
30秒間全力片脚Cycling後のRecovery 期間における運動様式が 筋酸素動態に及ぼす効果の相違について

伊藤 祐輝¹ 小泉 佳右² 徳部 則之³ 吉岡 伸彦⁴ 真鍋 求⁵ 藤田 幸雄⁴

¹船橋市役所健康福祉局 ²植草学園大学発達教育学部 ³千葉大学大学院人文社会科学研究所

⁴千葉大学教育学部 ⁵東京外国語大学

The different effects between the motion patterns in recovery period
on muscle oxygenation level after a 30 s exhaustive one-leg cycling

Hiroki ITO¹ Keisuke KOIZUMI² Noriyuki TOKUBE³

Nobuhiko YOSHIOKA⁴ Motomu MANABE⁵ Yukio FUJITA⁴

¹ Funabashi City Hall

² Faculty of Child Development and Education, Uekusa Gakuen University

³ Graduate School of Humanities and Social Sciences, Chiba University

⁴ Faculty of Education, Chiba University

⁵ Tokyo University of Foreign Studies

Abstract

We aimed at evaluating the differences in muscle oxygenation level (MOL) between the motion patterns of active recovery after an exhaustive one-leg cycling. Nine male subjects underwent two maximum 30 s bouts of one-leg cycling (Main Exercise 1 and 2: hereafter ME1 and 2), separated by a 10 min recovery period. The recovery conditions were workless active cycling (Active) or passive cycling (the leg was automatically moved: Passive), or sedentary control (Control). There was no significance in power output values in ME2 between the recovery conditions. No significant difference was found in blood lactate concentration values. The relative value of expired volume ($\dot{V}E$) during ME2 standardized by each preceding $\dot{V}E$ during ME1 was significantly higher in Active than that in Control ($122 \pm 13.8\%$ vs $103 \pm 12.7\%$ (Mean \pm SD)). The time course values of MOL in the latter half of ME2 showed almost all significantly higher values than ME1 in Active. In the recovery periods, the MOL values in Active were significantly lower than those in Control and Passive. The MOL in Active might indicate the improvement of the oxygen input flux especially the latter phase of ME2, concomitant with the elevated value of $\dot{V}E$.

I. 緒言

高強度運動実施後の回復促進手段として、比較的軽い負荷での運動 (Active Recovery) を用いることで、その後のパフォーマンスを改善させることが多くの研究で報告されてきた¹⁻⁴⁾。Bogdanisら²⁾は、2本の30秒全力Cycling運動の間に4分間のActive Recoveryをはさむことで、安静を保った場合に比べMean Power Outputが有意に高値を示し、またActive Recovery中および2本目において、安静に比べ酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) が有意に高値を示したことを報告している。また130% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動を1分間、3本繰り返した後4分間の安静維持とActive Recoveryを行い経過を観察したところ、血中乳酸濃度はActive Recovery条件において有意に低値を示したという報告¹⁾もあり、Active Recoveryの効果は、パフォーマンスの向上、血中乳酸の除去の促進、換気パラメータの亢進⁵⁾ が挙げられると考えられる。

ところで、Active Recoveryの多くは運動に用いた筋群において能動的に行われているが、これを受動的 (Passive) に行わせその効果を検証した研究がある。Journeayら⁶⁾は、70% $\dot{V}O_{2peak}$ 強度による15分間のCycling運動を行いその後PassiveおよびActive Recoveryを実施したところ、心拍出量、一回拍出量などにおいて安静維持に比べ有意に高い値を示したことを報告しており、受動的回復もActive Recoveryと同様の効果を得られる可能性が示唆されている。

しかしActive Recoveryに関する多くの先行研究において、酸素摂取動態の観察に関しては多くが全身性のものであり、筋組織の酸素摂取動態に関する研究は不十分であると考えられる。Active Recoveryでは生成された乳酸を有酸素性エネルギー代謝の中で代謝基質として利用する⁷⁾ことから、活動筋での酸素代謝動態を観察することは非常に有意義であると考えられる。

