

カヌーエルゴメータでの2分間全力漕による疲労が漕動作に及ぼす影響

辻本 典央^{*1,2}, 野口 雄慶^{*1,2}

Effect of fatigue on rowing motion during a 2-min full-power rowing on a canoe ergometer

Norio TSUJIMOTO^{*1,2} and Takanori NOGUCHI^{*1,2}

^{*1} Faculty of Sports and Health Sciences, Department of Sports and Health Sciences

^{*2} FUT Wellness & Sports Science Center

In canoe sprint, it is important to maintain an optimum motion from the start to the end. Therefore, it is essential to continuously evaluate the rowing technique and identify tendencies in motion changes to understand the points to keep good motion even during periods of fatigue. This study aimed to investigate changes in motion resulting from fatigue during a 2-min full-power rowing on a canoe ergometer.

The study involved five male kayakers from a university canoe club. A high-speed camera was installed on the side of the ergometer for recording the rowing motion and we acquired positional coordinate data of the shaft tip for duration of 2 min. Subsequently, the time when the velocity of the shaft tip starts to decrease was defined as “catch,” and the time when the velocity of the shaft tip starts to increase was defined as “pull end.” According to this definition, we analyzed the rowing motion over the 2-min duration.

The results revealed that the shaft angle decreased and the shaft tip position became farther and higher at the “catch” for the latter half of the rowing motion. In addition, the shaft tip position became lower and shaft tip velocity decreased at the “pull end” for the latter half, and the time between the “catch” and the “pull end” extended.

Key Words: Kayak, Ergometer, Fatigue, Motion Analysis

1. 緒 言

カヌースプリント競技には、艇に座り両端にブレードが付けられたパドルで水を漕ぎながら進むカヤックと、艇に片膝立ちになり片側にブレードが付けられたパドルで水を漕ぎながら進むカナディアンがある。競技は静水面において一定の距離を進んだ着順で競われ、その距離は200m, 500m, 1000mが主である。

カヌースプリントの練習は水上での練習以外に、風や波の影響を受けないカヌーエルゴメータで行われることがある。この機器は、シャフト先端に付けられたロープが前方に設置されたファンと繋がっており、シャフトを後方に引くことでファンから抵抗が加わり、水を漕いでいる負荷と似たような負荷が加わるというものである (Fig.1)。水上での動きや感覚と異なる部分はあるものの、この固定されたマシン上で漕動作を

* 原稿受付 2023年4月29日

^{*1} スポーツ健康科学部 スポーツ健康科学科

^{*2} ウェルネス&スポーツサイエンスセンター

E-mail: tsujimoto@fukui-ut.ac.jp

行うことにより、天候に影響されずに常に同じ条件でトレーニングを行うことができ、各種記録も同条件で取得できるメリットがある。また、水上と異なり、撮影者が進む艇を追いかける必要がないため、ビデオカメラなどでのフォームのチェックを行いやすいメリットもある。

カヌーエルゴメータを用いたパフォーマンスの測定としては、20 秒、40 秒、120 秒、240 秒、600 秒といった時間を設定し、その時間を全力で漕ぎ切るというオールアウトテストが多く用いられる⁽¹⁾。目的に応じて様々な時間や距離が設定されるが、その中で、120 秒（2 分間）という時間は、競技で用いられる 500m のタイムに近い時間（※）であることから、日本国内では測定やトレーニングにおいて採用されることが多い^(2,3)。

これまで、2 分間の全力漕のような測定の場合、代謝エネルギー量、代謝パワー、換気量、心拍数といった生理的パラメータを測定することが多かった⁽³⁾。しかし、カヌーにおいて高パフォーマンスを発揮するためには、その生理的な側面とともに、疲労した中でもいかに安定したフォームで漕げるかという技術の面も重要となる。そのため、2 分間の全力漕の中でどのようにフォームが変化していくのかを連続的に評価し、フォームの変化の傾向を明らかにすることは、疲労状態の中で安定したフォームを維持するためのポイントを理解するために重要であると考えられる。

