

# 最大無酸素パワー測定時における「測定の慣れ」に関する研究

直 原 幹\*・池 川 茂 樹\*

(平成28年3月7日受付；平成28年5月2日受理)

## 要 旨

【目的】自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワーの測定を繰り返すことにより測定値が上昇する、いわゆる「測定の慣れ」が存在することが知られていたが、その原因はわかっていない。一方、この「測定の慣れ」は、自転車トレーニングをしていない被験者に特異的であるという報告がある。そこで我々は、この「測定の慣れ」の原因は、自転車運動独特の運動様式であるペダリングに対する適応であるという仮説を持つに至り、これを検証することを本研究の目的とした。【方法】若年男性20名を実験群と統制群に分けて、実験群には10日間のペダリング練習を課した。ペダリング練習期間前後の最大無酸素パワーおよび、最大無酸素パワー発揮時の負荷（至適負荷）および回転数（至適回転数）を測定し、その変化を比較した。また、実験群のペダリング練習時の最高ペダリング回数の変化を記録した。【結果】ペダリング練習の有無に関わらず、初回よりも2回目の測定で最大無酸素パワーが改善することがわかった ( $P<0.01$ )。また、至適回転数においても同様の傾向が見られたが ( $P<0.01$ )、至適負荷ではこの傾向は見られなかった ( $P=0.55$ )。しかし、全ての項目で実験群と統制群の間の差を認められなかった。一方、実験群の10日間のペダリング練習では、最高ペダル回転数の有意な上昇が見られた ( $P<0.01$ )。【結論】自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワー測定時の「測定の慣れ」の原因は、ペダリングに対する適応である可能性が示唆された。「測定の慣れ」を小さくするためには、ウォーミングアップにペダリング運動を取り入れるのが良いと考えられる。

## KEY WORDS

最大無酸素パワー peak of anaerobic power, 測定の慣れ habituation of measurement protocol

## 1 研究目的

従来、最大無酸素パワーの測定は、個人のパフォーマンスの違いを生理学的に説明するために<sup>(1, 2)</sup>、また、トレーニングプログラムを効果的に実施するために<sup>(3, 4, 5)</sup>利用されてきた。従って、精度良く最大無酸素パワーを測定することは、研究の分野でも実用の分野でも、非常に重要である。しかしながら、最大無酸素パワーの測定プロトコルを繰り返すことにより「測定の慣れ」が生じ、最大無酸素パワーが上昇するという事例が報告されているが<sup>(6, 7)</sup>、未だその原因は不明である。

一方、Martinら<sup>(7)</sup>は、自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワー測定における「測定の慣れ」は、自転車トレーニングをしていない者に特異的に起こることを報告している。自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワー測定には、負荷とペダル回転数の2つの要素が存在するが、自転車に特異的な運動であるペダリングが「測定の慣れ」に影響している可能性が考えられる。

そこで我々は、自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワー測定時に生じる「測定の慣れ」の原因が、ペダリングに対する適応であるという仮説を検証することを、本研究の目的とした。

## 2 方法

### 2.1 被験者

被験者は、定期的に運動を継続している健康な男子大学生20名（自転車トレーニングをしている者を除く）を対象とし、実験群（10名）および統制群（10名）の2群に分けて実験を行った。被験者の身体的特性は、群間に差が無いことが確認された（表1）。実験を実施するにあたって、各被験者には実験の主旨と内容について説明し、参加の同

意を得た。

表 1. 被験者の身体特性

|                          | 実験群       | 統制群       | <i>P</i> 値 |
|--------------------------|-----------|-----------|------------|
| 年齢 (歳)                   | 20.5±1.3  | 20.3±1.7  | 0.77       |
| 身長 (cm)                  | 170.7±4.9 | 171.7±4.7 | 0.65       |
| 体重 (kg)                  | 66.1±10.1 | 65.7±8.2  | 0.92       |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 22.7±3.4  | 22.3±2.8  | 0.78       |

値は、各群10名の被験者の平均値±標準偏差で示している。

また、*P*値は実験群と統制群の比較についての値である。

## 2.2 プロトコル

図 1 に示す通り、実験群は10日間のペダリングの練習期間を設定し、その期間の前後において最大無酸素パワーの測定を実施した。10日間のペダリング練習期間においては、計 7 回のペダリング練習を実施した。一方、統制群においても 2 回の最大無酸素パワーの測定を実施したが、それら 2 回の測定の間の10日間は、ペダリングの練習を実施しなかった。

