

平成23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

財団法人 日本自転車普及協会



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……………財団法人 日本自転車普及協会……………	1
II	まえがき……………研究代表者 形本静夫……………	2
III	各研究成果の概要……………	3
IV	研究成果の詳細……………	8
	1 トレーニングに関する研究成果……………	
	1) 60分間のサイクリング・トレーニングの結果	
	主観的運動強度を頼りに週2回以上の頻度で6週間の自転車トレーニング を実施した場合の呼吸循環機能及び生化学的血液性状に及ぼす効果について 杉山康司 <sup>1</sup> 、富田寿人 <sup>2</sup> 、星川秀利 <sup>3</sup> <sup>1</sup> 静岡大学、 <sup>2</sup> 静岡理工科大学、 <sup>3</sup> 浜松大学	8
	2) 30分間のサイクリング・トレーニングの結果	
	①やや強くの主観的強度による30分間×週2回のサイクリングが一般成人 男性の有酸素能および血液生化学的変量に及ぼす影響 形本静夫、大場美那貴、鈴木大地 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科	26
	②クロスバイクによる中等強度のロード走行トレーニングが成人男性の呼吸 循環機能および血液性状に及ぼす影響 永山 寛、田中 宏暁 福岡大学	37
	③6週間の低強度自転車運動介入が中年男性の心肺持久力・血液性状・体組成 に与える影響 谷本道哉 <sup>1</sup> 、形本静夫 <sup>2</sup> <sup>1</sup> 近畿大学生物理工学部、 <sup>2</sup> 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科	46
	2 熱ショックタンパク質からみたサイクリング運動の特徴に関する研究	
	運動様式の相違が血中熱ショックタンパク質に及ぼす影響 —ランニング運動と自転車運動の比較— 柿木亮 <sup>1</sup> 、都築孝允 <sup>2</sup> 、中潟崇 <sup>2</sup> 、吉原利典 <sup>2</sup> 、内藤久士 <sup>1,2</sup> <sup>1</sup> 順天堂大学スポーツ健康医科学研究所、 <sup>2</sup> 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科	58

## I 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、一昨年度、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、社会的に人体に及ぼす影響の分析を行った。

また昨年度は、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。この研究成果は今後、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。

さらに、本年度は1日30分および60分間のサイクリングを週2日の頻度で6週間にわたって実施し、自転車による健康づくりのためのプログラム作成に資する客観的エビデンスの蓄積に関する実験研究を行うとともに、運動に際し、着地に伴う衝撃がないサイクリングの健康づくり上の有利性に関するデータの蓄積も行った。

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。本年度までの3年間、順天堂大学を中心として行われた研究の成果が、今後さらに自転車による健康づくり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。

最後に、本調査研究にご協力頂いた、順天堂大学形本静夫教授はじめ研究分担者の先生方、及び被験者の方々、また本調査研究のために競輪補助事業によるご支援をくださった財団法人JKA補助事業グループならびに競輪ファンと関係者各位に心より御礼申し上げます。

財団法人 日本自転車普及協会

平成24年3月

## II まえがき

近年、環境にやさしい乗り物として自転車が注目されるようになり、健康づくりや体力づくりに、サイクリングを行う人々が数多く見られるようになってきた。このような状況を反映して、一般人を対象としたサイクリングイベントも全国各地で開かれるようになってきた。しかし、いかなる強度や時間の組み合わせによって、健康や体力に関する生理生化学的指標に有意な改善をもたらすことができるのかは、これまで明らかにされてきていない。したがって、一般人にサイクリングによる運動処方を行うための客観的な資料に乏しく、経験を頼りにサイクリングの指導が行われているのが現状である。これまで、自転車による健康づくりや体力づくりに関するエビデンスの多くは、固定式の自転車エルゴメータを用いた実験室的手法により得られてきた。したがって、それが実際のサイクリングにそのまま適用できるかどうかは、検討の余地が残されており、特にトレーニング研究の必要性が指摘されてきた。そこで、このたびの受託研究においては、近畿大学、静岡大学、静岡理工科大学、浜松大学、福岡大学ならびに順天堂大学スポーツ健康医科学研究所の協力を得て、トレーニング研究を実施するとともに、合わせて熱ショックタンパク質からみたサイクリングの生化学的特性に関する研究を行った。

トレーニング研究では、6班の研究グループを構成し、1日30分および60分間のサイクリングを「軽く」、「普通に」および「やや強く」の主観的強度により、週2回の頻度で6週間行うことによって健康や体力の改善に資する生理・生化学的変化をもたらすかどうかを検討し、サイクリングによる健康・体力づくりプログラム作成のためのエビデンスの蓄積を図った。

その結果、今後の自転車による健康づくりのためのプログラム作成に関して、多くの興味ある知見を得ることができた。このたび、その成果を報告書して公表する機会を持つことは、調査・研究にあたった者として、大変な喜びを感じている。このようなチャンスを受託研究の形で与えていただいた財団法人日本自転車普及協会に対し、研究メンバーを代表して厚く御礼申し上げたい。

平成24年3月

研究代表者 形本静夫

### III 各研究成果の概要

#### 1 トレーニングに関する研究成果

##### 1) 60分間のサイクリング・トレーニングの結果

主観的運動強度を頼りに週2回以上の頻度で6週間の自転車トレーニングを実施した場合の呼吸循環機能及び生化学的血液性状に及ぼす効果について

杉山康司（静岡大学）、富田寿人（静岡理工科大学）、星川秀利（浜松大学）

本研究の目的は「軽め」、「普通」および「ややきつめ」の三段階にトレーニング強度を分けて週2回以上6週間のロードバイクトレーニングを行わせた場合の呼吸循環機能および生化学的血液性状の変化について検討することとした。また、トレーニング中の強度を心拍数で分類することから生理学的強度の分類による効果についても検討を試みた。

被験者は静岡県内に在住の30歳以上の健康的な成人男性24名であった。被験者の平均年齢、身長、および体重はそれぞれ、 $40.9 \pm 8.5$ 歳、 $172.8 \pm 6.2$ cm および  $70.5 \pm 9.9$ kgであった。彼らを「軽強度群」（ボルグスケール8～10程度）、「普通強度群」（ボルグスケール10～12程度）および「きつめ強度群」（ボルグスケール12～15程度）の三群（各8名）に分け、各測定項目においてトレーニング前後に差が得られるかどうか分析し、その後、全被験者のトレーニング中の平均運動強度を基にグループを再編成し、実トレーニング強度ごとのトレーニング効果について検討を行った。効果の判定パラメータは自転車エルゴメータを用いたオールアウトテストによる呼吸循環パラメータ、一本橋バランステストおよび血液性状35項目（一般血液検査13項目および生化学検査22項目）とした。

この結果、主観的強度で3分したトレーニング群のうち軽強度群においてHDLコレステロールおよび遊離脂肪酸の有意な増加が認められた。また、一本橋テストおよびオールアウトパフォーマンスタイムにおいてはすべての群において有意な延長があった。一方、トレーニング中の心拍数から群分けした結果、HT群の $V_{O_2max}$ およびパフォーマンスタイムに有意な改善がみられた。また、LT群には最大下強度（60、90および120W）においてトレーニング前よりも有意に低い心拍数を示した。

以上の結果から、主観的強度を頼りに低強度でロードバイクトレーニングを始めても、6週間ほどトレーニングを行えば、血中のHDLコレステロールおよび遊離脂肪酸を増加さ

せることができるとともに平衡機能の改善にも有効であることが示唆された。また、生理学的強度で 60%以上の強度でロードバイクトレーニングを実施することができるならば、確実に持久性能力の最大値を改善する効果が示された。

## 2) 30 分間のサイクリング・トレーニングの結果

### ① やや強くの主観的強度による 30 分間×週 2 回のサイクリングが一般成人男性の有酸素能および血液生化学的変量に及ぼす影響

形本静夫、大場美那貴、鈴木大地

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 分、週 2 回、6 週間のサイクリングが一般成人男子の有酸素能力および血液学的・生化学的変量に及ぼす影響を調査・研究した。被験者は日頃特に規則的な身体活動を行っていない一般成人男子 14 名とし、彼らを 6 週間にわたってサイクリングを行うトレーニング群(n=7、39±10 歳)とトレーニングを行わないコントロール群とに分けた。両群とも 6 週間のトレーニング期間の前後に、有酸素能力評価のための最大運動負荷テストと血液学的・生化学的評価のための採血を受けた。サイクリングは、クロスバイクあるいはロード用バイクを用いて、平坦路を基調とした公道を走行することによって行った。その結果、トレーニング群ではサイクリングによって運動時間、最大酸素摂取量および最大換気量が有意に増加し、最大下負荷に対する血中乳酸濃度が有意に低下した。また、血中総コレステロールおよび LDL-コレステロールが有意に低下した。これらの事実から、「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 分、週 2 日、6 週間にわたるサイクリングは、一般成人男子の中枢循環能力および筋の酸化能力を改善させて彼らの有酸素的作業能力を向上させるとともに、一部生活習慣病に関わる血液生化学的変量の改善を導くことが示された。

## ② クロスバイクによる中等強度のロード走行トレーニングが成人男性の呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響

永山 寛、田中 宏暁  
(福岡大学)

本研究の目的は、クロスバイクによりレジャーや通勤・通学時の強度と考えられる中等強度でのロード走行トレーニングを1回30分、週2回の頻度で6週間実施し、呼吸循環機能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。普段定期的なトレーニングを実施していない成人男性8名(32.5±2.8歳)を対象とし、市販のクロスバイクを用いて中等強度のロード走行トレーニングを実施した。トレーニング前後には運動負荷試験および採血を行い、ロード走行トレーニングの効果について検討した。トレーニングの走行距離は9.00±1.41km、時速は16.9±1.1km/時、トレーニング強度は47.7±12.2% $\dot{V}O_2\max$ 、4.9±1.1METsであった。トレーニング前後の $\dot{V}O_2\max$ においては有意な変化が認められず、トレーニング強度と $\dot{V}O_2\max$ の間に有意な相関関係は認められなかった。また、血液性状においても改善は見られなかった。しかし、週あたり4.9METs・時の身体活動量が確保され、トレーニング前に健康づくりに推奨される $\dot{V}O_2\max$ よりも低値であった者は中等強度でもその効果が期待される可能性が考えられた。

これらの結果から、中等強度でのクロスバイクによるロード走行トレーニングは個人差が大きく、必ずしも持続的体力の改善にはつながらないものの、持続的体力の初期水準が低い者においては効果が期待できる可能性が示唆された。

### ③ 6週間の低強度自転車運動介入が中年男性の心肺持久力・血液性状・体組成に与える影響

谷本道哉<sup>1</sup>, 形本静夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿大学生物理工学部, <sup>2</sup>順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科,

**背景:** 自転車運動はジョギングやウォーキングと並ぶ非常にポピュラーな持久的運動であり、健康の維持増進のための運動として期待されている。心疾患等の生活習慣病予防には心肺持久力の向上が効果的だが、低強度運動や活発な日常の身体活動でもそのリスクが低下することが分かっている。低強度の自転車運動でもその効果が期待される。

**目的:** 低強度の自転車運動の、生活習慣病罹患リスクの指標となる心肺持久力（最大酸素摂取量等）、血液性状（血中脂質等）、体組成（皮下脂肪厚）の改善効果の有無を明らかにすることを目的とする。

**方法:** 30-50才台の中年男性8名を用い、30分間の自転車運動を週2回、6週間行わせた。運動の強度は主観強度「軽い」とした。運動介入期間前後の最大酸素摂取量、血液性状、皮下脂肪厚等の測定を行い変化の観察を行った。

**結果:** いずれの測定項目においても有意な変化はみられなかった。

**結論:** 主観強度「軽い」の運動強度による週2回、30分間の自転車運動は、中年男性の生活習慣病のリスクファクターを改善させるには不十分であったと考えられる。本研究条件よりも運動量、運動強度、期間を「手軽にできる低強度運動」の範囲で増加させた条件を設定し、生活習慣病の罹患リスクの低下のための必要条件を見出すことが今後の課題である。



## 2 熱ショックタンパク質からみたサイクリング運動の特徴に関する研究

### 運動様式の相違が血中熱ショックタンパク質に及ぼす影響

#### —ランニング運動と自転車運動の比較—

柿木亮<sup>1</sup>、都築孝允<sup>2</sup>、中潟崇<sup>2</sup>、吉原利典<sup>2</sup>、内藤久士<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>順天堂大学スポーツ健康医科学研究所

<sup>2</sup>順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

血中熱ショックタンパク質 (Heat Shock Protein; Hsp) 72 は、免疫システムの調節に重要な役割を担っている。本研究は、一般人とトライアスリートを対象に 70%  $V_{O2peak}$  の運動強度でランニング運動と自転車運動を行わせ、運動様式の相違が血中 Hsp72 に与える影響を検討した。トライアスリートにおいては、ランニング運動は、血中 Hsp72 濃度を有意に増加させたが、自転車運動は、血中 Hsp72 濃度を増加させなかった。一方、一般人においては、ランニング運動および自転車運動の両方とも血中 Hsp72 濃度を増加させる結果となった。また、一般人を対象とした検討の場合、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と正の相関関係があった。本研究は、運動様式の相違は、一般人とトライアスリートにおいて血中 Hsp72 応答に異なる影響を与える可能性が示唆された。また、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と関連性があることが示唆された。

## IV 研究成果の詳細

### 主観的運動強度を頼りに週2回以上の頻度で6週間の自転車トレーニングを実施した場合の呼吸循環機能及び生化学的血液性状に及ぼす効果について

杉山康司（静岡大学）、富田寿人（静岡理工科大学）、星川秀利（浜松大学）

#### I 目的

近年、我国は食生活の豊かさ、医療技術の進歩、交通手段の発展など、あらゆる面において生活水準が向上している。しかし、その反面、栄養の過剰摂取や運動機会の著しい減少による肥満および生活習慣病の増加、あるいは複雑で多様化する生活上のストレス増加など、多くの問題に直面している。過度のストレスや肥満は生活習慣病や心身症を引き起こす原因になり得る問題点もあり、今や誰もが生活習慣病を発症する危険を持っている。したがって、生活習慣病や肥満にならないためには栄養面に十分留意された食習慣や適切な運動処方に基づいた運動習慣を身につけることが大切となる。日本では生活習慣病や肥満の問題点がテレビや雑誌、インターネットなどのマスメディアを通じて関心を高めている。そのため、運動を行うことで生活習慣を改善させる健康づくりに参加する中高齢者が増えてきているとも考えられる。中でも特に注目を浴びているものが自転車で行うサイクリングである。2011年に日共ビジネスオンラインが行った読者813人に対するアンケート<sup>1)</sup>では「これから初めてみたいスポーツ」で「自転車」が179人（22%）で1位、「水泳」が126人で2位、ランニングが121人で3位と報告されている。

サイクリングはランニングやウォーキングなどと同じく、代表的な有酸素運動として位置づけることができる。有酸素運動は最大下で行えば「楽」に呼吸することができ、筋肉に十分な酸素を送り込むことが出来る。筋肉中では酸素を使って脂肪が分解され、この過程で多くのアデノシン三リン酸（ATP）を作り出すことも期待できる。このような効果を引き出す運動の中でも自転車は疲れを感じにくいため、低強度で長時間運動を続けることができ、多くの脂肪を燃焼することが可能なスポーツとして推奨されている。また、サイクリングには脚以外にも腕、背中あるいは腹筋などの筋肉も使う運動であり、定期的続けることで筋力を増加させる効果もあると考えられる。さらに、二輪で走行する技術は常に動的バランス能力を養うことができる可能性を含んでいる。

しかしながら、サイクリングを用いた健康づくりに関する研究は高石ら<sup>4)</sup>や林ら<sup>5)</sup>のような自転車エルゴメータを用いた実験室内の研究が多く、阿部ら<sup>6)</sup>や玉川ら<sup>7)</sup>のような実

際にサイクリングをある一定期間行わせた研究は数少ない。特に、トレーニング時の運動強度において検討した研究はほとんどなく、ロードバイクを用いてトレーニング者が自ら強度を設定して適切なトレーニング効果をあげることができるかは分かっていない。

そこで、本研究の目的は「軽め」、「普通」および「ややきつめ」の三段階にトレーニング強度を分けて主観的強度を頼りに週2回以上6週間のロードバイクトレーニングを行わせた場合の呼吸循環機能および生化学的血液性状の変化について検討することとした。また、トレーニング中の強度を心拍数で分類することから生理学的強度の分類による効果についても検討を試みた。

## II 実験方法

### 1. 被験者

被験者は静岡県内に在住の30歳以上の健康的な成人男性24名であった。被験者は書面と口頭で本研究の趣旨や注意事項等の説明を受けた後、インフォームドコンセントを得た。被験者の平均年齢、身長および体重はそれぞれ、 $40.9 \pm 8.5$ 歳、 $172.8 \pm 6.2$ cm および  $70.5 \pm 9.9$ kgであった。彼らを「軽め」（ボルグスケール8～10程度）、「普通」（ボルグスケール10～12程度）および「ややきつめ」（ボルグスケール12～15程度）の三群（各8名）に分け、各測定項目においてトレーニング前後に差が得られるかどうか分析し、その後、全被験者のトレーニング中の平均運動強度を基にグループを再編成し、実トレーニング強度ごとのトレーニング効果について検討を行った。主観的強度を頼りに3分した群においても、その後トレーニング強度で再編成した群においてもトレーニング前値における被験者の年齢、身長、体重、呼吸循環機能パラメータおよび血液性状パラメータに統計上の有意差は認められなかった。

### 2. 実験のプロトコルと測定項目

実験は6週間のトレーニング前後に各比較測定項目について前後同じ条件で測定した。測定項目は1) 自転車一本橋テスト、2) オールアウトテストおよび3) 一般的血液性状および生化学的血液項目であった。

#### 1) 自転車一本橋バランステスト

幅5cmの白いテープで全長10m、内幅30cmの長方形のラインをアスファルト上に用意し、ラインの横に1mの間隔で印と距離を表す数字をつけた(図1)。測定で使用した自転車はマウンテンバイクであった。被験者にはあらかじめ、できるだけゆっくりとした

速度で完走を目指すことを指示した。数回の練習をした後、本番として3回の走行を行わせた。スタートは、スタートラインと前輪の接地点が触れないように自転車を停止させ、「よーい、はじめ」の合図で出発させた。そして前輪がゴールラインを過ぎた所で完走とし、ここまでのタイムを測定した。自転車の前輪が左右のラインに触れた時点で脱輪とし、脱輪方向およびそれまでの距離と時間を記録した。また、3回目までに成功できなかったあるいは記録に満足できなかった被験者には4回目および5回目の測定を行った。このテストはトレーニング前後オールアウトテストを行う前に行った。



図1 一本橋バランステスト測定風景

## 2) オールアウトテスト

オールアウトテストには自転車エルゴメータ（エアロバイク 232C : Combi）を使用した。サドルとハンドルを被験者にとって適切な高さに調節した後、ペダルと足を固定した。最初に負荷をかける前の空漕ぎから始め、60rpmを維持したところで測定を開始し。0～3分までの負荷を60W、3～6分までの負荷を90W、6～9分までの負荷を120Wとし、以後は1分ごとに負荷を20Wずつ漸増した。負荷が変わる30秒前に被験者に主観的強度としてボルグスケールを見せ、現在の主観的運動強度の数字を指差すよう指示した。その際、被験者に口頭で数字の確認を取り、間違いがないことを確認した。

自転車を漕ぐ際、腰を上げるのは禁止とし、ペダル回転数が60rpmを維持できなくなったところでオールアウトとした。オールアウトテスト後は十分なクーリングダウンを行い心拍数が140拍/分を下回った後、エルゴメータから降ることとした。テスト中、酸素摂取量および心拍数を連続測定した。呼吸代謝測定には自動ガス分析器（エアロモニタ AE-310S : 港医科学）を用いた。また、心拍数は患者監視装置（LifeScope11 : 日本光電）を用い、心電図を記録後、30秒毎にR棘を数え、1分間値でしめた。テストはトレーニングの前後10日以内に実施し、各パラメータの変化について比較した。

## 3) 血液検査

トレーニング期間の前後1週間以内において掛川・笠南医療センターおよび富士宮市朝

霧診療所で採血を行い、分析処理を血液分析センターに依頼した。被験者に前日の10時以降からの当日採血時までには水以外の飲食をしないよう指示した。採血当日は飲水も禁止し、空腹状態で採血した。検査項目は赤血球や白血球を検査する血液一般検査、血液中の酵素やコレステロールを検査する血液生化学項目を行った。血液一般検査項目では赤血球数、白血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット値、血小板数、平均赤血球容積 (MCV)、平均赤血球色素量 (MCH)、平均赤血球血色素濃度 (MCHC)、好中球 (NEUT)、リンパ球 (LYMPH)、単球 (MONO)、好酸球 (EOSINO)、好塩基球 (BASO) の13項目を検査した。また、血液生化学項目は総蛋白、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)、乳酸脱水素酵素 (LD)、アルカリフォスファターゼ (ALP)、アイソザイム ( $\gamma$ -GT)、クレアチンキナーゼ (CK)、尿素窒素 (UN)、クレアチニン、血清鉄、総コレステロール、LDL-コレステロール、HDL-コレステロール、中性脂肪 (TG)、遊離脂肪酸、グルコース、HbA1c、CK-MB 定量、インスリン、ミオグロビン、ヒト心臓由来脂肪酸総合蛋白 (H-FABP) の22項目を検査した。これらの検査のうち血液検査を掛川・笠南医療センターで行った被験者と、富士宮市朝霧診療所で行った被験者の採血結果表示形式が異なっていたため、「0.6 未満」あるいは「0.7 以上」といった結果はそれぞれ「0.6」または「0.7」として処理した。

