{O_2\text{max}}$)⁶⁾ よりはやや高い値であった。体育科学センター⁷⁾によれば、これらの相対運動強度は全身持久力の改善が十分に期待できる水準にある。したがって、今回のサイクリングは、被験者の呼吸循環系体力を刺激するものであったと推測される。

また、この 60% $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ 強度水準での走行では、血中乳酸は 4mM に近い濃度まで増加するところから⁵⁾、今回のサイクリングは、全体としては、継続的な血中乳酸の蓄積がない上限に近い強度で行われたものと考えられる。しかし、2 名の女性の相対運動強度は、男性の相対運動強度が最大でも 64 % $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ 以下であったのに対し、74 および 79 % $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ と高い値を示した。これは、有酸素能力の絶対値あるいは相対値が男性よりも劣っていた女性が、行程の大部分を男性と一緒に走行したためであると思われる。また、このサイクリングにおける総エネルギー消費量はおよそ 3,000 kcal であった。この値は、当該年齢の一般成人男女に予想される 1 日のエネルギー一所要量 (2000-2400 kcal) よりもはるかに高い値であり、サイクリング後の適切なエネルギー補給が必要とされる。

なお、各被験者の体重、走行距離および総エネルギー消費量から求めた今回のサイクリングのエネルギーコストは、0.38±0.08 kcal·kg⁻¹·km⁻¹ であった。形本と青木⁵⁾および形本と青木^{7d)}は、24 インチのミニサイクルを用いて、「やや強く」の主観的強度で 20 分間および 60 分間公道上を走行したときのエネルギーコストは、それぞれ 0.35 kcal·kg⁻¹·km⁻¹ であったことを報告している。本研究の結果はこれらの値よりやや高い水準にあり、ミニ・サイクルを「強く」の主観的強度で 60 分間こいだときのエネルギーコストと同様であった。

本研究では、6 名中 4 名の被験者において 0.40 kcal·kg⁻¹·km⁻¹ を以上の比較的高いエネルギーコスト値が認められた。これには、特に男性について走った 2 名女性がいずれも 0.43 kcal·kg⁻¹·km⁻¹ のという高い値を示したことや、長時間にわたるサイクリングが体温の上昇を招いて心拍数の増加をもたらした可能性が考えられる。しかし、いずれにしても、ランニングや歩行について知られているエネルギーコスト (1.0 および 0.5~1.0 kcal·kg⁻¹·km⁻¹) よりは明らかに小さく、自転車が経済に優れた移動手段である)ことを支持するものである。

まとめ

【目的】本研究の目的は、サイクリングが身体諸機能に及ぼす影響に関するデータの蓄積を図るために、ツアーサイクリング時の運動強度とエネルギー消費を測定することであった。

【方法】被験者は平均年齢 43 ± 13 歳の男女サイクリング愛好者 6 名(男子 4 名および女子 2 名)であった。対象としたサイクリングは、往復 136km の登坂路を含むツアーサイクリングであった。このとき測定した心拍数を心拍数-酸素摂取量関係式に代入して、運動強度およびエネルギー消費量の評価を行った。

【結果および考察】停止時を除いた実質走行時間は平均 5 時間 34 分であった。このときの平均心拍数は 133 ± 20 拍/分、相対運動強度は $61.6\pm16.1\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ 、Mets は 8.9 ± 2.4 であった。このときの相対運動強度は、「やや強く」の主観的強度で、20 分間および 60 分間のミニサイクル走行を行ったときの強度とほぼ同様であり、有酸素的能力の改善が十分に期待できる水準にあった。また、走行時の推定総エネルギー消費量は 2978±830 kcal、単位時間・単位体重あたりの推定エネルギー消費量は $9.3\pm2.1\text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ であった。一方、このサイクリングにおけるエネルギーコストは $0.38\pm0.08\text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ と、ランニングや歩行のエネルギーコストよりは低い水準にあり、自転車が経済性に優れた移動手段であることが改めて示された。

文献

- 1) Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand Suppl* 169, 1960.
- 2) Binkhorst RA, Van Leeuwen. A rapid method for determination of aerobic capacity. *Int Z angew Physiol* 19: 459-467, 1963.
- 3) Davies CTM. Limitation to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency. *J Appl Physiol* 24: 700-706, 1968.
- 4) 形本静夫、青木純一郎. ミニ・サイクルを用いた 1 日 20 分間のトレーニングが一般成人男子の呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響. *自転車による健康づくり II*、青木純一郎編、33-55、1989.
- 5) 形本静夫、青木純一郎. 自転車走行による健康づくりのための主観的運動強度について. *自転車による健康づくり III*、青木純一郎編、81-94、自転車普及協会:東京、1990.
- 6) 形本静夫、青木純一郎. 異なる主観的強度による 60 分間の自転車走行における運動強度、エネルギー消費量および感情変化. *自転車による健康づくりメンタルヘルスに及ぼす効果 I*、

25-38、1994.

7) 体育科学センター編. 健康づくり運動カルテ、講談社:東京、1976.

8 サイクリング愛好者における日常サイクリング時の エネルギー消費量

形本静夫^{1,2}、村出真一朗²、中潟崇²、石原美彦²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに—背景と目的

近年、サイクリング愛好者の人口は年々増加している。健康増進やメタボリックシンドロームを予防することへの関心の高まりが挙げられ²⁾、若い人ばかりでなく40歳代以降にサイクリングを始める人も多く、スポーツとしてサイクリングを楽しむ人の年齢層は幅広い。サイクリングはランニングと比較しても、足や腰への衝撃が大幅に少なく、障害³⁾が起きにくくことから中高齢者が新規に始めるスポーツとして適していると考えられる。また、スピードによって得られる爽快感も自転車の魅力であり、これがサイクリングを継続的して行える理由にもなっている。このことから学校や会社への通学通勤や日常生活の移動手段としてスポーツサイクリングを取り入れている人も増えている。

そこで本研究では、サイクリング愛好者の日常のスポーツサイクリングにおける運動強度（心拍応答）から、サイクリング中のエネルギー消費量を明らかにすることが本研究の目的である。

研究方法

1. 被験者

日常的にスポーツサイクリングを楽しむサイクリング愛好者7名が本研究に参加した。被験者の身体的特徴は表1に示した。被験者に対しては、研究の目的、内容、手順および危険性について口頭および文章にて説明し、研究の参加することへの同意書に署名を得た。なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科研究等倫理委員会の承認を得て行われた。

表1. 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI	HRmax (beat/min)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)
a	41	170.1	59.0	20.4	177	55.0
b	43	167.4	70.5	25.1	172	50.2
c	40	171.0	60.0	20.5	183	55.2
d	49	167.5	61.0	21.7	192	58.2
e	47	179.1	67.5	21.0	183	53.8
f	63	173.2	69.0	23.0	156	58.4
g	59	175.0	60.0	19.6	187	51.6
平均値 (n=6, b-g)	50.2	172.2	64.7	21.8	178.8	54.6
標準偏差 (n=6,b-g)	9.0	4.5	4.8	2.0	13.0	3.4

2. 日常サイクリング中の測定

各被験者が日常のサイクリングに用いる被験者自身の自転車を実験に使用し、1名(a)がマウンテンバイク、6名(b-g)がロードバイクを使用した。被験者の自転車に心拍計 (CS400, POLAR, FINLAND) を取り付け、走行距離、平均速度、心拍数は運動中 15 秒間隔で平均され自動的にポラールの内蔵メモリーに記録された。記録された記録は PC へ取り込み解析ソフト (POLAR PRO TRAINER 5) で処理された。

3. 最高心拍数 (HR max) と最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) の測定

最高心拍数および最大酸素摂取量の測定は、気温 20°、湿度 50%に保たれた順天堂大学医科学研究所ハイテクリサーチセンター内の恒温恒湿実験室内で自転車エルゴメータ (POWERMAX-V2, COMIBI, JAPAN) を使用し行った。測定プロトコルはペダル回転数を 60rpm に固定し、1kp から開始し毎分ごとに 0.3kp ずつ負荷を漸増させる負荷漸増法により、被験者が疲労困憊にいたるまで実施した。心拍数の測定は心拍計 (CS400, POLAR, FINLAND) を使用し記録された。また、自転車運動中のエネルギー消費を評価するために酸素摂取量を測定した。酸素摂取量の測定は、mixing chamber 法により自動呼吸代謝測定装置 (AE300-S, MINATO MEDICAL SCIENCE, JAPAN) を用いて行った。

4. エネルギー消費量の算出

運動負荷テストで得られたデータから各被験者の最大酸素摂取量と心拍数の関係をグラフに表し、 $\dot{V}O_2$ -H.R.回帰式を求めた。さらに、この $\dot{V}O_2$ -H.R.回帰式を用いて、各被験者の日常運動中の測定で得られた平均心拍数を代入し、酸素摂取量 1 Lあたりの熱量を 4.924kcal としてエネルギー消費量を算出した。

結果と考察

表2. 結果一覧

被験者	使用自転車	運動頻度 (回/週)	平均 走行時間 (時)	平均 走行距離 (km)	平均速 度 (km/h)	平均HR (beat/min)	平均% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	平均エネル ギー総消費量 (kcal)	平均エネル ギー消費量 (kcal/kg/km)
a	マウンテン	5.6	1.2	26.4	22.3	129.2	62.6	708.4	0.46
b	ロード	3.8	1.5	38.3	26.6	124.9	72.6	1106.5	0.41
c	ロード	6.6	3.4	85.8	25.0	122.5	57.2	1926.1	0.39
d	ロード	4.6	2.8	79.0	32.2	118.6	58.4	1670.4	0.32
e	ロード	4.5	2.3	50.8	22.9	132.8	61.2	1464.0	0.45
f	ロード	6.0	2.5	71.5	22.3	113.5	63.9	1935.5	0.37
g	ロード	3.5	3.3	81.7	24.6	143.3	72.8	2185.5	0.45
平均値(n=6, b-g)		4.8	2.6	67.9	25.6	125.9	64.4	1714.7	0.40
標準偏差(n=6, b-g)		1.2	0.7	19.1	3.6	10.7	6.9	387.3	0.05

測定によって得られた結果を表 2 に示した。各平均値、標準偏差はマウンテンバイク使用者 a を除くロードバイク使用者 b から g の被験者を対象とした。これはマウンテンバイクとロードバイクでは運動の効率が異なるためである。ロードバイク使用者の日常のサイクリングにおける平均心拍数は 125.9 ± 10.7 beat/min であり、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) に対する% $\dot{V}O_2$ は $64.4 \pm 6.9\%$ となった。これらの結果は一般的に分速 161m のランニングに相当し、1 時間の運動で 10.2 エクササイズ (EX) となる¹⁾。被験者の運動頻度が 4.8 回/週や平均運動時間が 2.6 時間であることを考慮すると、生活習慣病予防として厚生労働省が定める 1 週間あたりの目標運動量 (23EX 以上)²⁾を超える値となる。また、一回のサイクリングあたりの平均消費エネルギー量は 1714.7 ± 387.3 kcal となり、一般成人男性の 1 日あたりの消費エネルギー量が 2500kcal~3000kcal であることを考えると、サイクリングにより約 60%~70%に相当するエネルギー消費していることになる。これは、ランニングのように長時間の運動が継続できない種目と

比較して長時間運動が可能であるスポーツサイクリングの特長と言える。

まとめ

サイクリング愛好者の日常スポーツサイクリングにおけるエネルギー消費量は $1714.7 \pm 387.3 \text{ kcal}$ であり、これは代表的な健康スポーツとして知られるランニングと比較して多くのエネルギーを消費できることが示された。従って本研究の結果は、スポーツサイクリングが健康増進やメタボリックシンドローム予防へ貢献できる意味を説明する科学的証拠となるものと考えられる。

文献

- 1). ACSM. Guidelines for Exercise testing and prescription. 1991.
- 2). 健康づくりのための運動指針 2006 ~身体活動・運動・体力~ 運動所要量・運動指針の策定検討会.
- 3). Wanich T, Hodgkins C, Columbier JA, Muraski E, Kennedy JG. Cycling injuries of the lower extremity. J Am Acad Orthop Surg 15: 748-56, 2007.

9 日常的なサイクリングが血清の抗酸化能力に及ぼす影響

形本静夫^{1,2} 吉原利典² 後藤佐多良²

¹ 順天堂大学スポーツ健康科学部

² 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに—背景と目的

近年では、脂肪細胞に起因する酸化ストレスの増大がメタボリックシンドロームに関連することが示されている^{2),6)}。酸化ストレスとは、生体内において酸化と抗酸化のバランスが破綻した状態を表し、活性酸素などによる酸化物の産生が生体内の抗酸化能力を上回ることで酸化ストレスは増大する⁴⁾。また、血中遊離脂肪酸の増加が、血中の抗酸化能力を低下させ、さらなる酸化ストレスの増大を引き起こすことから、運動・トレーニングにより抗酸化能力を高めることは、その予防・改善を目指す上で非常に重要であると考えられる。そのような中、健康の維持増進のための自転車の利用はますます高まっており、週2回以上定期的にサイクリングを実施しているサイクリング愛好者の人口は、推定で239万人に及ぶといわれている。本研究は、日頃からサイクリングを行っているサイクリストを対象として、サイクリングがサイクリストにおける血清の抗酸化能力および血液性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行なった。

研究方法

1) 対象

対象者は、一般のサイクリスト33名（男性29名、女性4名）および健康な一般成人34名（男性27名、女性7名）であった。対象者の身体特性は表1に示した。

2) 採血方法

対象者に採血の目的・方法を説明し、書面にて同意を得た後、安静空腹時において前腕静脈より約10mlの血液を採取した。得られた血液は、生化学的成分の分析のために室温で30分間静置した後、4°C、3000回転で10分間遠心分離した。上清を血清サンプルとして回収し、抗酸化能力の測定および血液検査まで-80°Cで凍結保存した。

3) 抗酸化能力の測定

血清の総合的な抗酸化能力は、PAO (Potential Anti Oxidant) 抗酸化能力測定キット（日研ザイル株式会社、KPA-050）を用い、マニュアルに従って生化学的な手法により評価した。簡潔に述べると、PAO はサンプル希釈液で希釈した標準物質（尿酸）または試料をマイクロプレートに分注した後マイクロプレートリーダで 490nm における吸光度を測定した。次に、Cu⁺⁺試薬を各ウェルに分注し室温で 3 分間反応させた後、反応停止液を分注し攪拌した上で 490nm における吸光度を測定した。抗酸化能力は、血清サンプルの吸光度から尿酸相当濃度 (mmol/L) を算出しその値に 2189 を掛けることで Cu 還元力 (尿酸 1 mM=2189 μM/L) として表した。

4) 血液検査項目

血液性状の検査については、一般的な検査項目の内、特に各種疾患に関する検査項目について、スペシャル・レファレンス・ラボラトリ（SRL）社に依頼した。検査項目は、中性脂肪 (TG)、遊離脂肪酸 (NEFA)、尿素窒素 (UN)、CK (CPK)、γ-GTP、AST (GOT)、ALT (GPT)、LD (LDH)、心筋トロポニン T、ミオグロビン、ヒト心臓由来脂肪酸結合蛋白 (Heart type fatty acid-binding protein: H-FABP)、インスリン、CPK-MB (CK-MB)、および ヒト脳性ナトリウム利尿ペプチド前駆体 N 端フラグメント (N terminal-pro B-type natriuretic peptide: NT-proBNP) であった。

5) 統計処理

全てのデータは、平均値±標準偏差で示した。サイクリストと一般成人における群間の差の検定スチューデントの対応のない t 検定を用い、有意水準は p<0.05 とした。統計処理には社会科学のための統計パッケージ (Statistical Package for Social Science ; SPSS 18.0J for Windows) を使用した。

研究結果

1) 身体特性

表1は、対象者の身体特性を示したものである。サイクリストの体重およびBMI（体格指数）は、一般成人と比較して有意に低い値を示した。その他の項目に群間で有意な差はみられなかつた。

表1. 対象者の身体特性

	一般成人	サイクリスト
年齢 (歳)	40.9 ± 12.7	42.9 ± 11.2
身長 (cm)	168.8 ± 7.0	169.8 ± 7.7
体重 (kg)	68.9 ± 11.2	62.0 ± 8.2 *
BMI	24.1 ± 3.2	21.4 ± 2.0 *

* BMI (Body mass index) ; 体格指数

※ * p<0.05 vs. 一般成人

2) 抗酸化能力 (PAO)

図1は、生化学的な分析により評価した、一般成人およびサイクリストのPAOを示したものである。サイクリストのPAOは一般成人と比較して有意に高い値を示した（一般成人； $1009.0 \pm 68.5 \mu\text{M}$ vs. $1288.1 \pm 69.4 \mu\text{M}$ 、 $p < 0.05$ ）。

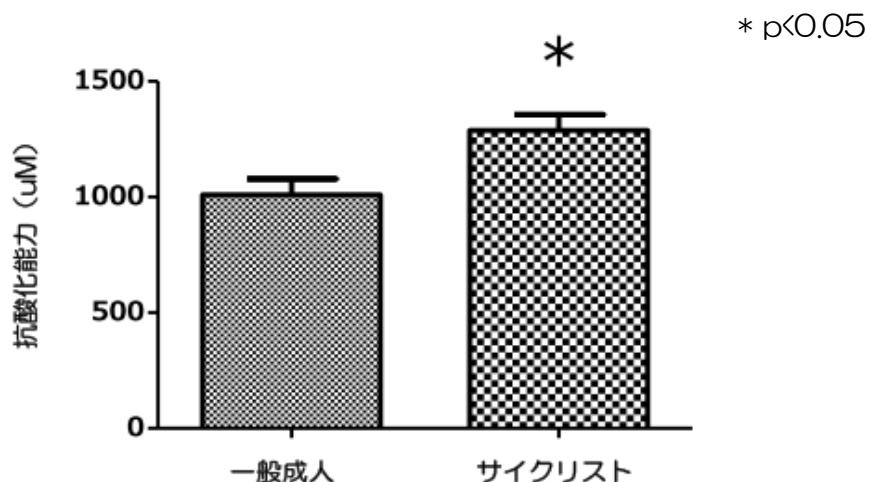


図1. 日常的なサイクリングがPAOに及ぼす影響

3) 血液性状

表2は、血液検査により得られた一般成人およびサイクリストの血液性状を示したものである。一般成人、サイクリストの平均値は、いずれも基準値の範囲内であった。心・肝機能障害に関するマーカーとして知られているLDH、H-FABP、およびNT-proBNPは一般成人と比較してサイクリストで有意に低い値を示した。その他の項目には、群間で有意な差は見られなかった。

表2. 日常的なサイクリングが血液性状に及ぼす影響

検査項目	単位	一般成人	サイクリスト	基準値
中性脂肪(TG)	mg/dL	92.6 ± 50.9	82.9 ± 48.3	50-149
遊離脂肪酸(NEFA)	μEq/L	399.2 ± 190.2	375.9 ± 187.0	140-850
インスリン	μIU/mL	9.7 ± 10.8	6.2 ± 3.6	負荷前1.84-12.2
尿素窒素(UN)	mg/dL	15.1 ± 3.3	15.3 ± 2.2	8.0-22.0
γ-GTP	U/L	32.3 ± 21.5	30.5 ± 21.3	70以下
AST(GOT)	U/L	24.3 ± 10.3	24.8 ± 9.6	10-40
ALT(GPT)	U/L	24.6 ± 20.7	22.0 ± 11.9	5-40
LD(LDH)	U/L	205.3 ± 34.3	176.2 ± 27.9 *	115-245
CK(CPK)	U/L	162.0 ± 89.5	140.0 ± 60.8	62-287
心筋トロポニンT	ng/mL	0.0042 ± 0.0020	0.0047 ± 0.0056	0.014以下
ミオグロビン	ng/mL	43.2 ± 14.1	45.9 ± 13.1	60以下
ヒト心臓由来脂肪酸結合蛋白(H-FABP)	ng/mL	2.7 ± 1.0	2.3 ± 0.5 *	6.2未満
CPK-MB(CK-MB)	ng/mL	3.5 ± 1.9	3.6 ± 1.5	5.0以下
NT-proBNP	pg/mL	29.8 ± 23.0	19.4 ± 14.9 *	125以下

* CK；クレアチニキナーゼ、γ-GTP；γ-グルタミールトランスペプチダーゼ、AST(GOT)；アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、ALT(GPT)；アラニンアミノトランスフェラーゼ、LD(LDH)；乳酸脱水素酵素、NT-proBNP；ヒト脳性ナトリウム利尿ペプチド前駆体N端フラグメント

* * p<0.05 vs. 一般成人

考察

これまで、生体内における酸化ストレスの増加が、高血圧や動脈硬化などの生活習慣病と関連していることが知られている^{2),6)}。酸化ストレスは生体内では常に生じているが、生体には内部環境のホメオスタシスを維持するためにそれらを除去する機構が備わっている⁴⁾。すなわち、酸化ストレスを除去する能力のことを抗酸化能力といい、先行研究では、持続的なトレーニングにより抗酸化能力が増加することが報告されている³⁾。そのため、運動・トレーニングにより生体内の抗酸化能力を高めることは、心疾患や動脈硬化のリスクを減らし、健康で豊かな生活を送る上で非常に重要であると考えられる¹⁾。そこで我々は、日常的にサイクリングを行っている一般のサイクリストでは、一般成人と比較して血中の抗酸化能力が高く、各種疾患に関連するマーカーは低値を示すのではないかとの仮説を立て検討を行った。

本研究で得られた所見は、サイクリストは、一般成人よりも高い抗酸化能力を有していることを示すものであった。これまで、Mena ら⁷⁾はアマチュアおよびプロの自転車競技者では、非鍛

鍊者と比較して抗酸化酵素活性が高いことを報告しており、日常的にサイクリングを行うことで血清中の抗酸化能力は一般成人と比較して高まっていた可能性が考えられる。また、本研究では、血清の抗酸化能力の指標として PAO を用いたが、高血圧症患者や冠動脈疾患患者では、PAO 値が正常な者と比較して低値を示すことが報告されている¹⁰⁾。つまり、PAO で示される抗酸化能力が低値を示すほど種々の疾患に対する罹患率が増加する可能性を示唆している。これらのことから、本研究のサイクリストにおける高い抗酸化能力が、疾病リスクの低下に貢献している可能性は十分に考えられる。実際、本研究では、サイクリストにおける LDH、H-FABP、および NT-proBNP のような心・肝機能障害に関わるマーカーは一般成人と比較し低値を示していた。NT-proBNP は BNP と共に、心負荷において上昇する proBNP を反映したマーカーであり、心不全の診断・モニタリングにおいて臨床的有用性を有し、より鋭敏に心腎機能を表している。また、H-FABP は、心筋細胞の細胞質に存在する分子量約 15kDa の低分子可溶性蛋白である。生理的には、心臓において遊離脂肪酸の細胞内輸送を担っており、心筋細胞へのエネルギー供給に重要な働きを持つ。H-FABP は、心臓虚血による心臓細胞の傷害時に速やかに血中へ逸脱することから、急性心筋梗塞(AMI)の早期診断マーカーと有用であるといわれている。さらに、LD(LDH)はあらゆる組織に広く分布し、細胞の可溶性画分に存在している。LD(LDH)活性が血清中に増加する場合はした場合には、いずれかの臓器で組織の損傷が生じ、LD(LDH)が血清へ逸脱していることを意味している。すなわち、これらのマーカーがサイクリストにおいて有意に低値を示したことは、サイクリストのほうが一般成人と比較して疾患に罹るリスクが少ないことを示唆している。以上のことから、本研究の結果は、日常的にサイクリングを行うことによって、血清の抗酸化能力が上昇し、その結果として疾患のリスクを低下させることができる可能性を示すものである。

まとめると、本研究で対象としたサイクリストは、一般成人よりも高い抗酸化能力を有しており、サイクリストのほうが一般成人と比較して疾患に罹るリスクが少ない可能性を示している。本研究の対象者は、18~63 歳という比較的幅の広い年齢層であったため、いずれの群においても全ての項目について基準値の範囲内であった。それゆえ、中高齢のみを対象にした場合においても同様であるか否かについてはさらなる検討が必要であるが、LDH、H-FABP、および NT-proBNP のようなマーカーがサイクリストにおいて低値を示したことは注目に値する。健康への関心がますます高まる中、継続して運動を行うことの重要性が指摘されているが、本研究の結果が示すように、日常的にサイクリングを行っているサイクリストにおいて血清の抗酸化能力は高値を示し、その結果として疾患のリスクを低下させることができたならば、その重要性はさ

らに高まる。また、加齢に伴い酸化ストレスが増加し⁸⁾、生体内の抗酸化能力とのバランス崩れしていくため、細胞や組織には酸化障害を受けやすくなってしまう。しかしながら、持続的なトレーニングを行う 36~57 歳の長距離ランナーは、非鍛錬者と比較して血中の抗酸化酵素濃度が高いレベルを維持していることも報告されており⁹⁾、このような観点からも、生涯スポーツとしてサイクリングを続けていくことは、生体の抗酸化能力を高め、種々の疾患に罹るリスクの軽減に繋がることが期待できる。

結論

日常的に行うサイクリングは、血清中の抗酸化能力を向上させ、メタボリックシンドロームの予防・改善効果をもたらす可能性がある。

文献

- 1) 青井 渉, 高波嘉一. 運動と酸化ストレス. In : 酸化ストレスの医学. 吉川敏一, 内藤裕二, 豊國伸哉編, 診断と治療社 東京, 346-352, 2008.
- 2) 井手友美. メタボリックシンドロームと酸化ストレス. In : 酸化ストレスの医学. 吉川敏一, 内藤裕二, 豊國伸哉編, 診断と治療社 東京, 248-256, 2008.
- 3) Jenkins RR. Exercise, oxidative stress, and antioxidants: a review. Int J Sports Nutr 3: 356-375, 1993.
- 4) 高 永鎧, 高橋素子, 谷口直之. ストレス応答による誘導－活性酸素を中心に－. In : アポトーシスがわかる. 田沼靖一 編, 羊土社: 東京, 42-48, 2001.
- 5) Kretzschmar M, Müller D, Hübscher J, Marin E, Klinger W. Influence of aging, training and acute physical exercise on plasma glutathione and lipid peroxides in man. Int J Sports Med 12: 218-222, 1991.
- 6) 野口範子. 動脈硬化症と酸化ストレス. In : 酸化ストレスの医学. 吉川敏一, 内藤裕二, 豊國伸哉編, 診断と治療社, 東京, 240-247, 2008.
- 7) Mena P, Maynar M, Gutierrez JM, Maynar J, Timon J, Campillo JE. Erythrocyte free radical scavenger enzymes in bicycle professional racers. Adaptation to training. Int J Sports Med 12: 563-566, 1991.
- 8) Ohkuwa T, Sato Y, Naoi M. Glutathione status and reactive oxygen generation in tissues of young and old exercised rats. Acta Physiol Scand 159: 237-244, 1997.
- 9) 小野清子. スポーツライフデータ 2010. 笹川スポーツ財団, 東京, 2011.
- 10) Vassalle C, Petrozzi L, Botto N, Andreassi MG, Zucchelli GC. Oxidative stress and its association with coronary artery disease and different atherogenic risk factors. J Intern Med 256: 308-315, 2004.