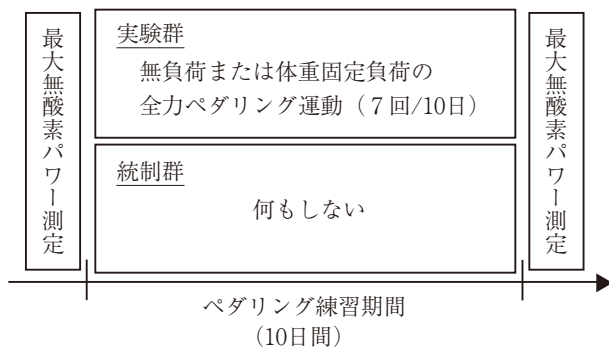


図 1. プロトコル。

20名の被験者を、実験群（10名）および統制群（10名）の2群に分けて実験を行った。実験群に課した無負荷の全力ペダリング運動は、0 kpの負荷で、体重別固定負荷の全力ペダリング運動は、59kg以下の被験者は3 kp、60–79kgの被験者は4 kp、80kg以上の被験者は5 kpの負荷で実施した。

## 2.3 最大無酸素パワーの測定

ウォーミングアップとして、ストレッチングやジョギング等を十分に実施した後、中村らの方法<sup>(8)</sup>に従って、最大無酸素パワーおよび、最大無酸素パワー発揮時の負荷（至適負荷）および回転数（至適回転数）を算出した（図 2）。すなわち、自転車エルゴメータ（コンビウエルネス社製POWERMAX-V<sub>II</sub>）を用いて、10秒間の全力ペダリング運動を3回実施し、負荷とペダル回転数の直線回帰式を算出した。その際、各被験者の体重に応じて1回目の全力ペダリングの負荷を設定し（59kg以下：3 kp、60–79kg：4 kp、80kg以上：5 kp）、1回目のペダル回転数に応じて、2–3回目の全力ペダリングの負荷を漸増した。得られた回帰式から、負荷とペダル回転数の積（無酸素パワー）が最大となる点を算出し、この時の無酸素パワーを最大無酸素パワー、また、この時の負荷とペダル回転数をそれぞれ、至適負荷、至適回転数とした。なお、各試技間には十分な休息をとらせた。

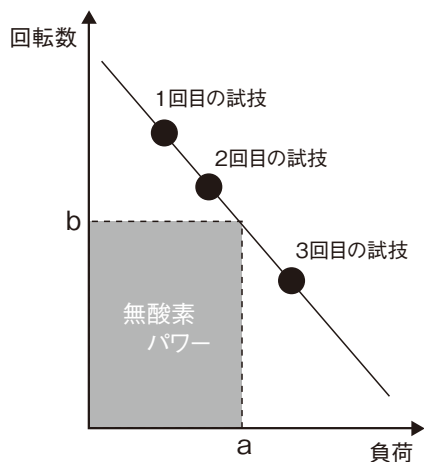


図 2. 最大無酸素パワー、至適負荷、至適回転数の算出方法。

3回の全力ペダリング運動における負荷とペダル回転数の回帰直線を作成し、負荷とペダル回転数の積（無酸素パワー）が最大となる点を算出した。この時の無酸素パワーを最大無酸素パワー、また、この時の負荷 a とペダル回転数 b をそれぞれ、至適負荷、至適回転数とした。

## 2.4 ペダリング練習

実験群は、ペダリング練習期間において、無負荷および体重別固定負荷（59kg以下：3 kp, 60–79kg：4 kp, 80 kg以上：5 kp）による全力ペダリング運動を、10日間に計7回実施した。この時、それぞれの全力ペダリング運動時の最高回転数を記録した。なお、全力ペダリング運動前には、ウォーミングアップとして、ストレッチングやジョギング等を十分に実施し、無負荷の全力ペダリング運動と体重別固定負荷のペダリング運動の間は、十分な休息をとらせた。

## 2.5 統計解析

被験者の身体特性（表1）については、T検定を用いて群間の比較を行った。また、最大無酸素パワー、至適負荷、至適回転数（図1）については、二元配置分散分析法およびTukey-Kramer法による多重比較検定を行い、実験群と統制群の間およびペダリング練習期間の前後についての比較を行った。実験群のペダリング練習期間における7回の全力ペダリング運動の最高回転数（図2）については、一元配置分散分析法およびTukey-Kramer法による多重比較検定を行った。なお、本研究では、 $P<0.05$ となった場合、帰無仮説を棄却した。データは、記載がない限り平均値±標準誤差で示した。