### 3. ロードバイクによる6週間のトレーニング

自転車によるトレーニングは6週間、週2~3回、1日60分間の自転車運動を行うものであった。ただし、止むを得ず、連続60分間のトレーニングができない場合は、30分間のトレーニングを2回行うことも許可した。トレーニングに使用する自転車はクロスロードバイク (シェファード: RITEWAY) を用い、サイクルコンピュータ (CC.CD-200N: CATEYE) を装着した。被験者を、トレーニングを行う際の運動強度で予め「ややきつい」「普通」「軽い」の3群に分け、それに見合うトレーニングをするよう指示した。すなわち、「軽め」(ボルグスケール8~10程度)、「普通」(ボルグスケール10~12程度) および「ややきつめ」(ボルグスケール12~15程度) になるようにオールアウトテストの経験値を参考にトレーニングを行うように各被験者に依頼した。トレーニング後には主観的運動強度、トレーニング時間、主観的強度、距離、最高速度および平均速度をトレーニング日誌に記録するように指示した。なお、トレーニングコースおよびトレーニングの時間は被験者自身の都合にあわせ、各自で決めることとした。

また、トレーニング中の心拍数およびケイデンスを測定するため、1週間以上被験者の自転車にロードサイクル用心拍数記憶装置（サイクルコンピュータ cs500+ : Polar）を装着した。得られたトレーニング中の運動強度としてトレーニング時における平均心拍数（HR）をオールアウトテストから求めた心拍数-酸素摂取量（VO<sub>2</sub>）関係式に代入し、%VO<sub>2</sub>max で示した。

#### 4. データ分析

##### 1) トレーニング効果の比較

被験者の日誌から、本研究のトレーニング条件に十分見合うかどうか確認し、主観的強度で各群8名になるように、**軽強度群**：「軽め」（スケール8～10程度）、**普通強度群**：「普通」（スケール10～12程度）および**きつめ強度群**：「ややきつめ」（スケール12～15程度）の3群に分け、各グループでの前後のパラメータについて平均値を求め、その変化を検討した。また、各被験者の日誌からトレーニング中の平均心拍数をオールアウトテストで得られたHR-VO<sub>2</sub>関係式から%VO<sub>2</sub>maxを算出し、%VO<sub>2</sub>maxが50%未満の被験者をロー・インテンシティ・トレーニング群（**LT群**）、50%以上60%未満の被験者をミドル・インテンシティ・トレーニング群（**MT群**）、60%以上の被験者をハイ・インテンシティ・トレーニング群（**HT群**）とし、実験群を生理学的トレーニング強度から再編成した。被験者数はLT群が6名、MT群が8名、HT群が6名であった。なお、残りの4名については十分なHR情報が得られなかったためにデータから除外した。

##### 2) 統計処理

トレーニングの運動強度によって分けた各グループの平均と標準偏差を求めた。トレーニング前値において3群の体格、年齢、最大酸素摂取量に差が生じないように編成する際、各パラメータについて一要因の分散分析を行い、有意差がないことを確認した。結果ではグループごとのトレーニング前後における効果を検討するため、各項目の前後値の差は、対応のある二つの平均値の差の検定とし、Studentのtテストを用いた。なお、有意水準は危険率5%未満（P<0.05）とした。

### III 結果

#### 1. 主観的強度で群分けしたトレーニングの効果

##### 1) トレーニング強度

各グループのトレーニング記録を表1に示した。トレーニング中の運動強度を%

VO<sub>2</sub>max でみると、運動強度の平均は、軽強度群で 56.5±13.8%，普通強度群で 54.4±11.1%，きつめ強度群で 53.6±7.6%となった。被験者個々へ主観的運動強度でトレーニングを行うよう指示したが、グループ間の平均値には有意差は認められなかった(表 1)。

表1 トレーニング日誌から算出した軽強度群、普通強度群、きつめ強度群のトレーニング内容

群		トレーニング日数	RPE	時間	距離	平均心拍数	最高速度	平均速度	%HRR	%VO2max
		日		分/日	km/日	拍/分	km/時	km/時	%	%
軽強度群	平均	17.6	10.5	58.2	16.6	125.3	37.9	17.2	50.8	56.5
	SD	10.5	1.5	15.5	2.6	11.7	8.6	1.7	7.0	13.8
普通強度群	平均	14.4	12.2	62.2	18.3	122.5	38.2	18.1	47.3	54.4
	SD	3.0	1.3	10.0	3.0	8.6	5.1	2.3	11.6	11.1
きつめ強度群	平均	13.5	13.2	62.3	18.4	122.4	37.2	17.6	51.4	53.6
	SD	0.8	1.1	5.3	2.7	9.4	5.8	2.6	8.9	7.6

## 2) 一本橋バランステスト

表 2 に一本橋バランステストにおけるトレーニング前後の結果を示した。バランステストは 6 週間のトレーニングによっていづれの強度でトレーニングを実施しても平均で 1.1 秒から 2.5 秒の範囲で有意にタイム延長が認められた。

表2 主観的強度で3群に分けた場合の1本橋バランステストにおける10m走行タイム。\*\*\*はP<0.001,\*\*はP<0.01がトレーニング前に比べ、後で認められたことを示す。

群	10m走行タイム				
	前値		後値		
	平均	SD	平均	SD	
軽強度群	10.8	3.6	13.3	2.7	***
普通強度群	11.1	2.3	12.2	2.0	***
きつめ強度群	11.0	2.5	13.0	3.1	**

## 3) オールアウトテストパラメータ

オールアウトテストで得られた各パラメータを表 3 に示した。主観的強度でトレーニングを行った場合、各群のトレーニング前後でみられる有意な効果はほとんどなかった。有意差が認められたのは 3 群ともオールアウトタイムであった。

表3 トレーニング群別オールアウトテストの結果。\*はトレーニング前後における有意差を示す

負荷	測定項目	軽強度群				普通強度群				きつめ強度群				
		前		後		前		後		前		後		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	
負荷 60w	酸素摂取量 ml/kg・分	15.0	2.7	16.1	2.6 *	15.1	1.6	15.2	1.6	14.6	2.0	15.0	1.9	
	心拍数 拍/分	109.4	15.2	104.9	7.2	98.3	11.1	98.8	5.8	104.4	9.4	103.1	10.2	
	換気量 l/分	30.7	2.1	29.6	2.7	28.7	4.4	26.5	5.3	28.3	3.7	27.6	3.9	
	酸素脈 ml/拍	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	
	換気当量 l/ml	2.1	0.3	1.9	0.4 *	1.9	0.3	1.7	0.3	2.0	0.4	1.9	0.3	
	最大下強度	酸素摂取量 ml/kg・分	20.6	2.8	20.9	3.5	19.7	1.8	19.8	2.2	19.0	2.2	19.6	2.3
負荷 90w	心拍数 拍/分	122.1	10.2	119.5	10.2	110.9	12.7	115.1	6.1	117.3	11.6	117.4	10.7	
	換気量 l/分	40.8	4.2	39.2	3.1 *	37.2	5.8	34.4	6.5 *	37.1	4.8	36.1	4.0	
	酸素脈 ml/拍	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	
	換気当量 l/ml	2.0	0.3	1.9	0.4	1.9	0.3	1.8	0.4	2.0	0.4	1.9	0.3	
	負荷 120w	酸素摂取量 ml/kg・分	26.3	4.9	25.7	4.5	26.5	3.0	25.2	2.5	23.9	3.2	22.9	4.1
		心拍数 拍/分	136.4	14.1	134.5	12.8	132.4	15.0	131.7	8.5	134.5	12.7	132.8	11.2
換気量 l/分		52.7	6.1	49.1	5.6 *	49.2	6.6	47.2	6.2	48.4	5.9	44.4	9.8	
酸素脈 ml/拍		0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	
換気当量 l/ml		2.1	0.4	2.0	0.4	1.9	0.4	1.9	0.3	2.1	0.4	1.9	0.3	
最大値		VO2max ml/kg・分	41.7	9.0	44.0	6.8	40.9	9.7	43.1	8.0	40.6	9.9	40.1	9.8
	最大心拍数 拍/分	180.4	14.0	178.5	18.1	180.4	11.9	180.6	13.7	176.3	12.4	174.9	10.7	
	最大換気量 l/分	115.5	21.9	120.1	27.7	108.4	26.7	119.0	26.3 **	118.3	23.9	108.7	22.5	
	オールアウトタイム 秒	862.5	90.9	922.5	106.9 **	873.8	148.8	941.3	134.1 **	836.3	94.2	870.0	84.9 **	

また、低強度群においては最大下の 90W および 120W において換気量に有意差が認められた。

#### 4) 血液性状変化

表4 主観的強度を基準にしたトレニングにおける血液成状項目の前後値

測定項目	軽強度群			普通強度群			きつめ強度群		
	前	平均	SD	前	平均	SD	前	平均	SD
白血球下数	5837.5	5387.5	1362.4	5185.7	5062.5	863.0	5528.6	5987.5	1391.4
赤血球数	485.7	504.6	31.8	493.3	501.3	20.5 *	498.9	504.4	28.1
ヘモグロビン	15.0	15.4	1.1	15.0	15.3	0.6 **	15.5	15.2	0.7
血小板	45.8	46.9	2.4	46.1	47.1	1.7 **	45.7	46.8	2.1 *
血小小板数	22.8	23.5	2.6	22.3	23.3	3.3	25.0	24.6	3.3
MCV	92.6	93.0	2.6	93.5	94.1	3.6	91.5	93.0	2.2 *
MCH	30.3	30.4	1.0	30.8	30.6	1.4	30.4	30.2	0.9
MCHC	32.8	32.7	0.9	32.5	32.5	0.5	33.2	32.5	0.4 **
NEUT	58.0	53.7	11.1	52.6	51.8	11.3	54.3	51.9	7.9
LYMPH	34.3	37.5	9.5	37.1	37.5	11.2	33.4	28.6	7.0
MONO	5.2	5.7	1.5	6.2	6.0	1.0	5.7	5.5	1.1
EOSINO	2.1	2.5	1.3	3.6	4.2	3.1	5.4	5.5	2.1
BASO	0.5	0.5	0.3	0.6	0.6	0.2	1.3	1.0	0.4
総蛋白	7.3	7.4	0.4	7.4	7.5	0.6	7.4	7.5	0.3
AST(GOT)	22.0	29.4	19.7	21.5	21.1	4.8	22.3	24.0	6.7
ALT(GPT)	22.8	37.6	45.0	23.9	20.4	4.9	21.3	24.6	11.6 **
LD(LDH)	206.1	203.6	29.6	180.4	186.0	11.5	190.4	189.8	26.2
ALP	195.4	229.8	96.5	188.5	182.9	23.1	234.1	258.1	65.5 *
γ-GT(γ-GTP)	32.6	56.8	74.9	30.1	28.4	10.7	24.3	21.9	6.7
CK(CPK)	162.3	141.5	43.4	132.1	165.3	77.0	126.4	132.9	43.5
尿酸窒素(UN)	13.9	14.5	3.2	13.4	14.9	3.0 *	14.1	15.4	4.1
クレアチニン	0.85	0.09	0.10	0.79	0.83	0.08 *	0.83	0.78	0.04 ***
血清鉄	116.4	114.6	30.6	144.4	102.8	26.6 *	98.6	95.4	28.4
総コレステロール	195.4	201.9	28.5	212.4	221.0	34.8	189.8	201.3	30.0 ***
LDL-コレステロール	113.5	115.1	19.9	125.4	125.8	30.6	111.9	119.1	21.4 **
HDL-コレステロール	61.0	64.1	23.2 *	68.4	70.1	14.2	58.4	61.1	9.3
TG(中性脂肪)	106.3	114.3	61.3	81.6	121.9	67.4	110.6	111.0	69.9
遊離脂肪酸	0.5	0.4	0.1 *	0.5	0.4	0.2	0.4	0.5	0.2
グルコース	91.3	92.6	10.3	85.3	86.5	5.9	88.5	91.9	9.6
HbA1c	4.9	4.9	0.2	5.0	4.9	0.2	5.0	5.0	0.2
CK-MB定量	3.6	3.6	2.5	2.5	4.6	1.9 *	2.7	3.2	1.2 ***
インスリン	5.9	5.4	1.3	2.2	0.9	6.2 *	4.1	7.3	3.8 *
ミオグロビン	43.4	38.8	13.9	39.1	42.7	10.7	34.4	33.0	8.6
H-FABP	2.5	2.6	1.0	2.5	2.6	0.8	1.9	2.0	0.7
心筋トロポニンT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



軽強度群において有意差が認められたのはHDL コレステロール増加および遊離脂肪酸減少（いずれも（P<0.05）であった。また、普通強度群においては血液一般検査項目の赤血球、ヘモグロビンおよびヘマトクリット値（P<0.05/P<0.01）、ならびに血液生化学項目の尿素、クレアチニン、血清鉄、CK-MB 定量およびインスリン（P<0.05）であった。きつめ強度群についてみると、ヘマトクリット値、MCV、MCHC に有意差（P<0.05/P<0.01）があったほか、ALT(GPT)、ALP、総コレステロール、LDL コレステロールに有意な増加（P<0.05～P<0.001）がみられた。

## 2. トレーニング中の%VO<sub>2</sub>max を基に再編成した各群のトレーニング効果

### 1) トレーニング強度

トレーニング中の%VO<sub>2</sub>max が 50%未満の被験者をロー・インテンシティ・トレーニング群（LT 群）、50%以上 60%未満の被験者をミドル・インテンシティ・トレーニング群（MT 群）、60%以上の被験者をハイ・インテンシティ・トレーニング群（HT 群）として被験者を 3 つのグループに再編成した。各群の人数は LT 群が 6 人、MT 群が 8 人、HT 群が 6 人であった。各グループの平均年齢は、LT 群が 40.7±8.8 歳、MT 群が 38.8±8.2 歳、HT 群が 43.4±11.3 歳であった。週当たりの平均トレーニング日数は LT 群が 2 日/週、MT 群が 2.6 日/週、HT 群が 1.9 日/週であった。平均の 1 日のトレーニング時間は LT 群が 63.6±14.7 分/日、MT 群が 58.7±10.6 分、HT 群が 60.7±8.9 分/日であった。平均の 1 日あたりの走行距離は、LT 群が 16.4±3.3km/日、MT 群が 18.5 ± 2.7km/日および HT 群が 18.8 ± 2.4km/日であった。トレーニング中の平均心拍数は LT 群が 115.4±11.0 拍/分、MT 群が 124.1±4.7 拍/分および HT 群が 129.7±7.1 拍/分であった。また、トレーニング中の平均速度は LT 群が 17.0 ±

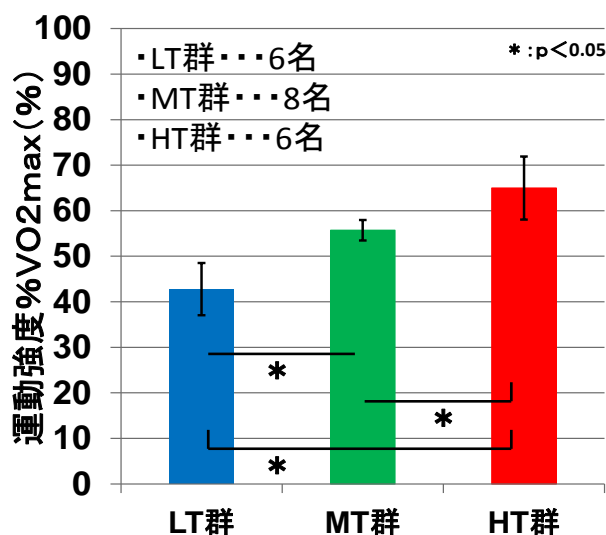


図 2

再編成した 3 群のトレーニング強度比較

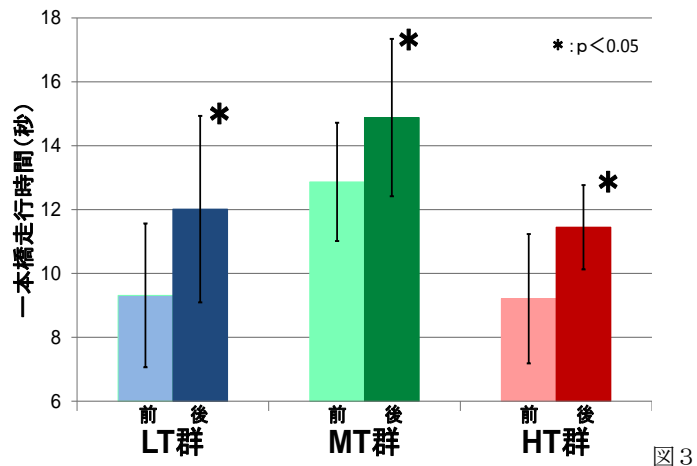
2.6km/h、MT 群が 18.0±2.7km/h、HT 群が 18.6±1.6km/h で、いずれの項目にも群間に有意差は認められなかった。

トレーニングの強度によって再編成した 20 名について群別の運動強度 (% VO<sub>2</sub>max)を比較すると、図 2 に示す通り LT 群が 42.8±5.7%、MT 群が 55.7±2.3%、HT 群が 65.0±6.9%であった。LT 群、MT 群および HT 群の各群間で有意差がみられた (p<0.05)。

## 2) 一本橋バランステスト (図 3)

一本橋テストは 10m

完走した時の走行時間を結果としたため、前値後値のどちらか一方でも 10m 完走してない被験者は結果から除外した。結果、除外対象被験者は LT 群で 1 名、MT 群で 1 名であった。LT 群の平均走行時間は、トレーニング



再編成後の一本橋バランステストのトレーニング効果

前では 9.3±2.3 秒、トレーニング後では 12.0±2.8 秒であった。MT 群は、トレーニング前で 12.9±1.9 秒、トレーニング後では 14.9±2.5 秒であった。HT 群ではトレーニング前で 9.2±2.0 秒、トレーニング後では 11.4±1.3 秒で、全ての群において前値よりも後値の走行時間が有意 (P<0.05) に増加した。

## 3) オールアウトテストデータ

### (1) 最大下運動時の効果 (図 4)

3 群の 60、90 および 120W の比較的軽負荷における平均酸素摂取量は各群の前後値に大きな変化はなく、有意な差は見られなかった。しかし、LT 群の 60、90 および 120W における平均心拍数は、トレーニング前後の値に有意な差 (P<0.05) がみられた。これに

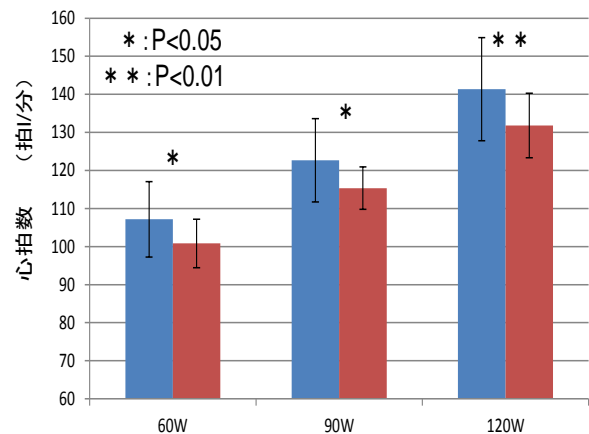


図 4 最大下負荷時における心拍数の前後比較

対し、MT および HT 群では両群とも前後の値に有意な差はみられなかった。

## (2) 最大運動時の効果

オールアウトテストで得られた最大値についてみると、最大心拍数 (HRmax) は各群の前後の値に大きな変化はなく、有意な差はみられなかった。HRmax には差がみられなかったが、パフォーマンスタイムとしてオールアウトタイムを比較してみると、LT 群の運動時間は、トレーニング前で  $899.2 \pm 202.6$  秒、トレーニング後では  $961.8 \pm 177.9$  秒であった。MT 群はトレーニング前で  $861 \pm 86.2$  秒、トレーニング後で  $966.3 \pm 166.8$  秒であった (図5)。また、HT 群ではトレーニング前が  $800.5 \pm 61.2$  秒、トレーニング後が  $847.7 \pm 37.6$  秒と、すべての群においてははっきりと有意 ( $P < 0.05$ ) 差が

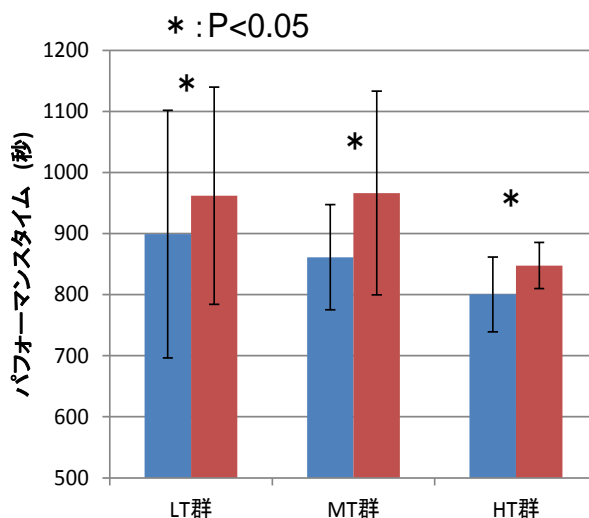


図5 オールアウトテスト時のパフォーマンスタイム

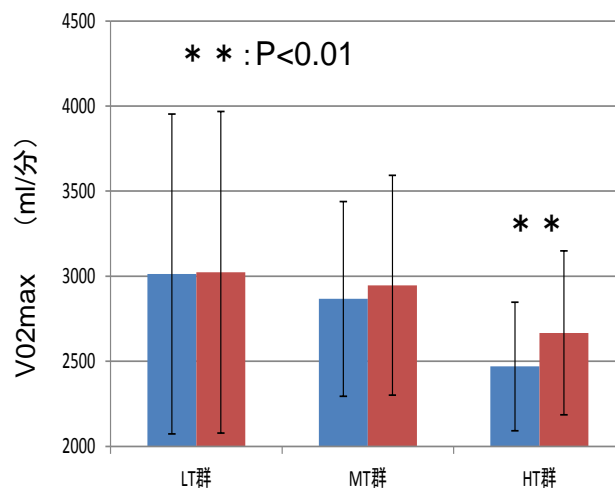


図6 トレーニングによるV02maxの変化

認められた。一方、V02max (図6) はLT 群およびMT 群のトレーニング前後にほとんど変化がなかったにもかかわらず、HT 群において  $2469.5 \pm 377.9$  (前値) から  $2667.0 \pm 482.0$  ml/min (後値) まで有意な増加 ( $P < 0.05$ ) が認められた。