しかしながら、これまで全力漕における疲労の影響の分析として、フォームの変化を連続的に示した研究はわずかに見られるのみである⁽⁴⁾。したがって本研究の目的は、カヌーエルゴメータ上での 2 分間の全力漕の映像から漕動作を定量的に分析し、疲労によるフォームの変化を連続的に明らかにすることとした。

※令和 4 年度日本カヌースプリント選手権大会において、男子カヤックの 8 位は 1'47"667、男子カナディアン 8 位は 2'02"068、女子カヤックの 8 位は 2'04"772、女子カナディアン 8 位は 2'33"550 のタイムであった。

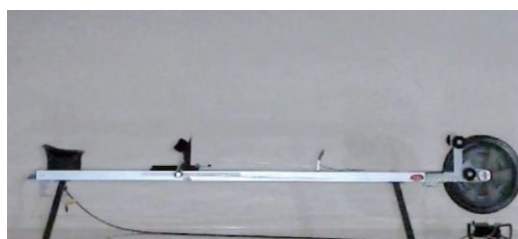


Fig.1 Canoe ergometer

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は F 大学カヌー部に所属する男子カヤックの選手 5 名であった（身長： 171.7 ± 4.9 cm、体重： 71.8 ± 7.7 kg、年齢： 19.2 ± 1.1 歳、500m ベストタイム： 111.9 ± 2.6 秒）。被験者には本研究の趣旨を説明し、実験の参加の同意を得ている。なお、本研究計画は大学倫理委員会にて承認されたものである（人-2021-01）。

2.2 実験設定および測定内容

カヌーエルゴメータは Dansprint PRO（Dansprint 社製）を用いた。また、エルゴメータの真横にハイスピードカメラ（スポーツコーチングカム、ロジカルプロダクト社製）を設置し、漕動作の映像を取得できるようにした。撮影の際のカメラのフレーム数は 240fps、シャッタースピードは 1/1000 秒とした。なお、シャフト先端の動きをカメラから捉えやすくするため、カメラ側のシャフト先端に直径 25 mm の反射マーカを貼付した。

被験者は、測定の前に十分なウォーミングアップを取った後、エルゴメータ上で 2 分間のオールアウトテストを行った。

2.3 分析方法

得られた映像は映像分析ソフト（Frame-Dias V, DKH 社製）より、2次元4点実長換算法を用いて、カメラ側のシャフト先端の位置座標データを2分間分取得した。また、取得した位置座標データより、シャフト先端速度を算出した。なお、データは位置座標データに対して4次のバタワースローパスフィルタ（6Hz）を施すことで平滑化した。

カヌーエルゴメータは、シャフトを後方に引こうとすると、シャフト先端からロープで繋がっているファンにより負荷が加わる仕組みである。選手は推進力を得るためにシャフトを後方へ引こうとシャフト先端の速度を上げるが、ファンの抵抗によってその速度は減ることとなる。キャッチの時点はシャフト先端が最も前方に位置した時点として定義することも多いが⁽⁴⁻⁶⁾、上述したようなエルゴメータの仕組みから、本研究では辻本と野口の⁽⁷⁾の定義を用い、算出されたシャフト先端速度データを用いて、速度が減少に転じる時点（速度の極大値）を、シャフトに負荷が大きく加わる時点として、水の漕ぎはじめる「キャッチ」と定義した（Fig.2 左）。また、キャッチの後はファンから抵抗を受け続けるため、シャフト先端速度は減少し続けるが、その後、シャフト先端速度が増加に転じる時点が発生する。これは、ファンからの負荷が少なくなり、シャフトを速く動かせるようになる時点である。よって、本研究では、速度が増加に転じる時点（速度の極小値）を、シャフトへの負荷が小さくなる時点として水の漕ぎ終わりである「プル終了」と定義した（Fig.2 右）。

本研究ではカメラ側のシャフト先端速度からキャッチとプル終了時点を2分間分求めた。カヤックはパドル先端の左右両方で水を漕ぐ動作を行うことになるため、カメラ側とカメラの反対側のシャフト先端の両方で水を漕ぐ動作を行っている。しかし、本研究ではカメラから常に見えているカメラ側のシャフト先端速度のみを用いてキャッチとプル終了時点を2分間分求めたため、1パドルおきのキャッチとプル終了時点を2分間分求めたこととなる。

