

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：17702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650391

研究課題名(和文)筋活動様相からみたカヤック競技の水上パドリングにおける技術評価の試み

研究課題名(英文)Evaluating kayak paddling skills in term of muscular activity

研究代表者

中村 夏実(NAKAMURA, NATSUMI)

鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・准教授

研究者番号：30287817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、カヌースプリント・カヤック種目における、水上パドリング動作を筋放電の様相から捉え、エルゴメータでのパドリングとの相違や、水上パドリングの「うまさ」を検討することを目的とした。

その結果、エルゴメータパドリングでは、広背筋や外腹斜筋の筋放電様相において、パドリングの特徴を3つに分類することができた。水上パドリングでは、艇のバランスを取りながら力発揮が行われるため、パドリング中、継続的に各筋群に筋放電が見られた。推進力に必要な動作場面でいかに、それぞれの筋群の筋放電が抑制されるかが、「うまさ」と関係すると推測された。しかし、水上パドリングの事例は、2例しか収集できていない。

研究成果の概要(英文)：To assess kayak paddling skills, we evaluated kayak paddling performance by monitoring the muscle recruitment patterns and by investigating differences in paddling movements between paddling on an ergometer and on a kayak.

Seven healthy subjects with kayak paddling experience took part in this study (males; 20.3±1.1 years). Electromyographic signal data indicated that muscle recruitment patterns during paddling on an ergometer included the latissimus dorsi and abdominal external oblique muscles. However, a paddler on a kayak applies propulsive force while maintaining balance in the boat. Thus, when paddling on a kayak, electromyographic signals were observed continuously from all muscle groups throughout the entire period of paddling.

These results suggest that the “skills” of paddling on a kayak are related to muscle recruitment during the phase of paddling that did not affect the propulsive force. However, more electromyographic data needs to be collected from paddlers on a kayak.

研究分野：健康・スポーツ科学

キーワード：カヌースプリント カヤック 水上パドリング 筋電図 筋放電様相

1. 研究開始当初の背景

カヌースプリント競技(以下、カヌー競技)における、水上パドリングの技術評価は、映像による客観的な情報をもとに、指導者や選手自身の解釈によって行われている。これは、どの競技でも行われている通常の技術評価手法である。また、カヌー競技では、パドリング動作をシミュレートしたエルゴメータを用いて様々なパフォーマンス評価がなされることが多い。これは、競技が自然環境の中にある水域で行われる競技であるためである。定点カメラを設置する地理的条件が実験室のように整いにくいことや、競技が水上という不安定環境であるため、ぶれのない映像を収集することが難しいことなど、技術の評価するための数理的基準を設けることが困難であることは、容易に想像できる。

しかし、水上でのパドリングは、運動を遂行するために艇の安定を確保するための姿勢・動作の上に成り立つ。したがってやはり、パフォーマンスが水上パドリング中のデータで評価されることは、選手や指導者にとって有効な情報となると考えられる。

本研究では、水上パドリング動作中の技術的要素を評価するための手法として、筋電図解析を行うこととした。カヌー競技を対象に筋電図解析を行った先行研究は、数例しか見当たらない。そのうち日本国内では、吉尾ら(1974)が、水槽に艇を浮かべて艇を鎖で固定し、パドルに穴をあけて水の抵抗を軽減させ、実際的水上パドリングに近い生理的負荷で遂行されるように運動様式をデザインした上で、有線で主動筋群の表面筋活動電位を計測し、熟練者と未熟練者を比較して報告した例がある。それによれば、上肢の引き動作の主動筋群の筋活動電位の様相には熟練者と未熟練者で差異はないが、体幹の捻転動作は、熟練者では引き動作に比較して先行して行われ、未熟練者では引き動作とほぼ同時に起こること、練者ではあまり見られない肘関節に関連する筋群の筋放電が、未熟練者では顕著であることを報告している。また Trevithick ら(2007)は、カヌー選手の障害

の半数以上を占める肩の障害の原因を探ることを目的に、肩に痛みを持たないカヤック選手のパドリング動作を筋電図解析し、肩の痛みを持つ選手の筋活動を知るための参照データとして報告したものがあ

