

原 著

陸上競技選手における一定高強度高回転数自転車駆動の再現性および Wingate Anaerobic Test との比較

三秋欣彦*1 脇本敏裕*1 中嶋雅子*2 長尾光城*3 松枝秀二*4 長尾憲樹*5

要 約

我々は、自転車エルゴメータを使用し、一定高回転数を維持する測定の基礎的な情報を得ることを目的とし、成人陸上競技選手を対象にした最高回転数の80%に設定された回転数を維持する測定(80%MRT)と Wingate Anaerobic Test との比較、及び80%MRTの再現性について検討した。その結果、規定回転数を維持することのできた時間(Et)が Sprint 群で19.3±3.0秒、Endurance 群で20.7±2.6秒ということや血中乳酸が有意に80%MRTで低値を示したことから80%MRTは、WAnTと比較して明らかに負担が軽く、解糖系の無酸素性能力の評価のための簡易な方法として有用である可能性が示唆された。しかしながら、Etの再現性は、 $r=0.77\sim 0.78$ とやや低かった。スポーツの運動特性の面からいえば、高回転数維持測定は、速いピッチでスピードを維持する陸上短距離選手や自転車競技選手などの無酸素性能力の評価に適した測定方法になる可能性があるため、測定方法の工夫と改善により日内、日差再現性などの精度を高め、指導現場での評価に使用できる測定にしておくことの必要性が示唆された。

緒 言

最大無酸素パワーは、運動初期の貯蓄されている磷酸に依存しているが、数秒間の最大運動の評価には、マルガリヤの階段駆け上がり法によるパワーテスト¹⁾や Wingate Anaerobic Test (WAnT)²⁾の5~10秒までの初期の出力結果が用いられることが多い。また、解糖系の無酸素性能力の評価ではWAnTでの平均パワーがよく用いられる。一方、実測できない酸素不足量を合わせた容量を Anaerobic Capacity (AC)³⁻⁸⁾として無酸素性能力の中でも特にPCrの再合成や解糖系のエネルギー供給について評価しようとした試みが多くなされている。ACは、Maximal accumulated O₂ deficit (MAOD)としてトレッドミルでのランニング^{3,6)}やエルゴメータを使った自転車駆動^{4,5,7)}を主に30秒~3分で疲労困憊になるような強度により測定される⁸⁾。自転車駆動で測定されるものには、規定した一定回転数を維持するものや初期から全力で自転車をこぎ、短時間でMAODを求めようとする方法^{4,5)}などが見られる。特に前者において、測定時の回転数に着目

した場合、そこで規定される回転数は、70rpm⁷⁾、80rpm⁹⁾、90rpm¹⁰⁾などである。無酸素的作業能力(Anaerobic Work Capacity: AWC)を算出する際にも規定された一定回転数を3~4種類の負荷で維持する測定^{11,12)}が行われるが、そこでの回転数は、60rpm程度である。いずれも回転数を固定して負荷の大小によって強度が設定される。作業効率についての研究¹³⁻¹⁵⁾では、よく120rpm以下の数種類の回転数が用いられることが多い。このような回転数が選択されるのは、有酸素性運動であること以外に比較的回転がゆるやかで規定された回転数に合わせて漕ぐことが容易であることが理由の1つとして考えられる。

トレーニング現場において自転車競技選手や陸上短距離選手など、動作スピードが速い競技における無酸素性能力の評価を考えた場合、MAODやAWCの測定に用いられるような強度設定よりも、負荷を一定にして回転数の増減で強度を調節し、高回転数での疲労困憊運動によって得られたパラメータを元にして評価する方が、種目に適した合目的な測定となり得るかもしれない。しかしながら、一定高回

*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康科学専攻 *2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康体育学専攻

*3 川崎医療福祉大学 医療福祉学部 保健看護学科 *4 川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科

*5 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

(連絡先)三秋欣彦 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

転数維持によって無酸素性能力を評価する研究成果はあまり見られない。また、MAOD や AWC による評価の際、MAOD は、測定が煩雑であり⁸⁾、両者とも比較的測定に長時間を要するため、主に無酸素解糖系の能力が評価できる簡易な測定方法の確立が望まれる。

我々は、プレ実験で自転車エルゴメータを用い、最高回転数の80%程度で一定高回転数を維持した場合、20秒前後で規定された回転数を維持できなくなること確認した。この方法は WAnT よりも測定の身体的な負担が軽く、測定が簡便であり、主に無酸素性のエネルギー経路によるパフォーマンスを評価できることが予測できる。これらのことから、本研究は、成人陸上競技選手を対象にした最高回転数の80%を維持する測定の再現性の確認と WAnT との比較を実施することで、一定高回転数を維持する測定手法の基礎的情報の収集を目的とした。また、同時に両者の測定について陸上競技の短距離系選手と中長距離系選手についての代謝特性の比較も併せて行った。

