

2012年度 修士論文

ライフセービングにおける
ボードパドルング動作中の筋活動

Muscle activity during board paddling in Lifesaving

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5011A079-8

山地 智仁

研究指導教員： 村岡 功 教授

目次

1. 序論

1-1. 緒言	1
1-2. 先行研究小史	4
1-3. 目的	8

2. 方法

2-1. 被験者	10
2-2. 実験設定	10
2-3. VTR撮影、座標系の定義	11
2-4. 筋電図	12
2-5. 最大随意収縮(Maximal Voluntary Contraction)の測定	13
2-6. データ処理および分析対象区間	14

3. 結果

3-1. KP動作中の上半身の筋活動	17
3-2. 距離の違いによる比較	19
3-3. 競技レベルの違いによる比較	26

4. 考察

4-1. KP動作中の上半身の筋活動	36
4-2. 距離の違いによる比較	37
4-3. 競技レベルの違いによる比較	40

5. まとめ	44
--------	----

参考文献	46
------	----

謝辞	52
----	----

1.序論

1-1. 緒言

1-1-1. ライフセービング

ライフセービングとは“人命救助”を指し示す言葉として一般的には理解されており、水辺の事故をなくすことを目的としている。そのために、事故防止のための監視や指導、救助、ライフセーバーの技術向上のための競技等、さまざまな活動に携わることで、溺れない安全な環境をマネジメントすることが重要視されている。社会奉仕と生命尊厳の精神に基づき、人命救助のために活動すること、そして、誰でも参加できる活動、それがライフセービングであるといわれている。

ライフセービング活動に携わる者をライフセーバーといい、狭い意味では日本ライフセービング協会から発行されたライフセーバーの資格を取得した者をさす。ライフセーバーの使命は溺者の救助のみではなく、事故を未然に防ぐことにある。数多く救助したライフセーバーが優秀なのではなく、利用者に安心できるような環境を作り、尚且つ事故を出さないことが重要である。また、ライフセービングを広く一般に普及して行くのもライフセーバーの使命である(サーフライフセービング教本, 日本ライフセービング協会, 2008)。

1-1-2. 救助方法

ライフセーバーには溺水事故が起きたとき迅速に溺者を救助し、適切な処置を行える能力がなければならない。カーラーの生命曲線(Maurice Cara:Gestion hospitaliere,1977)によれば、心停止・呼吸停止という緊急事態が起こった時、時間の経過とともに死亡率が増えていき、心停止が発生した3分後には死亡率は50%、すなわち半数の人が死亡してしまうと報告されている。また、ドリンカーの生命曲線(Drinker,P:WHO報告書,1966)では、呼吸停止1分後に心肺蘇生法を再開すれば97%の者が救命されるが、3分後では75%、4分後では50%、5分後では25%と、開始までの時間が長くなるにつれて、救命率は急激に低下してい

くと報告されている。このことをふまえ、ライフセーバーは心停止から3~4分以内に傷病者のもとへ向かわなければならないと言える。

上記のことからも、ライフセーバーが救助の際に使用する救助器材の選定は生死を分ける重要なポイントになる。救助用に使用するパワークラフトであるIRB(Inflatable Rescue Boat=船外機付きゴムボート)、PWC (Personal Water Craft=水上バイク)を除けば、ライフセーバーが海で溺者を救助する道具はレスキューチューブとレスキューボードである。レスキューチューブは浮力のあるゴム製の救助器材で、これを溺者に巻きつけ、泳いで引っ張ることで救助することができる。レスキューボードは浮力が大きいボードで、これをパドリング(ボード上で腕部を用いて水をかくこと)して事故現場に近づき、その上に溺者を乗せ救助し、浜まで帰ってくるができる。

レスキューボードを用いた救助方法は、救助者がボード上にいるために視点が高いことから、海の状況を的確に把握し、要救助者に早く到達することができる(サーフライフセービング教本, 2008)。また、実際の救助を想定した際、レスキュー地点のほとんどが、汀線から200m以内の距離となっており、より安全に、迅速に要救助者に近づくためにも、救助現場ではレスキューボードは多用されやすい救助方法となっている。2011年度の海浜の救助において、レスキューボードを用いた救助数が全体の50.8%を占め、次にレスキューチューブを用いた救助が26.1%(フィンを使用した場合を含めると43.5%)となっている(ライフセービング協会, パトロールログ集計報告書, 2011)。このことから、レスキューボードを用いた救助方法は、救助現場において重要であると考えられる。

1-1-3. ボードパドリング

レスキューボードを使用して救助現場に向かう際、ライフセーバーはボードの上に乗し、パドリングを行って現場へと近づく。この時、行うボードパドリングは、ストロークパドリング(ボード上に伏臥位になり左右の腕で交互にパドリングする技術、以下SP)およびニーリングパドリング(ボード上に両膝をつき両腕でパドリングする技術、以下KP) の2 種類が

ある(サーフライフセービング教本, 日本ライフセービング協会, 2008)。KP はボード上に膝立ちするため、伏臥位で行うSPよりも視点が高くなり、視野を確保しやすい。救助現場においては溺者を見失わないためにも、KP を行うように指導される(サーフライフセービング教本, 日本ライフセービング協会)。しかしながら、ボード上に膝立ちをしながらパドリングを行うことは、伏臥位で行うSPよりも、安定した姿勢がとりづらい。このことから、ボード上で安定した姿勢を獲得するために十分な練習が必要であるとされている(Surf Life Saving Australia, 2003)。

先行研究によれば、KPでは体力的な要因よりも、技術的な習熟度の違いで要救助者に到達する時間が大きく左右されると報告されている。篠ら(2005)は模擬救助実験を行い、200m スラロームコースを最大努力で回り、それに要する時間を計時した結果、熟練者と経験者に比べ初心者は有意に高値を示した。このことは、ボードパドリングは習熟度の違いで影響を受けることを示唆しており、熟練者と未熟練者の差には、ボードを扱う技術的な要因が含まれていると考えられる。Gulbinら(1996)はオーストラリアでプロ競技に参加しているエリートアイアンマン(ライフセービング競技に特化したライフセーバー)、ライフガード(職業的ライフセーバー) およびライフセーバー(無給有資格者) の生理学的な体力要素やボード・アジリティを比較した。エリートアイアンマンはライフガードおよびライフセーバーに比べ有酸素能力が高い値を示したが、90m ボード・アジリティテスト(ボードの敏捷性を測定するテスト)においてはエリートアイアンマンとライフガードには有意な差は認められなかった。これらのことから、ボードの俊敏性には体力的要因よりも技術的要因における影響が大きいことが示唆された。つまり、KP の熟練者と未熟練者では事故現場に到達する時間に大きな差が生まれると考えられる。以上のことから、KPに関する技術的な違いを把握することは必要であると言える。

1-2. 先行研究小史

1-2-1 KP研究の現状

近年、様々なスポーツにおいて、動作解析、エネルギー供給機構、体力要素などに関する研究成果が発表されている。しかしながら、ライフセービングに関する研究報告は、自然を相手にする活動という背景もあり、きわめて少ない。その中でKPの研究は、笠井ら(2004)の研究、須田(2007)の研究の2編である。須田(2007)による熟練者と未熟練者のKPのボード速度と動作の関係を比較した研究では、KP動作では肩関節、股関節、体幹、膝関節の屈曲伸展動作が重要になってくると報告している。また、ストローク頻度(以下SR=stroke rate)を維持することがボード速度(以下BV=board velocity)の低下を抑えることに繋がり、SRの低下は、肩関節の伸展動作の増大、およびその動作速度が遅くなることに影響することが明らかになっている。そして、SRを維持するためには肩関節の動作だけでなく、大腿部を前傾させると共に、股関節の動作範囲を大きくすることが重要であると言われている。しかしながら、熟練者および未熟練者における身体特性や生理的変化に有意な差は無く、動作および姿勢の変化に至った原因を特定することはできていない。そのため、筋活動、筋力等の生理学的指標を総合的に検討し、KP動作について明らかにする必要がある。

1-2-2. 循環運動

陸上や水泳、ボート、カヌー競技などは循環運動であり、それぞれの速度は1歩、1ストロークあたりに進む距離と、単位時間あたりの歩数、ストローク数で構成される。ボート競技においては、脚伸展による上体の移動とともにオールを水中で動かす動作と次の動作のために姿勢を戻す動作から成る一連の運動(ストローク)が繰り返されている。漕手がストロークで発揮するパワー(ローイングパワー)が、漕手 - オール - ボート機構を通してボートの推進力に変換されると先行研究で報告されている(Celentanoら, 1974; Dal Monte and Komor, 1989; Secher, 1982)。また、カヌー競技においては、パドルを用いて上肢の循環運動(ストローク)によって主に艇力を得ており、これが艇速につながっている(池田ら, 2009)。

須田(2007)の報告にもあるように、KPではボード上に両膝をつき、両腕を水の中に入水した後、後ろに腕を動かし、そして、腕を出水した後、また入水の姿勢へと戻る動作を1ストロークとして繰り返している。つまり、肩関節、股関節、体幹、膝関節の屈曲伸展運動を伴った循環運動と考えられる。そのため、KPにおけるBVもストローク長(以下SL=stroke length)とSRが重要となってくると考えられる。

1-2-3. 速度とストローク

溺者により速く到達するためにも、KP時のBVは重要となってくる。KPには水中で腕を動かし、そして、器材を使用するため、水中での速さを競う①水泳、器材に乗りオール等を漕いで速さを競う②ボート、③カヌーといった競技と類似する点があると考えられる。

①水泳

水泳選手の泳速度はSRとSLの積で求められる(Craigら,1979)。また、Craigら(1979)、奥野ら(1998)の先行研究によれば、同じ泳速度で泳ぐ選手の中には、SLが長くSRが低い選手もいれば、SLが短くSRが高い選手も存在すると報告されている。そのため、疲労によってSLが低下した場合、速度維持のためにSRを増加させなければならない。つまり、どちらかを大きくしてバランスを保たなければ、速い速度は維持できないということである。

