

ペダリング運動における間欠的的最大無酸素パワーと換気特性の関係

大澤弘幸¹ 小泉佳右² 藤田幸雄³

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

Relationships between intermittent maximum anaerobic power and ventilatory characteristics on pedaling exercise

Hiroki OHSAWA¹ Keisuke KOIZUMI² Yukio FUJITA³

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

Abstract

The purpose of this study was to estimate the kinetics of bicarbonate buffering system of lactic acid on intermittent sprint pedaling exercises using two different torque loads. Eight male well trained subjects, aged 19 - 23 years, volunteered to participate in this study. The subjects performed sequential 4 bouts of sprint pedaling exercises making use of the torque loads which were standardized for all subjects such that one pedal revolution resulted in 4.41 and 2.21 joules(J) per kg Body weight (kgBw) (4.41 J / pedal revolutions (rev) / kgBw and 2.21 J / rev / kgBw) for 10 seconds, separated by each 30 seconds interval period. The work done and the power output was measured for each trial. The expired air gas variables were measured throughout the testing periods. Blood samples were collected from a fingertip for blood lactate determination (Δ LA). The results were as follows:

1) The values of 4.41 J / rev / kgBw were significantly higher than those of 2.21 J / rev / kgBw in each work, Total work (the summation of 4 bouts) and Peak power, respectively.

2) Significant differences were not found in Δ LA.

3) The average values of $\dot{V}E$ / kgBw, $\dot{V}O_2$ / kgBw, $\dot{V}CO_2$ / kgBw and HR during sprint pedaling showed a tendency to be higher in 4.41 J / rev / kgBw than in 2.21 J / rev / kgBw, although significant difference was seen only in $\dot{V}E$ / kgBw.

4) The values of Total CO_2 excess per body weight (Total CO_2 excess / kgBw) at 1, 3, 5 and 10 minutes after the end of the exercise (from the beginning of the exercise) were not significantly different between two loads. The values of Total CO_2 excess / kgBw / Δ LA at 1, 3, 5 and 10 minutes after the end of the exercise were not significantly different between two loads.

5) The values of 4.41 J / rev / kgBw were significantly higher than those of 2.21 J / rev / kgBw in Δ LA / Total work / kgBw at 1, 3, 5 and 10 minutes after the end of the exercise. The values of 2.21 J / rev / kgBw were significantly higher than those of 4.41 J / rev / kgBw in Total CO_2 excess / Total work at 1, 3, 5 and 10 minutes after the end of the exercise.

From these results, it is concluded that the efficiency to utilize the bicarbonate buffering system is higher when the intermittent maximum pedaling exercises are undertaken against a higher torque (4.41 J / rev / kgBw) than to lower one (2.21 J / rev / kgBw).

I. 緒言

スプリント競技などのような短時間しか持続できない高強度な運動時において、主要なATPの再合成はクレアチンリン酸の分解と解糖系の作用に大きく依存することは広く知られている。特に運動継続時間が数秒程

度を越えたり、間欠的に繰り返されるような場合には、解糖系の再合成能力が重要な因子となる。

筋組織内で解糖系によるATPの再合成が一定以上に亢進すると乳酸が産生され、その乳酸からは同等モル数の H^+ が遊離されるため筋組織内のpHが低下す

る。この pH の低下により筋小胞体からのカルシウムイオン (Ca^{2+}) の放出低下が生じ、筋の収縮力の低下を招く。このため H^+ の緩衝作用、とりわけ重炭酸系緩衝作用が重要となることが知られている。また、この作用にともなう二酸化炭素の過剰排出は“ CO_2excess ”と呼称され、重炭酸系の緩衝作用の程度を知る重要な手がかりとなる¹⁾。

これまでの二酸化炭素過剰排出に関する研究では、定常負荷運動によるもの²⁾³⁾⁴⁾、漸増運動によるもの⁵⁾⁶⁾、筋内 pH の低下との関係をみたもの⁷⁾、トレーニングの影響を調べたもの⁸⁾、運動による血中乳酸濃度の増加量 (ΔLA) に対する体重当たりの二酸化炭素過剰排出量の比率 ($\text{CO}_2\text{excess} / \text{kgBw} / \Delta\text{LA}$) を用いて持久性パフォーマンスについて検討したもの⁹⁾ などがあるが、乳酸を緩衝する能力の影響をより強く受けると思われ、多くの競技スポーツ種目において多くの局面で生じる運動形態である、間欠的な短時間の全力運動について検討したものは見あたらない。

