HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	レペティション運動時の生理的，心理的反応
Author(s)	松浦，亮太；尾方，寿好；堀内，雅弘 他
Citation	日本生理人類学会誌，10(3)，123-128
Issue Date	2005-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/44195
Rights	日本生理人類学会．本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである．
Type	journal article
File Information	NSJG10-3_123-128.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Japan Society of Physical Anthropology

日本生理人類学会誌
Vol.10, No. 3, 2005年8月

研究報告

レペティション運動時の生理的，心理的反応

PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL RESPONSES DURING REPETITION EXERCISE

松浦亮太*1・尾方寿好*1・堀内雅弘*2・矢野徳郎*1

Ryouta MATSUURA, Hisayoshi OGATA, Masahiro HORIUCHI, Tokuo YANO

Abstract

The pu ose of this study was to examine if physiological and psychological responses would vary when the power output was maintained during repetition exercise. Healthy male subjects (n=8) performed ten sprint-sets including 10-s maximal pedaling followed consecutive active [170-s, 0 kilopond 60 revolutions per minute (rpm)] and passive recovery [180-s, on cycle ergometer]. Integrated electromyography (IEMG) and mean power frequency (MPF) of using the data of the EMG from vastus lateralis during 10-s maximal pedaling were determined. IEMG was divided by mean rpm exerted during 10-s maximal pedaling to give average rectified value (ARV). Maximal power output (MaxP) and mean power output (MeanP) during 10-s maximal pedaling remained unchanged from 1st to 10th set. Three parameters [arousal, concentration and motivation] of visual analog scale (VAS) were used for evaluating psychological response. The three parameters did not change. Blood lactate concentration (La) significantly increased ($P<0.05$). The ARV significantly decreased ($P<0.05$) whereas the MPF significantly increased ($P<0.05$). Therefore, it is concluded that physiological parameters changed in the repetition exercise established in the present study.

Keywords: Repetition exercise, Blood lactate concentration, Electromyography
レペティション運動，血中乳酸濃度，筋電図

1. 緒言

競技力向上のために様々なトレーニング方法が存在することはよく知られている．その一つにレペティショントレーニングがある．その負荷様式〔レペティション運動〕は比較的短時間での全力運動を，パフォーマンスを低下させないように完全休息を挟みながら間欠的に 3－10 回ほど繰り返すものである．この負荷様式ではクレアチンリン酸（PCr）や乳酸性エネルギー供給が主として利用されるので，PCr の最大容量や乳酸性エネルギー供給の最大パワー（単位時間当たりのエネルギー供給量の最大値）を増やすトレーニングとなる．しかし，レペティション形式の一過性の運動を生理学的に検討した研究は我々が知る限りない．これは，生理学的指標が毎回負荷後に完全に回復してしまうと考えているので，レペティション負荷時の生理学的応答が一回の負荷時のものと同じであると考えられているためであろう．

これに対して，休息時間が短いリピート負荷時の研究は今まで数多く行われてきている[2,3,4,6]．この負荷の繰り返し時には，血中乳酸濃度（La）の増加に伴う筋内 pH の低下，PCr 再合成の遅れなど生理的状態の変化が起こるので，負荷を繰り返すとパフォーマンスは低下する．最近，Ratel et al.（2002）[11] は，10 秒間の全力自転車運動を 5 分間の休息を挟んで 10 回繰り返すリピート負荷を実験に用いた．この研究では，発揮されるピークパワーは低下傾向を示すが有意ではなかった．よってこの負荷設定は，パフォーマンスが維持されるような負荷設定を考える上で基本的な土台となりうる．また，Ratel et al.（2002）[11] が用いた負荷設定では，20.4±0.8（平均±標準偏差）歳の 10 名の男性において，10 回目の負荷終了時の La が 10.7±3.1（平均±標準偏差）mmol・l^{-1} まで増加してい

*1 北海道大学　大学院教育学研究科　Graduate School of Education, Hokkaido University
*2 北海道浅井学園大学　人間福祉学部　School of Human Services, Hokkaido Asai Gakuen University

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Physical Anthropology

たことが報告されている．したがって，レペティション負荷時にもLaの増加が予測される．そこで，もしパフォーマンスが維持されているにもかかわらずLaの増加が見られる場合，Laの増加によるパフォーマンスの低下を補う他の要因があるのではないかと考えられる．