②ボート

水上で行われるボート競技では、艇速度を速くすること、そして、艇速度を持続することが求められる。ボートは、漕手がオールを水中で動かし、ボート上を艇首から艇尾へ移動することによって生じる力の反作用が、ボートの進行方向に働くため、進行方向へと進む。つまり、漕手がこの一連の流れの繰り返し(ストローク)で発揮する力によってボートの推進力が生まれると考えられる(Dal Monte and Komor, 1989; Sanderson and Martindale, 1986)。実際、2000mレースにおいて、漕手がストロークで発揮するローイングパワーは、スタートからおよそ1分までの間に最大値に達する。そして、1500m(スタートからおよそ

5 分)まで徐々に低下し、レースの終盤(ラストスパート)で増加する(Hagerman ら, 1978; Mahler ら, 1984; Nolte, 1985; Schabert ら, 1999; Schneider, 1980; Secher ら, 1982)。ストロークで発揮する力は、スタートからおよそ 15 ストロークまでの間に最大値を示し、レースを通して低下し続けるが、ラストスパート時にはオールを牽引する速度が増加するため、ローイングパワーも増加する(Hartmann ら, 1993)。これらをふまえると、ストロークの長さ、強さ、速さ、つまり、ストロークによって発揮される力が推進力、艇速を左右するため、ボート競技においてストロークサイクルは重要であると先行研究で報告されている(Celentano ら, 1974; Dal Monte and Komor, 1989; Secher, 1993)。

③カヌー

カヌー競技のフラットウォーターレーシング(以下;カヌー競技)では、選手は、静止した艇を加速させて艇速度を獲得し、その艇速度をゴールに至るまで維持しなければならない。パドルを用いて上肢の循環運動(ストローク)によって主に艇力を得ることから、水上で行われる他の競技種目(ボート競技, 競泳競技)と同様に、その艇速度は、「ストローク頻度」と「ストローク長」との積によっておおよそ決定づけられる(Laffite ら, 2004; Toussaint ら, 2006)。実際、カヌー競技は 200m、500m、1000m コースをそれぞれ 40 秒から 4 分程度で競うものであり、筋パワー、筋持久力、有酸素性及び無酸素性能力などが要求される。500m レースでは序盤の艇速度を高め、その後の SR の低下を小さくすること、1000m レースでは序盤の艇速度を抑え、レース経過に伴う SL の低下を小さくすること、などが報告されている(池田ら, 2009)。また、学生選手権優勝者と準決勝進出者の艇速度を時系列で観察した研究報告によると、スタート直後に到達する最大艇速度において、選手間に違いがあることが確認され、このことが競技成績を左右していると考えられている(上野ら, 1988)。

1-2-4 ボード速度とストローク

須田(2007)のボード速度と KP 動作の関係性について報告した研究では、KP の速度を算出するために、SL と SR を算出し、水泳と同様に SL と SR の積でボード速度を算出している。

KPも水泳やボート、カヌーと同様に循環運動であるため、BVはSLとSRによって決定されると考えられる。そして、KPにおいても、BVの変化に対して、1ストロークあたりに進む距離、および単位時間当たりのストローク数はどちらか一方または双方が変化する。したがって、KPにおけるSLおよびSRの特徴を知ることが、BVに影響する要因を把握する上で重要だと考えられる。

1-2-5. 水上運動と安定性

ボート競技におけるパワーは、水をオールで押すことによって発揮される。オールが動くと水も動き、その抵抗が一定ではなく生じる。さらに、水上ではボートの安定性も変化するため、漕手のパワー発揮をする姿勢、すなわち、動作にも影響が生じる。そのため、ボート競技ではパワー発揮や動作を一定に保つことが難しいと考えられる。実際、ボート競技ではストローク毎に生じる変動の大きさ=consistency(安定性)も重要視され、エリート漕手ではストローク毎のオールの運動やローイングパワーの変動が小さく、安定性が高いことが指摘されている(Henryら, 1995; Smith and Spinks, 1995)。これらのことから、水上で行うボード競技では、より高い艇速度を獲得するためにも、ストロークで発揮する力だけでなく、その力を安定して発揮する安定性も必要とされる。

KPに関してもこのことは同様に言えることである。KPにおけるパワーは腕で水を押すことによって発揮され、ライフセーバーがKP1ストローク中に発揮するパワー(パドリングパワー)がボードの推進に作用すると考えられる。また、ボート競技と同様に、安定したストロークによるパワー発揮も必要となる。しかし、オールを通して推進力を得ているボート競技とは異なり、KPは腕によって推進力を得ている。また、ボード上で安定した姿勢を獲得するために十分な練習が必要でもある(Surf Life Saving Australia, 2003)。そのため、KP動作中に動員される筋の活動を明らかにすることが、KPにおけるパワーや安定性につながると考えられる。

1-2-6. 筋電図

KPの筋活動を測定した笠井ら(2004)の研究では、広背筋と三角筋に顕著な放電がみられたと報告している。また、同じ水中で動作を行う水泳の研究では、Marilynら(1991)が水泳選手のクロール泳1ストローク中の筋活動を筋電図を用いて、健康的な水泳選手と肩に傷害を持った水泳選手とを対象に比較を行うことで、2群間でのクロール泳の筋活動の差を明らかにした。

KPにおいて、上半身の動き、肩関節の屈曲伸展動作は、ボードに推進力をうんでいるという点で、大変重要であり、この動作に関わる筋群の筋活動を明らかにすることはKPの技術的要素、生理学的要素を明らかにすることにつながると考えられる。また、熟練者と未熟練者において、この上半身の筋活動を比較することができれば、KPにおけるBVの差を生み出す要因についても明らかにできるのではないかと考えられる。

1-3. 目的

ライフセービングにおけるKPは他のスポーツ競技では見られない独特の運動様式であるので、動作や生理学的指標を用いて分析し、トレーニングの特異性を明らかにする研究が必要である。現在、世界的にもライフセービングにおけるKPに関する研究は少なく、特に日本においては指導方法・強化方法は確立されていないのが現状でもある。日本のライフセーバーがライフセービング競技において、世界と同等に戦っていくためにも研究は必要である。

Marilynら(1991)はクロール泳1ストローク中の推進局面での筋活動を明らかにしているように、KPにおいても同様に筋活動を明らかにすることは重要である。須田(2007)の研究では、動作分析によって熟練者と未熟練者の比較を行ったが、筋力等の生理学的指標を用いて更なる検討を行うことが必要である。笠井ら(2004)の研究では、KP動作中の筋活動を測定したところ、熟練者と未熟練者の上半身の筋群に違いがみられたことを報告しているが、被験者は最大努力ではなく、固定したボードの上に乗ってKPを行っていたため、実際

にKPを行う状況とは異なっていたと考えられる。KPの技術的な要因を明らかにするために、推進力を生む要因と考えられる局面で活動をしている上半身の筋活動を測定することは必要である。

そこで、本研究では、

- ① ライフセービングにおけるKPの上半身の筋活動を明らかにする
- ② 距離の違いによるKP1ストローク中の上半身の筋活動を比較する
- ③ 競技レベルの違いによるKP 1ストローク中の上半身の筋活動の違いを比較する

ことを目的として実験を行った。

距離の違いによる筋活動の違いを明らかにするために、本実験では40mと400mの2つの距離を設定して実験を行っている。溺者までの距離はそれぞれの状況によって異なるため、距離の違いによりKPフォームを変えている可能性もある。そのため、距離の違いによる筋活動の違いを明らかにし、KP動作について分析していくことは、溺者までの到達時間を短縮することにつながると考えられる。また、競技レベル別のKP動作の筋活動を比較することで、指導の現場において有用な生理学・運動学的資料となると考えられる。本実験で得られた結果を定量化されたデータにし、被験者へフィードバックすることで、今後のトレーニング計画を練る上で参考資料となり、ライフセービング活動において大きな役割を果たすことができると考えられる。そして、KP動作中の筋活動とボード速度に与える影響を明らかにすることが、ライフセービング競技のパフォーマンス向上を目指すことと同時に、ボードを用いた救助作業の迅速化、水辺環境における救助力向上にもつながると考えられる。

2.方法

2-1.被験者

被験者はライフセービング選手権においてボードレースに参加した男性ライフセーバーを対象とし、上位群9名、下位群9名の計18名とした(表1)。競技レベルの分別として、上位群は全日本ライフセービング種目別選手権、全日本学生ライフセービング選手権、全日本ライフセービング選手権にて入賞、決勝に進出するレベル、下位群は、各ライフセービング選手権で予選敗退するレベルとした。本研究に先立って、各被験者に対し実験の説明を行い、被験者として自主的に参加することの同意を文書で得た。なお、本研究は早稲田大学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」(承認番号188-469)の承認を得ている。

表1 被験者特性

	上位群(9)	下位群(9)	p 値
年齢(歳)	22.6±1.9*	20.3±2.1	p=0.03
身長(cm)	171.9±4.0	171.0±3.6	p=0.64
体重(kg)	62.9±4.3	67.5±5.6	p=0.07

平均値±標準偏差

*p<0.05 vs. 下位群

2-2.実験設定

試技は50m室内プールにて行われた。被験者には十分なウォーミングアップ後、5～45mの40m間を、最大努力で40mを1回、400mを1回、競技用マリブボード(ベネット社製)を使用してKPを行わせた。400m試行はライフセービング選手権でのボードレースを想定して行っている。ボードレースは600m程度であるが、ボードを持って走る、波に乗るといった行為もあるため、実際にパドリングを行う距離は400m程度となる。50mプールを使用しているため、400mではスタート地点から0～5mおよび45～50mの間で毎回止まらせ、ボードを反転させた後に再度KPを行わせた。本実験では総距離が400mになるよう50mプールを5

往復させた(図1)。また、ボードレースを想定してKPを行うように指示しており、往復する際には、ボードを反転させ、再度スタートさせた。ボードを反転させ、再スタートする際にはSPも可とした。