最近では、近赤外線分光法 (Near infrared spectroscopy: 以下NIRS) がスポーツ科学分野においても多くの研究に取り入れられるようになった^{4, 8-13)}。近赤外線分光法とは、生体内に波長の異なる

近赤外光を投射し、酸化・脱酸化ヘモグロビンの吸光度の違いを利用して、局所的な酸素動態を非侵襲的に測定できる方法である。これにより、従来から測定されてきた呼気ガスパラメータから得られる全身的な酸素摂取動態に加え、活動部位の酸素摂取動態を被験者に負担を課すことなく測定することが可能となり、活動筋の代謝動態の解明に有用であると期待されている。

本研究では、従来のActive Recoveryに加え、受動的 (Passive) な回復手段を用い、その様式の違いによる効果を換気諸パラメータ、パワー出力、筋電図等に加え、NIRSデータを測定することで全身および局所的な酸素摂取動態を観察し、その効果を検討することを目的として調査を行った。

II. 方法

運動負荷装置としてハイパワーエルゴメーター (竹井機器社製、T.K.K. 1254a) を用い、Recumbent方式により全力One-Leg Cycling運動を行えるように設置した。そのためエルゴメーターを油圧で高さの調節が可能な台の上に固定し、また被験者の上体をベルトでしっかりと固定できるよう加工された自動車用セパレートバケットシートを、別の油圧式の台に設置した。このことにより、被験者の大転子とペダルの回転軸が同じ高さになるように微調整を行うことが可能となった。

1. 被験者特性

被験者はC大学に所属し、スポーツ科学を専攻としている健康な男子学生9名であり、身長、体重、年齢の平均値および標準偏差はそれぞれ169.6 ± 5.65 cm、60.8 ± 3.89 kg、20.3 ± 0.603歳であった。測定脚となる巧緻脚はすべての被験者が右脚であった。被験者には事前に研究の目的・方法などを説明し、同意を得た上で協力を依頼した。

2. 実験プロトコルと測定項目

最初に座位安静状態を10分間維持させ、その後5分間のWarm-Up (W-up) をOne-Leg Cycling運動で行わせた (Fig. 1)。W-upに用いる強度は被験者の

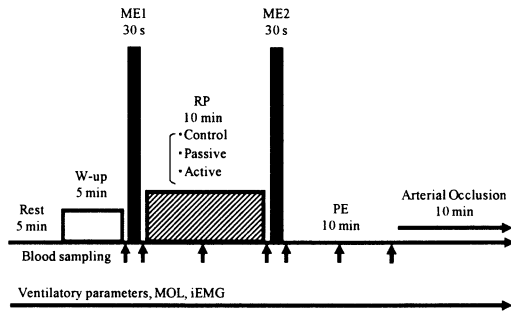


Fig. 1 Experimental protocol and measurement of main testing. W-up: Warming up period, ME1: Main Exercise 1, RP: Recovery Period, ME2: Main Exercise 2, PE: Post Exercise, MOL: Muscle Oxygenation Level, iEMG: integrated Elektromyogram.

体重 (kg Body Mass : 以下kgBM) あたり0.5 W (0.5 W / kgBM) とした。W-up終了後、1本目の30秒間全力One-Leg Cycling運動 (Main Exercise 1 : 以下ME1) を巧緻脚にて行い、その後10分間の回復期間 (Recovery Period : 以下RP) を設けた。用いたトルクは、予備実験段階において検討し、片脚で最大パワーを発揮するための最適値と考えられた2.35 J / revolution / kgBMとした。RP中、被験者には運動時と同じ姿勢での座位安静 (以下Control)、能動的なOne-Leg Cycling運動 (以下Active)、受動的なOne-Leg Cycling運動 (以下Passive) の3種類の回復手段を行わせた。この際Passiveではクランク軸が被験者の筋出力とは別の動力により回転する。Active、PassiveともRP時の回転速度は毎分60回転とした。RP終了後、2本目の30秒全力One-Leg Cycling運動 (Main Exercise 2 : 以下ME2) を行い、運動後の経過を観察するため10分間座位安静を維持させた (Post Exercise : 以下PE)。