方 法

1 実験 1 80%Maximal Revolution Test の再現性

1.1 実験 1-1 全体での再現性

1.1.1 被験者

被験者は、岡山県内の大学および社会人陸上チームに在籍する男性の現役陸上競技選手28名(100m: 6名, 110mH: 2名, 200m: 5名, 400m: 3名, 400mH: 1名, 走幅跳: 2名, 800m: 3名, 1500m: 1名, 5000m 5名)とした。各被験者の身体的特性は、年齢 22 ± 4 歳(平均値 \pm 標準偏差)身長 174.6 ± 5.3 cm、体重 62.9 ± 5.6 kgであった。被験者に本研究の目的および測定内容を説明し、研究参加の同意を得た。

1.1.2 最高回転数測定

電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ、パワーマックス VII(コンビ社製)を用い、負荷設定は、体重の7.5%の負荷(kp)とした。サドルの高さは、最もこぎやすいと思われる高さを被験者が選び、すべての測定をその高さで統一した。被験者は、7秒間の全力自転車駆動を実施し、1日目、2日目の内で最も高い回転数、ピークパワー(PP)を被験者の測定値とした。

1.1.3 80%Maximal Revolution Test

最高回転数測定で得られた最高回転数の80%の回転数を目標回転数(Target Revolution: TR)とし、被験者は、運動開始と同時に回転数を TR まで一気にあげ、パワーマックス VIIの液晶モニターに表示される回転数を見ながら TR を維持した。この測定

を80%Maximal Revolution Test(80%MRT)とした。被験者は、出来るだけ長時間漕ぐよう努力し、TR から10回転を下回った時点で運動を終了した。この時の時間を Exhaustive time - 10rpm (Et_{10}) 運動開始から Et_{10} までの仕事量を80%MRW₁₀ とし、分析の比較対象として5回転を下回ったときの時間を Et_5 、仕事量を80%MRW₅ とした。

1.1.4 実験のプロトコル

1日目に最高回転数測定と80%MRTの練習、2日目に最高回転数測定と80%MRT、3日目は、2日目と同様とした。各測定間は、最低24時間とし、全ての実験が、2週間以内に終わるようにした。1日目は、被験者独自のウォーミングアップの後、最高回転数測定を2回、各試技間に5分以上の休憩を挟んで実施し、20分後に80%MRTの練習を最低2回、1回につき15秒実施した。そのときの負荷は、体重の7.5%負荷の90%とした。2日目と3日目は、1日目と同様にしてウォーミングアップと最高回転数測定を実施した後、20分の休憩を挟み80%MRTを実施した。

1.2 実験 1-2 80%MRTでの個人間の再現性

1.2.1 実験 1-2 a 日差再現性

被験者は、自転車駆動に慣れている男子大学陸上競技選手4名。身体的特性は、年齢 21 ± 3 歳、身長 174.7 ± 3.0 cm、体重 63.9 ± 3.2 kgであった。測定は、被験者独自のウォーミングアップの後、体重の7.5%の負荷(kp)で7秒程度の全力自転車駆動を2~3回実施し、5分以上休憩した後、同負荷で80%MRTを実施した。測定日の間隔は、最低24時間以上とし、その間に高強度のトレーニングを控えるよう指示した。3日連続の測定を2期に分けて実施し、1期と2期の間隔は2週間とした。

1.2.2 実験 1-2 b 日内再現性

被験者は、自転車駆動に慣れている男子大学陸上競技選手3名。身体的特性は、年齢 21 ± 4 歳、身長 174.7 ± 3.0 cm、体重 64.4 ± 3.4 kgであった。被験者独自のウォーミングアップの後、初めに体重の7.5%の負荷(kp)で7秒程度の全力自転車駆動を2~3回実施し、5分以上休憩した後、同負荷で80%MRTを3回実施した。80%MRTのセット間の休憩は40分とした。測定は、昼食後2時間以上空けてから開始した。

2 実験 2 80%MRTとWAnTの比較

2.1 被験者と実験のプロトコル

地方競技大会参加レベルの男子大学陸上競技選手17名(100m選手3名, 110mH選手1名, 200m選手1名, 400m選手3名, 800m選手3名, 1500m選手1名, 5000m選手4名, 走高跳選手1名)を

対象に実験1と同様にパワーマックスVIIを用いて、体重の7.5%の負荷で7秒間の全力自転車駆動を2回実施し、5分以上休憩した後、80%MRTもしくはWAnTを実施した。そこでの全力自転車駆動を2回実施したうちの最高回転数とピークパワーの最高値を測定値とした。80%MRTとWAnTの測定間隔は、最低24時間とし、すべての測定が2週間以内に終わるようにした。比較検討のために100m、110mH、200m、400m、走高跳選手の計9名をSprint群、800m、1500m、5000m選手の計8名をEndurance群に分類し、運動前後に血中乳酸測定を実施した。また、体組成の測定は、水中体重秤量法を用いて実施した。各被験者の身体的特徴を表1に示した。