そこで本研究では、間欠的に持続する 10 秒間の全力ペダリング運動について、乳酸の重炭酸系緩衝作用に着目してその動態を観察するとともに、2 種類のトルク負荷を用いることにより、発揮パワーの相違と重炭酸系緩衝作用の相違の関連について呼気ガスのパラメーターを用いて検討することを目的とした。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者には、C 大学陸上競技部に所属する男子 8 名の競技者（短距離選手 4 名、中・長距離選手 4 名）を用いた。年齢は、 20.9 ± 1.64 歳（平均値 \pm 標準偏差、以下同じ）、身長 172 ± 8.21 cm、体重 63.4 ± 8.25 kg であった。被験者の身体的特性を Table 1 に示した。なお、全ての被験者に本実験の主旨、内容及び危険性についてはあらかじめ説明を行い、参加の同意を得た。

2. 運動負荷

実験試技は自転車エルゴメーター（株式会社竹井機器製ハイパワーエルゴメーター）を用いて行った。負荷するトルクとして、ペダル回転（pedal revolutions：以下 rev と略称する）あたりの仕事が被験者の体重 (kg

Table 1 Physical characteristics of the subjects

| Subjects | Height (cm) | Weight (kg) | Age (yrs) |
|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| R.O | 172 | 65 | 21 |
| H.O | 183 | 77 | 23 |
| Y.H | 167 | 61 | 20 |
| J.Y | 182 | 73 | 20 |
| T.I | 163 | 53 | 23 |
| M.Is | 161 | 55 | 19 |
| M.Im | 176 | 60 | 22 |
| H.U | 169 | 63 | 19 |
| mean \pm SDs | 172 \pm 8.21 | 63.4 \pm 8.25 | 20.9 \pm 1.64 |

Body weight：以下 kgBw と略称する) あたり 4.41 J ($4.41 \text{ J} / \text{rev} / \text{kgBw}$) と 2.21 J ($2.21 \text{ J} / \text{rev} / \text{kgBw}$) の 2 種類を用いた。被験者にはそれぞれの負荷で、5 分間の安静（騎座位安静）の後、10 秒間の全力ペダリング運動を 4 回続けて行わせた（それぞれをペダリング 1~4 と称する）。ペダリング運動間の休息には 30 秒をあてた（騎座位安静）。試技の順序はランダムとし異なる測定日において行った。

3. 測定項目及び測定方法

各被験者には安静時からペダリング後 10 分まで呼気ガス採集用マスクを装着させ、呼気ガス分析器（株式会社医科学社製 AE-280）を用いて、換気量 ($\dot{V}\text{E}$)、呼気及び吸気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度、呼吸交換比 (Respiratory Exchange Rate: RER) を各呼吸毎に測定し (breath-by-breath 法)、換気特性を示す諸パラメーターを算出した。

二酸化炭素過剰排出量 ($\dot{V}\text{CO}_2\text{excess}$) は二酸化炭素排出量 ($\dot{V}\text{CO}_2$) から酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_2$) を引いた瞬時値 ($\dot{V}\text{CO}_2\text{excess} = \dot{V}\text{CO}_2 - \dot{V}\text{O}_2$ (ml / min)) とした。また運動開始からある時間までに排出された $\dot{V}\text{CO}_2\text{excess}$ を二酸化炭素過剰排出総量 (Total CO_2excess (ml)) と定義した。

心拍数 (Heart Rate: HR) は胸部双極誘導による心電図法を用い、安静時から運動後 10 分まで連続的に記録し、算出した。また血液中の乳酸濃度は指先より微量の血液を採取し、簡易血中乳酸測定器（株式会社松下電子工業社製ラクテートプロ LT-1710）により分

析することで求めた。採血及び測定は安静時及び運動後 1・3・5・10 分に行い、運動後の値から安静時のものを減じた数値を血中乳酸濃度変化量 (Δ LA) とした。

4 回の 10 秒間全力ペダリング運動でなされたそれぞれの仕事とその積算である総仕事 (Total work)、出力パワーはパーソナルコンピュ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。