被験者には呼気ガス採集用マスクを装着させ、呼気ガス分析器 (ミナト医科学社製AE-280) を用いて換気量、呼気および吸気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度を呼吸ごと (breath-by-breath) に測定し、換気特性諸パラメータを実験中連続的に算出した。心拍数 (Heart Rate : 以下HR) は胸部双極誘導による心電図法を用い、換気特性諸パラメータと同様に連続的に記録した。換気特性諸パラメータおよびHRはME1と2において得られたデータを5呼吸ごとに移動平均してピーク値を算出した。ME1と2において発揮されたパワーの推移は、A / D

コンバータを介してパーソナルコンピュータに取り込み算出した。またパワーの最大値 (以下Peak Power) および最小値を求め、パワー減衰率 (Fatigue Index : 以下FI) を算出した。

血中乳酸濃度は、W-up後、ME1終了後、RP開始5分後、RP終了後、ME2終了後、およびPE5分、10分に指尖から採血し、簡易血中乳酸測定器 (パナソニック四国エレクトロニクス (株) 製ラクテートプロLT-1710) を用いて測定した。ME1以降に得られた血中乳酸濃度の数値はそれぞれW-up後の値を減じ、血中乳酸濃度変化量 (以下 Δ [LA]) として示した。

筋電図は外側広筋 (Vastus Lateralis Muscle : 以下VL) から表面双極誘導法により導出した。電極は上前腸骨棘と外側上顆とを結んだ線分の長さを100%とし、その線上の外側上顆より40%の位置に、25 mm間隔で筋の走行方向と一致するように貼付した。不関電極を上前腸骨棘上にとり、皮膚抵抗が10k Ω 以下になるよう処置して記録を行った。筋電波形は (株) 日本光電社製プリアンプ (AB-621G) を用いて増幅し、High-Passフィルターの時定数は0.03秒とした。得られた信号はA / Dコンバータを介してパーソナルコンピュータに取り込み、Root Mean Square (RMS) 値を算出した。RMS値はMEを10秒間ごとの3つの期間にわけ (それぞれ前期、中期、後期とする)、それぞれの期間において算出した。この数値をIsometric収縮によるMaximum Voluntary Contraction (MVC) 時のRMS値で除すことにより、%RMS@MVCとして示した。

また、VLにおいてNIRSによる組織酸素飽和度 (StO₂) を測定した。測定にはPSA-IIIN (バイオメディカルサイエンス社製) を用い、筋電図測定用電極と同様に、大転子と外側上顆とを結んだ線の長さを100%とし、その線上の外側上顆より20%の位置に、専用プローブを貼付した。プローブは波長の異なる (700、750、830nm) 3種類の発光ダイオードによる発光部と、同一直線上に11および26 mm離れた場所にある受光部とで構成されている。この受発光部を結んだ線分と筋の走行方向が平行となるようプローブを貼付した。測定は2本のME開始か

ら終了までと、RPおよびPE中1分ごとに12秒間ずつ行った。なお筋酸化の定量化のため、動脈閉塞法を用いてキャリブレーションを行った。カフをプローブ貼付部位より近位側に装着し、約250 mmHgの圧力を加えて10分間の動脈閉塞を行うことにより得られた StO_2 の最低値を0%、安静時の値を100%とし (Fig. 2)、実験中得られたデータを相対値化して示した (Muscle Oxygenation Level: 以下MOL)。なお動脈閉塞はすべての運動プロトコル終了後に行った。

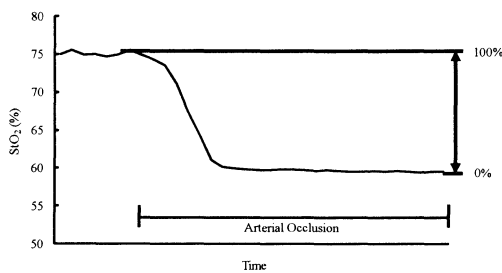


Fig. 2 Arterial Occlusion procedure for the determination of the standardized Muscle Oxygenation Level. StO_2 : Oxygen Saturation.