表1 実験2における被験者の身体的特性

	Sprint (N = 9)	Endurance (N = 8)
Age (yrs)	20.6 ± 2.2	20.0 ± 0.9
Height (cm)	174.8 ± 2.9	173.1 ± 6.0
Weight (kg)	63.2 ± 3.9	61.3 ± 5.1
Fat (%)	7.4 ± 2.8	8.9 ± 4.5

not significant

尚、被験者のうちSprint群の4名とEndurance群の6名については、80%MRTとWAnTで安静時から運動終了9分後まで呼吸代謝と心拍数の測定を実施した。測定は、全て被験者に実験についての方法と詳細、危険性について理解を得た後に実施した。

2.2 血中乳酸測定

血中乳酸の測定には、エタノール消毒の後、手指を穿刺し、簡易血中乳酸測定器ラクテートプロ（アークレイ社製）を用いて実施した。採血は、安静時、運動終了後3、5、7、9分に実施し、安静値は5から7秒間の全力自転車駆動の後、10分休憩後に測定した。

2.3 呼吸代謝測定

呼吸代謝測定には、呼吸代謝測定装置MMC4400tc（sensor medics社製）を用いた。全ての測定前には、auto-calibration機能を使用し、既知濃度の標準ガスを用いてガスアナライザの校正を実施した。測定はbreath-by-breath法を用い、安静測定開始時から運動終了後9分まで実施した。

2.4 心拍数測定

運動開始2分前から運動終了後9分まで、心拍数の測定を行った。測定にはVantage NV（Polar社製）を用い、5秒ごとにデータを記録した。安静時には、運動開始前1分間の平均値を用いた。また、運動中、運動後初期における最大心拍数を採用し、運動後3、6、9分時点の心拍数を採用して分析を行った。Endurance群のうち、データが欠損した1名は、分析から除外した。

統計処理

データは、全て平均値 ± 標準偏差で表した。また実験1のEtについては、標準偏差と平均値より変動係数（CV）を算出した。そして実験1において80%MRTで被験者が、どの程度TRに合わせられているかを確認するため、TRまで回転数を上げてから概ね回転数が安定し始める測定開始5秒から、TRより5rpm低下したところまでの平均回転数に対する変動係数（RPMcv）を算出した。統計解析には、Windows版stat view 4.58を用いた。2群の比較については、図1の80%MRTとWAnTの仕事量の比較は対応ありのt-testを用い、それ以外の群間での比較は全て対応なしのt-testを用いた。各パラメータ間の相関関係については、ピアソンの積率相関分析を用いた。有意水準は全て5%とした。

結果

1 実験1-1

80%MRTで2回測定した時の1回目と2回目の相関を表2に示した。Et₁₀で、 $r = 0.77$ 、Et₅で $r = 0.78$ であったが、仕事量では、 r が0.58から0.68となり、Etよりも相関が低かった。1回目と2回目で運動開始からTRに達するまでの時間の相関は、 $r = 0.42$ ($p = 0.026$)であった。TRとRPMcvとの間には、有意な相関関係は無かった ($r = 0.043$)。RPMcvは、1回目 $2.05 \pm 0.81\%$ 、2回目 $2.11 \pm 0.69\%$ であったが、両者に有意な差はなかった。

1.2 実験1-2

実験1-2a 80%MRTの3日連続測定を2期間にわたって実施した結果、3日間の測定におけるEtのCVは、2期間分を総合するとEt₁₀で $5.0 \pm 2.0\%$ 、Et₅で $6.0 \pm 3.1\%$ であったが、両者に有意な差は無かった。また、1期目と2期目の比較でも有意差は無く、むしろ2週間後の測定の方が、EtのCVが高い傾向であった ($p = 0.16$)。RPMcvは、1期目が $1.89 \pm 0.59\%$ 、2期目が $1.64 \pm 0.35\%$ であったが、両者に有意な差はなかった。

実験1-2b 80%MRTを1日に3回実施したときEtのCVは、Et₁₀で $3.3 \pm 2.1\%$ 、Et₅で $3.8 \pm 2.1\%$ で、両者に有意な差は無かった。RPMcvは、1回目が 1.58 ± 0.33 、2回目が $1.42 \pm 0.36\%$ 、3回目が $1.53 \pm 0.34\%$ であったが、それぞれに有意な差はなかった。

実験1-2aでの日差よりも実験1-2bの日内のほうが、EtのCVが小さい傾向にあったが、有意な差はな

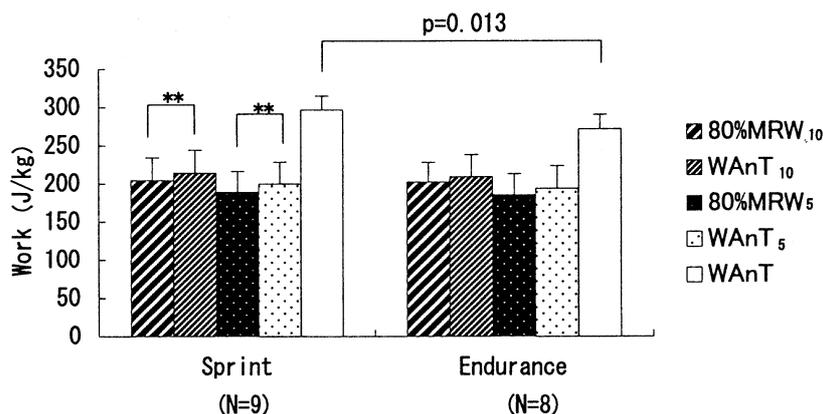


図1 仕事量(相対値)の比較。

WAnTの仕事量を80%MRTのEtに合わせたときの仕事量をWAnT₁₀(TRより10rpm低下したところ), WAnT₅(TRより5rpm低下したところ)で表した。
**p<0.01