10 サイクリング愛好者の有酸素性作業能

形本静夫^{1,2}、中渕崇²、石原美彦²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

はじめに－背景と目的－

近年、肥満や糖尿病などをはじめとする生活習慣病の爆発的な増加が世界中で問題となっている。それら生活習慣病を予防することに加え、生活習慣病と密接に関係している生活関連体力を向上させることが求められ、アメリカスポーツ医学会¹⁾などにより「低強度から中等度のウォーキングやジョギングなどの有酸素運動を定期的に実施すること」が推奨されている。また、人々の関心が「より簡単に、より楽しく、より効果のある」身体活動に向かっていることもあり、有酸素運動の中でも特に、自転車への興味・関心が高まっている。ここ数年の傾向として、通勤や通学への移動手段だけでなく、余暇としてサイクリングを楽しむ人が増え、中には競技としてより高いレベルを目指すことを目的にトレーニングとしてのサイクリングを週3～5回行っている人も少なくない。

ところで、過去の先行研究から、定期的な身体トレーニングにより有酸素性作業能、特に最大酸素摂取量（以下 $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ ）は向上し、Saltin と Astrand³⁾ は、トップアスリートの $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ は $80\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ に達することを報告している。これまで一般人からアスリートに至るまで幅広い年代の $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ が測定され、一般人においても定期的なトレーニングを実施している者の $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ は座りがちな一般人よりも高い水準であることが明らかにされている。しかし、一般ランナーまたはスイマーを対象とした報告が多く、サイクリストの $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ は報告されていない。また、 $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ と同様に有酸素性作業能の指標であり、骨格筋における酸化能力を表す乳酸性作業閾値（LT:Lactate Threshold）、換気閾値（VT:Ventilation Threshold）に関する報告は我々の知る限り見当たらない。

そこで本研究は、自転車による健康づくりに関する基礎的資料を得る研究の一環として、18歳から63歳までの健常な日本人サイクリング愛好者男女33名（男性29名、女性4名）を対象に、最大運動負荷試験を行い、

1. サイクリング愛好者の最大酸素摂取量、最高心拍数などのエルゴメトリーを明らかにする

2. また、骨格筋の酸化能力を表す乳酸閾値、換気閾値を評価することを目的とした。

方法

対象者

対象者は、千葉県佐倉市のサイクリングクラブに在籍する 18 歳から 63 歳までのサイクリング愛好者男女 33 名（男性 29 名、女性 4 名）であった。彼らは、毎週日曜日の午前中にサイクリングクラブが主催するサイクリングを行っていた。対象者の平均的なサイクリング頻度は週 2~3 回、1 回あたり 60~80km、週あたり 120~240km であった。また、対象者 33 名は 2010 年 10 月 31 日に開催された第 7 回もてぎ 7 時間エンデューロに個人またはチームとして出場した。

男性 29 名は年齢別に、30 歳以下 (U30, n=4)、30 歳代 (30G, n=5)、40 歳代 (40G, n=12)、50 歳以上 (50G, n=8) の計 4 群に分類され、女性は対象者数が 4 名のため 1 群とした。なお本研究を行うにあたり、事前にすべての対象者に対して研究の意義と内容、社会への貢献度、方法を十分説明し、同意を得た。また、本研究は順天堂大学倫理委員会にて承認されている。

最大運動負荷試験

対象者の心拍数-酸素摂取量関係および最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2\text{max}}$) を測定するために、自転車エルゴメータ (PowerMax VII、COMBI WELNESS 社製) を用いた最大運動負荷試験を実施した。測定プロトコルの詳細は下記に示す通りである。ペダル頻度は電動メトロノームのリズムに合わせるよう 60rpm に統一した。負荷の漸増方法は、初期負荷 1.0kp (約 60Watts) にてウォーミングアップを 2 分間行い、その後、毎分 0.3kp (約 18Watts) 減増させ、自転車エルゴメータのペダルを回せなくなる疲労困憊に至るまで行った。運動負荷試験中の測定項目として、呼気ガスは、自動呼吸代謝測定装置 (AE-300、ミナト医科学) で分析し、換気量、酸素濃度、二酸化炭素濃度、呼吸交換比を算出した。全ての測定前に、2 種の校正用ガス (14.95 および 20.45%) での濃度校正を行った。心拍数は、ウォーミングアップから all-out にいたるまで携帯型心拍数計 (CS400, Polar, Finland) を用いて連続して測定し、各負荷終了 15 秒前に 3 点を記録し、3 点の平均値を各負荷の測定値とした。血中乳酸濃度は安静時、運動中、運動終了後に、耳朶より 5 μ L を採血し、ラクテートスカウト (EKF DIAGNOSTIC 社製) を用いて測定した。なお運動中の血中乳酸濃度は、各負荷の 30 秒時に、4mmol/L を超えるまで測定した。血中乳酸濃度の測定は、測定に熟練した運動生理学研究室のスタッフが行った。なお、血中乳酸濃度の測定は、観血的な

手段であるが、スポーツの現場において各個人に見合ったトレーニング強度を設定することや、トレーニング効果を評価することを目的として広く普及しており、一般的に測定されている項目である。

最大酸素摂取量は通常、運動負荷試験中に1分毎に測定された酸素摂取量（測定時間が30秒未満の場合は不採用）の最大値とするが、本研究において

- 1) 負荷（kp）の増加に対して \dot{V}_{O_2} が増加しない Leveling-Off に達している
- 2) 最大呼吸交換比（R）が 1.10 以上
- 3) 最高心拍数（HRmax）が 「220 - 年齢 ± 10」 に達している
- 4) 血中乳酸濃度（La）が 8.0 mmol/L 以上

の 4 項目のうち 3 項目以上を満たすものを $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ として採用した。本研究において、全対象者 33 名が上記の基準を満たした。

これらの綿密な運動負荷試験の結果から $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ 、乳酸閾値（LT : Lactate Threshold）、換気閾値（VT : Ventilation Threshold）を得た。

すべての測定は順天堂大学運動生理学実験室あるいはハイテクリサーチセンターにて行い、測定環境は気温 20°C、湿度 50% に保たれていた。

乳酸閾値（LT:Lactate Threshold）、換気閾値（VT:Ventilation Threshold）

LT、VT の決定には、5人の熟練者による目視法を用いた（図 1）。各人に屈曲点を求めさせ、その 5 つの値の最大値と最小値を除外した残りの 3 つの値、もしくは 5 つの値の中から最も近似している 3 つの値を各々の平均値とした。

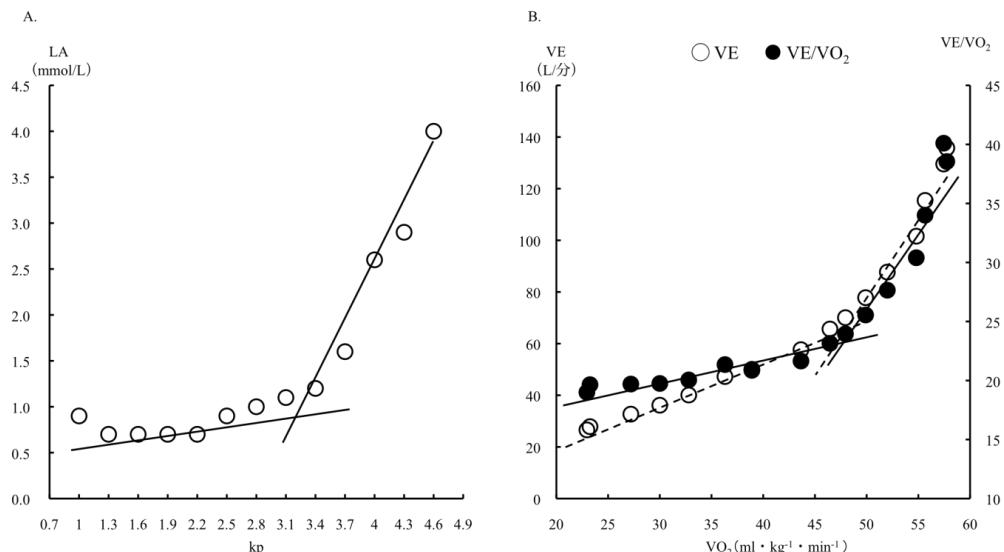


図 1 . LT (A) および VT (B) の算出方法

結果および考察

すべての測定数値は、平均値±標準偏差 (Mean±SD) で表した。

対象者の年齢別の身体特性および $\dot{V}O_{2\max}$ を含む各パラメーターを表 1 に示す。

表1. 身体的特性および各パラメーター

項目	男性 29	女性 4	U30 4	30G 5	40G 12	50G 8
名						
年齢(歳)	42.8 ± 11.1	38.0 ± 10.3	24.0 ± 4.5	34.6 ± 2.3	44.1 ± 3.2	55.4 ± 5.4
身長(cm)	171.8 ± 4.7	154.7 ± 5.9	173.3 ± 5.3	169.1 ± 4.6	171.1 ± 5.2	173.8 ± 3.3
体重(kg)	64.9 ± 6.7	48.0 ± 4.7	63.6 ± 10.6	59.1 ± 2.3	64.7 ± 5.9	69.4 ± 5.2
BMI(kg/m ²)	22.0 ± 2.0	20.1 ± 2.9	21.1 ± 2.7	20.7 ± 1.1	22.1 ± 1.9	23.0 ± 2.1
運動時間(秒)	991.8 ± 139.3	699.3 ± 118.0	1018.3 ± 210.4	884.4 ± 121.3	1017.3 ± 111.5	1007.4 ± 143.6
最大換気量(L/分)	133.9 ± 23.4	90.1 ± 18.3	141.3 ± 23.8	124.2 ± 25.7	135.5 ± 21.8	133.7 ± 26.9
最高心拍数(拍/分)	185.4 ± 10.1	183.3 ± 8.7	194.8 ± 5.0	191.0 ± 2.3	185.3 ± 9.0	177.5 ± 11.1
最大酸素摂取量(min·kg ⁻¹ ·分 ⁻¹)	52.1 ± 7.19	46.5 ± 4.8	56.6 ± 10.0	54.2 ± 6.3	51.3 ± 5.7	49.7 ± 8.2
呼吸交換比	1.2 ± 0.07	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1	1.3 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1
血中乳酸濃度(mmol/L)	11.6 ± 2.64	12.1 ± 2.4	11.2 ± 2.9	11.8 ± 2.1	12.0 ± 3.2	11.1 ± 2.2
$\dot{V}O_2@LT$ (min·kg ⁻¹ ·分 ⁻¹)	31.2 ± 6.87	26.8 ± 2.8	34.8 ± 9.5	30.7 ± 5.7	30.6 ± 6.0	30.7 ± 8.1
$\dot{V}O_2@VT$ (min·kg ⁻¹ ·分 ⁻¹)	31.2 ± 6.86	34.4 ± 4.0	37.3 ± 9.2	36.9 ± 6.4	36.4 ± 4.5	33.4 ± 6.7
LT(% $\dot{V}O_2\max$)	59.5 ± 7.14	58.4 ± 10.4	60.7 ± 7.6	56.5 ± 6.6	59.1 ± 6.5	61.2 ± 8.7
VT(% $\dot{V}O_2\max$)	59.5 ± 7.07	74.1 ± 5.8	65.4 ± 10.8	69.4 ± 9.4	69.4 ± 4.7	67.6 ± 4.8

all-out 時の生理生体反応

本研究はサイクリング愛好者 33 名の $\dot{V}O_{2\max}$ 、HRmax を初めて明らかにした。男性 29 名、女性 4 名の最大酸素摂取量および最高心拍数はそれぞれ 52.1 ± 7.2 , 46.5 ± 4.8 ml · kg⁻¹ · min⁻¹, 185.4 ± 10.1 , 183.3 ± 8.7 拍/分であった。

加齢により最大酸素摂取量が低下することは多くの研究により明らかにされているが、表 2、3 に示すように、本研究の対象者の最大酸素摂取量は健康日本 21 およびエクササイズガイド 2006²⁾ における日本の健康づくりのための最大酸素摂取量の基準および範囲をいずれの年代においても上回る結果であった。特に 50G の最大酸素摂取量は一般的な 20 代と比べて 24% も高く、竹島ら⁴⁾ の 40–60 歳の中年ジョギング愛好者の最大酸素摂取量とほぼ同等の値であった。

表2. 健康づくりのための最大酸素摂取量の基準

項目	20代	30代	40代	50代	60代
男性	40	38	37	34	33
女性	33	32	31	29	28

表3. 健康づくりのための最大酸素摂取量の範囲

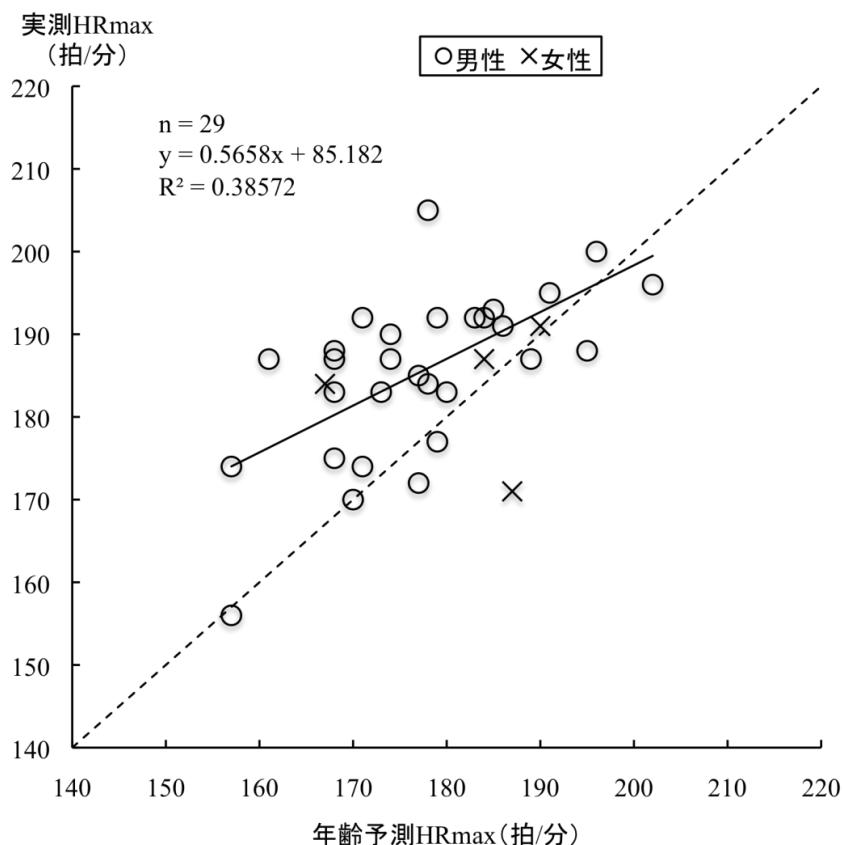
項目	20代	30代	40代	50代	60代
男性	33 - 47	31 - 45	30 - 45	26 - 45	25 - 41
女性	27 - 38	27 - 36	26 - 33	26 - 32	26 - 30

また、最高心拍数も最大酸素摂取量と同様に、加齢により低下する生物学的パラメーターであ

ることが報告されているが、本研究の結果も 50G が最も低く、これまでの研究結果と一致するものであった。しかし、年齢から予測される最高心拍数 ($220 - \text{年齢}$) との関係（図 2）は $Y = 0.5658X + 85.182$ （男性のみ）であり、実測の最高心拍数は年齢から予測される最高心拍数に対して、男性女性ともに $104.8 \pm 5.4\%$, $100.9 \pm 7.7\%$ と、ほぼ同水準であった。

乳酸閾値 (LT)、換気閾値 (VT)

有酸素性作業の指標である $\text{LT}@\dot{V}_{O_2}$ および $\text{VT}@\dot{V}_{O_2}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) は、U30 がそれぞれ $34.8 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $37.3 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と最も高かったが、30G、40G、50G の 3 群に大きな差はなかった。しかし、50G の $\text{LT}@\dot{V}_{O_2}$ は竹島ら⁵⁾ の 50 歳代（50-59 歳）の一般人の $\text{LT}@\dot{V}_{O_2}$ と比較して約 65% 高かった。また、 $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ との比較では、一般的に加齢とともに $\% \dot{V}_{O_2\text{max}}@\text{LT}$ 、 VT の平均値は高くなることが報告されているが、本研究の場合、 $\% \dot{V}_{O_2\text{max}}@\text{LT}$ は 60% 前後、 $\% \dot{V}_{O_2\text{max}}@\text{VT}$ は 65-70% の範囲と、年代別にほぼ同水準であり、竹島ら⁴⁾の報告と同等であった。



本研究 図2. 予測HRmaxと実測HRmaxの関係（回帰式は男性のみ）は定期的なサイクリング運動を実施しているサイクリング愛好者の $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ および LT、VT を初めて明らかにした。サイクリングの時間、頻度などの内容は対象者の個人差が大きい点は無視できないが、男性においては 29

名中20名が40歳以上と比較的年齢が高かったにもかかわらず、彼らの $\dot{V}_{O2\text{max}}$ が同年代の一般人に比べて高い値であることは、トレーナビリティの観点からも興味深い。しかし、本研究は同一のサイクリストを縦断的に追跡調査したものではないため、今後はフォローアップ研究を行うなど詳細な検討が必要であろう。

まとめ

1. 本研究はサイクリング愛好者の有酸素性作業能を明らかにすることを目的とする。
2. 対象者は、千葉県佐倉市のサイクリングクラブに在籍する 18 歳から 63 歳までのサイクリング愛好者男女 33 名（男性 29 名、女性 4 名）であった。
3. 最大酸素摂取量は男性 $56.6, 54.2, 51.3, 49.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ （各群）、女性 $46.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり、日本人の平均的な値と比較して高い集団であった。特に 50G は 40–60 代のジョギング愛好者の値に相当した。
4. 最高心拍数においては、年齢から予測される最高心拍数（220－年齢）に対して 104.8, 100.9% であった。
5. 乳酸閾値、換気閾値時の酸素摂取量は U30 が最も高かったが、最大酸素摂取量に対する相対値は、年代別に差はなかった。
6. 本研究より、週 2～3 回（120～240km）のサイクリングは、呼吸循環応答を刺激し、有酸素性作業能を高めるトレーニングであろう。

文献

- 1) アメリカスポーツ医学協会編(日本体力医学会体力科学編集委員会監訳),運動処方の指針 原著第 7 版, 南江堂. 東京, 2006.
- 2) 健康づくりのための運動指針 2006 ～身体活動・運動・体力～ 運動所要量・運動指針の策定検討会.
- 3) Saltin, Astrand. Maximal oxygen uptake in athletes. Journal of Applied Physiology 23, 353-358, 1967.
- 4) 竹島伸生ら. 中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値 -加齢に伴う変化-. 体力科学 38, 197-207, 1989.
- 5) 竹島伸生ら. 長期間の歩行習慣が中高年者の全身持久性と活力年齢に及ぼす効果. 体力科学 45, 387-394, 1996.