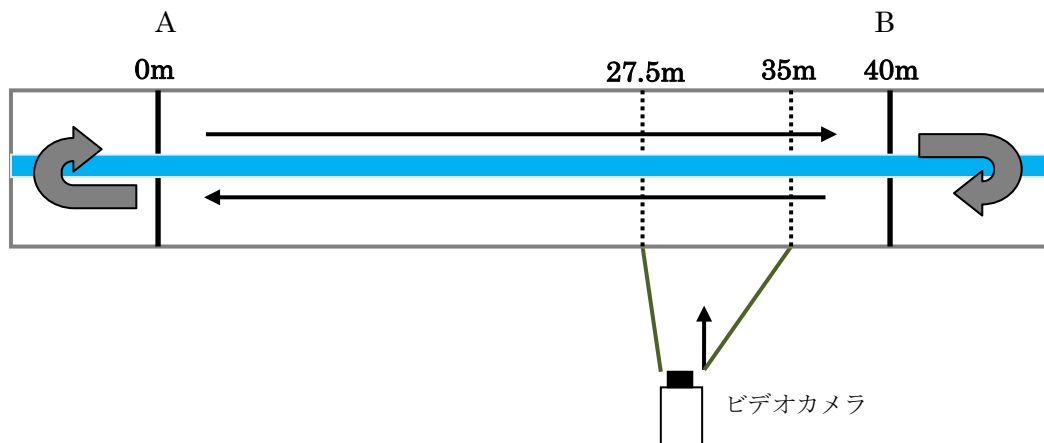


図 1: 実験試技コース

2-3.VTR 撮影(図1)、座標系の定義

撮影は1台のデジタルHDビデオカメラレコーダー(HDR-HC3,Sony社製)を用いて、毎秒30コマで行った。KP動作は左右対称であると仮定して、被験者の右側から撮影し、撮影範囲は、A地点から27.5~35mの間(図1)とした。

キャリブレーションは、試技前に水面上での高さが0.6mの位置になるようにコントロールポイントをつけたキャリブレーションポールを撮影範囲内の4箇所垂直に立て、2.5m間隔で行った(図2)。原点は32.5m地点に立てたキャリブレーションポールの水面上の点とし、x 軸は進行方向、y 軸は垂直方向とした。それぞれ進行方向に向かっている場合をx 軸の正の値、水面から上に向かっている場合をy軸の正の値とした。

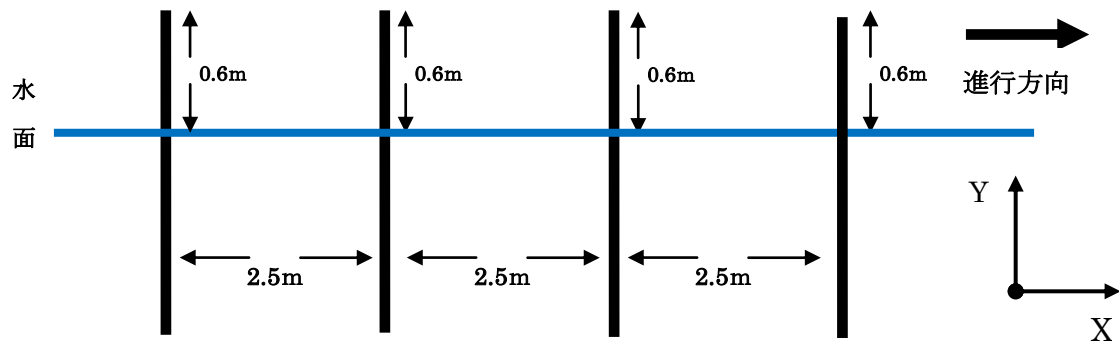


図 2: キャリブレーション

2-4. 筋電図

KP動作中の筋の活動量を測定するために、筋電計(バイオログDL5000, S&ME社製)を用いて双極誘導により表面筋電図を導出した。被検筋は、三角筋前部、三角筋後部、僧帽筋上部、大胸筋、広背筋、脊柱起立筋の右半身の筋、計6筋とした。電極(Blue sensor, P-00-S, 株式会社メッツ製)は筋腹中央部に貼付し、電極間距離は20mm とした。筋電計バイオログDL5000には、両面テープ(DL-500用、両面テープ、DL950 S&ME社製)を使用して身体に張り付け、さらに、水への接触をできるだけ避け、肌に密着した状態にするために、筋電計、電極全体を覆うように防水フィルム(防水フィルムロールタイプ BFR10, ニチバン株式会社製)を貼付した(図3)。

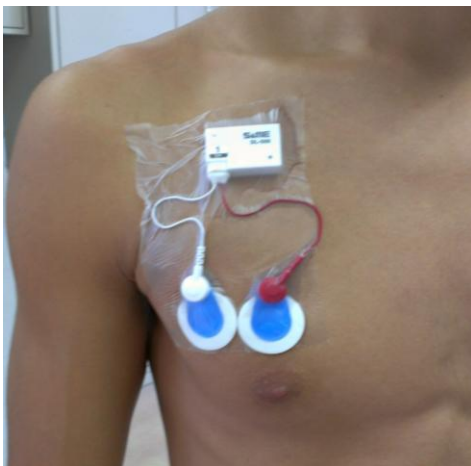


図 3: 筋電計、電極、防水フィルム貼付

2-5. 最大随意収縮 (Maximal Voluntary Contraction : MVC) の測定

以下に示す方法を用いて、上肢、肩関節筋群、及び体幹筋群のMVCを測定した。各筋において約3秒間の力発揮を1回練習で行い、さらに本番として2回行わせた。また、疲労の影響を除くため試行間には十分な休息を設けた。

①肩関節伸展(三角筋後部・広背筋)

検査肢位：腹臥位で両腕を対側に置き、肩関節を内旋させる(掌を上向けの状態)

徒手抵抗：被験者は上肢を検査マットから離し、持ち上げさせた。この時に肘関節はまっすぐ伸ばした状態にする。検査者は下方方向に向かって抵抗を加えた。

②肩関節屈曲(三角筋前部)

検査肢位：検査台の端か縁に腰かけ、両腕は身体の両側に垂らす。検査側の腕は肩関節 90 度屈曲(前方挙上)させる。

徒手抵抗：被験者は肩関節 90 度屈曲(前方挙上)方向に力を加え、検査者は下方方向に向かって抵抗を加えた。

③肩甲骨挙上(僧帽筋)

検査肢位：検査台の端か縁に腰かけ、両手は膝の上に軽く置いてリラックスさせる。

徒手抵抗：被験者は肩を挙上させ(肩をすくめる動作)、検査者は両手を両肩の上に沿うように置き、下方に向かうような抵抗を加えた。

④体幹伸展(脊柱起立筋)

検査肢位：腹臥位で両手を頭の後ろに組み合わせる。

徒手抵抗：被験者に腰椎を後方に伸展させ、胸郭全体が検査台から離れるところまで挙上させた。被験者は両肩に手を置いて、下方方向に抵抗をかけた。

⑤肩関節水平屈曲、伸展(大胸筋)

検査肢位：仰臥位にし、肩関節90度外転、肘関節90度屈曲させる。

徒手抵抗：被験者は肩関節を水平内転(上方かつ内方に向かって動かす)させ、検査者は被験者の肘関節に近い上腕部を抑え、下方方向に抵抗を加えた。

2-6. データ処理および分析対象区間

2-6-1. 分析対象

KP 動作は左右対称であると仮定し、右半身を分析点とした。ボードの測定点は、ボード前方の右1点および後方の右1点に設置したマーカーとし、それぞれボードの先端と末端から50cm、ボードの底面から10cmの高さとした(図4)。



図 4: ボードの測定点

分析対象区間は、KP40mでは図1A側をスタート地点として、27.5～35mの範囲を、KP400mでは図1B側をスタート地点として、67.5～75m(以下lap1)、147.5～155m(以下lap2)、227.5～235m(以下lap3)、307.5～315m(以下lap4)、および387.5～395m(以下lap5)とした。

撮影されたVTR 画像はPCに取り込み、その画像上の測定点は動作解析ソフト(Frame-DIAS4, DHK社製)を用いて毎秒30コマでデジタイズした。各測定点の座標を2次元DLT法(Direct Liner Transformation method)によって算出し、実長換算した。また、カメラと筋電図の同期は筋電計に記録されるトリガーとカメラの画面内にパルス光を写しこむことによって行った。

2-6-2. 40mKP、400mKP の所要時間

40mKP、400mKPの所要時間は、スタートの合図から被験者の体がゴール地点、および5往復目の最後の地点を過ぎた時点までとした。計測はストップウォッチを用いて手動で行った。その際、計測には熟練した者が行った。

2-6-3. ボード速度(m/sec、以下BV)、ストローク頻度(stroke/min、以下SR)およびストローク長(m/stroke、以下SL)

水上カメラから得られた画像を元に、ボードが進んだ距離はXY 平面に投影した座標データから算出した。1ストローク中のX軸方向へのボードの変位を1ストローク中のSLとした。SRは手が入水した時点から再び手が入水するまでとし、1分間におけるストローク回数を算出した。BVは1ストロークあたりにボードが進んだ距離を1ストロークあたりに要した時間で除して算出した。

2-6-4. KPの局面分け

1ストロークあたりの動作をパドリング局面(以下、P局面)およびリカバリー局面(以下、R局面)の2つの局面に分けた(図5)。P局面は、手が入水した点から手が退水する点までとした。R局面は、手が退水した点から再度手が入水する点とした。1ストロークに要する時間を100%とし、P局面、R局面を1ストロークに要した時間で除することによって、それぞれの局面の割合を求めた。

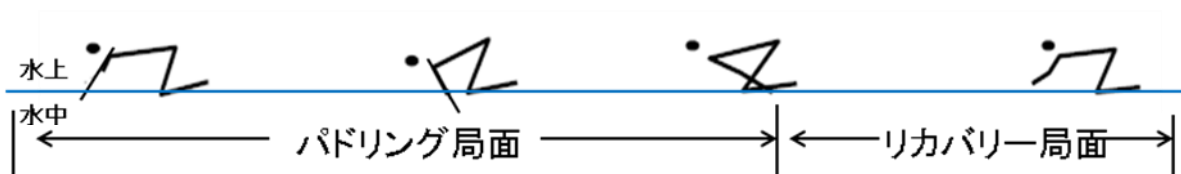


図 5: KP の局面分け(パドリング局面、リカバリー局面)

