

カナディアンカヌー競技選手の有酸素性・無酸素性 作業能力の測定・評価法の検討

—新しく開発されたカナディアンカヌー・エルゴメーターを用いて—

藤中 智子¹⁾, 山本 正嘉²⁾

¹⁾ 鹿屋市立笠野原小学校

²⁾ 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

1. 研究目的

静水で行われるカヌー競技には、カヤックとカナディアン¹⁾の2種目があるが、いずれも上半身主体の運動という点で他の多くのスポーツとは異なっている。そして主要な競技の所用時間がおよそ40秒間(200m競技)～4分間(1000m競技)であることを考えると、その競技成績には上半身における無酸素性及び有酸素性の作業能力がいずれも関わることが予想される。

スポーツ選手の有酸素性・無酸素性作業能力を測定・評価する場合、一般的にはトレッドミルまたは自転車エルゴメーターが用いられる。しかし上記の競技特性を考えると、カヌー選手の場合は上半身主体の運動で行うことも必要と考えられる。この点、カヤックの選手については、すでに自転車エルゴメーターのクランキング^{1,2,3,4)}やカヤックエルゴメーター^{1,5,6,7,8)}を用いた研究が行われている。

一方カナディアンの選手については、平山ら⁹⁾が自転車エルゴメーターを用いたアームクランキング運動を用いて、有酸素性・無酸素性作業能力の評価を試みている。しかしこの運動様式は、カナディアン漕法との違いが大きいという問題がある。またByrnesら¹⁰⁾は、カヤックエルゴメーターをカナディアン用に改造し、2名の選手にレースを想定した距離を漕がせて有酸素運動と無酸素運動の比率を求めている。しかし、その測定方法自体の妥当性については検討していない。

本研究では、最近カナディアンカヌー専用のエルゴメーターが開発されたことを受けて、この装置を用いて以下の3点について明らかにしようとした。

- (1) カナディアンカヌー・エルゴメーターを用いて、有酸素性作業能力(ピーク $\dot{V}O_2$)と無酸

素性作業能力(最大無酸素性パワー)を測定するための方法を確立すること

- (2) その方法を用いて、一流選手を含めたレベルの異なる様々なカヌー選手の有酸素性・無酸素性作業能力を測定し、カヌー選手の基礎体力を数値で明らかにすること
- (3) このエルゴメーターを用いて、200m, 500m, 1000mの全力シミュレーション漕を行い、その作業成績や生理応答を明らかにし、これと身体特性、有酸素性・無酸素性作業能力との関係、および実際のレースでの成績や生理応答との関連を明らかにすること

2. 研究方法

1) 被験者

鹿屋体育大学カヌー部のカナディアン選手11名と鹿児島県下の高校カヌー部のカナディアン選手3名の計14名の選手が参加した。全員が年間を通じてトレーニングを実施しており、その内容は水上トレーニングを中心として、他にランニング、ウエイトトレーニング、サーキットトレーニングなども行っていた。

これらの被験者の競技力は、全国大会において上位に入賞できる一流選手から、経験2年目の非熟練者まで、異なる水準にあった。そこで14名の選手のうち、平成15年度の日本カヌーフラットウォーター選手権大会で決勝に進出した選手5名を一流選手群とし、他の9名の選手を一般選手群とし、2群に分けた(表1)。

これらの被験者はいずれも、実験の目的、測定手順およびそれに伴う危険性などについて事前に説明を受けた上で実験に参加した。

表1 被験者の身体特性

測定項目	全 体 (n = 14)	一流選手群 (n = 5)	一般選手群 (n = 9)	有意差 (一流選手群VS一般選手群)
年齢 (years)	19.3±2.5 (15-24)	21.6±1.9	18.0±1.7	**
競技年数 (years)	4.3±1.9 (1.3-8.3)	6.1±1.6	3.1±1.2	*
身長 (cm)	171.2±5.5(160.0-183.1)	172.5±2.0	169.7±6.0	—
体重 (kg)	71.8±8.2 (57.7-86.6)	75.1±7.4	70.3±9.8	—
BMI	24.4±1.8 (20.7-27.0)	24.9±1.5	24.2±2.0	—
皮下脂肪厚(6点)合計(mm)	79.5±28.2(33.0-117.3)	72.2±27.1	83.5±29.5	—
体脂肪率 (%)	11.7±5.2 (4.6-21.3)	10.2±3.4	12.5±6.0	—
体脂肪量 (kg)	8.5±4.1 (2.8-14.8)	7.7±3.2	9.0±4.6	—
除脂肪体重 (kg)	65.2±5.7 (52.7-73.3)	66.8±2.7	61.2±7.8	—

平均値±標準偏差 (範囲)