#### 4) 血液性状変化

##### (1) 血液一般検査 (図7)

血液一般検査において 13 項目のうちトレーニング前後で有意差もしくは変化の傾向がみられたパラメータはヘマトクリット値および EOSINO の 2 項目であった。

LT 群のヘマトクリット値は、トレーニング前で  $45.3 \pm 1.7\%$ 、トレーニング後では  $46.6 \pm 1.3\%$  で後値に増加傾向がみられた。MT 群では、トレーニング前で  $45.9 \pm 3.0\%$ 、トレーニング後では  $47.2 \pm 2.3\%$  と前後の値に有意差 ( $P < 0.05$ ) がみられた。一方、LT 群の EOSINO はトレーニング前で  $2.5 \pm 1.3\%$ 、トレーニング後で  $3.5 \pm 1.2\%$  の増加傾向を示し、HT 群においてもトレーニング前  $3.1 \pm 3.1\%$ 、トレーニング後  $4.1 \pm 4.2\%$  の増加傾向があった。

##### (2) 血液生化学 (図8)

血液生化学 18 項目のうちトレーニングの前後で有意差もしくは変化の傾向がみられたものはクレアチニン、総コレステロール、LDL-コレステロール、HDL-コレステロール、グルコース、CK-MB 定量および H-FABP の 7 項目であった。ここでは有意差の認められた結果のみ示し、総コレステロール、

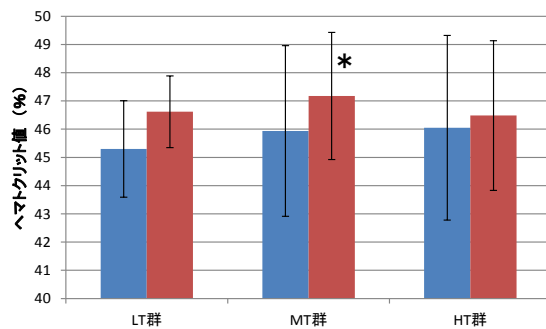


図7 ヘマトクリット値の変化

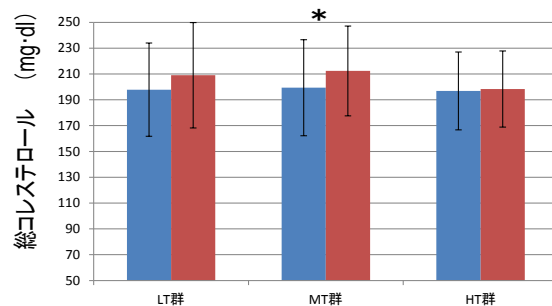


図8-1 総コレステロールの変化

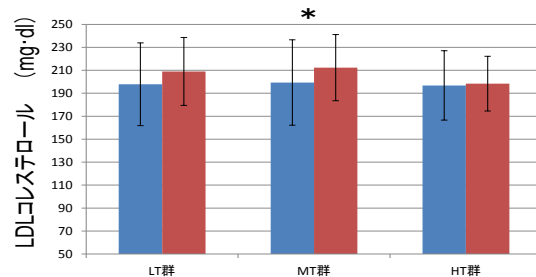


図8-2 LDL コレステロールの変化

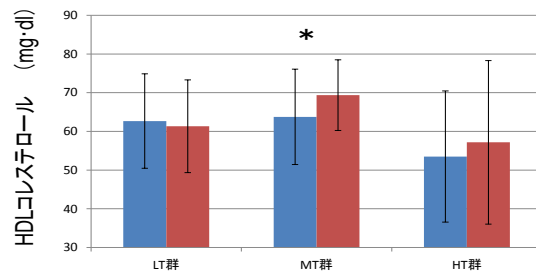


図8-3 HDL コレステロールの変化

LDL コレステロールおよび HDL コレステロールの変化については図 8 に示した。

クレアチニン<sub>2</sub>は HT 群においてトレーニング前の  $0.8 \pm 0.1 \text{mg/dl}$  からトレーニング後の  $0.9 \pm 0.1 \text{mg/dl}$  へと有意な増加 ( $P < 0.05$ ) を示した。LT 群と MT 群の両群とも前後の値に有意な差はみられなかった。

総コレステロールは MT 群において有意な増加があった (トレーニング前  $199.4 \pm 37.2 \text{mg/dl}$  およびトレーニング後  $212.4 \pm 34.8 \text{mg/dl}$ ,  $P < 0.001$ )。LT 群および HT 群には前後に有意差はみられなかった (図 8-1)。総コレステロールの結果に同調し、MT 群は LDL および HDL コレステロールもまた、トレーニング前で  $117.9 \pm 30.8$  (LDL) および  $63.8 \pm 12.3 \text{mg/dl}$  (HDL)、トレーニング後で  $126.5 \pm 28.8$  および  $69.4 \pm 9.1 \text{mg/dl}$  の有意な変化 ( $P < 0.05$ ) がそれぞれあった。LT 群と HT 群の両群とも前後値に有意差は認められなかった (図 8-2)。HDL コレステロールもまた MT 群にトレーニング前後で  $63.8 \pm 12.3 \text{mg/dl}$  から  $69.4 \pm 9.1 \text{mg/dl}$  の有意な増加 ( $P < 0.05$ ) が認められた。LT 群および HT 群とも前後値に有意な差はなかった (図 8-3)。

グルコースは MT 群にトレーニング前で  $84.9 \pm 6.8 \text{mg/dl}$ 、トレーニング後で  $90.9 \pm 7.1 \text{mg/dl}$  の有意差 ( $P < 0.05$ ) がみられ、LT 群および HT 群の前後値に有意差はみられなかった。また、CK-MB 定量もまた MT 群に有意差が認められ (トレーニング前  $2.4 \pm 1.7 \text{ng/ml}$ 、トレーニング後  $3.6 \pm 2.4 \text{ng/ml}$ 、 $P < 0.05$ )、LT および HT 群に有意な変化は得られなかった。H-FABP は、LT 群にのみ有意な変化がトレーニング前後でみられた (トレーニング前  $1.8 \pm 0.5 \text{ng/ml}$ 、トレーニング後  $2.1 \pm 0.6 \text{ng/ml}$ 、 $P < 0.05$ )。MT および HT 群には前後の差はなかった。

#### IV 考察

##### 1. 主観的強度による群分けの結果からみたトレーニング効果

被験者に「軽強度群」、「普通強度群」および「きつめ強度群」と、主観的な運動強度によって 3 つのグループに分け、自転車トレーニングを行うよう指示した。この指示内容で実際に行われたトレーニング時の運動強度を測定した心拍数から %VO<sub>2</sub>max で表すと、軽強度群が  $56.5 \pm 13.8\%$ 、普通強度群で  $54.4 \pm 11.1\%$ 、きつめ強度群で  $53.6 \pm 7.6\%$  となった。本来ならば各グループの運動強度の間に差が生じるはずのところ、有意差は認められなかった。本研究では一般に自転車を健康づくりに役立てるための効果をみることであったが、トレーニング強度を主観的運動強度基準に実施させることは、難しいのではないか

と考えられた。例えば、平地走行で主観的強度に差を見出すためにはギヤ比を低くし高速で走る必要がある。また、高速走行のできる見通しの良い場所が必要となる。自転車エルゴメータはギヤ比を変える代わりに負荷抵抗を増加させて強度をコントロールできるようになっているが、この状況をロードバイクにあてはめると起伏のある地形で上りを主に行うトレーニングを行う必要性がある。しかし、このような地形で意図的に日常のトレーニングを行うことは健康づくりのための自転車運動とは大きくかけ離れるトレーニングと思われる。つまり、自転車トレーニングを行う際の運動強度を設定する際、速度や心拍数など客観的な指標を運動強度に設定した方がその効果を評価するには信憑性が高いと思われる。本研究の被験者の居住地域をみると、比較的平坦な海沿いの地域に住んでいる者と、山間部の丘陵地に住んでいる者とがおり、トレーニングのコース選択から勘案しても、主観的強度でトレーニング強度を意識していてもそれに見合わないか、それ以上の強度で行っている者が各群に含まれている可能性がみられた。本研究ではこれらのグループごとにトレーニング前後の変化をからロードバイクトレーニングの効果をみることを当初の目的としたが、主観的強度で分けた群ではトレーニングの実際の強度、走行場所などにより生理学的な強度に群間に差がみられないため、得られた結果の有意性についてはロードバイクトレーニングによるものなのかどうかははっきりしなかったと考察するのが妥当である。このことから、本研究の表1および2に示した結果における有意差については言及を避けるべきであると思われる。

しかしながら、健康づくりに自転車トレーニングを行う場合にはほとんどの場合、主観的強度で行うか、“楽”に移動する手段として用いながら安全に身体を動かすということが一般的であるため、得られた結果の軽強度群の変化についてはトレーニング効果として傾向を評価すべきであるし、有意な変化が3群に共通して得られた項目についても注視すべきであろう。すなわち、本研究で得られたトレーニングの結果において軽強度群のHDL コレステロール値の有意な増加と遊離脂肪酸の有意な減少についてはサイクリングの習慣化が及ぼす効果として考えられるのではないだろうか。このことは、屋外でのサイクリング運動は思い通りに強度を高めることができず、自転車エルゴメータで得られるようなトレーニングの効果を短期間で示すことは容易ではないかもしれないが、習慣的に継続することで動脈硬化などを予防する効果があることが示唆される。また、被験者全員が一本橋バランステストにおいて向上していたことは、のんびりと楽しむ意識でサイクリン

グしても、少し元気よく強めに行う意識（強め強度群）でサイクリングしても6週間、週2日60分というロードバイクトレーニングにおいてロードバイクの操作能力と平衡機能を向上させる効果が得られることが示されたといえよう。

## 2. 生理学的強度でトレーニング群を再編成した結果からみたトレーニング効果

本研究では被験者のトレーニング日誌およびトレーニング中の心拍数から推定した運動強度を見直し、可能な限り運動強度による再編成を試みることにした。方法で紹介した通り、トレーニング中の%VO<sub>2</sub>maxを基に50%未満のLT群、50%以上60%未満のMT群、60%以上のHT群の3群に再編成することを試みた。その結果、4名の被験者はトレーニング中の心拍情報が不十分であったために除外することになったが、各群の運動強度(%VO<sub>2</sub>max)の平均値の差は、LT群とMT群の間で $P < 0.005$ 、LT群とMT群間で $P < 0.001$ 、MT群とHT群で $P < 0.05$ と、いずれの群間にも有意な差がみられるようにLT群6名、MT群8名、HT群6名というグループ編成が可能であることがわかった。幸いこれらの群間において、年齢、身長、体脂肪率、トレーニング日数および1日あたりのトレーニング時間には各群間に有意差は認められなかったため、各群の編成にはトレーニング当初でトレーニング効果に及ぼす要因にほとんど偏りがなかったと思われた。また、トレーニング強度に関連すると思われる1日あたりの走行距離、トレーニング中の平均速度にも各群間に有意差はなかったことから、本研究で再編成した群のトレーニング前後比較はトレーニング中の強度の違いによって生じた結果であることを示していると考えられた。

玉川ら<sup>4)</sup>の研究は、6~8週間にわたり、週3日の頻度で1回30分、走行スピードは男子21km/時、女子18km/時を目標とし、55%VO<sub>2</sub>maxに相当する運動強度で、サイクリングを行わせている。その結果、サイクリングによるトレーニングはVO<sub>2</sub>maxおよびパフォーマンスタイム（疲労困憊に達するまでの時間）に有意な増加を与えることを示した。加えて、最大下運動時における心拍数の有意な低下もまた認めている。

本研究のトレーニングの頻度と時間は、6週間、週2日の頻度で群間には差がなかった。このトレーニングによって先ず挙げられる興味深い結果はLT群においてのみ最大下運動時の60、90、および120W負荷における心拍数の有意な低下( $P < 0.05$ )を示していることである。この結果とよく似ている結果を示した玉川ら<sup>4)</sup>は、動静脈酸素較差の変化がトレーニングによって小さいことから、一回拍出量の増加によって心拍数が低下したものと考察した。一回拍出量は50~60%の運動強度までは増加すると考えられていることから推察

すると、本研究における LT 群に効果が現れたのもおそらく、ロードバイクによる LT 強度トレーニングは一回心拍出量の増加を促したと考えてよいと思われる。

一方、HT 群では  $VO_2\max$  およびパフォーマンスタイムが有意 ( $P<0.05$ ) に増加しており、玉川らの研究結果と一致した結果を示した。LT 群と ML 群では、有意差こそ見出せなかったが、両群とも前値よりも後値の値が増加する傾向を示し、運動時間は HT 群同様、有意な差 ( $P<0.05$ ) であった。パフォーマンスタイムにおいては全群が有意な増加を示し、HT 群の有意な増加の発現は 6 週間を超えるトレーニング習慣を研究すれば生理学的効果がさらにはっきり見ることができたのかもしれない。

以上の結果は、6 週間で呼吸循環系に効果を与えるためには、 $60\%VO_2\max$  以上のトレーニング強度が必要であることが示唆している。しかし、LT 群や MT 群でも、 $VO_2\max$  に改善傾向、疲労困憊による到達するまでの時間に有意な改善が示されているため、長期にわたるトレーニングにより、明らかな効果が期待できるものと示唆された。

ところで、一般的に、自転車トレーニングのような有酸素運動を行うことで血液中の脂肪が消費され、悪玉である LDL-コレステロールの値は減少し、その一方、善玉である HDL-コレステロールの値は増加すると考えられている。しかし、MT 群では HDL-コレステロールだけではなく、総コレステロールおよび LDL-コレステロールの値をも有意に増加させていた。阿部ら<sup>3)</sup>の研究では 3 ヶ月間、週に 3 日以上、トレーニングの運動強度は  $50\sim 60\%HRR$  とし、1 日合計で 30 分以上のサイクリングを行わせた結果、中性脂肪の数値は減少傾向にあったが、LDL-コレステロールは増加する傾向が見られたことを報告している。また、中性脂肪および LDL-コレステロールが基準値を超えていた被験者にとっては運動強度と運動時間の不足が、脂質代謝が改善されなかった大きな原因であるとしている。MT 群を  $\%HR\max$  でトレーニング強度を算出すると、 $53.4\pm 5.0\%$  となり、阿部ら<sup>3)</sup>の運動強度とほぼ一致している。LT 群と MT 群のコレステロールに有意な改善がみられなかったのは、阿倍らが考察したように運動強度が低かったこと、トレーニング期間が 6 週間と短かったことが考えられる。一方で、MT 群の LDL-コレステロールが増加してしまった原因としては、本実験では被験者に食事制限を付けていなかったために食事を取りすぎてしまったということが一要因として考えられる。実際に、被験者からもトレーニングをはじめて食事がおいしくなったとの声が聞かれた。また、LT 群では H-FABP、MT 群ではグルコース、ヘクトマリット、CK-MB 定量、HT 群ではクレアチニンの値にトレー



ニングの前後で有意な増加 ( $P < 0.05$ ) も見られた。通常、これらの値が高値の場合、H-FABP および CK-MB 定量では急性心筋梗塞、グルコースでは糖尿病、ヘクトマリットでは多血症、クレアチニンでは腎機能の障害の可能性があると考えられるが、これらの結果とコレステロール値の増加結果とは同様の要因が影響している可能性が指摘される。つまり、先に述べたように MT 群においてすべての血清生化学的データは正常範囲にあったが、食生活などの影響で MT 群のトレーニング強度ではこれらのパラメータに顕著な影響を及ぼすことは難しかったのではないかと結論される。

サイクリングは体の健康のみならず、心地よい風を受けながら走るという爽快感により、ストレス解消にも適している<sup>2)</sup>。サイクリングはほぼすべての人が体験したことがあり、自転車さえあれば誰でも簡単に始めることができ、心身ともに健康になるサイクリングは肥満やストレスに悩む現代人に適した健康づくりだと考えられる。サイクリングの持つ楽しさや楽しむための舗装道路が十分整っているわが国において、主観的強度を頼りに低強度でロードバイクを始めても、6 週間ほどトレーニングを行えば、血中の HDL コレステロールを増加させることができるとともに平衡機能の改善にも有効な健康づくり運動であることが示唆された。また、生理学的強度で 60% 以上の強度でロードバイクトレーニングを実施することができるならば、確実に持久性能力の最大値を改善する効果が示された。

## 結論

主観的強度を頼りに低強度でロードバイクトレーニングを始めても、6 週間ほどトレーニングを行えば、血中の HDL コレステロールおよび遊離脂肪酸を増加させることができるとともに平衡機能の改善にも有効であることが示唆された。また、生理学的強度で 60% 以上の強度でロードバイクトレーニングを実施することができるならば、確実に持久性能力の最大値を改善する効果が示された。

## 要約

本研究の目的は「軽め」、「普通」および「ややきつめ」の三段階にトレーニング強度を分けて週 2 回以上 6 週間のロードバイクトレーニングを行わせた場合の呼吸循環機能および生化学的血液性状の変化について検討することとした。また、トレーニング中の強度を心拍数で分類することから生理学的強度の分類による効果についても検討を試みた。

被験者は静岡県内に在住の 30 歳以上の健康的な成人男性 24 名であった。被験者の平均年齢、身長、および体重はそれぞれ、 $40.9 \pm 8.5$  歳、 $172.8 \pm 6.2$ cm および  $70.5 \pm 9.9$ kg であった。彼らを「軽強度群」(ボルグスケール 8~10 程度)、「普通強度群」(ボルグスケール 10~12 程度) および「きつめ強度群」(ボルグスケール 12~15 程度) の三群 (各 8 名) に分け、各測定項目においてトレーニング前後に差が得られるかどうか分析し、その後、全被験者のトレーニング中の平均運動強度を基にグループを再編成し、実トレーニング強度ごとのトレーニング効果について検討を行った。効果の判定パラメータは自転車エルゴメータを用いたオールアウトテストによる呼吸循環パラメータ、一本橋バランステストおよび血液性状 35 項目 (一般血液検査 13 項目および生化学検査 22 項目) とした。

この結果、主観的強度で 3 分したトレーニング群のうち軽強度群において HDL コレステロールおよび遊離脂肪酸の有意な増加が認められた。また、一本橋テストおよびオールアウトパフォーマンスタイムにおいてはすべての群において有意な延長があった。一方、トレーニング中の心拍数から群分けした結果、HT 群の  $V_{O_2max}$  およびパフォーマンスタイムに有意な改善がみられた。また、LT 群には最大下強度 (60、90 および 120W) においてトレーニング前よりも有意に低い心拍数を示した。

以上の結果から、主観的強度を頼りに低強度でロードバイクトレーニングを始めても、6 週間ほどトレーニングを行えば、血中の HDL コレステロールおよび遊離脂肪酸を増加させることができるとともに平衡機能の改善にも有効であることが示唆された。また、生理学的強度で 60%以上の強度でロードバイクトレーニングを実施することができるならば、確実に持久性能力の最大値を改善する効果が示された。

## 参考文献

- 1) 日共ビジネスオンライン、「何と 47%がランニングに挑戦中！【17】これから始めてみたいスポーツでは「自転車」がトップ」<http://business.nikkeibp.co.jp/article/manage/20111011/223132/>
- 2) サイクリングと精神的健康の関係について。沖和砂，上野朋子，川田裕次郎，山田泰行，形本静夫。(日本体育学会大会予稿集 第 6 1 回 p308 (2010))
- 3) 笹川スポーツ財団 (瀬戸内サイクリングロード)  
<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/10426.pdf>

- 4) 自転車運動による筋力づくりの可能性. 高石鉄雄, 金若美幸, 小原史朗, 斉藤満.  
(体力科学 55 : p805 (2006))
- 5) 自転車エルゴメータによる高負荷短時間のペダリングトレーニングが下肢および  
体幹筋に与える影響. 朴文華, 市橋則明. (理学療法学 第三十四卷 第二号 p128 (2007))
- 6) 自転車運動が糖代謝および脂質代謝の改善におよぼす効果. 阿部竜士, 高石鉄雄.  
(体力科学 第五十七卷 第六号 p887 (2008))
- 7) 自転車走行トレーニングが呼吸循環機能に及ぼす影響について. 玉川明朗, 永富  
良一, 馬島敏郎, 内山祐一, 佐藤佑. (自転車による健康づくりⅢ p6-17 (1990))

# やや強くの主観的強度による 30 分間×週 2 回のサイクリングが一般成人男性の有酸素能力および血液生化学的変量に及ぼす影響

形本静夫、大場美那貴、鈴木大地

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

## 【要約】

「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 分、週 2 回、6 週間のサイクリングが一般成人男子の有酸素能力および血液学的・生化学的変量に及ぼす影響を調査・研究した。被験者は日頃特に規則的な身体活動を行っていない一般成人男子 14 名とし、彼らを 6 週間にわたってサイクリングを行うトレーニング群(n=7、39±10 歳)とトレーニングを行わないコントロール群とに分けた。両群とも 6 週間のトレーニング期間の前後に、有酸素能力評価のための最大運動負荷テストと血液学的・生化学的評価のための採血を受けた。サイクリングは、クロスバイクあるいはロード用バイクを用いて、平坦路を基調とした公道を走行することによって行った。その結果、トレーニング群ではサイクリングによって運動時間、最大酸素摂取量および最大換気量が有意に増加し、最大下負荷に対する血中乳酸濃度が有意に低下した。また、血中総コレステロールおよび LDL-コレステロールが有意に低下した。これらの事実から、「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 分、週 2 日、6 週間にわたるサイクリングは、一般成人男子の中枢循環能力および筋の酸化能力を改善させて彼らの有酸素的作業能力を向上させるとともに、一部生活習慣病に関わる血液生化学的変量の改善を導くことが示された。

## 1 はじめに

本年度の調査研究においては、一般成人男子を対象として、「軽く」、「普通に」および「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 および 60 分間のサイクリングを、週 2 日、6 週間にわたって実施し、自転車による健康づくりのための運動強度と運動時間の組み合わせについて、エビデンスを得ること目的とされた。

