

5 分間の最大自転車サイクリング運動時の筋の酸素環境・代謝環境の変化

谷本 道哉¹, 佐賀 典生², 村出 真一朗², 形本 静夫²

要旨

背景: 自転車競技の短・中距離選手の下肢の筋は非常に良く発達している.しかしながら,自転車運動で発揮する筋力レベルは,20-30%MVC 程度と小さい.筋肥大誘発の一要因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.自転車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:** 自転車運動が筋肥大・筋力増強を誘発する要因として運動中の筋内の酸素環境・代謝環境の変化が関係している可能性がある.自転車運動中の酸素環境,代謝環境の変化を観察する.**方法:** 男子自転車競技短・中距離選手 5 名を用いて 4000m レースを模した 5 分間の最大自転車運動を行い,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:筋の代謝物の蓄積量を反映する)等を測定した.また,同一心拍負荷の走運動を行い比較した.**結果:** 5 分間の最大自転車運動では,運動中の筋酸素化レベルが走運動と比べて有意に大きく低下した(自転車 $26.6 \pm 6.4\%$, 走運動 $53.9 \pm 16.4\%$).また,運動後の一過的な大腿部の筋横断面積の増加が走運動と比べて有意に大きかった(自転車 $+4.3 \pm 1.6\%$, 走運動 $+1.2 \pm 2.1\%$).**結論:** 5 分間の最大自転車運動では筋の酸素環境・代謝環境が大きく変化することが観察された.このような筋内環境の変化が筋肥大の誘発と関係している可能性がある.

キーワード: 自転車運動, 筋酸素化レベル, 代謝産物, 筋肥大

緒論

自転車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^(1, 2),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,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⁽³⁾.自転車運動はエキセントリック収縮の動作局面は極めて小さく,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,実際に自転車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は多い.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良く発達している.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,運動中に筋内が低酸素環境になること,乳酸や水素イオン等の代謝産物の多量の蓄積などの,酸素環境,代謝環境の大きな変化が筋肥大・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⁽⁴⁻⁶⁾.高強度の自転車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: 代謝物蓄積の浸透圧により血漿成分の筋組織への移動が起きていると考えられる⁽⁷⁾) 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.

自転車運動における筋の酸素環境,代謝環境等の筋肥大の刺激になる可能性の示唆される項目の一過性の応答の観察をすることを本研究の目的とする.

原稿受付 2011 年 6 月 13 日

1. 近畿大学生物理工学部 人間工学科, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

2. 順天堂大学スポーツ健康科学部, 〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1

1. 研究方法

1.1 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。

身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)	自転車 競技歴 (年)
174.1±3.3	66.7±3.4	20.0±1.4	6.2±1.1

表 1 被験者の身体的特性

平均±標準偏差を示す。N=5 名。

1.2 実験プロトコル

ロードレース用の自転車 (CAAD8, Cannondale 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 Drive Action, MINOURA 社, 日本) 上での 5 分間の最大自転車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ッ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⁽⁸⁾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。