# 3 結果

図3は、最大無酸素パワー測定時の最大無酸素パワー、至適負荷、および至適回転数の変化について示している。最大無酸素パワー（図3A）については、実験群と統制群の間に有意な差は見られなかったが（ $P=0.40$ ）、1回目の測定に比べて2回目の測定で、実験群で10.6%、統制群で5.4%の有意な向上が見られた（ $P<0.01$ ）。一方、群間と測定との間に交互作用は見られなかった（ $P=0.26$ ）。至適負荷（図3B）については、群間および1回目の測定と2回目の測定との間に有意な差は見られなかった（ $P=0.43$ および $P=0.55$ ）。また、群間と測定との交互作用も見られなかった（ $P=0.75$ ）。至適回転数（図3C）については、実験群と統制群の間に有意な差は見られなかったが（ $P=0.96$ ）、1回目の測定に比べて2回目の測定で、実験群で7.2%、統制群で4.0%の有意な向上が見られた（ $P<0.01$ ）。一方、群間と測定との間に交互作用は見られなかった（ $P=0.37$ ）。

図4は、実験群のペダリング練習期間における、全力ペダリング運動の最高回転数の練習回数ごとの変化について示している。無負荷での全力ペダリング運動の練習（図4A）では、1回目の練習に比べて3回目の練習以降、最高回転数に有意な増加が見られ（ $P<0.01$ ）、7回目の練習では9.5%の向上が見られた。また、体重別固定負荷での全力ペダリング運動の練習（図4B）では、1回目の練習に比べて5回目の練習以降、最高回転数に有意な増加が見られ（ $P<0.01$ ）、7回目の練習では4.2%の向上が見られた。さらに、ペダリング練習期間前後の最大無酸素パワー測定時の1回目の全力ペダリング運動の最高回転数も含めて解析を行った結果、ペダリング練習期間前の測定時に比べて、1日目の練習から4.3%の有意な最高回転数の増加が見られ、ペダリング練習期間後の測定時には9.4%増加していた（ $P<0.05$ ）。

# 4 考察

本研究では、全力ペダリング運動の練習の有無に関わらず、最大無酸素パワー測定時には「測定の慣れ」が生じる、すなわち、初回の測定に比べて2回目の測定で最大無酸素パワーが改善することがわかった。また、最大無酸素パワー発揮時の回転数である至適回転数においても同様の傾向が見られたが、最大無酸素パワー発揮時の負荷である至適負荷において、この傾向は見られなかった。一方、実験群のペダリング練習では、最高ペダル回転数に有意な増加が見られた。

## 4.1 最大無酸素パワー測定時の「測定の慣れ」とは何か

図1に示す通り、実験群、統制群共に1回目の測定に比べて2回目に測定した最大無酸素パワーが、それぞれ10.6%、5.4%高値を示している（図3A）。これは中村ら<sup>6)</sup>による最大無酸素パワーの測定法を使用する際、「測定の慣れ」を考慮する必要があることを示している。この結果は、4日連続して最大無酸素パワーの測定を実施し、1日目に比べて2–4日目の測定で7%高い値が得られたことを報告しているMartinらの研究<sup>7)</sup>と、概ね一致している。

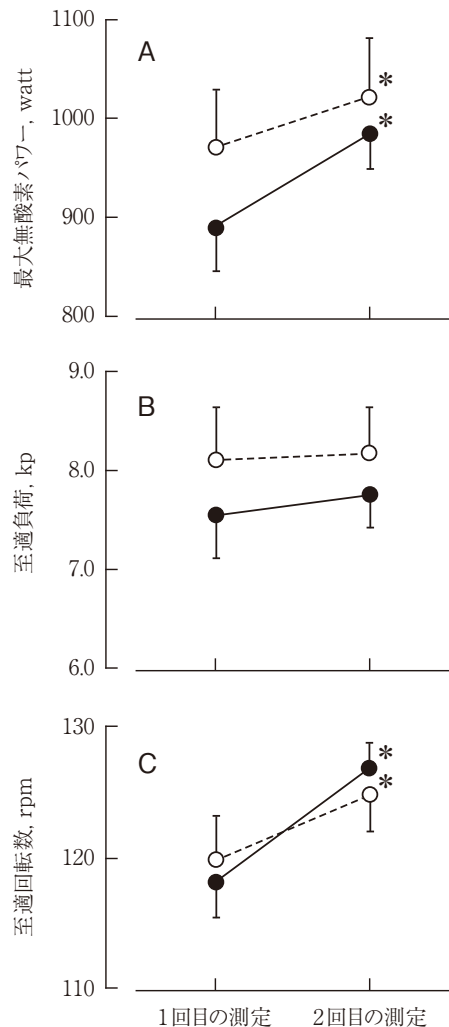


図3. 最大無酸素パワー (A), 至適負荷 (B), 至適回転数 (C) の変化.