3. 統計処理

すべての結果は平均値±標準偏差 (Mean ± SD) で示した。統計処理には繰り返しのない二元配置の分散分析を用いた。分散分析の結果、群間に有意な差がみられた場合にはTukeyの方法による多重比較を行った。有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1. 発揮出力

Peak Power (Fig. 3) は、ControlではME1で 5.39 ± 0.615 W / kgBM、ME2で 5.43 ± 0.645 W / kgBM、ActiveではME1で 5.57 ± 0.604 W / kgBM、ME2で 5.52 ± 0.603 W / kgBM、PassiveではME1で 5.46 ± 0.650 W / kgBM、ME2で 5.66 ± 0.443 W / kgBMであり、各条件間および試技間に有意差は見られなかった。

FIは、ControlではME1で $45.6 \pm 13.0\%$ 、ME2で $39.8 \pm 10.4\%$ 、ActiveではME1で $44.8 \pm 5.64\%$ 、ME2で $35.7 \pm 10.3\%$ 、PassiveではME1で $37.4 \pm 7.83\%$ 、ME2で $36.0 \pm 11.0\%$ であり、各条件間に有意

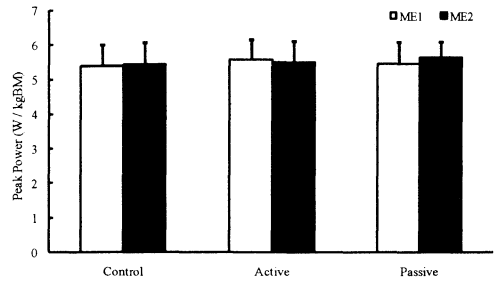


Fig. 3 Comparison of Peak Power standardized by each subject's body mass (kgBM).

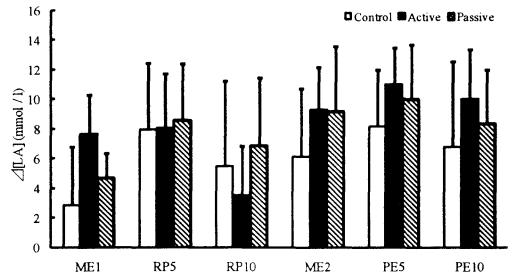


Fig. 4 Comparison of $\Delta[LA]$ at each time point.

差は見られなかった。

2. $\Delta[LA]$ および換気特性諸パラメータ

$\Delta[LA]$ (Fig. 4) はRP終了後において、Activeで最も低い値を示したが、各条件間に有意差は見られなかった (Controlで 5.46 ± 5.79 mmol / l、Activeで 3.52 ± 3.32 mmol / l、Passiveで 6.87 ± 4.58 mmol / l)。

分時換気量 (以下 \dot{V}_E) は、Control条件のME1で 1.34 ± 0.232 l / kgBM、ME2で 1.38 ± 0.267 l / kgBM、Active条件のME1で 1.32 ± 0.153 l / kgBM、ME2で 1.61 ± 0.234 l / kgBM、Passive条件のME1で 1.30 ± 0.459 l / kgBM、ME2で 1.42 ± 0.529 l / kgBMであり、各条件間に有意差は見られなかった。ME2で得られたデータをME1のデータで補正したところ (Fig. 5)、Controlでは $103 \pm 12.7\%$ 、Activeで $122 \pm 13.8\%$ 、Passiveで $109 \pm 6.73\%$ でControlとActive間に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。