図 1 実験概要図

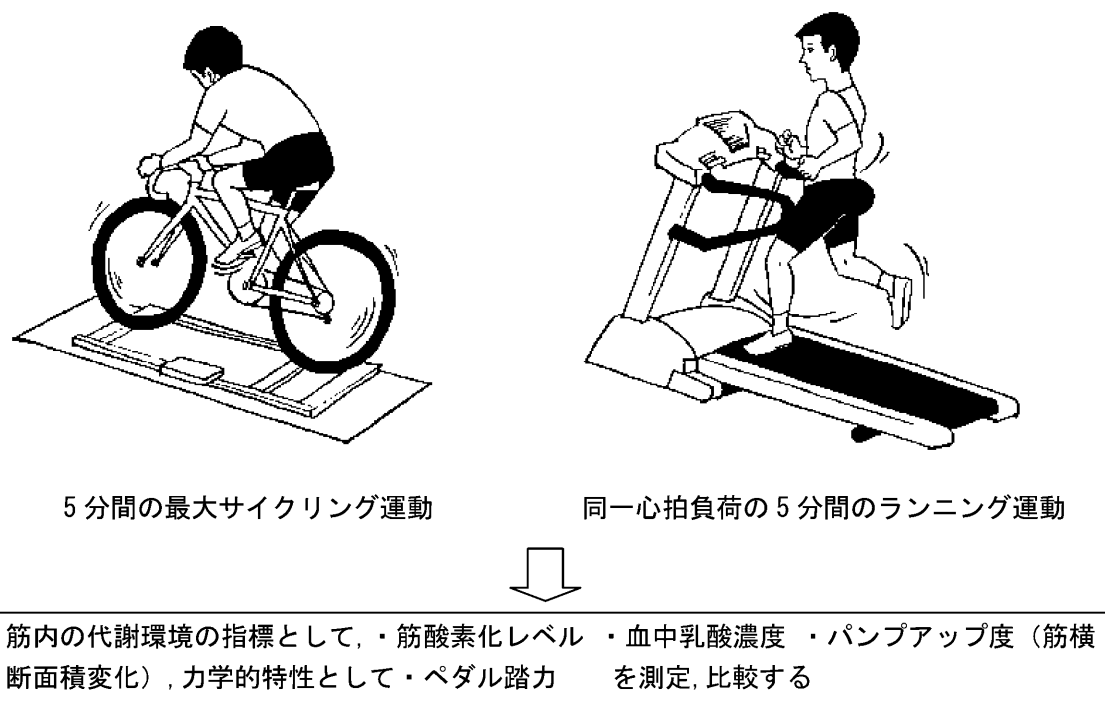


表 2 運動負荷強度

	1分	2分	3分	4分	5分
サイクリング					
ワット数 (Watt)	433±34	360±30	338±28	347±32	362±20
心拍数 (beat/min)	168±10	177±9	182±6	185±5	187±3
ランニング					
走速度(m/min)	262±9	284±9	300±13	309±10	309±10
心拍数 (beat/min)	164±6	173±6	179±4	184±4	186±5

平均±標準偏差を示す。

1.3 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、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% とする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⁹⁾。NIRcws の計測信号はデータ記録システム (Power Lab/16SP, AD Instruments 社 Australia) を介してパーソナルコンピュータに 2kHz で A/D 変換して取り込んだ。

1.4 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, アークレイ社 日本）を用いて測定した。

1.5 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 強調スピンエコー像を, 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。測定箇所は大腿骨外側上顆の 7cm 上部の水平面とし, 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部の大腿長の間接位置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。

1.6 ペダル踏力

自転車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) を介してパーソナルコンピュータに 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。

1.7 統計処理

各測定から得られたデータは平均値 \pm 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, 大腿部筋横断面積変化率, 大腿部周径囲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. 結果

2.1 筋酸素化レベル

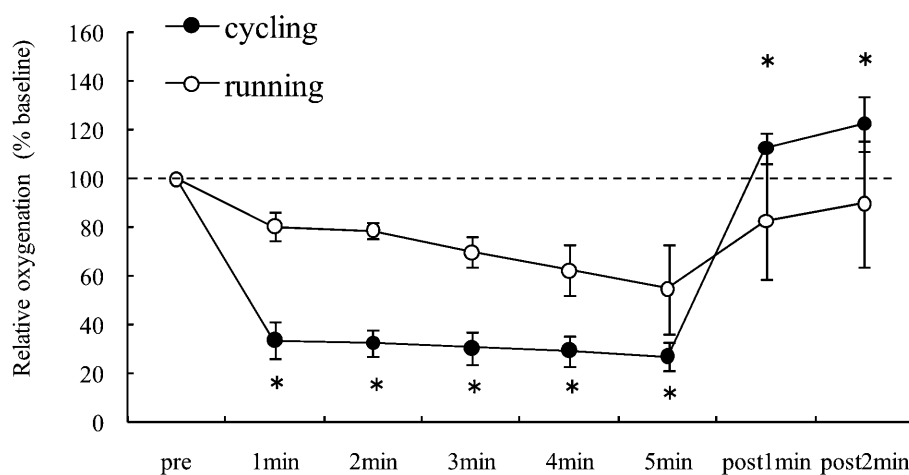
サイクリング運動, ランニング運動の運動中の筋酸素化レベルの時間変化を図 2 に, 運動中の筋酸素化レベル最低値および運動直後 2 分までの筋酸素化レベル最高値を図 3, 4 に示す。サイクリング運動は運動中に大きく筋酸素化レベルが低下し, 運動中の最低値は $26.6 \pm 6.4\%$ であった。また, 運動後は速やかに筋酸素化レベルが上昇し, 運動直後 2 分までの最高値は $124.1 \pm 8.2\%$ であった。

