

カヤック選手の筋の形態的特性とパドリング中の筋活動における部位特異性

若原卓¹、元起大智¹

1. 同志社大学スポーツ健康科学部

The purpose of the present study was to examine the muscle morphological profiles of the upper arm and trunk in kayakers and their muscle activities during paddling. Thirteen collegiate male kayakers participated in the study and were divided into two groups according to their competitive score: superior score (A group, n = 7) and inferior score (B group, n = 6). Muscle thickness of the right upper arm and trunk was determined with B-mode ultrasonography. Surface electromyogram of these muscles was recorded during paddling on a kayak ergometer at 200 W. The amplitude of rectified electromyograms during paddling was averaged for each of following four phases: (1) right draw phase, (2) transition phase from the right to the left, (3) left draw phase, and (4) transition phase from the left to the right. The mean amplitude of the electromyograms during each phase was normalized to that during maximal voluntary contraction to quantify the muscle activation level. No significant differences were found in the muscle thicknesses between the two groups. These differences were not significant even when the muscle thicknesses were normalized to one-third of their body mass. On the other hand, significant group differences or group x phase interactions were observed for the muscle activation levels of the anterior and middle regions of the deltoid, biceps brachii, long head of the triceps brachii, and lower region of the pectoralis major during paddling. The muscle activation levels of these muscles were significantly higher in B group than in A group during the transition phase of the stroke or throughout the stroke. The muscle activation levels of the upper region of the pectoralis major, latissimus dorsi, and rectus abdominis during paddling were not different between the two groups. These results suggest that kayak performance of collegiate male athletes who have, at least, two years of competitive experience is more affected by the activation levels of the upper arm and trunk muscles than by the morphological profiles of these muscles.

1. 緒言

カヌースプリント競技は、静水面で一定距離（200 m, 500 m, 1000 m）のコースを漕いで着順を競う競技で、カヤックとカナディアン²の2部門に分かれている。このうちカヤックでは、両端にブレードのついたパドルを用いて、左右交互に漕ぐことで艇を進める。したがって、漕手の体力的因子に加えて、パドルをどのように操作して艇の推進につなげるか、という技術的因子もカヤックパフォーマンスに強く影響を及ぼすと考えられる。

カヤックパフォーマンスに関連する体力的因子として、先行研究では選手の形態的特性が指摘されている。例えば、男性カヤック選手における上腕周径囲、前腕周径囲、胸囲は、それぞれカヤックパフォーマンスと有意な相関関係にあると報告されている（Fry and Morton 1991, van Someran and Palmer 2003）。また、Hamano et al. (2015) は、男性カヤック選手における上肢、下肢、体幹、全身における除脂肪量のいずれもがカヤックパフォーマンスと有意な相関関係にあることを示している。しかしながら、橋本ら (2011) は、男女のカヤック選手における上肢、

下肢、体幹の筋量がいずれもカヤックパフォーマンスと有意な相関関係になかったと報告している。先行研究で相反する結果が得られた要因は定かではないが、被験者の性別や競技レベルにおける相違が考えられるほか、測定項目が複数の筋群をあわせた指標であったことも要因として挙げられる。上肢、下肢、体幹のそれぞれは多くの筋群により構成されており、筋によって作用は異なるため、カヤックにおける役割も異なると考えられる。カヤック選手を対象として特定の筋群の量を個別に評価し、パフォーマンスとの関連を検討した研究として、伊坂と高橋（1998）が挙げられる。彼らは、男性カヤック選手を対象として、全身 11 箇所の筋厚を測定し、競技歴に差のある 2 群で比較した。その結果、競技歴の長い熟練者群における上腕前部、腹部、固有背筋部、大腿前部、大腿後部の筋厚が、競技歴の短い未熟練者群より有意に大きかった。一方、前腕部、上腕後部、胸部、肩甲骨下部、下腿前部、下腿後部の筋厚では両群間に有意な差がみられなかった。この研究では筋厚の絶対値の比較しか行われていないが、熟練者群と未熟練者群の間には平均体重でおよそ 5 kg の差があったことから、筋厚にみられた群間差は体格の差に起因していた可能性も否めない。しかし、この点に関する検討は行われていない。

カヤック選手のパドリング技術を評価するために、筋活動について検討した研究がいくつか報告されている（Fleming et al. 2012a, 2012b, Trevithick et al. 2007, 吉尾ら 1974）。その中で、競技力との関連でパドリング中の筋活動について検討しているのは、吉尾ら（1974）に限られる。この研究では、艇を鎖で水槽につなぎ、熟練者（メキシコオリンピック候補選手）、未熟練者（3 ヶ月程度の練習を積んだ者）、初心者（初めて艇に乗った者）を対象としてパドリング中の上肢、体幹、下肢の筋電図を記録した。その結果、いくつかの筋において熟練者と未熟練者・初心者との筋活動の相違が指摘されているものの、著者らの定性的な所見に留まり、定量的な筋活動の差については検討されていない。また、オリンピック候補選手と 3 ヶ月未満の練習しか積んでいない者との比較であったため、カヤック選手における競技力を規定する要因としての筋活動の影響については不明である。

そこで本研究では、カヤック選手の上肢および体幹における筋の形態的特性とパドリング中の筋活動を評価し、競技力の異なる選手間で比較することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 被験者

大学のカヌー部に所属し、2 年以上の競技経験を有する男性カヤック選手 13 名を対象とした。このうち、全日本選手権あるいは全日本学生選手権の K-1 1000 m 種目において決勝に進出したことのある 7 名を A 群、それ以外の 6 名を B 群とした。表 1 に各群の被験者の年齢、競技歴、身長および体重の平均値ならびに標準偏差を示した。いずれの項目においても、両群間に統計的に有意な差は認められなかった。本研究の内容は、同志社大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を受けたものであり、各被験者に本研究の目的、実験内容、実験に伴う危険性について説明し、研究参加への同意を書面で得た上で実験を行った。

