
30秒間全力ペダリング運動におけるWarm-upの強度および 部位特異性の検討

藤田幸雄¹ 戸羽幸太¹ 小泉佳右² 真鍋求³

1 千葉大学教育学部 2 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科 3 東京外国語大学

An Investigation on Intensity and Specificity of the Warm-ups for 30-Seconds Maximum Cycling Exercise.

Yukio FUJITA¹ Kota TOBA¹ Keisuke KOIZUMI² Motomu MANABE³

1 Faculty of Education, Chiba University, 2 The United Graduate School of Education,
Tokyo Gakugei University, 3 Tokyo University of Foreign Studies

Abstract

It has been widely accepted that warm-up exercises improve the performances of both short intensive and long endurance exercise. Nevertheless, the relationship among the effectiveness and the parts of the muscles warmed up, and the warm-up exercise intensity has not been precisely investigated. We tested whether arm cycling warm-ups increased maximum leg cycling exercise performance, and compared this to the effectiveness of using leg cycling warm-ups.

Nine male students volunteered to participate in these experiments. Before the main experimental tests, each of them performed a ramp exercise test to estimate individual oxygen consumption level at ventilatory threshold ($\dot{V}O_2@VT$). Also prior to the main test session, we measured work rates which were equivalent to 25% and 50% $\dot{V}O_2@VT$ using arm cycling (Arm 25%, Arm 50%), and 50% and 100% $\dot{V}O_2@VT$ using leg cycling (Leg 50% and Leg 100%). After a 5 min resting period, the subjects performed the warm-up of which condition were chosen from 5 options; ①Arm 25%, ②Arm 50%, ③Leg 50%, ④Leg 100% and ⑤No warm-up (Rest). Following each warm-up, the subjects were requested to perform a 30-sec maximum cycling exercise (the Wingate Test: WT) with a torque load standardized for all subjects so that one pedal revolution equated to 4.41 joules (J) per kg Body weight (kgBw) (4.41 J / pedal revolutions (rev) / kgBw). Respiratory gas exchange variables ($\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}CO_2\text{excess}$ and Total $CO_2\text{excess}$) and heart rates (HR) were measured throughout the testing periods. The values of blood lactate concentration were measured at 1, 3, 5 and 10 min post-exercise (PE 1, 3, 5 and 10), and expressed as the differential (ΔLA) from the resting value.

The results were as follows:

1. The values of Peak power during WT were significantly higher in Leg 50% than those in Arm 50% ($p < 0.05$) and Arm 25% ($p < 0.01$). There were no significant differences in Total work during WT.
2. The peak HR values in Leg 100% during WT were significantly higher ($p < 0.01$) than those in other W-up conditions and Rest. The values in Leg 50%, Arm 50% and Arm 25% were also higher than Rest ($p < 0.01$, $p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). The HR in Leg 100% was significantly higher than other

conditions ($p < 0.01 \sim p < 0.05$) at PE 3, 5 and 10. There were no significant differences in $\dot{V}O_2$ during WT and at PE 1,3,5 and 10.

3. The $\dot{V}CO_2$ excess / kgBw in Leg 50% was significantly higher than in Arm 50% ($p < 0.01$) and Rest ($p < 0.05$) during WT. No significant differences in Total CO_2 excess / kgBw were found among the conditions.

4. There was no significant difference in ΔLA .

5. When we compared these 5 warm-up conditions making use of a parameter of $\dot{V}CO_2$ excess / Total work, Leg 50% was significantly greater than Arm 50% ($p < 0.05$) and Rest ($p < 0.05$).

In conclusion, this study provides two findings; 1), that the temperate warm-up on leg muscles improves the performance of intensive leg cycling exercise, while that on arm muscles does not influence the performance, and; 2), that the improvement seems to be related to an acceleration of the bicarbonate buffering system during the intensive exercise.

