

固定式およびスライド式ローイングエルゴメーターによる機械的出力の比較

Mechanical outputs developed during rowing movements using fixed and slide mode rowing ergometers

船 渡 和 男*, 角 田 直 也**

Kazuo FUNATO* and Naoya TSUNODA**

ABSTRACT

Usually, a rowing ergometer is 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 a slide ergometer in which two slides move forward and backward and a dynamic ergometer in which a stretcher moves forward have been developed. The purpose of this study was to clarify the characteristics of a slide mode rowing ergometer compared to the conventionally used fixed ergometer.

Subjects performed rowing movements using two different style ergometers, a rowing ergometer (Concept 2, model c indoor rower) fixed to the floor and slide ergometer on rails conditions. The subjects were 11 high school level rowers and performed 2000m race simulations under two conditions. Rowing movements were filmed by high speed video camera (250fps) from right angles beside the subject. The calculated variables were the spatio-temporal variable of the handle, the mechanical output of the handle and stretcher, as well as trunk, hip and knee angles.

Stroke frequency of the slide ergometer was higher than the fixed ergometer. The slide ergometer indicated had lower handle force and higher stretcher force than the fixed type ergometer. The hip joint extension angle of the slide ergometer was larger than the fixed type. From these results, it is suggested that because the exertion of force in the upper limb was small while using the sliding condition, a large amount of exertion and movement in the lower limb was required and the involvement of the hip joint and the trunk was increased.

Rowing movement performed on slide condition has characteristics as larger mechanical output in legs compared to fixed one, which might be simulated movements as on-water rowing conditions

Key words; Rowing ergometer, Biomechanics, kinetics, kinematics

* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

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20～40のピッチで、200回以上のローイング動作を行う。

Steinacker⁸⁾は、レース中の1ストロークの平均パワーは450～550Wであり、最大パワーが1200Wとなることを報告している。また、Droghetti et al.³⁾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が報告されている。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。そのため、水上での実戦的なトレーニングが実施できない場合には、ローイングエルゴメーターを用いて、陸上でのトレーニングを行う。現在、ボート競技のトレーニングに幅広く使用されているローイングエルゴメーターはconcept II社のモデルである。

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⁹⁾。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⁴⁾。水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、大腿直筋 (RF)、内側広筋 (VM) で顕著に異なることが報告されている¹⁰⁾。以上の問題を解決し、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.¹⁰⁾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を報告した。また、大学レベルの34名を対象としたBenson et al.¹⁾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を報告した。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。一方、4名のエリート女子選手4名を対象としたMillar et al.⁷⁾の研究では、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およびストレッチャー力が同様であることが報告されている。したがって、スライド式と固定式エルゴメーターにおけるローイング動作を比較した研究では、一貫した結果が得られていないのが現状であり、研究事例の少ないことからスライド式エルゴメーターの機械的出力の特徴について明示されていないのが現状である。

そこで本研究は、固定式エルゴメーターと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下肢関節キネマティクスを比較し、スライド式エルゴメーターにおけるローイング動作の特徴を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

被験者は、Y高等学校ボート部に所属する11名であった。身体的特徴は、(男女) (年齢: 16.5 ± 0.5、歳身長: 164.5 ± 8.9cm、体重60.1 ± 7.0kg、競技歴1 ± 1年) を対象とした。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。固定式条件では、実験室の床にエルゴメーターを設置し、スライド式条件では、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。ローイング動作の撮影には、ハイスピードカメラ1台 (株式会社DITECT社製) を用いて200fpsで記録した。分析は、2000mタイムトライアル中の500m付近の8ストロークを対象とした。ローイング動作の解析は、動作分析システム (Frame-DIAS V、DKH社製) を用いて、股関節及び膝関節角度を算出した。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、被験者の体重で正規化した。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、被験者の体重で正規化した。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

固定式とスライド式エルゴメーターにおける時間空間変数の比較について (表1)