表 1 各群の被験者の身体特性

	年齢 (歳)	競技歴 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)
A 群 (7名)	21.0 ± 0.6	6.1 ± 3.1	173.1 ± 5.7	69.0 ± 2.9
B 群 (6名)	20.2 ± 1.0	3.3 ± 1.2	172.3 ± 5.5	66.6 ± 3.2

2.2 実験試技

2.2.1 随意最大収縮

パドリング中の筋電図を標準化するため、肘関節屈曲・伸展、肩関節屈曲・伸展・外転・水平内転 (斜め 45 度下方向)、体幹屈曲の 7 種類の随意最大収縮を行わせた。いずれの収縮も、最大努力による筋力発揮を 2~3 秒間維持するよう被験者に指示した。各収縮における測定姿勢および対象筋は表 2 の通りである。体幹屈曲時の抵抗は、検者が徒手で加えた。その他の収縮時は、多用途筋機能評価運動装置 (Biodex System 4、Biodex Medical Systems、アメリカ) のアタッチメントを用いて抵抗を加えた。

表 2 随意最大収縮における測定姿勢と対象筋

収縮	測定姿勢	対象筋
肘関節屈曲	座位・肩関節 0 度屈曲位・肘関節 90 度屈曲位	上腕二頭筋
肘関節伸展	座位・肩関節 90 度屈曲位・肘関節 90 度屈曲位	上腕三頭筋長頭
肩関節屈曲	座位・肩関節 90 度屈曲位・肘関節 0 度屈曲位	三角筋前部
肩関節伸展	座位・肩関節 90 度屈曲位・肘関節 0 度屈曲位	広背筋、大胸筋下部、 上腕三頭筋長頭
肩関節外転	座位・肩関節 90 度外転位・肘関節 0 度屈曲位	三角筋中部
肩関節水平内転	座位・肩関節 90 度外転位・肘関節 0 度屈曲位	大胸筋上部・下部
体幹屈曲	仰臥位・股関節約 45 度屈曲位・膝関節約 90 度屈曲位	腹直筋

2.2.2 パドリング

カヤック用のエルゴメータ (Dansprint ApS、デンマーク) を用いてパドリングを行わせた。このエルゴメータは空気抵抗式であり、フライホイールに流入する気体の気温および湿度によって負荷が変動する。そのため、試技前にキャリブレーションを実施し、Resistance Coefficient が 27 となるように設定した。被験者には、エルゴメータ上で十分なウォーミングアップを行わせた後に、パドリング試技を 30 秒間行わせた。このとき、被験者の前方に設置した液晶ディスプレイを用いて発揮パワーを表示し、一定のパワー (200 W) を維持するよう指示した。なお、ストロークレートは各被験者の任意とした。

2.3 測定項目

2.3.1 筋厚

被験者に安静立位の姿勢をとらせ、上肢および体幹の筋厚を超音波診断装置（ProSound α7、日立アロカメディカル、日本）を用いて計測した。計測対象とした部位は、上腕前部、上腕三頭筋長頭、三角筋前部、三角筋中部、胸筋群上部、胸筋群下部、広背筋、腹直筋であり、すべて右側とした。各測定部位の詳細は、以下の通りである。

- ・上腕前部：肩峰から上腕長の60%部位で腹側中央部
- ・上腕三頭筋長頭：肩峰から上腕長の60%部位における背側中央部よりやや内側で、上腕三頭筋長頭と内側頭の境界にある腱膜が画像上で水平に表示される部位
- ・三角筋前部：肩峰から上腕長の10%部位で腹側中央部
- ・三角筋中部：肩峰から上腕長の30%部位で右側部
- ・胸筋群上部：胸部中央から肩峰までの距離の中央で、鎖骨から大胸筋下端までの距離の33%部位
- ・胸筋群下部：胸部中央から肩峰までの距離の中央で、鎖骨から大胸筋下端までの距離の67%部位
- ・広背筋：肩甲骨下角の直下
- ・腹直筋：臍部の右3~4 cmにおける腹直筋の筋腹

なお、上腕長は肩峰から上腕骨外側上顆までの距離とした。電子リニアプローブ（UST-567、日立アロカメディカル、日本）の表面にゼリーを塗布し、これを各測定部位の皮膚表面に垂直にあててBモード画像（図1）を取得した。このとき、組織を圧迫しないよう十分に注意した。得られた超音波画像を印刷し、皮下脂肪と筋の境界から筋と骨の境界あるいは筋膜・腱膜までの距離を各部位の筋厚として、0.5 mm単位で測定した。

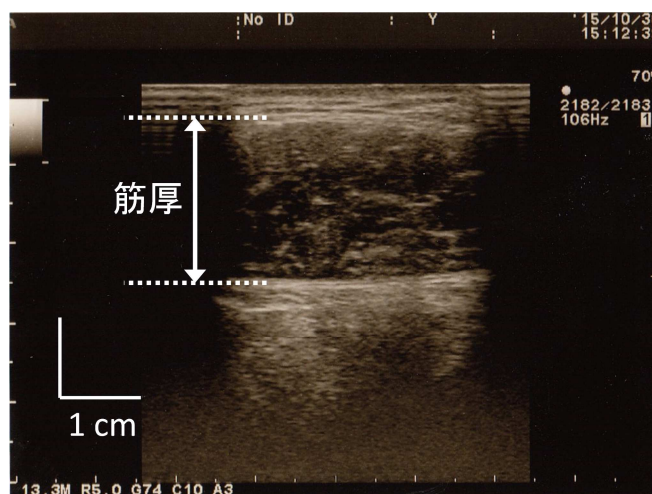


図1 超音波画像の典型例（腹直筋）

2.3.2 筋電図

パドリング中の上肢および体幹の筋における筋電図を、無線型筋電図計測システム（Trigno wireless systems、Delsys、アメリカ）を用いて計測した。被験筋は、上腕二頭筋、上腕三頭筋長頭、三角筋前部、三角筋中部、大胸筋上部、大胸筋下部、広背筋、腹直筋であった。各筋の電極貼付位置は、筋厚の測定位置と同一とした。電極を貼付する前に皮膚表面を紙やすりで削り、アルコール綿で拭くことで電気抵抗を軽減した。電極は、両面テープ・サージカルテープを用いて皮膚表面に固定した。記録した筋電図信号はA/D変換器（PowerLab 16SP、ADInstruments、オーストラリア）を介してサンプリング周波数1000 Hzでコンピュータに取り込んだ。図2に、パドリング中の筋電図（整流化処理後）の典型例を示す。