4. 各パラメーターの取り扱い

測定及び算出された各パラメーターのうち、被験者の体重がデータの絶対値に影響を及ぼしているもの ($\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}CO_{2excess}$ 、Total $CO_{2excess}$ 、仕事、パワー) については、体重 (kgBw) あたりで補正した。また各パラメーターの値を体重あたりの仕事で比較するために、Total $CO_{2excess} / \text{kgBw}$ 、 Δ LA、Total $CO_{2excess} / \text{kgBw} / \Delta$ LA のそれぞれを総仕事 / kgBw で補正した。

5. 統計処理

各値は平均値 \pm 標準偏差で示した。4.41 J / rev / kgBw と 2.21 J / rev / kgBw の負荷間における各パラメーターの値の比較には一対の標本を使ったスチューデントの t 検定を用いた。10 秒全力ペダリング運動における 4 本の試行間の比較については二元配置の分散分析を行い、有意差が認められた場合には Tukey の HSD 法による多重比較を行った。有意水準は 5% 以下とした。

Ⅲ. 実験結果

1. 仕事およびパワー

Fig. 1 に被験者の体重当たりの仕事をトルクで比較し、試行ごとに示した。ペダリング 1 から 4 およびそれらの積算である Total work / kgBw のそれぞれにおいて、4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも有意に高い値を示した (全て $p < 0.001$)。試行間で比較すると、4.41 J / rev / kgBw の負荷による試技では、ペダリング 1 に比しペダリング 3 および 4、ペダリング 2 に比しペダリング 4 で有意な減少を示した (全て $p < 0.01$)。2.21 J / rev / kgBw の試

技では、ペダリング 1 に比しペダリング 3 および 4、ペダリング 2 に比しペダリング 3 および 4 で有意に減少した (ペダリング 2-3 間のみ $p < 0.05$ 、その他 $p < 0.01$)。Fig. 2 はペダリング 1 から 4 における体重当たりの出力パワーの極大値 (以下 Peak power と称する) について示したものである。ペダリング 1 から 4 のそれぞれにおいて 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも有意に高かった (全て $p < 0.001$)。試行間で比較すると、両負荷による試技ともに、ペダリング 1 に比しペダリング 3 および 4、ペダリング 2 に比し

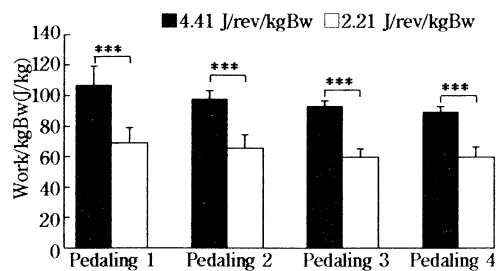


Fig. 1 Comparison of work values per body weight between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw. Values are means (\pm SDs). (***, $p < 0.001$)

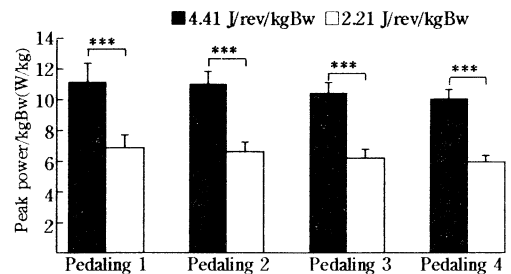


Fig. 2 Comparison between 4.41 J / rev / kgBw and 2.21 J / rev / kgBw in the maximum power output per body weight. Values are means (\pm SDs). (***, $p < 0.001$)

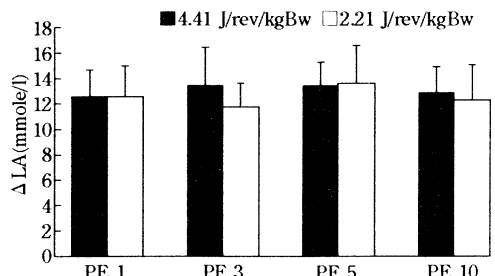


Fig. 3 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in Δ LA. Values are means (\pm SDs). per body weight.