その中で、我々の研究班においては、日頃運動経験のない一般成人男子を対象として、「やや強く」の主観的強度による 30 分間のサイクリングを、公道を利用して実施し、一般人男性の有酸素作業能ならびに血液学的・生化学的変量に改善をもたらすことができるかどうかを検討した。

## 2. 研究方法

### 1) 被験者およびトレーニング

本研究における被験者は、年齢 26～57 歳の運動習慣のない一般の成人男性 14 名であった。これらの者を、「やや強く」の主観的な運動強度で、1 日 30 分、週 2 日、6 週間にわたり、公道においてサイクリングを行う群（トレーニング群；n=7）と、トレーニングを行わない群（コントロール群；n=7）の 2 群に分けた。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、トレーニングにはロード用自転車(2 名)とクロスバイク(5 名)を用いた。トレーニング群は、勤務地周辺の起伏の少ない農道を中心に、サイクリングコンピュータに表示される時刻を監視しながら、30 分間のサイクリングを行った。

各被験者に対しては、研究参加に先立ち、測定およびトレーニングに伴う精神的および精神的負担、考えられうる危険性とそれを回避するための方法等について、文書および口頭により十分に説明した。被験者は全員が研究に被験者として参加することを承諾する同意書を提出した。なお、本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部の倫理審査委員会の承認を得て実施された。

なお、トレーニング群のうち、1 名の被験者はすべてのトレーニングを完了したが、体調不良のためトレーニング後の測定を行うことができなかった。したがって、トレーニング群のデータは 6 名の被験者の平均値±標準偏差として示した。

### 2) 測定項目および方法

#### (1) 最大運動負荷テスト

トレーニングが呼吸循環機能に及ぼす影響を評価するために、トレーニング期間の前後に、自転車エルゴメータによる最大運動負荷テストを実施した。

各被験者は、身長、体重、腹囲、皮下脂肪厚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 (Powermax VII) 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気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、ペダリング頻度を維持できなくなるまで自転車エルゴメータをこぎ続けた。最初の 9 分間は 3 分間ごとに負荷があげられ (60W、90W、120W)、それ以降は 1 分ごとに 18W ずつ負荷があげられた。

運動中の酸素摂取量および換気量は、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<sup>3)</sup>、
- ② 呼吸交換比 1.0 以上に達する<sup>2)</sup>、
- ③ 心拍数が年齢相当の最高値-10 拍/分以上に達する<sup>1)</sup>、

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。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に市販の標準ガスを導いて校正した。

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 60 秒ごとに計測した。

なお、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湿内において行われた。

## (2) 血液学的・生化学的分析

トレーニング期間の前後に、被験者に対し、測定前日午後 9 時以降すべての飲食を控えるように指示して、翌朝 8 時 30 分に実験室に来室させ、正中静脈より経験豊かな医師または看護師により血液サンプルを採取して、以下の項目について測定を実施した。

すなわち、血液学的分析については、白血球数、赤血球数、血色素量、ヘマトクリット、平均赤血球容積、平均赤血球色素量、平均赤血球血色素濃度、血小板数、好中性桿状核球、好中性分節核球、好酸球、好塩基球、単球、リンパ球、SIZE、COLOR、SHAPE の 17 項目について、血液生化学的分析については、インスリン、総蛋白、HDL-コレステロール、LDL-コレステロール、総コレステロール、ヘモグロビン A1c、血糖、トリグリセライド、遊離脂肪酸、血清鉄、尿素窒素、クレアチニン、クレアチンキナーゼ、CPK-MB、ア

スパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、アラニンアミノトランスフェラーゼ、 $\gamma$ グルタミルトランスペプチターゼ、乳酸脱水素酵素、アルカリフォスファターゼ、の 19 項目について測定を行った。なお、すべての分析は、外部専門分析機関（(株) エス・アール・エル、東京）に依頼して行った。

### （3）トレーニング時の生理学的運動強度

トレーニング期間中、被験者は「やや強く」の主観的強度で 30 分間のサイクリングを行った。このときの物理的および生理学的強度を推定するために、各被験者ごとに用意した自転車に Polar の CS400 サイクリングコンピュータを取り付け、サイクリング中の速度、走行距離および心拍数を 15 秒ごとに測定した。トレーニングの生理学的強度は、後述の最大運動負荷テストに基づき作成した心拍数-酸素摂取量関係式に心拍数を代入することによって、各自の最大酸素摂取量に対する相対的割合（ $\% \dot{V}O_2\max$ ）として評価した。

### 3) 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。トレーニング前後における各測定変量の平均値の有意差は、対応のある Student の t-test を用いて検定した。有意水準は危険率 5%未満に設定した。

## 3 結果

### 1) 形態的变化

表 1 にトレーニング前後にトレーニング群およびコントロール群の形態変量について得られた値を示した。

トレーニング前後における両群の体重、腹囲、皮下脂肪厚には、有意な変化は認められなかった。

表1 トレーニング期間前後における形態的变化

項目	トレーニング群		コントロール群		
	前	後	前	後	
年齢	歳	39±10		32±7	
身長	cm	171.2±6.4		169.7±5.0	
体重	kg	80.7±14.8	81.8±15.7	62.1±5.1	62.2±4.9
腹囲	cm	91.0±9.9	92.1±10.3	75.8±6.7	77.1±5.5
皮下脂肪厚	mm				
	上腕背部	15.3±2.0	15.1±4.1	9.4±3.2	10.1±3.3
	肩甲骨下角	16.7±4.6	16.8±6.1	12.3±3.9	13.2±5.2
	腹部	26.6±10.5	21.0±6.8	17.0±6.6	16.4±7.2

## 2) 呼吸循環応答の変化

最大運動負荷テストにより測定したトレーニング前後における呼吸循環応答の結果を表2に示した。コントロール群においては、測定したいずれの項目においても、トレーニング前後で有意な変化は観察されなかった。

これに対し、トレーニング群においては、運動時間、最大酸素摂取量および換気量に有意な増加が観察された( $p<0.05\sim0.01$ )。さらに、6週間のトレーニング後、最大下負荷(60W、90W、120W)に対する心拍数および血中乳酸濃度は減少する傾向を示し、特に血中乳酸濃度における変化は統計的にも有意であった( $p<0.05\sim0.01$ )。



表2 トレーニング前後における最大運動負荷テスト時の呼吸循環応答の変化

項目	トレーニング群		コントロール群	
	前	後	前	後
運動時間	17'23"±2'38"	*19'23"±2'20"	17'26"±2'50"	18'01"±2.51"
最大酸素摂取量 ml・kg <sup>-1</sup> ・分 <sup>-1</sup>	36.8±4.7	*41.6±6.1	41.3±7.0	40.4±6.1
最大換気量 l・分 <sup>-1</sup>	114±29	**141±21	103±38	108±44
最高心拍数 拍/分	177±10	179±9	177±23	181±21
運動後血中乳酸濃度 mM	9.7±2.4	8.9±2.6	10.2±3.0	9.4±3.5
心拍数 拍/分				
60W	95±12	90±11	101±9	103±12
90W	105±13	102±9	115±13	117±14
120W	122±13	117±7	135±13	135±17
酸素摂取量 ml・kg <sup>-1</sup> ・分 <sup>-1</sup>				
60W	13.4±2.1	12.9±1.5	16.4±1.4	15.6±1.3
90W	16.8±1.4	16.8±1.0	20.0±1.1	19.7±1.7
120W	20.9±2.4	21.1±3.0	25.8±1.8	24.6±2.3
血中乳酸濃度 mM				
60W	1.6±0.4	*1.2±0.5	1.5±0.4	1.1±0.3
90W	1.7±0.5	**1.2±0.3	2.2±0.6	1.7±0.4
120W	2.2±0.8	*1.5±0.4	3.3±0.9	2.7±1.2

\*, \*\*: トレーニング前後の平均値の差が、それぞれ p<0.05 および p<0.01 で有意であることを示す。

### 3) 血液学的変量の変化

トレーニング前後における血液学的変量の変化を表3に示した。トレーニング後、トレーニング群のMCHCに有意な低下が認められた以外、有意な変化は認められなかった。

表3 サイクリングトレーニングが血液学的変量に及ぼす影響

測定項目	トレーニング群		コントロール群	
	前	後	前	後
白血球(/ $\mu$ L)	5050 $\pm$ 594	5200 $\pm$ 673	6871 $\pm$ 2643	6571 $\pm$ 1606
赤血球(万/ $\mu$ L)	507 $\pm$ 40	502 $\pm$ 33	525 $\pm$ 23	531 $\pm$ 20
ヘモグロビン(g/dL)	15.6 $\pm$ 0.7	15.3 $\pm$ 0.6	15.8 $\pm$ 0.9	15.9 $\pm$ 0.7
ヘマトクリット(%)	46.3 $\pm$ 2.7	46.2 $\pm$ 2.1	48.4 $\pm$ 2.4	48.8 $\pm$ 1.9
平均赤血球容積(fL)	91.4 $\pm$ 2.2	92.2 $\pm$ 2.0	92.1 $\pm$ 1.6	91.9 $\pm$ 1.8
平均赤血球色素量(pg)	30.8 $\pm$ 1.0	30.5 $\pm$ 1.0	30.1 $\pm$ 0.6	29.9 $\pm$ 0.4
平均赤血球色素濃度(%)	33.6 $\pm$ 0.4	*33.1 $\pm$ 0.8	32.7 $\pm$ 0.3	32.5 $\pm$ 0.5
血小板(万/ $\mu$ L)	19.3 $\pm$ 3.0	20.6 $\pm$ 3.2	24.8 $\pm$ 2.6	25.4 $\pm$ 2.5
好中性桿状核球(%)	3 $\pm$ 2	3 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
好中性分節核球(%)	44 $\pm$ 5	45 $\pm$ 5	49 $\pm$ 14	43 $\pm$ 11
好酸球(%)	3 $\pm$ 2	4 $\pm$ 3	5 $\pm$ 5	5 $\pm$ 2
好塩基球(%)	1 $\pm$ 0.8	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0.4	0 $\pm$ 0
単球(%)	8 $\pm$ 2	8 $\pm$ 2	8 $\pm$ 4	9 $\pm$ 2
リンパ球(%)	42 $\pm$ 6	41 $\pm$ 3	36 $\pm$ 8	41 $\pm$ 9
SIZE	(-)	(-)	(-)	(-)
COLOR	(-)	(-)	(-)	(-)
SHAPE	(-)	(-)	(-)	(-)

\*: トレーニング前後における平均値の差が、 $p<0.05$  で有意であることを示す。

#### 4) 血液生化学的変量の変化

トレーニング前後における血液生化学的変量の変化を表4に示した。コントロール群においては、すべての測定項目について、トレーニング期間前後で有意な変化は認められなかった。

これに対し、トレーニング群においては、トレーニング後、LDL-コレステロールおよび総コレステロールに有意( $p<0.05$ )な低下が認められた。しかし、遊離脂肪酸およびHDL-コレステロールには、逆に有意な増加が観察された( $p<0.05$ )。

表4 サイクリングトレーニングが血液生化学的変量に及ぼす影響

測定項目	トレーニング群		コントロール群	
	前	後	前	後
インスリン( $\mu$ IU/mL)	11.3 $\pm$ 5.3	11.8 $\pm$ 6.6	11.1 $\pm$ 9.9	7.2 $\pm$ 2.7
総タンパク(g/dL)	7.5 $\pm$ 0.3	7.2 $\pm$ 0.4	7.7 $\pm$ 0.3	7.7 $\pm$ 0.3
HDL-コレステロール(mg/dL)	51 $\pm$ 8	*46 $\pm$ 9	60 $\pm$ 10	60 $\pm$ 12
LDL-コレステロール(mg/dL)	120 $\pm$ 26	*108 $\pm$ 27	125 $\pm$ 38	124 $\pm$ 31
総コレステロール(mg/dL)	188 $\pm$ 33	*174 $\pm$ 36	209 $\pm$ 38	201 $\pm$ 28
ヘモグロビン A1c(%)	5.1 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 0.4	4.9 $\pm$ 0.3	4.9 $\pm$ 0.3
血糖(mg/dL)	107 $\pm$ 12	110 $\pm$ 11	104 $\pm$ 8	101 $\pm$ 11
トリグリセライド(mg/dL)	97 $\pm$ 45	126 $\pm$ 47	120 $\pm$ 97	108 $\pm$ 45
遊離脂肪酸( $\mu$ Eq/L)	242 $\pm$ 56	*318 $\pm$ 88	391 $\pm$ 158	363 $\pm$ 199
血清鉄( $\mu$ g/dL)	95 $\pm$ 28	95 $\pm$ 27	96 $\pm$ 43	123 $\pm$ 28
尿素窒素(mg/dL)	15.2 $\pm$ 1.6	15.2 $\pm$ 3.2	12.8 $\pm$ 3.0	12.8 $\pm$ 3.4
クレアチニン(mg/dL)	0.85 $\pm$ 0.10	0.90 $\pm$ 0.10	0.77 $\pm$ 0.05	0.82 $\pm$ 0.07
クレアチンキナーゼ(U/L)	201 $\pm$ 134	131 $\pm$ 50	131 $\pm$ 40	118 $\pm$ 29
CPK-MB(ng/mL)	4.5 $\pm$ 1.4	3.3 $\pm$ 1.0	2.7 $\pm$ 0.9	2.7 $\pm$ 0.8
アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(U/L)	25 $\pm$ 9	24 $\pm$ 13	19 $\pm$ 4	18 $\pm$ 3
アラニンアミノトランスフェラーゼ(U/L)	33 $\pm$ 20	35 $\pm$ 28	22 $\pm$ 11	22 $\pm$ 10
$\gamma$ -GTP(U/L)	39 $\pm$ 28	39 $\pm$ 25	28 $\pm$ 16	23 $\pm$ 7
乳酸脱水素酵素(U/L)	191 $\pm$ 24	186 $\pm$ 32	163 $\pm$ 19	150 $\pm$ 13
アルカリフォスファターゼ(U/L)	207 $\pm$ 27	205 $\pm$ 29	214 $\pm$ 41	225 $\pm$ 46

\*: トレーニング前後における平均値の差が、 $p<0.05$  で有意であることを示す。

#### 4 考察

本研究の主たる知見は、1回30分、週2日、6週間の公道を利用したサイクリング・トレーニングによって、一般成人男性の有酸素能が改善するとともに、一部の生活習慣病の危険因子に係る血液生化学的変量に改善がみられたことであった。すなわち、トレーニ

ング群は、6週間のサイクリング・トレーニングによって、運動時間、最大換気量および最大酸素摂取量を有意に増加させるとともに、最大下負荷に対する血中乳酸濃度を有意に低下させ、さらには、生活習慣病の危険因子である血中コレステロールやLDL-コレステロール値を有意に改善させた。

本研究で用いた「やや強く」の主観的運動強度は、トレーニング中の心拍数応答から推定すると、およそ  $62 \pm 11 \dot{V}O_{2\max}$  ( $48 \sim 79 \dot{V}O_{2\max}$ ) の生理学的強度に相当していた。この運動強度は、形本と青木が、ミニサイクルを利用して健康づくりを意識して20分間のサイクリング・トレーニングを行ったときの運動強度 ( $65 \pm 12\% \dot{V}O_{2\max}$ ) とほぼ同水準にあり、30分間のトレーニングについて、最大酸素摂取量の増加が期待される運動強度 ( $48\% \dot{V}O_{2\max}$ ) よりも高く、有酸素能力の改善を引き起こすに十分なトレーニング刺激を有していたものと思われる。形本と青木<sup>4)</sup>は、ミニ・サイクルを用いたトレーニング研究の結果から、20分間のサイクリング・トレーニングによって有酸素能力の改善を引き出すためには、 $57\% \dot{V}O_{2\max}$  以上の強度が必要であると推定している。本研究において、30分間のトレーニング時の心拍数から求めた平均運動強度 ( $62 \pm 11 \dot{V}O_{2\max}$ ) は、この水準を上回るものであった。また、各被験者が「やや強く」の感覚で30分間走行したときの平均運動強度には、 $48 \sim 79 \dot{V}O_{2\max}$  までの比較的大きな個人差が見られた。しかし、有酸素能力に改善に求められる運動強度と時間の組み合わせに従えば、もっとも低い強度でトレーニングした者であっても、30分間の運動に求められる最低限の運動強度 ( $48 \dot{V}O_{2\max}$ )<sup>5)</sup> を満足していた。

さらに、1日30分、週2回の6週間にわたるサイクリング・トレーニングによって、被験者の最大下負荷(60, 90, 120W)に対する心拍数と血中乳酸濃度は低下する傾向を示し、特に血中乳酸濃度に統計的にも有意な変化をもたらした ( $p < 0.05 \sim 0.01$ )。最大運動時における酸素摂取量の有意な増加および最大下負荷に対する心拍数の低下傾向や血中乳酸濃度の有意な低下は、「やや強く」の主観的強度による1日30分間のサイクリングが、中枢循環能力のみならず筋の酸化能力を増大させて、トレーニング群の有酸素的作業能力の改善に寄与したことを示唆している。

ところで、これまでの研究によれば、有酸素トレーニングは生活習慣病に関係するいくつかの危険因子に改善をもたらすことが報告されている。例えば、Hollozyら<sup>4)</sup>は6ヶ月間の有酸素的トレーニングによって、トリグリセライド値に有意な改善が見られたことを報告している。また、Woodら<sup>6)</sup>は中年のランナーでは、一般人に比較して、いずれの年

年齢層においても HDL-コレステロールの値が高い水準にあることを示している。しかしながら、本研究のトレーニング群においては、トレーニングによって総コレステロールおよび LDL-コレステロール値には有意な低下が観察されたものの、HDL-コレステロールは有意に低下し、トリグリセライド値にはトレーニングによる変化は認められなかった。このような HDL-コレステロールとおよびトリグリセライド値に観察された変化は、先行研究の結果と一致しなかったが、その理由について本研究の結果だけから言及することはできなかった。

サイクリングは環境に優しい乗り物と注目され、手軽な健康づくりの手段として多くの人々に活用されるようになってきている。本研究で得られた知見は、サイクリングが一般人の健康・体力づくりのための運動指針を作成するうえでの重要なエビデンスになると思われる。

## 5 結論

「やや強く」の主観的強度による 1 回 30 分、週 2 回、6 週間の公道を利用したサイクリング・トレーニングは、一般成人男子の有酸素能力を改善するとともに、一部生活習慣病に係る血液生化学的変量の改善をもたらす可能性のあることが示唆された。

## 6 文献

- 1) Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand Suppl* 169, 1960.
- 2) Binkhijorst 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) Holloszy JO, Skinner JS, Toro G, Cureon TK. Effects of a six month program of endurance exercise on the serum lipids of middle-aged man. *Am J Cardiol.* 14:753-760, 1964.
- 5) 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.

6) 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.

Wood PD, Haskell W, Klein H, Lewis S, Stern MP, Farquhar JW. The distribution of plasma lipoproteins in middle-aged male runners. *Metabolism*. 25:1249-1257, 1976.