そこで本研究では，パフォーマンスが維持されているレペティション運動時において，生理的，心理的パラメーターが変化しているか否かを検討した．

2. 方法

2.1 被験者

被験者は健康な男子大学生水泳部員8人であった．彼らの年齢，身長，体重の平均値（±標準偏差値）はそれぞれ，20.6（±1.2）歳，172.5（±5.2）cm，68.9（±4.9）kgであった．実験に先立ち，全ての被験者に実験の趣旨，内容および危険性について十分な説明を行い，参加の同意を得た．また，本研究は北海道大学大学院教育学研究科の倫理委員会の許可を得た．

2.2 負荷方法

2.2.1 実験デザイン

実験は予備実験を1日，本実験を1日行った．予備実験と本実験は，少なくとも3日の間隔を空けて行った．各被験者において実験は1日1回とした．被験者が初回時に実験室を訪れた時，全力自転車運動に慣れる目的で本実験プロトコルの半分を予備実験として行った．本実験の初日に被験者の身体特性を記録，測定した．体重（BW）を，実験での負荷設定に利用した．各被験者には，実験前日の夜更かしと，実験24時間前から激しい運動や酒，カフェイン，刺激物の摂取は避けるように指示し，確認した．また，被験者の中に喫煙習慣のあるものはいなかった．

2.2.2 実験プロトコル

実験プロトコルの概要はFig. 1に示した．被験者は実験開始30分前に実験室へ到着し，その後，電極やガス分析器のマスクなどを取り付けた．取り付け後，被験者は自転車上で5分間安静にした．5分間の安静の後，被験者は各々のBW×7.5%に相当する負荷強度〔kp〕での10秒間全力自転車運動を行った．全力運動終了後から2分50秒間，軽運動として1分間に60回転の無負荷〔0kp〕自転車運動を行った．この軽運動は，高強度運動後に行われるクーリングダウンを想定した．軽運動終了後3分間は自転車の上で静的休息をとった．この全力自転車運動から静的休息までの一連のセットを合計10セット行った．全力自転車運動を10秒間，休息時間全体を約6分に設定したのは，先行研究[11]での結果を踏まえ，先行研究と同時間の全力運動をより長い休息時間で間欠的に繰り返すことでパフォーマンスを維持させようとしたからである．自転車全力運動はペダルが止まった状態からスタートした．10秒間に発揮されたピークパワーが最大パワーであるかどうかを確認するために，10セット終了後，10秒間の時と同じ負荷強度による30秒間の全力自転車運動（Wingate test）を行った．また，被験者がペース配分を考えると全力の発揮が妨げられてしまうので，被験者には行うセット数を知らせなかった．

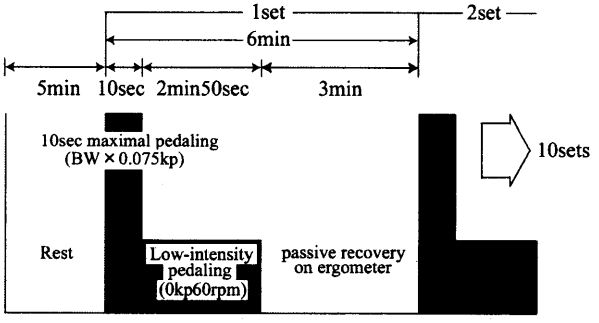

Fig. 1 Experimental protocol during repetition exercise.

2.3 測定項目と決定法

2.3.1 10秒間における最大パワー（MaxP）と平均パワー（MeanP）

本研究の運動には自転車エルゴメータ（Power max-VⅡ，Combi）を用いた．このエルゴメータは内蔵コンピューターで負荷と運動時間を設定できるもので，設定した時間内でのMeanPと1分間当たりに換算した回転数の最大値（MaxRpm）とを算出する．MaxRpmがディスプレイに表示される構造のため，それを被験者が確認することでパフォーマンス発揮を調整する可能性があった．そこで，ディスプレイに覆いをして予防した．フットペダルのトウクリップとベルトで足がペダルから外れないよう各被験者で調節した．自転車エルゴメータのサドルの高さは，フットペダルが最も低い位置に来た時被験者の膝がわずかに曲がる程度に各被験者において調節した．MaxPは，10秒間全力運動中に発揮されたMaxRpmと設定した負荷強度（F）から次式を用いて算出した．

$$MaxP\,〔watt〕 = (MaxRpm \cdot 6 \cdot F) \cdot 6.12^{-1} \quad — (1)$$

定数6はペダル1回転においてフライホイールが動かす距離（m），
定数6.12は単位をwattに変換するための値（kpm/min/watt）．

MeanPは，自転車エルゴメータの内蔵コンピューターのアルゴリズム（式2）より算出された値を用いた．また，式2から，1分間当たりに換算した10秒間全力運動中に

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Physical Anthropology

おける平均回転数（MeanRpm）を求めた（式3）.

