

## スライド式ローイングエルゴメーターによるジュニアおよび シニアエリートボート選手のキネティックパラメーターの比較

### Differences between elite, junior and elite senior rowers in kinetics parameters during slide ergometer rowing

船渡 和男, 古田 なつみ, 平野 智也, 尹 鉉喆

Kazuo FUNATO, Natsumi FURUTA, Tomoya HIRANO and Hyunchul YOON

#### Abstract

The rowing ergometer is usually installed on the floor, but it has been pointed out that the kinetics, kinematics, and coordination of muscles are different from rowing motion on water. In order to solve the above problems and simulate rowing operation on water, recently the slide ergometer in which two slides move forward and backward and the dynamic ergometer in which a stretcher moves forward have been developed. The purpose of this study was to characterize junior and senior rowers using a sliding ergometer. Mechanical variables such as handle/stretcher force as long as tempo-special variables and kinetics variables were compared between slide rowing ergometer conditions. A custom-made Air pressure resistance type rowing ergometer (Concept II model c indoor Rower) was used for this study. The sliding-type rowing ergometer was mounted on two ergometer slides (manufactured by Concept II).

The subjects were 11 high school and college rowers who performed a 2000 m simulation using a sliding rowing ergometer. The calculated variables were the spatio-temporal variable of the handle, the mechanical output of the handle and the stretcher. Senior rowers had shorter drive phases and longer recovery phases. Senior rowers also had higher handle and stretcher forces. It is suggested that senior rowers utilize different techniques than juniors during rowing due to higher leg and handle strength and different drive and recovery times.

*Key words; Slide rowing ergometer, Biomechanics, kinetics*

## I. 緒言

ボート競技は、通常2000mの距離をいかに短い時間で漕ぐことができるかを争う競技である。競技時間は、ボートの種類により異なるが、約6～8分によって構成される。また、競技中には1分間に32～42のピッチで、200回以上のローイング動作を行うとされている。

Steinacker<sup>14)</sup>は、レース中の1ストロークの平均パワーは450～550 Wであり、最大パワーが1200 Wとなることを報告している。また、Droghetti et al.<sup>5)</sup>は、ボート競技では、無酸素性よりも有酸素性能力が要求されることを報告している。したがって、ボート競技では、年間を通した試合に挑むための体力づくりが重要であると考えられる。

ボート競技は屋外競技の為、気候や環境によってトレーニングが左右される。ボート選手は、乗船練習を行うが、陸上においては、ローイングエルゴメーターを用いて、乗船練習をシミュレートした練習を行う。世界的に使用されている固定式ローイングエルゴメーターはConcept 2Model C (Concept II社, Morrisville, VT, USA) であり、水上でのパフォーマンスと相違ないと考えられているため、2000mを漕ぎ切るタイムによって、ボート選手を選抜することも多い。さらに、2000mをローイングエルゴメーターで漕ぎ切るタイムを競う室内ローイングエルゴメーター大会も開催されている。

通常、ローイングエルゴメーターは床に設置して使用するが、水上でのローイング動作と比較して、キネティクス、キネマティクスおよび筋のコーディネートが異なることが指摘されている。Trompeter et al.<sup>15)</sup>は、ローイングタンクおよびエルゴメーターにおいて、ローイング動作を比較した研究では、エルゴメーターのキャッチ動作中に腰椎および骨盤の (ROM) が異なることを報告した。Fleming Neil et al.<sup>8)</sup>は、上とローイングエルゴメーターにおける、EMG) を比較した研究では、腿直筋 (RF)、側広筋 (VM) で顕著