I. 緒言

従来、解糖-乳酸系のエネルギーを用いた無酸素性のミドルパワーを計測する上で、自転車エルゴメーターによる30秒間の全力ペダリング運動 (The Wingate Test: 以下WTと略称する) が幅広く用いられ¹⁻⁴⁾、その特性に関して様々な検討がなされてきた。一方、高いパワー発揮に先立ち筋や呼吸循環系の機能を整え、パフォーマンスの向上を目的とするWarm-up (以下W-upと略称する) の重要性は広く知られるところであり⁵⁾、スポーツ競技はもとより一般スポーツ活動場面でも種々のW-up方法が利用されている。

W-upが無酸素性のパフォーマンスに及ぼす影響に関しては多数の報告が認められる。古くAsmussenとBøje⁶⁾は4名の被験者を用いて660 mkg / minの強度 (著者注: 約108Wに相当する) において30分のW-upを行いこれが直腸温を上昇させるとともに、サイクリング運動では12~15秒程度ならびに4~5分程度の持続時間の双方でパフォーマンスタイムという指標においてW-upの効果があることを示している。InbarとBar-Or⁷⁾は7~9歳の少年を対象として、60% $\dot{V}O_2$ maxの強度での間欠的トレッドミル走を用いた15分間のW-up が直腸温を有意に上昇させるとともに、WTのパフォーマンスを有意に向上させたことを報告している。また、Hawleyら⁸⁾は被験者の主観的な強度3種 (「very, very light」、

「moderate」、「moderately heavy」) を用い8分間の漸増的なW-upを行わせた後のWTでは、peak powerやmean powerには差が認められなかったものの、peak powerからのパワー維持を示す尺度であるfatigue indexには、W-upなしに比べて有意に高い値がみられたことを報告している。

しかし、これらの調査ではW-up時の運動強度がすべての被験者で同一であったり、最大酸素摂取量に対する割合 (% $\dot{V}O_2$ max) や主観的な値で決定されているため、その強度での W-up 中における血中乳酸濃度の推移に関する情報が欠如していると思われる。乳酸定常状態が成り立つ運動強度の指標である換気性作業閾値 (Ventilatory Threshold: 以下VTと略称する) や乳酸性作業閾値等を基準としてW-up強度を個々の有酸素的代謝能力に応じて標準化した上でW-up強度の検討が望まれるところである。さらにW-upにおける運動強度と運動の種類を関連づけて比較して、パフォーマンスに対する影響や生理学的背景の検討をおこなう研究はまだ不十分であると思われる。

本研究では、W-up強度を相対的に均一にするためVTレベルにおける酸素摂取量 (以下 $\dot{V}O_2$ @VTと称する) を基準とし、この値に対する酸素摂取量の割合 (以下% $\dot{V}O_2$ @VTと略称する) によってW-up時の運動強度を設定した上で、運動強度と無酸素パワーの相違を調べることを第1の目的とした。さら

にW-up運動の部位特異性についての調査を、換気特性および血中乳酸濃度(以下LAと略称する)に着目して行うことを第2の目的とした。

II. 実験方法

1. 被験者

19~23歳の健康な男子大学生9名を被験者とした。各被験者の身体特性はTable 1の通りである。実験に先立ち測定内容とその危険性について十分に説明し、同意を得た上で協力を依頼した。

Table 1 Physical characteristics of subjects.

Subjects	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
F.N	19	174	68.2
K.S	21	167	62.1
W.S	20	168	63.4
T.M	19	175	71.7
T.K	19	166	65.0
Y.O	22	175	67.7
M.H	22	170	79.9
G.F	21	173	65.7
K.M	19	175	64.4
Mean±SD	20.2±1.30	171±3.71	67.6±5.44

2. 予備実験の測定手順

本実験に先立ち各被験者のVTを漸増負荷運動を用いて測定した。漸増負荷運動は自転車エルゴメーター(竹井機器社製ハイパワーエルゴメーター)を用いて、回転速度70 rpmで行わせた。運動プロトコルとして5分間の安静(騎座位安静)の後、初期負荷0.8 W / kgBwから漸増率0.3W / kgBw / minで、疲労困憊により運動の継続が困難になるまで行わせた。

各被験者にはテスト期間中を通じて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、換気特性を示す諸パラメーターを算出しVTを総合的に判定した。

上述の手順により測定された $\dot{V}O_2@VT$ と安静時の $\dot{V}O_2(\dot{V}O_2@Rest)$ を基準にして、W-up強度となる $25\% \dot{V}O_2@VT (=0.25 \times (\dot{V}O_2@VT - \dot{V}O_2@Rest) + \dot{V}O_2@Rest)$ と $50\% \dot{V}O_2@VT (=0.5 \times (\dot{V}O_2@VT - \dot{V}O_2@Rest) + \dot{V}O_2@Rest)$ を被験者ごとに算出、設定し、それらの $\dot{V}O_2$ が得られる定常負荷強度を、上肢を