HRの平均値は、ME1ではControlで 169 ± 15.9 beats / min、Activeで 162 ± 17.5 beats / min、Passiveで 160 ± 11.5 beats / minであった。ME2

ではControlで165 ± 14.9 beats / min、Activeで171 ± 17.1 beats / min、Passiveで167 ± 13.1 beats / minであり、Activeで他の条件より高い値を示したものの有意差は見られなかった。

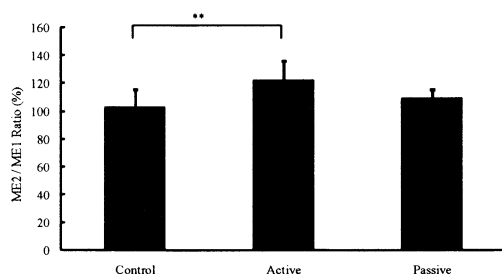


Fig. 5 Comparison of ME2 / ME1 ratio of VE between the resting conditions. **: p < 0.01

3. NIRSデータ

MOLを2秒ごとにサンプリングし、ME1とME2を比較検討した。Activeの結果をFig. 6に示した。ME1において、すべての条件で運動開始後4秒以降から低下を始め、10秒までほぼ直線的な低下傾向を示した。その後低下傾向はやや緩やかになり、運動開始後16秒までに最低値を示した。その後は運動終了まで微小な上昇を示した。条件間に有意な差は見られなかった。ME2においてもME1と同様の変化を示したが、開始直後の値はME2の方が高い値を示した (Controlにおいて0-2秒および2-4秒まで $p < 0.01$ 、Activeにおいて0-2秒まで $p < 0.01$ 、2-4秒まで $p < 0.05$; Fig. 6、Passiveにおいて有意差なし)。これにより、その後の低下はより急激であったが、Active条件においては16秒以降ME2の方がME1に比べ有意に高い値を示した (16-18、18-20、20-22、22-24および26-28秒で $p < 0.01$ 、24-26秒で $p < 0.05$)。

RPにおけるMOLをFig. 7に示した。RP中はすべての条件でほぼ定常状態を示した。ControlとActiveの条件間では1分、5分、6分、7分、8分および9分で $p < 0.01$ 、10分で $p < 0.05$ で有意にActiveが低値を示した。Control、Passive間には有意差は見られず、Active、Passive間では10分で有意にActiveが低い値を示した ($p < 0.05$)。

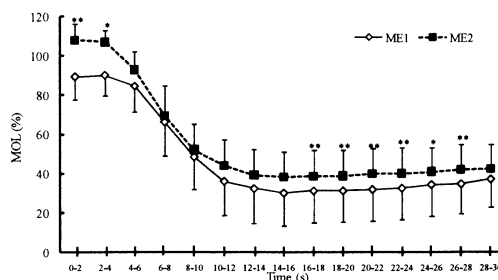


Fig. 6 Time course of Muscle Oxygenation Level in both ME1 and ME2 in the Active condition. **: p < 0.01, * p < 0.05

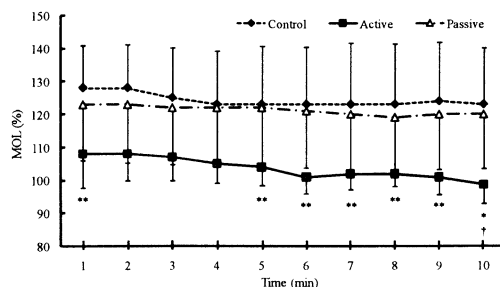


Fig. 7 Time course of Muscle Oxygenation Level in Control, Active and Passive during Recovery Period after ME1. * shows significant lower values of Active versus Control, † shows significant lower values of Active versus Passive. Two symbols show p < 0.01 and a symbol shows 0.05.