2000mタイムは、固定式とスライド式エルゴメーターで統計上有意な差が示されなかった。したがって、両条件におけるローイングパフォーマンス

には差がないと考えることができる。スライド式エルゴメーターのハンドル移動距離は、固定式と比較して有意に小さな値を示し、ストローク頻度は統計上有意に大きな値を示した。両条件でストローク時間の逆数であるストローク頻度が異なった要素についての内訳をみると、スライド式エルゴメーターにおけるドライブ時間とリカバリー時間は、固定式と比較して、ともに統計上有意に大きな値を示した。したがって、スライド式エルゴメーターでは、ドライブおよびリカバリー時間の両方が短くなる動作を行なっていることが明らかとなった。最大パワーの70%の運動強度を設定し、固定式とスライド式エルゴメーターの時間空間変数を比較したHolsgaard-Larsen and Jensen⁶⁾の研究では、スライド式エルゴメーターは固定式よりもストローク頻度が高く、それは短いリカバリー時間に起因していることを報告した。本研究結果は、スライド式エルゴメーターでのローイング運動はストローク頻度の高い動作であるという先行研究を支持するものである。このスライド式エルゴメーターでの高いストローク頻度が生じた理由について機械的出力および下肢キネマティクスの観点から考察する。

固定式とスライド式エルゴメーター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、スライド式エルゴメーターが固定式よりも有意に小さな値を示した。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.¹⁰⁾の研究において、スライド式エルゴメーターのハンドル最大力、固定式と比較して、有意に小さいことが報告されている。したがって、本研究は先行研究を支持し、スライド式エルゴメーターでのローイングでは、上肢での力発揮への依存度が小さくなることを示唆する。一方、下肢での力発揮に着目すると、スライド式エルゴメーターにおけるストレッチャー最大力、ストレッチャー力積およびストレッチャー力発揮率は、固定式と比較して、有意に大きいこ

表1 両条件における時空間、力学、運動学的変数の比較

	固定式		スライド式		significant
	mean	± SD	mean	± SD	
2000m time	08:30.2	± 33.52	08:28.5	± 37.07	n.s.
Handle velocity (m/s)	1.79	± 0.2	1.76	± 0.16	n.s.
Handle DPS (m)	1.45	± 0.11	1.41	± 0.1	n.s.
Stroke rate (stroke/min)	29.5	± 1.76	32.1	± 3.88	*
Drive time(s)	1	± 0.07	0.94	± 0.09	*
Recovery time (s)	1.03	± 0.1	0.94	± 0.14	*
Seat Velocity(m/s)	1.26	± 0.28	1.14	± 0.23	n.s.
Seat DPS(m)	0.56	± 0.08	0.51	± 0.05	n.s.
Handle peak force (N)	596.1	± 122.6	558.4	± 93.7	**
Handle peak force (N/kg)	9.68	± 2.03	9.32	± 1.48	n.s.
Time to peak force (s)	0.45	± 0.05	0.38	± 0.06	**
Handle force impulse (N·s)	280.7	± 32.6	285.2	± 64.19	n.s.
Handle force impulse (N·s/kg)	4.8	± 0.36	4.81	± 1.23	n.s.
Handle peak power (W)	961.5	± 266.2	915.6	± 226.1	*
Handle peak power (W/kg)	15.94	± 3.97	15.22	± 3.4	*
ST peak force(N)	736.2	± 135.7	821.8	± 139.8	**
ST peak force(N/kg)	12.39	± 2.36	13.73	± 1.69	**
ST force catch(N)	437.5	± 94.8	415.2	± 97.6	n.s.
ST force catch(N/kg)	7.34	± 1.55	6.9	± 1.1	n.s.
ST impulse(N·s)	374.5	± 56.5	417.9	± 80.1	*
ST impulse(N·s/kg)	6.24	± 0.74	6.93	± 0.86	*
ST rate of force development	1672	± 376	2254	± 609	**
Knee extension angle(deg)	144.8	± 9.46	141.5	± 7.11	n.s.
Knee flexion angle(deg)	48.6	± 8.5	49.9	± 9.28	n.s.
Hip extension angle(deg)	161.4	± 7.95	167	± 5.47	**
Hip flexion angle(deg)	45.4	± 6.51	50	± 5.33	n.s.
Knee extension angular velocity(deg/s)	191.6	± 28.57	180.9	± 21.45	*
Knee flexion angular velocity(deg/s)	-157.4	± 20.84	-158.2	± 11.18	n.s.
Hip extension angular velocity(deg/s)	227.6	± 37.69	225.3	± 27.62	n.s.
Hip flexion angular velocity(deg/s)	-179.3	± 32.26	-203.2	± 36.87	n.s.
Knee extension angular acceleration(deg/s ²)	731.5	± 135.9	773	± 107.72	n.s.
Knee flexion angular acceleration(deg/s ²)	-1038.2	± 180.82	-1013.7	± 126.89	n.s.
Hip extension angular acceleration(deg/s ²)	786.9	± 133.24	1045.4	± 343.96	*
Hip flexion angular acceleration(deg/s ²)	-1128	± 221.1	-1180.2	± 320.1	n.s.