に異なることが報告している。上の問題を解決し、水上でのローイング動作をシミュレートするために、近年2台のスライドが前後に動くスライド式エルゴメーターやストレッチャーが前方へ動くダイナミックエルゴメーターが開発された。デンマークのナショナルチームの22名を対象としたVinther et al.<sup>17)</sup>の研究において、スライド式と固定式エルゴメーターにおけるハンドル力と時空間変数を比較した結果、スライド式エルゴメーターは固定式と比較してハンドル最大力と筋力発揮率 (RFD) が小さくなり、ストローク頻度が高くなることが報告されている。また、大学レベルの34名を対象としたBenson et al.<sup>12)</sup>の研究において、2000mタイムトライアル中の運動強度を設定し、スライド式と固定式エルゴメーターを比較した研究では、スライド式エルゴメーターでストローク頻度が高くなるために、酸素摂取量も高くなることが報告されている。したがって、スライド式エルゴメーターでは、2台のスライド器具により、選手のローイング動作の変化が予想される。男女エリートジュニアレベルの8名を対象にしたElliot et al.<sup>7)</sup>の研究においては、ストローク速度を規定し、水上とスライド式エルゴメーターローイング動作を比較し、水上とスライド式エルゴメーターの高い水準の一貫性を報告した。女子エリートレベルの4名を対象にしたMillar et al.<sup>11)</sup>の研究においては、1000mタイムトライアル中の固定、スライド式、水上のハンドル力および動作を比較し、ハンドル力およびローイング動作は固定式では両条件間異なる結果であり、スライド式と水上では類似な動作および力発揮を再現する結果を報告している。本研究は、スライド式エルゴメーターを用いたローイング動作中の機械的出力および力発揮を比較し、シニアボート選手とジュニア選手の特異性を明らかにすることを目的とした。また、競技中にボート選手がどのように力を発揮し、どのようなテクニックを駆使しているかという事がボート選手と指導者に共通する大きな関心事であると考えられる。

これに対してローイングタンクおよび固定式ローイングエルゴメーターを使用して競技を模索し、ボート選手が発揮する力の変化について研究されているが、スライド式ローイングエルゴメーターを用いてボート選手の力がどのように影響を及ぼしているのかについては明らかにされていない。

Elliot et al.<sup>7)</sup>の研究において、スライド式エルゴメーターは水上動作を再現すると報告したため作用する力は競技力に反映されることから、レース中の力および力パターンを分析することを通じて、ボート選手のパフォーマンスを検討した。

一般的に使用されている固定式エルゴメーターでは、安定的なローイング動作が可能であり、比較的大きな力発揮できる。一方で、スライド式ローイングエルゴメーターは、スライドレールによって前後に動く特徴があり、動作が不安定になり、力発揮が難しくなることが考えられる。そのため、ジュニアとシニアボート選手の力発揮および力パターンが異なると考えられる。

## II. 方法

被験者は、Y高等学校ボート部に所属する6名(年齢 $16.7 \pm 0.5$ 、身長 $159.8 \pm 3.0$ 、体重 $56.1 \pm 4.8$ 、競技歴 $1.3 \pm 0.5$ )およびM大学ボート部所属する6名(年齢 $19.7 \pm 0.8$ 、身長 $163.4 \pm 3.7$ 、体重 $65.6 \pm 4.7$ 、競技歴 $4.5 \pm 0.5$ )であった。被験者には、あらかじめ本研究の主旨、内容及び安全性に関する説明を行い、書面により参加者の同意を得て測定を実施した。本研究は、日本体育大学論理審査委員会の承諾(承認番号 第019-H061号)を受けて実施した。

本研究には、カスタムメイドの空気抵抗式のローイングエルゴメーター(Concept II社製 model c indoor Rower)を用いた。一般的に使用している固定式条件では、床にエルゴメーターを設置するが、スライド式ローイングエルゴメーターは、エルゴメーターを2台のスライド(Concept II社製)

