

## 相対的同一負荷における自転車駆動運動のピッチと効率

万波健吾<sup>1</sup> 藤田幸雄<sup>2</sup> 吉岡伸彦<sup>2</sup> 村松成司<sup>2</sup> 片岡幸雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株)ピープル <sup>2</sup>千葉大学

A study on the relationship between pitch and net efficiency on the Anaerobic Threshold level of pedaling movement under relatively equal load

Kengo MAN-NAMI<sup>1</sup>, Yukio FUJITA<sup>2</sup>, Nobuhiko YOSHIOKA<sup>2</sup>

Shigeji MURAMATSU<sup>2</sup> and Yukio KATAOKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PEOPLE Co.,Ltd. <sup>2</sup> Chiba University

### Abstract

By mechanically keeping the load on the AT of pedaling movement under relatively equal load on the body, results obtained here are summarized as follows;

1. Oxygen Intake per weight caused by pedaling was varied by the pitch fluctuation. From the point of 70RPM, it increased significantly regardless of the higher or lower pitch( $p<0.05$ ).
2. The net efficiency converted by oxygen intake was changed in proportion to the pitch fluctuation. At the point of 70 RPM, it achieved the maximum efficiency; however, it decreased significantly on the higher or lower pitch( $p<0.05$ ).
3. According to the relationship between the pitch and the heart rate, although the heart rate indicated the minimum numerical value to be 70 RPM, it was not affected significantly by the pitch fluctuation.

### 緒言

生体が発揮する負荷は外部から課せられる力と速さで規定でき、自転車駆動運動ではこれらのパラメータを制御しやすい特徴を有する<sup>1)</sup>。このため自転車駆動運動は、各種研究、体力測定、リハビリテーション、エクササイズと、幅広い用途に活用されている。しかしながら、外部からの負荷制御が同一の場合においても、生体が発揮する負荷は、個体差の影響を受け同一にはなりにくい。過去の報告には、力を仕事率(単位:W)に、また速さをピッチ(単位:BPM)に該当させるなら、自転車駆動運動の場合、ピッチが60~70RPMの近傍にて生体が外部に対して発揮する効率は仕事率の大小にかかわらず25~30%に分布することが調べられている<sup>1)</sup>。この原因については個体差に基づくと考察するにとどめられている。

一方、無酸素性作業閾値(Anaerobic Threshold:以下ATと省略する)は有酸素運動の定常状態

が得られる有効限界の指標とされており<sup>1)</sup>、つまり個体差を定量的に反映していると考えられる<sup>1)</sup>。

本研究では、ATレベルの仕事率により運動を規定し、個体差に相当する定量的なATレベルを尺度として各種ピッチによって自転車駆動運動の効率がどのように変化するかを調べ、データの中で個体差を定量的に位置づけた。

### 実験方法

恒常的に持続的な運動に取り組んでいる健康な日本人男性6名を被験者とした。各被験者の身体的特性をTable 1に示した。実験に先立ち本研究の目的と手順について説明し、十分な同意を得た上で協力を依頼した。自転車駆動運動中の測定に関しては、ガス分析器(ミナト医科学社製AE-280)にて換気量、呼気および吸気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度を各呼吸ごと(ブレス-バイ-ブレス)にて測定し、換気特性を示す酸素摂取量・換気量

Table 1 .各被験者の身体的特性

INIT	AGE	SEX	Ht	Wt
Y.F	35	Male	174	71.3
K.M	30	Male	174	62.5
D.M	18	Male	172	68.5
N.A	18	Male	170	68.6
M.N	18	Male	170	62.5
I.O	19	Male	174	54.5
MEAN	23		172.3	64.7
SD	6.88		1.8	5.58