# クロスバイクによる中等強度のロード走行トレーニングが 成人男性の呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響

永山 寛、田中 宏暁  
(福岡大学)

## 【要旨】

本研究の目的は、クロスバイクによりレジャーや通勤・通学時の強度と考えられる中等強度でのロード走行トレーニングを1回30分、週2回の頻度で6週間実施し、呼吸循環機能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。普段定期的なトレーニングを実施していない成人男性8名(32.5±2.8歳)を対象とし、市販のクロスバイクを用いて中等強度のロード走行トレーニングを実施した。トレーニング前後には運動負荷試験および採血を行い、ロード走行トレーニングの効果について検討した。トレーニングの走行距離は9.00±1.41km、時速は16.9±1.1km/時、トレーニング強度は47.7±12.2% $\dot{V}O_{2max}$ 、4.9±1.1METsであった。トレーニング前後の $\dot{V}O_{2max}$ においては有意な変化が認められず、トレーニング強度と $\dot{V}O_{2max}$ の間に有意な相関関係は認められなかった。また、血液性状においても改善は見られなかった。しかし、週あたり4.9METs・時の身体活動量が確保され、トレーニング前に健康づくりに推奨される $\dot{V}O_{2max}$ よりも低値であった者は中等強度でもその効果が期待される可能性が考えられた。

これらの結果から、中等強度でのクロスバイクによるロード走行トレーニングは個人差が大きく、必ずしも持続的体力の改善にはつながらないものの、持続的体力の初期水準が低い者においては効果が期待できる可能性が示唆された。

## 【目的】

わが国では、生活習慣病予防として身体活動や運動の増加が促進されており、週に23METs・時の身体活動が目標値として設定されている<sup>3)</sup>。一般に持続的運動として挙げられるのはウォーキングやジョギング、水泳などであるが、自転車もまた健康づくりにおいては有用なツールである。自転車による持続的体力の向上の有用性についてはこれまでも報告されており、特に自転車エルゴメーターを用いた検討が多い。なかでも、50% $\dot{V}O_{2max}$

の自転車エルゴメーター運動においても、その効果が有用であることが報告されている<sup>45)6)</sup>。また、市販の24インチミニサイクルを用いて65% $\dot{V}O_2\text{max}$ で実際にロード走行トレーニングを行っても、呼吸循環機能や血液性状の改善効果が期待できるとの報告<sup>7)</sup>もある。自転車は利便性が高く、身近な日常の移動手段としても利用されている。近年では、走行性能が高く、効率よく快適に走行できるクロスバイクも登場し、交通渋滞や二酸化炭素排出量の削減など環境問題対策ツールとしての利用が促進されている。このようなことから、今後、自転車の人気や需要がさらに高まり、レジャーや通勤・通学において自転車を利用した健康づくり運動が増加することが期待される。しかしながら、レジャーや通勤・通学時の中等強度で実際にクロスバイクでロードを走行し、呼吸循環機能や血液性状の影響について検討した報告は見られない。中等強度でのロード走行トレーニングが健康づくりに有用であることが明らかとなれば、週に数回、移動手段として自転車を利用することで時間を効率的に利用でき、生活習慣病のリスクを低下させることができると考えられる。

そこで、本研究ではクロスバイクを用いて、中等強度でのロード走行トレーニングが成人男性の呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## 【方法】

被験者は、普段定期的なトレーニングを実施していない成人男性8名(32.5±2.8歳)とした。被験者の身体的特性を表1に示した。各被験者には、本研究の目的、方法、およびそれに伴う危険性を文書および口頭で説明し、同意を得た。

トレーニングは市販のクロスバイクを用い、1回30分、1週間に2回の頻度で6週間(計12回)実施した。トレーニングの管理は、クロスバイクにサイクルコンピュータ(CATEYE社製CC-COM10W)を取り付け、走行速度と走行距離を計測した。トレーニング強度はレジャーや通勤・通学時の強度と同様となるように、主観的に「ふつう」の感覚強度(中等強度)とし、生理学的指標として主観的運動強度(RPE)11;「楽である」~13;「ややきつい」、最大酸素摂取量の50%に相当する運動中の心拍数(ニコニコペース;138-年齢/2)<sup>7)</sup>を目安として実施した。なお、トレーニング中は心拍計(POLAR社製FT4)を用いてトレーニング強度を管理した。



表 1. 被験者の身体的特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)		BMI	
			Pre	Post	Pre	Post
#1	28	173.0	67.10	66.25	22.4	22.1
#2	37	185.8	77.95	77.90	22.6	22.6
#3	33	171.0	80.35	80.05	27.5	27.4
#4	29	164.0	61.15	62.30	22.7	23.2
#5	33	178.1	65.90	64.70	20.8	20.4
#6	33	181.5	86.40	86.80	26.2	26.3
#7	33	162.5	69.30	68.60	26.2	26.0
#8	34	175.0	72.35	73.50	23.6	24.0
Mean	32.5	173.9	72.6	72.5	24.0	24.0
S.D.	2.8	8.1	8.4	8.5	2.4	2.4

トレーニング期間は 2011 年 12 月下旬から 2012 年 2 月初旬までの 6 週間とし、トレーニング日や時間は設定せず、被験者には安全面に配慮したうえで公道を走行するよう指示した。

トレーニング効果の指標として、トレーニング期間の前後に自転車エルゴメーターによる漸増運動負荷試験を実施した。ペダル回転速度を 60rpm に設定し、1.0kp、1.5kp、2.0kp を 3 分間ずつ多段階に漸増させた。その後 0.3kp/分のランプ負荷で漸増させ、疲労困憊に至るまで継続した。呼気ガスは Mixing Chamber 法により 12 秒ごとに呼気ガス濃度を測定した。呼気ガス濃度の測定には生体ガス分析用質量分析装置 (アルコシステム社製 ARCO-2000) を用いた。呼気ガス濃度と換気量は 1 分値に換算し、酸素摂取量を算出した。また、トレーニング期間の前後には、食後 12 時間以上の空腹時に肘正中皮静脈より採血を実施した。血液学的検査として白血球 (WBC)、赤血球 (RBC)、血色素量 (Hb)、ヘマトクリット (Ht)、血液生化学的検査として中性脂肪 (TG)、総コレステロール (T-Cho)、HDL-C、LDL-C、インスリン (IRI)、総蛋白 (TP)、グルコース (GLU)、遊離脂肪酸 (FFA)、(尿素窒素) UA、クレアチニン (Cre)、血清鉄 (Fe)、クレアチニンキナーゼ (CK)、AST (GOT)、ALT (GPT)、LD (LDH)、アルカリフォスファターゼ (ALP)、 $\gamma$ -GTP を分析

項目とした。

測定結果は、平均値±標準偏差で表した。各項目のトレーニング前後の比較には対応ありのt検定を用い、トレーニング強度との関係については Pearson の相関分析を用いた。有意水準はすべて5%未満とした。なお、統計処理には統計解析ソフト (SPSS ver.13.0) を用いた。

### 【結果】

被験者のクロスバイクによるトレーニング内容について表2に示した。平均走行距離は  $9.00 \pm 1.41$  km、平均時速は  $16.92 \pm 1.14$  km/時、平均心拍数は  $123.1 \pm 8.6$  拍/分であった。心拍数より算出したトレーニング時の運動強度は  $65.6 \pm 4.1\%$  HRmax、 $47.7 \pm 12.2\%$   $\dot{V}O_2$ max、は  $4.9 \pm 1.1$  METs であった。

表 2. トレーニング内容

	走行距離 (km)	平均速度 (km/時)	平均 HR (拍/分)	%HRmax	% $\dot{V}O_2$ max	METs
#1	9.13	17.58	123.9	64.5	36.6	4.6
#2	8.30	16.23	119.8	65.5	53.8	4.9
#3	7.89	16.47	128.4	68.7	45.8	4.4
#4	7.79	14.80	141.6	74.1	63.1	6.7
#5	9.07	17.38	118.5	63.4	30.9	3.8
#6	12.22	18.35	114.1	61.0	38.7	3.6
#7	8.51	16.61	120.4	64.4	48.6	4.8
#8	9.06	17.97	118.1	63.5	64.2	6.2
Mean	9.00	16.92	123.1	65.6	47.7	4.9
S.D.	1.41	1.14	8.6	4.1	12.2	1.1

トレーニングの効果について、表3には運動負荷試験の結果を、図1にはトレーニング前後の $\dot{V}O_2$ maxの関係を示した。また、図2にはトレーニング強度と $\dot{V}O_2$ maxとの関係を、図3にはトレーニング強度と疲労困憊までの時間(オールアウトタイム)との関係を示した。なお、トレーニング前の運動負荷試験中、1名に心電図異常(心室性期外収縮の頻発)が認められたため測定を中止した。したがって、呼吸循環機能のトレーニング効果においては分析から除外し、7名について検討した。

オールアウトタイムにおいて  $1,109 \pm 102$  秒から  $1,128 \pm 110$  秒へと有意な差は認められな

かった。 $\dot{V}O_2\max$  においても  $37.1 \pm 4.9 \text{ mL/kg/分}$  から  $37.6 \pm 3.3 \text{ mL/kg/分}$  へと有意な差は認められなかった。また、HRmax においても  $185 \pm 15$  拍/分と  $186 \pm 10$  拍/分と有意な差は認められなかった。

表 3. トレーニング前後における運動負荷試験の変化 (n=7)

	Pre	Post
オールアウトタイム (sec)	$1,109 \pm 102$	$1,128 \pm 110$
$\dot{V}O_2\max$ (mL/kg/分)	$37.1 \pm 4.9$	$37.6 \pm 3.3$
HRmax (拍/分)	$185 \pm 15$	$186 \pm 10$

平均値 ± 標準偏差

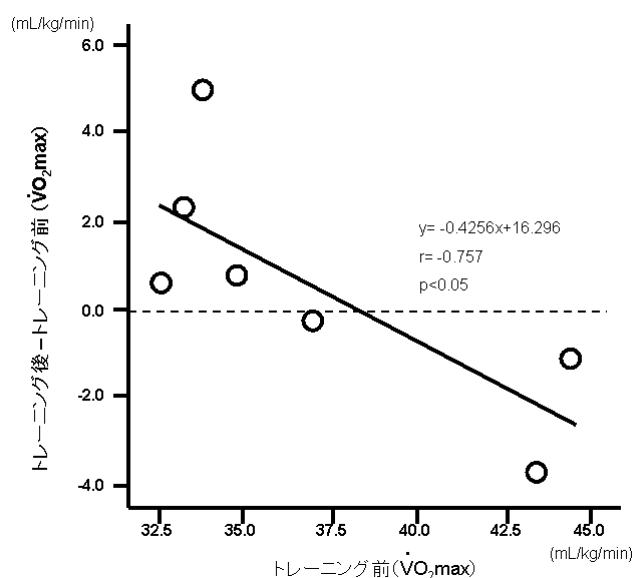


図 1. トレーニング前後の  $\dot{V}O_2\max$  の関係

一方、トレーニング前後の  $\dot{V}O_2\max$  の関係については有意な相関関係 ( $r = -0.757$ ,  $p < 0.05$ ) が認められ、トレーニング前の  $\dot{V}O_2\max$  が低い者は維持・増加傾向を示した。トレーニング強度と  $\dot{V}O_2\max$  の変化量およびトレーニング強度とオールアウトタイムの変化量との間には有意な相関関係は認められなかった。

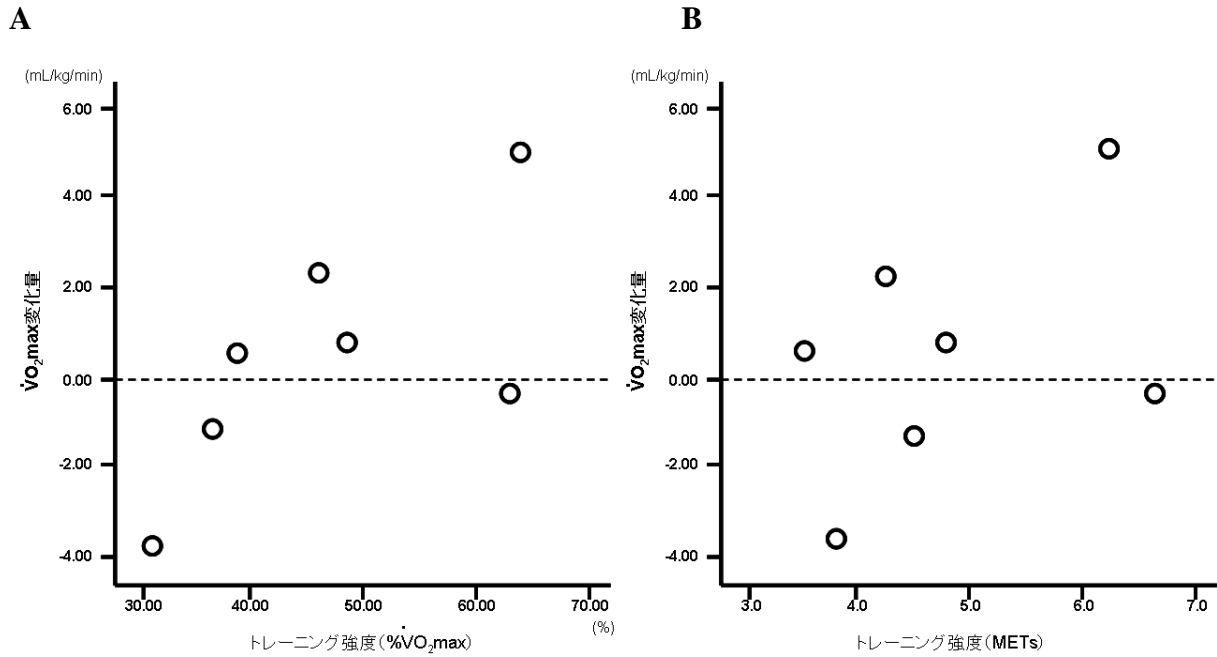


図 2. トレーニング強度(A: % $\dot{V}O_{2max}$ , B: METs)と  
トレーニング前後による  $\dot{V}O_{2max}$  の変化量との関係

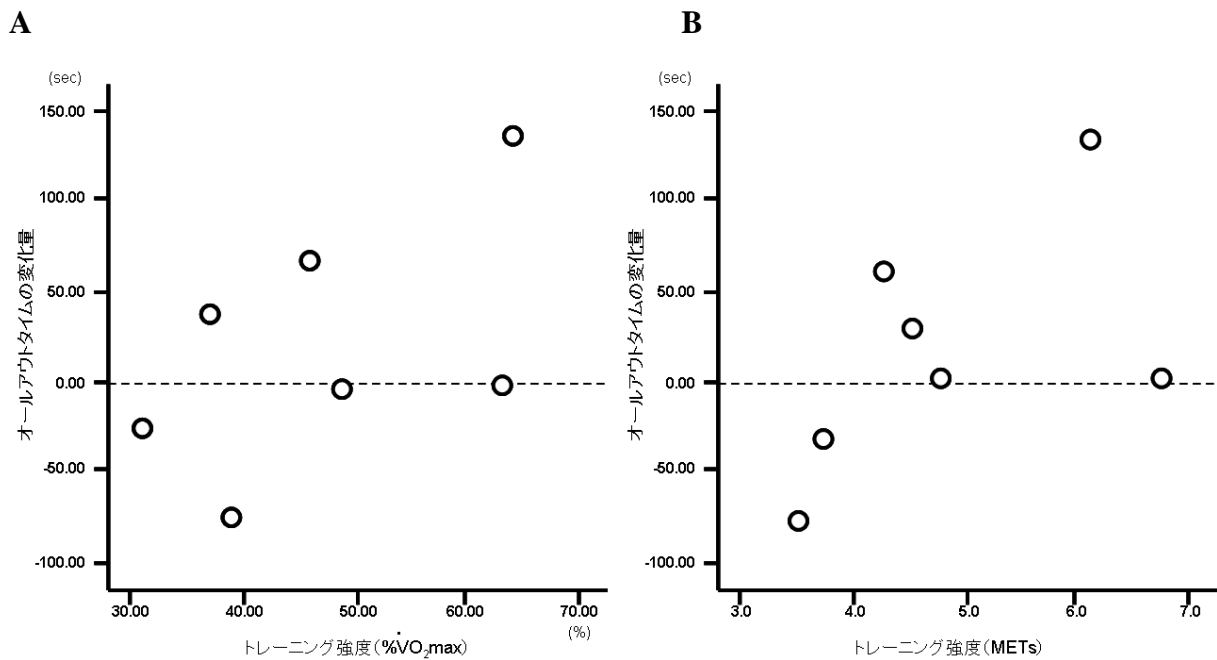


図 3. トレーニング強度(A: % $\dot{V}O_{2max}$ , B: METs)と  
オールアウトタイムの変化量との関係

表 4 には、トレーニング前後の血液性状の変化率について示した。Ht、LDH、TG、Cre においてのみ有意な差 (いずれも  $p < 0.05$ ) が認められた。

表 4. トレーニング前後の血液性状(n=8)

	Pre	Post	
WBC (/ $\mu$ )	5700.0 $\pm$ 1191.6	5462.5 $\pm$ 778.2	
RBC ( $10^4/\mu$ L)	509.1 $\pm$ 23.3	517.9 $\pm$ 22.5	
Hb (g/dL)	16.1 $\pm$ 0.6	16.3 $\pm$ 0.6	
Ht (%)	47.9 $\pm$ 2.1	49.5 $\pm$ 2.5	*
TG (mg/dL)	93.0 $\pm$ 57.4	108.4 $\pm$ 51.6	*
T-Cho (mg/dL)	189.4 $\pm$ 29.5	192.5 $\pm$ 34.0	
HDL-C (mg/dL)	60.3 $\pm$ 11.1	62.3 $\pm$ 11.5	
LDL-C (mg/dL)	111.3 $\pm$ 28.7	108.3 $\pm$ 28.9	
IRI ( $\mu$ IU/mL)	4.5 $\pm$ 1.7	7.3 $\pm$ 4.6	
TP (g/dL)	7.7 $\pm$ 0.2	7.8 $\pm$ 0.3	
GLU (mg/dL)	97.5 $\pm$ 5.3	98.8 $\pm$ 7.9	
FFA ( $\mu$ Eq/L)	435.9 $\pm$ 167.4	276.5 $\pm$ 84.8	
UN (mg/dL)	13.3 $\pm$ 3.4	14.5 $\pm$ 2.7	
Cre (mg/dL)	0.8 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.0	*
Fe ( $\mu$ g/dL)	131.0 $\pm$ 50.2	119.3 $\pm$ 31.3	
CK (IU/L)	154.8 $\pm$ 45.3	131.0 $\pm$ 31.6	
GOT (IU/L)	23.3 $\pm$ 5.5	22.3 $\pm$ 3.6	
GPT (IU/L)	22.8 $\pm$ 12.1	22.4 $\pm$ 8.6	
LDH (IU/L)	180.0 $\pm$ 30.1	154.8 $\pm$ 16.0	*
ALP (IU/L)	167.6 $\pm$ 33.9	166.5 $\pm$ 28.7	
$\gamma$ -GTP (IU/L)	32.6 $\pm$ 12.2	35.4 $\pm$ 20.3	

平均値 $\pm$ 標準偏差 \*p<0.05 vs Pre

#### 【考察】

健康づくりのための身体活動量として週 4METs・時以上の活発な運動が推奨されており<sup>2)</sup>、自転車走行の場合、レジャーや通勤・通学において 16.1km/時未満では 4METs、16.1-19.2km/時では 6METs となる<sup>8)</sup>。本研究でのクロスバイク走行トレーニングの平均時速は 16.92 $\pm$ 1.14km/時、トレーニング強度は 47.7 $\pm$ 12.2% $\dot{V}O_{2max}$ 、4.9 $\pm$ 1.1METs であった。本研究では、トレーニング以外のその他の身体活動や運動については調査していないため、トレーニング期間の活動量については不明であるが、期間中に日常生活活動が変わらなかったと仮定すると、トレーニング前に比べて少なくとも週あたり 4.9METs・時の身体活動が増加された可能性が考えられる。しかしながら、本研究では持久的体力の改善は認められ

なかった。この理由は明らかではないが、ひとつに強度の問題が考えられる。本研究のトレーニング強度は中等強度に設定したが、その範囲は 30.9%  $\dot{V}O_2\max$  から 64.2%  $\dot{V}O_2\max$ 、3.6 から 6.7METs と大きな個人差が見られた。室内での自転車エルゴメーター運動とは異なり、実際のロードでは気温や風などの空気抵抗、上り坂や下り坂、路面状況などの環境要因の影響を大きく受ける。本研究では、必ずしもすべての被験者が同一のコースや日時で走行しているわけではないため、負荷条件が同一ではなかったと考えられる。また、 $\dot{V}O_2\max$  においても大きな個人差が見られ、このことも理由の一つとして考えられた。厚生労働省の健康づくりのため最大酸素摂取量の基準値によると、本研究の対象者年齢の 30 歳代では 38 mL/kg/分とされている。本研究のトレーニング前の  $\dot{V}O_2\max$  の平均値は 37.1  $\pm$  4.9mL/kg/分と基準値よりも低値を示していた。トレーニングの効果は初期レベルにも関連し、本研究においても図 1 より、トレーニング前に基準値よりも低値であった者は  $\dot{V}O_2\max$  が維持または増加傾向に、基準値よりも高値であった者は  $\dot{V}O_2\max$  が低下傾向を示していた。これらのことから、持続的体力の向上を高めるためには初期レベルに応じたトレーニング強度あるいは頻度について再検討する必要があると考えられた。

一方、血液性状の変化においては、Ht、TG が有意な増加を示した。TG はトレーニング前後で 1 名が基準値より高値を示したままであり、トレーニング後にさらに 1 名が基準値よりも高値を示した。Ht はトレーニング後に 2 名が基準値を超えており、LDH は基準値内での低下、Cre は基準値内での増加であった。高齢者や生活習慣有病者においては、LT 強度の有酸素運動で血液性状が改善される<sup>9)</sup>。しかし、本研究では有病者でないためほとんどの血液性状が基準値内であり、呼吸循環機能にも有意な改善が見られなかったことから、これらの変化はトレーニングによるものではなく他の因子の影響が強く関与しているものと考えられる。

## 【結論】

レジャーや通勤・通学等による利用時の強度と考えられる中等強度でクロスバイク走行トレーニングを 1 回 30 分で週 2 回、6 週間の頻度で実施し、呼吸循環機能および血液性状の変化について検討した。その結果、本研究においては  $\dot{V}O_2\max$  や血液性状の有意な変化は認められなかった。中等強度でのクロスバイクによるロード走行トレーニングは個人差が大きく、必ずしも持続的体力の改善にはつながらなかったものの、持続的体力の初期水

準が低い者においては効果が期待できる可能性が示唆された。

#### 【文献】

- 1) 形本静夫, 青木純一郎: ミニ・サイクルによる1日20分のトレーニングが呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響. 体力科学. 38 (6), 485, 1989.
- 2) 厚生労働省: 「健康づくりのための運動指針2006-生活習慣病予防のために- (エクササイズガイド2006)」2006.
- 3) 厚生労働省: 健康づくりのための運動基準2006-身体活動・運動・体力-報告書. 2006.
- 4) 進藤宗洋, 田中宏暁, 小原史朗, 徳山郁夫: 中高年者の自転車エルゴメーターによる50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の60分間トレーニング. 体育科学, 2, 139-152, 1974.
- 5) 進藤宗洋, 田中宏暁, 小原繁: 自転車運動による50% $\dot{V}O_{2max}$ , 60分間トレーニングが成人女子におよぼす影響. 体育科学, 3, 58-67, 1975.
- 6) 進藤宗洋, 田中宏暁, 松本謹吾, 小原繁: 中年婦人への自転車エルゴメーターによる50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の60分間トレーニングの効果. 体育科学, 4, 77-88, 1976.
- 7) 進藤宗洋: 厚生省「健康づくりのための運動所要量」について-『身から錆を出さない, 出させない』暮らし方の原理の提案-, 保健の科学, 32 (3), 139-156, 1990.
- 8) 独立行政法人国立健康・栄養研究所: 新しい運動基準・運動指針『身体活動のメッツ (METs) 表』. 2008.02.18版. 2008.  
[http://www.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets\\_n.pdf](http://www.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets_n.pdf)
- 9) 本山貢, 入江尚, 入江公, 角南良幸, 佐々木淳, 清永明, 田中宏暁, 進藤宗洋: 9ヶ月間に及ぶ軽強度の有酸素的運動が65歳以上の高血圧症を有する高齢男女の血中脂質及びリポ蛋白に及ぼす影響について. 体力科学, 41 (5), 559-566, 1992.