表2 1回目と2回目の測定の相関の図。

TRから10rpmもしくは5rpm低下したところまでの測定値を比較した。

	10rpm		5rpm	
	r	p-value	r	p-value
Et (s)	0.77	<0.0001	0.78	<0.0001
80%MRW (J)	0.60	0.007	0.58	0.0013
80%MRW (J/kg)	0.68	<0.0001	0.68	<0.0001

N=28

かった。被験者ごとでは、1期と2期を平均して比較した時の日差のCVが最も高かった被験者でEt₁₀が6.9±2.5%、Et₅で8.9±1.2%、最も低かった被験者で、Et₁₀が3.5±1.3%、Et₅で3.3±1.4%であった。日内のCVは、最も高かった被験者でEt₁₀が4.5±3.1%、Et₅で5.1±1.9%、最も低かった被験者で、Et₁₀で2.4±1.2%、Et₅で1.5±0.2%であった。実験1-1の練習回数が少ない学外被験者と比較して、自転車駆動になれた実験1-2aの被験者(p=0.04)と、実験1-2bの被験者(p<0.0001)では、RPMcvが有意に低かった。

2 実験2

TRとRPMcvの間には、有意な相関関係は無かった。Sprint群、Endurance群における各測定での仕事量の相対値の比較を図1に示した。WAnT₁₀、WAnT₅は、それぞれWAnTの運動開始から80%MRTにおけるEt₁₀、Et₅時点までの仕事量を示した。Sprint群では、80%MRW₁₀が204.8±29.7J/kg、WAnT₁₀が214.3±30.1J/kg、80%MRW₅が189.0±27.5J/kg、WAnT₅が200.0±28.6J/kgであり、80%MRTとWAnTでの運動終了時間を合わせたときの比較では、対応ありのt-testにおいて有意な差があった。しかし、Endurance群では、同様の比較で有意な差

は無かった。また、群間の比較においても有意な差は無かった。WAnTでは、Sprint群とEndurance群の間に有意な差があった(p=0.013)。

80%MRTとWAnTの血中乳酸動態の比較を図2に示した。Sprint群、Endurance群ともにいずれの測定時間においてもWAnT時の血中乳酸が有意に高値を示した。Sprint群とEndurance群の比較では、80%MRTでは、Sprint群の方が若干、運動後の乳酸値に高値を示す傾向であったが、両者に有意な差は無かった。WAnTでは、運動後の乳酸値がSprint群で高値を示し、7分値でSprint群が15.7±2.0mmol/l、Endurance群が12.7±2.3mmol/l、9分値でSprint群14.5±1.3mmol/l、Endurance群12.2±2.3mmol/lとなり、群間に有意な差があった。

呼吸代謝の結果を、図3に示した。 $\dot{V}O_2$ は、Sprint群では、WAnTの方が高く、運動後3-6分、6-9分に有意な差があった。しかし、Endurance群では有意差はなかった。 $\dot{V}CO_2$ は、運動中、運動後ともにSprint群でのWAnTの方が高くなったが、Endurance群では、運動後0-3分のみ有意な差があった。RQは、Sprint群、Endurance群のいずれも運動後0-3分で有意にWAnTの方が高くなった。 \dot{V}_E は、Sprint群で運動中から運動後9分まで

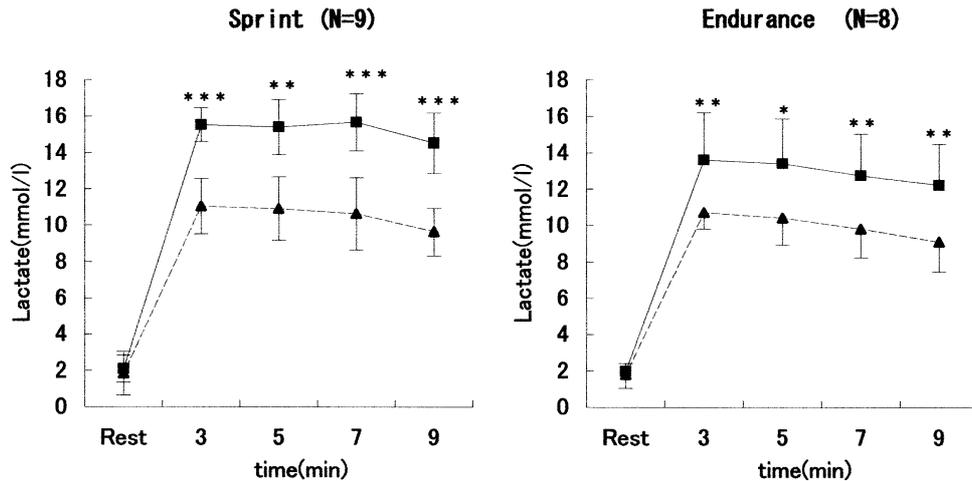


図2 Sprint群(左図)とEndurance群(右図)での運動前後の血中乳酸値の推移。
WAnTは実線,80%MRTは破線で表した。採血は運動開始前,運動後3,5,7,9分を実施した。
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