$$MeanP\,〔watt〕 = (MeanRpm \cdot 6 \cdot F) \cdot 6.12^{-1} \quad — (2)$$

$$MeanRpm = MeanP \cdot 6.12 \cdot (6 \cdot F)^{-1} \quad — (3)$$

データ比較のため，MaxP，MeanPともに各被験者のBWで除したもの（MaxP・BW^{-1}，MeanP・BW^{-1}）を結果に用いた.

2.3.2 La

Laは，キャピラリーを用いて指先より微量（25μl）の血液を採取し，直ちにLactate Analyzer（1500Sport，YSI）により分析することによって求めた．較正は，標準液（5mmol・l^{-1}）によって測定前に行った．採血は運動前安静時，2，4，6，8，10セット目の軽運動終了直後の計6回行った．軽運動終了直後に測定したのは，次の運動前の回復状況を知るためである.

2.3.3 酸素摂取量（$\dot{V}O_2$）

$\dot{V}O_2$は呼気ガス分析器（Aeromonitor AE280-S，ミナト医科学）を用いてBreath-by-Breathに測定し，15秒毎の平均値を算出した．吸気および呼気流量は熱線流量計により計測した．流量計の較正には2lのシリンジを用いた．O_2およびCO_2濃度は，ジルコニア式O_2センサーおよび赤外線CO_2センサーを用いて計測した．これらのセンサーは，既知濃度の標準ガス（O_2：15.17%，CO_2：4.92%）を用いて測定前に較正した．測定は，運動前安静時，運動中，および運動後の回復期に連続的に行った.

2.3.4 表面筋電図（sEMG）

10秒間の全力自転車運動中におけるsEMG活動を，外側広筋（VL）から双極表面電極法により導出した．電極には銀-塩化銀電極を用い，膝蓋骨の上縁から近位15cmのVL筋腹中間位に電極間距離30mmで筋線維に沿って装着した．導出された電位は，生体アンプシステム（Biotex）により5－1000Hzでバンドパスフィルター処理し，増幅した．1000HzでA/D変換（Power Lab 8/s，AD Instruments）を行い，凡用パーソナルコンピュータに取り込んだ.

その後オフライン状態で解析ソフト（Acknowledge，BIOPAC Systems）を用い，10秒間の全力自転車運動中における平均パワー周波数(MPF)を1セット毎に算出した．また，sEMG信号を全波整流後に積分化し，対応するセットのMeanRpmで除して，1セット毎の平均整流筋電位(ARV)を算出した．MPF，ARVともに1セット目の値を100%とし，それ以降の値は1セット目の相対値で表した.

2.3.5 Visual Analog Scale (VAS)

心理的指標としてVAS（Fig.2）を用いた．アンケート調査はそれぞれの全力運動開始1分前の計10回行った．VASは7項目のものを用いたが，運動パフォーマンスと関連のある「たまらなく眠い-非常にすっきりしている」（Arousal），「まったく何もしたくない-やる気満々」（Motivation），「まったく集中できない-非常に集中できる」（Concentration）の3項目を結果に用いた．各項目の線上の左端を0cm，右端を10cmとし，被験者にはその時の自分の心理状況に該当する箇所に垂直に線を引いてもらった．1セット目の全力運動前の初期値を0とし，そこからの差分（⊿cm）を結果に用いた．1セット目の全力自転車運動1分前の初期値を0，2セット目の全力自転車運動1分前の値を1セット目の値として表した．Wingate testの1分前にはアンケートを行わなかったので，VASは初期値（0セット目）から9セット目までの間で決定されている.

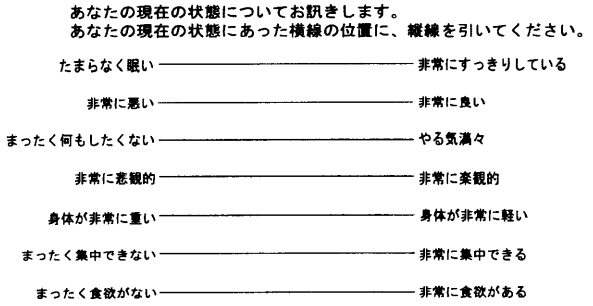

Fig. 2 Visual Analog Scale (VAS).