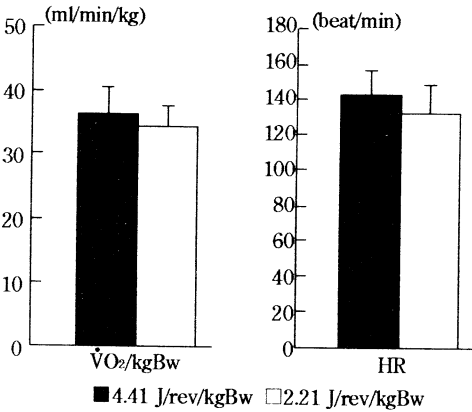
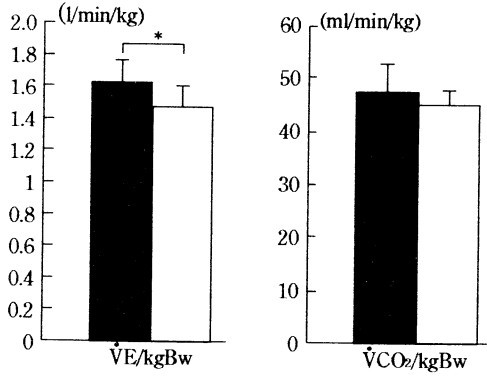


Fig. 4 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in the average values of various parameters. Values are means (\pm SDs).(*; $p < 0.05$).

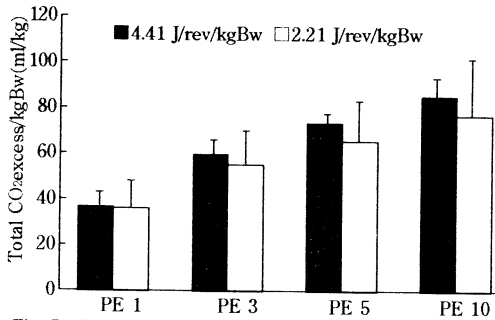


Fig. 5 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in the average values of Total CO₂excess per body weight. Values are means (\pm SDs).

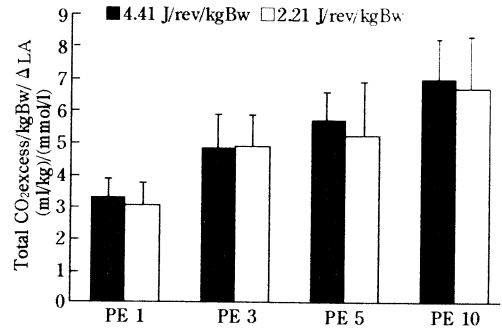


Fig. 6 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in the average values of Total CO₂excess per body weight per Δ LA. Values are means (\pm SDs).

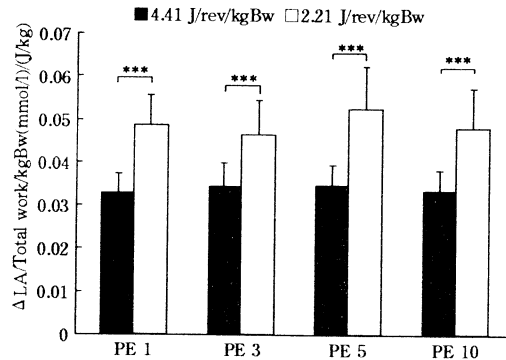


Fig. 7 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in the average values of Δ LA per Total work per body weight per. Values are means (\pm SDs). (***) ; $p < 0.001$)

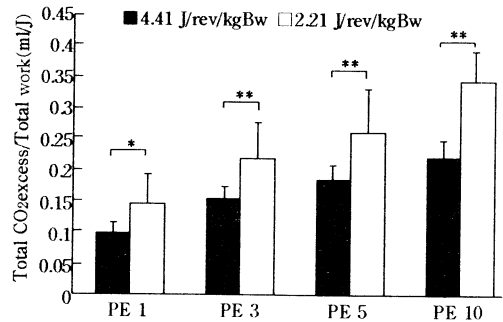


Fig. 8 Comparison between 4.41 J/rev/kgBw and 2.21 J/rev/kgBw in the average values of Total CO₂excess per total work. Values are means (\pm SDs). (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$)

ペダリング4で有意な減少を示した (4.41 J / rev / kgBw におけるペダリング 1・3 間のみ $p < 0.05$ 、その他 $p < 0.01$)。

2. 血中乳酸値

Fig. 3は運動後1・3・5・10分目(以下それぞれPE(Post Exercise)1・3・5・10と称する)にお

ける Δ LAの変化について示したものである。PE 1・3・10では4.41 J / rev / kgBwの方が2.21 J / rev / kgBwよりもわずかに高い平均値を示したが、PE 5では2.21 J / rev / kgBwの方が高く、一定傾向を示さず有意差も認められなかった。