1.1 自転車運動時における脳酸素動態の部位別変化と 自然走行と固定走行との差異検出の試み

河合祥雄^{1、2}、山本正彦²、染谷由希¹

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

抄録

【背景】運動の継続には、その運動自体の楽しみが重要な因子である。運動に関連する多幸感が脳の各部位での酸素動態にいかなる変化を及ぼしているかは明らかではなく、自転車で屋外を自然走行した場合と据え置き型の自転車を用いて運動した際の脳酸素動態の違いを明らかにした研究はほとんどない。近赤外線分光法を用い、複数の脳部位の酸素動態を計測し、運動による多幸感と関連する脳部位の推定、屋内での固定走行と自然走行時の脳酸素動態の差異および心理変化を明らかにすることを目的とした。**【方法】**健全な体育大学生スカッシュ部男子1名で、本人が多幸感を感じる有酸素運動域運動強度で自転車エルゴメータ運動を25分間行わせ、その際の主観的運動強度で、左右の前額部、上部前額部、側頭部、後頭部の計8カ所で、近赤外線分光装置を用いて、酸素化ヘモグロビン濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化、総ヘモグロビン濃度変化をサンプルタイム0.5秒で測定した。(研究1)。トライアスロン部学生3名を含む健全な男女大学生7名に、換気閾値の80~90%の心拍数で、屋内での固定走行と屋外での自然走行を各30分間行わせた。自転車運動の主動筋である外側広筋と感情生成に関連する領域といわれている左右上部前額部の脳酸素動態とVisual analyzing scaleを用い、走行前後の心理変化を調べた(研究2)。

【結果】研究1：運動開始により、酸素化ヘモグロビン濃度量が減少し、酸素化ヘモグロビン濃度量が増加した。酸素化ヘモグロビン濃度が最も低かったのは前額部、次いで左側頭部の順であった。逆に酸素化ヘモグロビン濃度が最も増加したのは上部前額部であった。高揚感の得られた8分後には酸素化ヘモグロビン濃度量が最大となり、外側前額部(前頭前野)や後頭部(後頭葉)は約12分経過した時点で最大値を示した。それと同時に脱酸素化ヘモグロビン濃度も減少も止まり、それ以降は両方ともあまり増減が見られず、高揚感が得られたまま25分間走り続けられたが、前額部(前頭前野)だけは左右とも減少した。

研究2：一般学生被験者では固定走行時の方が酸化ヘモグロビン濃度も脱酸化ヘモグロビン濃度も秒単位の細かい増減が見られ、自然走行では分単位の大きな変化が見られた。トライアスロン部所属被験者では固定走行時も自車自然走行時もグラフに大きな変化は見られなかった。走行前後の心理変化では、固定走行時と自然走行時の Visual analyzing scale 値（走行前 70.4 ± 14.5 、走行後 83.6 ± 10.8 ）に統計上有意な変化はなかった。走行時間の感じ方は、全被験者、自然走行の方が走行時間を短く感じており、固定走行時は Visual analyzing scale 48.0 ± 21.6 、自然走行時は 29.7 ± 13.8 と減少する傾向が見られた。運動強度は、7名の被験者のうち5名の被験者は自然走行の方が楽に感じており、屋内での固定走行時は Visual analyzing scale 38.8 ± 21.1 が自然環境での走行は 29.9 点 ± 18.2 に軽快する傾向が見られた（研究2）。【考察】研究1で、強い快感情は左背外側前頭前野の血流減少を伴い、強い不快感情は腹外側前頭前野の血流増加をともなうとの先行研究に拠れば、前額部と左側頭葉の酸素化ヘモグロビン濃度減少は多幸感と関連し、上部前額部の酸素化ヘモグロビン濃度増加は強い不快感情を示したと解釈された。

研究2：前頭前野は脳活動を最小限に抑えるため、慣れた作業に対し活動しないという特性がある。被験者間に見られた脳酸素動態の差は、自転車への慣れの差である可能性が考えられる。【結語】運動時多幸感時に前頭前野と左側頭葉での酸素化ヘモグロビン濃度減少が記録された（研究1）。固定状態での自転車運動と自然走行での自転車運動における比較では、自然走行に快感を感じた被験者が多い傾向があったが、左前頭部での脳酸素動態には明確な差は検出できなかった（研究2）。自然走行の際、7人中5人で乱外光が基準値を超え、正確な値を求めるために、より遮光を完全にする必要がある。

1 緒言

近年、生活習慣病予防・改善のために有酸素運動が頻用されているが、運動の継続には、その運動自体の楽しみの要素が重要である。最近では健康意識、運動によるストレス解消を求める、ジョギングやサイクリングを行う人も急増している。日本ではジョギング推計人口 248 万人、サイクリング推計人口 258 万人にも及ぶと言われている¹⁾。

30 分以上の長時間にわたる持久性の運動では、ランナーズ・ハイ（ランナーの陶酔した心境）が生じる。これには脳内で分泌される麻薬様ホルモンの β -エンドルフィンの作用が指摘されている²⁾。しかし、運動による多幸感が脳各部位の酸素動態にいかなる変化を及ぼしているかは十分には明らかにされていない。近年、生活習慣病予防・改善のために据え置き型の自転車運動が頻用されているが、屋外を自然走行した場合との脳酸素動態の違いを明らかにした研究は多くない。自転車運動で、運動由来の高揚感・多幸感と関連する脳の特定部位を明らかにできれば、同部位の酸素動態の測定により、より多幸感をもたらす自転車運動方法の開発、楽しく長続きする運動の指導に有用であろう。

前頭前野や前頭極は扁桃体、前視床核、前帯状回などの感情生成に重要な領域からの入力をうけており^{3), 4), 5)}、近年感情制御の場として注目されている。また、被験者の感情の動きによって左右前額部において強い反応が見られることも報告されている⁶⁾。

2 目的

近赤外線分光法 (near-infrared spectroscopy : NIRS) を用いて、運動による多幸感時の、被験者の前頭連合野その他の脳の部位での酸素動態変化・差異を調べ、多幸感時の脳酸素動態変化部位を明らかにすること（研究 1）、自転車を自然走行した時と室内にて固定状態の自転車をこいだ時の前頭連合野での酸素動態変化・差異、走行前後の主観的心理状態を visual analyzing scale: VAS を用いて測定し、自転車運動の違い（自然走行と固定走行）によって心理および脳酸素動態の変化が見られるのかを明らかにすること（研究 2）を目的とする。

3 方法

3-1 被験者

被験者（研究 1）は順天堂大学スポーツ健康科学部スカッシュ部に所属する健全な体育大学生男子 1 名（21 歳、179 cm、70 kg）であった。

被験者（研究 2）は、J 大学所属の健常な大学生 7 名（男子 2 名、女子 5 名：内トライアスロ

ン部 3 名被験者 E、F、G) であった。被験者の年齢、身長、体重の平均値と標準偏差はそれぞれ 21 ± 1.07 歳、 160.21 ± 8.37 cm、 55.07 ± 7.99 kg であった。本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部研究等倫理審査を受け、承認されている（順大ス倫第 21-14 号、第 21-17 号）。

3-2 方法

研究 1

自転車エルゴメータ（Monark Ergomedic 828E Exercise Bike, Monark, Sweden）を用い、以下の順序にて測定を行った。

- 1) ガス分析装置(Aeromonitor AE280S, Minato Medical Science, Japan)を用いて酸素摂取量、二酸化炭素排出量、換気量を測定し、無酸素性作業閾値を測定した。同時に心拍数、主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion : RPE) を測定した。
- 2) 自転車エルゴメータにて有酸素運動域において、自転車運動を本人が多幸感を感じる運動強度で一定時間行い、その際の主観的運動強度（やや楽）、頭蓋各部位：左右の前額部、上部前額部、側頭部（耳の上）、後頭部（耳の後ろ）の計 8 カ所、において、近赤外線分光装置を用いて局所の酸化ヘモグロビンと脱酸化ヘモグロビン量の割合を調べた。

研究 2

被験者は換気閾値時の約 80-90% の心拍数になる運動強度を保ち、室内では自転車エルゴメータを用い、屋外ではトライアスロン部の 3 名には普段使いなれている各自の競技用自転車を、ほかの 4 名は研究室で用意したマウンテンバイクを用いた。それぞれ 30 分間の自転車走行を行った。走行時にはハートレートモニター (POLAR) を装着し、心拍数の管理と走行時間の管理を各自行った。また、走行前後に心理状態を測定するアンケートに回答した。

有酸素運動と無酸素運動の境目となる換気閾値を求めるため、事前に自転車エルゴメータを用いて無酸素評価テストを行った。無酸素評価テストの際に被験者はハートレートモニター (POLAR) を装着し、安静時 1 分、ウォーミングアップ 1 分及びテスト中 1 分おきに心拍数と主観的運動強度を記録し、換気閾値時的心拍数を求めた。

3-3 測定方法

A. 無気的作業閾値

自転車エルゴメータを用いて、無酸素運動能力の評価テストを行った⁷⁾。測定は、自転車エル

ゴメータ（828E、モナーク社）を用いて、被験者が運動を行う前に1分間の安静をとらせ、運動中サドルから腰を浮かせないことを指示し、運動中は周りの者が声援し、最大努力を促した。運動負荷は、25wattで1分間のウォームアップを行い、そのまま25wattで自転車をこがせた。負荷は毎分ごとに25wattずつ漸増させた。また、自転車の回転数は毎分50回転のリズムを保ち、そのリズムでこげなくなるまでこぎ続けた。サドルの高さは、被験者に最も漕ぎやすい位置に調整した。

B. 脳の酸素動態

被験者にハートレートモニターと近赤外線分光装置を装着した。自転車エルゴメータで、前に測定した無気的作業閾値のおよそ80-90%の負荷(心拍数)で25分間こぐ様に指示した。こいでいる間に高揚感を得られた時の記録をした。近赤外線分光装置が2チャンネルであるため、測定部位を換え、計4回自転車運動をおこなわせた。

脳酸素動態の測定

近赤外線分光法(NIRS)を用いた2チャンネルの酸素モニタ（浜松ホトニクス社製、NIRO-200）を使用し、脳酸素動態の指標として酸素化ヘモグロビン濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化、総ヘモグロビン濃度変化をサンプルタイム0.5秒で測定した。

研究2

1) 脳酸素動態

室内では赤外線酸素モニタ装置(浜松ホトニクス株式会社、ニロモニター NIRO 200)を、屋外では携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置（株式会社ダイナセンス、Pocket NIRS Duo）を使用した。光プローブを右外側広筋と左額に付け、組織酸素化指標および組織ヘモグロビン指標と、酸素化ヘモグロビン濃度変化および脱酸素化ヘモグロビン濃度変化、総ヘモグロビン濃度変化の同時測定を行い記録した。被験者は遮光のため屋内、屋外関わらず帽子と遮光サポーターを装着し、屋外走行時は加えてサングラスも装着した。

2) 換気閾値

換気閾値は呼気ガス分析器(Aeromonitor AE280S, Minato Medical Science, Japan)と赤外線酸素モニタ装置を用いて測定した脳酸素動態より求めた。

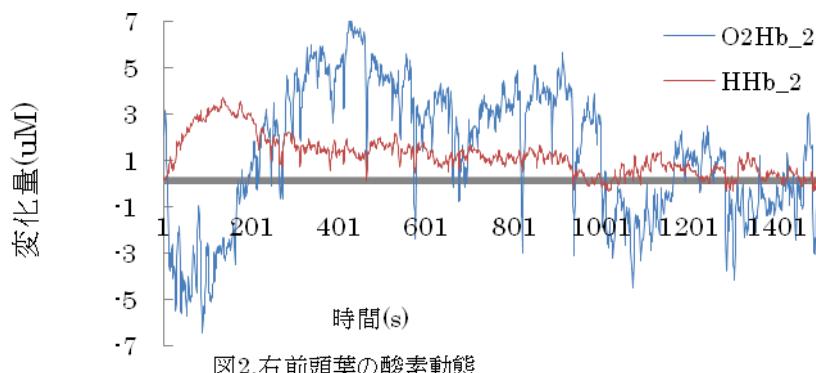
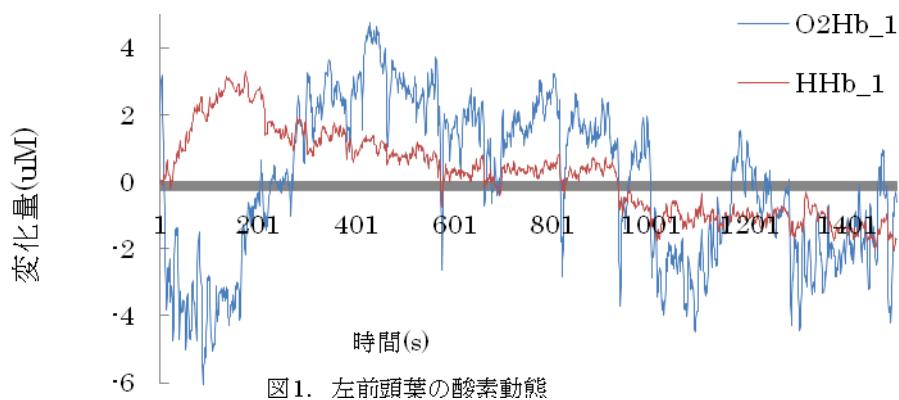
呼気ガス分析器は、運動開始 1 分前からクールダウン 3 分まで、15 秒間隔で分時換気量、分時酸素摂取量、分時二酸化炭素摂取量を測定した。呼気ガス分析器の較正は、テストの開始前に N₂-CO₂混合標準ガスを用いて行い、また、チューブを通過するガスの移動時間の補正を行った。

3) 心理変化

Visual analyzing scale (VAS) を用いて、30 分間の走行前後の心理的変化を測定した。

4 結果

4 (研究 1) -1 前頭葉の酸素動態



4 (研究 1) -2 後頭葉の酸素動態

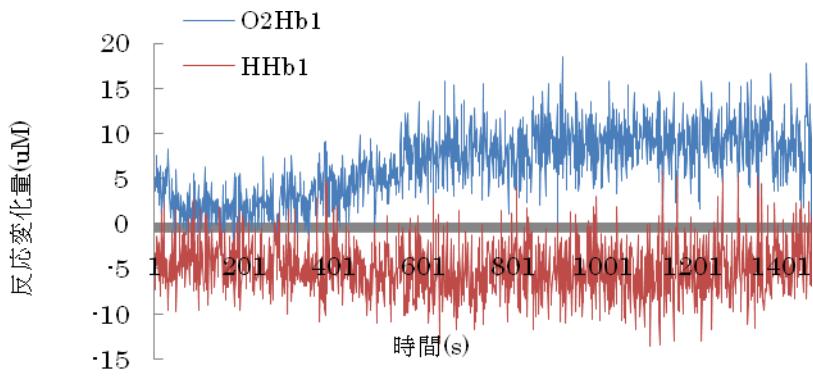


図3.左後頭葉の酸素動態

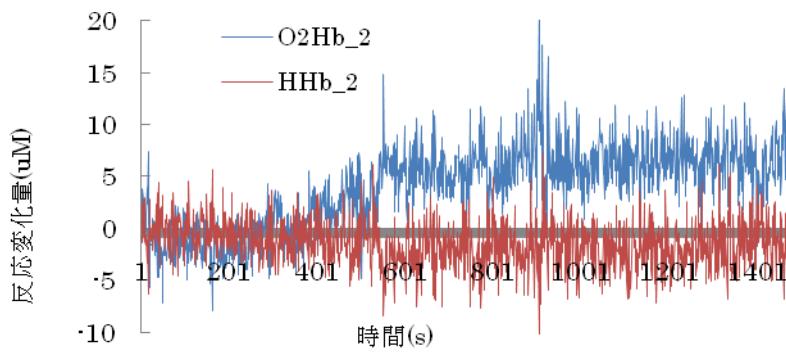


図4.右後頭葉の酸素動態

4 (研究 1) -3 側頭葉の酸素動態

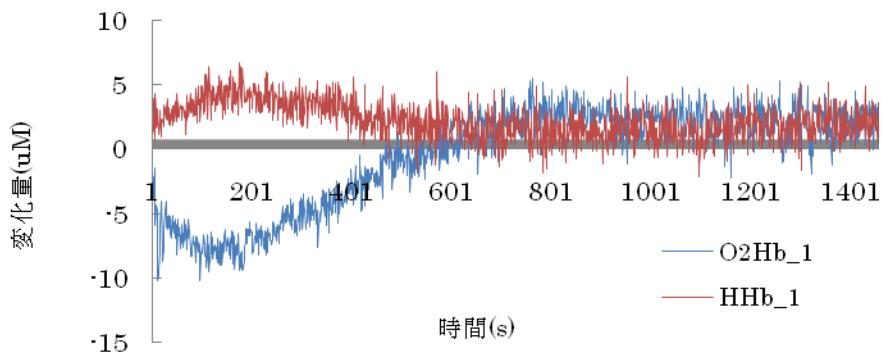


図5.左側頭葉の酸素動態

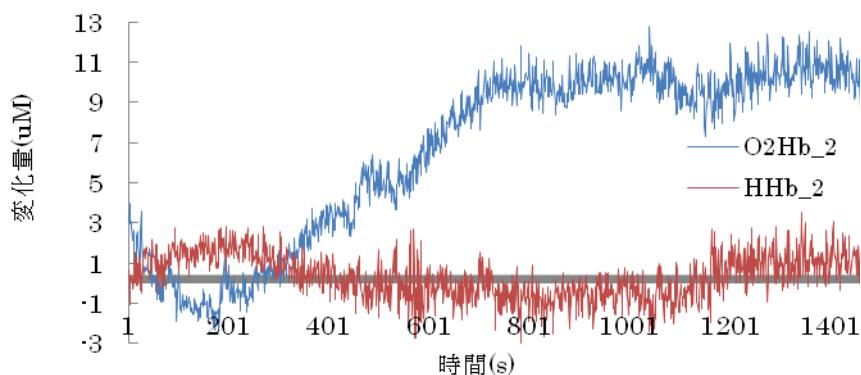


図6.右側頭葉の酸素動態

研究 1) -4 外側前頭前野の酸素動態

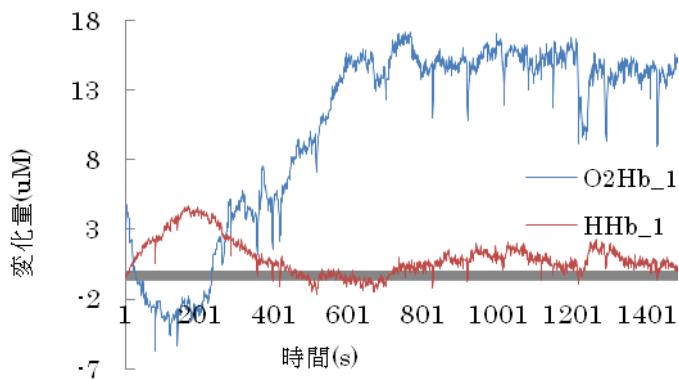


図7.左外側前頭前野の酸素動態

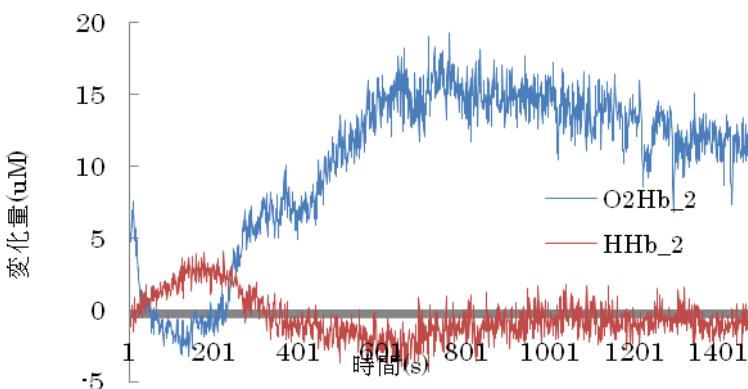


図8.右外側前頭前野の酸素動態

有酸素運動を開始してから約8分後に高揚感が得られた。高揚感の得られるまでの約8分間の前頭葉左側の酸素化ヘモグロビン濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均値はそれぞれ-0.043uM、1.576uMで、右側は1.248uM、1.997uM、後頭葉左側は2.484uM、-4.479uMで、右側は-0.414uM、-0.698uM、側頭葉左側は-5.94uM、3.481uMで、右側は0.659uM、1.131uM、左外側前頭前野は1.614uM、1.977uMで、右外側は3.299uM、0.674uMであった。

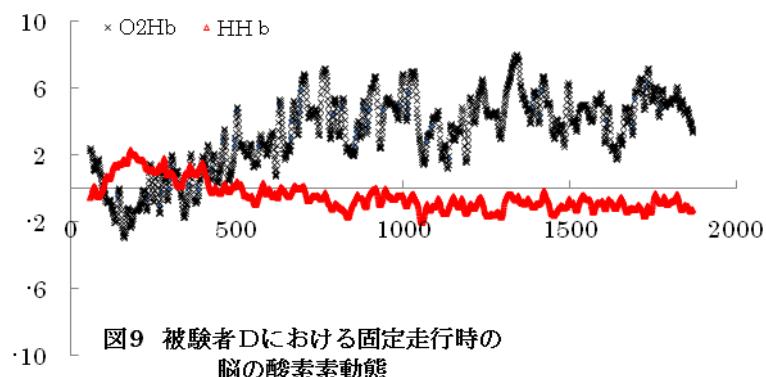
高揚感を得られた約8分～25分までの間の前頭葉左側の酸素化ヘモグロビン濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均値はそれぞれ-0.058uM、-0.458uMで、右側は1.327uM、0.791uM、後頭葉左側は8.078uM、-5.228uMで、右側は6.095uM、-1.841uM、側頭葉左側は、1.695uM、1.667uMで、右側は9.092uM、0.054uM、左外側前頭前野は、14.385uM、0.448uMで、右外側は13.520uM、-1.147uMであった。

4 (研究2) - 5 酸素動態

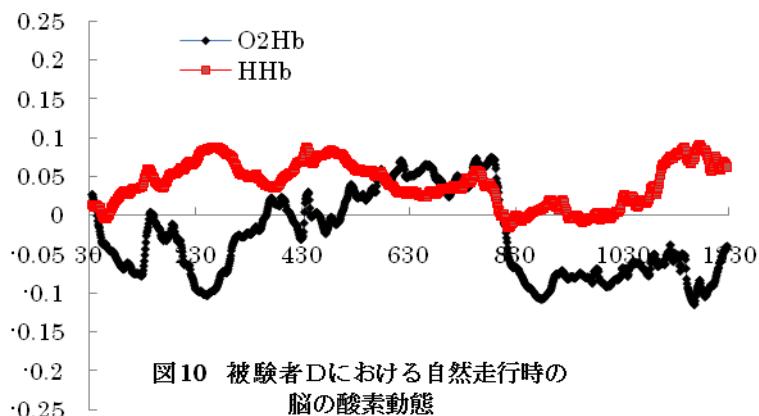
研究2では自然走行の際、遮光がうまく行えておらず、実験の最中に乱外光が基準値を超えてしまったため、7人中5人のデータは有効率50%以下で正確な値を求めることができなかった。そのため、酸素動態の結果には屋内と屋外ともに有効率90%以上のデータが取れた2名の被験者

のグラフを載せ、解析した。

被験者Dの脳酸素動態は、固定走行時、運動開始より酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）は最大で 5.73 増加し、5.25 減少、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化（HHb）は最大 2.85 増加し、1.51 減少した。



被験者Dの脳酸素動態は、自然走行時、運動開始より酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）は最大 0.05 増加し、0.142 減少した。脱酸素化ヘモグロビン濃度変化（HHb）は最大 0.08 増加し、0.03 減少した。

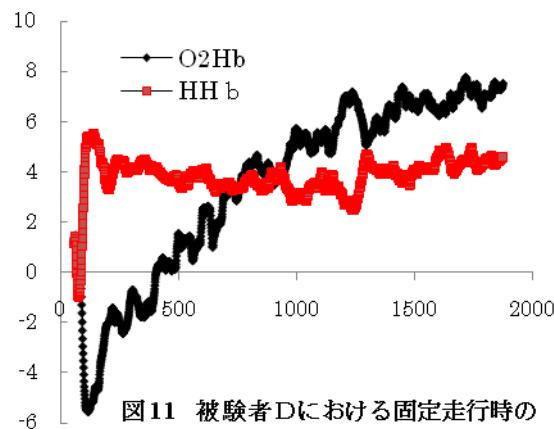


被験者Dの固定式自転車運動（図9）、屋外自然環境での自転車走行（図10）では共通して、運動開始直後に酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）の値が一度低下し、その後増減を繰り返しながら、徐々に増加していく傾向がみられた。脱酸素化ヘモグロビン濃度変化（HHb）は運動開始後一度上昇し、その後増減を繰り返しながら、徐々に減少していく傾向がみられた。