* p < 0.05, ** p < 0.01

2) 実験手順

以下の各項目について、それぞれ異なる日に測定を行った。

a. 身体特性

身長、体重、皮下脂肪厚を測定した。皮下脂肪厚は栄研式キャリパー (明興社製) を用いて、6箇所 (肩甲下部、上腕背部、腹部、側腹部、大腿前部、下腿内側部) についてそれぞれ左右両側を測定し、平均値を合計して表した。また、体脂肪測定装置 (BOD POD MAB-1000, Life Measurement Instruments社製, USA) によって体脂肪率を測定し、これから体脂肪量と除脂肪体重を求めた。

b. カナディアンカヌー・エルゴメーター

すべての測定には、新しく開発されたカナディアン用エルゴメーター (図1: パドルライト社製, USA) を使用した。被験者は個人用のカボック (膝あ



図1

て) を使用し、ポジションを実際の艇の位置に合うように調節して実験を行った。

測定条件には牽引の重さ (空気調節孔2に設定) とパドルの長さ (シャフトより135cm) を固定する制限を設けた。モニターのキャリブレーション値は1.000に設定した。液晶画面には、パワー (W)、ストローク頻度 (rpm)、距離 (m)、時間、艇速度 ($m \cdot s^{-1}$) がモニターされるので、これを100mごとに記録した。

c. 有酸素性作業能力 (ピーク $\dot{V}O_2$) の測定

上記のエルゴメーターを用いて、2つの異なる負荷法 (プロトコル1, プロトコル2) で多段階運動負荷試験法によるピーク $\dot{V}O_2$ の測定を行い、どちらがよりよい方法かを検討した。被験者は、14名の被験者の中から無作為に選んだ5名とした。

プロトコル1では負荷設定を全員一律に固定し、負荷50Wから開始して3分毎に25Wずつ漸増させた。プロトコル2では、被験者の体重当たりで負荷を設定することとし、負荷 $1.00W \cdot kg^{-1}$ または $1.25W \cdot kg^{-1}$ から開始して3分毎に $0.25W \cdot kg^{-1}$ ずつ漸増させた。そしてどちらも疲労困憊に達するまで行った。

運動中の呼気ガスは、最終ステージの2~3分間にダグラスバッグを用いて採気した。呼気ガス中の酸素濃度と二酸化炭素濃度は自動ガス分析機 (Vmax29c, Sensor Medics社製, USA) によって定量した。ガス量は乾式ガスメーター (品川製作所社製,

日本)によって定量し、同時にガス温も求めた。また、運動終了後、3分後、5分後に血中乳酸濃度を簡易血中乳酸測定器(ラクテートプロ LT-1710, Arkray社製, 日本)により測定した。運動中の心拍数は心拍モニター(Polar社製, フィンランド)を装着し5秒間隔で記録した。

ピーク $\dot{V}O_2$ が得られたかの判定には、1)心拍数が180bpm以上、2)呼吸交換比が1.05以上、3)酸素摂取量のレベリングオフ、4)主観的運動強度が19または20、5)血中乳酸濃度が $10\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上という5条件のうち、2条件以上を満たした場合とした¹³⁾。

2つのプロトコルの比較検討後、よりよいと判断して採用したプロトコル2を用いて、被験者全員の測定を行った。

d. 無酸素性作業能力(最大無酸素性パワー)の測定

無酸素性作業能力(最大無酸素性パワー)は、自転車エルゴメーターで採用されている考え方に準拠して、短時間で最大努力のパドリングを行い、その際に発揮された機械的パワーのピーク値を指標とすることとした。

本研究ではまず、10秒間の全力パドリングを行い、その時間内に機械的パワーの発揮がピークに到達するかについて検討を行った。そしてその後、被験者14名全員の測定を行った。

e. カナディアン・エルゴメーターによる200m, 500m, 1000mの全力漕ぎテスト

このエルゴメーターを用いて200m, 500m, 1000mの全力漕ぎを実施した。被験者にはあらかじめ十分なウォーミングアップを行わせ、レースを想定して全力で漕ぐように指示した。

またこれとは別に、3名の選手には水上で3種類のレースを想定したタイムトライアルを行わせた。そして、艇速度、心拍数、血中乳酸濃度を測定し、エルゴメーターで得られた値と比較検討した。

また、エルゴメーターでの測定から1週間以内に行われた実際の競技会(平成15年度日本カヌーフラットウォーター選手権大会, 距離は200mと500m)を対象として、レース中の艇速度を測定し、エルゴ

メーターで同じ距離を全力漕ぎした時の艇速度との関係を調べた。これには本研究の被験者のうち10名が参加した。

3) 統計処理

測定値は、平均値と標準偏差で表し、最小値と最大値も示した。一流選手と一般選手との間での有意差検定を行う場合には、対応のないt検定を用いた。二変数間の関係を検討する際には、ピアソンの単相関係数を用いて処理を行った。そしていずれも危険率5%未満($P < 0.05$)を有意とした。

3. 結果

1) 身体特性

表1は、被験者の身体特性および身体組成について、被験者全体の平均値を示すとともに、一流選手群と一般選手群の値を比較したものである。一流選手群と一般選手群とを比べると、前者は年齢と競技年数において有意に高い値を示した。形態と身体組成については、一流選手では体重や除脂肪体重が大きく、体脂肪率や体脂肪量が小さい傾向を示したが、有意差は認められなかった。