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程度が小さかった（最低値 $53.9 \pm 16.4\%$ 、最高値 $91.4 \pm 10.8\%$ ）。

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 2 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 3 運動中の筋酸素化レベル最低値

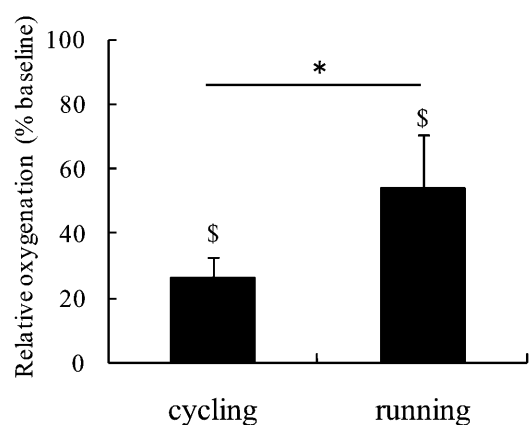
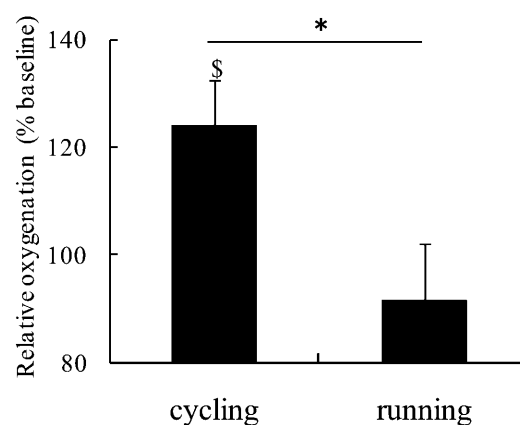


図 4 運動後 2 分までの筋酸素化レベル最高値



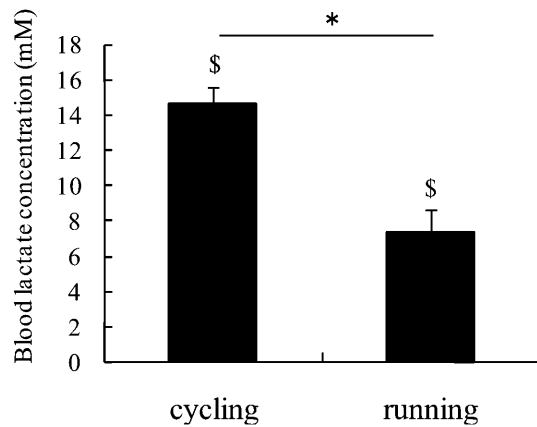
平均±標準偏差を示す。

\$: 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5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 $14.7 \pm 0.9 \text{mM}$,ランニング運動 $7.4 \pm 1.3 \text{mM}$) .

図5 運動終了5分までの血中乳酸濃度最高値



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 ($p < 0.05$)

1-3. 大腿部筋横断面積変化および大腿部周径囲変化

サイクリング運動,ランニング運動の運動前後の一過性的大腿部筋横断面積変化を図6に,大腿部周径囲変化を図7に示す.どちらの運動もともに運動前安静時と比べて,筋・骨横断面積,周径囲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横断面積,周径囲変化ともに有意に高い値を示した(筋横断面積変化率:サイクリング運動 $4.3 \pm 1.6\%$,ランニング運動 $1.2 \pm 2.1\%$,周径囲変化量:サイクリング運動 $1.2 \pm 0.3\text{cm}$,ランニング運動 $0.5 \pm 0.2\text{cm}$) .