用いた運動(Arm Cycling: 以下Armと略称する)においては $25\% \dot{V}O_2@VT$ および $50\% \dot{V}O_2@VT$ 、下肢を用いた運動(Leg Cycling: 以下Legと略称する)においては $50\% \dot{V}O_2@VT$ および $\dot{V}O_2@VT$ について実測した。なおW-up強度の運動はすべて60rpmにて行わせた。

3. 本実験の運動プロトコルと測定手順

W-upおよび30秒間全力ペダリングは、予備実験で用いた自転車エルゴメーターを用いて行った。負荷するトルクはペダル回転(pedal revolutions: 以下revと略称する)あたりの仕事量が被験者の体重(kg Body weight: 以下kgBwと略称する)あたり4.41J (4.41J / rev / kgBw)となるよう設定した。W-upはArmとLegの2種類を用い、それぞれ $25\% \dot{V}O_2@VT$ (以下Arm 25%と略称する)および $50\% \dot{V}O_2@VT$ (以下Arm 50%と略称する)と、 $50\% \dot{V}O_2@VT$ (以下Leg 50%と略称する)および $\dot{V}O_2@VT$ (以下Leg 100%と略称する)の強度で行った。運動プロトコルは5分間の騎座位安静後、4種類のW-upもしくは騎座位安静(以下Restと称する)を30分間行い、その後30秒間の全力ペダリング運動を行わせるものとした(Fig. 1)。試行ごとに行うW-upの種類はランダムに設定した。

テスト期間を通じて、前項と同一の手法により換気特性を示す諸パラメーターを算出した。また $\dot{V}CO_2$ から $\dot{V}O_2$ を引いた呼吸ごとの瞬時値を過剰二酸化炭素排出量($\dot{V}CO_2excess = \dot{V}CO_2 - \dot{V}O_2$)、運動開始からある時間までに排出された $CO_2excess$ の総量をTotal $CO_2excess$ と定義した。心拍数(Heart rate: 以下HRと略称する)は胸部双極誘導による心電図法を用い、安静時から運動終了後10分まで連続的に記録した。換気特性を示す諸パラメーターおよびHRのデータは、30秒間全力ペダリング運動中はbreath-by-breathで得られたものを5呼吸ごとに移動平均した上でピーク値を求め、運動後の安静時ではそれぞれ測定時点の前後15秒、計30秒間に得られた数値を平均化した。

30秒間でなされた総仕事(以下Total workと称する)およびパワーの推移は、パーソナルコンピュ

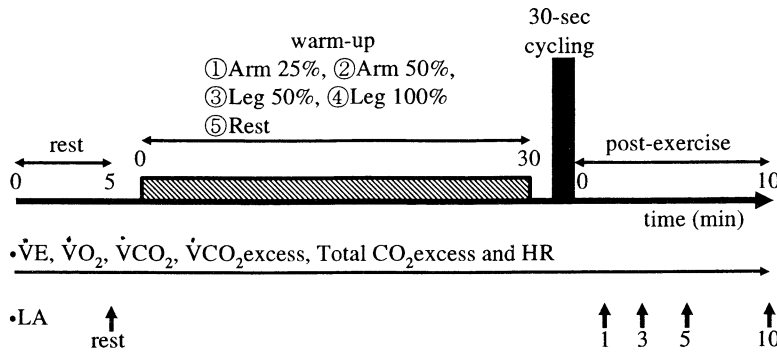


Fig. 1 The protocols and measurements performed by each subject. Subjects performed 30-sec maximum cycling with a load of 4.41 J / rev. / kgBw following the warm-up whose work rates were equivalent to 25% and 50% $\dot{V}O_2$ @VT using arm cycling, and 50% and 100% $\dot{V}O_2$ @VT using leg cycling (Arm 25%, Arm 50%, Leg 50% and Leg 100%, respectively), and no warm-up condition (Rest). Respiratory gas exchange variables ($\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}CO_2$ excess and Total CO_2 excess) and heart rates (HR) were measured throughout the testing periods. The values of blood lactate concentration (LA) were measured at rest and 1, 3, 5 and 10 min post-exercise (PE 1, 3, 5 and 10).