2) 有酸素性作業能力

表2は、2つの負荷法で得られた生理指標の値を比較したものである。負荷設定を全員一律に固定したプロトコル1よりも、被験者の体重当たりで設定したプロトコル2の方が、ほとんどの項目で高い値を示した。したがって、プロトコル2の方が選手の能力をよりよく引き出せる方法であると判断し、以後選手の能力を評価する際にはこの方法を用いることとした。表3は、このプロトコルを用いてピーク $\dot{V}O_2$ を測定する際の具体的な負荷設定法を示したものである。

表4は、このプロトコルを用いて、全被験者の測定を行い、その結果を全体の平均値および競技力別に示したものである。全員の平均値で見ると、ピーク $\dot{V}O_2$ は $3.84 \pm 0.57 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ 、体重当たりでは $53.5 \pm 4.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ であった。なお、ピーク $\dot{V}O_2$ 、最高心拍数、最高血中乳酸濃度には群間で有意差は見られなかったが、ピーク $\dot{V}O_2$ 出現時のパワーについては絶対値、相対値ともに一流選手群が有意に高

表2 2つのプロトコルの比較

負荷設定方法	プロトコル1 (全員一律に負荷固定： 50Wより25Wの漸増)	プロトコル2 (被験者の体重あたりで負荷設定： $1W \cdot kg^{-1}$ より $0.25W \cdot kg^{-1}$ の漸増)
オールアウト時間 (分)	11.5±0.5	13.2±0.3
最大運動強度 (Watt)	133.6±15.9	139.6±15.5
ピーク $\dot{V}O_2$ ($l \cdot min^{-1}$)	3.27±0.43	3.49±0.78
ピーク $\dot{V}O_2 \cdot WT^{-1}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	50.4±3.0	54.7±4.5
最高心拍数 (bpm)	184.0±7.0	193.0±6.0
最高血中乳酸濃度 ($mmol \cdot l^{-1}$)	11.9±5.5	12.1±2.5
呼吸交換比	1.08±0.1	1.07±0.04

平均値±標準偏差

表3 ピーク $\dot{V}O_2$ 測定のための負荷設定表

体重 負荷($W \cdot kg^{-1}$)	50kg	55kg	60kg	65kg	70kg	75kg	80kg	85kg	90kg
1.00	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1.25	65	70	75	80	85	95	100	105	115
1.50	80	85	90	95	103	115	120	125	140
1.75	95	100	105	110	120	135	140	145	165
2.00	110	115	120	125	138	155	160	165	190
2.25	125	130	135	140	155	175	180	185	215
2.50	140	145	150	155	173	195	200	205	240

値：W

注意事項

体重65kg以下→15.0W上げ	体重70kg→17.5W上げ	体重75kg以上→20.0W上げ
------------------	----------------	------------------

※自分の体重に近い基本体重の負荷に設定を合わせる。

※初心者は、 $1W \cdot kg^{-1}$ から、熟練者は $1.25W \cdot kg^{-1}$ から開始して良い。

※ジュニア選手については、65kg以上の選手についても、15W上げで良い。

値を示した。

なお図には示していないが、3名の選手についてはトレッドミル走でのピーク $\dot{V}O_2$ の測定も行った。そしてカナディアン・エルゴメーター漕で得られたピーク $\dot{V}O_2$ と比較したところ、前者の90.9~95.3% (平均で92.8%) の値を示した。

3) 無酸素性作業能力

カナディアン・エルゴメーターで全力漕を行かせたときに、ピークパワーに到達する時間を検討した結果、どの選手も運動開始から10秒以内に到達していた。またその平均到達時間は 7.7 ± 1.2 秒であった。したがって本研究では、10秒間の全力パドリングに

よって最大無酸素性パワーを評価できると判断し、以後この方法を用いて選手の能力を測定することとした。

表5は、上記の方法に基づいて、全被験者に10秒間の最大無酸素パワーテストを行わせた結果を示したものである。全被験者の平均値で見ると、最大無酸素性パワーは $444 \pm 103W$ 、平均パワーは $348 \pm 75W$ であった。また群間の差を見ると、一流選手群は平均パワー、最大パワー、ストローク頻度の項目において、対照群よりも有意に高値を示したが、最大パワーへの到達時間については有意差は認められなかった。

表4 プロトコル2によって測定された選手の有酸素性作業能力

測定項目	全 体 (n=14)	一流選手群 (n=5)	一般選手群 (n=9)	有意差 (一流選手群VS一般選手群)
ピーク $\dot{V}O_2$ ($l \cdot \text{min}^{-1}$)	3.84 \pm 0.57(2.88–4.88)	4.14 \pm 0.20	3.67 \pm 0.60	—
同・体重当たり ($ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	53.5 \pm 4.8(43.3–59.9)	55.4 \pm 3.5	52.4 \pm 5.3	—
運動時間(min:sec)	13:55 \pm 1:31(10:00–16:30)	14:48 \pm 1:33	13:25 \pm 1:31	—
ピーク $\dot{V}O_2$ 出現時のパワー(W)	152.1 \pm 24.2(97–193)	172.5 \pm 15.5	140.9 \pm 20.9	**
同・体重当たり ($W \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.1 \pm 0.23(1.57–2.50)	2.3 \pm 0.1	2.0 \pm 0.2	**
ストローク頻度(rpm)	53.1 \pm 6.8(43–65)	58.0 \pm 6.7	50.3 \pm 5.4	—
最高心拍数(bpm)	189.9 \pm 5.9(177–199)	188.0 \pm 8.0	191.0 \pm 4.4	—
最高血中乳酸濃度($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)	11.1 \pm 2.0(8.8–15.4)	11.9 \pm 2.2	10.6 \pm 1.8	—