図6 大腿部筋横断面積変化

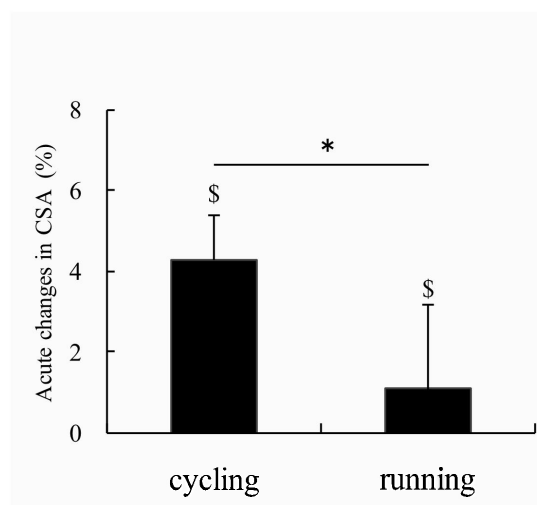
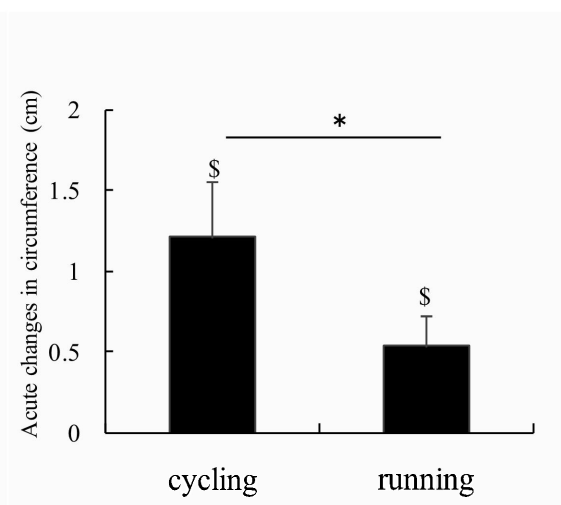


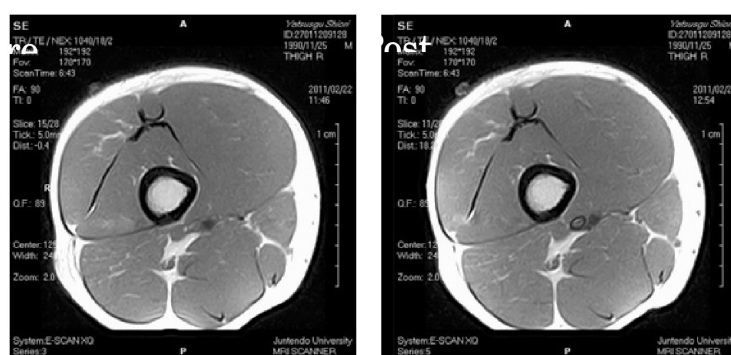
図7 大腿部周径囲変化



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8 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%)

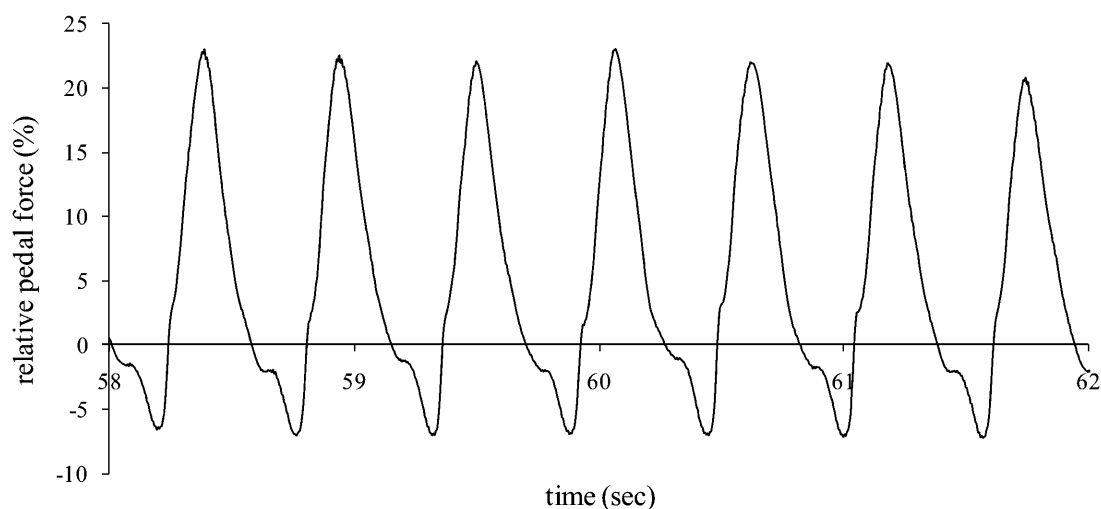
1-4. ペダル踏力

サイクリング運動中の1分ごとのペダル踏力を表3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9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3 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)	161.7±12.6	35.0±2.7	33.1±3.4	33.2±3.4	32.9±4.1	33.8±3.0
相対値 (%)		21.8±3.4	20.6±3.6	20.7±4.3	20.5±4.0	20.9±3.7