ーターに接続されたハイパワーエルゴメーター・パワーコントロールユニット（竹井機器社製）にて算出した。また、パワーの最大値（以下Peak powerと称する）から減少していくパワー出力を指数回帰することにより、パワー減衰の時定数（以下Time constantと称する）を算出した。

また、血中乳酸濃度を、5分間の安静後および30秒間全力ペダリング運動後1、3、5、10分に指尖から採血し、簡易血中乳酸測定器（㈱松下寿電子工業社製ラクテートプロLT-1710）を用いて測定した。運動後に得られた血中乳酸濃度の数値は、それぞれすべて安静時の数値を減じ、血中乳酸濃度変化量（以下 Δ LAと略称する）として示した。

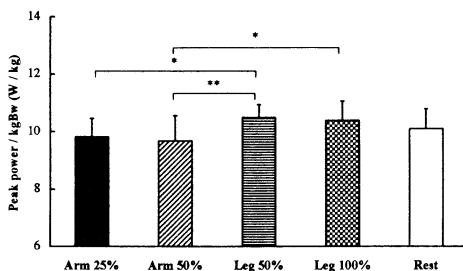


Fig. 2 Comparison of Peak power during 30 seconds cycling exercise following each warm-up(W-up) condition. Values are means (\pm SDs). (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

で最も高くArm 50%で最も低い値を示した ($p < 0.01$)。また、Leg 50%でArm 25%、Leg 100%でArm 50%よりも有意に高い値を示した（ともに $p < 0.05$ ）。Total work / kgBw (Fig. 3) はLeg 50%で最も高く、Arm 25%で最も低い値を示したが有意差は認められなかった。Time constantには有意な差が認められなかった。

2. 換気特性の諸パラメーターと Δ LAに関するデータ

W-up中のHRの値 (Fig. 4) は、Leg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に ($p < 0.01$) 高く、またArm 50%とArm 25%はRestに対し、Leg 50%はRestに対し、Arm 50%はArm 25%に対しそれぞれ

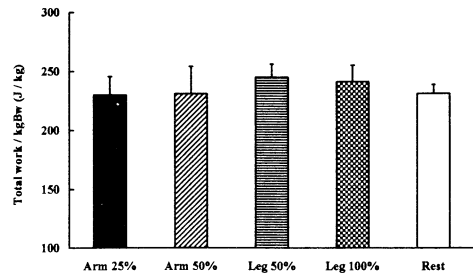


Fig. 3 Comparison of Total work during 30 seconds cycling exercise following each W-up condition. Values are means (\pm SDs). (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

4. 統計的処理

各値は平均値±標準偏差で示した。統計処理には、二元配置の分散分析を行い、群間で有意であったデータに関しては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. 実験結果

1. 出力に関するデータ

Peak power / kgBw (Fig. 2) はLeg 50%

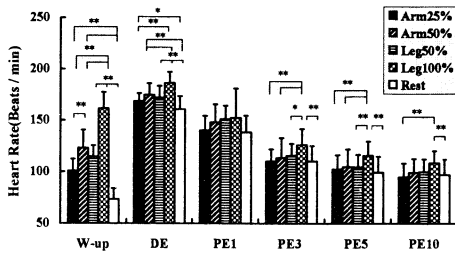


Fig. 4 Comparison of HR during W-up and 30 seconds cycling exercise (DE), and at 1 (PE 1), 3 (PE 3), 5 (PE 5) and 10 (PE 10) minutes after the exercise. Values are means (\pm SDs). (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$)

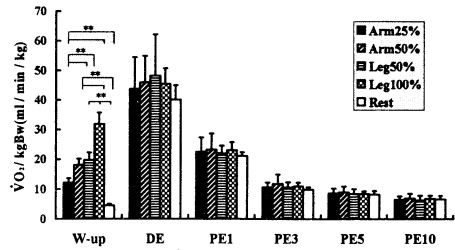


Fig. 5 Comparison of $\dot{V}O_2$ during W-up and 30 seconds cycling exercise (DE), and at 1 (PE 1), 3 (PE 3), 5 (PE 5) and 10 (PE 10) minutes after the exercise. Values are means (\pm SDs). (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$)

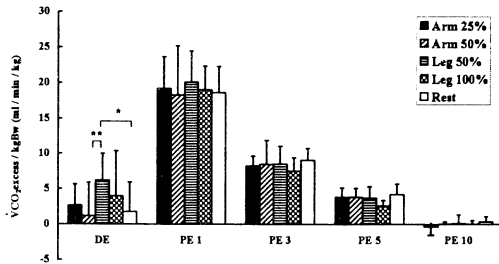


Fig. 6 Comparison of $\dot{V}CO_{2excess}$ / kgBw during 30 seconds cycling exercise (DE) and PE 1, PE 3, PE 5 and PE 10. Values are means (\pm SDs). (*, $p < 0.05$)