本研究ではさらに、導き出されたキャッチとプル終了時点における、カメラの反対側のシャフト先端を手動にてデジタイズした。また、選手が座るシートの中央部分の座標データも手動にてデジタイズした（シートは動かないため、ある時点1コマのみデジタイズを行った）。

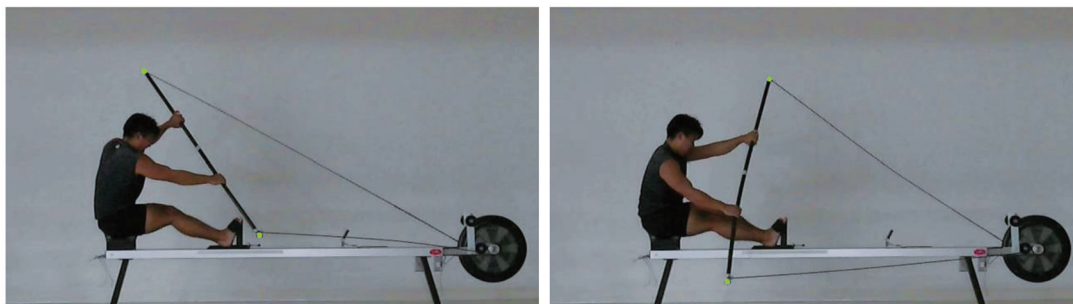


Fig.2 Photos at the time of catch and pull end

2.4 分析変数

得られたキャッチとプル終了時点の各座標データより、以下の変数を算出した（Fig.3）。

- ・シャフト先端水平距離（キャッチ時点： Lx_c ，プル終了時点： Lx_p ）
シート中央に対するカメラ側のシャフト先端の水平距離。
- ・シャフト先端垂直距離（キャッチ時点： Ly_c ，プル終了時点： Ly_p ）
シート中央に対するカメラ側のシャフト先端の垂直距離。

- ・シャフト角度（キャッチ時点： Ang_c ，プル終了時点： Ang_p ）
水平方向ベクトルとカメラ側のシャフト先端→カメラと反対側のシャフト先端ベクトルとのなす角度。
- ・シャフト先端速度（キャッチ時点： V_c ，プル終了時点： V_p ）
各時点におけるカメラ側のシャフト先端の速度。
- ・キャッチ・プル終了時間（ $Time_c_p$ ）
キャッチからプル終了までの時間。

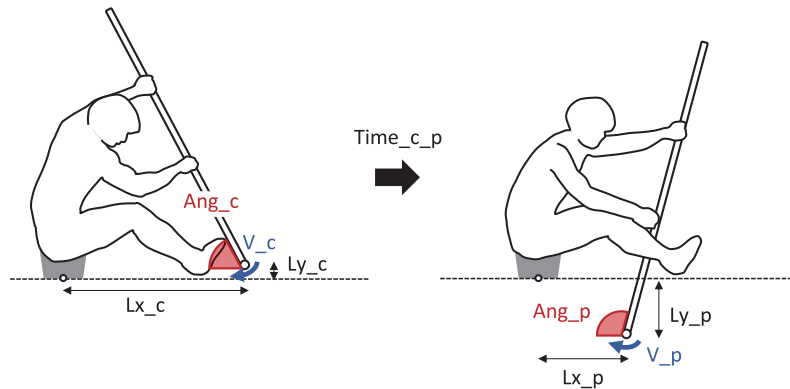


Fig.3 Analysis variables

上記のデータを1パドルおきに2分間分求めた。2分間におけるパドル数は被験者によって異なっており、198～229パドルの範囲であった。なお、漕ぎ始めの10パドルは動作が定常状態になっていない区間であるとして分析からは除外した。

2.5 統計解析

被験者ごとに、パドル数と各変数の間の関係を散布図としてプロットし、パドル数増加による各変数の変化の傾向を調べた。また、被験者ごとに、パドル数と各変数の値の相関分析を行い、パドル数増加による各変数の変化に関係性があるかを調べた。なお、本研究の有意水準は5%とした。