図9 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)



3. 考察

3.1 サイクリング運動と筋肥大を誘発する生理的メカニズムの推察

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% 1RM程度以上であり⁽¹⁰⁾、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。サイクリング運動は筋短縮速度が大きく力学的な仕事率は高いが、負荷はあまり大きくない。本研究における5分間の最大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20%MVC強程度であった。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⁽¹¹⁾。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^(4, 12)、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⁽⁹⁾。

3.2 サイクリング運動中の筋内の酸素環境

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⁽¹³⁾。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⁽¹⁴⁾。本研究の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 $26.6 \pm 6.4\%$ 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 $53.9 \pm 16.4\%$ とあまり低くなかった。

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⁽¹³⁾。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⁽¹⁵⁾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⁽¹⁶⁾、骨格筋の肥大にも関与している可能性がある。本研究の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 $124.1 \pm 8.2\%$ 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 $91.4 \pm 10.8\%$ であり、安静時と比べて有意差はみられなかった。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。

3.3 サイクリング運動中の筋内の代謝環境

加圧トレーニングやスロートレーニングでは筋内が低酸素状態となり、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いる。血中乳酸濃度が大きく増加すること、成長ホルモン、テストステロンの分泌亢進が観察されている⁽¹⁷⁾。乳酸等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⁽¹⁸⁾。本研究の5分間の最大サイクリング運動では、血中乳酸濃度が $14.7 \pm 0.9\text{mM}$ 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 $7.4 \pm 1.3\text{mM}$ 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⁽⁷⁾。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⁽¹⁹⁾。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横断面積が $4.3 \pm 1.6\%$ 増加し、周径は $1.2 \pm 0.3\text{cm}$ 増加した。周径の変化は加圧トレーニングの研究に近い値であった。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 $+1.2 \pm 2.1\%$ 、周径変化は $0.5 \pm 0.2\text{cm}$ 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。

3.4 パンプアップを誘発するコンセントリック動作競技

5 分間の最大サイクリング運動で大きく筋酸化レベルが低下し、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かない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ない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⁽²⁰⁾⁽²¹⁾、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返す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返すこと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プログラムでは 2-3 日間の休養を必要とされるが⁽²²⁾、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⁽²³⁾。

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。

4. 結論

5 分間の最大サイクリング運動では、筋内の酸素環境、代謝環境が大きく変化する。その動態は比較的軽負荷を用いて大きな筋肥大効果の得られる加圧トレーニングやスロートレーニングと類似している。短・中距離系の自転車サイクリング運動が筋に与えるこれらの刺激が、筋肥大・筋力増強を誘発する可能性が考えられる。

引用文献

1. Linossier, M. T., Dormois, D., Geyssant, A., and Denis, C. (1997) Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75, 491-498