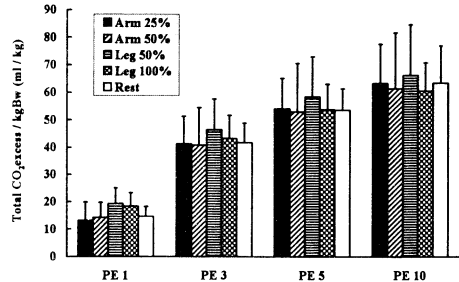


Fig. 7 Comparison of Total $CO_{2excess}$ / kgBw at PE 1, PE 3, PE 5 and PE 10. Values are means (\pm SDs).

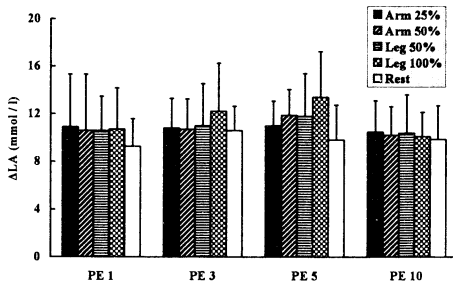


Fig. 8 Comparison of ΔLA at PE 1, PE 3, PE 5 and PE 10. Values are means (\pm SDs).

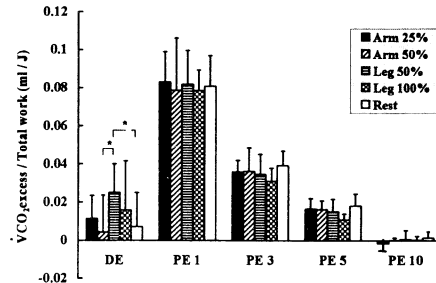


Fig. 9 Comparison of $\dot{V}CO_{2excess}$ / Total work during 30 seconds cycling exercise (DE) and PE 1, PE 3, PE 5 and PE 10. Values are means (\pm SDs). (*, $p < 0.05$)

有意に高い値を示した (ともに $p < 0.01$)。30秒間ペダリング運動中運動中 (During Exercise: 以下DEと略称する: 30分間のW-up終了前30秒間の平均値を代表値とした) では同じくLeg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に ($p < 0.01$) 高く、またLeg 50%、Arm 50%とArm 25%はRestに対し (それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.01$ と $p < 0.05$) 有意に高い値を示した。運動後 (Post Exercise: 以下PEと略称する) 1、3、5、10分目 (以下それぞれPE 1、3、5、10と称する) のデータについては、PE 1ではそれぞれの条件間に有意な差が認められなかったが、PE 3ではLeg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に (ともに $p < 0.01$ 、Arm 50%に対してのみ $p < 0.0$

5) 高い値を示した。PE 5でも同じくLeg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に (ともに $p < 0.01$) 高い値を示した。PE 10ではLeg 100%はRestとArm 25%に対し有意に高い値を示した (ともに $p < 0.01$)。一方、W-up中の $\dot{V}O_2$ の値 (Fig. 5) はArm 50%とLeg 50%間を除くすべての条件間の組み合わせにおいて、それぞれ有意な差 (ともに $p < 0.01$) が認められた。DEとすべてのPEにおいて、条件間に有意な差は認められなかった。

$\dot{V}E$ / kgBwは、DEおよびPE 1、3、5、10において有意な差は認められず、一定の傾向もみられなかった。 $\dot{V}CO_{2excess}$ / kgBw (Fig. 6) は、DEにおいてLeg 50%が、Arm 50%およびRestよりも有意

に高い値を示した(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。Total CO₂excess / kgBw (Fig. 7) ではPE 1、3、5、10を通じてLeg 50%で最も高い値を示したが、有意な差は認められなかった。ΔLA (Fig. 8) については、PE 3、5でLeg 100%が他群に比し高値を示したが、有意な差は認められなかった。さらに乳酸産生量に対する重炭酸系緩衝作用の比率の指標としてTotal CO₂excess / kgBw / ΔLAを算出し比較した。Leg 50%はPE 1、3、5、10において他群と比較し高い値を示したが、有意な差ではなかった。

また総仕事の数値が影響を与えると思われるいくつかのデータをその数値で補正し比較した。 $\dot{V}CO_2$ excess / Total work (Fig. 9) は、DEにおいてLeg 50%がArm 50%およびRestよりも有意に高値を示した(ともに $p < 0.05$)。Total CO₂excess / Total work はPE 1、3、5でLeg 50%が他群に比し高い値を示したが有意ではなかった。