2-6-5. 筋電図の解析

三角筋前部・後部、僧帽筋上部、大胸筋、広背筋、脊柱起立筋の計6筋から、KP動作中の筋活動を測定した。導出されたデータは多用途生体情報解析プログラム(BIMUTAS II キッセイコムテック株式会社)を使用して、フィルター(ハイパスフィルタ20Hz、ローパスフィルタ500Hz)をかけた後、全波整流し、さらに、基線の補正を行うことで、ストロークサイクルごとにノイズ等の混入の有無を確認した。ノイズ等の影響が見られた場合には、そのストロークサイクルのデータを分析から除外した。

MVCについては、筋放電量が一定の水準に達している間の、70msecの平均振幅値(averaged electromyography、以下aEMG)をMVC発揮時の筋電位とした。KP動作中の筋活動は1ストロークに要する時間で正規化し、撮影区間中の3ストロークを1ストローク毎の自乗平均平方根(Root Mean Square : RMS)の値、各局面の時系列データ10%のRMS値を算出した。なお、試行間の比較には、MVCに対する相対値(%MVC)を用いた。

2-6-6. 統計処理

各測定項目については平均値と標準偏差を求めた。KP時系列データ10%ごとの筋活動に関しては、1元配置分散分析を行った。40mKPと400mKPの比較においては、対応のあるt検定、二元配置分散分析(2群; 対応あり×区間; 対応あり)を、上位群と下位群の間の比較においては、対応のないt検定、二元配置分散分析(2群; 対応なし×区間; 対応あり)を行い、主効果および交互作用に有意性がみられるかを検定した。交互作用が確認された項目の中で、各要因間に主効果が認められた項目に関しては、Bonferoni の多重比較を行った。本研究ではすべての検定において有意水準を5%未満とした。

3. 結果

3-1. KP動作中の上半身の筋活動

KP動作中の時系列データ10%データごとの筋活動を図6、および図7に示した。P局面で筋活動が大きな傾向を示したのは、三角筋後部、大胸筋、広背筋であった(図6)。

三角筋後部ではP局面の60~70%にかけて有意な筋活動の増加がみられた。また、P局面の100%で最大値($52.03 \pm 33.12\%MVC$)を示し、R局面では、20%で最大値($50.17 \pm 38.52\%MVC$)を示した。大胸筋ではP局面の10~20%で有意な増加し、50%の時に最も大きな値($89.89 \pm 38.18\%MVC$)を示した後、90~100%で有意に筋活動が低下した。R局面では時間の経過によって、筋活動に有意な差はなかった。広背筋では、P局面の70%の時に最も大きな筋活動($69.97 \pm 28.64\%MVC$)を示した。R局面では時間の経過によって、筋活動に大きな変化はみられなかった。

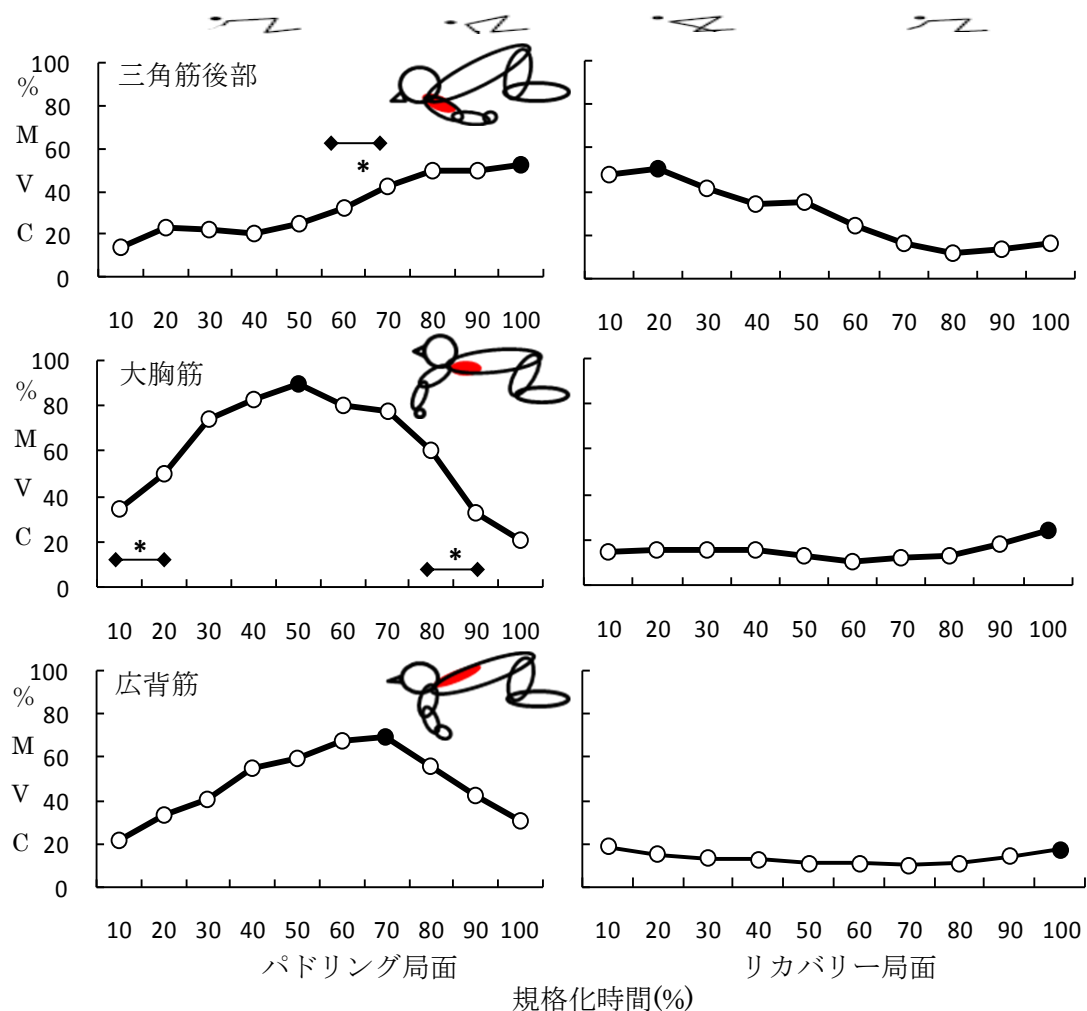


図 6: KP 動作中の筋活動 * $p < 0.05$ ●:各筋群の最大の筋活動

R局面で筋活動が大きな傾向を示したのは、三角筋前部、僧帽筋上部、脊柱起立筋であった(図7)。

僧帽筋上部では、R局面の50~60%にかけて、有意な筋活動の低下がみられたが、三角筋前部では、時間の経過による有意な差はみられなかった。三角筋前部では、P局面の40%で筋活動($18.44 \pm 24.72\%$ MVC)が最も大きくなり、R局面の40%で最大値($25.28 \pm 15.43\%$ MVC)を示した。僧帽筋上部では、P局面の100%で最も筋活動($39.31 \pm 30.77\%$ MVC)が大きくなり、R局面では20%で最も大きな値($76.56 \pm 37.83\%$ MVC)を示した。脊柱起立筋では、P局面において100%の時に、R局面では10%で最大値(P局面; $48.88 \pm 47.38\%$ MVC,

R局面; $50.72 \pm 50.70\%$ MVC)を示した。

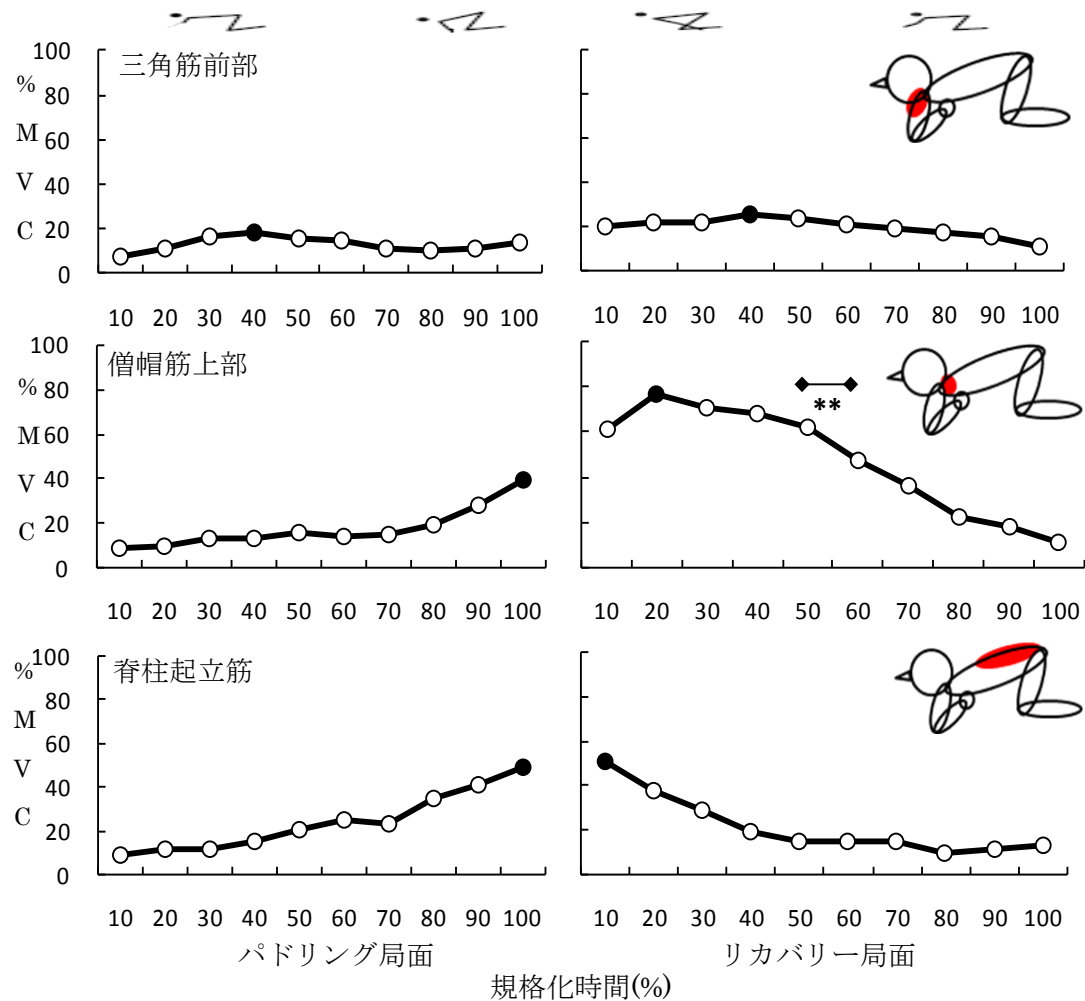


図 7: KP 動作中の筋活動 ** $p < 0.01$ ●:各筋群の最大の筋活動

3-2. 距離の違いによる比較

3-2-1. 40mKPと400mKP時の所要時間、BV、SL、SR、局面時間・局面時間比率

40mKP、400mKP時の所要時間、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率の結果を表2に示した。