2. Kaljumäe, U., Hanninen, O., and Airaksinen, O. (1994) Knee extensor fatigability and strength after bicycle ergometer training. *Arch Phys Med Rehabil* 75, 564-567
3. Kuipers, H. (1994) Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 15, 132-135
4. Takarada, Y., Sato, Y., and Ishii, N. (2002) Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 86, 308-314
5. Tanimoto, M., and Ishii, N. (2006) Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 100, 1150-1157
6. Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., and Fukunaga, T. (1998) Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77, 189-191
7. Ploutz-Snyder, L. L., Convertino, V. A., and Dudley, G. A. (1995) Resistance exercise-induced fluid shifts: change in active muscle size and plasma volume. *Am J Physiol* 269, R536-543
8. Margaria, R., Aghemo, P., and Rovelli, E. (1966) Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol* 21, 1662-1664
9. Bae, S. Y., Hamaoka, T., Katsumura, T., Shiga, T., Ohno, H., and Haga, S. (2000) Comparison of muscle oxygen consumption measured by near infrared continuous wave spectroscopy during supramaximal and intermittent pedalling exercise. *Int J Sports Med* 21, 168-174
10. McDonagh, M. J., and Davies, C. T. (1984) Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52, 139-155
11. LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T., and Lindstedt, S. L. (2003) Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *J Orthop Sports Phys Ther* 33, 557-571
12. Takarada, Y., Tsuruta, T., and Ishii, N. (2004) Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol* 54, 585-592
13. Tanimoto, M., Madarame, H., and Ishii, N. (2005) Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *Int J Kaatsu Training Reserch* 2, 53-58
14. Anderson, J. E. (2000) A role for nitric oxide in muscle repair: nitric oxide-mediated activation of muscle satellite cells. *Mol Biol Cell* 11, 1859-1874
15. Friedl, H. P., Smith, D. J., Till, G. O., Thomson, P. D., Louis, D. S., and Ward, P. A. (1990) Ischemia-reperfusion in humans. Appearance of xanthine oxidase activity. *Am J Pathol* 136, 491-495
16. Velarde, V., de la Cerda, P. M., Duarte, C., Arancibia, F., Abbott, E., Gonzalez, A., Moreno, F., and Jaffa, A. A. (2004) Role of reactive oxygen species in bradykinin-induced proliferation of vascular smooth muscle cells. *Biol Res* 37, 419-430
17. Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., and Ishii, N. (2000) Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 88, 61-65
18. Kraemer, W. J., and Ratamess, N. A. (2005) Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35, 339-361
19. 安部孝 (2005) 短期間で筋肥大・筋力増強をもたらす加圧トレーニングの魅力とその効果. トレーニング

科学 16, 199-207

20. Hill, A. V. (1964) The Effect of Load on the Heat of Shortening of Muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 159, 297-318
21. Alexander, R. M. (2002) Tendon elasticity and muscle function. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 133, 1001-1011
22. Atha, J. (1981) Strengthening muscle. *Exerc Sport Sci Rev* 9, 1-73
23. Abe, T., Kearns, C. F., and Sato, Y. (2006) Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* 100, 1460-1466

Acute changes in muscular oxygen and metabolic environment during 5minutes maximal cycling exercise

Michiya Tanimoto¹, Norio Saga², Shinichiro Murade², Shizuo Katamoto²

Background: Short to middle distance cycling race competitors have very huge thigh muscles. However, mechanical load in cycling is relatively low and cycling movement hardly have eccentric contraction phase which induce muscle micro damage enhancing muscular hypertrophy. Cycling exercise might have other factors except such mechanical factors. **Purpose:** Purpose of this study is investigating the acute changes in muscular oxygenation level and metabolic environment during 5 minutes maximal cycling exercise. These acute changes in muscle during exercise have possibilities to perform some roles of inducing muscular hypertrophy. **Method:** Five cyclists affiliated with the cycling club of Juntendo University performed 5 minutes maximum cycling exercise which simulates 4000 meter cycling race, and performed 5 minute treadmill running with same cardiorespiratory load (same hart rate) as cycling exercise. Treadmill running protocol was configured as comparison of cycling exercise. Thigh muscle oxygenation level, blood lactate concentration and thigh muscle pump-up level assessed by muscle cross sectional area (CSA) were measured during these two exercises. Muscle pump-up during exercise mainly reflects the volume of muscular metabolic sub-products accumulation. **Result:** Muscle oxygenation level during cycling exercise decreased drastically and significantly lower than that during treadmill running (cycling: $26.6 \pm 6.4\%$, running: $53.9 \pm 16.4\%$). CSA changing immediately after cycling increased potentially and significantly lower than that during treadmill running (cycling: $4.3 \pm 1.6\%$, running: $1.2 \pm 2.1\%$). **Conclusion:** 5 minutes maximum cycling exercise made drastic changes in thigh muscle oxygenation and metabolic environment. These changes in muscle have possibilities to perform some roles of inducing muscular hypertrophy.

1. Department of Biomedical Engineering, Kinki University, Wakayama 649-6493, Japan

2. Institute of Health and Sports Science & Medicine, Juntendo University, Chiba270-1695, Japan