3. 呼気ガス諸パラメーター

Fig. 4は、 $\dot{V}E / \text{kgBw}$ 、 $\dot{V}O_2 / \text{kgBw}$ 、 $\dot{V}CO_2 / \text{kgBw}$ 、HR それぞれについてペダリング運動中（ペダリング：10 秒 × 4、レスト：30 秒 × 3 で計 130 秒）における平均値を示したものである。 $\dot{V}E / \text{kgBw}$ において 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。その他の値においてはいずれも 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より高い値を示したが、有意差は認められなかった。

Total CO₂excess / kgBw (Fig. 5) は運動後 1・3・5・10 分での（以下それぞれ PE 1・3・5・10 と称する）それぞれにおいて 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より高い値を示す傾向があったが、いずれも有意な差ではなかった。また Total CO₂excess / kgBw / ΔLA (Fig. 6) は、運動後 1・5・10 分のそれぞれにおいて 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より高い値を示す傾向があったが、いずれも有意な差ではなかった。

Fig. 7と Fig. 8は ΔLA と Total CO₂excess / kgBw の各パラメーターを Total work / kgBw で補正した値を示したものである。 $\Delta LA / \text{Total work} / \text{kgBw}$ (Fig. 7) は PE 1・3・5・10 それぞれにおいて 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw より有意に高い値を示した（いずれも $p < 0.001$ ）。PE 1・3・5・10 での Total CO₂excess / Total work (Fig. 8) は、すべて 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw より有意に高い値を示した（PE 1 で $p < 0.05$ 、他はいずれも $p < 0.01$ ）。

IV. 考察

本研究では乳酸の重炭酸系緩衝作用に着目し、乳酸の緩衝能が重要であると思われる間欠的な全力ペダリング運動を 2 種類のトルク負荷を用いて行い、発揮パワーの相違と重炭酸系の緩衝作用の相違について呼気ガスパラメーターを用いて比較し、検討した。

A. 仕事及びパワーについて

仕事はペダリング 1 から 4 の全ての区間及び総仕事において 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも大きかった。また Peak power においても 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw

よりも大きく、4.41 J / rev / kgBw のペダリングにおけるピッチと負荷は 2.21 J / rev / kgBw よりも大きなパワーを発揮できる条件に近いことが推察できる。どちらの負荷においても全力でのペダリングであり、血中乳酸濃度の増加量は両負荷間において差がないことから、解糖系によるエネルギー産生量はほぼ同じであると推定される。さらにその入出力エネルギー関係に関連するパラメーターである $\Delta LA / \text{Total work} / \text{kgBw}$ は、2.21 J / rev / kgBw の方が有意に高値を示すことから、乳酸産生の観点からは 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも効率の高いペダリングであるといえよう。

その他のエネルギー供給系（有酸素系、クレアチンリン酸の分解）が今回のような短時間の間欠的な全力運動においてどれくらい総 ATP 供給量に貢献しているかは明らかではないが、30秒間ペダリング運動に関するエネルギー供給の比率については、その時間的推移との関連において調べられてきている⁹⁾。Spriet¹⁰⁾ は 3 回の間欠的な 30 秒間の全力運動時（休息は 4 分間）における ATP 消費量に対する 3 つの供給系の占める割合について検討した。それによるとクレアチンリン酸、有酸素系による ATP 供給率は 3 回の運動で変化しない（クレアチンリン酸は運動中止後比較的早い段階で安静レベルまで回復する）のに対し、解糖系による割合が著しく低下している。したがって、今回示されたペダリング 3 および 4 におけるパフォーマンスの有意な低下は、主として解糖系による ATP 供給能の低下によるものと考えられることができる。しかし一方では乳酸が産生され筋の pH が低下するとクレアチンリン酸濃度は低くなるという報告もあり¹¹⁾、一定の結論を導き出すことはできない。間欠的な高強度運動に関するエネルギー供給においては運動時間、休息时间、運動負荷などについていろいろなパターンを考慮した研究が必要であろう。

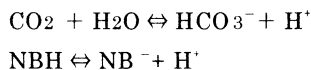
B. 換気特性について

ペダリング運動中における $\dot{V}E / \text{kgBw}$ 、 $\dot{V}O_2 / \text{kgBw}$ 、 $\dot{V}CO_2 / \text{kgBw}$ および HR の平均値はすべて 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より高い値を示したが、有意差が見られたのは $\dot{V}E / \text{kgBw}$ においてのみであった ($p < 0.05$)。激しい運