2.4 統計分析

結果に示したデータは全て平均値±標準偏差として示した．最初に，全ての値の推移に関して，一元配置の反復測定分散分析を用いて分析を行った．この検定で有意だった場合，Tukey-Kramerの多重比較を行った．また，二変量間の対応関係の強さはピアソンの相関係数により示した．統計的有意水準は危険率5%未満とした.

3. 結果

3.1 MaxP，MeanP

10セット終了後に行ったWingate testでのピーク到達時間は6.2±3.2秒であった．Fig.3にMaxPの推移とMeanPの推移を示した．MaxP，MeanPともに有意な減少，増加は見られなかった.

3.2 La

Fig.4にLaの推移を示した．安静時の値（Rest値）は1.04±0.32mmol・l^{-1}であった．2セット目の軽運動終了直後の値を2セット目の値，4セット目の軽運動終了直後の値を4セット目の値というように図に表した．LaはRest値に比べて2，4，6，8，10セット目の値に有意な増加が

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Physical Anthropology

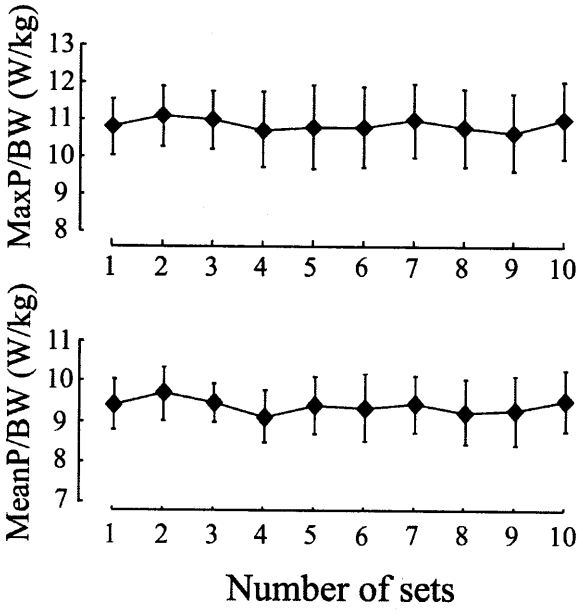

Fig.3 Development of MaxP (top) and MeanP (bottom) during 10 sec maximal pedaling.

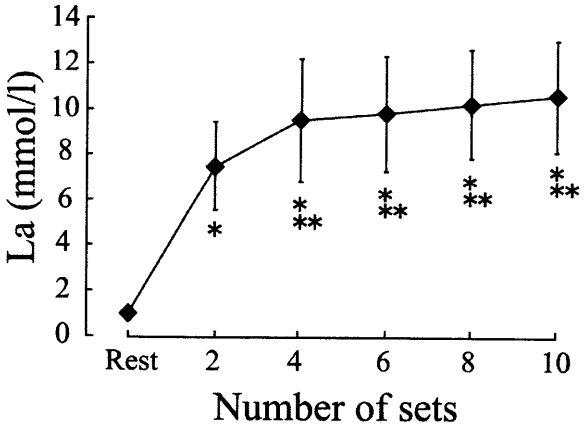

Fig.4. Changes in La during repetition exercise.
*: significantly different (P<0.05) from value at rest.
**: significantly different (P<0.05) from value of 2 set.

見られた．また，2セット目の値に比べて4，6，8，10セット目の値にも有意な増加が見られた．最終的にLaの値は10.62±2.47mmol・l^{-1}であった．

3.3 Mean$\dot{V}O_2$

次セットの全力運動に移る際の酸素負債を検討するために，それぞれの全力運動前1分間の平均値（mean $\dot{V}O_2$ during 1 minute before subsequent maximal pedaling: Mean$\dot{V}O_2$）を結果に用いた．1セット目の全力運動前の値をRest値，2セット目の全力運動前の値を1セット目の値，Wingate testの前の値を10セット目の値として表した．Fig.5に各全力運動前に得られたMean$\dot{V}O_2$の推移を示した．