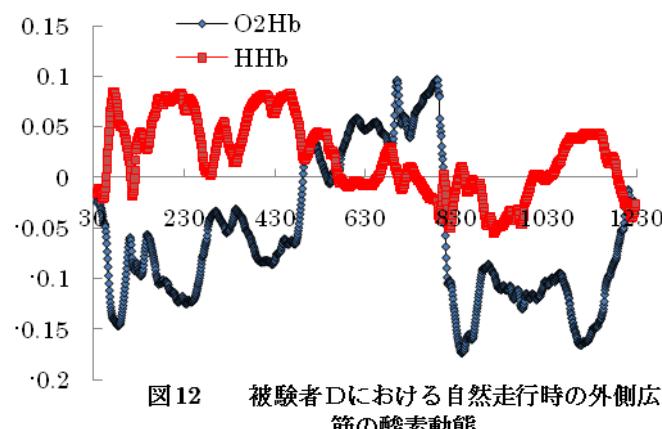
酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）と脱酸素化ヘモグロビン濃度変化（HHb）を比べると、酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）の方が変動が大きかった。

固定走行時（図9）では、大きな変化以外に、酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）も脱酸素

化へモグロビン濃度変化 (HHb) も常に細かな増減を繰り返していた。自然走行時 (図 10) では、酸素化へモグロビン濃度変化 (O₂Hb) と脱酸素化へモグロビン濃度変化 (HHb) に細かな変化はあまり見られず、秒単位で変化していた固定走行に対し、数分単位で大きく増減していた。



	脳	脚
最大値	O ₂ Hb	5.444
	HHb	1.005
最小値	O ₂ Hb	-1.146
	HHb	-2.024
運動開始	O ₂ Hb	-0.885
	HHb	-0.167
	O ₂ Hb	10.279
	HHb	1.853
	O ₂ Hb	-7.866
	HHb	-3.445
	O ₂ Hb	0.44
	HHb	-0.365



被験者Gの脳酸素動態は、固定走行時、運動開始より酸素化へモグロビン濃度変化 (O₂Hb) で 6.33 増加し、0.26 減少した。脱酸素化へモグロビン濃度変化 (HHb) で 1.17 増加し、1.86 減少した。

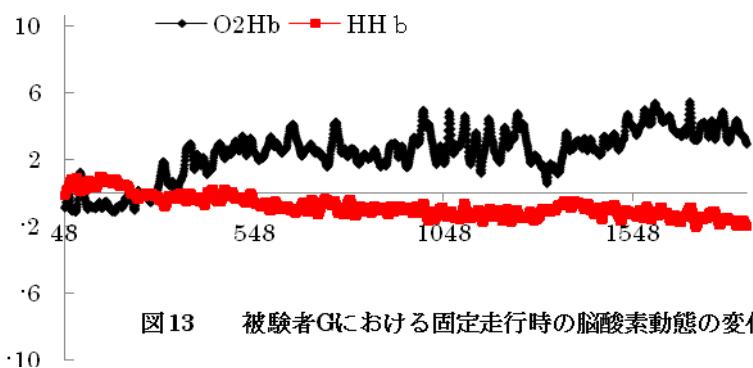


図13 被験者Gにおける固定走行時の脳酸素動態の変化

被験者Gの脳酸素動態は、自然走行時、運動開始より酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）は最大 0.10 増加し、5.16 減少した。脱酸素化ヘモグロビン濃度変化（HHb）は最大 0.03 増加し、0.02 減少した。

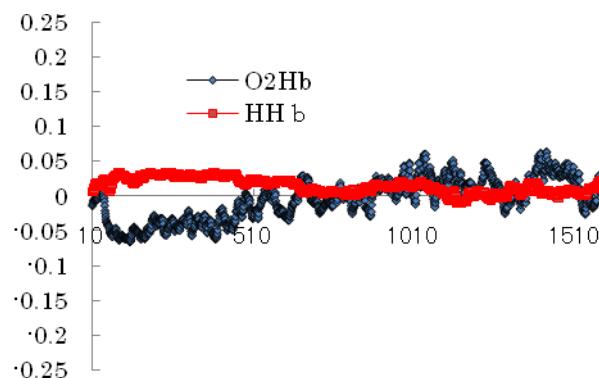


図14 被験者Gにおける自然走行時の脳の酸素動態

固定走行時の方が自然走行時よりも酸素動態の変化が大きかった。また、被験者Dと比べると固定走行時も自然走行時とともに酸素動態の変化は少なかつた。

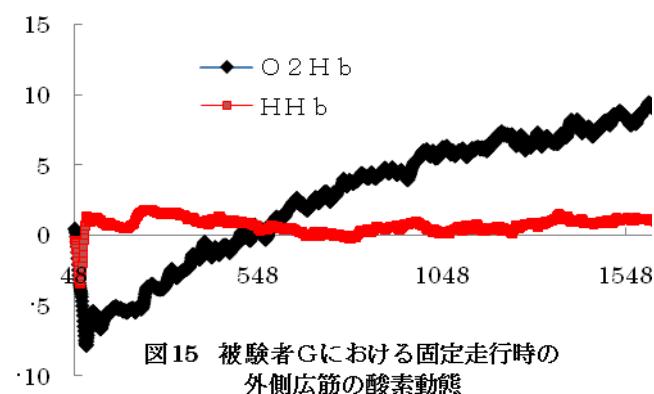


図15 被験者Gにおける固定走行時の外側広筋の酸素動態

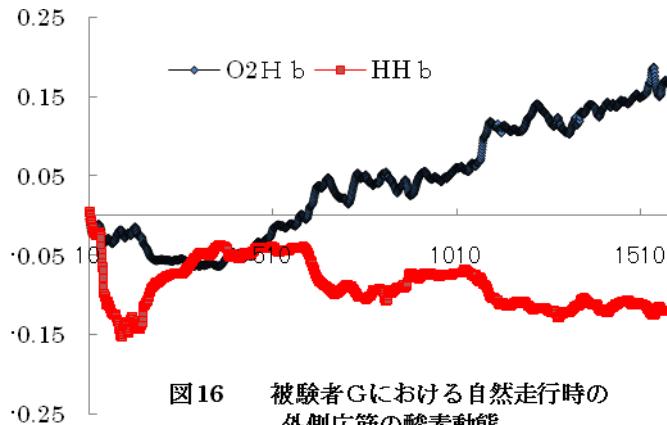


図16 被験者Gにおける自然走行時の外側広筋の酸素動態

4. 2. 主観的心理状態

1) 走行前後の心理変化

固定走行時では、走行前のVAS値が 69.9 ± 17.0 が走行後 70.0 ± 18.3 とほとんど変化はなく、統計上有意差はなかった。自然走行時は走行前VAS値が 70.4 ± 14.5 が走行後 83.6 ± 10.8 に変化したが、統計学上有意差がなかった。

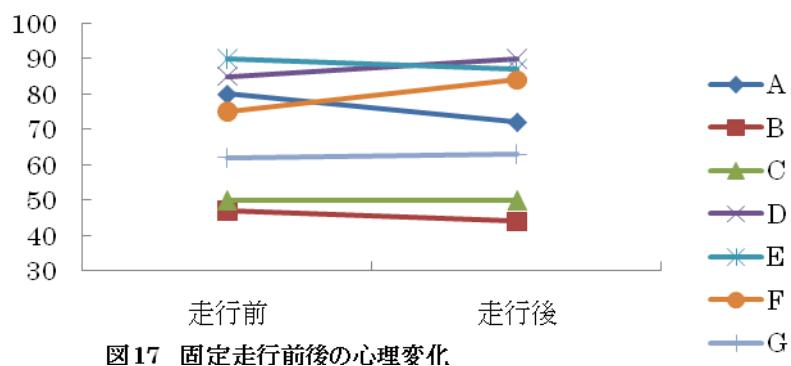


図17 固定走行前後の心理変化

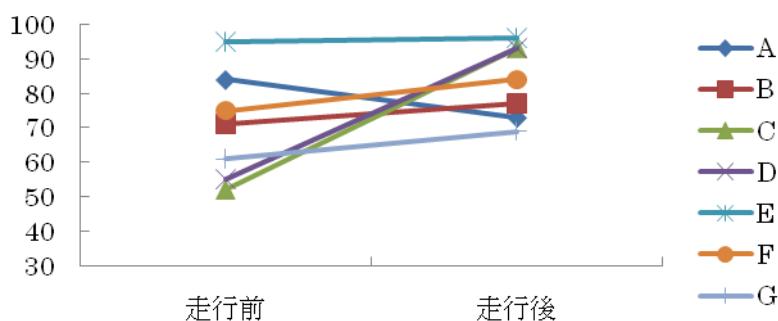


図18 自然走行前後の心理変化

2) 時間の感じ方

全被験者、自然走行の方が固定走行に比べて走行時間が短く感じていた。固定走行時は VAS 値 48.0 ± 21.6 、自然走行時は VAS 値 29.7 ± 13.8 と減少傾向を示したが、統計上有意差はなかった。

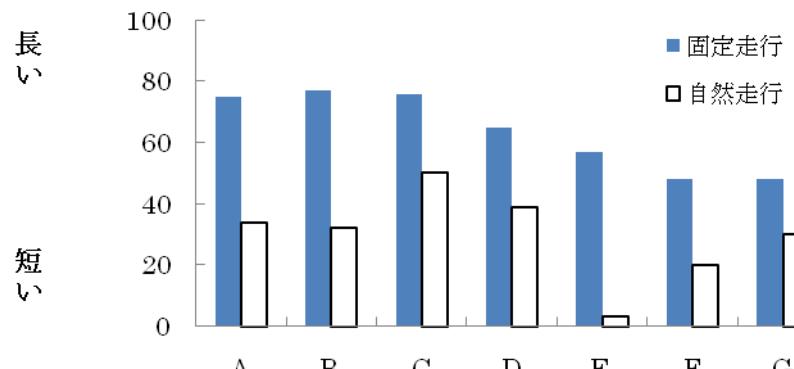


図19 走行法別の走行時間の感じ方

3) 運動強度の感じ方

5 名の被験者は自然走行の方が固定走行より楽に感じていた。屋内での固定走行時は VAS 値 38.8 ± 21.1 が自然環境での走行では 29.9 ± 18.2 に減少したが、統計上有意差は見られなかった。

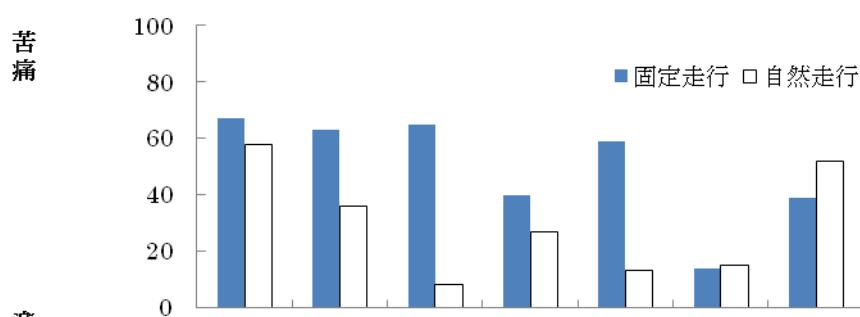


図20 走行法別における走行時の苦楽の感じ方

5 考察

近赤外線分光法(Near-infrared spectroscopy: NIRS)は、可視光と赤外光の間にある波長 700～3000nm の近赤外光を生体内に投射し、生体組織における酸素化ヘモグロビン・ミオグロビン(oxy-Hb/Mb)と脱酸素化ヘモグロビン・ミオグロビン(deoxy-Hb/Mb)の吸光度の相違を利用して、

特定部位における酸素化、脱酸素化ヘモグロビン・ミオグロビンと両者を合わせた総ヘモグロビン・ミオグロビン量(total-Hb:blood volum)を知る方法である。近赤外光を初めて生体の酸素動態測定に応用したのが Millikan ら(1937)である。その後、Jobsis(1977)と Chance ら(1988)によりヒトの脳および骨格筋における酸素動態の計測が行われた。

NIRS による組織酸素濃度測定の原理は、近赤外光の高い組織透過性とヘモグロビン/ミオグロビンの吸収係数の波長依存性によるものである。これらの特性を利用してヘモグロビンの酸素化、脱酸素化状態を Lambert-Beer の法則に基づき近似的に計測できる。しかし、実際の演算式は、使用機器および研究者によって多少異なっており、演算式の正当性についてはそれぞれの研究者により検討されている。

基本的に組織への近赤外光の平均深度は、送光部と受光部の距離の半分であり、測定領域は送受光間を直径とする半球状である。送受光間距離が 3cm の場合には、平均深度は 1.5cm となる。深部の測定は理論的には可能であるが、S/N 比が低下するために現段階では送受光間は 4cm 程度が限界と考えられる。

本実験（研究 1）は毛髪の存在が、測定阻害要因であり、スキンヘッドになることを協力してくれた学生 1 名による。全ての部位で、有酸素運動開始直後は酸素化ヘモグロビン濃度が減少し、脱酸素化ヘモグロビン濃度が増加した。開始後 3~4 分が経過したところで酸素化ヘモグロビン濃度が増加し、脱酸素化ヘモグロビン濃度が減少し始めた。通常の脳活動では、運動開始直後に酸素化ヘモグロビン濃度が減少しその後増加する⁸⁾と報告されている。運動開始により、酸素消費が増加したため、酸素化ヘモグロビン濃度量が減少し、これを受けて血流の増加が起り、酸素化ヘモグロビン濃度量が増加する。それから高揚感の得られた 8 分後には酸素化ヘモグロビン濃度量がピークに達し、外側前額部（前頭前野）や後頭部（後頭葉）は約 12 分経過したころにピークになった。それと同時に脱酸素化ヘモグロビン濃度も減少が止まり始めた。それ以降は両方ともあまり増減が見られず、高揚感が得られたまま 25 分間走り続けられたが、前額部（前頭前野）だけは左右両方とも減少が見られた。

最も酸素化ヘモグロビン濃度が増加を見せたのは上部前額部（外側前頭前野）であった。強い不快感情は腹外側前頭前野の血流増加を、強い快感情は左背外側前頭前野の血流減少を伴うこと⁹⁾が指摘されている。研究 1 の被験者における上部前額部（外側前頭前野）の酸素化ヘモグロビン濃度增加は強い不快感情を示唆している可能性がある。

前頭前野は感情や行動の抑制などいわば人間の理性をつかさどる領域とされ、手慣れた作業と関係のない余分な活動は抑え、作業を行うために必要な部位だけを使うようになるという研究¹⁰⁾も

ある。また、前頭葉障害の徵候として、無欲、多幸、易刺激性、保続などが挙げられる。

酸素化ヘモグロビン濃度が最も低かったのは前額部（前頭前野）で、その次に低かったのは左側頭部（左側頭葉）であった。以上のことから多幸感を感じる状態のモニターには前頭前野と左側頭葉のモニターが有効であると考えられる。ただし、本実験は被験者が一人であるため、少なうとも二桁の被験者からのデータ解析が必要であり、今後の課題である。

今回の実験で用いた、携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置（株式会社ダイナセンス、Pocket NIRS Duo）は BluetoothTMによる無線データ通信機能を使い、パソコンもしくは PDA に転送され、専用ソフトでリアルタイムに解析・表示・記録される¹¹⁾。屋外に出る際は約 100g の本体とデータの記録される小型のパソコンだけを身に着けていればいいため、自然な状態で自転車に乗ることができる。

屋外で使用する際には、日光など乱外光の混入基準値以内に抑える必要がある。しかし今回の実験では、自然走行の際、遮光がうまく行えておらず、実験の最中に乱外光が基準値を超えてしまったため、7人中5人のデータは有効率 50%以下で正確な値を求めることができなかった。そのため、酸素動態の結果には屋内と屋外ともに有効率 90%以上のデータが取れた 2名の被験者のグラフを載せた。

図 2 では実験時間の約半分の段階で酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）も脱酸化ヘモグロビン濃度（HHb）も減少している部分がある。これは実験の最中に機械の不具合で計測が止まってしまったために、運動を約 30 秒間停止したためであると考えられる。したがって、脳活動に変化があったとはとらえない。

一般に酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）が上昇し、脱酸化ヘモグロビン濃度変化（HHb）が低下した状態を酸素化が上昇したといい、この状態のとき、脳活動が上昇したと考える¹²⁾。これは神経活動時の局所血流量は 50%程度上昇するのに対し、酸素消費量は 5 %程度しか上昇しないという神経活動と局所脳血流量との関係をもとにしている¹³⁾¹⁴⁾。この観点から 2つのグラフを見てみると、被験者 D は、図 9 より運動開始から 2 分後、運動開始直後より上昇していた脱酸化ヘモグロビン濃度変化（HHb）と下降していた酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）が入れ替わるように、脱酸化ヘモグロビン濃度変化（HHb）が徐々に下降していくのに対し、酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）が上昇していく部分があるのがわかる。また、図 10 より運動開始から 3 分後より約 2 分間と 7 分後より約 3 分間酸素化ヘモグロビン濃度変化（O₂Hb）が上昇し、脱酸化ヘモグロビン濃度変化（HHb）が低下している部分が見られる。このあたりでは脳の活動が上昇したと考えられる。

被験者Gのグラフを見てみると、図13では開始約2分後に脱酸化ヘモグロビン濃度変化(HHb)が減少し、酸素化ヘモグロビン濃度変化(O2Hb)が上昇している部分が見られる。しかし、被験者Dに比べるとその変化は少ない。図14では脳の活動が上昇がはっきりと見られる部分はない。この被験者間の差は前頭前野の働きによるものと考えられる。

前頭前野はあらゆる動物の中でヒトが最も発達している部分であり、感情や行動の抑制、複雑な運動の制御など、人間の理性や高次認知機能を司る領域である。この前頭前野は手慣れた作業をしているときにはあまり活動しない部分であることが分かっている。脳は一度覚えてしまった作業に関して、最小限の労力でそれを実行しようとする。そのため、慣れている作業では前頭前野が働かない¹⁰⁾。

比較している2名のうち被験者Dは普段自転車に乗る習慣がない一般学生で、被験者Gはトライアスロン部の学生である。そのため自転車運動への慣れに差があった。被験者Gにとっては普段から乗りなれている自転車で、普段走行しなれている場所での実験だったため、気を配ることは心拍数の管理のみであった。それに対し被験者Dは乗りなれないマウンテンバイクに乗り、走りなれない道での実験のため、被験者Gに比べてより脳を使っていた（意識の集中を要求されていた）と考えられる。被験者Dにおいては、固定走行と自然走行において脳酸素動態に違いがみられた。これは、自然走行時にはマウンテンバイクの使い方に慣れないことに加え、走行時の安全確保と心拍数の安定に思考が向いていた。それに対し、固定走行ではバランスをとったり、安全を考えたりする必要はなく、壁に向かい、会話もなくひたすら自転車をこぐだけの単調な作業であった。そのため被験者は自転車をこぐということよりもほかに思考を巡らせていた様子が見られ、自然走行時よりも脳の酸素動態の変化が細かく見られたのだと考えられる。

脳の酸素動態から快・不快の感情を見るという星らの研究⁹⁾では、左腹側前頭前野には快感情において酸素化ヘモグロビン濃度変化(O2Hb)が減少する部分と不快感情においても酸素化ヘモグロビン濃度変化(O2Hb)が増加する部分が隣り合わせで存在している。今回は赤外光プローブを1つしか装着しなかったため詳しいことは言い切れない。屋外走行時に酸素化ヘモグロビン濃度変化(O2Hb)の上昇が固定走行時より緩やかに起こっていたのは快感情によるものの可能性があると考えられる。

5. 2 心理変化

VSAを用いたアンケートの結果では固定走行と自然走行における心理変化には有意差はなかった。しかし、全被験者が共通してアンケートに記入したことは、屋外での自然走行の方が心拍

数を一定に保つのは難しいが、30 分が短く感じ、楽しかったという点であった。

実験日はすべて天気が良く、気温も極端に低いということがなかったことも自然走行の方が快楽しかったと答えたことの要因の1つと考えられる。

5. 3 今後の課題

今後の課題として以下の4点を検討すべきであると考える。

1) 屋外実験における遮光対策

遮光がうまくいかなかった原因として、眼から吸収される光を遮断できていなかつたことが考えられる。今回の実験では被験者はサングラスをかけた状態で走行したが、顔にぴったりと密着しているわけではないので、隙間から光が入ってしまったと考えられる。ゴーグルなど顔に密着するものをサングラスの代わりに用いる。また、ツバ付きの帽子をかぶるなどの対策を行えば今回の実験よりも有効率の高いデータが得られると考えられる。また、天候にも左右されやすいので、すべての被験者の条件を一致させた方が良いと考える。

2) 機械の種類

今回の実験では屋内の固定走行時は赤外線酸素モニタ装置(浜松ホトニクス株式会社、ニロモニタ NIRO200)、屋外の自然走行時は携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置(株式会社ダイナセンス、Pocket NIRS Duo)を使用した。NIRS で計測される値は絶対値ではなく相対値であることから、数字そのものを見ることではなく、O₂Hb と HHb の変化を見ることが目的であるため、その変動に対する単位は「無い」あるいは「任意 (a.u.)」となる。実験で用いた2つの機械はそれぞれ異なる単位で計測値が表示されるため、変化を比べるのがやや困難であった。Pockt NIRS は屋外でも屋内でも利用可能なことから、次の実験では固定走行でも Pockt NIRS を使用して実験すれば、比較を容易に行えよう。

3) 被験者の特性

今回の実験では7人中4人は普段自転車に乗ることがない一般学生で、残り3人はトライアスロン部に所属し、週に4日以上自転車のトレーニングを行っている学生であった。そのため、自転車運動への慣れによる差があった。前頭前野は高次認知機能において重要な役割を果たしており、屋外での走行時にはトライアスロン部の3名には普段使いなれている自分の競技用バイクを使ってもらったのに対し、ほかの4名はこちらで用意したマウンテンバイクを使って実験を行つたため、自転車への慣れという部分でも差が生まれてしまった。被験者は自転車に乗りなれているものか、普段自転車に乗らないもののどちらかの特性に眼底した方が良かったのではないか

と思う。また、一般学生と自転車競技者に分けて比較実験を行うのであれば、被験者数を増やす必要がある。

4) 心理アンケートの工夫

本実験では被験者に対し、固定走行と自然走行とを比較してもらうアンケートを行わなかった。また、固定走行時と自然走行時のアンケート用紙を別にしたため、アンケートに回答する際にその場の感覚のみで、比較するものがない状態での回答であった。2回目の実験の際は1回目の実験のアンケートを被験者に見せた状態で、回答してもらった方が、数値の変化がわかりやすかつた。

6 結論

運動時多幸感時に前頭前野と左側頭葉での酸素化ヘモグロビン濃度減少が記録された。固定状態での自転車運動と自然走行での自転車運動における比較では、自然走行に快感を感じた被験者が多い傾向があったが、左前頭部での脳酸素動態には明確な差は検出できなかった。自然走行の際、正確な値を求めるために、より遮光を完全にする必要がある。

文献

- 1) 資料：SSF 笹川スポーツ財団「スポーツライフに関する調査」2008
- 2) 石河利寛、杉浦正輝（2004）運動生理学。建帛社、475頁
- 3) Arikuni T (1994) Ipsilateral connections of the anterior cingulated cortex with the frontal and medial temporal cortices in the macaque monkey. Neurosci Res, 21:19-39
- 4) Ghashghaei HT (2007) Sequence of information processing for emotion based on the anatomic dialogue between prefrontal cortex and amygdale. Neuroimage 34,90-923.
- 5) Xiao D (2002) Pathways for emotions and memory I. Input and output zones linking the anterior thalamic nuclei with prefrontal cortices in the rhesus monkey. Thalamus Relat Syst, 2,21-32.
- 6) 田村守(2003) 近赤外光を用いた脳機能計測、計測と制御 42(5),396-401
- 7) Powers,S.K. and Howley, E.T. (1994) *Theory and application to fitness and performance.* 2nd ed., Wm.C.Brown
- 8) Tanaka T, Yamada Y, Ohata K, Yabe K:Assessment of sites-related difference in fat and muscle thickness in adults with cervical spinal cord injury. Advances in Exercise and Sports