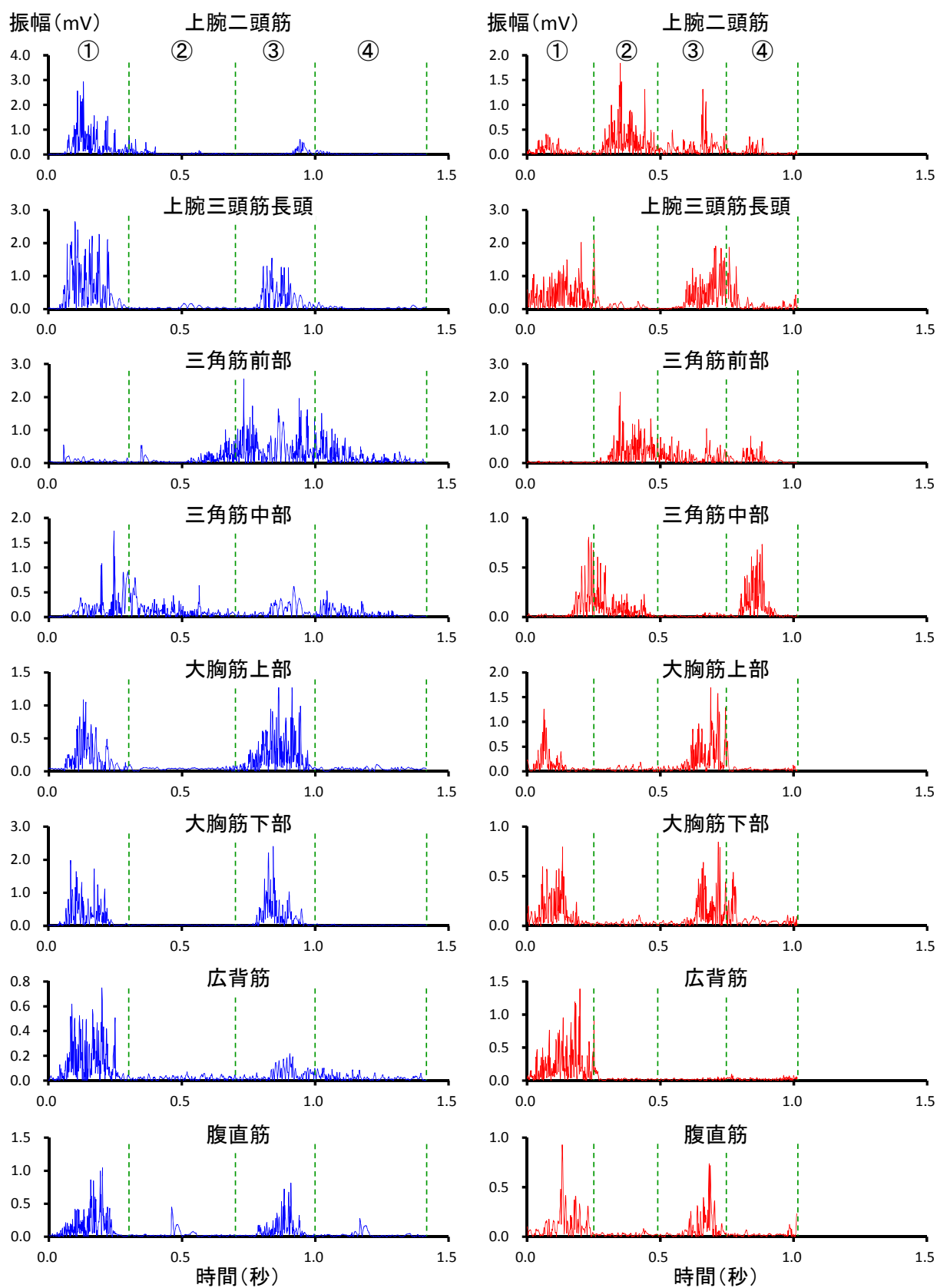


図2 パドリング中の整流化筋電図の典型例 (右・左の各1ストローク分)。
 左: A群の被験者、右: B群の被験者。①から④は後述するフェーズ番号と対応する。

2.3.3 パドリング動作

エルゴメータでのパドリング動作を、被験者の右側方約 4 m からデジタルビデオカメラ (EX-100PRO、カシオ、日本) を用いて 240 Hz で撮影した (図 3 から図 6)。このとき、画角内に多色刺激呈示器 (PH-1250A、ディケイエイチ、日本) の LED を写し込むとともに、LED の発光と同期した電気信号を A/D 変換器 (PowerLab 16SP、ADInstruments、オーストラリア) に取り込むことで、撮影した映像と筋電図のデータを同期した。なお、筋電図計測システムから信号をアナログ出力する際に生じる遅延 (48 ms) を考慮して同期を行った。

2.3.4 パワー

パドリング中に被験者が発揮したパワーを、エルゴメータ付属のソフトウェア (Dansprint Analyser ver. 1.60) で記録した。1 ストロークごとに発揮されたパワーを後の分析に用いた。