等の諸パラメータを調べた。また胸部誘導中の心電図波形から、運動中の心拍数を測定した。

まず自転車駆動運動によるATレベルを測定した。測定中の機械的強度すなわち仕事率として電磁ブレーキ式自転車エルゴメータを用いて直線的に漸増するランププロトコールを設定した。このプロトコールでは、仕事率を50Wから毎分20Wずつ250Wまで時間にして10分間漸増させた。ピッチは70RPMをターゲットとして指示することにより、60～80RPMの範囲に入るよう規定した。測定データの分析の際、V-SLOPE法および $VE/V_{O_2}$ の極小点に基づく判定等総合判断からATレベルを決定した<sup>5)7)</sup>。さらにこのレベルの酸素摂取量で定常状態が得られる機械的強度すなわち仕事率を調べ、この強度での運動中3～5分の心拍数を測定した。

この後、ATレベルの仕事率(実験結果参照)を相対的同一負荷として規定し、5分間の自転車駆動運動において、ピッチは40、50、60、70、80、90、100RPMの7条件に関して、運動開始後3分から5分にかけての平均の心拍数と酸素摂取量から導き出されるNET効率が個体別に平均的にどう対応するのかを調べた。なお試行間の休息時間は10分以上とし、また全ての試行を2週間以内に測定した。

実験結果

1. ピッチと体重あたりの酸素摂取量

各被験者のATレベルの酸素摂取量および仕事率をそれぞれFig.1と2に示す。酸素摂取量の平均

±標準偏差ml/minは2090±197.6ml/min、これを体重あたりに換算すると32.3±1.69ml/min/kgであった。また仕事率の平均±標準偏差Wは187±14.1Wであった。Fig.3にピッチと体重あたりの酸素摂取量の関係を示した。ピッチが70RPMにおいて酸素摂取量は最小値を示し、これよりピッチが大きくても小さくても酸素摂取量は増加傾向を示した。二元配置の分散分析で統計処理したところ、5%水準で各ピッチ間に有意な差が認められた。個体差については同様の処理により、1%水準の有意差が認められた。

70RPMの酸素摂取量の平均±標準偏差ml/kg/minが36.9±3.5ml/kg/minであった。これを境に80RPMは40.7±4.9ml/kg/min、90RPMは42.5±4.3ml/kg

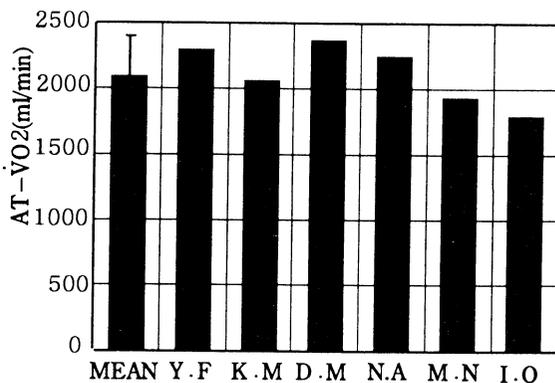


Fig.1. 各被験者のATにおける酸素摂取量 (MEAN±SD)

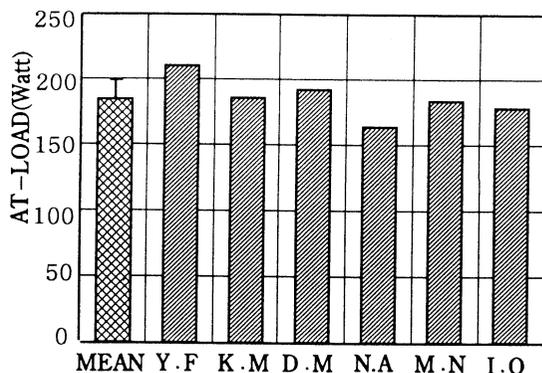


Fig.2. 各被験者のATにおける仕事率 (MEAN±SD)

/min、100RPMは46.2±5.2ml/kg/min、また60RPMは37.5±4.3ml/kg/min、50RPMは37.5±4.3ml/kg/min、40RPMは40.8±7.2ml/kg/minとなった。