Physiology 13(2):25-23,2007 と

- 9) 星詳子 (2010) 気分を担う前頭葉のはたらき. 体育の科学, 60(4), 252
- 10) 松田剛 (2010) テレビゲーム中における前頭前野の活動変化とその要因. 体育の科学, 60(4), 228-232
- 11) 株式会社ダイナセンス <http://www.dynasense.co.jp/>
- 12) 濵谷顕一 (2010) 筋疲労時の運動野の活動、体育の科学 60 (4) ,217-220.
- 13) Fox PT(1986)Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. Proc Natl Acad Sci USA, 83,1140-1144.
- 14) Sirotin YB(2009)Anticipatory haemodynamics signals in sensory cortex. Nature,457, 387-388

研究II サドル高に関する研究

1 サドル高がペダリング運動時のエネルギー消費量および下肢筋活動に及ぼす影響

形本静夫^{1,2}、村出真一朗²、坂本彰宏³、柿木亮²

¹順天堂大学スポーツ健康科学部

²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

³東京工業大学大学院社会理工学研究科

はじめに—背景と目的

近年、様々な分野で健康増進に対する認識が高まっており、その一例としてサイクルスポーツへの参加増加が挙げられる。サイクリストを対象とするスポーツイベントは年々増える傾向にあり、男女問わず子供から中高齢者まで幅広い年齢層が参加できる事はサイクルスポーツの魅力と言える。サイクルスポーツは、他のスポーツ種目と比べ膝や腰への負担も少なく運動強度のコントロールが比較的容易に出来ることから、長時間の運動継続も可能となる。したがって、近年懸念されている運動不足の解消に貢献し、メタボリックシンドromeの予防手段の一つとしても活用できる。

長時間のサイクリング運動時、特にレース時において、パフォーマンスに影響を及ぼす要因は多々存在する。例えばペダル回転数や乗車姿勢の変化は、エネルギー消費量の指標となる酸素摂取量に影響を及ぼすことが先行研究により報告されている¹⁾²⁾³⁾。したがって、至適な回転数や乗車姿勢を選択することはサイクルパフォーマンスを向上させるに至り重要となる。またサドル高の変化も酸素摂取量や下肢の筋活動に影響を与えると考えられる。実際、至適とされるサドル高からの上下変化は、共に酸素摂取量を増加させ、また下肢の筋活動にも影響を与えることが固定式の自転車エルゴメータを用いた研究で明らかとなっている⁴⁾⁵⁾。

しかし、実際のサイクリングはエルゴメータによるサイクル運動と異なり、自転車運動中のバランスの乱れや、車輪が地面に接する際の転がり抵抗などを生じる。その為、自転車エルゴメータの結果をそのまま当てはめることは出来ない。この問題を解消する為には、実際のロードバイクを用いたサイクリング中において、サドル高が酸素摂取量と下肢筋活動に及ぼす影響を再検証

する必要がある。

そこで本研究は、サドル高の変化が運動応答（酸素摂取量・心拍数）に及ぼす影響をレース用のロードバイクを用いて検証することを目的とした。また、サイクリング時の主要下肢筋群から筋電図（EMG）を計測し、各ペダリング局面における筋活動量（integrated EMG, iEMG）を明らかにした。これらの結果は、サイクルスポーツ時の至適サドル高の決定に大きく貢献すると考えられる。

研究方法

1. 被験者

自転車競技部に所属する男子大学生 14 名が本研究に参加した。年齢、身長、体重、競技歴、トレーニング頻度（平均値±標準偏差）はそれぞれ 20.9 ± 1.7 歳、 173.3 ± 4.9 cm、 67.0 ± 6.0 kg、 6.5 ± 1.5 年、 6 ± 0 日/週であった。被験者は、研究の目的、内容、手順、危険性について口頭および文章にて説明を受け、研究参加に関する同意書に署名をした後、測定を開始した。また測定の少なくとも 3 時間前から摂食を控えるよう指示された。本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科研究等倫理委員会の承認を得て行われた。

2. 実験デザイン

実験は、被験者が普段のトレーニングおよび試合で使用するロード用の自転車と用具（ユニフォーム、ペダル、シューズ）を用い、実際のロード走行に近似するフリー式のローラー上（AC-MAGROLLER, MINOURA, JAPAN, 図 1）で行った。ローラーは 3 本のローラー（直径 100 mm、幅 395 mm）で構成されるトレーニング機器であり、被験者全員がトレーニングや試合で使用経験がある為、事前の練習は行われなかった。野外での自転車走行時には車輪が地面に接する際、ころがり抵抗が発生するが、このローラーはそのころがり抵抗をよく再現すると報告されている。タイヤ圧によるころがり抵抗を統一にする為、全ての自転車のタイヤ圧は 8 bar に調節された。

被験者が普段トレーニングや試合で用いているサドル高（ペダル軸中心～サドル頂点）を 100%（基準値）とし、95%、97.5%、100%、102.5%、105% の 5 条件に加え、60 rpm と 90 rpm の 2 種類のケイデンス条件（計 10 条件）で測定が行われた。サドル高条件は無作為に選択され、順序効果は相殺された。ケイデンスにおいては各サドル高において 90 rpm を先に行った。90 rpm と 60 rpm におけるギア比はそれぞれ (53 × 21) と (53 × 15) に固定し、スピードが常に約 31 km/h

となる様にした。ペダリングは各条件下で 4 分間実施し、酸素摂取量、心拍数、EMG を測定した。全ての測定は室温と湿度がそれぞれ 20 °C および 50 % に設定された順天堂大学医科学ハイテククリサーチセンター内の恒温高湿環境実験室で行われた。



図 1. AC-MAGROLLER

3. 測定項目

酸素摂取量

自転車運動中のエネルギー消費を評価するために酸素摂取量を測定した。酸素摂取量の測定は、mixing chamber 法により自動呼吸代謝測定装置（AE300-S, MINATO MEDICAL SCIENCE, JAPAN）を用いて行った。ガス校正は 2 種類の既値濃度校正ガスにより行った（O₂-N₂ : 20.73 %-Balance, O₂-CO₂ : 14.97 %-5.00 %, N-Balance, 住友精化, JAPAN）。酸素摂取量は最後の 1 分間の平均値を統計処理に用いた。

心拍数

心拍計（CS400, POLAR, FINLAND）を用い、3'30"から 3'40"で読み取られた拍数値を統計処理に用いた。

EMG

無線式多チャンネルテレメータシステム（TELEMYO DTS, NORAXON, U.S.A.）を用い、右脚の大殿筋、大腿二頭筋、腓腹筋、外側広筋、前頸骨筋の 5 筋群の表面筋電図を 4 分間の運動中 2'50" から 3'00" の 10 秒間測定した（サンプリング周波数: 1500 Hz, Band pass filter: 10~500 Hz）。電極貼付部位の皮膚上を剃刀、アルコール綿および皮膚前処理剤（スキンピュア, 日本光電社,

JAPAN) を用いて処理した後、表面電極 (BLUE SENSOR P, AMBU, U.S.A) を貼付した。電極間の接触抵抗は $5\text{ k}\Omega$ 以下であった。EMG 解析ソフト (MR-XP 1.07, NORAXON, U.S.A) はビデオカメラ (SONY, DCR-TRV30, JAPAN, 60 fpm) と時間同期のうえ接続され、録画された映像を基に 10 秒の測定時間内での最初の 5 ペダリングを抜擢した。抜擢された各ペダリングを 4 局面 (ペダリングの頂点を 0° とし $0\text{-}90^\circ, 90\text{-}180^\circ, 180\text{-}270^\circ$ and $270\text{-}360^\circ$) に細分化し、各局面における積分筋電図 (iEMG) を全派整流処理後に算出した後、5 ペダリングの平均値を統計処理に用いた。

4. 統計処理

統計処理は SPSS Software (Version 14.0) を用いて行った。サドル高が酸素摂取量または心拍数に与える影響においては一元配置分散分析を各ケイデンス条件ごとに行った。EMGにおいては各ケイデンス、また各筋群ごとに二元配置分散分析を行った (サドル高&各局面)。有意水準は $p < 0.05$ とした。主効果に有意差が認められた場合 Bonferroni 補正を用いた事後検定を行った。本研究においてデータは全て平均値±標準偏差で表記されている。

結果

酸素摂取量&心拍数

90 rpm と 60 rpm の両ケイデンス条件において、サドル高の主効果は有意であり ($p \leq 0.001$) サドルが高いほど酸素摂取量 (図 2) と心拍数 (図 3) は共に増加した。

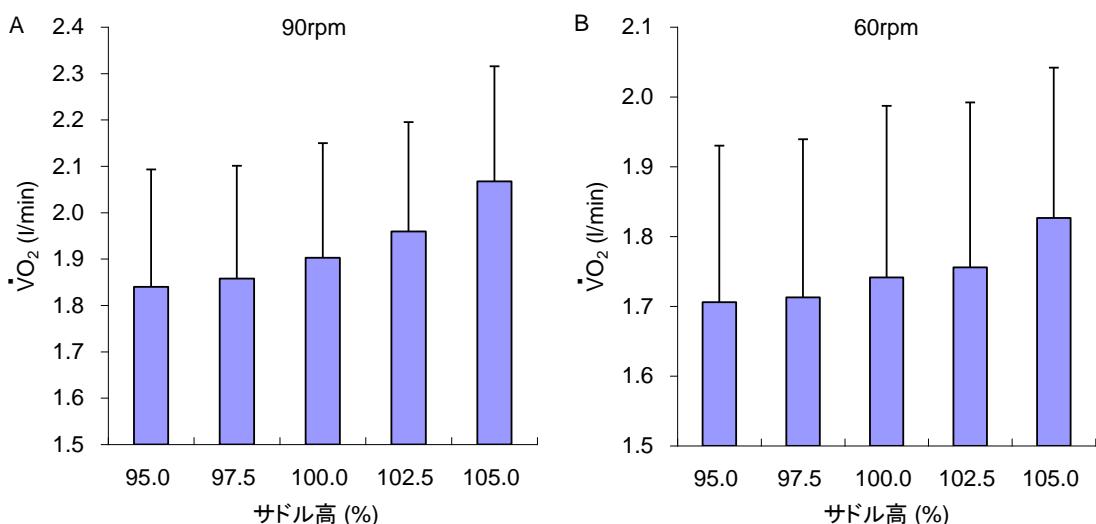


図2. 各サドル高における酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_2$, l/min)。A: 90 rpm, B: 60 rpm。

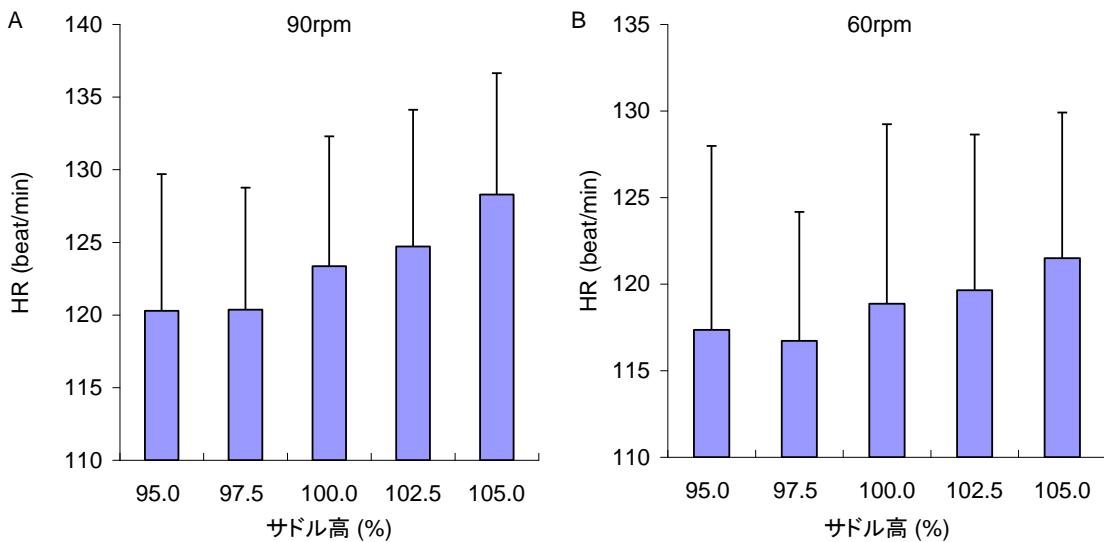


図3. 各サドル高における心拍数 (HR, beat/min)。A: 90 rpm, B: 60 rpm。

iEMG

90 rpmにおいては大殿筋に ($p = 0.002$ 、図 4A)、60 rpmにおいては大殿筋と ($P < 0.001$ 、図 5A) 腹筋に ($p < 0.001$ 、図 5C) サドル高による有意な影響が観られ、いずれもサドル高が高くなると iEMG が増加した。また全ての測定筋群において、iEMG はペダリング局面の変化に伴い有意に変化した (図 4&5)。サドル高とペダリング局面間に交互作用は認められなかった。

考察

酸素摂取量及び心拍数はサドル高が高いほど上昇した (図 2&3)。自転車エルゴメータを用いた先行研究では、至適サドル高を境に、サドル高の上下両変化に伴い酸素摂取量が U-型に上昇している⁵⁾。実際のロードバイクを用いた本研究において異なる結果となった事は、エルゴメータとロードバイク間においてキネティクス - キネマティクスに違いがあることを示唆している。

またサドル高の上昇は大殿筋と腹筋の iEMG を増加させた (図 4&5)。その理由として角度 - トルク関係から成る同速度を維持する為の労力増加や、股関節伸展・足底屈の変位強調が考えられる。これらの筋活動量・運動増加が酸素摂取量や心拍数を増加させたと考察できる。

まとめ

本研究の結果より、サドル高の変化により酸素摂取量および心拍数は変化する。また、サドル高の変化は股関節、膝関節角度に影響し筋活動を変化させることが示唆される。

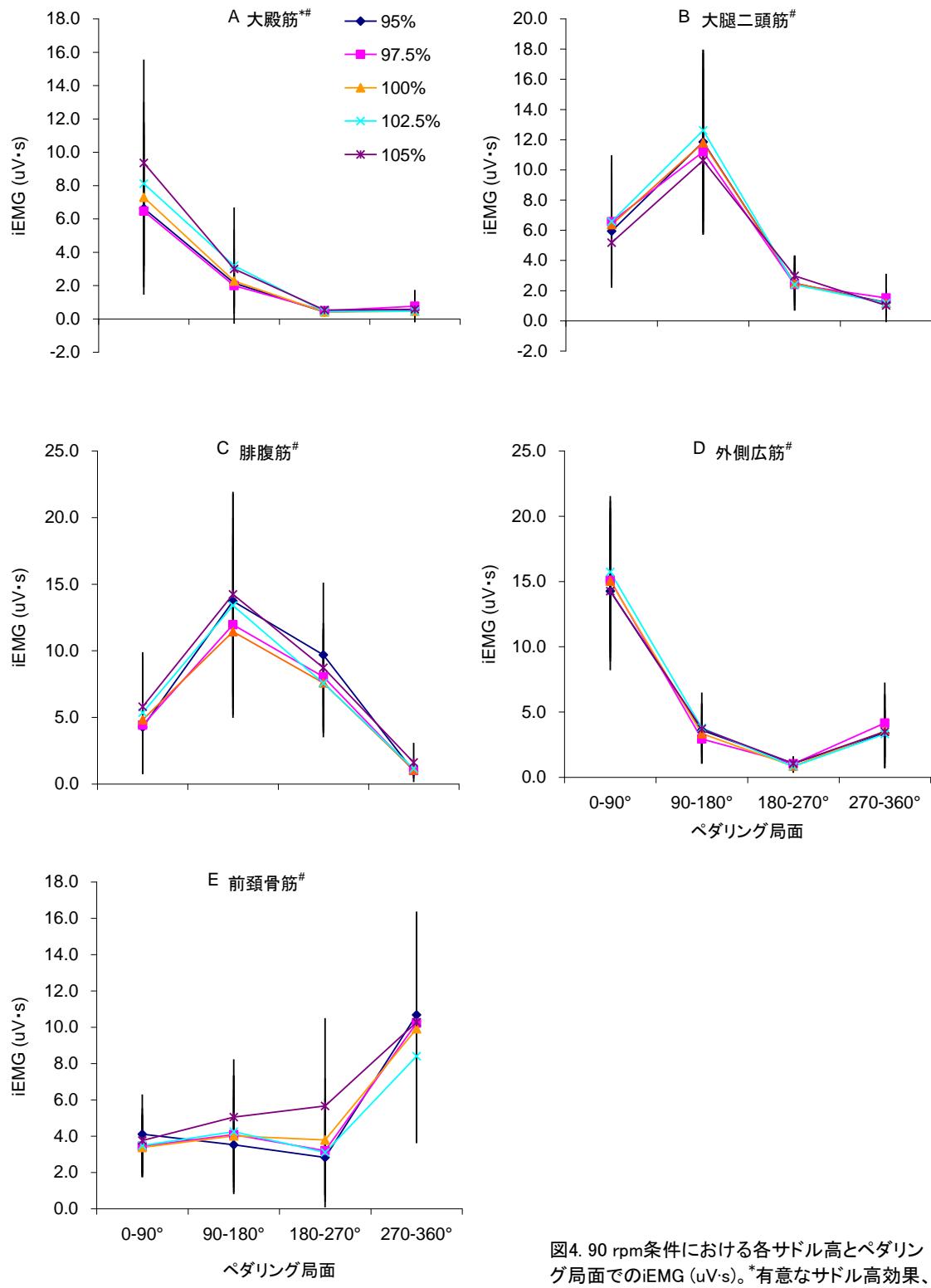


図4. 90 rpm条件における各サドル高とペダリング局面でのiEMG ($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)。*有意なサドル高効果、
#有意な局面効果。

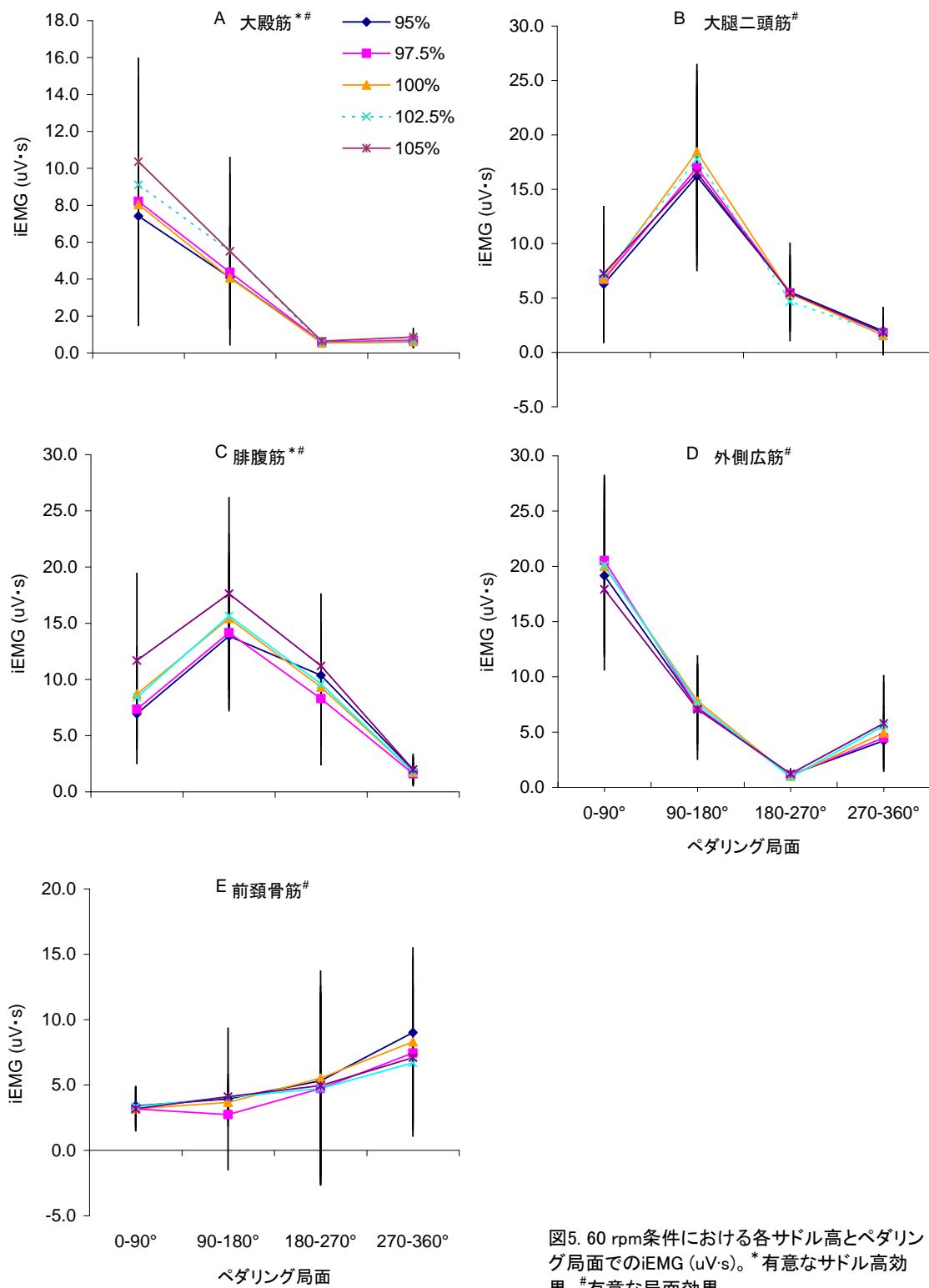


図5. 60 rpm条件における各サドル高とペダリング局面でのiEMG ($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)。*有意なサドル高効果、#有意な局面効果。

文献

- 1). Ashe MC, Scroop GC, Friskin PI, Amery CA, Wilkins MA, Khan KM. Body position affects performance in untrained cyclists. *Br J Sports Med* 37: 441-444, 2003.
- 2). Coast JR, Welch HG. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53: 339-342, 1985.
- 3). Harnish C, King D, Swensen T. Effect of cycling position on oxygen uptake and preferred cadence in trained cyclists during hill climbing at various power outputs. *Eur J Appl Physiol* 99: 387-391, 2007.
- 4). Nordeen-Snyder KS. The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Med Sci Sports*, 9: 113-117, 1977.
- 5). Sanderson DJ, Amoroso AT. The influence of seat height on the mechanical function of the triceps surae muscles during steady-rate cycling. *J Electromyogr Kinesiol* 19: e465-471, 2009.