BVとSRは、40mKP時が400mKP時よりも有意に高い値を示した($p < 0.01$)。SLに関しては40mKP時と400mKP時との間に有意な差はみられなかった($p = 0.22$)。

KP1ストロークの局面時間の比較では、P局面時間とR局面時間で、40mKP時が400mKP時よりも有意に小さい値を示した($p<0.01$)。局面時間比率に関しては40mKP時と400mKP時で有意な差はみられなかった($p=0.59$)。

また、40mKP時と400mKP時の局面時間、局面時間比率はともに、P局面がR局面よりも有意に大きな値を示していた($p<0.01$)。

表 2; パドリングタイム、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率

	40m	400m	p 値
パドリングタイム(s)	17.42±1.05	246.34±19.37	
BV(m/s)	2.64±0.12**	2.34±0.14	$p<0.01$
SL(m/stroke)	1.73±0.18	1.78±0.18	$p=0.09$
SR(stroke/min)	92.83±10.91**	79.33±8.02	$p<0.01$
P 局面時間(s)	0.36±0.06** +	0.42±0.06+	$p<0.01$
R 局面時間(s)	0.30±0.05**	0.34±0.04	$p<0.01$
P 局面時間比率(%)	54.4±4.3+	55.0±4.1+	$p=0.31$
R 局面時間比率(%)	45.6±4.3	45.0±4.1	$p=0.31$

平均値±標準偏差

* $p<0.05$ vs 400m

** $p<0.01$ vs 400m

+ $p<0.01$ vs R 局面

3-2-2. 40mKPと400mKP時の筋活動の比較

図8にP局面で発揮されたKP動作中の筋活動を示した。P局面では、三角筋前部(40mKP; $15.63\pm14.65\%$ MVC, 400mKP; $11.31\pm12.31\%$ MVC $p<0.01$)、三角筋後部(40mKP; $40.73\pm12.82\%$ MVC, 400mKP; $30.05\pm10.12\%$ MVC $p<0.01$)、広背筋(40mKP; $56.28\pm26.31\%$ MVC, 400mKP; $48.41\pm24.89\%$ MVC $p=0.02$)において、40mKP時の筋活動が400mKP時の筋活動よりも有意に大きかった。その他の筋群では有意な差はみられなかった。

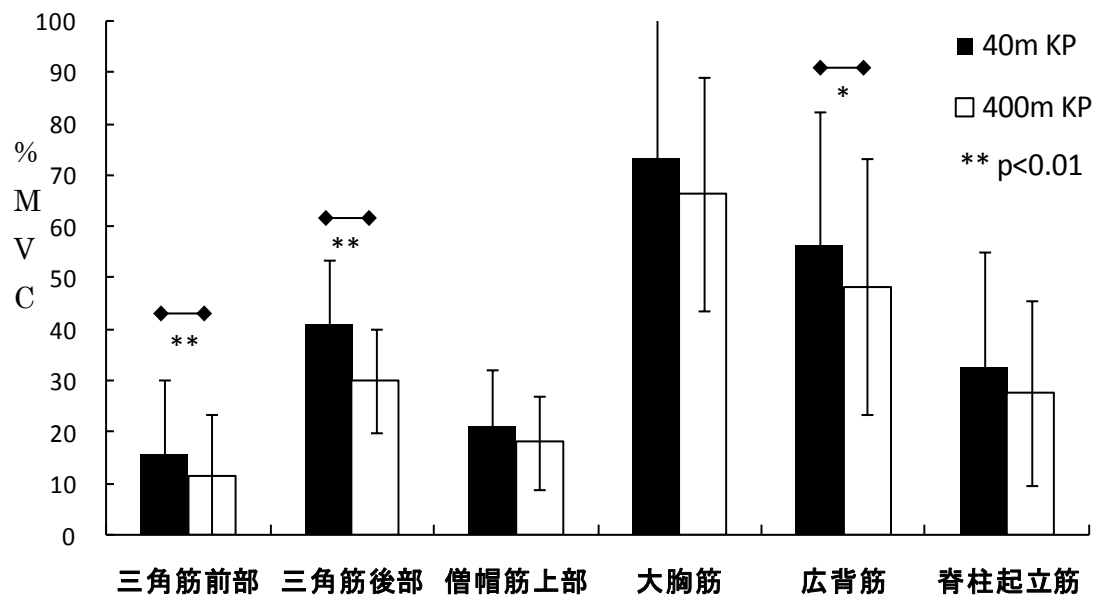


図 8; KP 動作 P 局面の筋活動(%MVC)

図9にR局面で発揮されたKP動作中の筋活動を示した。R局面に関しては、三角筋前部、三角筋後部、僧帽筋上部、広背筋、脊柱起立筋において有意な差がみられた。三角筋前部では40mKP時が $24.09 \pm 11.50\%$ MVC、400mKP時が $10.47 \pm 4.83\%$ MVCの値を示し、40mKP時が有意に大きい値を示した($p < 0.01$)。三角筋後部では、40mKP時で $36.06 \pm 25.05\%$ MVC、400mKP時で $19.77 \pm 11.42\%$ MVCの値を示し、40mKP時が有意に大きな値を示した($p < 0.01$)。僧帽筋上部では40mKP時が $54.06 \pm 28.04\%$ MVC、400mKP時が $36.36 \pm 20.65\%$ MVCの値を示し、40mKP時が有意に大きかった($p < 0.01$)。広背筋では40mKP時で $15.06 \pm 6.70\%$ MVC、400mKP時が $10.02 \pm 3.72\%$ MVCを示し、40mKP時の方が有意に大きかった($p < 0.01$)。脊柱起立筋では40mKP時が $29.03 \pm 24.96\%$ MVC、400mKP時が $20.26 \pm 15.56\%$ MVCの値を示し、40mKP時の筋活動が有意に大きかった($p = 0.02$)。

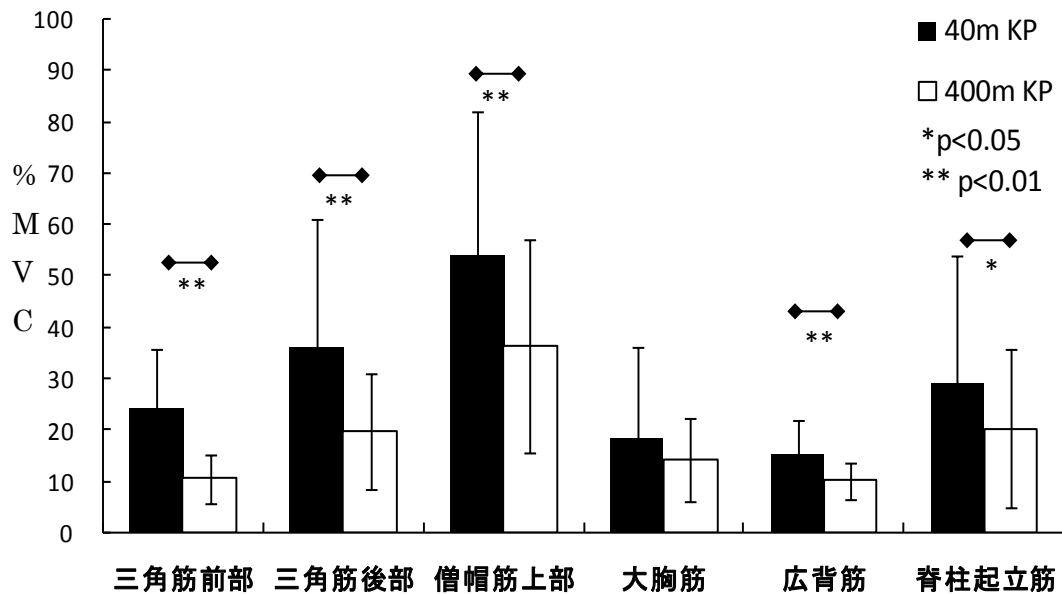


図 9; KP 動作 R 局面の筋活動(%MVC)

3-2-3. KP動作中の時系列データ10%ごとの筋活動

40mKPと400mKP動作中の時系列データ10%ごとの筋活動を図10と図11に示した。P局面の三角筋後部と大胸筋において交互作用がみられた。その他の筋群に関しては交互作用はみられなかった。また、三角筋前部P局面、三角筋後部、僧帽筋上部、大胸筋P局面、広背筋、脊柱起立筋R局面において時間の経過による主効果がみられ、三角筋前部、三角筋後部R局面、僧帽筋上部R局面、広背筋に群間による主効果がみられた。

三角筋後部では、P局面において、40mKP時の60~70%で筋活動が増加し100%の時に最大値(52.03±7.81%MVC)を示した。400mKP時は40~70%で筋活動が増加し、80%で最大値(43.39±16.39%MVC)を示した。20%、30%、90%、100%の時に群間による主効果認められ、40mKP時は400mKP時よりも筋活動(20%;40mKP=23.23 ± 12.65%MVC, 400mKP=11.70 ± 1.59%MVC p<0.01 30%;40mKP=22.53 ± 5.04%MVC, 400mKP=11.75 ± 1.69%MVC p<0.01 90%;40mKP=49.84 ± 5.66%MVC, 400mKP=33.63 ± 3.73%MVC p=0.01 100%;40mKP=52.03 ± 7.81%MVC, 400mKP=28.84±3.79%MVC p<0.01)が大きかった。