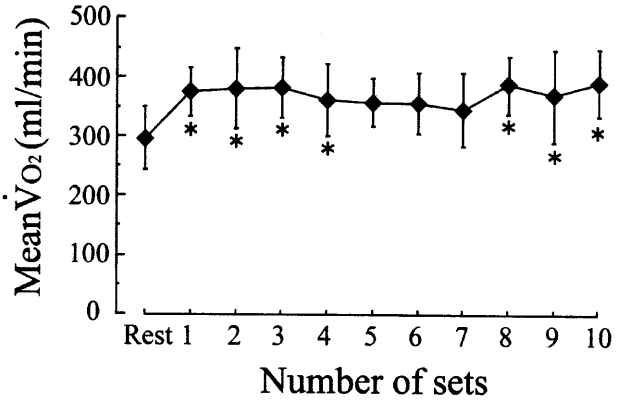

Fig.5. Changes in Mean$\dot{V}O_2$ during repetition exercise.
*: significantly different (P<0.05) from value at rest.

運動前安静時の値（Rest値）は297±52ml・min^{-1}であった．Rest値に比べて，5−7セット目以外の全ての値で有意な増加が見られた．Mean$\dot{V}O_2$は，1−10セット目の値にかけてほぼ同様の値で推移していた．また，Mean$\dot{V}O_2$は対応するセットのLaと有意な相関関係にあった（r=0.51，n=48，P<0.05）．

3.4 sEMG

Fig.6に，各全力運動中のARV，MPFの相対値の推移を示した．ARVは有意な減少を示し，MPFは有意な増加を示した．

3.5 VAS

Fig.7に，各全力運動開始前に得られたVASの結果を示した．Arousal，Concentration，Motivationの3項目において有意な差は見られなかった．

4. 考察

本研究の目的は，パフォーマンスが維持されるレペティション運動時において，生理的，心理的パラメーターが変化しているか否かを検討することであった．Wingate testでのピーク到達時間が10秒未満であったことから，各10秒間に発揮されたピークパワーは最大パワーであったといえる．その結果，レペティション運動として設定した10回の負荷時のパフォーマンス（MaxPとMeanP）は維持されていたが，生理的パラメーターではLaの増加とARVの低下およびMPFの増加が認められ，心理的パラメーターには変化が認められなかった．

St Clair Gibson et al.（2001）[13]では，被験者に自転車運動の走行距離やその距離の中に含まれるスプリント数をあらかじめ教えると，目的予期と呼ばれる神経制御システムが働き，たとえ被験者が意識的に最大努力で運動を行おうとも，無意識的にパワー発揮が制御される可能性

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Physical Anthropology

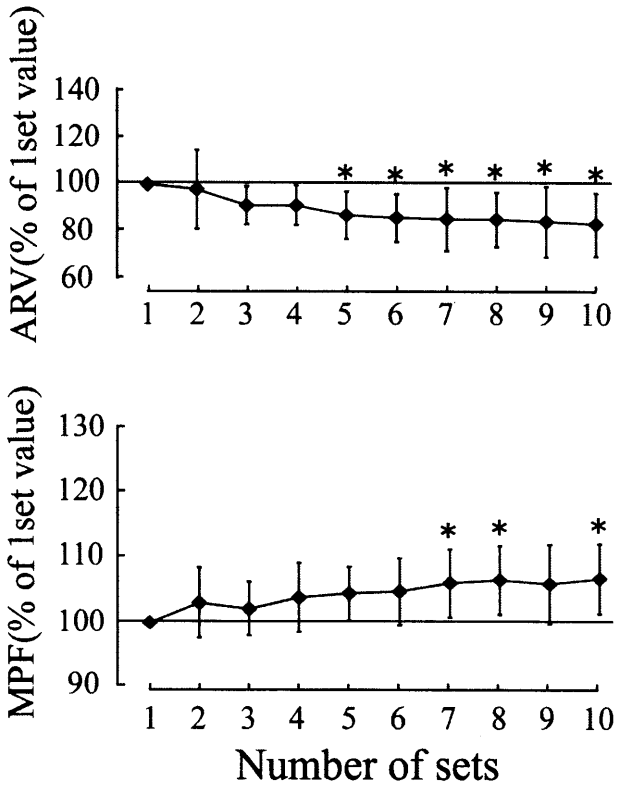

Fig.6. Changes in ARV (top) and MPF (bottom) during repetition exercise.
*: significantly different (P<0.05) from value of 1 set.