2.4 データ処理

被験者は、30 秒間のパドリング試技において、50~60 回のストロークを繰り返した。これらのストロークの中で、設定した 200 W に近いパワーを安定して発揮できていた連続する 6 ストローク (左右各 3 ストローク) をパワーと筋電図の分析対象とした。側方から撮影したビデオ映像をもとに、分析対象とした 6 ストロークを以下の 4 つのフェーズに分割した。

- ①右側キャッチから右側フィニッシュまで
- ②右側フィニッシュから左側キャッチまで
- ③左側キャッチから左側フィニッシュまで
- ④左側フィニッシュから右側キャッチまで

なお、エルゴメータのパドルの先端部分がエルゴメータの台高を越えて下がった時点と台高を越えて上がった時点を、それぞれキャッチとフィニッシュとした (図 3 から図 6)。



図 3 右側キャッチ



図 4 右側フィニッシュ



図5 左側キャッチ



図6 左側フィニッシュ

記録したすべての筋電図データに、整流化処理を行った。パドリング中の筋電図のデータでは、上記の4つのフェーズにおける平均振幅値を計算し、さらに各フェーズにおける3ストロークの平均値を算出した。また、随意最大収縮中のデータでは、対象とする筋の1秒間の平均振幅値を算出した。随意最大収縮時の平均振幅値に対する、パドリング中の各フェーズにおける平均振幅値の割合を算出し、これを筋活動レベル(%)とした。なお、上腕三頭筋長頭では、肘関節伸展と肩関節伸展のいずれもが標準化のための随意最大収縮の対象となりうるが、多くの被験者において肘関節伸展時よりも肩関節伸展時の平均振幅値が高かったため、すべての被験者について、肩関節伸展時の平均振幅値を標準化の計算に用いた。同様に、大胸筋下部では肩関節伸展と肩関節水平内転が対象となりうるが、多くの被験者で振幅値の高かった肩関節伸展時の値を、標準化の計算に用いた。

2.5 統計解析

パドリング中のパワーと各部位の筋厚の群間比較には、独立2群のt検定を用いた。各筋の筋活動レベルについては、対応のある要因(フェーズ:①から④フェーズ)と対応のない要因(群:A群、B群)による二元配置分散分析により検討した。2要因の交互作用がみられた場合、Bonferroni法による多重比較検定を用いてフェーズごとに筋活動レベルの群間比較を行った。これらの統計解析は、専用のソフトウェア(IBM SPSS Statistics バージョン23、IBM、アメリカ)を用いて行った。危険率5%未満をもって、統計的に有意と判断した。

3. 結果

3.1 パワー

パドリング中のパワーの平均値は、A群で 201.4 ± 2.0 W (198.7~204.3 W)、B群で 200.8 ± 1.7 W (195.8~206.3 W) であり、両群間の有意な差は認められなかった。

3.2 筋厚

各測定部位における筋厚のデータを図7に示した。いずれの測定部位についても、2群間の有意な差は認められなかった。また、体格を考慮した指標である、体重の1/3乗あたりの筋厚につ

いても、すべての部位で両群間に有意な差は認められなかった（図 8）。

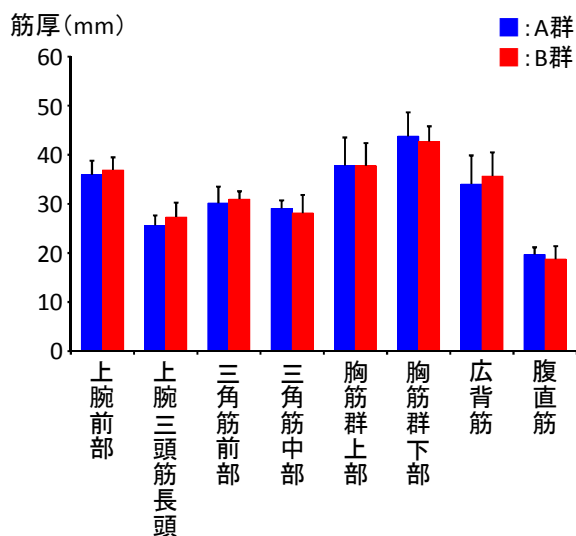


図 7 各部位の筋厚

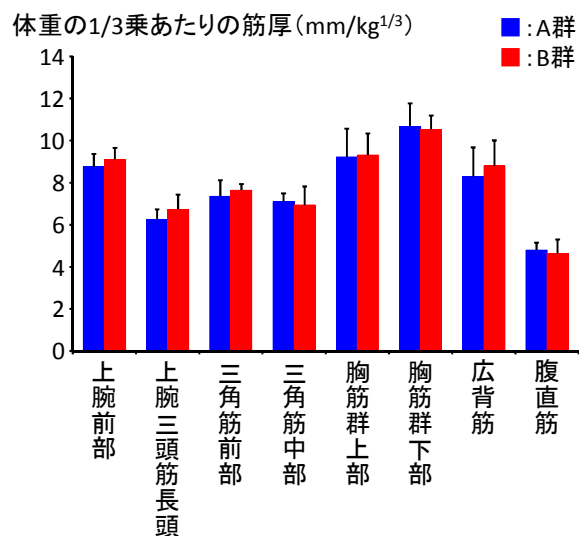


図 8 体重の 1/3 乗あたりの各部位の筋厚

3.3 パドリング中の筋活動レベル

パドリング中の上腕二頭筋の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用 ($P = 0.017$) およびフェーズの有意な主効果 ($P = 0.008$) が認められたが、群の主効果は有意でなかった（図 9）。事後検定の結果、いずれのフェーズにおいても両群間の筋活動レベルに有意な差は認められなかった。