三角筋後部のR局面では40mKP時、400mKP時共に20%の時に最大値(40mKP; $50.17 \pm 38.52\%$ MVC, 400mKP; $27.28 \pm 20.15\%$ MVC)を示し、40mKP時の方が400mKP時よりも有意に大きな筋活動を示した($p < 0.01$)。

大胸筋のP局面において、40mKP時には10~20%で筋活動が増加し、50%で筋活動($89.89 \pm 9.00\%$ MVC)が最大となった。その後、80~90%にかけて筋活動が低下した。400mKP時には10~40%で筋活動が増加し、50%で最大値($95.01 \pm 35.11\%$ MVC)となり、その後、60~80%にかけて筋活動の低下を示した。70~100%においては、40mKP時の筋活動が400mKP時の筋活動よりも有意に大きかった(70%;40mKP= $77.41 \pm 13.14\%$ MVC, 400mKP= $52.57 \pm 7.54\%$ MVC $p=0.045$ 80%;40mKP= $60.01 \pm 11.72\%$ MVC, 400mKP= $24.24 \pm 4.92\%$ MVC $p=0.01$ 90%;40mKP= $33.08 \pm 9.52\%$ MVC, 400mKP;= $11.45 \pm 3.14\%$ MVC $p=0.016$ 100%;40mKP= $20.57 \pm 5.34\%$ MVC, 400mKP= $7.07 \pm 1.85\%$ MVC $p < 0.01$)。

大胸筋のR局面では90~100%で有意に増加し、40mKP時、400mKP時共に100%の時に最も大きな筋活動(40mKP; $24.40 \pm 20.96\%$ MVC, 400mKP; $24.75 \pm 18.84\%$ MVC)を示した。

広背筋ではP局面の10~60%で有意に増加し、400mKP時は60%で最大値($68.37 \pm 33.71\%$ MVC)となり、70~100%で有意な筋活動の低下を示した。R局面では時間の経過による筋活動に有意な差はみられなかった。また、P局面、R局面共に40mKP時の筋活動が400mKP時の筋活動よりも有意に大きかった($p < 0.01$)。

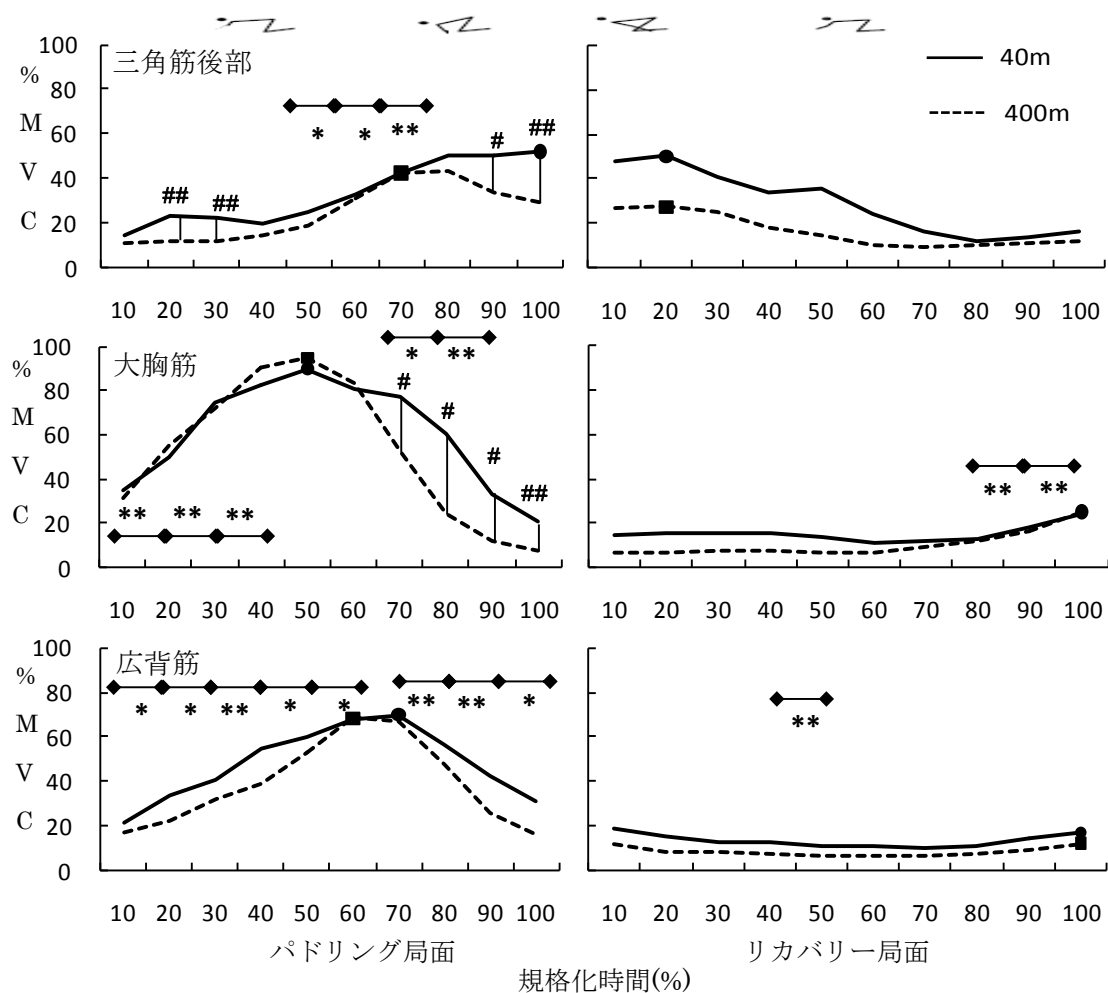


図 10; KP 動作中の筋活動 40m vs. 400m * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$
 # $p < 0.05$ ## $p < 0.01$ 40mKP 時と 400mKP 時の群間の主効果
 ●; 40mKP 時の最大の筋活動 ■; 400mKP 時の最大の筋活動

三角筋前部において、P局面では90~100%の時に筋活動が増加しており、400mKPはP局面の40%の時に、R局面の30%の時に最も大きな筋活動(P局面; $12.84 \pm 19.29\%$ MVC, R局面; $12.17 \pm 7.43\%$ MVC)を示した。P局面、R局面共に、40mKP時が400mKP時よりも有意に大きな筋活動がみられた($p < 0.01$)。

僧帽筋上部では、P局面の80~100%にかけて有意な筋活動の増加がみられ、400mKP時では、40mKP時と同様に100%の時に最大値($37.67 \pm 23.32\%$ MVC)を示した。R局面では、50~60%にかけて筋活動が有意に低下しており、400mKP時は30%の時に最大値($51.02 \pm$

30.11%MVC)を示した。R局面においては40mKP時の筋活動が400mKP時よりも有意に大きかった($p=0.034$)。

脊柱起立筋では、P局面には時間の経過による有意な差はみられなかったが、R局面においては40~50%の時に筋活動が低下した。400mKP時はP局面では100%の時に、R局面の10%の時に最大値(P局面; $39.72 \pm 23.17\%$ MVC, R局面; $36.72 \pm 24.79\%$ MVC)を示した。

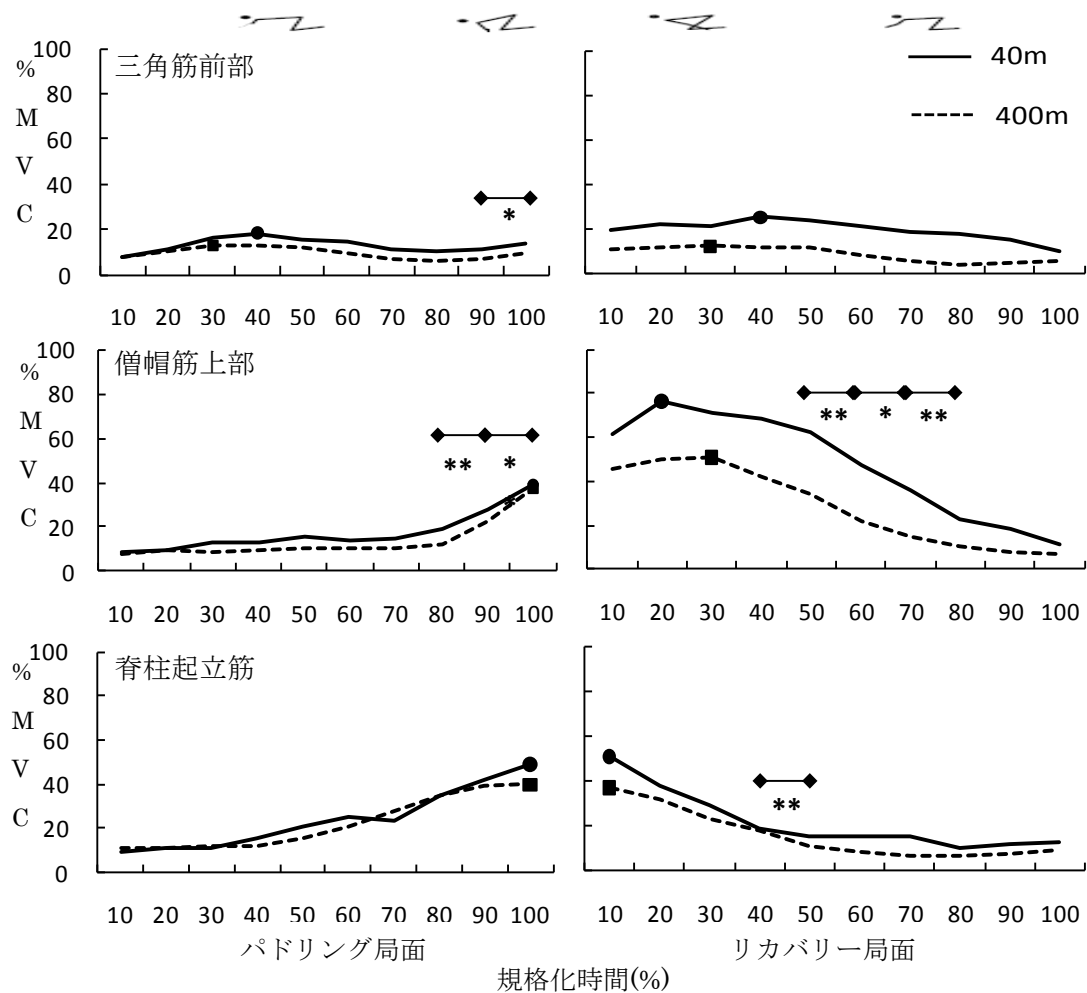


図 11; KP 動作中の筋活動 40m vs. 400m * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$
 ●;40mKP 時の最大の筋活動 ■;400mKP 時の最大の筋活動