3. 結 果

Fig.4 はキャッチ時における各変数の2分間での変化をパドル数ごとにプロットしたもの、および相関分析の結果を示している。横軸はパドル数、縦軸は各変数の値となっており、マーカの形や色で被験者ごと分けられている。分析の結果、キャッチ時のシャフト先端距離は後半になるにつれ、遠く、高くなることが明らかとなった。また、キャッチ時のシャフト角度は後半になるにつれ小さくなり、角度が浅くなっていくことが示された。キャッチ時のシャフト先端速度は、一定の傾向は見られなかった。

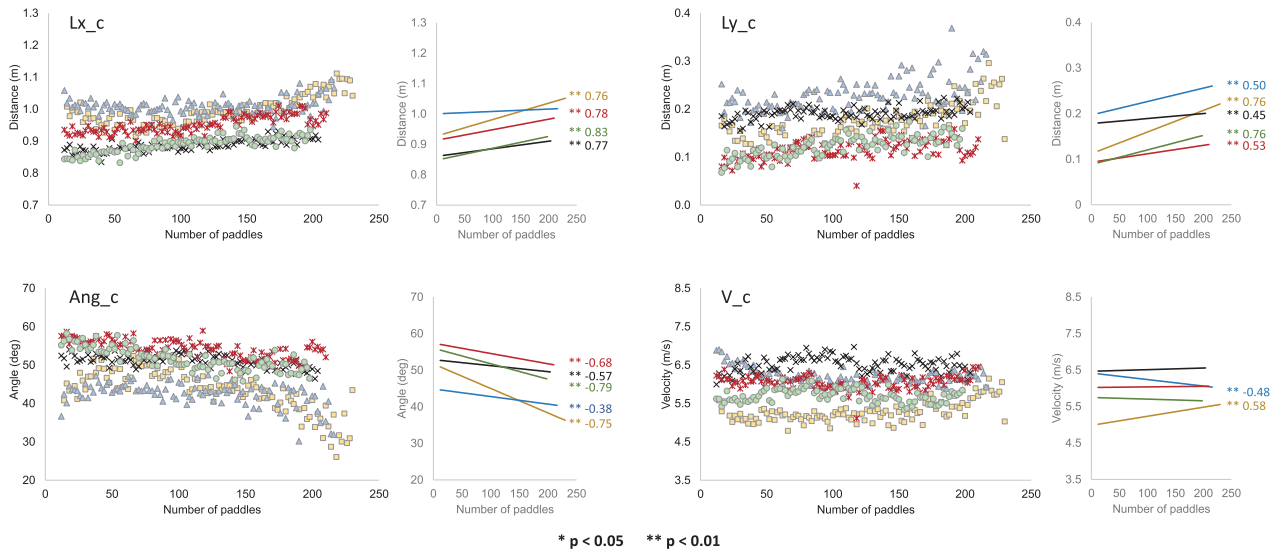


Fig.4 2-minutes changes in each variable at the time of “catch” and the results of correlation analysis

Fig.5 はプル終了時における各変数の 2 分間での変化をパドル数ごとにプロットしたもの、および相関分析の結果を示している。分析の結果、プル終了時のシャフト先端垂直距離は後半になるにつれ、低くなることが明らかとなった。また、プル終了時のシャフト先端水平距離やシャフト角度は大きくなる者もいれば小さくなる者もあり、一定の傾向は見られなかった。プル終了時のシャフト先端速度は、後半になるにつれ遅くなることが示された。