## 6週間の低強度自転車運動介入が中年男性の 心肺持久力・血液性状・体組成に与える影響

谷本道哉<sup>1</sup>，形本静夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿大学生物理工学部，<sup>2</sup>順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科，

### 要旨

**背景：**自転車運動はジョギングやウォーキングと並ぶ非常にポピュラーな持久的運動であり、健康の維持増進のための運動として期待されている。心疾患等の生活習慣病予防には心肺持久力の向上が効果的だが、低強度運動や活発な日常の身体活動でもそのリスクが低下することが分かっている。低強度の自転車運動でもその効果が期待される。

**目的：**低強度の自転車運動の、生活習慣病罹患リスクの指標となる心肺持久力（最大酸素摂取量等）、血液性状（血中脂質等）、体組成（皮下脂肪厚）の改善効果の有無を明らかにすることを目的とする。

**方法：**30-50才代の中年男性8名を用い、30分間の自転車運動を週2回、6週間行わせた。運動の強度は主観強度「軽い」とした。運動介入期間前後の最大酸素摂取量、血液性状、皮下脂肪厚等の測定を行い変化の観察を行った。

**結果：**いずれの測定項目においても有意な変化はみられなかった。

**結論：**主観強度「軽い」の運動強度による週2回、30分間の自転車運動は、中年男性の生活習慣病のリスクファクターを改善させるには不十分であったと考えられる。本研究条件よりも運動量、運動強度、期間を「手軽にできる低強度運動」の範囲で増加させた条件を設定し、生活習慣病の罹患リスクの低下のための必要条件を見出すことが今後の課題である。

### 緒言

自転車運動はジョギングやウォーキングと並ぶ非常にポピュラーな持久的運動であり、健康の維持増進のための運動として期待されている<sup>1</sup>。持久的運動は心疾患、脳血管疾患



等の生活習慣病の予防効果があることが多く報告されているが、その効果は運動の強度に強く依存する<sup>2</sup>。持久的運動の疾病予防効果に強度が強く依存する主な理由は、心肺持久力の向上効果の差異によるところが大きいと考えられる。Blair らの報告によると、運動介入により最大酸素摂取量を増加させると、有酸素能力が 1Mets 増す毎に心疾患の死亡率が 17%減少するという<sup>3</sup>。

アメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine:ACSM) では、持久的体力と心疾患のリスクが深く関係しているという背景をもとに「中-高強度 (40/50-85% 予備酸素摂取量) の有酸素性運動を 20-60 分、週 3-5 回の実践」というかなりしっかりとした運動を勧告する指針を示している<sup>4</sup>。また、日本国内においても ACSM の提言をそのまま支持する基準としていた (厚生省 「健康づくりのための運動所要量」 1989<sup>5</sup>)。

しかしながら、上記の基準を満たす運動を実施している人は全人口の一部に限られる。平成 22 年の国民健康栄養調査によると、定期的な運動を実践している者 (1 回 30 分以上、週 2 回以上の運動習慣を 1 年以上継続) の割合は 30%未満に留まっている。つまり ACSM の指針は国民の 70%以上に当てはまらない基準となってしまうことになる。

そこで、より現実的な運動基準として策定されたのが厚生労働省の「健康づくりのための運動基準 2006<sup>6</sup>」である。この基準は身体活動量と生活習慣病の発症・死亡の関係を検討した系統的レビューにより作成されたもので、有意な生活習慣病予防効果の現れる下限値を示したものである。この基準では、「週に 23 メッツ・時以上の活発な身体活動 (3 メッツ以上のものをカウント、1 日約 60 分の中強度活動に相当) そのうち 4 メッツ時は活発な運動 (60 分程度の軽運動に相当) 」としている。「しっかりとした運動を実践する」から「生活活動を含めて日常の身体活動量を増やす」ことに焦点をシフトさせた基準といえる。

自転車運動は、サイクリングとして高速で走行する場合には運動強度が高い。20km/h の走行での運動強度は 8 メッツ程度であり<sup>7</sup>、大きな心肺持久力の向上効果が見込める。対して、日常の移動手段として利用する場合の運動強度はあまり高くない。日常で乗る程度の速度 16km/h の運動強度は 4 メッツ程度であり、速歩と同程度である<sup>7</sup>。低強度の自転車運動は中・高齢者にとって無理のない運動といえるが、生活習慣病予防等の健康維持・増進効果がどれほど期待できるかは明確ではない。最大酸素摂取量等の心肺持久力の指標はあまり変わらないかもしれないが、低強度運動であっても血中脂質などの血液性状からみ

る生活習慣病のリスクファクターは改善されるかもしれない。

本研究では、中年男性が体力的にも、運動習慣の定着という行動学的にも無理のないレベルという考えで、主観強度「軽い」自転車運動を週 2 回、6 週間実施した時の、体重、皮下脂肪厚、最大酸素摂取量、血中脂質等の血液性状の変化を観察することを目的とした。

## 方法

### 1. 被験者

被験者は、近畿大学生物理工学部に所属する 30-50 才台の男性教員 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。また、本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部倫理委員会の承諾を得て実施された。

表 1 被験者の身体的特性

身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)
173.1 ± 3.3	73.2 ± 7.0	47.6 ± 7.9

平均±標準偏差を示す。N=8 名。

### 2. 運動介入

ロードレース用の自転車 (CAAD8, Cannodale 社) 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,) 上での 30 分間の自転車運動を週 2 回、6 週間行わせた。運動の強度は主観強度「軽い」とした。

### 3 測定項目

自転車運動中の運動負荷および、運動介入期間前後の変化の分析として、  
運動中の

- ・心拍数
- ・ペダリングパワー

運動介入期間前後の

- ・身長、体重、腹囲、皮下脂肪厚
- ・血液学的・生化学的測定
- ・最大酸素摂取量・最大換気量

の測定を行った。各測定方法の詳細は以下の通りである。

### 3-1. 心拍数・ペダリングパワー

運動介入の自転車運動時の心拍数およびペダリングパワーの測定を行った。心拍数は心拍計 (CS400, Polar 社) を用いて行った。測定間隔は 10 秒とした。ペダリングパワーはペダリング (training system PowerControlIV, SRM 社) を用いて測定した。

### 3-2. 身長、体重、腹囲、皮下脂肪厚

身長は身長計 (ツツミ社) を用い、直立姿勢で測定した。体重は電子体重計 (タニタ社) を用いて測定した。腹囲は足幅を肩幅に開き、リラックスした状態で臍の位置で計測した。測定は 3 回行い、その平均値より評価した。日内変動を考慮し、測定は朝 8-9 時の間の朝食摂取前に行った。

皮下脂肪厚はキャリパー式皮下脂肪計 (MK-60, ヤガミ社) を用いて計測した計測点は、上腕部背面、背部肩甲骨下端および臍部の 3 か所である。上腕部背面は右上腕背面の肩峰突起と肘頭との中間を縦に摘んで測定、背部肩甲骨下端は右肩甲骨尖端角の真下 1cm のところを 45° の角度で摘んで測定、臍部は臍の横を縦に摘んで測定した。各箇所の測定は 3 回行い、その平均値より評価した。

### 3-3. 血液学的・生化学的測定

被験者は測定前日の 21 時以降は水以外の飲食を行わない状態で朝 8 時に実験室に訪れ、血液学的・生化学的測定のための採血を受けた。真空採血管にて採血した血液はただちに 4°C、3000rpm にて 10 分間の遠心分離し、得られた上澄を別の試験管に分注して分析に供した。

血液学的検査は、赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値、MCV (平均赤血球容積)、MCH (平均赤血球色素量)、MCHC (平均赤血球色素濃度)、血小板数、白血球数の 8 項目について行った。

生化学的分析は、血清鉄、総蛋白、AST(GOT)、ALP(GPT)、 $\gamma$ -GTP、LD(LDH)、ALP、総コレステロール、HDL コレステロール、LDL コレステロール、中性脂肪、尿素窒素、クレアチニン、遊離脂肪酸、グルコース、ヘモグロビン A1c、インスリン、CK、CPK-MB の 19 項目について行った。

### 3-4. 最大酸素摂取量・心拍数・換気量

最大酸素摂取量および最大心拍数、最大換気量は、気温 20°C に保たれた近畿大学生物理工学部スポーツ健康科学研究室にて自転車エルゴメーター (828E 型, Monarch 社) を用いた運動負荷試験にて測定を行った。運動負荷試験は電子メトロノームのリズムに合わせて 60rpm でのペダリング運動を行った。負荷は漸増式とし、初期負荷 1.0kp3 分間、1.5kp3 分間、2.0kp3 分間を行い、その後毎分 0.3kp (50 才以上は 0.2kp) ずつ漸増させ、ペダリング運動が継続できなくなる疲労困憊まで行った。

運動負荷試験中に呼気ガスを自動呼吸代謝測定装置 (V02000, S&ME 社) にて分析し、酸素濃度、二酸化炭素濃度、換気量を測定した。測定間隔は 10 秒間とし、最大酸素摂取量、最大換気量は 30 秒間の移動平均の運動中の最大値を用いて評価した。心拍数は心拍計 (CS400, Polar 社) を用いて計測した。測定間隔は 10 秒間とした。最大心拍数は運動中の最大値を用いて評価した。

最大酸素摂取量の判定基準は以下の通りとした。本研究の被験者 8 名×運動介入期間前後の 2 回=計 16 回のすべての測定でその基準を満たしていた。

- 1) 負荷の増加に対して酸素摂取量が増加しないレベリングオフに達している。
- 2) 最大呼吸交換比 (R) が 1.10 以上
- 3) 最大心拍数は「 $220 - \text{年齢} \pm 10$ 」に達している

## 4. 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。運動介入前後の体重、皮下脂肪厚、血液学的検査、生化学的検査項目、および運動負荷試験中の最大酸素摂取量、最大換気量、最大心拍数効果の変化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。

## 結果

### 1. 運動負荷強度

6週間の自転車運動介入は、主観強度「軽い」で行った。その時の心拍数、ペダリングパワーは以下の通りであった。なお、心拍予備から算出される%最大酸素摂取量（安静時の酸素摂取量を3.4ml/min/kg、運動負荷試験の最大心拍数時の酸素摂取量を最大酸素摂取量、その間の心拍数と酸素摂取量の関係は線形とする）は  $37.7 \pm 8.5\%$ （26%-55%）、メッツ換算は  $4.1 \pm 0.9$  メッツ（2.2メッツ-5.4メッツ）であった。

表2 運動負荷強度

	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	平均
平均心拍数 (beat/min)	$103.3 \pm 14.4$	$111.6 \pm 11.1$	$111.9 \pm 14.0$	$111.5 \pm 14.8$	$111.1 \pm 16.4$	$112.2 \pm 11.8$	$110.3 \pm 12.5$
平均ペダリングパワー (watt)	$67.4 \pm 6.4$	$70.4 \pm 8.9$	$73.5 \pm 5.8$	$73.9 \pm 6.4$	$74.5 \pm 7.6$	$75.0 \pm 8.9$	$72.5 \pm 5.8$

平均±標準偏差を示す。

## 2. 体重、腹囲、皮下脂肪厚

6週間の自転車運動介入前後の体型（体重、腹囲、皮下脂肪厚）の変化を表2に示す。いずれの測定項目においても有意な変化はみられなかった。

表3 体重、腹囲、皮下脂肪厚の変化

	pre	post	有意差
体重(kg)	73.2±7.0	73.5±6.7	N.S.
腹囲(cm)	86.9±5.6	87.6±5.4	N.S.
皮脂厚(mm)			N.S.
上腕部	16.5±5.7	16.1±4.6	N.S.
背部	20.0±8.3	18.9±7.4	N.S.
臍部	26.0±5.7	25.0±6.9	N.S.

平均±標準偏差を示す。N.S.：群間に統計的有意差なし。

## 3. 血液学的・生化学的測定

6週間の自転車運動介入前後の血液学的・生化学的測定項目の変化を表3に示す。いずれの測定項目においても有意な変化はみられなかった。

表 4-1 血液学的性状の変化

項目	単位	pre	post	有意差
赤血球数	$\times 10^4/\text{mm}^3$	512.1 $\pm$ 32.1	508.8 $\pm$ 33.7	N.S.
血色素量	g/dL	16.0 $\pm$ 1.1	15.9 $\pm$ 1.1	N.S.
ヘマトクリット値	%			N.S.
MCV	fl	93.0 $\pm$ 2.8	93.1 $\pm$ 2.7	N.S.
MCH	pg	31.3 $\pm$ 1.3	31.2 $\pm$ 1.3	N.S.
MCHC	%	33.7 $\pm$ 0.6	33.5 $\pm$ 0.6	N.S.
血小板数	$\times 10^4/\text{mm}^3$	22.7 $\pm$ 6.9	20.2 $\pm$ 4.0	N.S.
白血球数	/ $\mu$ L	6437 $\pm$ 1021	6537 $\pm$ 1428	N.S.

平均 $\pm$ 標準偏差を示す。N.S. : 群間に統計的有意差なし。

表 4-2 生化学的性状の変化

項目	単位	pre	post	有意差
血清鉄	$\mu$ g/dL	119.1 $\pm$ 25.3	91.5 $\pm$ 40.2	N.S.
総蛋白	g/dL	7.8 $\pm$ 0.2	7.7 $\pm$ 0.4	N.S.
AST(GOT)	U/L	512.1 $\pm$ 32.3	508.8 $\pm$ 33.9	N.S.
ALP(GPT)	U/L	512.1 $\pm$ 32.4	508.8 $\pm$ 33.10	N.S.
$\gamma$ -GTP	U/L	37.9 $\pm$ 21.1	34.8 $\pm$ 13.6	N.S.
LD(LDH)	U/L	179.0 $\pm$ 22.7	173.0 $\pm$ 19.8	N.S.
ALP	U/L	241.6 $\pm$ 50.3	241.9 $\pm$ 67.4	N.S.
総コレステロール	mg/dL	210.5 $\pm$ 29.1	206.4 $\pm$ 27.2	N.S.
HDLコレステロール	mg/dL	49.6 $\pm$ 10.1	50.5 $\pm$ 11.6	N.S.
LDLコレステロール	mg/dL	143.9 $\pm$ 24.9	138.4 $\pm$ 28.5	N.S.
中性脂肪	mg/dL	109.1 $\pm$ 43.9	117.3 $\pm$ 61.0	N.S.
尿素窒素	mg/dL	13.2 $\pm$ 3.1	14.2 $\pm$ 3.2	N.S.
クレアチニン	mg/dL	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	N.S.
遊離脂肪酸	$\mu$ Eq/dL	301.8 $\pm$ 130.3	256.9 $\pm$ 107.8	N.S.
グルコース	mg/dL	110.1 $\pm$ 27.6	111.1 $\pm$ 24.7	N.S.
ヘモグロビンA1c	%	5.2 $\pm$ 0.7	5.3 $\pm$ 0.8	N.S.
インスリン	$\mu$ IU/mL	6.5 $\pm$ 1.9	7.1 $\pm$ 2.4	N.S.
CK	U/L	137.3 $\pm$ 57.1	139.9 $\pm$ 54.9	N.S.
CPK-MB	ng/mL	2.3 $\pm$ 1.2	3.0 $\pm$ 1.3	N.S.

平均 $\pm$ 標準偏差を示す。N.S. : 群間に統計的有意差なし。

#### 4. 最大酸素摂取量・心拍数・換気量

6 週間の自転車運動介入前後の心肺持久能力（最大酸素摂取量、最大心拍数、最大換気量）の変化を表 3 に示す。いずれの測定項目においても有意な変化はみられなかった。

表 5 最大酸素摂取量・心拍数・換気量の変化

項目	単位	pre	post	有意差
最大酸素摂取量	mL/min/kg	37.2±4.2	37.5±3.3	N.S.
最大心拍数	beat/min	191.0±6.8	189.8±6.6	N.S.
最大換気量	L/min/kg	1.7±0.3	1.7±0.3	N.S.

平均±標準偏差を示す。いずれの項目においても統計的有意差はみられない。

#### まとめ

主観強度「軽い」の運動強度による週 2 回、30 分間の自転車運動の中年男性の、心肺持久力・血液性状・体組成に与える影響は、いずれの測定項目においても有意な変化は見られなかった。別の実験グループで同時期に測定を行った運動非介入対照群においてもいずれの測定項目においても有意な変化が見られなかったことから、季節的な影響等のバックグラウンドにおける時間による主効果はなかったことがわかる。つまり、いずれの測定項目においても本研究の運動による有意な効果はみられなかったといえる。その理由を考える前に心肺持久力・血液性状・体組成等の生活習慣病のリスクファクターと運動との関係についてみていきたい。

心疾患をはじめとする生活習慣病の予防には持久的体力の維持・向上が重要である。そのための運動指針は 1978 年にアメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine:ACSM) により提言されたものに端を発する。ACSM の指針はその後アップデートを重ねているが、現在においてもその内容におおきな変更はない<sup>4</sup>。しかしながら緒言にも述べたように、ACSM の指針は量、強度ともに高く、広く国民に実践していただくには現実的ではない。

1991 年の Despres らにより持久的体力が向上しなくても身体活動量を増やすことで心疾患のリスクが低減することが報告され、必ずしも「本格的な運動」を行わなくても「活動



量の増加」でも、その程度は大きくないが、効果を得られることが分かってきた<sup>8</sup>。1995年にACSMはアメリカ疾病予防センター（Center of Disease Control and Prevention: CDC）と共同で「1日30分以上の中強度活動をほぼ毎日行うのが望ましい」という疾病予防（主に心疾患）に対する身体活動の指針を提言している<sup>9</sup>。

そのような流れの中で、身体活動量と生活習慣病の発症・死亡の関係を検討した系統的レビューにより作成された指針が厚生労働省の「健康づくりのための運動基準2006<sup>6</sup>」である。この基準では「週あたりの身体活動23メッツ時以上、運動4メッツ時以上」となっており、この数字は生活習慣病罹患リスクの有意に低下する下限値に基づいている。身体活動と運動の値を別個に定めているのはこの2つが独立して生活習慣病予防に有効であるというエビデンスに基づいている。

本研究で行った運動介入の強度は、運動中の心拍数と最大酸素摂取量の測定値から算出した値でみると平均でメッツ換算では4.1メッツ、 $\dot{V}O_{2max}$ は37.7%であった。週2回30分の実施であったので、運動のボリュームとしては週4.1メッツ時となる。この値は運動基準で示される「週4メッツ時以上」を平均値としてかろうじてクリアする程度である。血液性状等の生活習慣病のリスクファクターに有意な変化を得るには運動のボリュームがやや足りなかったのかもしれない。介入期間が6週間と短かったことも関係していると考えられる。また、 $\dot{V}O_{2max}$ は37.7%であり、ACSMの提言する基準「中-高強度（40/50-85%予備酸素摂取量）の有酸素性運動を20-60分、週3-5回の実践」に強度、量ともに及ばない。この基準は健康維持増進のために持久的体力を向上させることを目的としている。本研究において最大酸素摂取量が向上しなかったのは、運動の強度・量ともに不足していたためと考えられる。

なお、本研究の運動強度は平均で72.5ワットであったので、運動量は72.5ワットアワー/週、6週間で435ワットアワーとなる。エネルギー効率20%とすると、6週間の運動による消費エネルギーは約1900kcalである。これは脂肪組織250グラム分に相当する。つまり、運動介入で追加された消費エネルギーの増加分がすべて脂肪組織の減少に反映されたとすると、計算上250gの脂肪組織の減量効果があったことになる。250グラムという数字は大きなものではなく、測定精度および食事や日常活動の増減などの他の因子の影響もあり、体重、皮下脂肪厚の有意な変化として検出されるには不十分であったと考えられる。

以上から、本研究では生活習慣病の罹患リスクと強く関係する心肺持久力・血液性状・

体組成のいずれの項目においても有意な変化が見られなかったと考えられる。これらの項目に有意な変化を得るには本研究での運動条件よりも運動量、運動強度、期間を増やす必要があるだろう。

自転車は非常に身近にあり、生活活動の中で身体活動量を増加させるのに効果的な道具である。着地動作の衝撃がなく、膝、足首、腰等への負担の少ないローインパクト運動であることも大きなメリットである。ローインパクト運動には他に水中運動や水泳などがあるが、これらの運動はプールなどの大掛かりな施設が必要である。身近な存在にあり、手軽で安全に運動ができ、身体活動量を増加させられる自転車は生活習慣病予防のアイテムとして大きな期待がかけられる。本研究条件よりも運動量、運動強度、期間を「手軽にできる低強度運動」の範囲で増加させた条件を設定し、生活習慣病の罹患リスクの低下のための必要条件を見出すことが今後の課題である。

#### 引用文献

- 1 M. L. Pollock, J. Dimmick, H. S. Miller, Jr., Z. Kendrick, and A. C. Linnerud, "Effects of mode of training on cardiovascular function and body composition of adult men," *Med Sci Sports* **7** (2), 139-145 (1975).
- 2 D. P. Swain and B. A. Franklin, "Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise," *Am J Cardiol* **97** (1), 141-147 (2006).
- 3 S. N. Blair, H. W. Kohl, 3rd, C. E. Barlow, R. S. Paffenbarger, Jr., L. W. Gibbons, and C. A. Macera, "Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men," *JAMA* **273** (14), 1093-1098 (1995).
- 4 "American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults," *Med Sci Sports Exerc* **30** (6), 975-991 (1998).
- 5 健康づくりのための運動所要量. (厚生省, 1989).

- 6 *健康づくりのための運動基準 2006*. (厚生労働省, 2006).
- 7 B. E. Ainsworth, W. L. Haskell, M. C. Whitt, M. L. Irwin, A. M. Swartz, S. J. Strath, W. L. O'Brien, D. R. Bassett, Jr., K. H. Schmitz, P. O. Emplaincourt, D. R. Jacobs, Jr., and A. S. Leon, "Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities," *Med Sci Sports Exerc* **32** (9 Suppl), S498-504 (2000).
- 8 J. P. Despres, M. C. Pouliot, S. Moorjani, A. Nadeau, A. Tremblay, P. J. Lupien, G. Theriault, and C. Bouchard, "Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women," *Am J Physiol* **261** (2 Pt 1), E159-167 (1991).
- 9 R. R. Pate, M. Pratt, S. N. Blair, W. L. Haskell, C. A. Macera, C. Bouchard, D. Buchner, W. Ettinger, G. W. Heath, A. C. King, and et al., "Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine," *JAMA* **273** (5), 402-407 (1995).