研究III サルコペニア予防に関する研究

1 スプリントサイクリング運動中の筋内環境の変化の観察 および運動介入による筋肥大・筋力増強効果の検証

谷本道哉¹,佐賀典生²,村出真一朗³, 形本静夫^{3,4}

1 近畿大学生物理工学部

2 順天堂大学スポーツ健康医科学研究所

3 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

4 順天堂大学スポーツ健康科学部

要旨

背景:サイクリング運動が下肢の筋肥大・筋力増強を誘発することは経験的には知られているが、その効果を検証した研究はあまりない。サイクリング運動で発揮する筋力レベルは、一般的な筋肥大を誘発するレジスタンストレーニングで必要とされる 70%1RM (repetition maximum) よりもはるかに小さく、筋肥大誘発の一因子である筋の微細損傷を引き起こすエキセントリック収縮の局面もほとんどない。サイクリング運動が筋肥大を促すとするなら、このようなメカニカルな刺激とは別の要素が関係していると考えられる。

目的:サイクリング運動の筋肥大・筋力増強効果を長期運動介入により明らかにする。また、サイクリング運動が筋肥大・筋力増強を誘発する要因として運動中の筋の代謝環境の変化が考えられることから、サイクリング運動中の一過性の代謝応答の観察を行う。

方法:実験 1 : 男子自転車競技選手 8 名を用いて 4000m レースを模した 5 分間の最大サイクリング運動を行い、その時の筋酸素化レベル、一過性の筋横断面積変化（パンプアップ度合）等を測定する。同一心拍負荷のランニング運動を行い、比較する。実験 2 : 運動習慣のない一般若年男性 9 名を用いて 4000m レースの練習を模した 5 分間の亜最大サイクリング運動を週 3 回、12 週間行わせ、筋肥大、筋力増強効果を調べる。比較対象として運動非介入対象群を 9 名設定する。

結果:実験 1 : 5 分間の最大サイクリング運動では、運動中の筋酸素化レベルがランニング運動と比べて有意に大きく低下し（サイクリング 28.4±6.2%，ランニング 61.0±17.3%）、運動後には有意に大きく上昇した（サイクリング 137.6±24.3%，ランニング 103.1±25.9%）。また、運動後の

一過的な大腿部の筋・骨横断面積の増加がランニング運動と比べて有意に大きかった（サイクリング+4.4±1.5%，ランニング+1.3±1.9%、）。実験2：サイクリング運動の介入によって、大腿部の筋・骨横断面積は有意に増加した (+5.4 ± 3.6%)。ペダル動作での発揮筋力は有意に増加した (+37.0 ± 15.1%)。

結論：5分間のスprintサイクリング運動は筋肥大、筋力増強に効果的な運動であることが示唆された。筋肥大を誘発する運動刺激として、筋内の酸素環境の大きな変化などの代謝環境の変化が関係している可能性が考えられる。

緒言

サイクリング運動による筋肥大、筋力増強効果は自転車競技選手の大腿を見れば明らかに思えるが、その効果を検証した研究は多くない。また、その効果に関しては肯定的なものと否定的なものがあり (Linossier ら 1997, Kaljumae ら 1994 など)、一致した見解は得られていない。

筋肥大・筋力増強を目的としたレジスタンストレーニングの研究では、筋肥大に必要な負荷重量は 70% 1 RM 程度以上であり (Fleck と Kraemer, 1987)、またエキセントリック収縮での刺激が重要な一要素であることを多くの研究が支持している (Kuipers, 1994 など)。サイクリング運動はエキセントリック収縮の動作局面は極めて小なく、負荷も 70% 1 RM には及ばないことを考えると、筋肥大・筋力増強に適した運動ではないようにも考えられる。

しかしながら、実際にサイクリング運動以外の下肢の特別なトレーニングを行っていないにも関わらず、非常に下肢の筋群が発達した自転車競技選手が多い。特に競輪や 1000m、4000m レースなどの短・中距離選手の大腿部は非常によく発達している。また、自転車に乗るようになって大腿が太くなったという一般の声も良く聞かれる。

近年、運動中の筋内の酸素環境、代謝環境の変化が筋肥大・筋力増強に有効である可能性が、血流制限を用いたトレーニング法の研究などから示唆されている (Takarada ら, 2000 など)。高強度のサイクリング運動は抹消の筋の代謝物の蓄積を反映するとされるパンプアップ (Muscle fluid shift が起きていると考えられる) が強く起こることが経験的に良く知られている。サイクリング運動における筋内環境の変化が筋肥大・筋力増強につながるのかもしれない。

サイクリング運動における筋の酸素環境、代謝環境等の一過性の生理応答の観察 (実験 1)、および運動介入による筋肥大・筋力増強効果を検証 (実験 2) することを本研究の目的とする。加齢による筋委縮の進行 (サルコペニア) は介護予防の観点から深刻な社会問題となっている。サイクリング運動の筋肥大・筋力増強効果を示すことができれば、サイクリング運動をサルコペニア予防法の一つとして提案できることにもつながるだろう。

方法

1. 実験 1 : スプリントサイクリング運動の筋機能に関する生理学的・力学的特性に関する研究

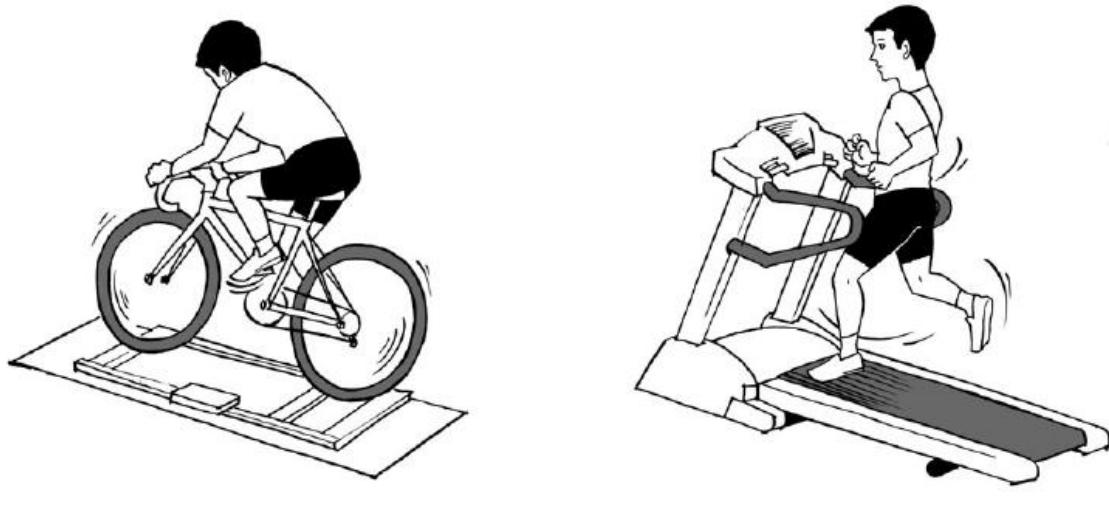
1-1. 実験の概要.

実験 1 では自転車 4000m レースを模した 5 分間の最大スプリントサイクリング運動の筋機能に関する生理学的・力学的特性を明らかにすることを目的とした。筋内の代謝環境を評価する指標として、・筋酸素化レベル ・血中乳酸濃度 ・パンプアップ度（筋横断面積変化）、力学的特性として ・ペダル踏力 を測定の対象とした。

サイクリング運動との比較運動として、同一心拍負荷での同一時間のトレッドミルランニングを用い、2 つの運動での各種測定項目の比較を行った。

実験 1 の概要は下図の通りである。

実験 1 概要図



5 分間の最大サイクリング運動

同一心拍負荷の 5 分間のランニング運動

筋内の代謝環境の指標として、・筋酸素化レベル ・血中乳酸濃度 ・パンプアップ度（筋横断面積変化）、力学的特性として ・ペダル踏力 を測定、比較する

1-2. 被験者

被験者は、順天堂大学自転車競技部に所属する男子短・中距離選手 8 名とした。被験者の身体特性は以下の通りであった。被験者には、本研究の趣旨および危険性について説明を行い、書面にて参加の同意を得た。

表 1-1 被験者の身体的特性

身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)	自転車 競技歴 (年)
172.9±3.6	65.5±3.5	19.8±1.3	6.0±0.9

平均±標準偏差を示す。N=8名。

1-3. 実験プロトコル

ロードレース用の自転車 (CAAD8, Cannodale 社, USA) を用いて、後輪車軸を固定して負荷をかける固定式のローラー (RDA80 Rim DriveAction, MINOURA 社, 日本) 上での 5 分間の最大サイクリング運動を行わせた。ペダル回転数は 100rpm 以上を維持するように被験者に指示した。この運動は自転車競技の 4000 m レースを模して設定したものである。運動本番前にウォームアップ運動として 150 ワット、100rpm で 5 分間のサイクリング運動を行った。

最大サイクリング運動との比較運動として同一の心拍負荷となるトレドミルランニングを、同じく 5 分間同一被験者に行わせた。心拍負荷の調整は、最大サイクリング運動中に記録した 30 秒ごとの心拍数データをもとに、被験者のランニング中の心拍数をモニタリングしながらトレッドミルスピードを増減することで行った。運動本番前にウォームアップ運動として 120m/min で 5 分間のランニング運動を行った。ウォームアップの走行速度は、Margaria の走運動のエネルギー効率に基づいて (Margaria ら, 1963) サイクリング運動のウォームアップとエネルギー消費量を合わせる設定としたものである。

ランニング運動はサイクリング運動終了から 3 時間以上の休憩をとった後に行った。休憩時間には食事を摂り、十分に体を休めるように指示した。両運動の負荷強度および運動中の心拍数は表 1-2 に示す通りであった。

前記の2つの運動における筋機能に与える生理学的・力学的指標の比較を行った。測定項目は筋内の代謝環境の指標として、筋酸素化レベル、血中乳酸濃度、筋パンプアップ度（筋横断面積変化）と、ペダル踏力とした。

表 1-2 運動負荷強度

	1分	2分	3分	4分	5分
サイクリング					
ワット数 (Watt)	423±31	344±53	331±37	337±34	352±28
心拍数 (beat/min)	168.6±8.6	178.7±7.0	182.6±4.5	185.3±4.5	187.3±4.7
ランニング					
走速度(m/min)	256±13	278±14	288±36	308±12	308±12
心拍数 (beat/min)	164.4±4.8	172.9±7.0	180.6±4.2	185.9±4.6	187.4±4.8

平均±標準偏差を示す。

1-4. 測定項目

各運動方法の生理学的・力学的特徴の分析として、運動中の

- ・筋酸素化レベル
- ・血中乳酸濃度
- ・大腿部筋・骨横断面積および大腿部周径囲
- ・ペダル踏力

の測定を行った。各測定方法の詳細は以下の通りである。

1-4-1. 筋酸素化レベル

安静時および運動中、運動後の組織酸素動態の観察には近赤外分光装置 NIRcws (BOML1TR, オメガウェーブ社, 日本) を用いた。プローブは右大腿の外側広筋筋腹部に両面テープおよびビニールテープで貼り付け遮光した状態で固定した。NIRcws の測定値は生理学的キャリブレーションによる相対値で評価を行った。生理学的キャリブレーションには動脈血流遮断法を用いた (Chance et al. 1992; Hampson and Piantadosi 1988)。仰臥位安静時の酸素化ヘモグロビン/ミオグロビンの値を 100%、動脈血遮断 (カフ圧 300mmHg) により酸素化ヘモグロビン/ミオグロビンが完全に下がりきった値を 0% として筋酸素化レベルの評価を行った(Bae et al. 2000)。NIRcws の計測信号はデータ記録システム (Power Lab/16SP、AD Instruments 社 Australia) を介してパソコンコンピューターに 2kHz で A/D 変換して取り込んだ。

1-4-2. 血中乳酸濃度

サイクリング運動、ランニング運動それぞれの、運動開始前の安静時、運動直後及び運動終了 5 分後までの 1 分毎に血液を採取して血中乳酸濃度の測定を行った。血液は耳朶よりディスポーザブル採血針を用いて約 5 μ l を採取した。乳酸濃度は簡易血中乳酸測定器（ラクテート・プロ、アーチレイ社 日本）を用いて測定した。

1-4-3. 大腿部筋横断面積および周径囲

MRI (Magnetic Resonance Imaging) 診断装置 (E-scanXQ、東洋電子社、日本) を用いて右大腿部の T1 強調スピノエコー像を、スライス間隔 10mm、ギャップ 5mm で近位部から遠位部まで連続画像として撮影した。測定中、被験者には仰臥位でリラックスした姿勢を取らせた。得られた横断画像はコンピュータに取り込み、画像解析ソフト (Scion Image、Scion 社 USA) を用いて横断面積 (CSA; cross-sectional area) を算出した。大腿部の皮下脂肪を除いた筋・骨横断面積を分析の対象とし、大腿骨外側上顆の 7cm 上部の水平面の断面積を求めた。CSA の算出はそれぞれの断面に対して 3 回行い、その平均値を評価値とした。3 回の算出値の標準誤差はいずれの断面においても 1%以下であった。

MRI による大腿部画像の撮像は、サイクリング運動、ランニング運動それぞれの運動前安静時と運動直後に行った。運動直後の MRI 撮像は運動終了から 5 分以内に開始し、15 分以内に完了させた。

また、各運動の運動前と終了直後に足幅 20cm の立位における大腿骨外側上顆の 7cm 上部の周径囲をメジャーにより測定した。測定は 2 回行い、その平均値を評価値とした。

1-4-4. ペダル踏力

サイクリング運動中のペダル踏力の垂直成分を一軸の薄型フォースプレート (LPR-A-S-10, 共和電業、日本) により計測した。薄型フォースプレートは自転車の右脚側のペダル上にビニールテープで強固に固定した。また、左脚側のペダルには同一形状の木片を同様に装着し、ペダリング動作の左右均等を保った。脚の質量による重力成分を取り除くため、左右のペダルを水平に固定して脱力した状態でのフォースプレートの値を、得られたペダル踏力から差し引いた値を実質の筋力発揮によるペダル踏力の評価値とした。フォースプレートから得られた信号をデータ記録システム (Power Lab/16SP、AD Instruments 社 Australia) を介してパソコンコンピューターに 2kHz で A/D 変換して取り込んだ。

運動中のペダル踏力の評価は、運動開始 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分の時点で行った。運動開始 1 分ごとの、ペダル漕ぎ 8 サイクル分の 1 漕ぎごとのピーク値を抽出し、その中から最大値と

最小値を除いた 6 サイクル分の平均値を評価値として用いた。

また、サイクリング運動中のペダル踏力を相対評価するため、ペダル踏力の随意最大筋力(MVC; maximum voluntary contraction) の測定を行った。ペダル踏力の MVC は、左右のペダルを水平にした位置に固定して、臀部をサドルにつけた姿勢での右脚のペダリング動作で測定を行った。この時被験者の臀部がサドルから離れないように被験者の肩、腰を補助者が押さえて固定した。測定は 90 秒の休息を挟んで 2 回行い、最大値を採用した。

1-5. 統計処理

各測定から得られたデータは平均値±標準偏差で表した。各運動群間の運動中の筋酸素化レベル、血中乳酸濃度、大腿部筋・骨横断面積変化率、大腿部周径圏変化量の平均値の差の検定、および各運動の運動前安静時との差の検定には対応のある t 検定を用いた。いずれの場合も有意水準は 5% とした。

2. 実験 2 : スプリントサイクリング運動の長期介入による筋肥大・筋力増強効果に関する研究

2-1. 実験の概要.

実験 2 では自転車 4000m レースの競技練習を模した 5 分間の亜最大スプリントサイクリング運動の長期介入による筋肥大・筋力増強効果を調べることを目的とした。また、実験 1 と同様に介入で行った運動中の生理学的・力学的特徴を明らかにすることを目的とした。

12 週間の亜最大スプリントサイクリング運動を行わせ、その前後での MRI による筋横断面積、各種筋力の評価を行った。また、実験 1 と同様に各種生理学的・力学的指標の測定を行った。

実験 2 の概要は下図の通りである。

実験 2 概要図



運動時の測定・評価

生理学的・力学的指標の測定

- ・筋酸素化レベル・血中乳酸濃度
- ・パンプアップ度（周径圧変化）
- ・ペダル踏力

介入期間前後の測定・評価

筋肥大・筋力増強の長期効果の検証

- ・大腿部筋横断面積 (MRI)
- ・ペダリング動作 MVC
- ・等尺性・等速性下肢筋力 (myoret)

2-2. 被験者

現在および過去1年間に週1回以上の継続的な運動習慣を持たない健康な成人男性18名を被験者として用い、サイクリング運動群と運動非介入対象群の2群に、両群の身体特性（身長・体重）が合うように調整したのち無作為に割り付けた。被験者の身体的特性を下表に示した。被験者に対する研究の目的、方法および危険性を説明し、研究に参加することへの同意を書面により得た後、以下の実験を行った。

表 2-1 被験者の身体的特性

	サイクリング運動群		対象群	
	pre	post	pre	post
身長(cm)	173.2±5.4		172.4±6.7	
体重(kg)	64.8±8.3	66.5±9.1	66.1±7.5	66.9±6.9
年齢(歳)	20.9±0.8		21.0±0.7	

平均±標準偏差を示す

N=9名（各群）

2-3. 実験プロトコル

サイクリング運動群には、5分間の亜最大スプリントサイクリング運動を週3回、12週間行わせた。ペダル負荷は4分30秒時点での心拍数180拍/分、主観的運動強度（RPE: Ratings of perceived exertion）18を目安に、ペダル回転数90rpmで被験者がからうじて漕ぎきれる程度の負荷設定とした。ペダル負荷は5分間一定とした。最後の10秒間のみ最大努力でのペダリング運動を行わせた。

この運動は自転車競技の4000mレースの競技練習を模して設定したものである。運動本番前後のウォームアップ、クールダウン運動として、それぞれ60rpm、90ワット（1.5Kp相当負荷）で5分間のサイクリング運動を行った。12週間の運動介入前に、準備段階として週3回、1週間の予備トレーニングを行った。この1週間の間に徐々に運動強度を上げ、上記の運動負荷設定に近づけた。

ペダル負荷は毎回のトレーニングセッションでの心拍数、RPEに基づいて漸増的に増加させた。12週間の運動負荷条件と運動中の心拍数、RPEは表2-2に示す通りであった。

運動介入の長期トレーニング効果の検証として、運動介入期間前後にMRIによる筋横断面積、等速性筋力測定装置による膝関節および股関節伸展・屈曲筋力の測定等を行った。また、介入運動中の筋酸素化レベル、血中乳酸濃度などの筋機能に与える生理学的・力学的指標の測定を行った。

表 2-2 運動負荷強度

	1週目	4週目	8週目	12週目
サイクリング負荷 (Watt)	204.9±28.8	223.9±34.8	231.5±36.0	241.0±32.1
心拍数 (beat/min)	181.3±9.4	180.1±5.5	182.2±8.8	180.0±9.5
RPE	17.8±1.3	17.8±1.2	18.3±1.0	18.4±0.9

平均±標準偏差を示す

RPE は Ratings of perceived exertion : 主観的運動強度の略

※pre トレーニング期間 1 週間は除く

2-4.測定項目

生理学的・力学的特性の分析：運動介入で行った自転車サイクリング運動の、生理学的・力学的特徴の分析として運動中の

- ・筋酸素化レベル
- ・血中乳酸濃度
- ・大腿部周径変化
- ・ペダル踏力

の測定を行った。いずれの測定も運動介入期間の 6-8 週の間に行った。

筋肥大・筋力増強効果の分析：運動介入期間における筋肥大・筋力増強効果を検討するため、12 週間の運動介入期間前後において

- ・MRI による大腿部筋-骨横断面積 (CSA)
- ・等尺性膝伸展・屈曲筋力、股関節伸展・屈曲筋力 (MVC)
- ・等速性膝伸展・屈曲筋力、股関節伸展・屈曲筋力 (270°/s)
- ・ペダル踏力

の測定を行った。

各測定方法の詳細は以下の通りである。

生理学的・力学的特徴の分析

2-4-1. 筋酸素化レベル

1-4-1 に示す、実験 1 の方法と同一の機器を用い、同様の方法により行った。

2-4-2. 血中乳酸濃度

1-4-2 に示す、実験 1 の方法と同様の方法により行った。

2-4-3. 大腿部周径囲

1-4-3 に示す、実験 1 の方法と同様の方法により行った。測定対象部位は大転子と大腿骨外側上顆の中間点とした。

2-4-4. ペダル踏力

1-4-4 に示す実験 1 の方法と同一の機器を用い、同様の方法により自転車運動中のペダル踏力の計測を行った。

筋肥大・筋力増強効果の分析

2-4-5. 筋断面積の測定

MRI (Magnetic Resonance Imaging) 診断装置 (SIGNA EXCITE XI, GE ヘルスケアジャパン、日本) を用いて右大腿部の T1 強調スピニエコー像を、スライス間隔 10mm、ギャップ 0mm で近位部から遠位部まで連続画像として撮影した。大腿部の皮下脂肪を除いた筋・骨横断面積を分析の対象とし、大転子と大腿骨外側上顆の中間点とその前後 10mm の位置の水平面 3 断面の平均値を求めた。その他、測定姿勢、分析方法は 1-4-3 と同様の方法で行った。

2-4-6. 膝関節・股関節発揮トルクの測定

膝関節および股関節伸展・屈曲動作における、等尺性随意最大トルク (MVC; maximum voluntary contraction)、等速性随意最大トルクの測定を行った

MVC、等速性トルクは関節トルク測定装置 (MYORET RZ-450、アシックス社 日本) を用いて測定した。膝関節伸展屈曲トルク測定においては、被験者は測定装置の座席部に座り、専用のベルトで肩と腹部を固定した。膝の回転中心が測定装置のレバーアームの回転中心にあうように座席位置を調節し、右脚足関節上部をストラップにより固定した。股関節伸展屈曲トルク測定においては、被験者は測定装置に仰臥位に寝ころび、専用のベルトで腰部を固定した。股関節の回転中心が測定装置のレバーアームの回転中心にあうように位置を調節し、右脚膝関節上部と下部

をストラップにより固定した。

MVC の測定時の膝関節角度は 60°、股関節角度は 45°とした。等速性トルクの測定は、270°／秒の関節角速度で、膝関節角度、股関節角度ともに 0°から 90°の動作範囲で行った。測定は 90 秒の休息を挟んで 2 回行い、最大値を採用した。また、いずれの測定においても下肢および測定装置の重量による受動的トルクを発揮トルクから差し引くことにより重力補償を行った。

関節トルク測定装置から得られた信号はデータ記録システム (MacLab, ADInstruments 社 Australia) により 4kHz で A/D 変換し、パーソナルコンピューターに取り込んだ。

それぞれの筋力測定前には、各被験者に十分な測定練習を行わせた上で実施した。

2-4-7. ペダル踏力

1-4-4 に示す実験 1 の方法と同一の機器を用い、同様の方法によりペダル踏力の MVC 計測を行った。

2-5. 統計処理

各測定から得られたデータは平均値±標準偏差で表した。自転車サイクリング運動の生理学・力学特性の評価項目である、筋酸素化レベル、血中乳酸濃度、大腿部周径囲の安静時との差の検定には対応のある t 検定を用いた。自転車サイクリング運動介入の長期効果の評価項目である、筋横断面積、ペダル踏力、膝関節・股関節の屈曲・伸展筋力の、自転車運動群と運動非介入対象群の平均値の差の検定には、二元配置分散分析(2-Way ANOVA)を用い、有意差が認められた場合には Bonferroni 法により多重比較を行った。いずれの場合も有意水準は 5%とした。

結果

実験 1

1-1. 筋酸素化レベル

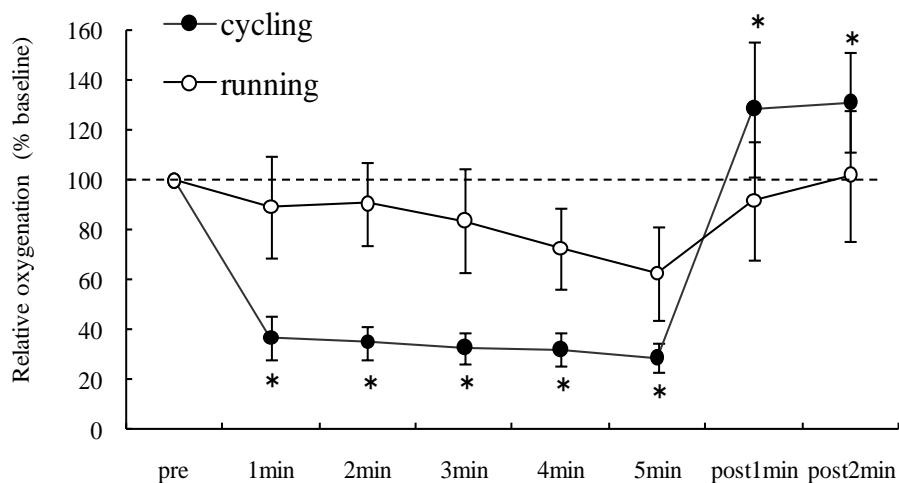
サイクリング運動、ランニング運動の運動中の筋酸素化レベルの時間変化を図 1-1 に、運動中の筋酸素化レベル最低値および運動直後 2 分までの筋酸素化レベル最高値を図 1-2,1-3 に示す。