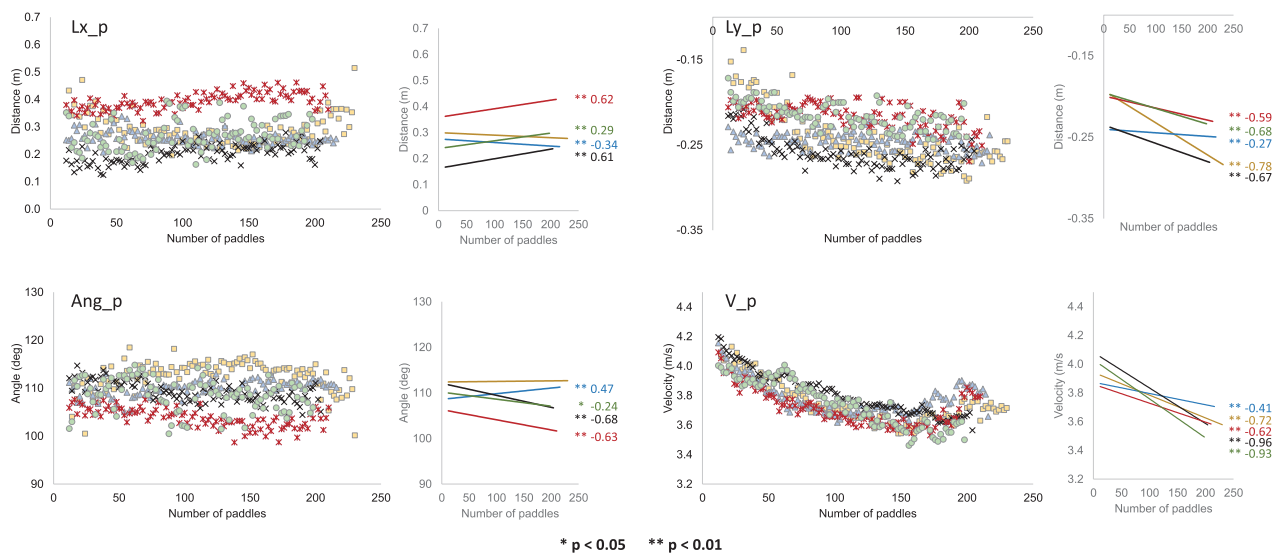


Fig.5 2-minutes changes in each variable at the time of “pull end” and the results of correlation analysis

Fig.6 はキャッチからプル終了時までの時間について、2 分間での変化をパドル数ごとにプロットしたもの、および相関分析の結果を示している。横軸はパドル数、縦軸は時間の値となっている。分析の結果、キャッチからプル終了時までの時間は後半になるにつれ、長くなることが明らかとなった。

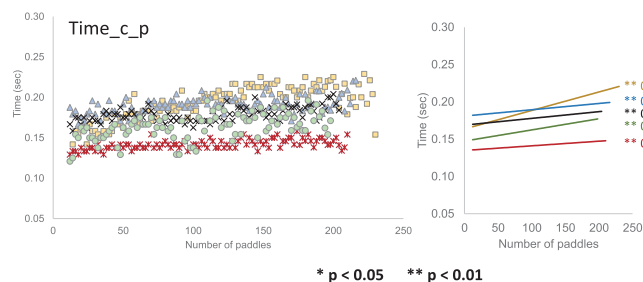


Fig.6 2 minutes change in time from “catch” to “pull end” and the results of correlation analysis

4. 考 察

4.1 キャッチ時のシャフト位置および角度

本研究の定義では、被験者がシャフトを引くことで抵抗が加わり始めた時点がキャッチのポイントとなる。分析の結果、後半になるにつれ、キャッチ時のシャフト先端距離は遠く、かつ高くなっていった。

Bertozzi et al.⁽⁴⁾は、500mのエルゴメータ全力漕において、ストローク距離（キャッチ時の手の水平距離）はわずかではあるが徐々に短くなっていくことを示している（ $r = -0.16$, $p < 0.001$ ）。本研究とは結果が異なるが、これは、本研究がシャフト先端の速度が減少し始める時点にてキャッチを定義しているのに対し、Bertozzi et al.⁽⁴⁾は手首のマーカーが最も前方に出た時点にてキャッチを定義しているという違いによると考えられる。そのため、本研究の被験者も手首をどれだけ前方へ出せているかという観点で見ると、後半になるにつれ前方へ出せなくなっている可能性もある。しかし、シャフトに抵抗が加わり始めた時点で見ると、シャフト先端は後半に、より遠く、高くなることが示されている。これは、シャフトに抵抗が加わり始めた時点のシャフト角度が後半により浅くなっていく状況も関係しているものと考えられる（Fig.7）。以上のことから、本考察では、シャフトに抵抗が加わり始める時点にシャフト角度が浅くなり、シャフト先端がより遠く、高くなるような動きは望ましい動きであるか否かについて検証する。