動時においては乳酸が産生されると乳酸から遊離した水素イオンが筋の pH を下げる⁵⁾。pH を一定に保つためには緩衝による重炭酸イオンの減少を動脈血二酸化炭素分圧の低下によって補償する必要が生じ、二酸化炭素産生量に比して換気量がより増加しなければならなくなる。しかし、本研究において負荷による二酸化炭素排出量に大きな差がなかったのに対し、換気量には差が出た。乳酸蓄積と CO₂excess の上昇の関係には個体差があることが指摘されており⁶⁾、また激運動中では血中カリウム濃度やカテコールアミン濃度、アデノシン濃度や浸透圧の上昇等が換気量増大に関係している可能性もあり、本研究では原因を特定できない。

二酸化炭素過剰排出総量 (Total CO₂excess / kgBw) は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても両負荷間の差はほとんど見られなかった。この二酸化炭素過剰排出量は重炭酸系によって緩衝された分であり、両負荷間において重炭酸系の緩衝作用はほぼ同一であることが示唆される。

△ LA に対する体重当たりの二酸化炭素過剰排出総量の比率 (Total CO₂excess / kgBw / △ LA) は運動パフォーマンスとよく一致することが報告されている⁸⁾。今回の結果では運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても両負荷間差はほとんど見られなかった。産生した乳酸の全てが重炭酸系で緩衝されるわけではないので非重炭酸系による緩衝も考慮すると、



ここで NBH は非重炭酸の総称で、主にたんぱく質からなるとされている。また NB⁻ は非重炭酸イオンを表わす。

運動により乳酸が増加すると H⁺を緩衝するために HCO₃⁻と NB⁻の両方の減少が起こる。その両者の減少量の総計は乳酸と等モル量であり、HCO₃⁻と NB⁻の減少する比率は緩衝価 (pH を 1 変化させるのに必要な酸の量) に比例するとされており、乳酸増と二酸化炭素の過剰排出量の関連も 2 つのそれぞれの系における緩衝価に関連していると考えられる³⁾⁴⁾。この緩衝された分が二酸化炭素の過剰量として排出されるなら

ば、その過剰排出量と乳酸増の比率が系全体の緩衝価に対する重炭酸系の緩衝価の割合になると考えられる。したがって、両負荷間に違いが観察されなかったことは重炭酸系の緩衝価が両負荷でほぼ同一であったことを示唆すると思われる。

総仕事に対する二酸化炭素過剰排出総量 (Total CO₂excess / Total work) は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw よりも高い値を示した。この値は仕事あたりの Total CO₂excess を表わしており、同じ仕事を遂行する際の Total CO₂excess は 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw よりも多い、つまり 2.21 J / rev / kgBw の方が重炭酸緩衝系をより多く作用させたことを示唆している。これは同じ仕事をこなすためにより多くの CO₂ を排出しなければならないということであり、CO₂ 排出量に対する効率も 4.41 J / rev / kgBw の方が高いことが推察される。

以上、呼気ガスの諸パラメーター、乳酸値などを用いて、2 つのトルク負荷間における仕事、発揮パワー、重炭酸緩衝系の相違について検討したが、仕事、発揮パワーは 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも大きい値を示したにもかかわらず、△ LA や重炭酸系緩衝作用の動態は両負荷間においてほとんど差はなく、4.41 J / rev / kgBw は 2.21 J / rev / kgBw よりも乳酸産生、CO₂ 排出の側面からは高い効率を有していることが示唆された。しかし、本研究においては運動様式、運動負荷、運動時間、休憩時間の設定パターン上、呼気ガスの諸パラメーター、乳酸値において負荷間の差があまり見られなかった。よって、今後はより多彩な設定を用いて呼気ガスの諸パラメーターと乳酸値の関係についても研究されるべきであろう。

V. 要約

本研究の目的は、間欠的な全力ペダリング運動について、乳酸の重炭酸系緩衝作用に着目してその動態を観察するとともに、2 種類のトルク負荷を用いることにより、発揮パワーの相違と重炭酸系緩衝作用の相違の関連について検討することであった。被験者は 19

歳から 23 歳の男子 8 名の競技者であった。被験者には 2 種類のトルク負荷 (4.41 J / rev / kgBw と 2.21 J / rev / kgBw) を用いた 10 秒間の全力ペダリング運動を 30 秒間の休息をはさんで 4 回行わせ、仕事および出力パワーを測定した。また、運動時および運動後 10 分間における呼気ガス変量も測定した。血中乳酸濃度は、運動前の休息時および運動後 1・3・5・10 分において測定した。結果は以下の通りである。