2. ピッチとNET効率

Fig.4にピッチと酸素摂取量より導き出される効率の関係を示した。ピッチが70RPMにおいて効率は最大値を示し、これよりピッチが大きくても小さくても効率は低下した。二元配置の分散分析の結果、5%水準で各ピッチ間に有意な差が認められた。個体差については各被験者間に1%水準の有意差が認められた。

70RPMのNET効率の平均±標準偏差が25.5±2.0%であったのを境に、80RPMは22.9±2.32%、90RPMは21.8±2.19%、100RPMは19.9±1.93%、また60RPMは25.0±1.23%、50RPMは25.1±2.31%、40RPMは23.5±4.46%となった。

なおイニシャル(以下略す) Y.Fは、40RPMで20.3%、50RPMで20.8%、60RPMで23.1%、70RPMで24.5%、80RPMで19.2%、90RPMで24.2%、100RPMで16.3%、K.Mは40RPMで27.2%、50RPMで26.5%、60RPMで25.9%、70RPMで26.6%、80RPMで22.7%、90RPMで20.7%、100RPMで19.3%、D.Mは、40RPMで19.7%、50RPMで24.9%、60RPMで25.2%、70RPMで24.3%、80RPMで23.5%、90RPMで19.3%、100RPMで20.4%、N.Aは、40RPMで31.5%、50RPMで27.8%、60RPMで26.9%、70RPMで27.

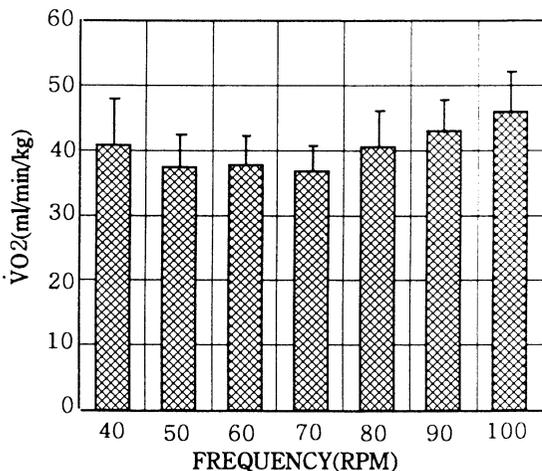


Fig. 3. AT仕事率で運動を規定した場合のピッチと酸素摂取量の関係 (MEAN ±SD)

2%、80RPMで25.8%、90RPMで22.2%、100RPMで19.4%、M.Nは40RPMで19.5%、50RPMで23.9%、60RPMで24.7%、70RPMで22.0%、80RPMで20.9%、90RPMで19.3%、100RPMで22.3%、I.Oは40RPMで23.1%、50RPMで26.8%、60RPMで24.0%、70RPMで28.2%、80RPMで25.4%、90RPMで24.6%、100RPMで21.5%であった。

3. ピッチと心拍数

Fig.5のピッチと心拍数の関係によると、ピッチが70RPMにおいて心拍数は最小値を示し、これよりピッチが大きくても小さくても心拍数は高く推移した。二元配置の分散分析で調べると、各ピッチ間に有意な差が認められなかった。各被験者

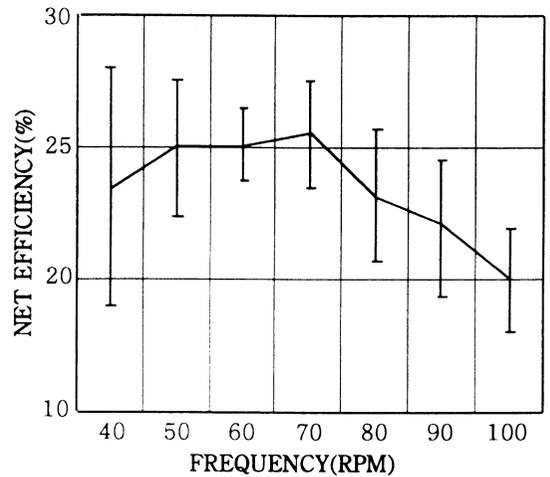


Fig. 4. AT仕事率で運動を規定した場合のピッチと効率の関係 (MEAN ±SD)