の全てにおいて,Endurance群では,運動中から運動後6分において有意にWAnTの方が高くなった。最高値は,運動後0-3分で最大となりSprint群が,70.7 \pm 5.5l/min,Endurance群が65.8 \pm 4.6l/minであり,Sprint群で高い傾向がみられた。

心拍数の結果を図4に示した。Sprint群では,最高値と運動後の心拍数でWAnTの方が高値を示す傾向であったが,有意な差は無かった。また,Endurance群では,すべての時間帯で80%MRTとWAnTに全く差は見られなかった。

考 察

実験1で80%MRTにおける再現性の検討を行った。WAnTでは,PP¹⁶⁾,MP¹⁷⁾に $r > 0.9$ の再現性があることが多数報告されている。また,運動後の血中乳酸のピーク値,心拍数においても $r > 0.9$ の再現性がある¹⁷⁾と言われている。本研究では,1回目と2回目の試技の相関係数は,Etで0.77~0.78であり,80%MRTは,WAnTと比較するとやや再現性が低かった。3日間連続での測定を2期間にわたって実施した日差再現性については,Etで3日間連続によっても5~6%の変動があり,2回目の方がTRに合わせる時の技術が上達してEtの再現性が高くなるということもなかった。しかしながら,日内の再現性が高い傾向にあり,運動を実施する時間帯による影響¹⁸⁾により,再現性が低くなる可能性が考えられるものの,同日の測定であれば,自転車駆動時のTRまで回転数を上げる速さやTRを維持しているときの感覚が,2回目,3回目の測定まで残存して,高い再現性を得ることが考えられる。

回転数について考えた場合,有酸素運動で一定回転

数を維持する測定に用いられる回転数は,120rpm以下^{13,14)}が殆どである。オールアウトタイムが1分未満のもので,120rpm以上の回転数を維持するものはあまり見られない。我々の研究では,実験2において,TRがSprint群146 \pm 10回転,Endurance群134 \pm 9回転と高く,回転をTRまで上げてから維持する際に回転数の維持が,高回転数の時の方が困難になることが考えられた。しかし,実験1-1の80%MRTでは,TRとRPM_{cv}との間には,有意な相関関係は無かった。また,RPM_{cv}は,実験1-1における学外の被験者よりも実験1-2a,1-2bにおける自転車駆動になれた学内の被験者の方が有意に低かった。これらのことから,TRが高いことによって一定回転数を維持することが困難になるというよりは,個人の駆動技術の関与の方が大きいことが示唆された。一方,有酸素運動における回転数維持の測定では,予め無負荷で回転数を上げて行き,目標値に達した時点で負荷をかけるという方法¹⁹⁾が採られることがある。しかし,我々の研究においてこの方法を採用した場合,有酸素運動での回転数維持に比べて回転数が高いために,負荷がかかり始めてからの回転数の低下が大きくなり,逆に測定精度を下げる原因になることが考えられる。WAnTでは,運動開始初期から回転数を全力で一気に上げるため,測定時に技術的な要素が少なく済む。我々の研究においては,実験1-1でTRまで回転数を上げるまでの時間について,試技間の相関が $r = 0.42$ ($p = 0.026$)と低かった。このように今回の実験で再現性がWAnTと比べて低めになるのは,TRまで毎回同じタイミングで回転数を上げる技術,TRを一定に合わせるための技術を必要とすることが原因であると考えられる。