4. %RMS@MVC

ME2で得られたデータをME1のデータで補正して得られた値は、Controlでは前期で97.6 ± 7.52%、中期で103 ± 10.8%、後期で99.4 ± 13.2%であった。Activeでは前期で92.8 ± 10.1%、中期で91.7 ± 5.66%、後期で100 ± 6.37%であった。Passiveでは前期で98.1 ± 16.9%、中期で103 ± 4.54%、後期で103 ± 8.16%であった。他の条件に比べ、Activeの前期および中期において、他の条件より低い値を示す傾向が見られたが、有意な差は見られなかった。

また、総仕事 (Total Work: 以下TW) でRMS@MVCを除外し、試技間で補正を行った (%RMS@MVC / TW (ME2) / %RMS@MVC / TW (ME1))。中期および後期においてActiveが他の条件に比べ低い値を示したが有意ではなかった (中期ではControlで103 ± 1.3%、Activeで89.0 ± 5.28%、Passiveで100 ± 13.5%、後期ではControlで103 ± 19.5%、Activeで91.4 ± 10.4%、Passiveで98.8 ± 7.72%)。

三、考察

本研究は30秒全力One-Leg cycling運動において、能動的回復および受動的回復を用い、Recovery様式の違いによる影響を諸々のデータを用いて分析すること、また筋酸素動態に与える影響を調査した。特に膝関節伸展の主働筋の1つである外側広筋に注目し、NIRSや筋電波形の測定をこの筋腹部に集中させた。今回用いたOne-Leg Cyclingは通常の両脚を用いたCyclingと異なり、Active条件では動力源が常に同側の伸展/屈曲筋群に求められる。そのため特にRPにおいて他脚の働きの関与なくActiveとPassiveの比較が行えたものと考えられる。その結果、ME2で得られたMOLはME1のそれよりも高値を示す傾向が見られ、Activeにおいては16秒以降その差は有意であった。また、RP中ControlとActive間でActiveが有意に低値を示し、Passiveとの関係においても終盤に有意差が見られた。先行研究より、 StO_2 の変化には筋での酸素消費、筋血流量、血液の貯留、静脈還流量が影響すると考えられている¹⁴⁾。本研究において見られたME1からME2へのMOL増加傾向は、ME1での全力運動によって血液流入量が増加し、ME2におけるイニシャルレベルがより高まったため起こったと考えられる。特に、後半においてActiveでより顕著であったのは、RP中の運動によって他条件よりも酸素需要が増大したことが、細動脈の拡張や毛細血管床の増大等を引き起こしたため、血液流入量の増加がより著しくなり、筋内酸素消費との差が他条件に比べ小さくなったためと考えられる。

RP中ActiveはControlに比べ有意に低値を示し、PassiveではControlとほぼ差が見られなかった。Dupontら⁴⁾は、Active Recoveryをともなった疲労困憊に至るまでのIntermittent Exerciseを行ったところ、 StO_2 の平均減少率はPassive Recovery（ここでは安静維持の意味で使用されている）に比べ、有意に高い値を示したことを報告している。本研究においてRP中に認められたActiveのMOL低下は上記の研究を支持している。ME1の影響により、全条件で動脈血流入量は増加したと考えられるが、Activeでは、RP中の能動的運動により筋での酸素消費

が高まったため、組織内での酸素の抜き取りが他条件に比べ多く行われたことにより、RP中およびME2のイニシャルレベルが低い値を示したと考えられる。

また、先行研究においてPassiveでも心拍出量などが増大したという報告がなされている¹⁾。本研究では筋血流量の測定を行っていないためはっきりと言及できないが、先行研究の結果を踏まえて考えると、Passiveにおいても筋血流量は増大し、酸素消費も同様に上昇する可能性があるものの、その上昇幅はActiveと比べると小さいものであることと見積もることができる。その上で、RPおよびME2のイニシャルレベルにおいて、PassiveがControlよりも若干低値を示したことは、Passiveのような外部からの機械的刺激によっても、筋組織の酸素需要の増大を招来することができるとともに、筋ポンプ作用等による局所血流量の増大をもたらす可能性が考えられるところである。本研究ではMEおよびRP期間中のControlとPassiveの条件間に有意差は認められなかったが、先述した傾向をもつ平均値は示されていた。今後Passiveに関しては、実験プロトコルの見直しおよび筋血流量等の測定項目を追加することで、その効果を明らかにする今後の研究が望まれるところである。