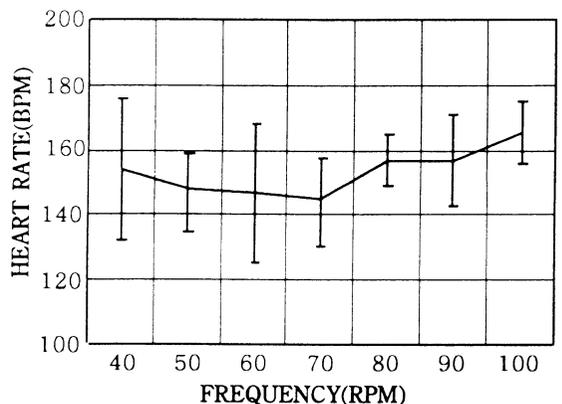


Fig. 5. AT仕事率で運動を規定した場合のピッチと心拍数の関係 (MEAN ±SD)

間には1%水準の有意差が認められた。

### 考 察

自転車駆動運動の運動強度を決定する要因にはピッチと仕事率の組み合わせによるところが大きい。これまでには、いろいろな仕事率について至適ピッチをSeaburyらが調べており、仕事率が40.8Wと軽い場合には、41.6RPMで最小の酸素摂取量を示すことを報告している<sup>9)</sup>。また仕事率が326.1Wと重くなった場合には、至適ピッチが62RPMにあるともしている。しかしこの研究はいろいろな仕事率についてどのような至適ピッチが存在するかその傾向を確認しているにとどまっておらず、仕事率やピッチと各被験者にかかる生体の負荷がどう関係するかについては言及していない。そこで今回は、定量的に個体差を反映する指標として、ATレベルの仕事率で運動を規定し、ATレベルを尺度として外部の負荷と生体の負荷の関係をピッチの関数として調べ、データの中に個体差を定量的に位置づけた。ATは総合判断をとらなければ判定できず<sup>5)</sup>、また検出不能な場合もあり、この場合最大酸素摂取量のピーク値から推定できるが<sup>4)</sup>、今回はATの明確な総合判断をなし得たため測定値を使えた。

ATレベルの仕事率により40~100RPMのピッチ範囲の運動強度を規定し調べた本研究においてもピッチの大小で効率が変わっており、また効率が最大になる至適ピッチが存在した。自転車の効率は一般に25~30%とされているが<sup>9) 10)</sup>、本研究では、70RPMで25.5±2.05%、60RPMは25.0±1.23%、50RPMは25.1±2.31%がこの範囲におさまっている。また服部らの研究によると、実際に屋外コース走行時に測定した場合、70~80RPMにおいて高い効率を示すことを指摘しており、本研究結果とよく対応する。<sup>3)</sup>

本研究結果においては各被験者のATレベル負荷が187±14.1W(平均±標準偏差)であった。Seaburyらは196.1Wの場合では、58RPMで酸素摂取量が最小値を示すとしており、同等レベルと思われる負荷に対して得られた至適ピッチ値に差異が認

められる。本研究では6名の被験者に対してSeaburyらの被験者は3名と少ないなど実験上の各種条件が違いなどが影響を及ぼしている可能性もあろう。

運動種目などの各種運動条件および被験者すなわち個体差に伴って至適ピッチの絶対値レベルは異なりはするが、従来から頻繁に研究されている自転車駆動運動、走・歩行運動はもちろん、縄跳び、開脚飛び運動、最近ではエアロビックダンスにおいても運動効率を最大にする至適ピッチが存在することが指摘されている<sup>1) 8) 12) 13)</sup>。運動種目による至適ピッチの差異には、生体の力学的要因も関与していると思われ、詳細な比較検討が必要とされよう<sup>2) 12)</sup>。