1) なされた仕事、総仕事およびパワーは 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より有意に高い値を示した。

2) 測定したどの時点においても Δ LA に有意差は見られなかった。

3) ペダリング運動中における $\dot{V}E$ / kgBw、 $\dot{V}O_2$ / kgBw、 $\dot{V}CO_2$ / kgBw および HR の平均値は全体的に 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw より高い値を示したが、有意差が見られたのは $\dot{V}E$ / kgBw においてのみであった。

4) TotalCO₂excess / kgBw は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても両負荷間に有意差は見られなかった。Total CO₂excess / kgBw / Δ LA は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても両負荷間に有意差は見られなかった。

5) Δ LA / Total work / kgBw は運動後 1・3・5・10 分目のいずれにおいても 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw よりも有意に高い値を示した。Total CO₂excess / Total work は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw よりも有意に高い値を示した。総仕事に対する Total CO₂excess / Δ LA は運動開始時から運動後 1・3・5・10 分までのいずれにおいても 2.21 J / rev / kgBw の方が 4.41 J / rev / kgBw よりも有意に高い値を示した。

以上のことより、仕事および Peak power は 4.41 J / rev / kgBw の方が 2.21 J / rev / kgBw よりも大きい値を示したにもかかわらず、 Δ LA や重炭酸系緩衝作用の動態は両負荷間においてほとんど差はなく、4.41 J / rev / kgBw は 2.21 J / rev / kgBw よりも単位仕

事あたりの乳酸産生や二酸化炭素排出量が小さいことが示された。

参考文献

- 1) 平木場浩二, 丸山敦夫, 美坂幸治: 運動時の乳酸生成による CO₂ 過剰排出と持久性パフォーマンスの関係, 体力科学, 39, 69-77, 1990
- 2) Hirakoba, K., Maruyama, A., Misaka, K.: Effect of acute sodium bicarbonate ingestion on excess CO₂ output during incremental exercise, Eur. J. Appl. Physiol. & Occup. Physiol., 66(6), 536-41, 1993
- 3) Stringer, W., Wasserman, K. and Casaburi, R.: The $\dot{V}CO_2$ / $\dot{V}O_2$ relationship during heavy, constant work rate exercise reflects the rate of lactic acid accumulation, Eur. J. Appl. Physiol. & Occup. Physiol., 72(1-2), 25-31, 1995
- 4) Zhang, Y.Y., Sietsema, K.F., Sullivan, C.S. et al.: A method for estimating bicarbonate buffering of lactic acid during constant work rate exercise, Eur. J. Appl. Physiol. & Occup. Physiol., 69(4), 309-15, 1994
- 5) Beaver, W.L., Wasserman, K. and Whipp, B.J.: Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise, J. Appl. Physiol., 60(2), 472-8, 1986
- 6) Roecker, K., Mayer, F., Striegel, H., et al.: Increase characteristics of the cumulated excess-CO₂ and the lactate concentration during exercise, Int. J. Sports Med., 21(6), 419-23, 2000
- 7) 稲木光晴, 久野譜也, 阿武泉, 板井悠二, 勝田茂: 漸増運動による筋肉 pH の低下と過剰 CO₂ 排出量との関係, 体力科学, 42, 53-58, 1993
- 8) Hirakoba, K., Maruyama, A., Inaki, M., et al.: Effect of endurance training on excessive CO₂ expiration due to lactate production in exercise, Eur. J. Appl. Physiol. & Occup. Physiol., 64(1), 73-7, 1992
- 9) Smith, J.C. and Hill, D.W.: Contribution of energy systems during a Wingate power test, Br. J. Sports Med., 25(4), 196-99, 1991
- 10) Spriet, L.L., Lindinger, M.I., McKelvie, R.S., et al.: Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during

maximal intermittent cycling, J. Appl. Physiol., 討一, 体力科学, 40, 493-500, 1991
66(1), 8-13, 1989

11) 稲木光晴, 久野譜也, 阿武泉, 板井悠二, 勝田
茂: 運動時の細胞内pHとクレアチンリン酸濃度の変化
に及ぼす NaHCO₂ 摂取の影響—³¹P NMR による検

受付 平成13年12月22日

受理 平成14年 3月10日