$\Delta[LA]$ において、各条件間に有意差は見られなかったが、RP終了後の値はActiveが最も低い値を示した。またControl、Passive間に有意差は見られず、平均値もほぼ同様の値であり、Passiveで行われた受動的な運動では、Active Recoveryと同様の効果を示すに至らなかった。激運動後の動的回復によりエネルギー需要量が高まり、乳酸がより酸化基質として利用されるようになることは広く知られるようになってきている。本研究で見られたActiveでの $\Delta[LA]$ の低下は、能動的運動によるエネルギー需要の高まりによって、有酸素エネルギー代謝の中で乳酸を代謝基質として利用することによる乳酸除去の促進が行われたことで起こったものと考えられる。一方、運動後に安静状態を維持することで、必要となるエネルギー量は上昇せず、乳酸は非作業筋や多くの組織で酸化

されると考えられている¹⁵⁾。本研究において行ったPassiveは、外部からの動力による受動的運動であったため、能動的な筋のエネルギー産生は要求されない。よってエネルギー需要量はほとんど上昇せず、そのためControlと差が見られない結果となったと考えられる。これらの結果から、高強度運動により生成された乳酸の除去促進においても、能動的な動的回復であるActive Recoveryの効果が高いことが示唆された。

藤田ら⁵⁾はActive Recoveryの効果として換気パラメータの亢進、特にTotal CO₂excessの増大に着目した。血中乳酸濃度の上昇に伴い重炭酸系の緩衝作用が働くことがよく知られているが、これに伴い増大するTotal CO₂excessがActive Recoveryで受ける変化を分析することにより、 Δ [LA]測定よりも繊細なレベルで効果判定を行うことができ、換気パラメータを合わせ測定することの有用性が指摘されている。本研究においてもActiveのME2においてVEがME1に対し相対的に増加し、Passiveとの関係においてもActiveが高い平均値を示しPassiveに対しては有意であった。このことは先行研究における指摘を支持するとともに、 Δ [LA]測定で示された傾向をさらに裏打ちしエネルギー産生を伴う能動的運動の乳酸緩衝、基質利用効果における優位性を示すものと考えられる。

発揮出力に関するデータではFIがActiveにおいて平均値では低い値を示した。Average PowerにおいてもME2においてActiveで高い値が示された。Passiveはそれに準じた。また、%RMS@MVCをTotal Workで補正したデータのME2をME1で相対化した値(%RMS@MVC / TW (ME2) / %RMS@MVC / TW (ME1))は、中期・後期においてActiveが最も低い値を示した。Ahmaidiら³⁾は負荷を増加させながらの間欠運動においてActive Recoveryを行ったところ、6 kgおよび最大無酸素パワーに相当する負荷において平均出力が有意に高値を示したことを報告し、Bogdansら²⁾もActive Recoveryによってmean power outputが有意に上昇したことを報告している。本研究ではAverage Powerにおいて有意差は得られなかったものの概ね上記の先行研究を支持する結果とな

った。また、ActiveにおいてFIおよび%MRSの値がME2において相対的に低値を示したことは、RPにおける能動的な運動によって、筋温の上昇による筋の粘性抵抗の低下が起こり、筋線維動員数が他条件に比べ少なく済んだこと¹⁶⁾、それによりエネルギー効率の改善が起こり、引き続き高強度運動においてパワー発揮が容易になったことで他の条件より出力低下が抑えられたために起こった結果と考えられる。