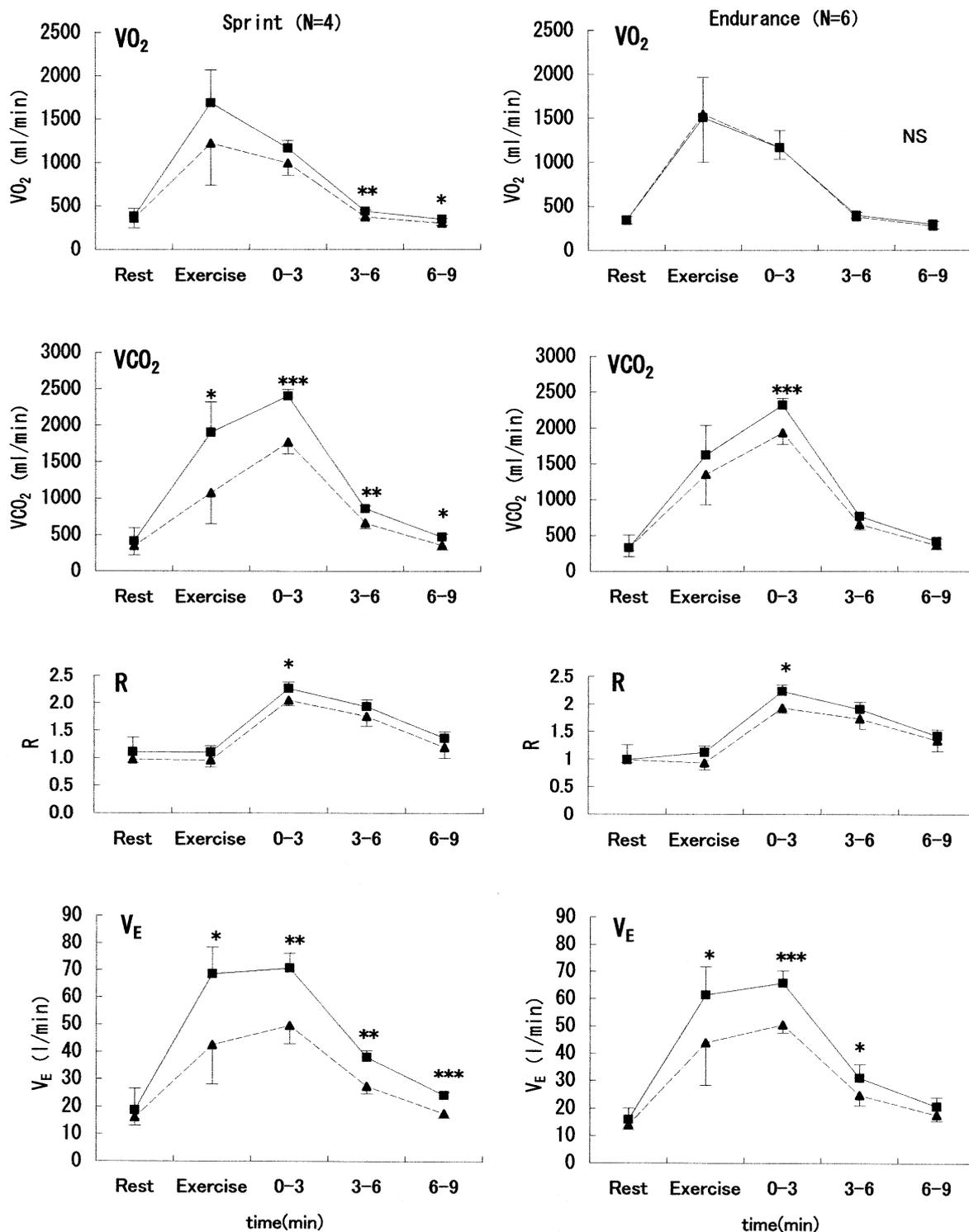


図3 Sprint群(左列)とEndurance群(右列)における呼吸代謝($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, R, \dot{V}_E)の比較. WAnTは実線, 80%MRTは破線で表した. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS:有意差なし

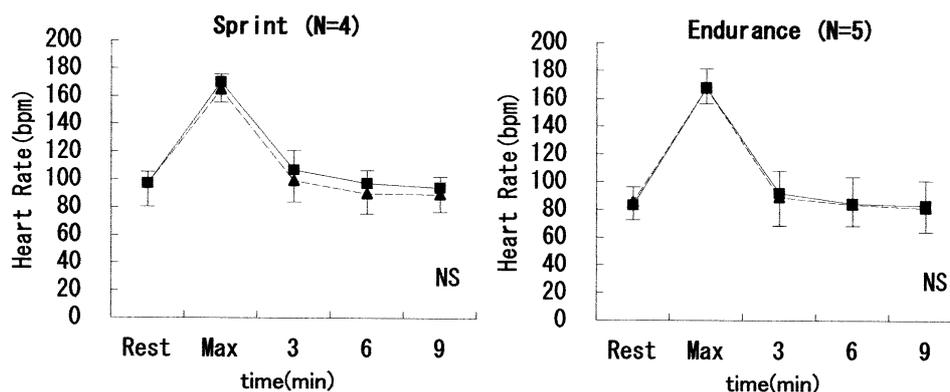


図4 WAnTと80%MRTにおけるSprint群(左図)とEndurance群(右図)の心拍数の比較。Restは安静値,Maxは最高値を表し,WAnTは実線,80%MRTは破線で表した。Endurance群でデータの欠落した1名は除外した。NS:有意差なし