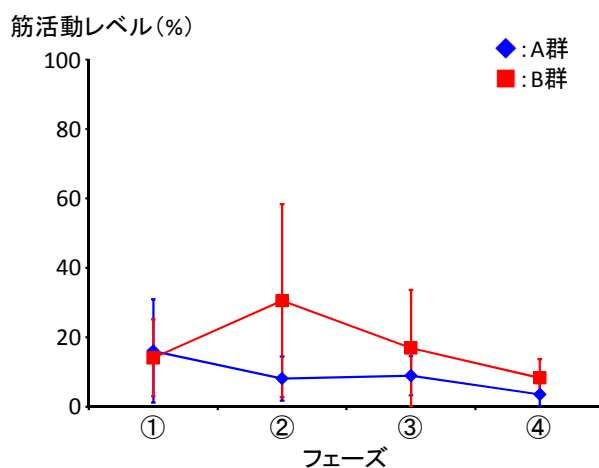


図 9 上腕二頭筋の筋活動レベル

上腕三頭筋長頭の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用はみられなかった（図 10）。一方、群の有意な主効果 ($P = 0.004$) が認められ、B 群の筋活動レベルが A 群よりも高かった。また、フェーズの有意な主効果 ($P < 0.001$) が認められた。

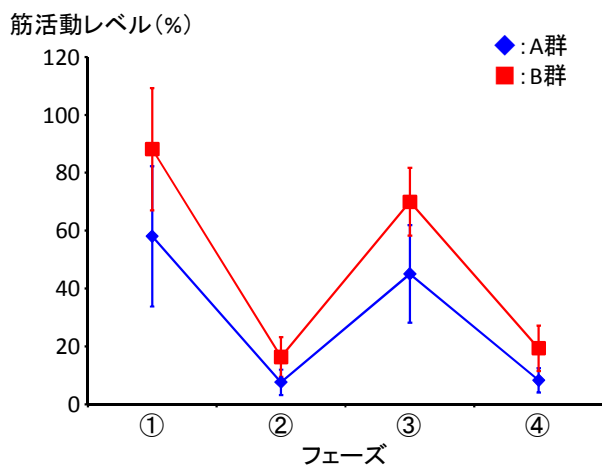


図 10 上腕三頭筋長頭の筋活動レベル

三角筋前部の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用 ($P=0.037$) およびフェーズの有意な主効果 ($P<0.001$) が認められたが、群の主効果は有意でなかった(図11)。事後検定の結果、②右側フィニッシュから左側キャッチまでのフェーズにおいてB群の筋活動レベルがA群よりも有意に高かった ($P=0.036$)。他のフェーズでは、両群間の筋活動レベルに有意な差はみられなかった。

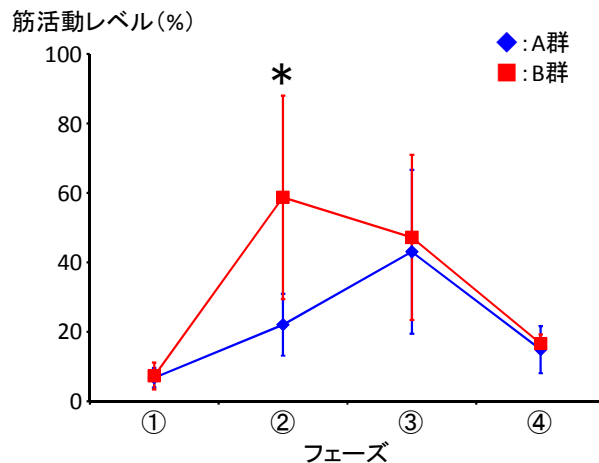


図11 三角筋前部の筋活動レベル
*は筋活動レベルの群間差を表す

三角筋中部の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用 ($P=0.045$) およびフェーズの有意な主効果 ($P=0.004$) が認められたが、群の主効果は有意でなかった(図12)。事後検定の結果、いずれのフェーズにおいても両群間の筋活動レベルに有意な差は認められなかった。

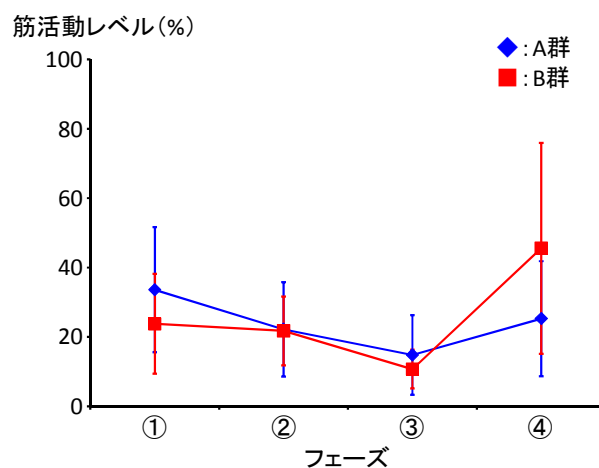


図12 三角筋中部の筋活動レベル

大胸筋上部の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用および群の有意な主効果は認められなかった(図13)。一方、フェーズの有意な主効果 ($P=0.004$) がみられた。

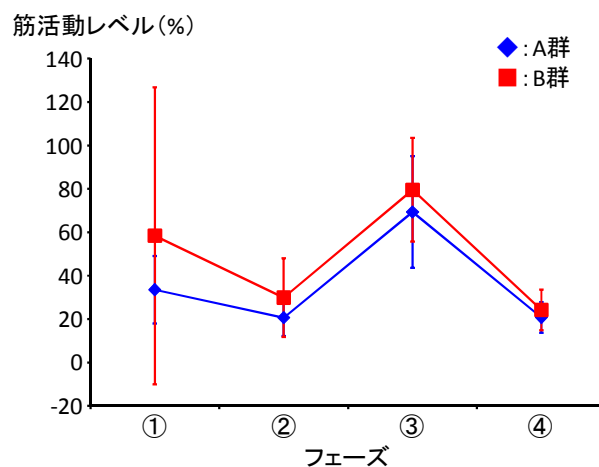


図13 大胸筋上部の筋活動レベル

大胸筋下部の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用はみられなかった (図 14)。一方、群の有意な主効果 ($P=0.026$) が認められ、B 群の筋活動レベルが A 群よりも高かった。また、フェーズの有意な主効果 ($P<0.001$) が認められた。