る。しかしながら、いずれも熟練者群における個々の選手の特徴を把握するには至っておらず、シミュレーションパドリング動作であることから、競技成績との関連性についても言及されていない。また、パドリング動作における筋電位測定においては、パドルを左右に振り回す動作であるために有線の電極ではパドリング動作を妨げやすいなどの問題もあった。ところが近年、筋電位測定装置の開発が進み、表面筋電位の測定に能動電極を用いた無線筋電計が使用されるようになってきている。また、小型で無線通信機能を有する加速度計や角速度計などの開発も進み、同時にパフォーマンスとなる艇の情報を収集することも可能になったと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、筋電位を指標として取り上げ、水上パドリングにおける運動の様子を筋放電の様相から捉え、陸上でのパドリングとの相違や、競技歴の近い選手間で水上パドリングの「うまさ」を検討することを目的とした。

なお、目的を達成するために、カヤックエルゴメータにおけるパドリング動作の筋電図解析(研究1)と水上パドリング動作における筋電図解析と映像解析による技術評価(研究2)の二つの課題を設定した。

3. 研究の方法

研究1: カヤックエルゴメータにおけるパドリング動作の筋電図解析

1) 被検者:

カヤック種目大学男子選手7名であり、競技歴は8±4年であった。また7名の内5名は全日

本学生選手権大会において入賞経験を有し、初心者と判断される未熟練者は含まれていない。

2) 運動様式:

カヤックのパドリング動作をシミュレートしたカヤックエルゴメータ(dansprint 社製、DNK)を用い、500mレースを想定した一定ペース漕を30秒間実施した。負荷は、カヤックエルゴメータ500m 全力漕における平均パワー出力(WO)とし、回転数を100rpmとした。

なお、分析対象区間は、運動開始20秒～25秒の5秒間とした。

3) 測定手順:

筋電位の誘導と処理

運動中の筋電位は、パドリング動作の主働筋であるとされている8つの筋群(尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋、広背筋、大胸筋、外腹斜筋、外側広筋)を対象に、無線筋電計web7000(日本光電社製、JPN)を用いて誘導した。筋電位のサンプリング周波数は1000Hz、記録時間は5秒間であり、バンドパスフィルタを10Hz～400Hzとして平滑化処理を行った。

映像の収集と分析

映像分析のため、固定カメラは、被検者の右側350cmの距離に設置された。エルゴメータのシャフトには、その中心とブレイドのネックに相当する位置にマーカーを貼付した。シャフト先端はブレイド先端とした。なお、水面の高さを想定した高さに基準ラインが張られ、映像内に記録された。収集した映像は、Win analyze 2D (Mikromak Service 社製、GER)を用い、マーカーをデジタルサイズすることで、パドルに相当するエルゴメータシャフトの軌跡を求めた。

パドリング動作局面の設定

収集した映像から、動作の特徴を検討するため、パドリング動作を以下の5つの局面に分類した。

- a. 起点局面:**ブレイドの入水局面に向かってシャフトが床面に対して平行になった局面。
- b. キャッチ局面:**シャフトの先端が被検者前方で基準線に接した(下方向に横切った)局面。
- c. ミドル局面:**シャフトが床面に対して垂直にな

った局面。

d. フィニッシュ局面:シャフト先端が被検者後方で基準線に接した(上方向に横切った)局面。

e. 終点局面:反対側のパドリングを行うため、シャフトが床面に対して平行となった局面。

ブレイド入水時(想定)の各指標の算出

- **ネック浸水点:**キャッチ局面を0とし、ネックが被検者の前方で基準線に接した時点の水平距離。
- **ネック浸水域:**ネック浸水点を0とし、ネックが被検者の後方で基準線に接した点までの水平距離(x座標)。これをブレイドの水中移動距離と仮定した。
- **ネック最深点:**ネック浸水点を0とし、ネック浸水域のy座標で最も低い点としてブレイドの深さ、その時のx座標を最深点の出現した距離を示す指標とした。
- **ネック浸水点と最深点を結ぶ直線の傾き:**入水が、ブレイドが水平移動するか、潜っていくかを示す指標として算出した。

研究2:水上パドリング動作における筋電図解析と映像解析による技術評価

1) 被検者:

カヤック種目大学女子選手1名(競技歴2年の未熟練者)、男子選手1名(競技歴7年目の熟練者)であった。

2) 運動様式:

500mレースの静水時ベストタイムから算出した平均速度を算出し、一定ペース漕を1分間実施した。なお、データの収集は、1分間漕の前後15秒間を排除した中間の30秒間とした。

3) 測定手順:

筋電位の誘導と処理

運動中の筋電位は、エルゴメータパドリングと同様の8つの筋群(尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋、広背筋、大胸筋、外腹斜筋、外側広筋)とした。使用した無線筋電計は、FREE EMG (BTS Bioengineering 社製、

USA) であり, 筋電位のサンプリング周波数は 1000Hz, バンドパスフィルタを 10Hz ~ 400Hz とし て平滑化処理を行った。

映像の収集と分析

水上パドリングにおいては, カメラと被検者との 距離を一定に保った映像収集が困難であった。 したがって, パドル軌跡の分析等は行わず, 参 考資料としてパドリング動作の映像を収集した。

4. 研究成果

研究 1: カヤックエルゴメータにおけるパドリン グ動作の筋電図解析

1) 映像分析によるパドル軌跡の解析

右側方から撮影した映像について, エルゴメー タのシャフトに添付したマーカーをデジタル化し, シャフト中心の軌跡とパドルネックと想定した点 について, パドリング動作全体の軌跡を求めた。 これらについては, 7 名の被検者で様々であり, 競技成績との関係性は明確とならなかった。

図 1 には, ブレイド入水時(ネック浸水域)に おける移動軌跡を示した。また表 1 には, 競技成 績の高い順にネック水深域で算出した各指標の値 を示した。

その結果, 特に競技成績上位 2 名の被検者 A・ B(日本選手権 3 位入賞経験あり)と, 競技成績 下位 2 名の被検者 F・G とのネック水深域におけ るブレイドの移動軌跡に顕著な差異が観察された。

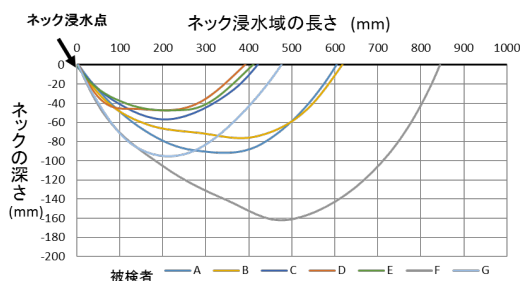


図 1 ネック浸水域におけるネック移動軌跡

表 1 ネック浸水域における各指標の値

被検者	浸水点 (mm)	浸水域 (mm)	最深点(mm)		傾き
			X座標	y座標	
A	200	603	350	91	0.26
B	200	618	390	77	0.20
C	300	420	220	57	0.26
D	270	390	220	47	0.21
E	260	407	217	47	0.22
F	150	844	475	162	0.34
G	260	476	220	94	0.43

被検者 A・B のネック浸水域の長さは, 全被 験者の中で中間位であり, ほぼ同程度の 600mm 程度であった。それに対し被験者 F は 少しく短く, 被験者 G は顕著に長かった。さらに, ネック浸水点と最新点を直線で結んだ傾き(ブ レイドの潜りの大きさを示す)は, 被験者 F・ G が他の被験者に比べて明らかに大きかった。 加えて被験者 G は, 浸水域が長いことが特徴だ が, そのために, 最深点は他の被験者にくらべ て約 1.5~2.0 倍も深くなったと考えられる。

これらのことから, 競技成績の良い被検者は, 入水時のブレイドの移動方向が水底へ向かわず, かつ水中移動距離も確保されており, 他の被験 者より大きな推進力を得られるパドル軌跡であ ることが推察された。これが技術要素のひとつ であり, 水中のパドルコントロールの「うまさ」 と考えられる。一方で, パドルが水底へ被験者 は, 推進力を得にくいパドル動作であることが 指摘された。

2) ネック浸水域(ブレイド水中移動時)の筋 活動様相

映像分析によって, ネック浸水域の各指標か ら, パドルコントロールの「うまさ」に, 言及 することができた。そこで, このようなパドル コントロールが, どのような筋放電様相のもと に生じているかを検討した。その結果, 測定し た 8 つの筋群のうち, 広背筋・外腹斜筋および三 角筋の筋放電のタイミングに特徴が観察された。