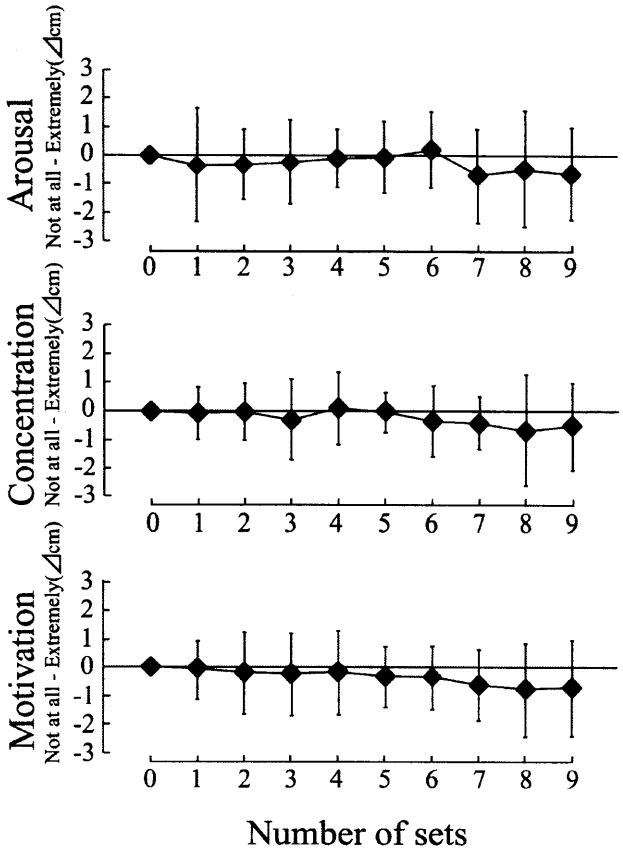

Fig.7. Changes in VAS (top: arousal, middle: concentration, bottom: motivation) during repetition exercise.

を報告している．そのため，本プロトコルでは被験者にあらかじめ繰り返し数を教えなかった．心理的反応の指標として用いたVASの結果（Fig. 7）は，どの項目においても有意な増加や減少を示していなかった．したがって，被験者が実験初期で努力をせず，力をためていたということはないと考えられた．

6－10秒間の全力自転車運動中におけるATP再合成の約40％が解糖系[4,6]，約30％がPCrにより[2,3]まかなわれているとされている．したがって，本プロトコルでは，PCrのみばかりでなく解糖系の関与があるものと考えられる．ただし，MaxPのような短時間に発揮される最大パワーを規定しているエネルギー供給源はATP-CP系である[10]ので，MaxPの維持にはPCrの再合成が重要な要因となる．

PCrがほぼ安静時の値に回復するのに要する時間が高強度運動後では6分である[1,7,8]とされているので，本研究においては回復時間を6分に設定した．しかし，Mean$\dot{V}O_2$がレペティション運動後まで安静時の値に戻らなかった（Fig. 5）．これは，乳酸性酸素負債に影響されているばかりでなく，PCrの回復の遅れによる影響も考えられる．なぜならば，本研究ではLaとMean$\dot{V}O_2$に有意な相関はあったものの，Laは漸次増加しているのに対してMean$\dot{V}O_2$は一度増加した後その値を維持していた．このことは，Mean$\dot{V}O_2$が乳酸性酸素負債のみでは完全には説明できないことを示しているからである．実際，LaがPCrの回復を妨げることも報告されている[12]ので，乳酸が高いときにはPCrは完全には回復していないかもしれない．したがって，本研究では，PCrの初期値がレペティション運動中に低下していたかもしれない．

全力運動後に軽運動を行うと，Laが静的休息時よりも有意に減少する[5,14]．本研究では，全力運動後に3分程度の軽運動を間欠的に導入した．これは時間の上では先行研究とほぼ同様の時間（3分×10＝30分）であった．したがって，静的休息時よりもLaの増加は少なくなると考えられる．しかし，軽運動を導入していない先行研究[11]と比べてLaに違いがないように感じられた（10.2±2.9mmol・l^{-1} vs. 10.7±3.1 mmol・l^{-1}，本研究 vs. 先行研究）．ただしこのことは，軽運動が筋中乳酸の蓄積を抑制する効果までもなかったと断言させる根拠とはならないであろう．