3-3. 競技レベルの違いによる比較

3-3-1. 40mKP時の所要時間、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率

上位群と下位群の40mKP時の所要時間、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率を表3に示した。

上位群の40mKP時の所要時間(上位群; 16.7 ± 0.7 s, 下位群; 18.1 ± 0.8 s)は下位群よりも有意に短かった($p < 0.01$)。40mKP時のBVにおいては、上位群で有意に高い値(上位群; 2.74 ± 0.05 m/s, 下位群; 2.53 ± 0.08 m/s $p < 0.01$)を示したが、SL、SRにおいて両群に有意な差はみられなかった。40mKP時の局面時間、局面時間比率においては、上位群、下位群共にP局面にかかる時間、時間比率がR局面よりも有意に大きかった($p < 0.01$)。R局面時間においては、上位群が下位群よりも有意に小さかった($p = 0.049$)。その他のP局面時間、P局面時間比率、R局面時間比率においては群間で有意な差はみられなかった。

表 3; 40mKP 時 パドリングタイム、BV、SL、SR、局面時間、時間比率

	上位群	下位群	p 値
40mKP パドリングタイム(s)	$16.7 \pm 0.7^{**}$	18.1 ± 0.8	$p < 0.01$
40mKP BV(m/s)	$2.74 \pm 0.05^{**}$	2.53 ± 0.08	$p < 0.01$
40mKP SL(m/stroke)	1.71 ± 0.18	1.73 ± 0.20	$p = 0.80$
40mKP SR(stroke/min)	97.1 ± 9.1	89.0 ± 12.0	$p = 0.12$
40m P 局面時間(s)	$0.35 \pm 0.03^{+}$	$0.37 \pm 0.08^{+}$	$p = 0.53$
40m R 局面時間(s)	$0.28 \pm 0.04^{*}$	0.32 ± 0.04	$p = 0.049$
40m P 局面時間比率(%)	$55.8 \pm 3.0^{+}$	$53.1 \pm 5.3^{+}$	$p = 0.20$
40m R 局面時間比率(%)	44.4 ± 2.9	46.9 ± 5.3	$p = 0.22$

平均値 $\pm$ 標準偏差

* $p < 0.05$ vs 下位群

** $p < 0.01$ vs 下位群

⁺ $p < 0.05$ vs R 局面

3-3-2. 400mKP時の所要時間、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率

400mKP時の所要時間(パドリングタイム)、BV、SL、SR、局面時間、局面時間比率を表4に示した。400mKP時のパドリングタイム(上位群; 229.8 ± 4.3 s, 下位群; 262.8 ± 14.6 s)、BV(上位群; 2.42 ± 0.04 m/s, 下位群; 2.25 ± 0.10 m/s)においては上位群と下位群の間に有意な差がみられた($p < 0.01$)。また、局面時間と局面時間比率においては、上位群、下位群共にP局面がR局面よりも有意に大きかった($p < 0.01$)。

表 4: 400mKP 時のパドリングタイム、BV、SL、SR、局面時間、時間比率

	上位群	下位群	p 値
400mKP パドリングタイム(s)	$229.8 \pm 4.3^{**}$	262.8 ± 14.6	$p < 0.01$
400mKP BV(m/s)	$2.42 \pm 0.04^{**}$	2.25 ± 0.10	$p < 0.01$
400mKP SL(m/stroke)	1.82 ± 0.19	1.75 ± 0.15	$p = 0.39$
400mKP SR(stroke/min)	80.8 ± 8.4	77.8 ± 6.3	$p = 0.41$
400m P 局面時間(s)	$0.42 \pm 0.04^{+}$	$0.42 \pm 0.07^{+}$	$p = 0.86$
400m R 局面時間(s)	0.33 ± 0.04	0.35 ± 0.03	$p = 0.24$
400m P 局面時間比率(%)	$55.8 \pm 2.3^{+}$	$54.2 \pm 4.9^{+}$	$p = 0.86$
400m R 局面時間比率(%)	44.2 ± 2.3	45.8 ± 4.9	$p = 0.86$

平均値 $\pm$ 標準偏差

$^{**}p < 0.01$ vs 下位群

$^{+}p < 0.05$ vs R 局面

BVにおいて、上位群と下位群との間に有意な差がみられたため、lap1~lap5までのBVに関して2要因分散分析を行った(図12)。その結果、交互作用は認められなかったが、群間と時間の経過による主効果が認められた。上位群は下位群よりも有意に高い値を示し($p < 0.01$)、時間の経過による差では、lap1がlap2($p < 0.01$)、lap3($p < 0.01$)、lap4($p < 0.01$)、lap5($p < 0.01$)よりも有意に高く、lap2はlap3($p = 0.013$)とlap4($p = 0.027$)よりも有意に高い値を示した。このように、時間の経過によってKP時のBVは低下していった。

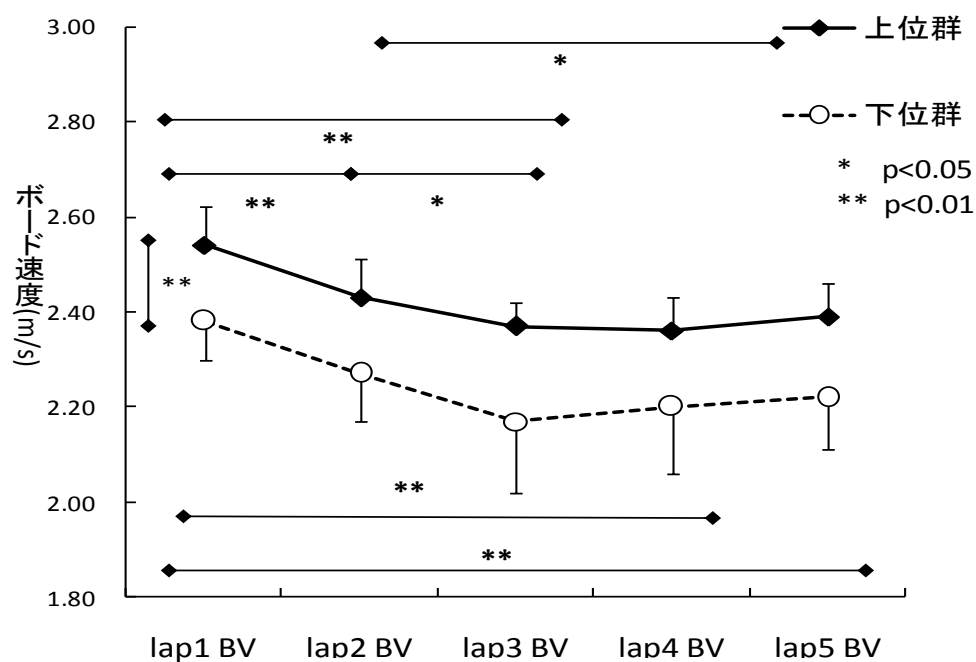


図 12; 400mKP 時の BV lap1~lap5

3-3-3. 40mKP時の時系列データ10%ごとの筋活動

40mKP動作中の筋活動に関しては全ての筋群において交互作用は確認されなかった。三角筋後部のP局面・R局面、僧帽筋上部P局面・R局面、大胸筋のP局面・R局面、広背筋P局面・R局面、脊柱起立筋P局面・R局面においては時間の経過による主効果が確認された。

三角筋後部では、P局面の60~70%において筋活動量が増加し、P局面では上位群が100%(53.44±38.82%MVC)で、下位群が80%(54.07±22.10%MVC)で最も筋活動が大きかった。R局面では上位群が10%(44.15±29.32%MVC)で、下位群が20%(58.64±48.51%MVC)で最大値を示した。

大胸筋ではP局面の10~20%で増加、80~90%で筋活動量が低下し、両群共に50%で最大値(上位群;80.54±38.85%MVC, 下位群;99.25±37.30%MVC)を示した。R局面では両群共に100%(上位群;20.69±17.60%MVC, 下位群;28.12±24.35%MVC)で最も大きな筋活動を示した。

広背筋ではP局面の30~40%で筋活動量が増加し、上位群が60%(75.15±48.00%MVC)で、下位群が70%(67.74±28.54%MVC)で最も大きな筋活動を示した。R局面では上位群が10%(19.61±13.50%MVC)で、下位群が100%(19.81±11.54%MVC)で最も大きな筋活動を示した。