広背筋や外腹斜筋は, ネック浸水域の前半、 あるいはキャッチ局面としたブレイドが基準線 にシャフト先端が接したあたり(ネック浸水点 より前)から放電が見られる者, 後半で筋放電 が顕著になる者, ネック浸水域全域にわたって 放電が見られる者とに分かれた。ネック浸水器

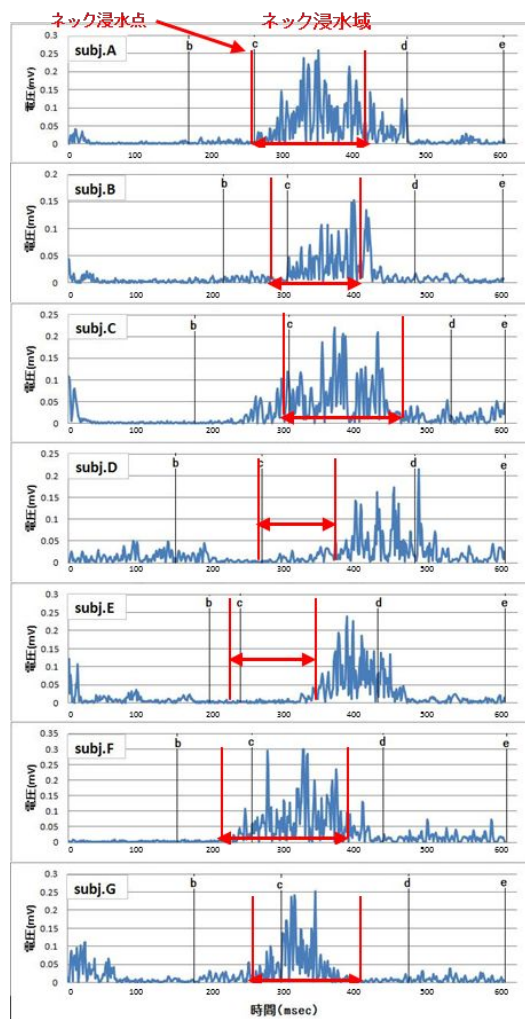
前半で放電が見られる者は、艇が沈み込むのを抑制するため、艇の喫水を浅くし艇の抵抗が小さくなるパドリングであると考えられ、加速局面で効果的なパドリング動作であると考えられた。逆に後半に筋放電が見られる者は、艇の垂直位の変異が起りにくい水平なパドル移動の局面でのみ、筋放電がみられる傾向があったことから、中盤の疾漕局面で有効な、艇の変異による抵抗の増大を生み出しにくい、効率のよいパドリングが行われていることが予測された。しかしこれらのことは、体力要素も貢献する競技成績との順位と関連付けられる結果ではなく、選手のパドリングの特徴が分類されたものと考えられた。

一方で、ネック浸水域全域で、広背筋の筋放電期間が他の選手に比較して長い選手が存在した。パドルに力を加え続け、推進力を得ているようにも見えるが、艇の垂直位変異の起こりやすいパドル局面においても力発揮があったことが考えられ、競技成績の上位選手の中に、このような筋放電様相を示す者はいなかった。

外側広筋の放電は、広背筋のタイミングと一致するようであり、広背筋の放電がネック浸水域の後半で見られる者については、放電が希薄で、パドリングにおいて脚が有効に機能していないように思われた。しかし、本研究では、%MVCを算出できなかったため、これ以上の言及はできない。

本研究のエルゴメータを用いたパドリングにおいて、研究1で示されたパドルコントロールのうまさに関連付けられそうな筋放電の様子が観察されたのは、三角筋であった。全被検者の三角筋の筋放電の様相については、図2に示した。競技成績の良い被検者A・Bは、ネック浸水域にわたって三角筋の筋放電が見られ、その後ブレイドを水から完全に抜くフィニッシュ点にむかって（ネック浸水域終了点とフィニッシュ点；c-d間）、放電が観察された。両者は、ブレイドの水中移動方向が水平で、かつ移動距離も確保されていた競技成績の上位2名の選手である（研究1）。両者は、ブレイドを潜らせないようにするために、三角筋が動員されている可能性が考えられた。この点で