** p < 0.01

表5 10秒間最大無酸素性パワーテストの結果

測定項目	全 体 (n=14)	一流選手群 (n=5)	一般選手群 (n=9)	有意差 (一流選手群VS一般選手群)
平均パワー (W)	348 \pm 75(221–474)	425 \pm 40	306 \pm 54	***
同・体重あたり ($W \cdot \text{kg}^{-1}$)	4.8 \pm 0.8(3.6–6.2)	5.7 \pm 0.4	4.4 \pm 0.5	***
最大パワー (W)	444 \pm 103(291–614)	553 \pm 55	383 \pm 64	***
同・体重あたり ($W \cdot \text{kg}^{-1}$)	6.2 \pm 1.1(4.7–8.3)	7.4 \pm 0.7	5.5 \pm 0.6	***
最大パワー到達時間 (sec)	7.7 \pm 1.2(5.7–9.3)	7.8 \pm 0.9	7.7 \pm 1.4	—
ストローク頻度 (rpm)	86.3 \pm 11.5(64.0–103.4)	94.5 \pm 6.7	81.6 \pm 11.2	*

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

4) 200m, 500m, 1000mの全力漕によるパフォーマンステスト

図2は、カナディアン・エルゴメーターを用いて200m, 500m, 1000mのパフォーマンステストを行ったときの機械的発揮パワーの経時変化について、4名の被験者のデータを示したものである。いずれの距離においても発揮パワーは100m以内にピーク値に達し、その後低下した。

表6は、全被験者の測定結果を数値で表したものである。200m, 500m, 1000m漕の平均艇速度は、それぞれ4.93 \pm 0.30 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 4.51 \pm 0.27 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 3.64 \pm 0.33 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。最大パワー、平均パワー、ストローク頻度は距離が短いほど高い値を示し、いずれの間にも有意差が見られた。また、最高心拍数は漕距離が長くなるほど、また最高血中乳酸濃度は500m全力漕の時に最高値を示し、それぞれ一部で有意差も見られた。

表7は、カナディアンカヌー・エルゴメーターによる全力漕時と、水上でのタイムトライアル時の心拍数および血中乳酸濃度の応答とを比較したもので

ある。それぞれの被験者は完全に対応しているわけではないが、両者の値はよく近似していた。

図3は、平成15年度日本カヌーフラットウォーター選手権大会における200mと500mの競技成績(平均スピード)と、エルゴメーターによる200mおよび500mの全力シミュレーション漕の成績(平均スピード)との相関関係を示したものである。500m漕については有意な相関関係が得られた($R=0.80$, $P<0.01$)。また200m漕については、 $R=0.62$ という中程度の相関関係は見られたが、被験者数が少なかつたため有意な相関とはならなかった。

表8は、各選手の身体特性、有酸素性および無酸素性作業能力と200m, 500m, 1000m全力漕時の艇速度との相関関係を求めたものである。その結果、200mの艇速度については、年齢、競技年数、一部の有酸素性作業能力(ピーク $\dot{V}O_2$ 出現時のパワーの絶対値)、多くの無酸素性作業能力の項目との間に相関が得られた。500mの艇速度については、身長、体重、除脂肪体重、一部の有酸素性作業能力(ピーク $\dot{V}O_2$, ピーク $\dot{V}O_2$ 出現時のパワーの絶対値)、多くの