表3 実験2におけるパフォーマンスの結果。

MRは7秒間の自転車駆動による最高回転数,MR:WAnTはWAnT時の最高回転数を表した。

		Sprint (N=9)	Endurance (N=8)	p-value
80%MR	Load (kp)	4.7±0.3	4.6±0.4	NS
	MR (rpm)	183.0±12.9	167.4±8.8	0.0113
	TR (rpm)	146.4±10.4	133.9±7.0	0.0111
	Et ₁₀ (s)	20.9±3.3	22.6±2.3	NS
	80%MRW ₁₀ (kJ)	12.9±1.9	12.5±1.7	NS
	80%MRW ₁₀ (J/kg)	204.8±29.7	202.8±25.3	NS
	Et ₅ (s)	19.3±3.0	20.7±2.6	NS
	80%MRW ₅ (kJ)	11.9±1.7	11.4±1.6	NS
	80%MRW ₅ (J/kg)	189.0±27.5	185.6±27.4	NS
WAnT	Load (kp)	4.7±0.3	4.6±0.4	NS
	MR (rpm)	180.1±12.1	165.0±10.3	0.0146
	MR:WAnT (rpm)	175.4±13.7	158.1±9.7	0.0097
	PP (W)	811.3±54.0	712.0±77.8	0.0075
	PP/kg (W/kg)	12.8±1.0	11.6±0.6	0.0091
	MP (W)	628.6±45.0	554.6±55.7	0.0085
	MP/kg (W/kg)	9.9±0.6	9.1±0.6	0.0125
	Work (kJ)	18.9±1.4	16.6±1.7	0.0085
	Work (J/kg)	297.0±18.0	271.6±19.0	0.0127

NS: not significant

80%MRTにおいて運動をストップさせる回転数の設定についての検討をTRから10rpmもしくは5rpm低下したところで比較したところ,日内,日差ともに有意差はなかったがEtのCVが5rpm低下時でやや高めになった。これは,今回の実験では,TRから10rpm低下したところで運動をストップしたので,TRから回転数が低下し始めたときTRから急激に回転数が低下するか,徐々に低下していくかが被験者の努力の程度によって違うことが理由として考えられる。よって運動をストップさせるころは,そういった影響を受けにくい回転数(ここでの5rpm低下時)を選択することが望ましいことが考

えられる。しかしながら,回転数がTRより5rpm下回ったのが,疲労困憊状態になったからか,TRに合わせている時の回転数の変動によってたまたまTRより5rpm低下したところを下回ったのかの判断を機械的にすると誤った評価を下す可能性があるので注意が必要である。

実験2において,Sprint群では,WAnTが80%MRTよりも有意に仕事量が多くなったが,Endurance群では,有意差は無かった(図1)。80%MRTという強度が,Sprint群ではWAnTよりも明らかに負担の軽い測定であるものの,Endurance群では80%MRTの方がWAnTよりも軽い強度の測

定であるとは断言できない。それは、 $\dot{V}O_2$ で Sprint 群では、WAnT の方が、運動終了後までも明らかに酸素消費が高値を保っているのに対し、Endurance 群では運動中、運動終了後とも有意な差が無いこと(図3)、80%MRT よりも WAnT で心拍数が最高値、運動後とも高くなる傾向を示したものの、Endurance 群では、全く差が無かったことからわかる(図4)。80%MRT での身体に対する負担が、Sprint 群より Endurance 群の方が WAnT と比べてあまり軽くないのは、Endurance 群の Et の方が長い傾向にある(表3)ことが根本的な原因であることが考えられる。この結果として80%MRT と WAnT の仕事量に Endurance 群では有意差がなかったのかもしれない(図1)。しかしながら、両群ともに運動後の血中乳酸値において80%MRT の方が WAnT よりも低く(図2)、80%MRT が、種目特性によって負担度に違いがあるものの WAnT よりも負担の小さい測定であることが明らかとなった。

これらのことから、80%MRT は Et が20秒程度(表3)であり、再現性がやや低くまだ改良の余地があるものの、解糖系の評価のための簡易な方法としての可能性が示唆された。またスポーツ種目の競技特性の面からいえば、今回のような高回転数での評価方法によって陸上短距離選手や、自転車競技選手など、無酸素性の超最大運動をかなり速いピッチで維持する種目の能力を評価する場合に WAnT のように運動開始直後から全力を出し切るものに対して、80%MRT での一定回転数まで上げて維持するという測定形態が、種目特性に合った測定方法として無酸素性能力の評価指標となりうることも考えら

れる。

しかしながら、本研究で TR に回転数を合わせることの精度確認を行ったようなことは、再現性を論じる前に十分に議論されるべき項目であるが、実際は軽視されがちである。よって、80%MRT においてもこういった基礎的なところについて更に検討しながら工夫、改善を加え、日内及び日差再現性などの精度を高めることで指導現場での評価に使用可能な測定にしていくことが必要である。

ま と め

我々は、自転車エルゴメータを用い、一定高回転数を維持する測定の基礎的な情報を得ることを目的とし、成人陸上競技選手を対象にして80%MRT と WAnT との比較、及び80%MRT の再現性について検討した。その結果、80%MRT は、種目特性によって負担度に違いがあるものの WAnT と比較して明らかに負担が軽く、解糖系の無酸素性能力の評価のための簡易な方法として有用である可能性が示唆された。しかし、被験者が毎回同じタイミングで TR に合わせる事が困難であることなどから再現性がやや低くなるという問題点も明らかとなった。スポーツの運動特性の面からいえば、高回転数維持測定は、速いピッチでスピードを維持する陸上短距離選手や自転車競技選手などの無酸素性能力の評価に適した測定方法になる可能性がある。今後、本研究で得られたような測定の特性を明らかにしていくことで、測定精度を高めるとともに、誤差範囲を明確にして、実際の指導現場で活用できる合目的な測定・評価方法にしていくことが必要である。