IV. 考察

本研究では、30秒間全力ペダリング運動におけるW-upの強度および部位特異性について調査した。

30秒間全力ペダリング運動中のPeak power (Fig. 2) はLeg 50%でArm 25%およびArm 50%より有意に高い値を示した。またLeg 100%でArm 50%よりも有意に高い値を示した。またTotal work (Fig. 3) について有意差は認められなかったが、Leg 50%とLeg 100%では他の3者より高い平均値であった。Legが他の条件より高いという結果はAsmussenとBoje⁶⁾がおこなった12~15秒程度ならびに4~5分程度、またInbarとBar-Or⁷⁾およびHawleyら⁸⁾のWTで示したものと同傾向であった。これらの先行研究でもW-upの運動様式として主運動と同様のサイクリング運動を採用しており、本研究でおこなったLegで設定した条件と同等ととらえることができる。一方W-up強度と時間を比較すると、AsmussenとBoje⁶⁾の用いた660 mkg / min(約108W)で30分間やInbarとBar-Or⁷⁾の60% $\dot{V}O_2$ maxで15分間、またHawleyら⁸⁾が8分間の漸増強度で最後の1分間に用

いた「moderately heavy」に対し、本研究でLegで用いた強度は50% $\dot{V}O_2$ @VTおよび $\dot{V}O_2$ @VTで30分間というものであった。過去の報告においてはVTの概念を用いて運動強度が設定されておらず、本研究との比較を客観的に行うことは妥当性を欠くと思われるが、約108Wや60% $\dot{V}O_2$ max、「moderately heavy」、そして本研究で設定したVT強度とともに、主運動と同様式でW-upを数分~数10分行うことは、そのパフォーマンスを向上させる上で効果的であるという点で一致した結果となった。また本研究ではさらに弱い運動強度である50% $\dot{V}O_2$ @VTでもそのパフォーマンス向上効果があることを示したものと考えられる。もっともPeak powerにおける分散分析でW-upの条件間の差が有意ではあったが、多重比較による精査ではRestに対してはどのW-up条件でも有意ではなかった。Leg 50%はArm 50%に対し1%水準で有意に高いことから、W-up使用部位による差が生ずることは明白ではあるものの、今回示された有意差はLeg 100%とLeg 50%の値が高いことによりもたらされたのか、Arm 25%とArm 50%の値の低さによりもたらされたのかは判別できない。

W-up中のHRと $\dot{V}O_2$ には(Fig. 4、5)ほとんどすべてのW-up条件間の組み合わせにおいて有意な差が認められたが、これは今回のW-up強度の設定条件を反映した当然の結果であろう。またArm 50%とLeg 50%間においてはHRと $\dot{V}O_2$ のいずれにおいても差が認められなかったが、これも予備実験におけるVTレベルで標準化した強度設定が正確に行われていたことを裏付けるデータととらえることができる。

一方、DEでは $\dot{V}O_2$ に差が生じていないにも関わらずHRではLeg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に高く、またLeg 50%、Arm 50%とArm 25%もRestに対し有意に高い値を示した。Weinsteinら⁹⁾はWT直後のpeak HRやpeak LAの再現性が高いことを報告しており、本研究におけるDEでのHRの相違がW-up強度に関連していることは明らかであろう。この差異から、W-upはその後の激運動中の心拍数をW-upの運動強度を反映した形で高める効

果を有しているとともに、その際の運動様式には特に依存しないことが示されているものと考えられる。前述のようにArmによるW-upではPeak power やTotal workの増大は見られないことから、激運動前にHRと $\dot{V}O_2$ を高めておくことは全身循環系になんらかの直接的な効果を持つが、パフォーマンスの変化には直接関連するものではないことが示唆されよう。またLeg 100%ではPEにおいても継続的に高いHRを示した。VT以下の強度におけるW-upがPE 10でもなお $\dot{V}O_2$ の差がない状態でのHR上昇効果を持つことは興味深い。しかしながら ΔLA にも差が生じておらずまたLeg 50%ではこの傾向は見られていないため、多く有酸素系のエネルギー供給に依存するVT下レベルのW-upにおいて、50%と100%という強度の影響によりPEにおけるHRの差が生じた理由は特定できない。W-up強度をVTぎりぎりまで高めることにより、パフォーマンスの向上には反映しない全身循環器系における何らかの変化要因が生じたものと思われる。