上に装着した。

試技は2000mレースを想定したローイング運動を行なった。ドライブ局面中のハンドル力(N)は、ハンドル部に取り付けたロードセルから取得した。ドライブ局面中のハンドルパワー(W)は、ロータリーエンコーダーから取得したハンドル速度にハンドル力を乗ずることで算出した。1ストローク中のストレッチャー力(N)は、2台の反力計からデータを取得した。ストレッチャーの力積は、1ストローク中のストレッチャー力を時間積分することで算出した。シート速度(m/s)は、ロータリーエンコーダーから取得し、シート速度を時間積分することでシート移動距離(m)を算出した。ハンドル速度(m/s)は、ロータリーエンコーダーから取得し、ハンドル速度を時間積分することでハンドル移動距離(m)を算出した。ストローク頻度は、1ストローク時間の逆数とし、1分間あたりのストローク頻度(ストローク/分)を算出した。

## III. 結果および考察

ジュニアおよびシニアボート選手における時間空間変数の比較について(表1)

2000m時間は、ジュニアとシニアボート選手で有意な差が示された。したがって、ローイングパフォーマンスには差があると考えられる。

ストローク頻度は、ジュニアおよびシニアボート選手を比較して、有意な差が示されなかったが、ストローク長は、有意に大きな値を示した。ČERNE et al.<sup>3)</sup>の研究においては、ストローク速度を規定し10名のエリートとジュニアボート選手の時間空間変数を比較した研究では、エリート選手はストローク頻度が増加してもストローク長の変化はないが、ジュニアボート選手は速度増加と共にストローク長の変化があり、エリートボート選手は速度に関わらず、一定したパターンを維持していることを報告している。

シニアボート選手はジュニア選手と比較して、

表1 両群の時空間変数および機械的出力の比較

	ジュニア選手(n=6)		シニア選手(n=6)		Significant
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	
2000m time(min)	08:19.0 ± 14.9	07:48.0 ± 8.58			***
Handle velocity(m/s)	1.74 ± 0.26	1.77 ± 0.05			n.s.
Handle DPS(m)	1.39 ± 0.07	1.26 ± 0.06			***
Stroke rate(stroke/min)	31.21 ± 3.18	30.73 ± 2.33			n.s.
Drive time(s)	0.99 ± 0.04	0.86 ± 0.03			***
Recovery time(s)	0.95 ± 0.13	1.10 ± 0.12			***
Seat Velocity(m/s)	1.01 ± 0.07	1.40 ± 0.10			***
Seat DPS(m)	0.50 ± 0.03	0.53 ± 0.05			***
Handle peak force(N)	493.83 ± 65.52	629.96 ± 40.65			***
Handle peak force(N/kg)	8.66 ± 1.07	9.76 ± 0.95			***
Time to peak force(s)	0.40 ± 0.06	0.33 ± 0.05			***
Handle force impulse(N·s)	259.51 ± 19.88	267.07 ± 16.91			n.s.
Handle force impulse(N·s/kg)	4.55 ± 0.29	4.14 ± 0.43			***
Handle peak power(w)	754.15 ± 125.90	999.82 ± 79.32			***
Handle peak power(w/kg)	13.23 ± 2.09	15.53 ± 1.98			***
ST peak force(N)	755.40 ± 102.50	812.25 ± 69.09			**
ST peak force(N/kg)	13.24 ± 1.58	12.56 ± 1.12			*
ST impulse(N·s)	428.95 ± 28.77	397.19 ± 26.56			***
ST impulse(N·s/kg)	7.53 ± 0.49	6.15 ± 0.51			***
ST rate of force development(N/s)	2122.51 ± 657.71	2562.41 ± 585.02			**
ST peak catch(N)	361.91 ± 55.86	482.36 ± 81.57			***
ST peak catch(N/kg)	6.36 ± 1.03	7.40 ± 0.85			***

n.s:no significant, \*p&lt;0.05, \*\*p&lt;0.01,p&lt;\*\*\*0.001

1ストローク中において、ドライブ時間が短くする傾向が見られた。一方、リカバリーフェーズにおいて、シニアボート選手は長くする傾向が見られた。また、1ストローク中における、シートの移動距離では、シニアボート選手はジュニアボート選手よりシート速度が高く、移動距離は短い値を示した。Redgrave<sup>13)</sup>は、エリートボート選手を対象に試合中ストロークドライブ時間を調査したが、1:2(1ドライブ時間:2リカバリー時間)の比率が最適なストロークフェーズであることを報告している。Torres et al.<sup>15)</sup>は、理想的なドラ