文 献

- 1) Margaria R, Aghemo P and Rovelli E : Measurement of muscular power (anaerobic) in man . *Journal of Applied Physiology* , **21**(5) , 1662-1664 , 1966 .
- 2) Bar-Or O : The Wingate anaerobic test . An update on methodology , reliability and validity . *Sports Medicine* , **4**(6) , 381-394 , 1987 .
- 3) Medbø JI , Mohn A , Tabata I , Bahr R , Vaage O and Sejersted OM : Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit . *Journal of Applied Physiology* , **64**(1) , 50-60 , 1988 .
- 4) Gustin PB and Lawson DL : Influence of training status on maximal accumulated oxygen deficit during all-out cycle exercise . *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* , **69** , 321-330 , 1994 .
- 5) Withers RT , Van Der Ploeg G and Finn JP : Oxygen deficits incurred during 45 , 60 75 and 90-s maximal cycling on an air-braked ergometer . *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* , **67** , 185-191 , 1993 .
- 6) Scott CB , Roby FB , Lohman TG and Bunt JC : The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **23**(5) , 618-624 , 1991 .
- 7) Weber CL and Schneider DA : Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for

- cycling . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **33** (6) , 1056–1059 , 2001 .
- 8) 田畑泉 : 無酸素性エネルギーの定量法 . *Japanese Journal of SPORTS SCIENCE* , **13** (5) , 559–566 , 1994 .
- 9) Calbet JAL , Chavarren J and Dorado C : Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and 45-s Wingate test . *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* , **76** , 308–313 , 1997 .
- 10) López Calbet JA , Navarro MA , Barbany JR , Garcia Manso J , Bonnin MR and Valero J : Salivary steroid changes and physical performance in highly trained cyclists . *International Journal of Sports Medicine* , **14** (3) , 111–117 , 1993 .
- 11) Moritani T , Nagata A , DeVries HA and Muro M : Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold . *Ergonomics* , **24** (5) , 339–350 , 1981 .
- 12) Jenkins DG and Quigley BM : The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity . *Ergonomics* , **34** (1) , 13–22 , 1991 .
- 13) Chavarren J and Calbet JAL : Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists . *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* , **80** , 555–563 , 1999 .
- 14) Coast JR , Cox RH and Welch HG : Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **18** (2) , 225–230 , 1986 .
- 15) Gaesser GA and Brooks GA : Muscular efficiency during steady-rate exercise : effects of speed and work rate . *Journal of Applied Physiology* , **38** (6) , 1132–1139 , 1975 .
- 16) Patton JF , Murphy MM and Frederick FA : Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test . *International Journal of Sports Medicine* , **6** (2) , 82–85 , 1985 .
- 17) Weinstein Y , Bediz C , Dotan R and Falk B : Reliability of peak-lactate , heart rate , and plasma volume following the Wingate test . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **30** (9) , 1456–1460 , 1998 .
- 18) Hill DW and Smith JC : Circadian rhythm in anaerobic power and capacity . *Canadian journal of sport sciences* , **16** (1) , 30–32 , 1991 .
- 19) Hill DH , Smith JC , Leuschel JL , Chasteen SD and Miller SA : Effect of Pedal Cadence on Parameters of the Hyperbolic Power – Time Relationship . *International Journal of Sports Medicine* , **16** (2) , 82–87 , 1995 .

(平成16年 5月25日受理)

Reproducibility of High Intensity Steady-State Cycling and a Comparison with the Wingate Anaerobic Test in Track and Field Athletes

Yoshihiko MIAKI, Toshihiro WAKIMOTO, Masako NAKAJIMA, Mitsushiro NAGAO, Syuji MATSUEDA and Noriki NAGAO

(Accepted May 25, 2004)

Key words : wingate, reproducibility, 80%MRT, critical power, methodology

Abstract

The purpose of this study was to obtain basic information about high intensity steady-state cycling by comparing the pedal frequency regulated at 80% of maximal revolution (80%Maximal revolution test : 80%MRT) and the Wingate Anaerobic Test for adult track and field athletes. Also, reproducibility of 80%MRT was considered. The results showed that 80%MRT was clearly lighter than WAnT. Exhaustive time (Et) was 19.3 ± 3.0 s in the Sprint group, and 20.7 ± 2.6 s in the Endurance group while blood lactate was significantly lower in 80%MRT. The results also indicated the possibility that 80%MRT was a useful and simple measurement for assessing anaerobic ability in the glycolytic pathway. However, the correlation between the first and second trial was somewhat poor ($r=0.77 \sim 0.78$) at Et. If one considers the kinetic characteristics, this method becomes suitable for the evaluation of anaerobic ability in athletes like sprinters and cyclists, who maintain high stride and pedalling frequency. On this account, the results indicated that there is a necessity for assessing anaerobic ability in the field by developing the measurement accuracy of intra day and daily rate reproducibility by device and improvement of the measuring method.

Correspondence to : Yoshihiko MIAKI

Doctoral Program in Health Science, Graduate School of Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.14, No. 1, 2004 125-134)