サイクリング運動は運動中に大きく筋酸素化レベルが低下し、運動中の最低値は $28.4 \pm 6.2\%$ であった。また、運動後は速やかに筋酸素化レベルが上昇し、運動直後 2 分までの最高値は $137.6 \pm 24.3\%$ であった。

サイクリング運動と同程度の心拍負荷のランニング運動でも運動中の筋酸素化レベルの低下と運動直後の筋酸素化レベルの上昇が起こるが、サイクリング運動に比べるとずっと程度が小さかった（最低値 $61.0 \pm 17.3\%$ 、最高値 $103.1 \pm 25.9\%$ ）。

運動中の 1 分ごとの各時間の値と最低値はいずれもサイクリング運動においてランニング運動よりも有意に低く、運動後 2 分までの 1 分ごとの各時間の値と最高値はいずれもサイクリング運動においてランニング運動よりも有意に高かった。

図 1-1 運動中の筋酸素化レベルの時間変化



平均±標準偏差を示す。

* : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

図 1-2 運動中の筋酸素化レベル最低値

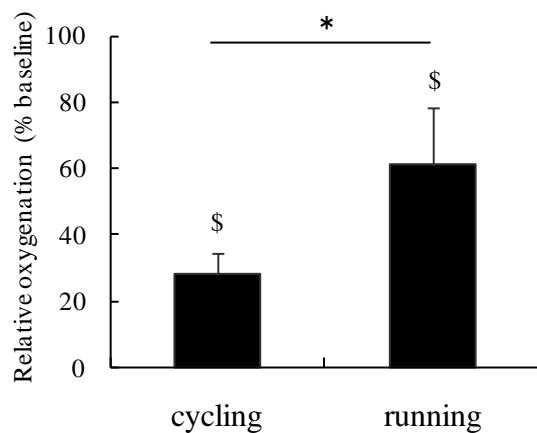
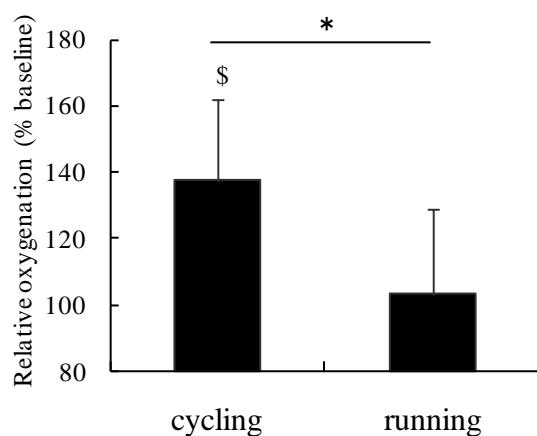


図 1-3 運動後 2 分までの筋酸素化レベル最高値



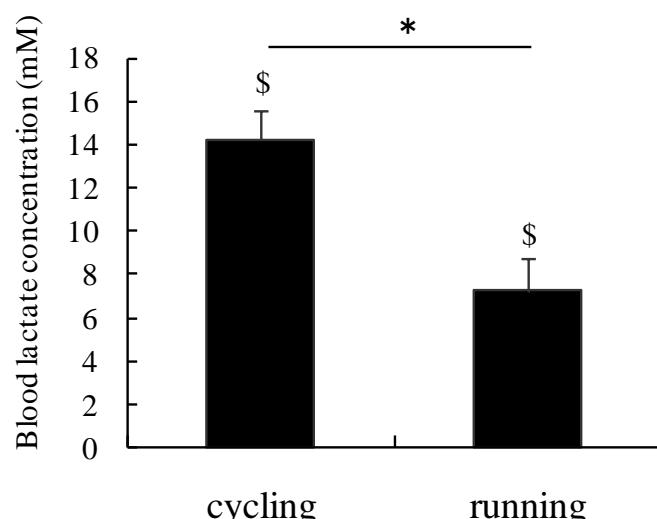
平均±標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$) , * : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

1-2. 血中乳酸濃度

サイクリング運動、ランニング運動終了直後から 5 分後までの血中乳酸濃度最高値を図 1-4 に示す。どちらの運動もともに安静時と比べて有意な血中乳酸濃度の上昇を示した。サイクリング運動ではランニング運動よりも有意に高い値を示した（サイクリング運動 $14.2 \pm 1.3\text{mM}$ 、ランニング運動 $7.2 \pm 1.5\text{mM}$ ）。

図 1-4 運動終了 5 分までの血中乳酸濃度最高値



平均±標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$) , * : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

1-3. 大腿部筋・骨横断面積変化および大腿部周径圏変化

サイクリング運動、ランニング運動の運動前後の一過性の大腿部筋・骨横断面積変化を図 1-5 に、大腿部周径圏変化を図 1-6 に示す。どちらの運動とともに運動前安静時と比べて、筋・骨横断面積、周径圏ともに有意な増加を示した。

サイクリング運動ではランニング運動よりも筋・骨横断面積、周径圏とともに有意に高い値を示した（筋・骨横断面積変化率：サイクリング運動 $4.4 \pm 1.5\%$ 、ランニング運動 $1.3 \pm 1.9\%$ 、周径圏変化率：サイクリング運動 $1.1 \pm 0.4\text{cm}$ 、ランニング運動 $0.6 \pm 0.2\text{cm}$ ）。

図 1-5 大腿部筋・骨横断面積変化

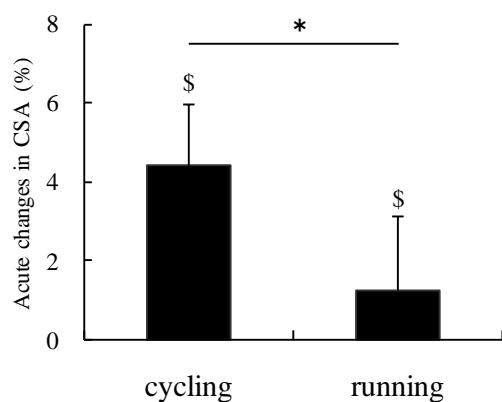
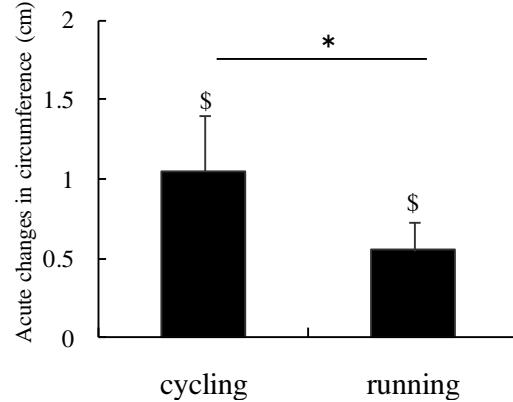


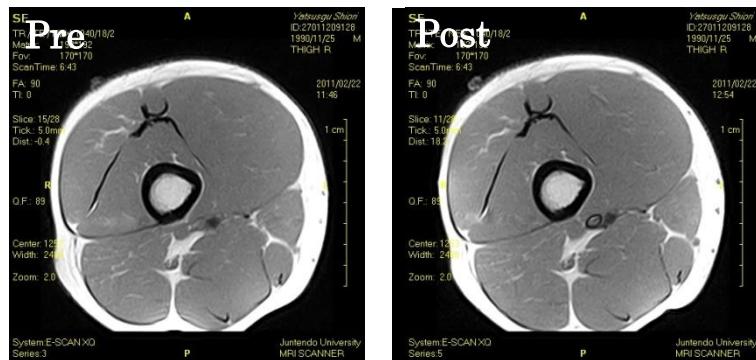
図 1-6 大腿部周径圏変化



平均 \pm 標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$) , * : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

図 1-7 大腿部横断画像の一例



この被験者では大腿二頭筋の断面積変化が特に大きい様子が良く分かる（変化率 6.6%）

1-4. ペダル踏力

サイクリング運動中の1分ごとのペダル踏力を表1-1に示す。ペダル踏力は、1サイクル中のピーク値を示す。サイクリング運動中のペダル踏力の時間変化を図1-8に示す。

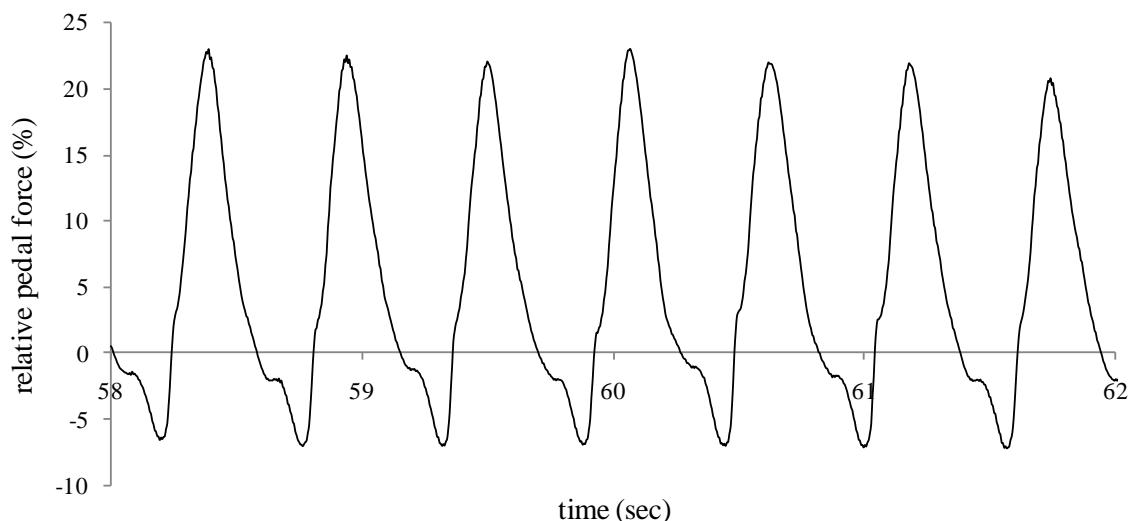
サイクリング運動中のペダル踏力の1サイクルのピーク値は運動時間を通してほぼ20%MVC程度であった。

表1-1 サイクリング運動中のペダル踏力（1サイクル中のピーク値）

	MVC	1分	2分	3分	4分	5分
ペダル踏力						
絶対値 (kgF)	153.5±18.3	32.8±3.8	31.4±3.7	31.9±4.0	31.6±3.7	32.1±3.6
相対値 (%)		21.6±3.1	20.7±3.4	21.0±3.7	20.8±3.5	21.1±3.3

図1-8 サイクリング運動中のペダル踏力の時間変化の一例

(運動開始1分の時点)



実験 2 :

生理学的・力学的特性の分析

2-1. 筋酸素化レベル

運動介入で行ったサイクリング運動中の筋酸素化レベルの時間変化を図 2-1 に、運動中の筋酸素化レベル最低値およびクールダウン 5 分間の筋酸素化レベル最高値を図 2-2 に示す。運動中に大きく筋酸素化レベルが低下し、運動中の最低値は $50.6 \pm 12.1\%$ であった。また、運動後は速やかに筋酸素化レベルが上昇し、運動後のクールダウン 5 分の間の最高値は $131.0 \pm 31.9\%$ であった。

図 2-1 運動中の筋酸素化レベルの時間変化

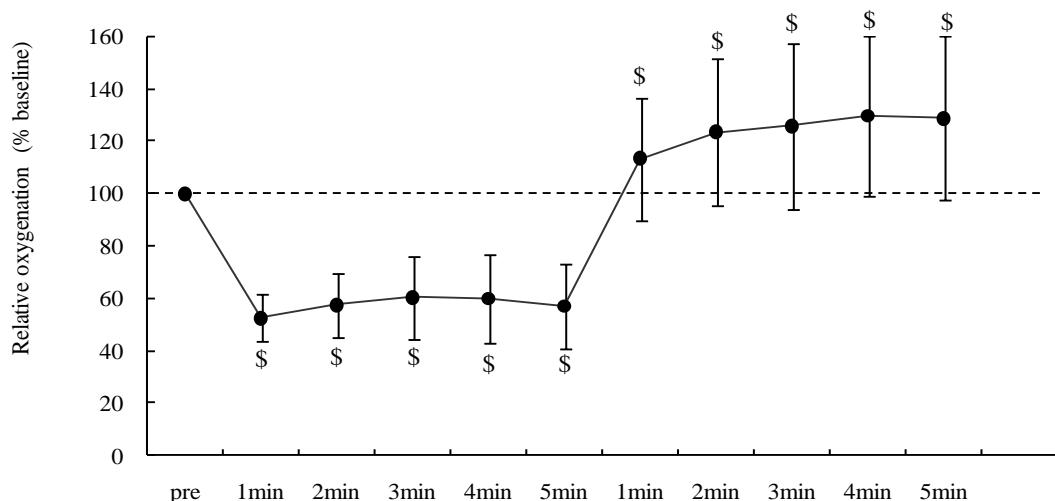
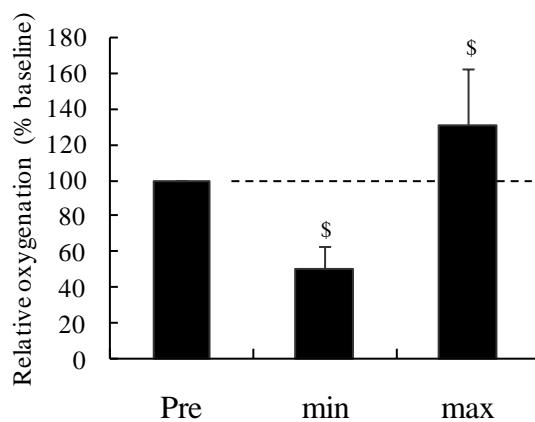


図 2-2 筋酸素化レベルの運動中の最低値とクールダウン 5 分間の最高値

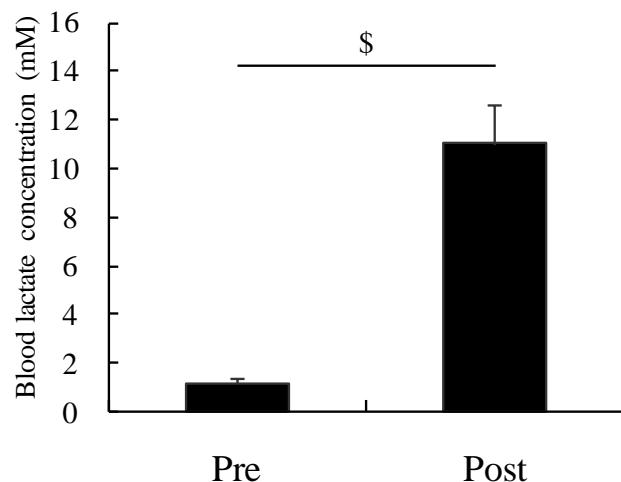


平均±標準偏差を示す。 \$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$)

2-2. 血中乳酸濃度

サイクリング運動終了直後からクールダウン 5 分間までの血中乳酸濃度最高値を図 2-3 に示す。安静時と比べて有意な血中乳酸濃度の上昇を示した ($11.0 \pm 1.6 \text{ mM}$)。

図 2-3 運動終了 5 分までの血中乳酸濃度最高値



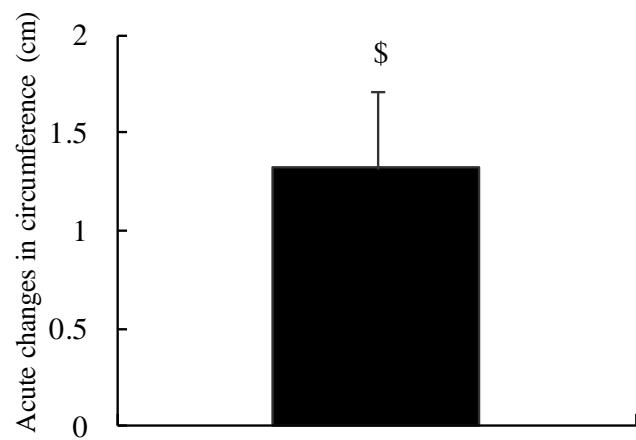
平均±標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$)

2-3. 大腿部周径圏変化

サイクリング運動前後の大腿部周径圏変化量を図 2-5 に示す。周径圏は運動前安静時と比べて有意な増加を示した (1.3 ± 0.4 cm)。

図 2-5 大腿部周径圏変化



平均±標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$)

2-4. ペダル踏力

サイクリング運動中の1分ごとのペダル踏力を表2-1に示す。ペダル踏力は、1サイクル中のピーク値を示す。サイクリング運動中のペダル踏力の時間変化を図2-6に示す。

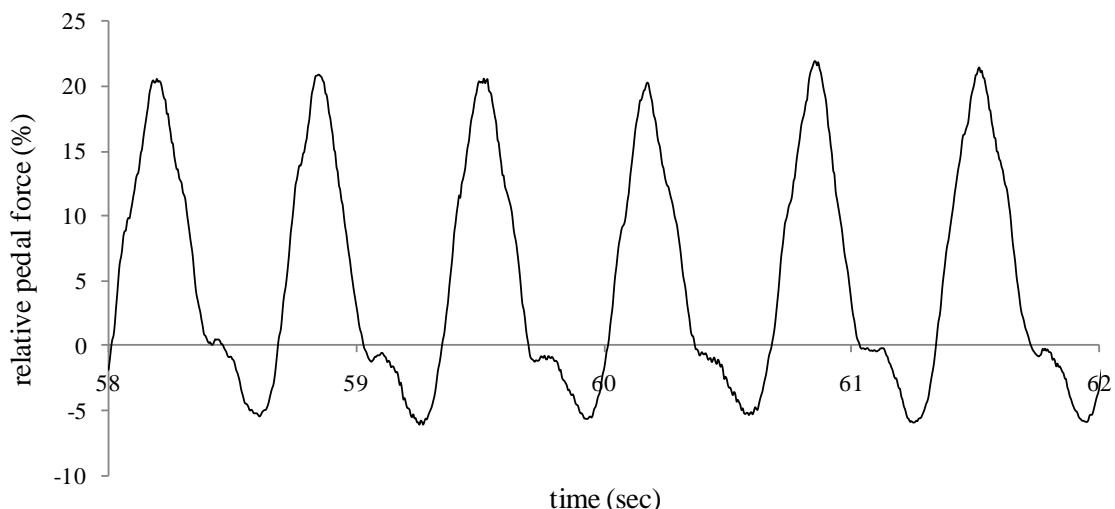
サイクリング運動中のペダル踏力の1サイクルのピーク値は運動時間を通してほぼ20%MVC程度であった。

表2-1 サイクリング運動中のペダル踏力（1サイクル中のピーク値）

	MVC	1分	2分	3分	4分	5分
ペダル踏力						
絶対値 (kgF)	102.4±16.3	20.5±2.5	19.1±4.0	19.7±4.2	18.8±3.5	19.0±2.8
相対値 (%)		20.7±3.7	19.2±4.3	19.9±4.9	19.1±4.2	19.3±3.6

図2-6 サイクリング運動中のペダル踏力の時間変化の一例

(運動開始1分の時点)

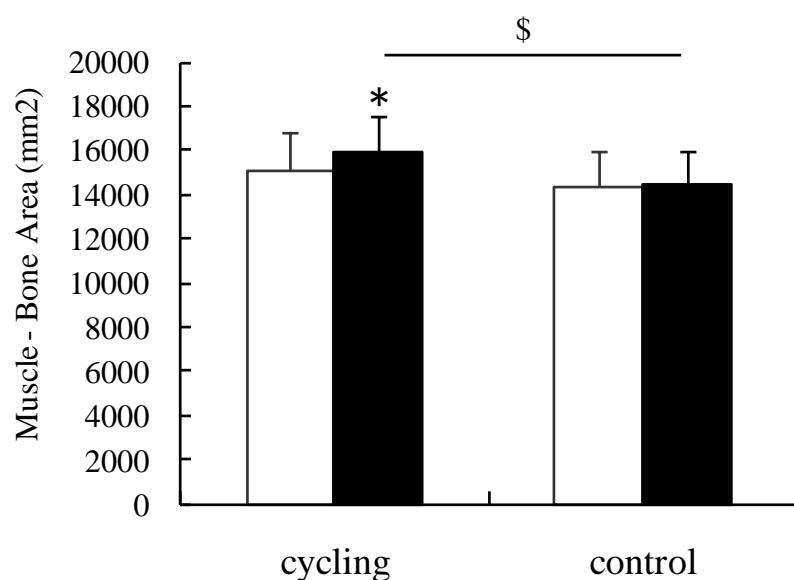


筋肥大・筋力増強効果の分析

2-5. 筋横断面積

図 2-7 に運動介入期間前後における大腿部の筋・骨横断面積 (CSA) の値を示す。自転車サイクリング運動群と対象群の間に交互作用が認められた。運動群では、運動介入前と比べて有意な横断面積の増加がみられ、その変化率は $5.4 \pm 3.6\%$ であった。対象群では有意な変化は見られなかった。

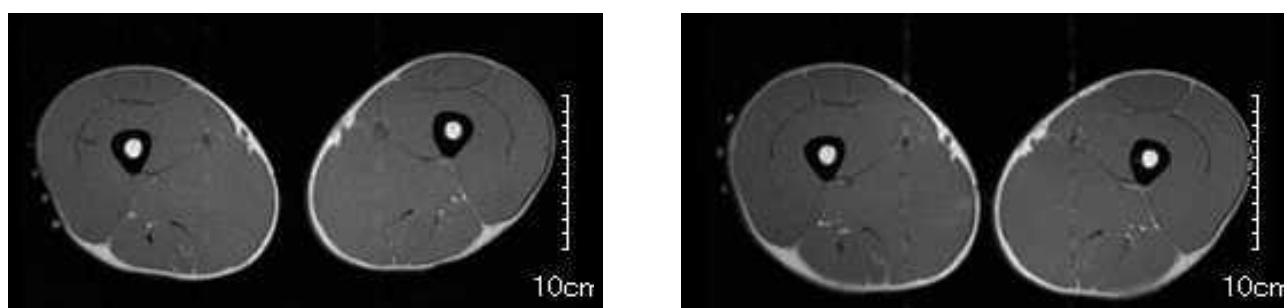
図 2-7 運動介入前後における大腿部筋・骨横断面積変化



平均±標準偏差を示す。

\$: 安静時との間の有意差 ($p < 0.05$) , * : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

図 2-8 大腿部横断画像の一例 (変化率 11%)

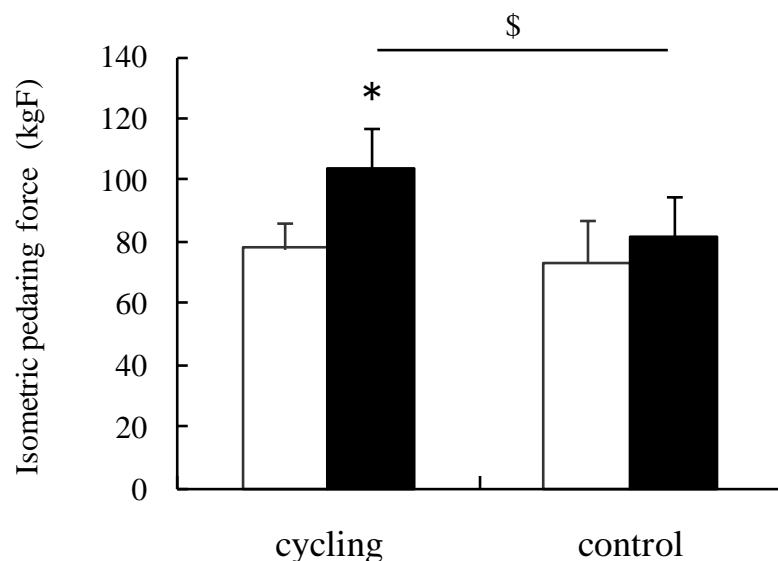


2-6. 筋力

ペダル踏力 MVC

図 2-9 に運動介入期間前後におけるペダル踏力 MVC の値を示す。自転車サイクリング運動群と対象群の間に交互作用が認められた。運動群では、運動介入前と比べて有意な MVC の増加がみられ、その変化率は $37.0 \pm 15.1\%$ であった。対象群では有意な変化は見られなかった。