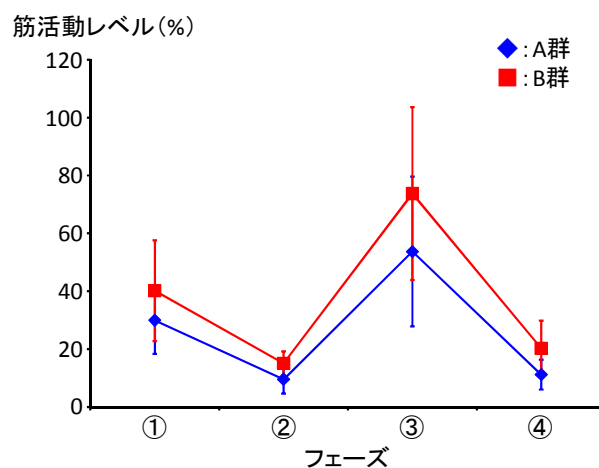


図 14 大胸筋下部の筋活動レベル

広背筋の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用および群の有意な主効果は認められなかった (図 15)。一方、フェーズの有意な主効果 ($P<0.001$) がみられた。

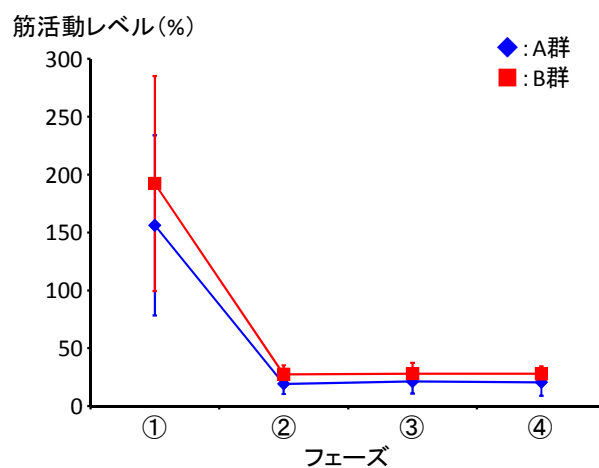


図 15 広背筋の筋活動レベル

腹直筋の筋活動レベルに対して、群×フェーズの有意な交互作用および群の有意な主効果は認められなかった (図 16)。一方、フェーズの有意な主効果 ($P=0.005$) がみられた。

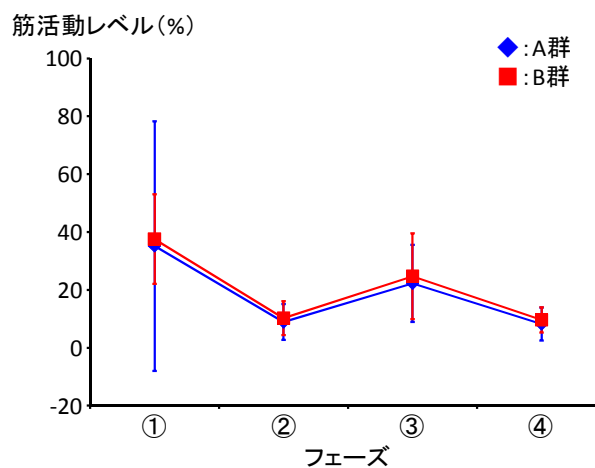


図 16 腹直筋の筋活動レベル

4. 考察

本研究では、大学男性カヤック選手を対象として、上肢および体幹における筋の形態的特性とパドリング中の筋活動を定量し、競技成績の異なる選手間で比較を行った。その結果、測定した8部位すべての筋厚および体重の1/3乗あたりの筋厚において、2つの群間で有意な差は認められなかった。一方、パドリング中の筋活動レベルについては、三角筋前部・中部、上腕二頭筋、上腕三頭筋長頭、大胸筋下部において、群間差あるいは群×フェーズの交互作用がみられた。これらの結果から、体力的要因の1つである筋の形態的特性よりも、技術的要因の1つである筋活動レベルのほうが、大学男性カヤック選手の競技成績に対する影響は強いことが示唆された。

本研究では、上肢・体幹における筋厚および体重の1/3乗あたりの筋厚について、A群とB群の間に有意な差が認められなかった(図7、8)。この結果は、競技歴による上肢・体幹における筋厚の差を報告した先行研究(伊坂と高橋1998)と異なる。得られた結果が異なった要因として、対象者の競技歴の差が挙げられる。伊坂と高橋(1998)の研究は、競技歴4年以上の熟練者群と、競技歴2年未満の未熟練者群を比較したものであった。一方、本研究の被験者はB群の被験者であっても、少なくとも2年半以上の競技経験を有していた。したがって、本研究で対象としたカヤック選手のほうが競技経験の差が小さく、筋厚に群間差が認められなかったと考えられる。いずれにしろ、本研究の結果は、2年半以上の競技経験を有する大学男性カヤック選手において、競技成績を決める要因としての筋の形態的特性の影響は小さいことを示唆するものである。