水上においては、高さが一定である水面に対してパドルを入れていき、水を捉えた状態で後方に力を加えて推進力を得る。そのため、キャッチ時のパドルの高さは一定であることが望ましい。しかし、疲労によりキャッチ時のシャフト角度は浅くなり、シャフト先端の高さが高くなっていくことが示されている本研究結果から、疲労によりシャフトをしっかりと水に入れるような動きが行われない状態から引き始めている可能性が考えられる。

また、シャフト角度が浅くなり、キャッチ時のシャフト先端水平距離が長くなっていることも本研究結果からが示されている。Kendal and Sanders⁽⁸⁾は、リーチ距離（キャッチ時のパドル先端の前方への距離）は過度に長くすると、キャッチ後すぐに推進力を生み出す動きに移れないため、望ましくないと述べている。そのため、この状態は、推進力を生み出すためには望ましくない状態であると考えられる。カヌーにおいてキャッチ時にパドルを遠くに入水させることは、水を漕ぐ距離を長くすることができるため、良い動きであるとも考えられている^(6,9)。しかし、これは、パドルを水に入れる動きや、キャッチ後すぐに推進力を生み出す動きに移ることができるといった条件が満たされていることが前提である。本研究において、シャフト先端水平距離が後半になるにつれ長くなっていることは、望ましいと捉えるのではなく、むしろ、シャフトを水に入れる動きやキャッチ後すぐに引ける状態を意識した後半の漕ぎを実現し、シャフト先端水平距離が無駄に長くないよう注意すべきであると考えられる。

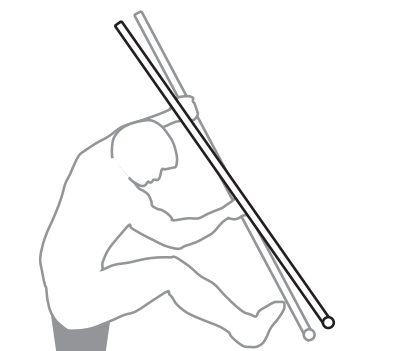


Fig.7 Change in paddle tip position due to difference in paddle angle when “catch”

4.2 プル終了時のシャフト位置および角度

プル終了時の分析の結果、後半になるにつれ、シャフト先端の垂直距離が低くなっていた。Kendal and Sanders⁽⁸⁾は、国際的なレベルのニュージーランド選手の中でもより優れた選手はキャッチ後のパドルの沈み込みが少なかったことを報告している。水面において、水にパドルを入れた後は、進行方向に対して後方へ力を加えることが必要で、パドルを下方にさらに入れていく必要はない。そのため、後半になるにつれプル終了時のシャフト先端が低くなる漕ぎ方は望ましいものではないと考えられる。

キャッチ時のシャフト先端の高さが高くなっていたことと合わせて考えると、疲労状態では、水を漕ぐ局面において上から下のシャフトの動きが大きくなることが窺える。この動きは、実際の水上においては必要ではない動きであるため、エルゴメータでのトレーニング時においては、パドルを水に入れる動きを行った後は、すぐに後方に引くことを意識した動きを行うべきであると考えられる。

4.3 シャフト先端速度およびキャッチからプル終了までの時間

シャフト先端速度は、キャッチ時においては後半になっても大きな変化はなく、プル終了時においては後半になるにつれ減少するという結果となった。また、プル終了時の速度が減少しているため、キャッチからプル終了にかけてのシャフト先端速度は全体として減少していると考えられ、これにより、キャッチからプル終了の時間が長くなっていると考えられる。