V. 結論

本研究では、30秒全力片脚Cyclingにおいて、能動的回復および受動的回復を用い、Recovery様式の違いによる影響をNIRSデータ、発揮出力、換気特性諸パラメータ、[LA]、筋電図を用いて比較・検討した。これにより以下の結果が得られた。

1. ME2でMOLの値がME1に比べ有意に増加した。特にActive Recoveryを行うことで、ME2後半までその効果が持続した。
2. RP中のMOL においてActiveは、ControlおよびPassiveに比べ有意に低い値を示した。
3. RP中のMOL においてControlとPassiveとの間に有意差は見られなかった。

これらの結果より、高強度運動間において行う能動的回復(Active)では、活動部位における酸素消費量の増大および血液流入量の増加が起こり、引き続き高強度運動にその効果を反映させること、および、筋や腱の粘性抵抗低下による筋線維動員数の低下が起こることが示唆され、Active Recoveryの優位性が示された。

参考文献

- 1) Choi, D., Cole, K. J., Goodpaster B. H., Fink, W. J., and Costill, D. L.: Effect of passive and active recovery on the r

- esynthesis of muscle glycogen, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26, 992-996, 1994.
- 2) Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., Graham, C. M. and Louis, G.: Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 461-469, 1996.
 - 3) Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H. and Prefaut, C.: Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 450-456, 1996.
 - 4) Dupont, G., Moalla, W., Guinhouya, C., Ahmaidi, S., and Berthoin, S.: Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 302-308, 2004.
 - 5) 藤田幸雄, 輔野沙織, 小泉佳右: アクティブレストにおける運動様式が40秒間全力ペダリング運動のパフォーマンスと換気特性に与える影響, 日本体育学会第51回大会号, 218, 2000.
 - 6) Journeay, W. S., Reardon, F. D., Martin, C. R., and Kenny, G. P.: Control of cutaneous vascular conductance and sweating during recovery from dynamic exercise in humans, *J. Appl. Physiol.*, 96, 2207-2212, 2004.
 - 7) 八田秀雄: 運動中および運動後における乳酸の代謝, *Jpn. J. Sports Sci.*, 12, 767-772, 1993.
 - 8) Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., Wasserman, K.: Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise with near infrared spectroscopy, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70, 487-492, 1995.
 - 9) 岡本孝信, 増原光彦: 筋収縮様式の違いが大腿四頭筋の酸素動態におよぼす影響, *体力科学*, 47, 763, 1998.
 - 10) 黒田瑞城, 中村好男, 村岡功: 両脚および片脚運動による酸素摂取動態の比較, *体力科学*, 47, 838, 1998.
 - 11) 清水静代, 本間幸子, 加賀谷淳子: 片側および両側掌握運動に対する心拍量と活動体肢血流量の応答, *体力科学*, 50, 633-642, 2001.
 - 12) 谷代一哉, 坂元孝子, 石井友保, 鈴川一宏, 清田寛, 大和眞, 中野昭一: 膝伸展運動における筋収縮様式 - 速度が大腿部内側広筋の酸素動態に及ぼす影響について, *体力科学*, 50, 625-632, 2001.
 - 13) 小泉佳右, 都地大基, 藤田幸雄, 森本耕次, 村松成司: 足関節底屈運動におけるActive recovery部位の相違が筋酸素動態に与える影響, *千葉体育学研究*, 28, 21-30, 2003.
 - 14) 三浦哉, 荒木秀夫, 的場秀樹: 自転車こぎ運動時の外側広筋および腓腹筋外側部における酸素化と筋放電量との関係, *体力科学*, 48, 413-420, 1999.
 - 15) 八田 秀雄: 乳酸の代謝と「酸素」, *体育の科学*, 43, 350-354, 1993.
 - 16) 瀧澤一騎, 石井好二郎: ウォーミングアップ強度が高強度運動のパフォーマンスと酸素摂取動態、筋活動へ及ぼす影響, *日本運動生理学雑誌*, 12, 41-49, 2005.