n.s.:no significant, *:p<0.05, **:p<0.01

とが示された。ドライブ中にストレッチャーが前方に動くダイナミックエルゴメーターを用いた Colloud et al.²⁾ の研究では、スライド式エルゴメーターは、固定式よりもストレッチャー力が高いと報告している。また、本研究と同様の2台のスライド器具を用いた Millar et al.⁷⁾ の研究では、スライド式と固定式エルゴメーターのストレッチャー力に差がないことを報告している。先行研究と結果が異なった理由は、Colloud et al.²⁾ は異なる

エルゴメーターを用いていることや Millar et al.⁷⁾ は被験者数が4名と少ないことが影響している可能性が考えられる。本研究で使用したスライド式エルゴメーターの質量は35kgであり、先行研究に使用されたエルゴメーターの質量は17kgである。そのため、本研究ではキャッチ動作中に大きい慣性力が発生すると考えられ、その結果、スライド式エルゴメーターでストレッチャー力が大きくなったものと推察される。

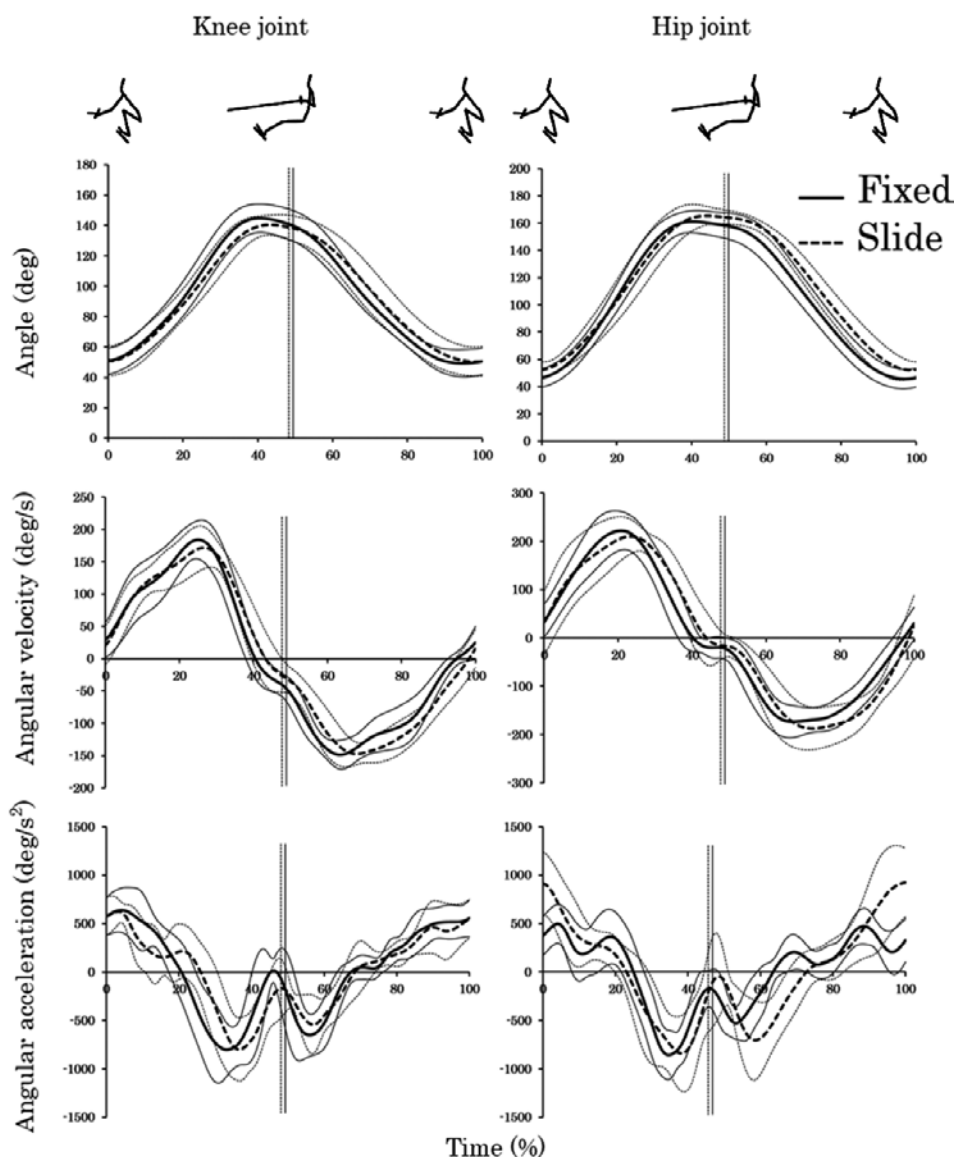


図1 固定式およびスライド式エルゴメーターにおける膝関節と股関節角度、角速度および角加速度の平均パターン図中の太線が平均値、細線が標準偏差を示す。図中の縦の実線及び破線はフィニッシュのイベントを示している。

膝および股関節角度、角速度および角加速度の変化 (図1)

下肢キネマティクスに着目したところ、スライド式エルゴメーターの股関節伸展角度は、固定式と比較して、有意に大きな値を示した。したがって、スライド式エルゴメーターにおけるローイング運動はドライブ局面中のハンドルを最後まで引

き続け、体幹が後傾するような動作である。また、スライド式エルゴメーターにおける膝関節伸展最大角速度は、固定式と比較して、有意に小さいことが示された。Greene et al.⁵⁾の研究では、スライド式エルゴメーターにおける膝伸展パワーが固定式よりも有意に大きいことを報告している。したがって、本研究結果も先行研究を支持し、固定

式エルゴメーターのドライブ局面では、静止した状態からストレッチャーを蹴り出すために膝関節で大きな力発揮を遂行しているものと推察される。一方、リカバリー局面終期の股関節伸展角加速度は、スライド式エルゴメーターが固定式よりも有意に大きな値を示した。これは、リカバリー局面の終わりに2台のスライド器具が中央に戻ろうとするため、キャッチの前から股関節伸展筋群が活動することで次の蹴り出しへの準備動作の結果であると推察された。

IV. ま と め

本研究は、固定式エルゴメーターと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および下肢関節キネマティクスを比較し、スライド式エルゴメーターにおけるローイング動作の特徴を明らかにすることを目出力お的とした。その結果、以下の知見が得られた。