キャッチ時のシャフト先端速度は、シャフトに負荷が加わる直前の速度である。この値は後半になっても有意な変化を示さなかったことから、負荷が加わらない局面の動きについては、疲労の影響は少ないものと考えられる。一方、プル終了時のシャフト先端速度は、他の変数と比べて後半での減少の程度が大きかった。これは、負荷が加わった局面の動きに対する疲労の影響が大きいことを示している。Bertozzi et al.⁽⁴⁾は、エルゴメータを用いた 500m の全力漕の際、後半になるにつれパドル速度が遅くなることを示しているが、ストロークサイクル中のパドル速度を扱っており、どの時点の速度が遅くなっているのかは明らかにしていない。そのため、パドル速度が遅くなる局面を明らかにした本研究の結果は新たな知見を得たものと考えられる。疲労の影響を受ける後半において、このプル終了時のシャフト先端速度の減少率をいかに小さくできるかが、後半のパフォーマンス維持のポイントになると考えられる。

5. 結 論

本研究の目的は、カヌーエルゴメータによる 2 分間の全力漕において、疲労の影響による動きの変化を明らかにすることであった。分析の結果、後半になるにつれ、キャッチ時のシャフト角度が浅くなり、シャフト先端水平距離は遠く、垂直距離は高くなっていることが分かった。また、プル終了時のシャフト先端垂直距離は後半に

なるにつれ低くなることが分かった。さらに、後半になるにつれ、プル終了時のシャフト先端速度は減少し、キャッチからプル終了時までの時間は長くなることが分かった。

2分間の全力漕の後半は疲労状態に陥るため、前半と同様の動きを行うことは難しいが、後半においても水にシャフトを入れる動き、キャッチ後すぐに引く動き、水を漕ぐ局面でシャフトが下に下がり過ぎない動きを意識し、水を漕ぐ局面におけるシャフト先端速度の減少を防ぎながら漕動作を行うことが、後半のパフォーマンスを維持することに繋がる可能性が示唆された。

6. 引用文献

- (1) 中垣浩平, 吉岡利貢, 鍋倉賢治 "カヤックパドリング中の無酸素性及び有酸素性エネルギー代謝の貢献比", 体力科学, Vol.57, (2008), pp. 261-270.
- (2) 中垣浩平, 吉岡利貢, 鍋倉賢治 "フラットウォーターカヤック競技のパフォーマンスとエネルギー供給能力の関係", 体力科学, Vol.56, (2007), pp. 115-124.
- (3) 中垣浩平, "カヌースプリントカヤックパドリングのエナジェティクス", 体育学研究, Vol.68, (2023), pp. 143-161.
- (4) F. Bertozzi, S. Porcelli, M. Marzorati, A.M. Pilotto, M. Galli, C. Sforza, and M. Zago. "Whole-body kinematics during a simulated sprint in flat-water kayakers", *European journal of sport science*, Vol.22, No. 6 (2022), pp. 817-825.
- (5) A. Bjerkefors, O. Tarassova, J.S. Rosén, P. Zakaria, and A. Arndt. "Three-dimensional kinematic analysis and power output of elite flat-water kayakers", *Sports Biomechanics*, Vol.17, No. 3 (2018), pp. 414-427.
- (6) 永野拓也, 今村孝, 川村多巳男, 山崎勇樹 "エルゴメータ使用時におけるカヤックパドリング評価法", 自動制御連合講演会講演論文集, Vol.61, (2018), pp. 900-906.
- (7) 辻本典央, 野口雄慶, "カヌーエルゴメータでの漕動作を対象とした映像分析手法の検討", 福井工業大学研究紀要, Vol. 52, (2022), pp. 186-192.
- (8) S.J. Kendal and R.H. Sanders. "The Technique of Elite Flatwater Kayak Paddlers Using the Wing Paddle", *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol.8, No. 3 (1992), pp. 233-250.
- (9) 田原瞭太, イオアニス G フダラキス, 照内明良, 山口大貴, 中村夏実, 山本正嘉 "陸上での補助トレーニングの工夫によりパドリング技術を改善した大学カヌースプリント選手の事例 - 「ヒップワーク」を用いた体幹動作の改善-", スポーツトレーニング科学, Vol. 21, (2020), pp. 1-9.

(2023年8月3日受理)