図 2-9 運動介入前後におけるペダル踏力 MVC の変化



平均±標準偏差を示す。

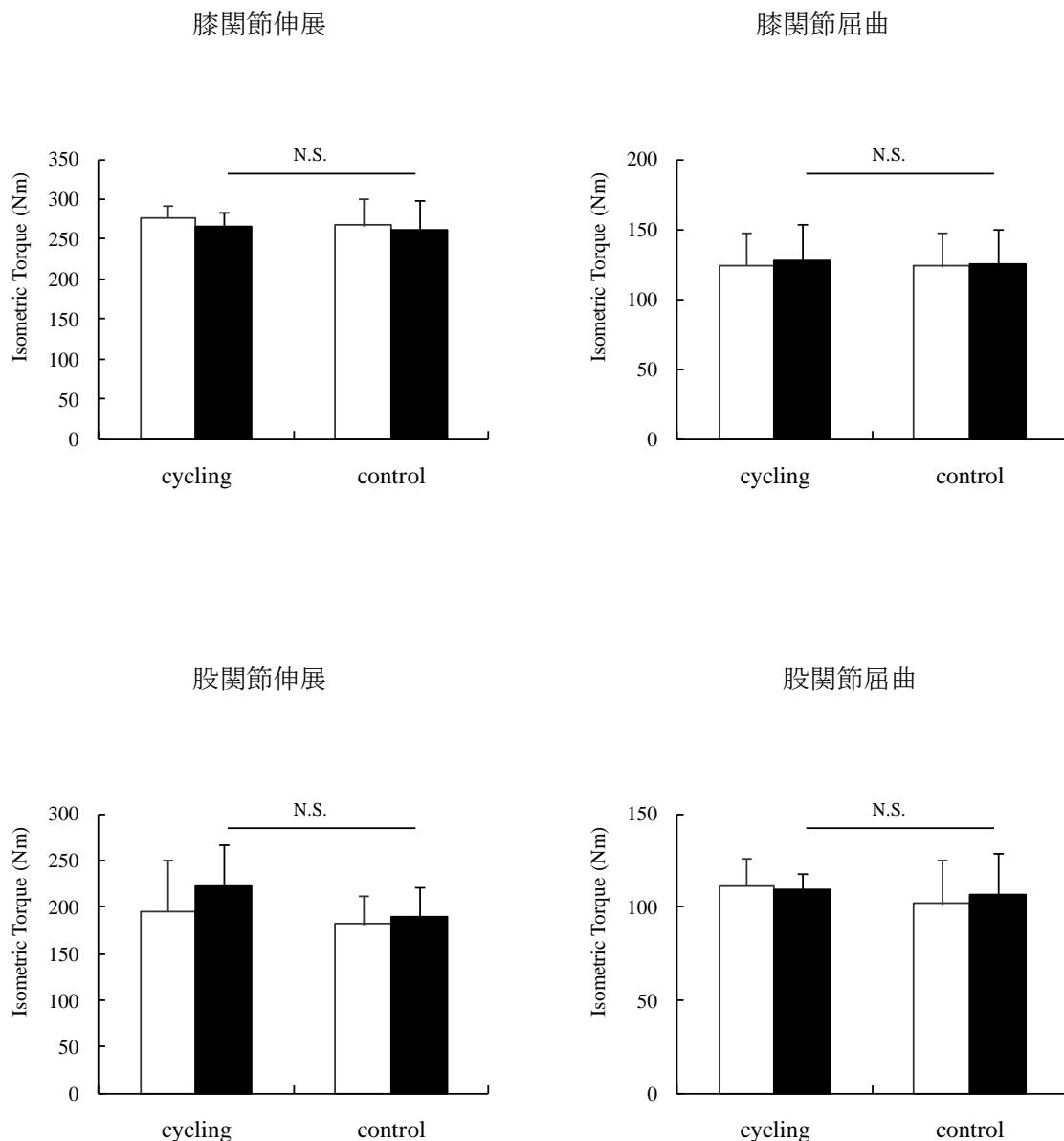
\$: 運動介入前との間の有意差 ($p < 0.05$)

* : 群間の有意差 ($p < 0.05$)

膝関節および股関節伸展・屈曲 等尺性筋力 (MVC)

図 2-10 に運動介入期間前後における膝関節および股関節の等尺性屈曲・伸展筋力 (MVC)を示す。いずれの筋力においても自転車サイクリング運動群と対象群の間に交互作用が認められなかつた。

図 2-10 運動介入前後における膝関節および股関節屈曲・伸展等尺性筋力の変化



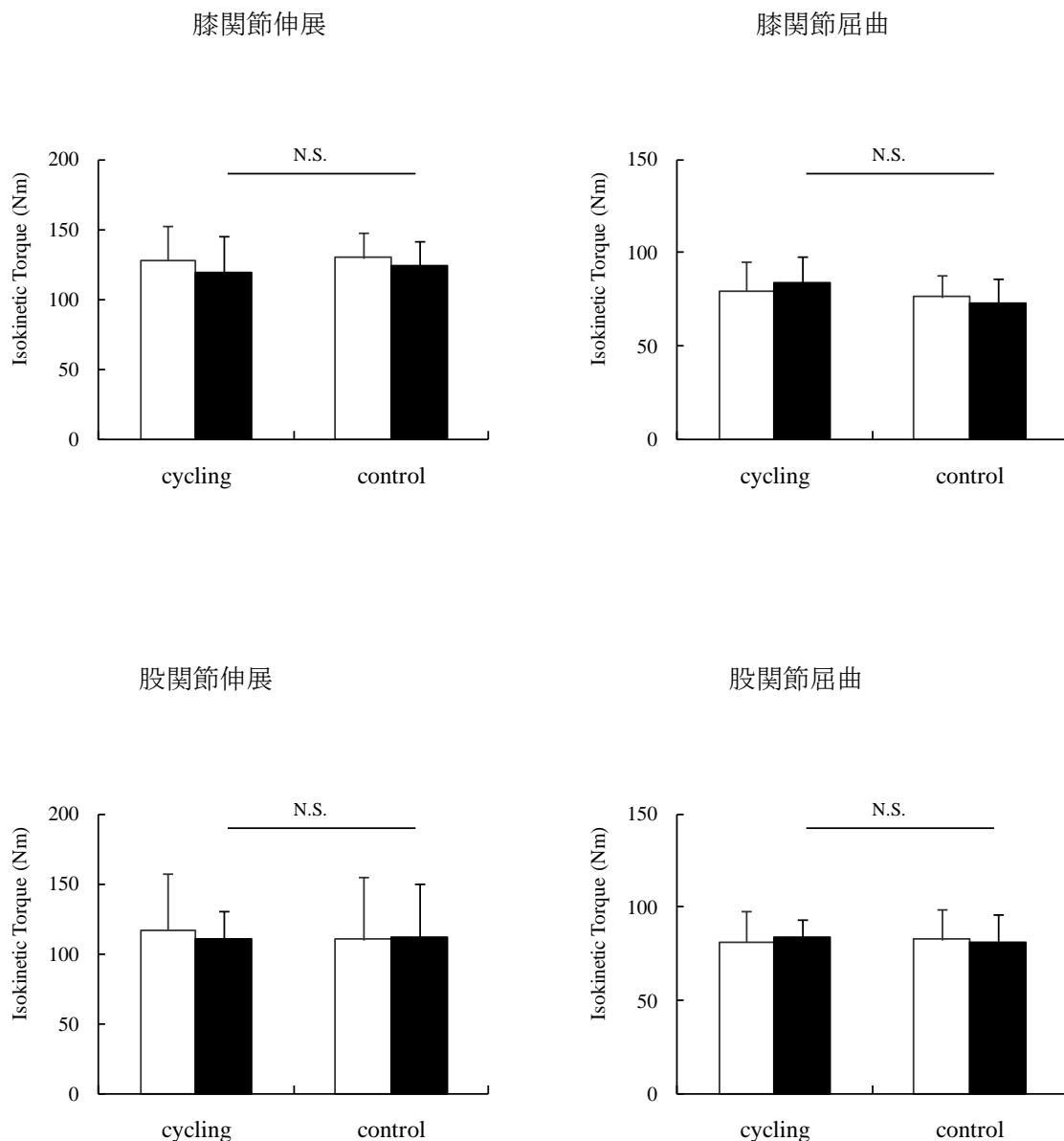
平均±標準偏差を示す。

N.S. : 群間の有意差なし

膝関節および股関節伸展・屈曲 等速性筋力

図 2-11 に運動介入期間前後における膝関節および股関節の等速性 ($270^{\circ}/\text{s}$) 屈曲・伸展筋力を示す。いずれの筋力においても自転車サイクリング運動群と対象群の間に交互作用が認められなかった。

図 2-11 運動介入前後における膝関節および股関節屈曲・伸展等速性筋力 ($270^{\circ}/\text{s}$) の変化



平均±標準偏差を示す。

N.S. : 群間の有意差なし

考察

本研究結果より、5分間の最大サイクリング運動で筋内がきわめて低酸素状態となり、乳酸などの代謝物の蓄積が原因と考えられる一過性の筋横断面積の増加が起こることが示された。また、12週間の亜最大サイクリング運動の介入により、有意な筋肥大・筋力増強が起こることが示された。

筋肥大・筋力増強効果

本研究では、自転車4000mレースの練習を模した5分間の亜最大サイクリング運動の12週間の介入によって大きな筋肥大、筋力増強効果得られることが示された。筋肥大効果をみると、大腿部の脂肪組織を除いた筋・骨横断面積で $+5.4 \pm 3.6\%$ の増加であった。筋肥大・筋力増強に最も効果的な方法は70-80%1RM (% one repetition maximum)程度の負荷を用いた高強度のレジスタンストレーニングであるとされるが(Camposら, 2002)、高強度レジスタンストレーニングによる下肢筋群の筋肥大効果は、2-3か月の実施により、5-8%程度とされる報告が多い(Abeら, 2000など)。以上から、5分間のスプリントサイクリング運動は通常の高強度レジスタンストレーニングに匹敵する筋肥大効果の高い運動であるといえる。

筋力増強効果は、サイクリング運動と同じ動きで行うペダル踏力のアイソメトリー隨意最大筋力(MVC; maximum voluntary contraction)では $+37.0 \pm 15.1\%$ の大きな増加を示した。一方で、膝関節伸展・屈曲、股関節伸展・屈曲動作のMVCおよび $270^\circ/\text{sec}$ の等速性筋力では、いずれにおいても有意な増強効果は認められなかった。筋力の増強は筋肥大による形態的要因と最大隨意興奮レベルによる神経性要因の両者に依存する(Phillipsら, 1997)。また、複雑な多関節動作では複数の関節動作筋のコーディネーションという神経系のより上位の制御能力が関係すると考えられる。

サイクリング動作のペダル踏力のMVCの増大はこの3つの要素の総計として生じたものと考えられる。サイクリング動作でのMVC発揮時の筋放電パターンを見ると、膝関節伸展筋と股関節伸展筋の筋活動の貢献度に変化のみられる被験者がいたことから(データ非掲載)、動作コーディネーションの影響の関与が示唆される。膝関節、股関節の単関節動作では複関節動作のコーディネーションの要素はない。筋肥大による形態的变化が5%程度起きているにも関わらず、これらの単関節動作の筋力増強が起こらなかった。膝関節と股関節を同時に動作するサイクリング運動によって、それとは異なる単関節の単独動作での最大隨意興奮レベルの増加は起こらなかった、もしくは低下したのかもしれない。

筋肥大を誘発する生理的メカニズム

筋肥大・筋力増強を目的としたレジスタンストレーニングの研究では、筋肥大に必要な負荷重量は 70% 1 RM 程度以上であり (Fleck と Kraemer, 1987)、筋肥大・筋力増強には筋に大きなメカニカルな刺激を与える必要があると考えられてきた。サイクリング運動では筋が最大パワーを発揮できる力・速度条件となるギア設定をすることが最も効率的と考えられるが、筋の最大パワーの出現する負荷は、筋単独では 30%MVC 程度 (Hill, 1938)、サイクリング動作のような複関節動作では 50%MVC 程度 (Yamauchi ら, 2007) とあまり大きくない。本研究におけるサイクリング動作中の発揮筋力の 1 サイクル中のピーク値の平均は、競技選手を用いた 5 分間の最大サイクリング運動において 20%MVC 強程度、一般若年男性を用いた 5 分間の亜最大サイクリング運動において 20%MVC 弱程度であった。

また、筋肥大を誘発する刺激の一つとして、エキセントリック収縮による微細な筋損傷が知られている (LaStayo ら, 2003)。そのため、通常のレジスタンストレーニングでは、エキセントリック局面の動作を丁寧に行うことが重要とされている。しかしながら、サイクリング運動にはエキセントリックな動作局面はほとんどない。

以上から、サイクリング運動による筋肥大・筋力増強には、一般的なレジスタンストレーニングで筋に与えられる大きなメカニカルストレスや筋の微細な損傷とは別の筋肥大誘発のメカニズムが作用していると考えられる。

サイクリング運動が筋肥大を誘発するメカニズムとして、運動中の筋内の酸素環境、代謝環境が激変することが関係している可能性が考えられる。近年、加圧トレーニングやスロートレーニングなどの、比較的軽負荷を用いたレジスタンストレーニング法の研究から、運動による筋の酸素環境、代謝環境の急激な変化が筋肥大の刺激となっていることが推察されている。加圧トレーニングでは 20-50%1RM 程度 (Takarada ら, 2000 など)、スロートレーニングでは 50%1RM 程度の負荷強度で大きな筋肥大効果が得られることが示されている (Tanimoto と Ishii, 2006 など)。

加圧トレーニングやスロートレーニングでは運動中の血流制限により、筋酸素化レベルが大きく低下する。レッグエクステンションを行ったときの外側広筋の筋酸素化レベルは、加圧トレーニング、スロートレーニングともに安静時の 30%程度まで減少する (Tanimoto ら, 2005)。筋酸素化レベルの低下は一酸化窒素(NO)などの活性酸素種 (ROS :Reactive Oxygen species) を生じるが、NO は筋の幹細胞である筋サテライト細胞の増殖・分化を促進することが観察されている (Anderson 2000)。本研究の競技選手を用いた 5 分間の最大サイクリング運動では、運動中の筋酸素化レベルが加圧トレーニングやスロートレーニングと同程度の $28.4 \pm 6.2\%$ にまで低下した。

同程度の心拍負荷でのランニング運動では $61.0 \pm 17.3\%$ とあまり低くなかった。一般若年男性を用いた 5 分間の亜最大サイクリング運動でも、選手を用いた最大サイクリング運動には及ばないが、 $50.6 \pm 12.1\%$ まで低下した。

また、加圧トレーニングやスロートレーニングでは運動後に低酸素状態から一転して高酸素状態に移行する。レッグエクステンションを行ったときの筋酸素化レベルは加圧トレーニングで安静時の 140%、スロートレーニングで 120% まで増加する (Tanimoto ら, 2005)。虚血・再還流による低酸素環境から高酸素環境への移行がキサンチンオキシダーゼを介して ROS の活性をあげること (Friedl et al. 1990) などが示されている。虚血・再還流による ROS の発生は血管平滑筋成長の重要なシグナルとなる作用が示されており (Velarde et al. 2004)、骨格筋の肥大にも関与している可能性がある。本研究の競技選手を用いた 5 分間の最大サイクリング運動では、運動後の筋酸素化レベルが加圧トレーニングやスロートレーニングと同程度の 137.6 ± 24.3 にまで増加した。同程度の心拍負荷でのランニング運動では $103.1 \pm 25.9\%$ であり、安静時と比べて有意差はみられなかった。一般若年男性を用いた 5 分間の亜最大サイクリング運動でも $131.0 \pm 31.9\%$ まで増加した。これらの酸素環境の変化がサイクリング運動の筋肥大効果に関与している可能性が考えられる。

加圧トレーニングやスロートレーニングでは低酸素環境によって無酸素性代謝物である乳酸や水素イオンが多量に発生すると考えられており、血中乳酸濃度が大きく増加することが観察されている (Tanimoto ら, 2005、Takarada ら 2001)。これらの代謝物の蓄積は筋肥大誘発作用のある成長ホルモンやテストステロンなどの内分泌系活性を亢進する (Kraemer and Ratamess 2005)。本研究の競技選手を用いた 5 分間の最大サイクリング運動では、血中乳酸濃度が $14.2 \pm 1.3\text{mM}$ 、一般若年男性を用いた 5 分間の亜最大サイクリング運動でも $11.0 \pm 1.6\text{mM}$ まで増加した。同程度の心拍負荷でのランニング運動では $7.2 \pm 1.5\text{mM}$ であり、サイクリング運動よりも有意に低い値であった。

これらの無酸素性代謝物の局所的な蓄積は、筋内の溶解物濃度を高めることにより、筋組織への血漿の移動 (Fluid Shift) が起こると考えられている。これをパンプアップ現象というが、パンプアップ現象によって筋は一時的に肥大し、周径囲が増大する。下肢の加圧トレーニングでは大腿部中央の周径が 1.5cm 程度増加することが報告されている (安部, 2004)。本研究の競技選手を用いた 5 分間の最大サイクリング運動では、運動直後に大腿部の筋・骨横断面積が $4.4 \pm 1.5\%$ 増加し、周径は $1.1 \pm 0.4\text{cm}$ 増加した。一般若年男性を用いた 5 分間の亜最大サイクリング運動でも周径が運動直後に $1.3 \pm 0.4\text{cm}$ 増加した。同程度の心拍負荷でのランニング運動では横断面積変化は

$+1.3 \pm 1.9\%$ 、周径変化は $0.6 \pm 0.2\text{cm}$ であり、サイクリング運動よりも有意に低い値であった。

これらの血中乳酸濃度、大腿部筋・骨横断面積変化、周径変化の結果から、5 分間のスプリントサイクリング運動では筋に乳酸などの無酸素性の代謝物が多量に蓄積していることが推察される。このような代謝的な刺激が筋肥大を誘発している可能性が考えられる。

パンプアップを誘発するコンセントリック動作競技

スプリントサイクリング運動で大きく筋酸素化レベルが低下し、強いパンプアップを起こす理由として、以下が考えられる。

- ・サイクリング運動はジョギングなどの同じ連続運動に比べて、筋力発揮局面が長く、脱力局面が短い。大きな仕事量を短い休息を挟んで繰り返し生み出す運動になるので、抹消の筋のエネルギー消費、酸素消費が大きくなり、筋内の酸素環境・代謝環境が苛酷になる。
- ・着地動作のないピュアコンセントリックなサイクリング運動は腱のばね作用があまり働くため筋のエネルギー消費が大きくなる。
- ・腱のばね作用を利用できることは大きな筋の短縮速度を必要とするが、大きな短縮速度はエネルギー効率が悪く (Hill, 1938)、それだけ外的仕事量に対するエネルギー消費が大きくなる。

また、着地による瞬間的な切り替えし動作を行うジョギングと比べて、持続的な筋力発揮を行うサイクリング運動では、血流が促進されにくく低酸素環境を誘発しやすいのかもしれない。

上記のような特徴はサイクリング運動だけでなく、ボートや競泳などのピュアコンセントリック動作を繰りかえし行う他の競技にも当てはまりそうである。これらの競技はサイクリング運動と同様にパンプアップが起こりやすい運動といえる。また、エキセントリック局面はややあるが、スピードスケートもコンセントリック動作の繰りかえしによってパンプアップの強く起こる競技といえそうである。そしてこれらの競技選手の筋は非常によく発達している場合が多い。サイクリング運動と類似の筋肥大誘発のメカニズムが作用しているのかもしれない。

これらのコンセントリック動作を繰り返す運動は、エキセントリック収縮による筋の微細な損傷が起こりにくいため、筋肉痛が起こりにくいという特徴がある。そのため、筋の回復のための長い休息時間が必要とならないと考えられる。一般的なレジスタンストレーニングでは 2-3 日間の休養を必要とされるが (Pollock ら, 1991)、これらの運動の競技練習はたいてい毎日行われる。

軽負荷で行う加圧トレーニングは、エキセントリック局面はあるが、負荷が小さいため筋の損傷の程度が小さく、高頻度でのトレーニングが可能と考えられている。20%1RM を用いた加圧トレーニングでは筋の損傷マーカーである血中クレアチニンキナーゼの濃度上昇がほとんどなく、ま

た1日2回の高頻度トレーニングによって短期間に大きな筋肥大効果が得られることが示されている(Abeら,2005)。

自転車競技やボート、競泳選手の筋がよく発達していることには、ピュアコンセントリック運動の毎日でも行える筋へのダメージの少なさと、パンプアップによる筋肥大の刺激を毎日の競技練習で高頻度で与えられていることが関係しているのかもしれない。

サルコペニア予防効果の期待

ヒトの筋は加齢とともに萎縮する。これをサルコペニア（加齢性筋委縮症）といい(Evance,1995)、近年その予防の重要性が強調されている。骨格筋量は20代後半から減少をはじめ、80歳までに平均で40%以上が減少する(Lexell,1992)。介護予防の観点から、高齢者がサルコペニアを最小限に抑えて、自立して日常生活を送るために必要な筋力・筋量を維持することはご本人にとっても社会にとっても重要な課題である。

スプリントサイクリング運動による筋肥大・筋力増強効果から、サルコペニア予防のための運動として大きな期待ができる。ピュアコンセントリックな動作形態から、サイクリング運動は微細な筋損傷による遅発性筋痛が生じにくいと考えられる。遅発性筋痛が少ないことは、運動実行の敷居を下げる一つの要因となるだろう。なお、スプリントサイクリング運動が筋肥大を誘発する要因が筋酸素化レベルの低下、パンプアップを引き起こす代謝物の蓄積であるとするなら、下肢筋群に強いパンプアップを体感できるだけの強度、ボリュームが必要条件となるかもしれない。

なお、本研究ではスプリントサイクリング運動によってサイクリング動作における筋力の増強を認めたが、下肢の単関節動作における筋力増強効果は認められなかった。しかし、実際の日常動作や競技動作の多くは複合的な下肢の関節動作を行う。下肢の筋を使った日常動作の中で、立ち上がり動作は日常生活で頻繁に行う動作であり、また日常生活動作の中で最も筋力を必要とする動作の一つである(Plouts-Snyderら, 2002)。立ち上がり動作も下肢の関節動作を複合的に行う動作であり、膝関節と股関節を同時に伸展させる動きはサイクリング動作と類似している。立ち上がり動作を行える筋力を保持する事は、高齢者が日常生活の質(QOL)を維持・改善するために欠かせない事であると考えられるが、サイクリング動作における筋力増強は動作の類似性からその役に立つものと考えられる。

結論

5分間のスプリントサイクリング運動は筋肥大・筋力増強に効果的であり、その程度は一般的な高強度レジスタンストレーニングに匹敵する。その効果のメカニズムとして、筋内の酸素環境、代謝環境の大きな変化が関係している可能性が考えられる。スプリントサイクリング運動は、近年重要性が強調されるサルコペニア予防のための効果的な運動として提案できるだろう。