# 運動様式の相違が血中熱ショックタンパク質に及ぼす影響

## —ランニング運動と自転車運動の比較—

柿木亮<sup>1</sup>、都築孝允<sup>2</sup>、中瀧崇<sup>2</sup>、吉原利典<sup>2</sup>、内藤久士<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>順天堂大学スポーツ健康医科学研究所

<sup>2</sup>順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

### 要旨

血中熱ショックタンパク質 (Heat Shock Protein; Hsp) 72 は、免疫システムの調節に重要な役割を担っている。本研究は、一般人とトライアスリートを対象に 70%  $V_{O2peak}$  の運動強度でランニング運動と自転車運動を行わせ、運動様式の相違が血中 Hsp72 に与える影響を検討した。トライアスリートにおいては、ランニング運動は、血中 Hsp72 濃度を有意に増加させたが、自転車運動は、血中 Hsp72 濃度を増加させなかった。一方、一般人においては、ランニング運動および自転車運動の両方とも血中 Hsp72 濃度を増加させる結果となった。また、一般人を対象とした検討の場合、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と正の相関関係があった。本研究は、運動様式の相違は、一般人とトライアスリートにおいて血中 Hsp72 応答に異なる影響を与える可能性が示唆された。また、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と関連性があることが示唆された。

### はじめに—背景と目的

熱ショックタンパク質 (Heat shock proteins; Hsps) は、分子シャペロンとして細胞内恒常性の維持に貢献している。機能や分子量に基づいて Hsps は分類され、中でも 72-kDa のストレスタンパク質群がよく研究されている。Hsp72 は、熱ストレスや運動に応じて誘導される<sup>6)</sup>が、細胞外 (Extracellular) での発現、すなわち eHsp72 は先天性免疫を導くことや炎症性サイトカインの放出を刺激するシグナルとして機能することが提案されている<sup>1)2)9)10)13)</sup>。

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<sup>16)</sup>、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<sup>1)</sup>。Fehrenbach ら<sup>5)</sup>は、ランニング運動は、血中 Hsp72 を増加させることを示し、その増加は運動強度と運動時間に依存していたことを報告している。一方で、我々は、平成 22 年度「自転車による健康づくりのための自然科学的研究」報告書にて、長時間サイクリングが血中 Hsp72 濃度を増加することを明らかにしたが、その後の分析で血中 Hsp72 の増加は運動強度や時間に依存しないこと、また、先行研究と比べて血中 Hsp72 濃度の増加が低かったことを認めた。この研究結果の矛盾は、運動時の筋収縮様式の相違が影響している可能性が考えられる。自転車運動は、コンセントリック筋収縮のみで行われるため、筋に対して損傷を引き起こさないことから、炎症性サイトカインの放出がランニング運動よりも低いことが示されている<sup>14)</sup>。したがって、収縮様式の差違が、血中 Hsp72 濃度の増加や炎症性サイトカインの放出に異なる影響を与えている可能性が推察される。

そこで、本研究では、ランニング運動と自転車運動が血中 Hsp72 濃度に与える影響を両運動に慣れているトライアスリートと日常的に運動を行っていない一般人を対象に検討することを目的とした。免疫システムの調節機構の一つとして考えられる血中 Hsp72 濃度が運動様式により異なれば、運動処方観点から、より詳細な運動の選択を可能にすることができると考えられる。

## 研究方法

実験 1：運動様式の相違がトライアスリートの血中 Hsp72 濃度に及ぼす影響

### (1) 実験概要

実験 1 では、ランニング運動と自転車運動の両方に慣れているトライアスリートを用いて、運動様式の相違がエネルギー消費量を同一にした場合の血中 Hsp72 の増加に影響を与えるか否かを明らかにすることを目的として行った。

### (2) 被験者

大学生トライアスリート 7 名（男子；2 名、女子；5 名）が本実験に参加した。被験者の身体特性は表 1 に示す。彼らは、日常的にトライアスロン競技のトレーニングを行っており、自転車およびランニングの運動様式に非常に慣れていた。実験参加に際して、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。全ての手順はヘルシンキ宣言に基づいて行われ、本研究のプロトコルは順天堂大学倫理委員会に承認されている。

表 1. 被験者の身体特性

被験者	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
A	女	22	162.7	47.6	18.0
B	女	21	162.5	60.4	22.9
C	男	20	167.9	63.7	22.6
D	女	18	162.4	60.3	22.9
E	男	19	168.5	63.7	22.4
F	女	21	166.8	60.1	21.6
G	女	20	156.7	55.8	22.7
平均値		20	163.9	58.8	21.9
標準偏差		1	4.1	5.6	1.8

### (3) 漸増負荷テスト

被験者は、速度および負荷-酸素摂取量関係の評価のためにトレッドミルおよび自転車エルゴメータ (PowerMax V11、COMBI WELNESS 社製) を用いた最大運動負荷試験を受けた。測定プロトコルは、下記の示す通りである。初期速度および負荷は、140 m/min および 1.3 kp とし、1 段階 2 分で 20 m/min および 0.3 kp (約 24 Watts) ずつ漸増させた。なお、ペダル回転数は 80 rpm に設定した。各段階の間には 30 秒の休息を設け、耳朶より微量の採血を行い、乳酸測定器 (Lactate Scout、EKF DIAGNOSTIC 社製) を用いて血中乳酸濃度を測定した。乳酸濃度が 4 mmol/l 以上になった段階から、1 分ずつの速度 (10 m/min) および負荷 (0.2 kp ; 約 16 Watts) の漸増に変更し、被験者が疲労困憊に至るまで運動を行わせた。運動負荷試験中、2 種の校正用ガスにより濃度校正を行った自動呼吸代謝測定装置 (AE-300、ミナト医科学) を用いて呼気ガスを採取・分析し、換気量、酸素摂取量および呼吸交換比を算出した。なお、運動負荷試験中に得られた最も高い酸素摂取量の値を最高酸素摂取量 ( $VO_{2peak}$ ) とした。全ての測定は、順天堂大学運動生理学実験室内の恒温恒湿室にて行われ、測定環境は、気温  $19.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $68.3 \pm 5.6\%$  であった。

#### (4) 実験プロトコル

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、飲食を避けた上で実験に参加した。各運動における70% $V_{O2peak}$ に相当する速度および負荷を用いて、被験者はランニング運動を実施する条件(RUN)および自転車運動を実施する条件(BIKE)を日にちを変えて無作為に行った。各運動は、それぞれ30分間実施し、運動間には5分の休息を設けた。各運動中、自動呼吸代謝測定装置(AE-300、ミナト医科学)を用いて呼気ガスを採取・分析し、換気量、酸素摂取量および呼吸交換比を算出するとともに、心拍数を携帯型心拍数計(CS400, Polar, Finland)を用いて連続的に測定した。運動前および運動直後に、被験者の前腕正中静脈より採血を行った。また、同時に耳朶より微量の採血を行い、乳酸測定器(BIOSEN S\_line、EKF DIAGNOSTIC 社製)を用いて血中乳酸濃度を測定した。全ての測定は、順天堂大学運動生理学実験室内の恒温恒湿室にて行われ、測定環境は、気温  $20.1 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $68.6 \pm 4.6\%$ であった。

#### (5) 血中 Hsp72 分析

血中の Hsp72 は、すべて血漿の状態に測定した。7 mL の血液は、EDTA 入りの採血管(ベノジェット II 真空採血管、TERUMO 社製)に採血され、その後毎分 3000 rpm で遠心分離し、血漿を分析まで  $-80^{\circ}\text{C}$  で凍結保存した。血中 Hsp72 濃度は、Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay (ELISA) キット (EKS-715、Assay-Designs-Stressgen 社製) を用いて取扱説明書に従って分析した。Hsp72 スタンダード ( $0.2\text{--}12.5\text{ ng/mL}$ ) および希釈なしの血漿サンプルをマイクロプレートのウェルに分注 ( $100\ \mu\text{L/well}$  duplicate) し、室温で2時間インキュベートした。インキュベート後に6回洗浄し、anti-Hsp72 biotin antibody、avidin-HRP conjugate および TMB substrate 溶液の順に洗浄とインキュベートを繰り返した。TMB 溶液中でのインキュベート後に、各ウェルに TMB 反応停止液を加え、マイクロプレートリーダー (Multiscan MS、Labsystems 社製) を用いて  $450\text{ nm}$  の波長で吸光度を測定した。ブランク ( $0\text{ ng/mL}$  Hsp72) の吸光度は、スタンダードおよびサンプルの吸光度から差し引いた。全てのサンプルの Hsp72 濃度は、4 parameter logistic model の計算式より求めたスタンダード曲線に各サンプルの吸光度を挿入することで算出した。血中 Hsp72 濃度は、血漿 1 mL あたりのタンパク質量 ( $\text{ng/mL}$ ) で表した。

## (6) 統計処理

得られた値は、平均値±標準偏差で示した。運動様式と時間の要因を検討するために、2元配置分散分析を行った。また、有意な主効果および交互作用が得られた場合には、Bonferroniのpost hoc testを用いて検討した。有意水準は、 $p < 0.05$ に設定した。

### 実験2：運動様式の相違が一般人の血中Hsp72濃度に及ぼす影響

#### (1) 実験概要

一般成人を対象に、異なる運動様式による最大下運動を行わせ、運動様式の相違が血中熱ショックタンパク質の増加に及ぼす影響を検討する。また、直腸温や筋痛の評価から、血中Hsp72濃度の増加をもたらす因子の検討も加える。

#### (2) 被験者

一般成人男性7名が本実験に参加した。被験者の身体特性は表2に示す。彼らは、週1回程度の頻度で運動を行っている者であった。実験参加に際して、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。全ての手順はヘルシンキ宣言に基づいて行われ、本研究のプロトコルは順天堂大学倫理委員会に承認されている。

表2. 被験者の身体特性

被験者	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
A	男	29	167.7	60.3	21.4
B	男	26	172.5	64.1	21.5
C	男	26	173.0	74.6	24.9
D	男	23	180.4	75.3	23.2
E	男	23	163.8	59.6	22.2
F	男	23	164.9	58.4	21.5
G	男	22	171.7	68.5	23.2
平均値		20	170.5	65.8	22.6
標準偏差		1	5.7	7.1	1.3



### (3) 漸増負荷テスト

被験者は、速度および負荷-酸素摂取量関係の評価のためにトレッドミルおよび自転車エルゴメータ (PowerMax V11、COMBI WELNESS 社製) を用いた最大運動負荷試験を受けた。測定プロトコルは、下記に示す通りである。初期速度および負荷は、120 m/min および 1.5 kp とし、1 段階 1 分で 20 m/min および 0.3 kp (約 18 Watts) ずつ漸増させた、被験者が疲労困憊に至るまで運動を行わせた。なお、ペダル回転数は 60 rpm に設定した。運動前後に、耳朶より微量の採血を行い、乳酸測定器 (Lactate Scout、EKF DIAGNOSTIC 社製) を用いて血中乳酸濃度を測定した。運動負荷試験中、2 種の校正用ガスにより濃度校正を行った自動呼吸代謝測定装置 (AE-300、ミナト医科学) を用いて呼気ガスを採取・分析し、換気量、酸素摂取量および呼吸交換比を算出した。なお、運動負荷試験中に得られた最も高い酸素摂取量の値を最高酸素摂取量 ( $VO_{2peak}$ ) とした。全ての測定は、順天堂大学スポーツ健康医科学研究所内の恒温恒湿室にて行われ、測定環境は、気温  $20.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $50.0 \pm 0.5\%$  であった。

### (4) 実験プロトコル

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、飲食を避けた上で実験に参加した。各運動における  $70\%VO_{2peak}$  に相当する速度および負荷を用いて、被験者はランニング運動を実施する条件 (RUN) および自転車運動を実施する条件 (BIKE) を日にちを変えて無作為に行った。各運動は、それぞれ 30 分間実施した。各運動中、自動呼吸代謝測定装置 (AE-300、ミナト医科学) を用いて呼気ガスを採取・分析し、換気量、酸素摂取量および呼吸交換比を算出するとともに、心拍数を携帯型心拍数計 (CS400, Polar, Finland) を用いて、直腸温をサーミスタプローブ (YSI 400 シリーズ、日機装ワイエスアイ) により収集する携帯型データロガー (N540 シリーズ、日機装ワイエスアイ) を用いて連続的に測定した。また、運動中 5 分毎に、被験者に主観的運動強度 (Rate of perceived exertion: RPE) を申告するように指示した。運動前 (Rest) および運動終了後 (Ex) に、被験者の前腕正中静脈より採血を行った。また、同時に耳朶より微量の採血を行い、乳酸測定器 (BIOSEN S\_line、EKF DIAGNOSTIC 社製) を用いて血中乳酸濃度を測定した。全ての測定は、順天堂大学スポーツ健康医科学研究所内の恒温恒湿室にて行われ、測定環境は、気温  $20.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $50.0 \pm 0.5\%$  であった。

運動前、運動直後、運動 24 時間後に Visual analog scale (VAS) を用いて、大腿部の筋痛の評価を行った。痛みの記録は、100 mm の幅の区切りのない直線上に、左端が「痛みが全くない」および右端が「経験したことの無い痛み」を取ったスケールを用い、筋痛に相当するスケールの線上に縦線をつけるように被験者に指示し、左端からの距離を測定した。また、同時に、耳朶より微量の採血を行い、卓上型生化学検査システム（レフロトロンプラス、Roche Diagnostics 社製）を用いて蛍光光度法による試験紙方式で血中クレアチンキナーゼ (CK) 活性を測定した。

#### (5) 血中 Hsp72 分析

実験 1 と同様の方法を用いて分析を行った。

#### (6) インターロイキン-6 (Interleukin-6 ; IL-6) 分析

血漿中の IL-6 濃度は、Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay (ELISA) キット (HS600B、R & D Systems 社製) を用いて取扱説明書に従って分析した。IL-6 スタンダード (0.156-10 pg/mL) および希釈なしの血漿サンプルをマイクロプレートのウェルに分注 (100  $\mu$ L/well duplicate) し、室温で 2 時間インキュベートした。インキュベート後に 6 回洗浄し、IL-6 conjugate 溶液、substrate 溶液および amplifier 溶液の順に洗浄とインキュベートを繰り返した。Amplifier 溶液でのインキュベート後に、各ウェルに反応停止液を加え、マイクロプレートリーダー (Multiscan MS、Labsystems 社製) を用いて 492 および 690 nm の波長で吸光度を測定し、波長補正を行った。ブランク (0 ng/mL Hsp72) の吸光度は、スタンダードおよびサンプルの吸光度から差し引いた。全てのサンプルの IL-6 濃度は、log/log model の計算式より求めたスタンダード曲線に各サンプルの吸光度を挿入することで算出した。IL-6 濃度は、血漿 1mL あたりのタンパク質量 (pg/mL) で表した。

#### (7) 統計処理

得られた値は、平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。運動様式と時間の要因を検討するために、2 元配置分散分析を行った。また、有意な主効果および交互作用が得られた場合には、Bonferroni の post hoc test を用いて検討した。また、直腸温と血中 Hsp72 濃度との関係を最小二乗法による単回帰直線で示し、Pearson の積率相関係数を求めた。有意水準は、

p<0.05 に設定した。

## 研究結果

実験 1：運動様式の相違がトライアスリートの血中 Hsp72 濃度に及ぼす影響

ランニングおよび自転車運動を用いた最大負荷試験における最大換気量は、 $113.3 \pm 15.4$  および  $117.1 \pm 22.2$  l/min であり、両運動様式間で有意な差はなかった。また、ランニングおよび自転車運動における最大酸素摂取量は、 $54.0 \pm 7.4$  および  $53.2 \pm 7.4$   $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  であり、両運動様式間で有意な差は見られなかった。速度および負荷-酸素摂取量関係から算出した  $70\%V_{O2peak}$  に相当する酸素摂取量は、 $37.8 \pm 5.2$  および  $37.2 \pm 5.2$   $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  であり、両運動様式間で有意な差は観察されなかった。なお、 $70\%V_{O2peak}$  に相当するランニングおよび自転車運動の速度および負荷は、 $192.8 \pm 29.6$  m/min および  $2.2 \pm 0.3$  kp であった。

図 1 は、最大下運動中の酸素摂取量を示したものである。運動様式によって酸素摂取量に有意な差は認められず、ほぼ  $70\%V_{O2peak}$  に相当する強度の運動を行っていた。

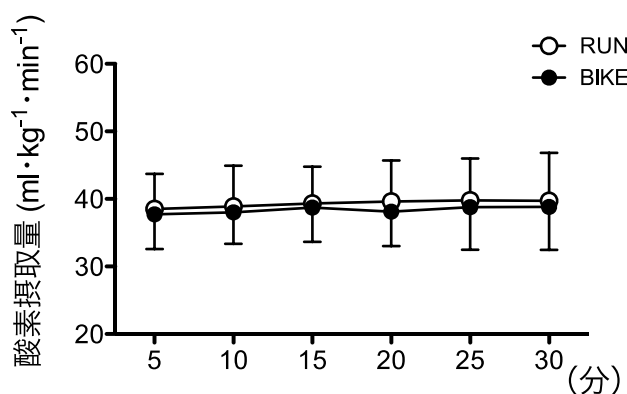


図 1. 最大下運動中の酸素摂取量

図 2 は、最大下運動中の心拍数を示したものである。時間の経過とともに心拍数は徐々に増加したが、運動様式間に有意な差は見られなかった。

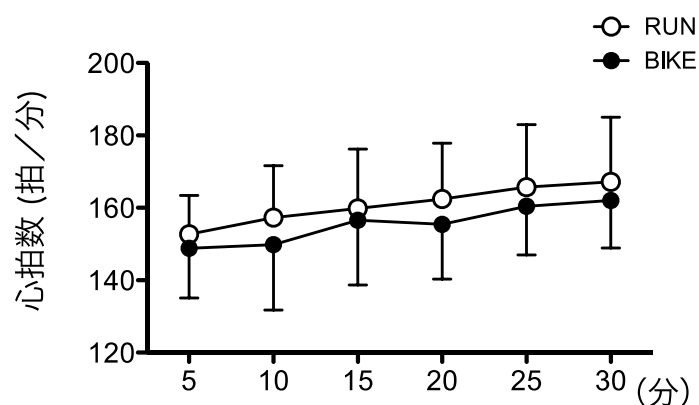


図2. 最大下運動中の心拍数

図3は、運動前後の血中乳酸濃度の変化を示したものである。ランニング運動では、血中乳酸濃度の有意な変化は観察されなかったが、自転車運動は有意に血中乳酸濃度を増加させた ( $p < 0.05$ )。

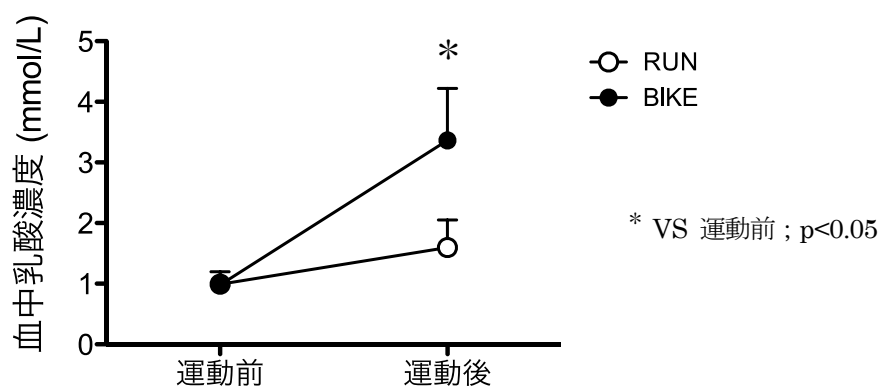


図3. 運動前後の血中乳酸濃度

図4は、運動前後の血中 Hsp72 濃度の変化を示したものである。ランニング運動は、有意に血中 Hsp72 濃度を増加させた ( $p < 0.05$ )。自転車運動中の血中 Hsp72 濃度においては、有意な変化は観察されなかった。

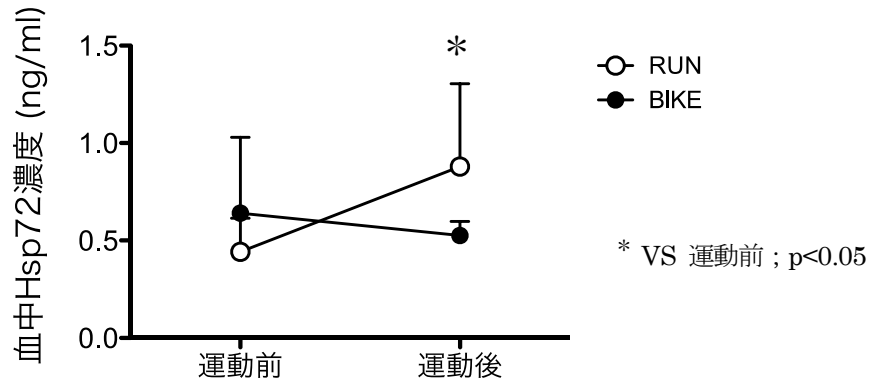


図4. 運動前後の血中 Hsp72 濃度

実験2：運動様式の相違が一般人の血中 Hsp72 濃度に及ぼす影響

ランニングおよび自転車運動を用いた最大負荷試験における最大換気量は、 $110.6 \pm 10.6$  および  $117.0 \pm 14.3$  L/min であり、両運動様式間で有意な差はなかった。また、ランニングおよび自転車運動における最大酸素摂取量は、 $65.7 \pm 7.1$  および  $66.0 \pm 7.1$  ml $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$  であり、両運動様式間で有意な差は見られなかった。70% *V*O<sub>2peak</sub> に相当するランニングおよび自転車運動の速度および負荷は、 $176.4 \pm 9.7$  m/min および  $3.6 \pm 0.4$  kp であった。