1. スライド式エルゴメーターにおけるストローク頻度は、固定式と比較して、統計上有意に大きな値を示した。
2. スライド式エルゴメーターにおいて、固定式と比較してハンドル力は、統計上有意に小さな値を示し、ストレッチャー力は統計上有意に大きな値を示した。
3. スライド式エルゴメーターにおける股関節伸展角度は、固定式と比較して、統計上有意に大きな値を示した。

以上のことから、スライド式エルゴメーターでは、固定式エルゴメーターと比較して、上肢の負荷が小さいためにストレッチャー力が大きくなることで下肢の動作が大きくなり、さらにローイング動作での股関節および体幹部の関与が大きくなることが特徴として示唆された。

本研究は、令和3年度国土館大学体育学部附属体育研究所助成により行われた。また、本研究の実施にあたって、本学スポーツ・システム研究科

博士課程大学院生の尹鉉喆氏に多大な協力を頂いたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Colloud Floren, Bahuaud Pascal, Doriot Nathalie, Champely Stéphane, Chèze Laurence : Fixed versus free-floating stretcher mechanism in rowing ergometers : mechanical aspects, *Journal of sports sciences*, 24 : 479-493, 2006.
- 3) Droghetti P, Jensen K, Nilsen TS : The total estimated metabolic cost of rowing, *FISA coach*, 2 : 1-4, 1991.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Holsgaard-Larsen A, Jensen K : Ergometer rowing with and without slides, *International journal of sports medicine*, 31 : 870-874, 2010.
- 7) 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.
- 8) Steinacker Jürgen M : Physiological aspects of training in rowing, *International journal of sports medicine*, 14 : S3-S3, 1993.
- 9) 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.
- 10) 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.