黒丸 (●) は実験群, 白丸 (○) は統制群を表している。また, 値は10名の平均値±標準誤差で表している。\*は,  $P<0.05$  vs. 1回目の測定を表している。

しかし, この「測定の慣れ」の原因については, 未だ明らかになっていない。

一方, 最大無酸素パワーは至適負荷と至適回転数の積で表されるが, 本研究では, この至適負荷と至適回転数の「測定の慣れ」についても検討している。至適負荷については, 両群とも1回目の測定と2回目の測定で差が見られず (図3B), 「測定の慣れ」の影響を見出すことができなかった。しかし, 至適回転数については最大無酸素パワーと同様に, 両群とも1回目の測定に比べて2回目の測定で高値を示しており, 「測定の慣れ」の影響が見られた。さらにその値の上昇の割合は, 実験群で7.2%, 統制群で4.0%と, 最大無酸素パワーの上昇とほぼ一致している (図3C)。

以上の結果から, 最大無酸素パワー測定時の「測定の慣れ」は, 負荷に対する慣れではなく, ペダリングに対する慣れが原因になっていることが示唆された。

#### 4.2 なぜ実験群と統制群の間に差が見られなかったのか

図4に示す通り, 実験群のペダリング練習期間において, 全力ペダリング練習の回数を重ねるごとに, 最高回転数が有意に高くなっていくことがわかった。それにも関わらず, 最大無酸素パワーや至適回転数において, 実験群と統制群の間に有意な差を見いだせなかった (図3)。

一方, 実験群において, 1回目の全力ペダリング運動の時には, 既に4.3%の最高回転数の増加が見られたことから (図4B), ペダリング練習前の最大無酸素パワー測定自体が, ペダリングの練習となっていたことがわかる。ペダリング練習期間前後の測定における最高回転数の増加が9.4%であることから (図4B), ペダリング練習前の最大無酸素パワー測定によるペダリング練習効果はとても大きいことがわかる。Martinらの研究<sup>7)</sup>においても, 4日間連続した最大無酸素パワー測定のうち, 1日目から2日目にかけての増加が4.3%と非常に大きいことを報告しているが, 本研究の結果も彼らの報告を支持している。

以上のことから、実験群と統制群の間に差が見られなかったのは、両群共に実施した最大無酸素パワーの測定自体が効果的なペダリングの練習となってしまう、両群共に最大無酸素パワーが向上してしまったと考えられる。1番最初のペダリング練習効果が非常に大きいため、それ以降のペダリング練習効果が隠されてしまっている可能性が高い。実際に統計結果を見ても、最大無酸素パワーおよび至適回転数における群間差についての統計的な検出力は、それぞれ  $(1-\beta)=0.13$ ,  $(1-\beta)=0.05$  と非常に低くなっている。また同様に、群間と測定との交互作用についての検出力も、それぞれ  $(1-\beta)=0.19$ ,  $(1-\beta)=0.14$  と非常に低い値を示している。通常、 $\beta=0.20$  が望ましいとされていることから<sup>9)</sup>、実験群と統制群との差については、「本当は有意差があるのに、差が無い」と判断してしまう、Type II errorが生じている可能性が多分に考えられる。

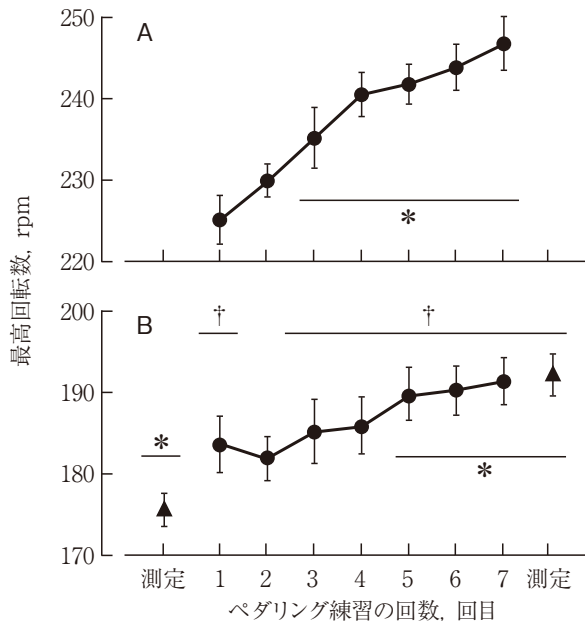


図4. ペダリング練習期間における、全力ペダリング運動の最高回転数の練習回数ごとの変化。

Aは、無負荷での全力ペダリング運動の練習の結果を表している。Bは、体重別固定負荷（59kg以下：3kp、60–79kg：4kp、80kg以上：5kp）での全力ペダリング運動の練習の結果を表している。黒丸（●）はペダリング練習時の最高回転数を、黒三角（▲）は最大無酸素パワー測定時の体重別固定負荷（59kg以下：3kp、60–79kg：4kp、80kg以上：5kp）での最高回転数を表している。また、値は10名の平均値±標準誤差で表している。\*は、 $P<0.05$  vs. 1回目の測定を表している。†は、 $P<0.05$  vs. 1回目の測定を表している。