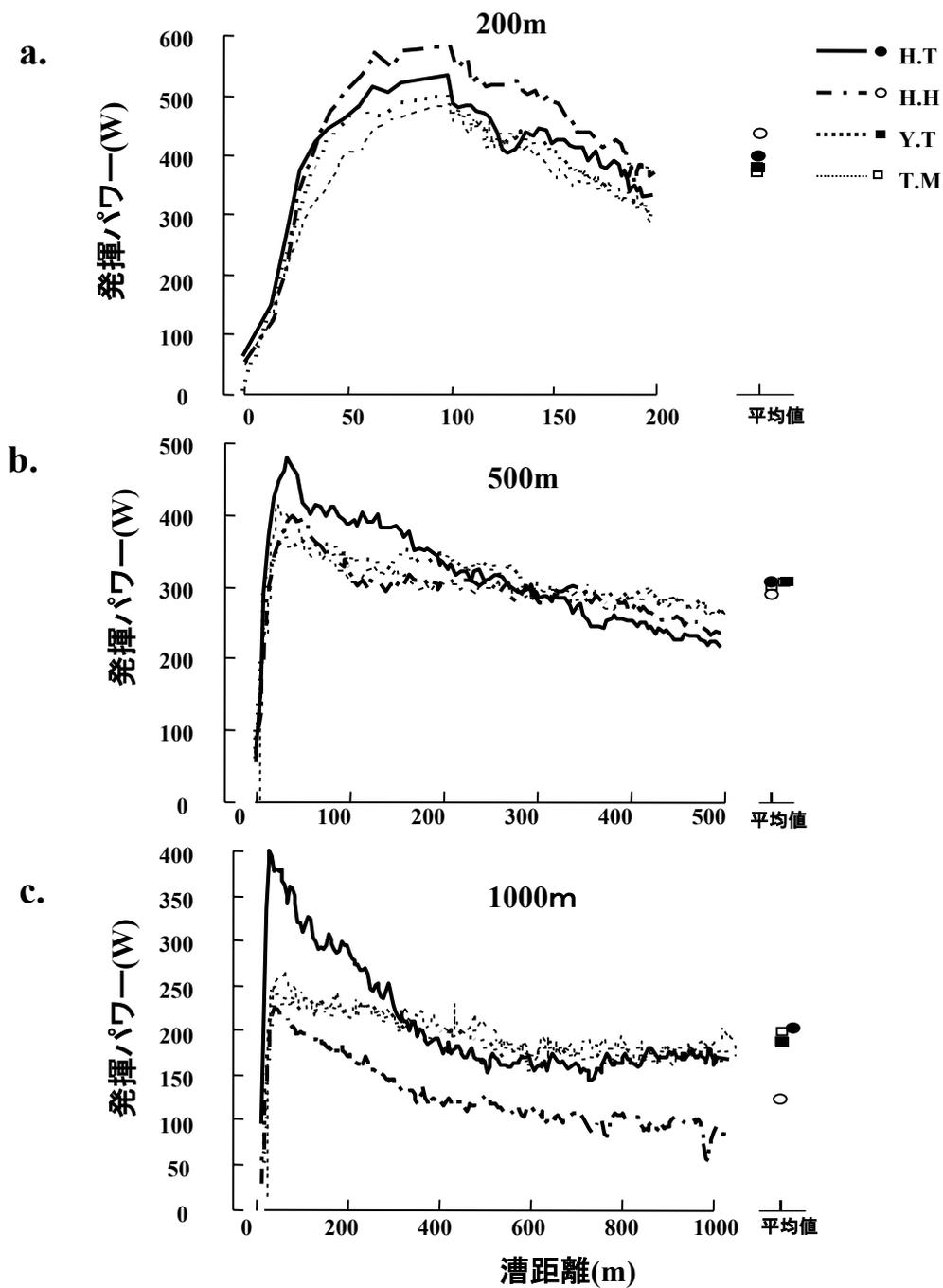


図2 200m, 500m, 1000m全力漕時の機械的発揮パワーの推移

表6 エルゴメーターによる全力漕テストの結果

測定項目	200m	500m	1000m	有意差		
				200mVS500m	500mVS1000m	200mVS1000m
タイム(sec)	40.7±2.5(37.1-44.8)	1:51.3±8.9(1:45.3-2:04.4)	4:38.2±25.3(4:07.8-5:13.3)	***	***	***
艇速度(m·s ⁻¹)	4.93±0.30(4.46-5.39)	4.51±0.27(4.02-4.75)	3.64±0.33(3.19-4.04)	***	***	***
最大パワー(W)	440±86(323-582)	368±52(306-478)	256±59(178-390)	**	***	***
平均パワー(W)	343±58(256-438)	269±41(196-309)	154±36(117-204)	***	***	***
ストローク頻度(rpm)	87.7±18.4(77.0-98.5)	67.8±4.3(61.6-75.0)	50.4±5.4(41.9-58.3)	***	***	***
最高心拍数(bpm)	173.9±5.6(168-185)	183.2±6.2(170-191)	186.3±5.3(175-193)	***	—	***
最高血中乳酸濃度(mmol·l ⁻¹)	13.8±1.7(11.6-16.8)	15.6±1.0(14.0-17.3)	14.3±1.8(11.7-16.9)	**	—	—

平均値±標準偏差(範囲) * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

表7 エルゴメーターの全力漕時と水上における全力漕時の艇速度および生理応答の比較

被験者数	200m			500m			1000m			
	艇速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	心拍数 (bpm)	血中乳酸濃度 ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	艇速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	心拍数 (bpm)	血中乳酸濃度 ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	艇速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	心拍数 (bpm)	血中乳酸濃度 ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	
カナディアン・ エルゴメーター	10	4.93	174	13.8	4.51	183	15.6	3.64	186	14.3
水上	3	3.88	174	14.7	3.69	181	15.1	3.41	182	13.1