このパフォーマンスの向上について、De Vries¹⁰⁾はW-upによる生理学的変化として筋温の上昇にともなう筋組織の弛緩、粘性抵抗の低下、ヘモグロビンとミオグロビン酸素供給能力の上昇、微小血管床の抵抗の減少等をあげている。本研究で示されたPeak power におけるパフォーマンスの向上は、W-upによって主動筋に筋温の上昇をもたらした筋の作業効率が改善されたためと考えられるが、拮抗筋の伸長性収縮の影響等も関連するため、この結果だけからではそのメカニズムを特定することは妥当ではない。また相対的にLeg 50%とW-up強度が同じでありW-up中のHRや $\dot{V}O_2$ にも差が認められなかったArm 50%では、全身の代謝を高める上では効果があるものの、直接的に主動筋に筋温上昇をもたらさず、パフォーマンス改善効果にはつながらなかったのであろう。

SmithとHill¹¹⁾は30秒間の全力ペダリング運動におけるエネルギー供給機構に関して、運動開始から5秒間はATP-PC系、運動開始10秒から15秒は解糖系、ラスト5秒は有酸素系の貢献が大きいと報告している。本研究ではPeak power の有意差に対し

てTotal work では差が有意でなかったこと、またTime constantにも有意な差がなかったことから、今回のW-upでは運動後半における末梢血流や組織酸素供給を増加させるといった有酸素系エネルギー供給に対しての効果よりも、運動初期における主動筋における無酸素系の酵素活性の亢進に多く依存していた可能性が考えられる。

解糖 - 乳酸系エネルギー供給機構で生成された乳酸は重炭酸系緩衝作用 ($[H^+] + [HCO_3^-] \rightarrow CO_2 + H_2O$) の動員により緩衝されるが、これにともなう過剰な二酸化炭素が排出され換気量を増加させる。そのため本研究では重炭酸系緩衝作用の動態を示す指標として $\dot{V}CO_2excess / kgBw$ 、Total $CO_2excess / kgBw$ および ΔLA を測定したわけである。その結果 $\dot{V}CO_2excess / kgBw$ (Fig. 6) およびこの値を体重あたりの仕事で除したパラメーターである $\dot{V}CO_2excess / Total work$ (Fig. 9) では、Leg 50%はDEにおいてArm 50%およびRestに対し有意に高い値を示したが、その積算であるTotal $CO_2excess / kgBw$ (Fig. 7)、さらには ΔLA (Fig. 8) では有意な差が認められなかった。

また体重あたりのTotal $CO_2excess$ を ΔLA で除したパラメーターであるTotal $CO_2excess / kgBw / \Delta LA$ は、重炭酸系緩衝能が有する乳酸緩衝機能全体に対しての貢献度を示す指標として用いられるが、この数値には有意な差が認められなかった。このため各試行を通じて重炭酸系緩衝能と非重炭酸系緩衝能の割合は一定であったと仮定することができよう。瞬時値である $\dot{V}CO_2excess / kgBw$ がDEにおいて、Leg 50%でArm 50%およびRestより有意に高い値を示したことは、運動開始直後よりLeg 50%では乳酸緩衝作用全体が高く働く状態が保たれていた可能性を強く示すものである。しかしながらPE 1、3、5、10では一定傾向はなく、このことが運動中、運動後を含んだ積算値であるTotal $CO_2excess / kgBw$ の傾向につながったものと考えられるので、W-upによる乳酸緩衝作用亢進の効果は運動中に限定されていたことが推察されるが、その理由は不明である。

Costillら¹²⁾は血中の重炭酸イオン濃度が高い場

合において、激運動のパフォーマンスはその直接的な効果により向上することを報告している。本研究においてLeg 50%において見られたDEでの $\dot{V}CO_2excess / kgBw$ が高い状態は、運動中に血中重炭酸イオン濃度が低下することを妨げる方向に働いたものと思われる。このことによりパフォーマンス全体が改善される可能性が考えられるところであるが、有意差が示されたのは比較的乳酸緩衝作用の影響を受けにくいと思われる運動初期に現れるPeak powerだけであり、Total workの差としては検出できなかった。今後さらに主運動の様式、強度、継続時間等とW-upの効果について、パフォーマンスや呼気ガスパラメーター等との関連を精査してゆく必要があるものと思われる。