#### 4.3 正確に最大無酸素パワーを測定するにはどうしたら良いか

先行研究<sup>7)</sup>や本研究の結果から、初めて自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワーの測定を実施する被験者は、ペダリング運動の不慣れにより、本来より最大無酸素パワーを低く見積もってしまう危険性があることがわかる。しかし、本研究の結果から、全力ペダリング運動の練習を実施することでペダリング運動の不慣れを改善できること、また、その全力ペダリング運動の練習は1回でも充分効果があることがわかった。従って、最大無酸素パワーの測定を実施する際は、ストレッチングやジョギング等のウォーミングアップに加えて、無負荷または低負荷での全力ペダリング運動を3回セット程度行ってから測定を開始すると、充分正確に最大無酸素パワーを測定することができると考えられる。

## 5 結論

本研究の結果から、最大無酸素パワーを測定する際、初回はその値を低く見積もってしまう可能性が高いが、これはペダリング運動の不慣れが原因であることがわかった。また、この不慣れは、3回程度のペダリング運動の練習だけで無視できる程度にまで消失することがわかった。これらの結果は、最大無酸素パワーを測定する際、ウォーミングアップとして、無負荷または低負荷での全力ペダリング運動を取り入れるべきであることを示唆している。



## 参考文献

- (1) Froese EA, Houston ME. Performance during the Wingate anaerobic test and muscle morphology in males and females. *Int J Sports Med* 8, 35-39, 1987.
- (2) Inbar O, Kaiser P, Tesch P. Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *Int J Sports Med* 2, 154-159, 1981.
- (3) Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geyssant A, Lacour JR. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training program. *Eur J Appl Physiol* 67, 408-414, 1993.
- (4) MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 84, 2138-2142, 1998.
- (5) Sleivert GG, Backus RD, Wenger HA. The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. *Med Sci Sports Exerc* 27, 1655-1665, 1995.
- (6) Capriotti PV, Sherman WM, Lamb DR. Reliability of power output during intermittent high-intensity cycling. *Med Sci Sports Exerc* 31, 1000-1005, 1999.
- (7) Martin JC, Diedrich D, Coyle EF. Time course of learning to produce maximum cycling power. *Int J Sports Med* 21, 485-487, 2000.
- (8) Nakamura Y, Mutoh Y, Miyashita M. Determination of the peak power output during maximal brief pedaling bouts. *J Sports Sci* 3, 181-187, 1985.
- (9) Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2<sup>nd</sup> ed)*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988.

## Stady about “Habituation of Measurement Protocol” in Measuring Peak of Anaerobic Power

Kan JIKIHARA\* · Shigeki IKEGAWA\*

### ABSTRACT

**OBJECTIVE:** It had been known existence of “habituation of measurement protocol”, which means that peak of anaerobic power (AP), increased due to learning effects associated with repeated testing during the protocol. However, the cause is not known. On the other hand, it has been reported that the “habituation” is unique nature of non-cycle-trained men. Therefore, we examined whether the cause of the “habituation” is the learning effects to pedaling. **METHODS:** Ten young men performed pedaling practice for 10 days as experimental group (EX), and other ten young men didn’t perform the practice for the 10 days as controlled group (CO). Before and after the 10 days, their AP, load at AP (OL), and pedaling rate at AP (OP) were measured. During the 10 days, peak of pedaling rate was measured. **RESULTS:** AP and OP after pedaling practice were improved than ones before pedaling practice ( $P<0.01$ ), but OL after pedaling practice was maintained at the same level as one before pedaling practice ( $P<0.55$ ). Additionally, there were no significant difference in AP, OP, and OL between EX and CO. On the other hand, peak pedaling rate during pedaling practice was increasing significantly ( $P<0.01$ ). **CONCLUSION:** The data of the present study indicated that the cause of “habituation of measurement protocol” during measuring AP with using a bicycle ergometer was the learning effects to pedaling. The conclusion suggests that pedaling practice is adopted to warm-up before measuring AP for minimizing “habituation of measurement protocol”.

---

\* Music, Fine Arts and Physical Education