パドルコントロールの「うまさ」が現れているようにも思われた。



b:キヤッチ局面、c:ミドル局面、d:フィニッシュ局面；③:測定手順③参照

図2 エルゴメータパドリングにおける三角筋の筋放電様相

しかし、まだ断言できない。それは、エルゴメータのパドリングであるため、水上パドリングの入水時に受ける浮力の影響が少なく、パドリング動作中、常に重力に逆らってシャフトを保持している状態であると考えられるからである。加えて、被検者Cや被検者Gにおいてもネック浸水域で被検者A・Bと同様の放電の様相が見られている。また被検者D・Eでは、ネック浸水域での放電パターンは見られず、パドルを水中から抜きあげるフィニッシュ局面でのみ放電が見られた。トレーニング指導現場の感覚としては、この被検者D・Eの放電様相が、適当なパドリング動作であると思われ、エルゴメータを用いたパドリングでは、この点について

の言及はこれ以上できないと考えられた。

ただ、体幹部および脚部の筋放電の様相は、被検者のパドリング動作の特徴をとらえており、三角筋については、パドル保持の様子をとらえる可能性があると思われる。今後、水上パドリング動作とエルゴメータパドリング動作とを比較して、その差異を把握することによって、この問題は解決すであろう。さらに、エルゴメータパドリングにおける水上との相違を提示することによって、エルゴメータをより有効にトレーニングに活用をすることができると思う。

研究 2：水上パドリング動作における筋電図解析と映像解析による技術評価

(1) 水上パドリングにおける筋放電の様相

本研究では、現在までに 2 名の被検者の水上パドリングにおいて、筋電位を計測した。

その結果、水上パドリングにおいては、エルゴメータによるパドリングに比較して、各筋群の筋放電が収束する局面が少ない様子が観察された。これは、水上という不安定な環境で艇のバランスとりつつ力発揮をする運動であるためと推測される。

また、競技成績の優れる者は、ブレイドが入水する（キャッチ）直前にいくつかの筋群（三角筋や外腹斜筋など）において、競技成績の下位の者に比較して筋放電位が小さい様子が見られた。このことは、キャッチ時にむかって、上肢の力発揮が抑えられている、いわゆる「力まず力が抜けている」状態であると考えられることもできる。

しかし、これらのことは、まだ 2 例の観察結果をもとに考えられた結果である。さらに被検者は、エルゴメータを用いたパドリング（研究 1）の者と異なった。そのため、今のところ十分に競技成績との関連性や技術との関連性を指摘できるデータは収集できていない。

本研究においては、水上パドリングにおける筋電位測定の方法論の問題解決のために時間を要した。測定機器を搭載するための競技仕様のカヤック艇の入手に時間を要したこと、また筋電位をモ

ニタリングするための適当な周波数帯域の選定が、なかなかうまくなされなかったことなどが原因である。加えて、測定環境が無風静水の天候に限定されることで、思うようにデータ収集がかなわなかった。先に記述した 2 名の被検者のデータは、モニタリングをせずに測定したデータの中で、課題検討に耐えうる筋電位がロガーに記録された 2 例である。

(2) 今後の計画

測定環境が屋外であるため、無線機器を使用することによる通信周波数帯域の選定を急ぎ、データ数を増やして、コーチ・の目線から判断される「うまさ」や技術との関連性、競技成績との関係を検討していく。

本研究期間では、実験艇の整備と無線筋電系を用いた水上パドリングにおける筋電位測定方法を構築することができた（無線筋電計のモニタリング用通信周波数帯域の選定を除く）被検者として協力いただいた選手の方々、測定に協力いただいた多くの皆様に深く感謝します。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 1 件）

佐々木健彦、榮樂洋光、石井泰光、松下雅雄、中村夏実：大学カヌースプリント・カヤック競技選手における筋電図解析によるパドリング動作の評価。第 25 回日本トレーニング学会大会（立命館大学），2012 年 12 月 1 日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 夏実（Nakamura, Natsumi）

鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・准教授

研究者番号：30287817