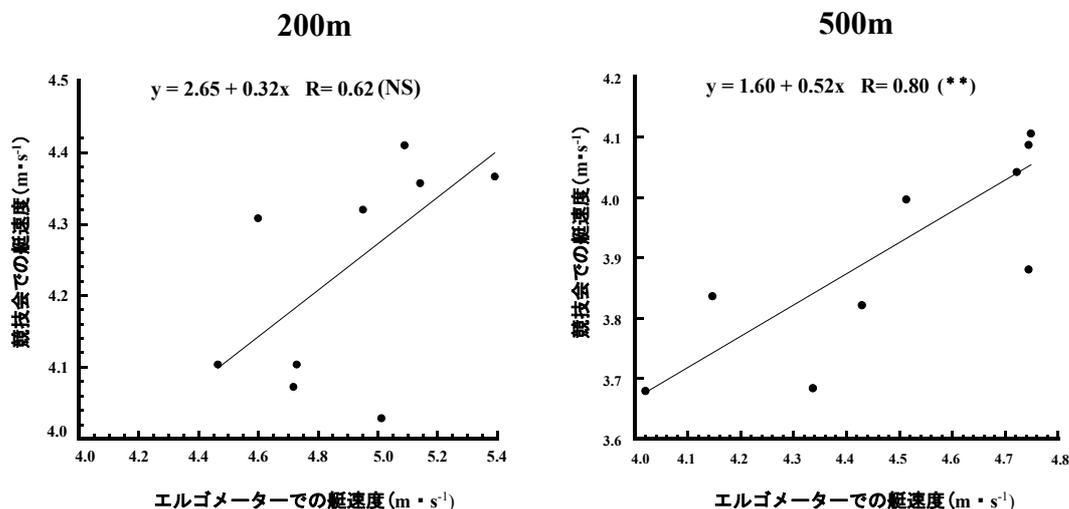


図3 エルゴメーターによる全力漕と記録会での成績との関係 (** P < 0.01)

無酸素性作業能力の項目との間に相関が見られた。1000mの艇速度については、一部の有酸素性作業能力（ピーク $\dot{V}O_2$ 出現時のパワーの絶対値）と無酸素性作業能力のいくつかの項目において有意な相関が見られた。

4. 考察

1) 身体特性

表1に示すように、一流選手と対照群を比較すると、年齢と競技年数において、一流群は一般群よりも有意に高い値を示した。先行研究を見ると、ワールドカップやオリンピックの8位以内入賞選手の平均年齢は21.4歳、優勝選手は23.2歳であるという報告がある¹²⁾。カヌー競技では年齢に伴う競技経験が重要といわれるが、本研究のデータもそれを裏付ける結果といえる。また一流選手では、有意ではないが体重やLBMも大きな値を示したことから、加齢に伴う筋肉の発達も重要かもしれない。

2) 有酸素性作業能力の測定

これまで、カヤック選手のピーク $\dot{V}O_2$ をカヤックエルゴメーターにより測定した報告は数例ある

が^{1,6,7)}、その多くは連続的または間欠的な多段階運動負荷試験法を用いている。いずれも1回の測定で最大酸素摂取量を測定できるという利点があるが、休息をさまずに行う連続的な方法の方がより短時間で行える。

本研究では、カナディアン・エルゴメーターを用いて連続的な方法で測定したが、ピーク $\dot{V}O_2$ が出現した運動時間は10分～16分30秒（平均で13分10秒）であった。山地¹¹⁾は、ピーク $\dot{V}O_2$ の測定に当たって望ましい時間は7～17分間である¹¹⁻¹³⁾としているが、本研究でもこの時間内で測定することができた。

またこれまでの研究を見ると、多段階運動負荷試験時の負荷法は全員一律として行ったものばかりである。しかし本研究の結果、このような負荷法で行った場合、特に体重の軽い非熟練者では、最大努力に至る前に上腕や脚の筋肉が疲労困憊し、作業が続けられなくなったと考えられる選手が多かった。

また表2を見ると、負荷を全員一律に固定するよりも、体重当たりで負荷をかける方が、ピーク $\dot{V}O_2$ 、心拍数、運動時間などにおいて高値を得ることができた。そして、このような方法で測定された最高心拍数は 193.0 ± 6.0 bpm、最高血中乳酸濃度は $12.1 \pm$

2.5mmol \cdot l⁻¹であり、ピーク $\dot{V}O_2$ 測定時に満たすべき条件¹¹⁾も満たしていた。

以上のことから、このエルゴメーターを用いたピーク $\dot{V}O_2$ の測定時には、表3に示したような体重あたりの負荷法で測定することが望ましいと考えられる。そしてこの方法を用いることにより、熟練者から非熟練者まで、また体重の軽い選手から重い選手まで、より正確な有酸素性作業能力の測定が可能になると考えられる。

本研究では、上記のプロトコルを用いて、レベルの異なる選手の有酸素性作業能力を測定し、各選手の能力を数値で表すことができた。一流選手のピーク $\dot{V}O_2$ は4.14 \pm 0.20 l \cdot min⁻¹であったが、この値は一般的な選手が目指すべき基準値として利用できると思われる。