本研究で見られたMeanPの維持に重要な要因は解糖系である．解糖系の反応速度を決定する最も重要な酵素はホスホフルクトキナーゼ（PFK）である．解糖系の亢進は乳酸の蓄積につながる．細胞内で生成された乳酸はすぐに乳酸塩（NADH）と水素イオン（H^+）に分かれ，緩衝されたり細胞外へ放出されたりする．細胞の緩衝能力に対して産出されたH^+濃度が上回ると細胞内pHの低下を招き，興奮収縮連関の阻害，PFK活性の低下などによる解糖系の抑制，

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Physical Anthropology

筋小胞体のカルシウムポンプ作用の抑制による筋弛緩速度の低下が起こる[9]．動的休息を行うことで全力運動を行っていた筋群への血流量が増加し，血中への乳酸の放出と運動筋群での乳酸の消費が増加するため，La が高くても筋内 pH にあまり変化が起こらない可能性が報告されている[3]．しかし，本研究では La の値が漸次増加しており（Fig. 4），それに伴って筋内 pH が低下していると考えられる．このように La に関する初期条件はレペティション運動中に一定に保たれていなかったので，乳酸の初期値が各負荷時のパフォーマンスへ影響していた可能性が推察される．

sEMG は ARV が減少，MPF が増加を示していた（Fig. 7）．Stewart et al.（2003）[15] では，本研究と同様の sEMG の変化が発揮パワーを増加させることを報告している．もし，これと同様の効果が本研究のレペティション運動中で起こっているとすれば，La の増加によるパフォーマンスの阻害を筋電図に見られるプラス要因が補い，その結果，発揮パワーが一定に保たれていたと推測できる．

5. まとめ

従来，レペティション運動では生理学的指標が毎回負荷後に完全に回復し，生理学的応答が 1 回の負荷時のものと同じであると考えられてきた．しかし本研究では，レペティション運動中パフォーマンスは最大値のまま維持されるがそのパフォーマンスを発揮させる生理的状態は変化している，という仮説を立てそれを実証する実験を行った．

その結果，本実験で設定したプロトコルでは常に最大のパフォーマンスが維持されていたが，生理的状態を示すパラメーターである La の増加，ARV の低下および MPF の増加が確認された．よって，本研究で提起した仮説が実証されたといえる．

《参考文献または引用文献》

1) Arsac, L. M., et al. : Parameter estimation in modeling phosphocreatine recovery in human skeletal muscle. Eur. J. Appl. Physiol., 91 (1), 419－424, 2004
2) Bogdanis, G. C., et al. : Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. Eur. J. Appl. Physiol., 74 (5), 461－469, 1996
3) Bogdanis, G. C., et al. : Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. J. Appl. Physiol., 80 (3), 876－884, 1996
4) Bogdanis, G. C., et al. : Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. Acta Physiol. Scand., 163 (3), 261－272, 1998
5) Dodd, S., et al. : Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. J. Appl. Physiol., 57 (5), 1462－1465, 1984
6) Gaitanos, G. C., et al. : Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. J. Appl. Physiol., 75 (2), 712－719, 1993
7) Harris, R. C., et al. : The time course of phosphocreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. Pflugers Arch., 367 (2), 137－142, 1976
8) McCann, D. J., et al. : Phosphocreatine kinetics in humans during exercise and recovery. Med. Sci. Sports Exercise, 27 (3), 378－387, 1995
9) 宮村実晴：新運動生理学下巻，真興交易(株)医書出版部，227－237，2001
10) 宮下充正，石井喜八：新訂運動生理学概論，大修館書店，51－57，1983
11) Ratel, S., et al. : Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. Int. J. Sports Med., 23 (6), 397－402, 2002
12) Sahlin, K., et al. : Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. Scand. J. Clin. Lab. Invest., 39 (6), 551－558, 1979
13) St Clair Gibson, A., et al. : Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling. Am. J. Regulatory Integrative Comp. Physiol., 281 (1), R187－R196, 2001
14) Stamford, B. A., et al. : Exercise recovery above and below anaerobic threshold following maximal work. J. Appl. Physiol., 51 (4), 840－844, 1981
15) Stewart, D., et al. : The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in healthy humans. Eur. J. Appl. Physiol., 89 (6), 509－513, 2003

《連絡先》
松浦亮太
〒060-0811 北海道札幌市北区北 11 条西 7 丁目
北海道大学 大学院教育学研究科 運動生理学グループ
TEL：011-706-3422
E-mail：dj-ryota@edu.hokudai.ac.jp

(2005年2月1日受付，2005年6月17日採用決定，討論受付期限2006年8月末日)

NII-Electronic Library Service