イブおよびリカバリー時間は、水上とローイングエルゴメーターにかかわらず、トレーニングにおいて、ドライブ時間0.9秒であり、リカバリーが1.7秒の時間が最適なストロークサイクルとであると報告している。リカバリーは艇の速度増加およびボート選手の回復するフェーズである。また、艇の推進において、リカバリーフェーズからキャッチに移動する際に艇の速度が高い。

シニアボート選手における時間空間変数の特徴については、ドライブ時間を見るとフィニッシュ動作を短くしてドライブ時間を短縮したと考えら

スライド式ローイングエルゴメーターによるジュニアおよびシニアエリートボート選手のキネティックパラメーターの比較

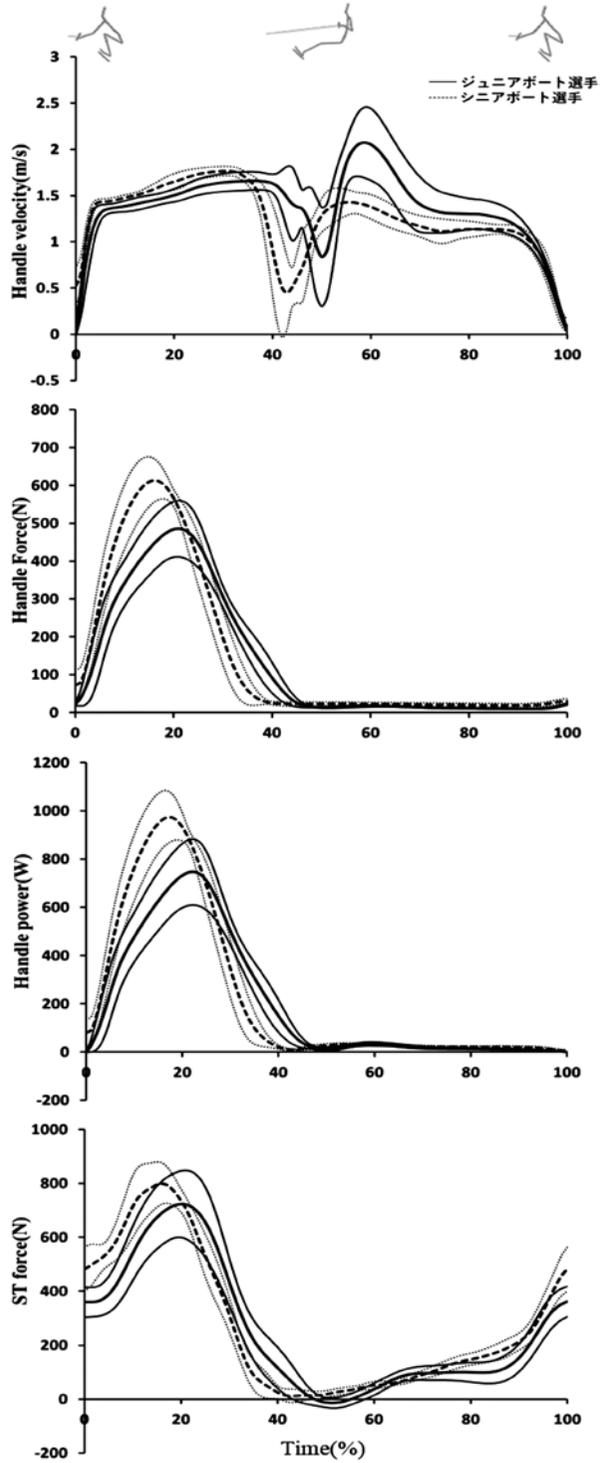


図1 ジュニアおよびシニアボート選手におけるハンドルの速度、力、パワーおよびストレッチャー力の平均パターン。図中の実線がジュニア選手、破線がシニア選手を示す。

れる。また、シニアボート選手におけるシートの高い速度および移動距離が示唆する結果は短いドライブ時間と関係があったと考えられる。一方、シニアボート選手よりジュニアボート選手の短いシートの移動距離はキャッチからフィニッシュまで下肢を完全に伸展せず、上肢を過伸展した影響でシートの移動距離が短くなることが推察される。