また本研究では、3名の選手について、トレッドミル走によるピーク $\dot{V}O_2$ も測定したが、この時の値を100%としたとき、カナディアンカヌー・エルゴメーターで測定されたピーク $\dot{V}O_2$ は92.8%となった。Vreijensら(1975年)は自転車エルゴメーターを用いて、カヌー選手の①腕作業と②脚作業によるピーク $\dot{V}O_2$ を測定し、①は②の88.6%となることを報告している¹⁴⁾が、本研究での値の方がより高かった。この理由は、本研究で用いたカナディアン漕法のシミュレーション運動の場合、上肢の運動ばかりでなく、体幹や下肢の運動も使われるために、全身のピーク $\dot{V}O_2$ により近い値が得られたためと考えられる。

3) 無酸素性作業能力の測定

カナディアン・エルゴメーターにおける最大無酸素パワーの到達時間を検討した結果、その平均値は7.7 \pm 1.2秒であり、全選手とも運動開始から10秒以内に発揮されていた。最大無酸素パワーテストはこれまで、自転車エルゴメーターを用いて行われることが多かったが、その場合テスト時間は5~10秒間が用いられてきた。本研究の結果から、これと同様の考え方でカナディアン・エルゴメーターにより無酸素性作業能力を測定する場合には、10秒間の最大無酸素パワーテストを用いるのが妥当と考えられる。

上記の方法で各選手の無酸素性作業能力を測定した結果、表5に見られるように、平均パワー、最大パワーのいずれにおいても、また絶対値および相対値のいずれにおいても、一流選手の方が対照群に比べ有意に高い値を示した。またストローク頻度についても一流選手の方が有意に高い値を示した。このことは、カヌー競技における無酸素性作業能力の貢献度の高さを裏付けるものと考えられる。

4) カナディアンカヌー・エルゴメーターによる全力漕のパフォーマンステスト

このエルゴメーターを用いて200m, 500m, 1000mの全力漕テストを行ったときに得られた生理応答は、水上でそれぞれの距離を全力で漕いだ時の値と近似していた(表7)。また図3に示したように、このエルゴメーターによる全力漕時の作業成績と競技会での成績との関係を調べたところ、500m漕では有意な相関が見られた(R=0.80)。また200m漕では被験者数が少ないために有意ではなかったものの、相関係数自体は比較的高かった(R=0.62)。これらの結果は、本エルゴメーターによって200mおよび500mの水上漕のシミュレーションが可能であることを示唆するものである。

表6を見ると、200mの全力漕時の発揮能力は、最大パワー、平均パワー、ストローク頻度が他の距離の漕時よりも高く、心拍数が低かった。またパフォーマンス(平均艇速度)には多くの無酸素性作業能力に関する項目が有意な相関を示した(表8)。したがってこの種目では、無酸素性作業能力が重要であることが示唆される。

500mの全力漕では、心拍数が高くなるとともに、最高血中乳酸濃度は3種目の中でもっとも高い値を示した(表6)。2分前後の全力運動というという競技時間からも、有酸素性・無酸素性両方の作業能力が関わっていると考えられるが¹⁵⁾、このことは、パフォーマンスに有酸素性、無酸素性の両作業能力が有意な相関を示したこと(表8)からも窺える。また血中乳酸濃度の値から、乳酸系のエネルギー供給能力はこの距離ではとりわけ貢献度が大きいと考えられる¹⁵⁾。

1000m全力漕においては、他の種目に比べ最高心

表8 選手の身体特性及び有酸素性・無酸素性作業能力と、200m、500m、1000m全力漕成績との関係

測定項目 (n=10)	200m	500m	1000m
身体特性			
年齢 (years)	0.67*	0.43	0.24
競技年数 (years)	0.67*	0.43	0.28
身長 (cm)	0.58	0.69*	0.52
体重 (kg)	0.57	0.73*	0.42
除脂肪体重 (kg)	0.62	0.76*	0.36
有酸素性作業能力テスト			
ピーク $\dot{V}O_2$ ($l \cdot \text{min}^{-1}$)	0.57	0.67*	0.29
同・体重あたり ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.10	0.04	-0.04
ピーク $\dot{V}O_2$ 時のパワー (W)	0.78**	0.83**	0.69*
同・体重あたり ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.19	0.02	0.52
最高心拍数 (bpm)	-0.18	-0.19	-0.07
最高血中乳酸濃度 ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)	-0.28	-0.50	-0.23
無酸素性作業能力テスト			
平均パワー (W)	0.82**	0.73*	0.61
同・体重あたり ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.71*	0.59	0.66*
最大パワー (W)	0.92***	0.86**	0.75*
同・体重あたり ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.75*	0.64*	0.70*
最大パワー到達時間 (秒)	0.08	-0.10	0.11
ストローク頻度 (rpm)	0.74*	0.75*	0.51