また今回はATレベルを尺度としたが、各ピッチにおけるATや最大酸素摂取量のピーク値を対応づけることは未開拓であり、Seaburyらの先行研究結果との整合も含めて非常に興味深く、今後の研究を通して明確にしてゆかなければならない<sup>11)</sup>。

### 要 約

生体の負荷を同一にするよう、ATレベルの機械的強度による相対的同一負荷で自転車駆動運動を規定した場合

- 1) ピッチの大小で体重あたりの酸素摂取量は変動し、70RPMを境にこれよりピッチが大きくても小さくても酸素摂取量は増加した(p 0.05)。
- 2) 酸素摂取量から導き出されるNET効率はピッチの大小に応じて変化し、70RPMで最大値を示しこれよりピッチが大きくても小さくてもNET効率は低下した(p 0.05)。
- 3) ピッチと心拍数の関係では、70RPMにて心拍数は最小となったが、各ピッチ間に有意な差は認められなかった。

### 参考文献

- 1) 藤田幸雄、万波健吾、吉岡伸彦、村松成司、片岡幸雄：ジャンピング・ニーアップ・ステップにおけるピッチとATを基準にした運動強度との関係、千葉体育学研究, 16, 61-66, 1993。

- 2) 福田明夫、北村潔和、山地啓司、有沢一男：  
作業部位（活動筋量）の相違によるHR-VO<sub>2</sub>max  
直線の変異性, 体育の科学 30, 751-758, 1980.
- 3) 服部進、服部四士主、林博明、藤川尚、川瀬  
修一、芳賀三郎、萩島泰裕： 自転車の人間  
工学的研究（II）, 日本自転車産業振興協会,  
1969
- 4) 池上晴夫：運動処方—理論と実際, 現代の体育  
・スポーツ科学 1990.
- 5) 伊東春樹：ATを基準とした運動療法, 呼吸と  
循環（医学書院）, 40(12), 1173-1182, 1992.
- 6) John J. Seabury, William C. Adams and Melvin  
R. Ramey: Influence of Pedalling Rate and  
Power Output on Energy Expenditure During  
Bicycle Ergometry. ERGONOMICS, 20(5), 491-  
498, 1970.
- 7) 小池日登美、中村真人、池田千恵子、柳沢悦  
子、有田真由美、小林敏生、宮沢幸世、鳩貝  
文彦、岩垂信、伊東春樹：高血圧患者における  
ATを基準とした運動療法, 臨床スポーツ医学  
9(9), 1027-1031, 1992.
- 8) 万波健吾、藤田幸雄、吉岡伸彦、村松成司、  
片岡幸雄：ジャンピング・ニーアップ・ステ  
ップにおける酸素摂取量と心拍数の関係, 千葉  
体育学研究, 16, 67-73, 1993.
- 9) 松井秀二：コーチのためのトレーニングの科  
学, 実践コーチ教本（大修館書店） 1, 232-233,  
1989
- 10) Miura, M., H. Matsui, M., Miyashita, K. Kobaya-  
shi, T. Hoshikawa, and H. Sodeyama : A study  
on the relationship between physical per-  
formance and physical resources. Res. J.  
Physical Education 15, 231-235, 1971
- 11) Nemoto, et al: Aerobic and anaerobic thresh-  
old of Japanese male adults, J. Human Ergol.  
9, 183-189, 1980.
- 12) 山地啓司：心拍数の科学, 大修館書店, 東京,  
1981
- 13) 山地啓二、宮下充正: 最大自転車駆動と走運動  
にみられる呼吸・循環機能の反応の違いに関す  
る研究, 体育学研究 22, 179-187, 1977.

（平成5年12月20日受付）