### ジュニアおよびシニアボート選手における力学的変数の比較について (表1)

ハンドル最大力と最大パワーは、シニアボート選手がジュニアよりも有意に大きい値を示した。ČERNE et al.<sup>4)</sup> の、ストローク速度を規定して10名のエリートとジュニアボート選手の力学変数を比較した研究においては、ハンドルのピーク力と脚力が異なり、この理由はローイング漕法と関係があることを報告している。したがって、本研究は先行研究を支持し、シニアボート選手でのローイング運動は脚力を増加し、上肢での力発揮への貢献する動作であることを示唆する。下肢での力発揮に着目すると、シニアボート選手におけるストレッチャー最大力、ストレッチャー力発揮率、ストレッチャーキャッチ最大力は、ジュニア選手と比較して、有意に大きいことが示された。Dal Monte A et al.<sup>6)</sup> の研究において、1ストローク中のオールに加えられる力変化のパターンが漕法の特徴を表し、ボート選手のローイングスタイルを反映することが報告されている。ボート競技では、ボート選手がオールを牽引する力をボートの推進力に利用している。そして、ボートは選手がオールで水に作用させた力の反作用により推進する。また、ローイング動作は足の固定板(ストレッチャー)に力を加えながらボートが推進する。そのため、ボート競技において、動作のスタートになる脚力が重要である。木村ら<sup>18)</sup> のローイングでの力発揮に脚伸展動作の関与する比率の変化を調査した研究においては、ローイング動作で発揮されるパワーの約60%~70%は脚伸展動作によるものであることが報告されている。ボート競

技において、脚力は停止したボートの推進と共にパフォーマンスに大きな影響をすることが考えられる。Martindale et al.<sup>12)</sup> は、水上とエルゴメーターローイング動作において、熟年者は未熟年者より脚力の貢献度が高いことを報告している。

Asami et al.<sup>1)</sup> のローイングタンクにおけるストローク中の脚に加えられる脚力を調査した研究では、エリート選手は脚力が大きいことを報告している。したがって、本研究は先行研究を支持し、シニアボート選手は停止したボートを脚力により駆動し、ボートを加速させていると考えられる。ドライブ局面では脚の伸展と共にハンドルを牽引する動作のため、シニアボート選手の脚力およびハンドル力が高くなることが推察される。

本研究から得られた情報を選手およびコーチにフィードバックすることによりトレーニング方法の立案の一助になるものと考えられる。また、本結果の有効性を生かすために、今後の研究でさらにビデオ撮影を通して動作に対応させたデータ蓄積し、分析を重ねることにより、ローイング技術を的確に評価できる指標として使用できると考える。

## VI. ま と め

本研究は、スライド式エルゴメーターを用いたローイング動作中の機械的出力および力発揮を比較し、シニアボート選手とジュニア選手の違いを明らかにすることを目的とした。その結果、以下の知見が得られた。

1. シニアボート選手において、1ストローク中のドライブ時間が短く、一方、リカバリーフェーズは長くする傾向が見られた。
2. シニアボート選手において、ジュニアと比較してシート速度が高く、移動距離は長い傾向が見られた。
3. シニアボート選手において、ジュニアと比較してハンドル力およびストレッチャー力が高い傾向が見られた。

以上のことから、シニアボート選手では、ジュニアボート選手と比較して、ストロークを開始する際ストレッチャーキャッチ最大力、ストレッチャー力発揮率が高いことからドライブ中盤からストレッチャー最大力とハンドル力が高くなり、そのため、ドライブ時間は短くなる。