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

拍数が最も高く、ピーク $\dot{V}O_2$ 時の心拍数に近い値を示した(表6)。また最高血中乳酸濃度も高い値であることから、無酸素性・有酸素性両方のエネルギー系が作業成績に関わっていると予想される。実際に、作業成績には有酸素性、無酸素性両作業能力の一部の指標が相関を示した(表8)。ただし有意な相関が見られた項目は、200mや500m漕の場合よりも少なく、相関係数自体も相対的に見て低かった。

これはエルゴメーターによる漕法と水上での漕法に差が生じ、活動筋量が異なってしまうことが影響しているのかもしれない。被験者(選手)のコメントでは、エルゴメーターで漕ぐとき、とくにパドリングのぬき(リラックス)の部分とパドリング時の艇の沈み具合において、水上ではかからない力を必要とすると述べていた。

以上のことから、このエルゴメーターは200mと500m漕のシミュレーションを行うには適している

が、1000mのシミュレーションを行う際には注意が必要と考えられる。

5. まとめ

本研究では、14名のカナディアンカヌー選手を対象として、新しく開発されたカナディアンカヌー・エルゴメーターの妥当性を検証するとともに、このエルゴメーターの活用法を明らかにするために、さまざまなシミュレーション漕運動を行わせた。得られた主な知見は以下のとおりである。

1. このエルゴメーターを用いて、有酸素性作業能力(ピーク $\dot{V}O_2$)と無酸素性作業能力(最大無酸素性パワー)を測定する方法を検討した。その結果、前者については、体重当たりの負荷設定で連続的な多段階運動を行わせることが妥当と考えられた。また後者については、10秒間の全力漕で評価できると考えられた。

2. 前述の方法を用いて、実際に一流および一般的なレベルのカナディアンカヌー選手の有酸素性・無酸素性作業能力の測定を行い、選手の基礎体力を数値で明らかにすることができた。これらの数値は今後カヌー選手の基礎体力を評価する際に、参考値として利用できると考えられる。
3. このエルゴメーターによる200m, 500m, 1000mの全力シミュレーション漕時の生理応答は、実際の水上漕時のそれと近似した値を示した。また作業成績についても、200m漕と500m漕においては、エルゴメーター漕と水上漕とで相関関係が見られた。したがってこのエルゴメーターは、200m漕と500m漕のシミュレーションには有効と考えられる。なお、200m漕の作業成績には無酸素性作業能力を中心として、500m漕の作業成績には有酸素性・無酸素性の両作業能力がいずれも有意な相関を示した。一方1000m漕の場合には、水上での漕法との食い違いが顕在化することが予想され、シミュレーションを行う際には注意が必要と考えられた。

謝辞

本論文は、平成15年度鹿屋体育大学修士学位論文を改稿したものである。本研究で被験者として多くのご協力をいただいた鹿屋体育大学、南大隅高校、串良商業高校のカヌー部の皆さん、実験やデータ整理の際に協力をいただいた許斐真由子さんほかの皆さん、また修士論文をまとめる際にアドバイスをいただいた鹿屋体育大学の松下雅雄教授と荻田太助教授に心より感謝致します。

引用文献

1. Pendergast, D.R. et al.: Energetics of Kayaking. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59 : 342-350, 1989
2. 種田行男ら：女子カヌー選手の競技力を高める体力要素は何か。 *コーチング・クリニック*, 7 : 25-29, 1993
3. 伊坂忠夫ら：カヌー選手の無酸素性・有酸素性パワーに関するオフシーズン・トレーニングの
効果。 *体力科学*, 43 : 707, 1994
4. 伊坂忠夫, 高橋勝美：大学カヤック・カヌー選手の有酸素性並びに無酸素性パワーと筋厚の特徴。 *体力科学*, 47 : 295-304, 1998
5. Tesch, P. A. : Physiological characteristics of elite kayak paddlers. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, 8 : 87-91, 1983
6. Rod.W. et al. : Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists, *Med. Sci. Sports Exer.*, 23 : 1297-1301, 1991
7. Bishop. D.: Physiological predictors of flat-water kayak performance in women, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82 : 91-97, 2000
8. Bishop. D., et al. : The influence of pacing strategy on $\dot{V}O_2$ and supramaximal kayak performance, *Med. Sci. Sports Exer.*, 34 : 1041-1047, 2002
9. 平山 祐, 山本正嘉：日本における男子一流カナディアンレーシングカヌー選手の体力特性。 *スポーツトレーニング科学*, 4 : 39-46, 2003
10. Byrnes, W. C., and J. T. Kearney. : Aerobic and anerobic contributions during simulated canoe/kayak sprint events. *Med. Sci. Sports Exer.*, 29 : 220, 1997
11. 山地啓司著：改訂 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, 2001
12. Henderson, D.: Competitive excellence study: world champion athlete tracking final report United States canoe and kayak team, 1996
13. Buchfuhrer M. J. et al. : Optimizing the work rate protocol for clinical exercise tests. *Am. Rev. Respirat. Dis.*, 125 : 259, 1982
14. Vrijens J. et al. : Effects of training of maximal working capacity in a group of paddlers, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 34 : 113-119, 1975
15. 山本正嘉：高強度の運動を持続する能力に関する研究, 東京大学博士論文第12126号, p.199