本研究のパドリング課題はすべての被験者に対して同一であり、一定の負荷(Resistance Coefficient 27)に対して、設定されたパワー(200 W)を維持するものであった。パドリング動作のパワーを設定した値に維持することは比較的困難な課題であったものの、すべての被験者が設定されたパワーに近い値(±4%以内)で動作を遂行し、両群間でも差は認められなかった。したがって、すべての被験者が絶対的な負荷の等しい課題を遂行できたと言える。このように、絶対的な負荷の等しい課題を行わせた場合、観察された筋活動レベルの差は、対象者の技術的な要因だけでなく、筋量の差に起因する可能性もある。すなわち、筋量の多い者にとっては主働筋の筋活動レベルが低くてもその課題を達成できるが、筋量の少ない者にとっては主働筋の筋活動レベルが高くなければその課題を達成することはできないことになる。しかしながら、本研究では筋活動レベルを評価したいずれの筋・部位においても筋厚に有意な群間差は認められなかった。したがって、筋活動レベルにみられた群間差は、筋量に起因するものではないと考えられる。

パドリング中の三角筋前部の筋活動レベルは、②フェーズにおいてのみ群間差が認められ、A群よりB群の方が高かった(図11)。②フェーズは右側フィニッシュから左側キャッチまでのフェーズで、パドルが空中を移動するフェーズである。B群の選手はこのフェーズで肩関節を積極的に屈曲させようとして三角筋前部の筋活動レベルが高かった一方で、A群の選手は三角筋前部の筋活動レベルを低く保ちながら左側キャッチを迎えていた、と解釈できる。そこで、②フェーズにおける三角筋前部の筋活動レベルと②フェーズの所要時間(右側フィニッシュから左側キャッチまでの経過時間)の関係について検討したところ、両者の間には有意な負の相関関係($r = -0.804$, $P = 0.001$)が認められた(図17)。前述したように、②フェーズはパドルが空中を移動しており、艇が不安定なフェーズである。艇が不安定なこのフェーズを早く終わらせるために、B群の選手は三角筋前部の筋活動を高めていた可能性がある。ただし、本研究では安定したエルゴメータ上でパドリングを行わせており、実際に水上でパドリングを行わせた場合にも競技成績による三角筋前部の筋活動レベルの差や、それと②フェーズの所要時間との関連がみられるか

は不明である。また、本研究ではストロークレートを被験者の任意としていたため、この影響による可能性もある。いずれにしろ、これらの点については、水上実験による更なる検討が必要である。

上腕二頭筋の筋活動レベルには、群×フェーズの有意な交互作用が認められた(図9)。フェーズごとの分析では両群間に有意な差は認められなかったものの、A群では①フェーズから②フェーズで筋活動レベルが低下しており、B群では①フェーズから②フェーズで筋活動レベルが増加していた。A群の被験者における上腕二頭筋の筋活動レベルはストローク全体にわたって低く、これはオリンピック候補選手を対象とした吉尾ら(1974)と一致する結果であった。

一方、上述した三角筋前部と同様に、B群の被験者は②フェーズを早く終わらせようとして上腕二頭筋の筋活動レベルを高め、積極的に肘関節屈曲あるいは肩関節屈曲を行っていた可能性が考えられる。これを支持するように、②フェーズにおける上腕二頭筋の筋活動レベルとこのフェーズの所要時間との間には有意な負の相関関係($r = -0.575$, $P = 0.040$)が認められた。

三角筋中部の筋活動レベルには、群×フェーズの有意な交互作用が認められた(図12)。各フェーズでの有意な群間差はみられなかったものの、B群は④フェーズの高い筋活動から①フェーズで低下しており、A群は④フェーズでの低い筋活動から①フェーズで増加がみられた。④フェーズは左側フィニッシュから右側キャッチまでのフェーズである。また、三角筋中部は肩関節の外転に作用する筋である。④フェーズにおける右肩関節の動きと三角筋中部の作用を考慮すると、B群の被験者でみられた高い筋活動が合理的とは考えにくく、A群の被験者のように低い筋活動レベルを保つことが合理的であろう。

上腕三頭筋長頭の筋活動レベルには、群×フェーズの交互作用がみられず、B群の被験者の値がA群の被験者よりも有意に高かった(図10)。上腕三頭筋長頭の筋活動レベルは、両群に共通して①フェーズと③フェーズで高く、これは国際レベルの被験者の結果(Fleming et al. 2012b)と同様であった。しかしながら、オリンピック候補選手を対象とした吉尾ら(1974)の研究では、③フェーズにおける上腕三頭筋長頭の筋活動レベルが低かった。このような結果の不一致が生じた原因は不明であるが、③フェーズにおける肘関節の伸展動作と上腕三頭筋長頭の作用から考えると、このフェーズにおける上腕三頭筋長頭の高い筋活動レベルは合理的だと言える。B群の被験者の筋活動レベルがA群の被験者より高かった原因としては、本研究で対象とした筋の筋活動レベル以外の技術的要因(身体の動きやパドルの動き、筋活動調節のタイミングなど)により生じた可能性が挙げられる。すなわち、技術レベルの高いA群の被験者は、上腕三頭筋長頭の筋活動レベルが低くとも200Wのパワーを発揮できたが、技術レベルの低いB群の被験者は、上腕三頭筋長頭の筋活動レベルが高くなければ200Wのパワーを発揮できなかったと考えられる。

大胸筋下部の筋活動レベルには、群×フェーズの交互作用がみられず、B群の被験者の値がA群の被験者よりも有意に高かった(図14)。この群間差の原因としては、上腕三頭筋長頭と同様