図5は、最大下運動中の心拍数を示したものである。時間の経過とともに心拍数は徐々に増加したが、運動様式間に有意な差は見られなかった。

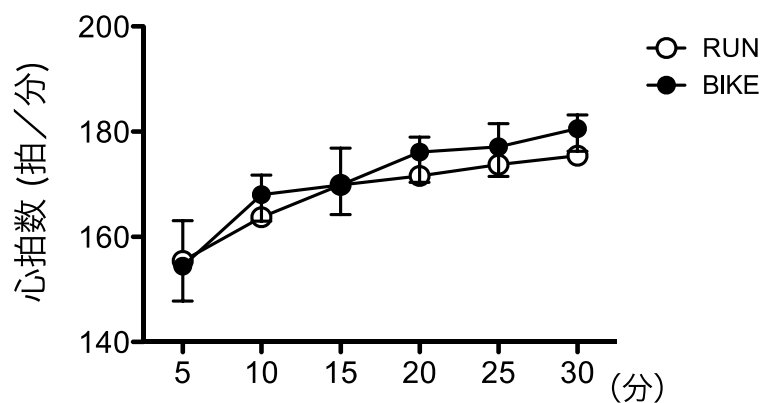


図5. 最大下運動中の心拍数

図6は、最大下運動中のRPEを示したものである。時間の経過とともにRPEは徐々に増加し、運動30分後の時点において自転車運動のRPEはランニング運動よりも有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。

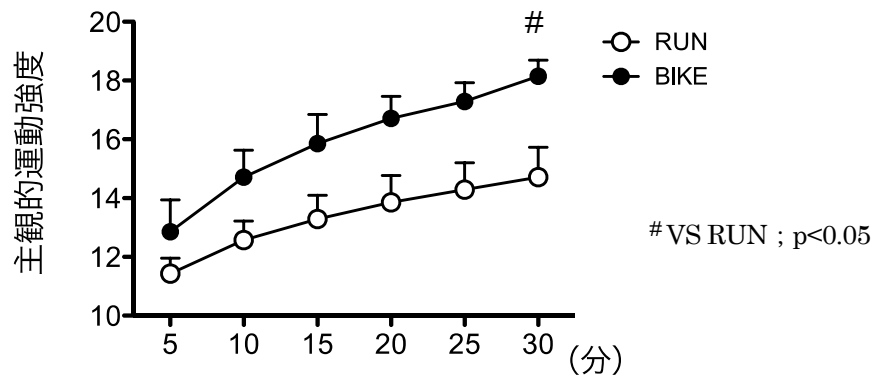


図6. 最大下運動中の主観的運動強度

図7は、最大下運動中の直腸温の変化を示したものである。時間の経過とともに直腸温は増加したが、運動様式間で有意な差は見られなかった。

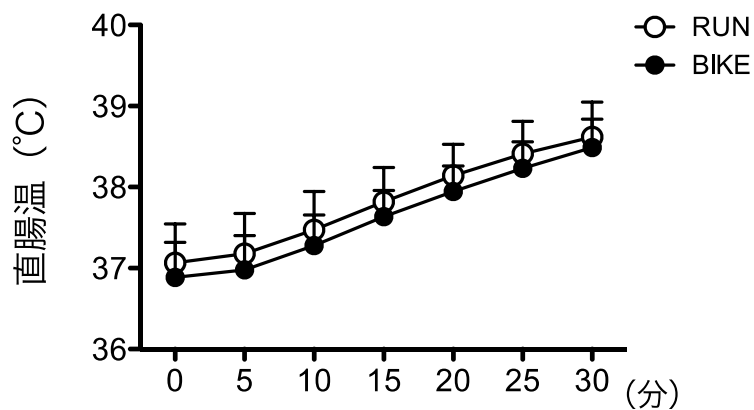


図7. 最大下運動中の直腸温

図8は、運動前後の血中乳酸濃度の変化を示したものである。血中乳酸濃度は、両運動によって有意に増加した ( $p<0.05$ ) が、その増加は、ランニング運動よりも自転車運動の方が有意に大きかった ( $p<0.05$ )。

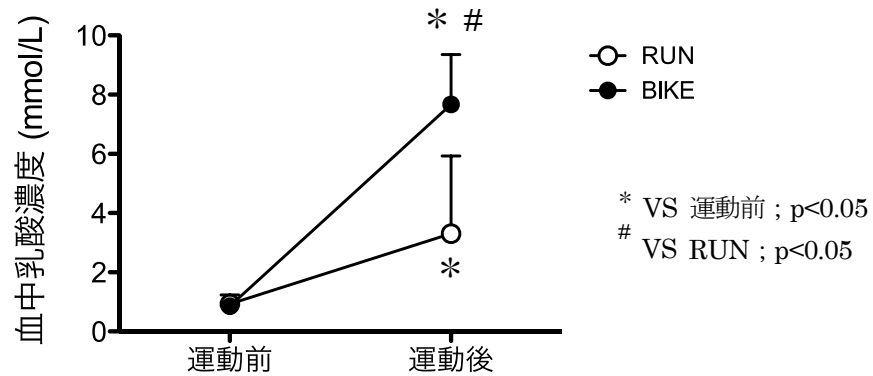


図8. 運動前後の血中乳酸濃度

図9は、運動前後の血中Hsp72濃度の変化を示したものである。両運動は、有意に血中Hsp72濃度を有意に増加させたが、運動様式間で差は観察されなかった。

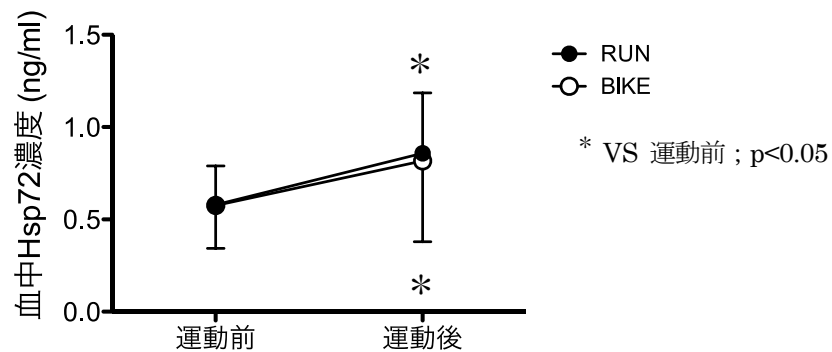


図9. 運動前後の血中Hsp72濃度

図10は、運動前後の血漿IL-6濃度の変化を示したものである。ランニング運動では、血漿IL-6濃度の有意な変化は観察されなかった。一方、自転車運動は、有意に血漿IL-6濃度を増加させた ( $p<0.05$ )。

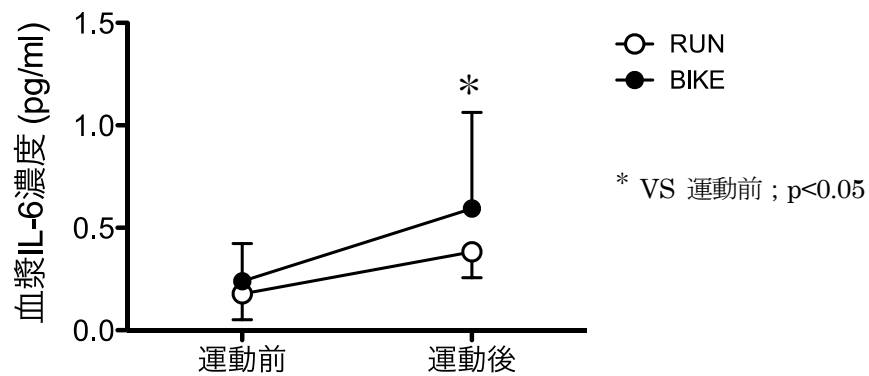


図 10. 運動前後の血漿 IL-6 濃度

表 3 に運動前および後の血中 CK 活性および VAS 用いた大腿前面および後面部の痛みの値を示した。血中 CK 活性値は、両運動によって有意に増加しなかった。また、大腿部前面の VAS 値は、両運動に運動 23 時間後で有意に増加した (p<0.05)。大腿部後面の VAS 値は、両運動によって有意に増加しなかった。

表 3. 運動前および後における筋痛・筋損傷の評価

	RUN	BIKE
血中 CK 活性 (U/L)		
運動前	178.3 ± 222.9	84.6 ± 13.4
運動後	185.8 ± 173.9	102.5 ± 38.9
運動 24 時間後	224.7 ± 259.7	137.3 ± 102.1
大腿前面部 VAS (mm)		
運動前	0.6 ± 1.0	0.1 ± 0.2
運動 24 時間後	19.5 ± 12.6 *	16.6 ± 17.1 *
大腿後面部 VAS (mm)		
運動前	4.5 ± 10.3	0.5 ± 0.5
運動 24 時間後	7.6 ± 9.2	7.6 ± 9.8

\* VS 運動前 ; p<0.05



図 10 は、直腸温と血中 Hsp72 濃度の関係を示したものである。直腸温と血中 Hsp72 濃度  
の間に、有意な正の相関関係 ( $r=0.507$ 、 $p<0.05$ ) が示された。

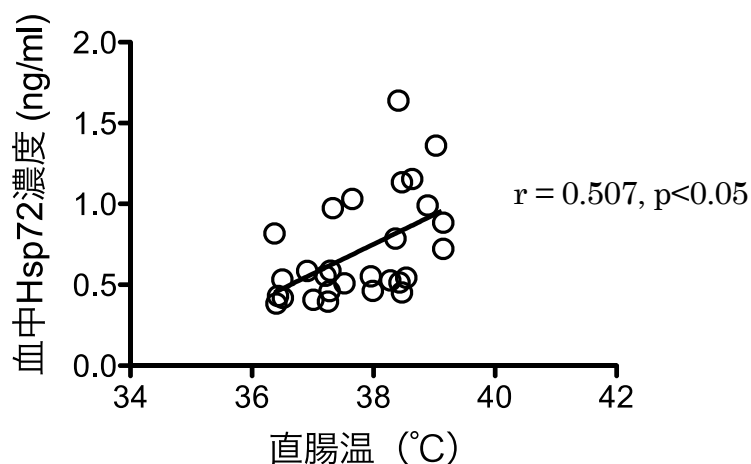


図 9. 直腸温および血中 Hsp72 濃度の関係

### 考察

本研究は、運動様式の相違が血中 Hsp72 に及ぼす影響を、トライアスリートおよび一般人を対象に検討した。その結果、トライアスリートにおいては、ランニング運動は、血中 Hsp72 濃度を有意に増加させたが、自転車運動は、血中 Hsp72 濃度を増加させなかった。一方、一般人においては、ランニング運動および自転車運動の両方とも血中 Hsp72 濃度を増加させる結果となった。一般人を対象とした検討の場合、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と関連があることが示された。

これまでに、身体運動が血中 Hsp72 濃度を増加させることを示した研究は多くある。例えば、Walsh ら<sup>16)</sup>は、 $70\% \dot{V}O_{2max}$  の強度でトレッドミルランニングを行わせたところ、運動後に血清の Hsp72 濃度を増加させることを報告している。また、Febbraio ら<sup>4)</sup>もまた、 $50\% \dot{V}O_{2max}$  の強度での下半身の自転車運動によって、血清 Hsp72 濃度を増加させることを報告している。さらに、Fehrenbach ら<sup>5)</sup>は、異なる時間や強度のランニングをアスリートに行わせたところ、時間が長い運動、また強度の高い運動がより血中の Hsp72 濃度を増加させたことを報告している。これらのことは、身体運動は血中 Hsp72 濃度を増加させ、その増加には運動強度や時間が大きく影響を受けることを示唆している。一方、我々は平成 22 年度「自転車による健康づくりのための自然科学的研究」報告書にて、長時間サイクリ

ングが血中 Hsp72 濃度を増加することを明らかにしたが、その後の分析で血中 Hsp72 の増加は運動強度や時間に依存しないことを認めた。先行研究との結果の矛盾は、運動様式の違いが血中 Hsp72 濃度の増加に異なる影響を与えている可能性を推察させる。すなわち、自転車運動は、コンセントリック収縮のみで行われる一方で、ランニング運動は、筋損傷を誘発するエキセントリック収縮局面を多分に含んでいることから、筋収縮様式の違いにより血中 Hsp72 濃度の増加が異なる可能性が考えられる。本研究は、自転車運動およびランニング運動が血中 Hsp72 濃度に与える影響を直接比較した初めての研究である。

本研究のトライアスリートを対象とした実験において、ランニング運動と自転車運動を  $V_{O2peak}$  の 70% に相当する強度で 30 分行わせたところ、最大下運動中の酸素摂取量および心拍数は、両運動間で差がなかったことを観察している。これらのことは、エネルギー消費量の観点からは同一の身体運動を行っていたことを示唆している。血中乳酸濃度は、自転車運動のみ有意に増加していた。これは、自転車運動が下半身の局所的な運動様式のため筋収縮による力発揮を多く必要とし、エネルギー消費量を同一にした場合には血中乳酸濃度がランニング運動よりも増加したものと考えられる。一方で、ランニング運動は、血中 Hsp72 濃度を有意に増加させたが、自転車運動では血中 Hsp72 濃度の増加が見られなかった。したがって、自転車運動は、局所的な筋の収縮量の増大にも関わらず、血中 Hsp72 濃度の増加がほとんど起こらないことが明らかとなった。今回採用した 70%  $V_{O2peak}$  に相当する運動強度は、トライアスリートにおいてそれほど高いものではないが、両運動に慣れている被験者においては、自転車運動とランニング運動中の筋収縮様式の差違が血中 Hsp72 濃度の増加に影響している可能性が考えられる。すなわち、ランニング運動は、自転車運動よりも炎症性サイトカインの放出の程度が大きいことが知られていること<sup>14)</sup>から、ランニング運動に含まれる伸張性収縮局面が大きく影響しているかもしれない。また、自転車運動の条件において安静時の血中 Hsp72 濃度に大きなばらつきがあったことが本研究の結果に大きく影響を与えているかもしれない。Pockley ら<sup>13)</sup>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。今回の被験者は、日常的に鍛錬しているトライアスリートであったため、日常のトレーニング量や内容が血中 Hsp72 濃度の安静値に影響を与えていたことも考えられる。今後は、トレーニング量や内容が血中 Hsp72 濃度に与える影響についても検討する必要があるだろう。

一般人を用いた実験では、より詳細に血中 Hsp72 濃度に影響を与える因子に着目して検討を加えた。トライアスリートを対象とした実験と同様に最大下運動を行ったところ、運動中の心拍数において両運動間で有意な差が観察されなかったことから、一般人においても呼吸循環器に対する運動中の負荷は同一であったと考えられる。また、運動中の直腸温は、両運動において終了時まで増加し続けていた。一般的に直腸温は、一定負荷で運動した場合、熱放散の状態が良いところで一定になるが、強度の高い運動では体温が上昇し続けていき、疲労困憊に至る<sup>3)</sup>。したがって、今回の被験者において 70% $\dot{V}O_2peak$  の運動は、比較的強度の高い運動であったかもしれない。主観的運動強度および血中乳酸濃度は、ランニング運動よりも自転車運動において有意に高かった。これは、前述したトライアスリートの実験と同様、自転車運動が下半身の局所的な運動様式であることに起因するかもしれない。また、同様に血漿 IL-6 濃度は、自転車運動で有意に増加していた。IL-6 は、サイトカインの一つであり、造血や炎症反応に非常に重要な役割を担っているが、Pedersen ら<sup>12)</sup>は、筋が運動すると、筋損傷とは無関係に筋線維から IL-6 が分泌されることを示している。すなわち、一般人を対象とした場合、自転車運動は、下半身の局所的な運動様式であるため筋に対する負荷が大きく、その結果、血漿 IL-6 濃度を増加させたことが考えられる。一方で、血中 Hsp72 濃度は、両運動で同様に増加した。興味深いことに、本研究では Hsp72 濃度の増加が直腸温と関連することを認めた。我々は以前に、運動に伴う血中 Hsp72 濃度の上昇には、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<sup>11)</sup>。また、Ruell ら<sup>15)</sup>は、14km ランニング運動後の直腸温と血中 Hsp72 濃度との間に正の相関関係があることを示している。したがって、運動中の体温の上昇は、血中 Hsp72 濃度の増加に与える因子の一つであることは間違いがなさそうである。

本研究の一般人を対象とした実験では、運動後の筋痛・筋損傷の評価を行っており、運動 24 時間後の筋痛、特に大腿部前面における筋痛は増加し、自転車運動よりもランニング運動の方が高値を示すものの、両運動様式間で差が認められなかった。また、筋損傷の指標の一つである CK 活性においても両運動で増加するものの有意な変化を示さなかった。ランニング運動は、エキセントリック収縮の局面を多分に含んでいることから、自転車運動よりも筋損傷を生じやすいと考えられている。しかしながら、本研究の 30 分という短時間運動では、筋損傷の程度に運動様式による差を検出することができなかった。このことが、運動様式間における同程度の血中 Hsp72 濃度の増加に繋がっているかもしれない。今後は、

さらに長時間行える負荷を設定した上で両運動を行わせることで、筋痛・筋損傷が血中 Hsp72 濃度に与える影響を明らかにすることができるだろう。

トライアスリートでは、ランニング運動のみで、一般人では両運動で血中 Hsp72 濃度が増加した。これらの結果の相違を説明することは難しいが、一般人にとって自転車運動に不慣れであったことと、70%  $V_{O2peak}$  の強度での運動が比較的高強度運動であったことに原因があるかもしれない。一般人の自転車運動時の血中乳酸濃度は、7 mmol/L を超えており、この状態は筋グリコーゲンの消費が激しく、酸化ストレスなどの影響を多分に受けていることが推察される。筋グリコーゲンの枯渇や酸化ストレスは、Hsp72 の誘導因子として考えられている<sup>7)</sup>ことから、一般人においては自転車運動でも血中 Hsp72 濃度の増加が大きかったかもしれない。また、トライアスリートでは女性が多いのに対して、一般人での検討は男性のみであった。我々の知る限り、安静時の血中 Hsp72 濃度に性差が影響するという報告はないのだが、運動中の血中 Hsp72 の応答に性別の影響があるかもしれない。この点は、今後より詳細に検討する必要があるだろう。

本研究や先行研究<sup>11)15)</sup>の結果から、血中 Hsp72 濃度が直腸温と関連しているという事実は、非常に興味深い。血中 Hsp72 濃度が上昇するという事は、免疫機能を亢進させ、炎症反応などを促進することに繋がる<sup>1)2)9)10)13)</sup>。つまり、生体には非常にストレスがかかっている状態であることを意味している。本研究では、実験室内の恒温恒湿環境にて自転車エルゴメータを用いた検討を行ったが、実際の自転車走行は、ランニング運動よりも非常に風を受ける運動環境である。また、自転車走行では常に水分を補給できる状態にあることから、体温上昇を抑えつつ運動を長時間行うことが可能である。したがって、長時間運動を行っても、血中 Hsp72 の増加が低く抑えられることが予想される。すでに、平成 22 年度「自転車による健康づくりのための自然科学的研究」報告書にて、長時間サイクリングが血中 Hsp72 濃度を増加することを明らかにしたが、その後の分析で血中 Hsp72 の増加は運動強度や時間に依存しないこと、また、先行研究と比較すると血中 Hsp72 濃度の増加が低かったことを認めた。これらのことをまとめると、今回のトライアスリートのように自転車運動に慣れさえすれば、スポーツサイクリングは、外部環境や水分摂取によって体温上昇を抑え、非常に安全にエネルギーを消費できる運動として提案できると考えられる。今後は、運動中の水分摂取が体温上昇や血中 Hsp72 濃度にどのように影響を及ぼすかを検討する必要がある。

## 結論

運動様式の相違は、一般人とトライアスリートにおいて血中 Hsp72 応答に異なる影響を与える可能性が示唆される。また、血中 Hsp72 濃度は、直腸温と関連性があることが示唆される。

## 6. 文献

- 1) Asea A, Kraeft SK, Kurt-Jones EA, Stevenson MA, Chen LB, Finberg RW, Koo GC, Calderwood SK. HSP70 stimulates cytokine production through a CD14-dependant pathway, demonstrating its dual role as a chaperone and cytokine. *Nat Med* 6:435-442, 2000.
- 2) Asea A. Stress proteins and initiation of immune response: chaperokine activity of HSP72. *Exerc Immunol Rev* 11: 34-45, 2005.
- 3) Dill DB, Edwards HT, Bauer PS and Levenson EJ. Physical performance in relation to external temperature. *Arbeitsphysiol.* 4: 508, 1931.
- 4) Febbraio MA, Ott P, Nielsen HB, Steensberg A, Keller C, Krstrup P, Secher NH, Pedersen BK. Exercise induces hepato-splanchnic release of heat shock protein 72 in humans. *J Physiol* 544: 957-962, 2002.
- 5) Fehrenbach E, Niess AM, Voelker K, Northoff H, Mooren FC. Exercise intensity and duration affect blood soluble HSP72. *Int J Sports Med* 26:552-557, 2005.
- 6) Locke M. The cellular stress response to exercise: role of stress proteins. *Exerc Sport Sci Rev* 25: 105-1036, 1997.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Njemini R, Demanet C, Mets T. Inflammatory status as an important determinant of heat shock protein 70 serum concentrations during aging. *Biogerontology* 5:31-38, 2004
- 10) Noble EG, Milne KJ, Melling CW. Heat shock proteins and exercise: a primer. *Appl*

Physiol Nutr Metab 33:1050–1065, 2008.

- 11) 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.
- 12) Pedersen BK, Febbraio M. Muscle-derived interleukin-6—a possible link between skeletal muscle, adipose tissue, liver, and brain. *Brain Behav Immun.* 19:371–6, 2005.
- 13) Pockley AG, Shepherd J, Corton JM. Detection of heat shock protein 70 (HSP70) and anti-HSP70 antibodies in the serum of normal individuals. *Immunol Invest* 27: 367–377, 1998.
- 14) Starkie RL, Arkinstall MJ, Koukoulas I, Hawley JA, Febbraio MA. Carbohydrate ingestion attenuates the increase in plasma interleukin-6, but not skeletal muscle interleukin-6 mRNA, during exercise in humans. *J Physiol.* 533:585–91, 2001.
- 15) Ruell PA, Thompson MW, Hoffman KM, Brotherhood JR, Richards DA. Plasma Hsp72 is higher in runners with more serious symptoms of exertional heat illness. *Eur J Appl Physiol.* 97:732–6, 2006.
- 16) 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.

平成 23 年度

「自転車による健康増進のための自然科学的研究」

2012 年 3 月発行

発行者 財団法人日本自転車普及協会

研究者 形本静夫（順天堂大学）

印刷 株式会社 成光社