## 参考文献

- 1) Asami T, Yamamoto K, Matsuo A. and Fukunaga T : Some biomechanical factors of rowing performance, Biomechanics X-B. European Journal of Applied Physiology, 55, 471-475,1985
- 2) Benson Aaron, Abendroth Julianne, King Deborah, Swensen Thomas : Comparison of rowing on a Concept 2 stationary and dynamic ergometer, Journal of Sports Science & Medicine, 10 : 267, 2011.
- 3) Colloud Floren, Bahuaud Pascal, Doriot Nathalie, Champely Stéphane, Chêze Laurence : Fixed versus free-floating stretcher mechanism in rowing ergometers : mechanical aspects, Journal of sports sciences, 24 : 479-493, 2006.
- 4) ČERNE, Tomaž, Roman Kamnik, Boštjan Vesnicer, Jerneja Z'ganec Gros, Marko Munih : Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing : Human movement science,32.4 : 691-707, 2013.
- 5) Droghetti P, Jensen K, Nilsen TS : The total estimated metabolic cost of rowing, FISA coach, 2 : 1-4, 1991.
- 6) Dal Monte, A. and Komor, A : Rowing and sculling mechanics. In : Vaughan, C.L. (Ed) Biomechanics of sport. CRC Press : Boca Raton. pp. 53-119. 1989.
- 7) Elliott BC, Lyttle A, Birkett Olivia Birkett : The RowPerfect ergometer : atraining aid for on-water single scull rowing, Sports Biomechanics, 2 : 123-34, 2002.
- 8) Fleming Neil, Donne Bernard, Mahony Nicholas : A comparison of electromyography and stroke kinematics during ergometer and on-water rowing, Journal of sports sciences, 32 : 1127-1138, 2014.
- 9) Greene AJ, Sinclair PJ, Dickson MH, Colloud F, Smith RM : The effect of ergometer design on rowing stroke mechanics, Scandinavian journal of medicine & science in sports, 23 : 468-477, 2013.
- 10) Holsgaard-Larsen A, Jensen K : Ergometer rowing with and without slides, International journal of sports medicine, 31 : 870-874, 2010.
- 11) Millar Sarah-Kate, Reid Duncan, McDonnell Lisa, Lee Jay, Kim Sophia : Elite rowers apply different forces between stationary and sliding ergometers, & on-water rowing, ISBS Proceedings Archive, 35 : 4, 2017.
- 12) Martindale, W.O. and Robertson, D.G.E : Mechanical energy in sculling and in rowing an ergometer, Canadian Journal of Applied Sport Sciences 9 : 153-163. 1984
- 13) Redgrave S. Complete book of rowing. 2nd ed. Vol. 1. London : Partridge Press, 1995 : 298
- 14) Steinacker Jürgen M : Physiological aspects of training in rowing, International journal of sports medicine, 14 : S3-S3, 1993.
- 15) Trompeter Katharina, Weerts Jeronimo, Fett Daniela, Firouzabadi Ali, Heinrich Kai, Schmidt Hendrik, Brüggemann Gert-Peter, Platen Petra : Spinal and pelvic kinematics during prolonged rowing on an ergometer vs. indoor tank rowing, The Journal of Strength & Conditioning Research, 35 : 2622-2628, 2021.
- 16) Torres-Moreno R, Tanaka C, Penney KL : Joint excursion, handle velocity, and applied force : a biomechanical analysis of ergometric rowing, International journal of sports medicine, 21 : 41-4, 2000.
- 17) Vinther Anders, Alkjaer T, Kanstrup I-L, Zerahn B, Ekdahl Charlotte, Jensen Kurt, Holsgaard-Larsen A, Aagaard Per : Slide-based ergometer rowing : Effects on force production and neuromuscular activity, Scandinavian journal of medicine & science in sports, 23 : 635-644, 2013.
- 18) 木村千彫, 川上泰雄, 船渡和男, 宮下充正, 福永哲夫, 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科夫 : ローイングパワー発揮に脚の関与している学術報告 No.II 競技種目別競技力向上に関する研究一第13報 : 148-154, 1989.