以上のことから、下肢による30秒間ペダリング運動を主運動とした場合において、同部位を使用したVT以下の強度でのW-upは、それ以外の部位を使用した場合と比較して主運動のパフォーマンス、特にPeak powerを改善させること、そしてその効果は、W-up直後である主運動中において亢進する重炭酸系緩衝能と関連している可能性が示された。またW-upはパフォーマンスに関連しない主運動中のHRの上昇を、W-upの運動様式には依存せずもたらすことが明らかになった。

V. 要約

本研究では、30秒間全力ペダリング運動におけるW-up強度および部位特異性についてパワー出力や換気特性に着目してその相違を調査した。その結果は以下の通りである。

1) Peak powerはLeg 50%がArm 50% ($p < 0.05$) およびArm 25% ($p < 0.01$) よりも有意に高い値を示した。Total workには差が認められなかった。

2) HRはDEにおいてLeg 100%が他のW-up条件に対しそれぞれ有意に ($p < 0.01$) 高く、またArm 50%とArm 25%はRestに対し (それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)、Leg 50%はRestに対し有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。PE 3ではLeg 100%が他の条件に対しそれぞれ有意に (ともに $p < 0.01$, Arm 50% に対してのみ $p < 0.05$) 高い値を示した。これら

はPE 5、10でも同傾向であった。一方 $\dot{V}O_2$ はDEとすべてのPEにおいて、条件間に有意な差は認められなかった。

3) $\dot{V}CO_2excess / kgBw$ はLeg 50%でArm 50% ($p < 0.01$) およびRest ($p < 0.05$) よりも有意に高い値を示した。Total $CO_2excess / kgBw$ については各W-up間に有意な差が認められなかった。

4) $\Delta[LA]$ には差が認められなかった。

5) $\dot{V}CO_2excess / Total work$ で各条件を比較すると、Leg 50%でArm 50% ($p < 0.05$) およびRest ($p < 0.05$) よりも有意に高い値を示した。

以上のことから、主運動と同一の部位を用いたW-upを行うことは、それ以外の部位を用いたW-upと比較して、主運動のパフォーマンスを向上させるとともに、重炭酸系緩衝作用の亢進を生ずることが示された。またW-upはパフォーマンスに関連しない主運動中のHRの上昇を、W-upの運動様式には依存せずもたらすことが示唆された。

VI. 参考文献

- (1) Maud, P. J. and Shultz, B. B.: Norms for the Wingate anaerobic test with comparison to another similar test, Res. Q. Exerc. Sport, 60(2), 144-51, 1989
- (2) Inber, O., Bar-Or, O. and Skinner, J. S.: The Wingate Anaerobic Test, 1-40, Human Kinetics, Illinois, 1996
- (3) Jacobs, I., Tesch, P. A., Bar-Or, O., Karlsson, J. and Dotan, R.: Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise, J. Appl. Physiol., 55(2), 365-7, 1983
- (4) Patton, J. F., Murphy, M. M. and Frederick, F. A.: Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test, Int. J. Sports Med., 6(2), 82-5, 1985
- (5) 形本静夫: ウォーミングアップの生理学, Jpn. J. Sports Sci., 7, 620-627, 1988
- (6) Asmussen, E. and Bøje, O.: Body temperature and capacity for work, Acta Physiol. Scand., 10, 1-22, 1945

- (7) Inbar, O. and Bar-Or, O.: The effects of intermittent warm-up on 7-9 year-old boys, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 34(2), 81-89, 1975
- (8) Hawley, J. A., Williams, M. M., Hamking, G. C. and Walsh, R. M.: Effects of a task-specific warm-up on anaerobic power, *Br. J. Sports Med.*, 23(4), 233-6, 1989
- (9) Weinstein, Y., Bediz, C., Dotan, R. et. al.: Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test, *Med. & Sci. in Sports & Exer.*, 30(9), 1456-60, 1998
- (10) De Vries, H. A.: *Physiology of exercise for physical education and athletics.* 4 th ed., 487-500, W. C. Brown, Iowa, 490-501, 1986
- (11) Smith, J. C. and Hill, D. W.: Contribution of energy systems during a Wingate power test., *Br. J. Sports Med.*, 25(4), 196-199, 1991
- (12) Costill, D. L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E. and Fink, W.: Acid-base balance during repeated bouts of exercise: Influence of HCO_3^- , *Int. J. Sports Med.*, 5(5), 228-231, 1984