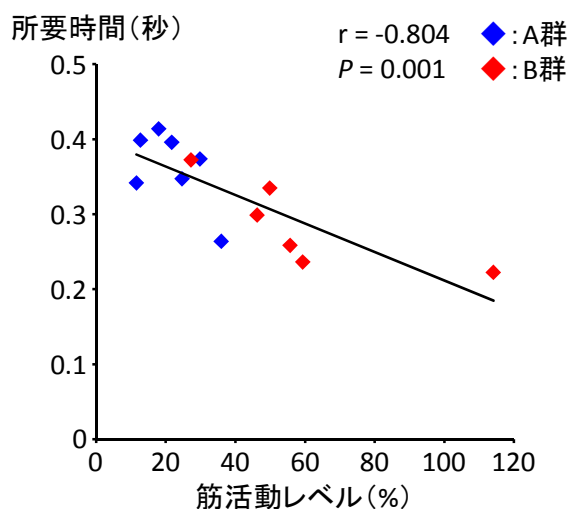


図17 ②フェーズにおける三角筋前部の筋活動レベルと②フェーズの所要時間の関係

に、本研究で対象とした筋の筋活動レベル以外の技術的要因による可能性が考えられる。

広背筋の筋活動レベルには、群×フェーズの交互作用および群間差がみられなかった(図 15)。広背筋の筋活動レベルは、A・B 群いずれの被験者においても、①フェーズで特に高く、②から④フェーズで低かった。このような筋活動レベルの推移は、未熟練者(吉尾ら 1974)、余暇として活動するカヤック選手(Trevithick et al. 2007)、オリンピック候補選手(吉尾ら 1974)、国際レベルの選手(Fleming et al. 2012b)のいずれにおいても示されている。先行研究と本研究の結果をあわせて考えると、パドリング中の広背筋の筋活動レベルは競技レベルとの関連が弱く、カヤックパフォーマンスの個人差を規定する主要な因子ではないと言える。

大胸筋上部(図 13) および腹直筋(図 16) の筋活動レベルには、群×フェーズの交互作用および群の主効果が認められなかった。したがって、これらの筋・部位の筋活動レベルが両群間のパフォーマンスの差を説明する主要な因子ではないことが示された。

本研究における方法論上の大きな問題点として、筋活動レベルをエルゴメータでのパドリングで評価した点が挙げられる。本研究では、すべての被験者に対して同一負荷のパドリング課題を行わせ、そのときの筋活動レベルを比較するためにエルゴメータ上での課題を採用した。水上では、風・波等の自然環境による条件を統制することが困難なためである。Fleming et al. (2012b) は、水上とエルゴメータ上で生理学的負荷が同一となるようにカヤックのパドリングを行わせ、このときの上腕三頭筋長頭、広背筋、三角筋前部、外側広筋の筋活動レベルを比較した。その結果、③フェーズの上腕三頭筋長頭および①フェーズの広背筋の筋活動レベルは、エルゴメータ上よりも水上で高かった。一方、三角筋前部の筋活動レベルは、③フェーズから④フェーズの前半で、水上よりもエルゴメータ上で高かった。したがって、該当する筋およびフェーズにおけるデータを解釈する際には十分注意を要するが、本研究ではそれ以外のフェーズにおいて上腕三頭筋長頭および三角筋前部の筋活動レベルに群間差が認められており、それらの差は水上でのパドリングでも存在すると考えられる。ただし、三角筋中部、上腕二頭筋、大胸筋下部については水上とエルゴメータ上でのパドリングを比較した研究は見当たらず、これらの筋については水上実験による更なる検討が必要である。これに加え、本研究のパドリング課題では、ストロークレートを被験者の任意としていたため、これが筋活動レベルに影響を及ぼした可能性も考えられる。しかし、上記のような問題点はあるものの、競技力との関連でパドリング中の筋活動について検討している研究が極めて限られている現状において、本研究で示された上肢および体幹における筋活動レベルのデータはカヤック選手の競技力向上を考える上で意義があると言えよう。

5. 結言

本研究では、大学男性カヤック選手を対象として、上肢および体幹における筋の形態的特性とパドリング中の筋活動を定量し、競技成績の異なる選手間で比較を行った。その結果、対象とした 8 部位すべての筋厚および体重の 1/3 乗あたりの筋厚について、2 群間で有意な差は認められなかった。一方、パドリング中の筋活動レベルについては、三角筋前部・中部、上腕二頭筋、上腕三頭筋長頭、大胸筋下部において群間差あるいは群×フェーズの交互作用がみられた。これらの結果から、上肢・体幹における筋の形態的特性よりも、パドリング中のそれらの筋の筋活動レベルのほうが、大学男性カヤック選手の競技成績に対する影響は強いことが示唆された。

参考文献

Fleming N, Donne B, Fletcher D. Effect of kayak ergometer elastic tension on upper limb EMG Activity and 3D kinematics. *J Sports Sci Med.* (2012a) 11:430-437.

Fleming N, Donne B, Fletcher D, Mahony N. A biomechanical assessment of ergometer task specificity in elite flatwater kayakers. *J Sports Sci Med.* (2012b) 11:16-25.

Fry RW, Morton AR. Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists. *Med Sci Sports Exerc.* (1991) 23:1297-1301.

Hamano S, Ochi E, Tsuchiya Y, Muramatsu E, Suzukawa K, Igawa S. Relationship between performance test and body composition/physical strength characteristic in sprint canoe and kayak paddlers. *Open Access J Sports Med.* (2015) 6:191-199.

橋本亜季、中村夏実、高井洋平、山本正嘉.大学カヌースプリント競技・カヤック選手の形態的特徴および力発揮能力と競漕タイムとの関係. *スポーツトレーニング科学* (2011) 12:1-8.

伊坂忠夫、高橋勝美. 大学カヤック・カヌー選手の有酸素性ならびに無酸素性パワーと筋厚の特徴. *体力科学* (1998) 47:295-303.

Trevithick BA, Ginn KA, Halaki M, Balnave R. Shoulder muscle recruitment patterns during a kayak stroke performed on a paddling ergometer. *J Electromyogr Kinesiol.* (2007) 17:74-79.

van Someren KA, Palmer GS. Prediction of 200-m sprint kayaking performance. *Can J Appl Physiol.* (2003) 28:505-517.

吉尾裕子、高木公三郎、熊本水頼、伊藤稔、伊藤一生、山下謙智、岡本勉、中川宏. 水槽によるカヤック漕法の筋電図学的研究. *体育学研究* (1974) 18:191-198.