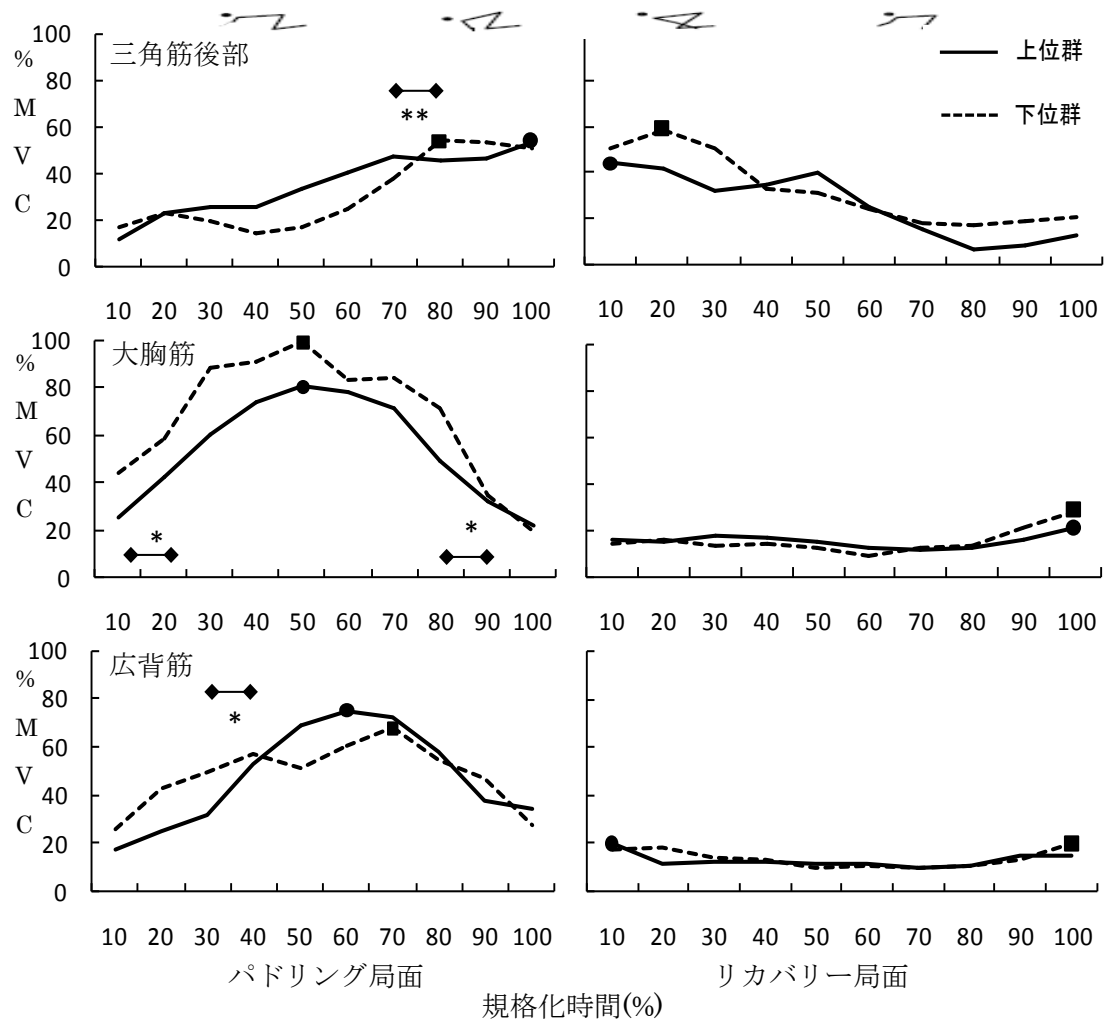


図 13; 40m KP 時の時系列データ 10%ごとの筋活動 *p<0.05 **p<0.01

●;上位群の最大の筋活動 ■;下位群の最大の筋活動

僧帽筋上部においてP局面で最大の筋活動を示したのは、両群共に100%(上位群;45.58±37.71%MVC, 下位群;33.04±22.40%MVC)の時であり、R局面では20%(上位群;90.57±42.12%MVC, 下位群;62.54±28.72%MVC)の時に最も大きな値を示し、R局面の50~60%、70~80%で筋活動量が低下した。

脊柱起立筋では両群共にP局面では100%で最大値(上位群;46.60±54.19%MVC, 下位群;51.17±42.68%MVC)を示し、R局面では10%で最大値(上位群;52.50±63.13%MVC, 下位群;48.95±38.34%MVC)を示した。

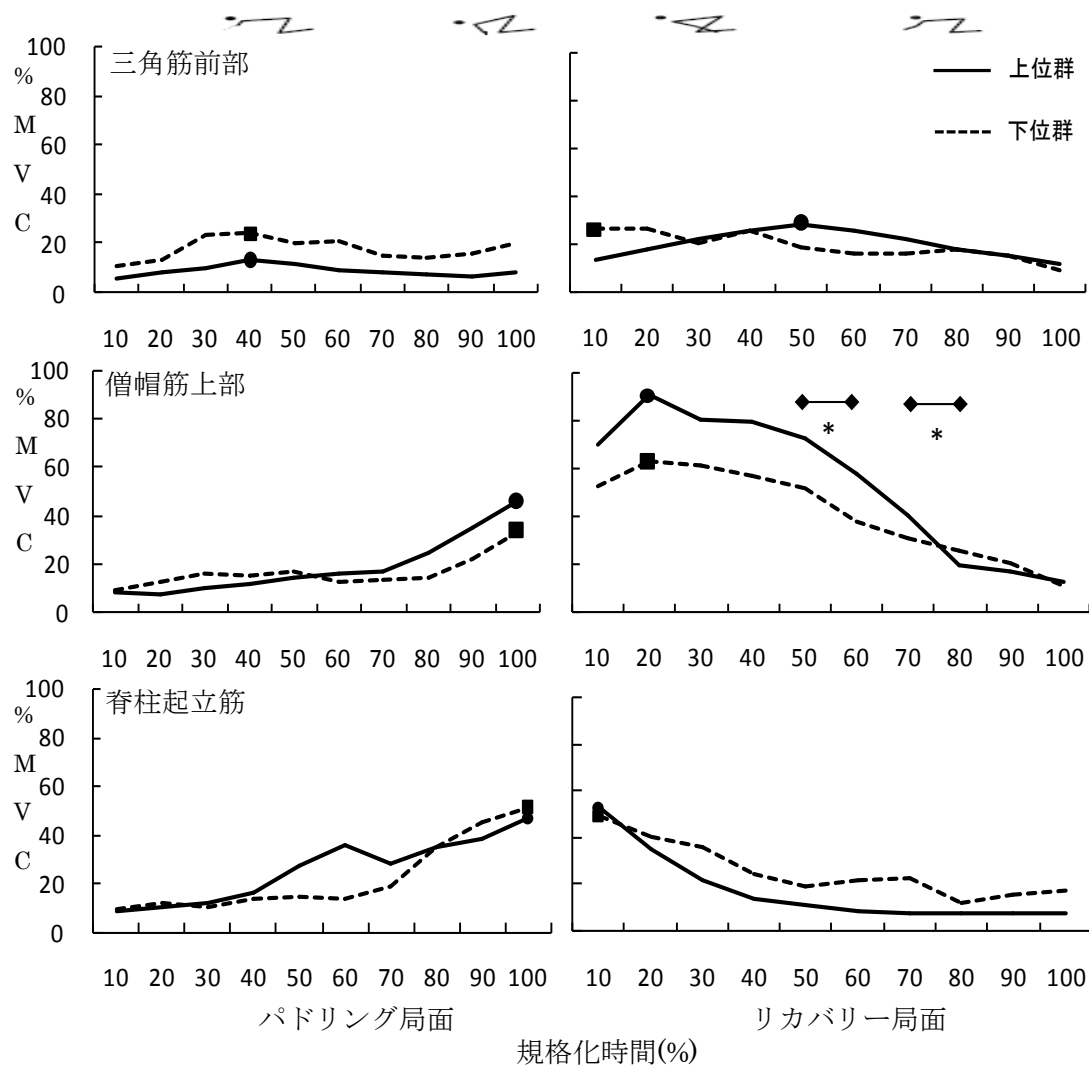


図 14; 40m KP 時の時系列データ 10%ごとの筋活動 * $p < 0.05$

●;上位群の最大の筋活動 ■;下位群の最大の筋活動

3-3-4. 400mKP時の時系列データ10%ごとの筋活動

400mKP時の時系列データ10%ごとの筋活動を図15、図16に示した。400mKP時の筋活動に関しては三角筋後部のP局面において交互作用が確認された($p=0.031$)。P局面の90%において、上位群の筋活動量は下位群よりも有意に低い値(上位群; $26.25 \pm 12.25\%$ MVC, 下位群; $44.21 \pm 14.80\%$ MVC)を示した($p=0.044$)。また、時間の経過による主効果も確認され、上位群は40~60%で有意な増加をし($p<0.01$)、下位群では40~50%で有意な筋活動がみられ($p=0.043$)、上位群は70%の時に、下位群は80%の時に最も大きな筋活動(上位群; $48.45 \pm 21.32\%$ MVC, 下位群; $44.21 \pm 14.80\%$ MVC)を示した。

その他の筋群には交互作用は確認されなかったが、三角筋前部のR局面、三角筋後部のR局面、僧帽筋上部P局面・R局面、大胸筋のP局面・R局面、広背筋P局面・R局面、脊柱起立筋のP局面・R局面においては時間の経過による主効果が確認された。

三角筋後部のR局面では、上位群が20%で、下位群は30%の時に最も大きな筋活動(上位群; $27.27 \pm 25.03\%$ MVC, 下位群; $28.49 \pm 15.73\%$ MVC)を示した。

大胸筋ではP局面の10~50%で筋活動量が増加し、両群ともに50%の時に最も大きな筋活動(上位群; $92.91 \pm 30.17\%$ MVC, 下位群; $97.12 \pm 41.22\%$ MVC)を示した。最大値を示した後、60~80%で筋活動が低下した。R局面では両群共に100%の時に最も大きな筋活動(上位群; $25.86 \pm 20.41\%$ MVC, 下位群; $23.63 \pm 18.30\%$ MVC)を示した。

広背筋ではP局面の30~60%で筋活動量が増加し、両群共に60%の時に最も大きな筋活動(上位群; $70.50 \pm 23.04\%$ MVC, 下位群; $66.23 \pm 43.28\%$ MVC)を示した後、70~90%で筋活動が低下した。R局面では上位群が10%の時に最も大きな筋活動($12.26 \pm 8.54\%$ MVC)を示し、下位群は90~100%で筋活動が増加した後、100%の時に最大値($14.07 \pm 7.33\%$ MVC)を示した。

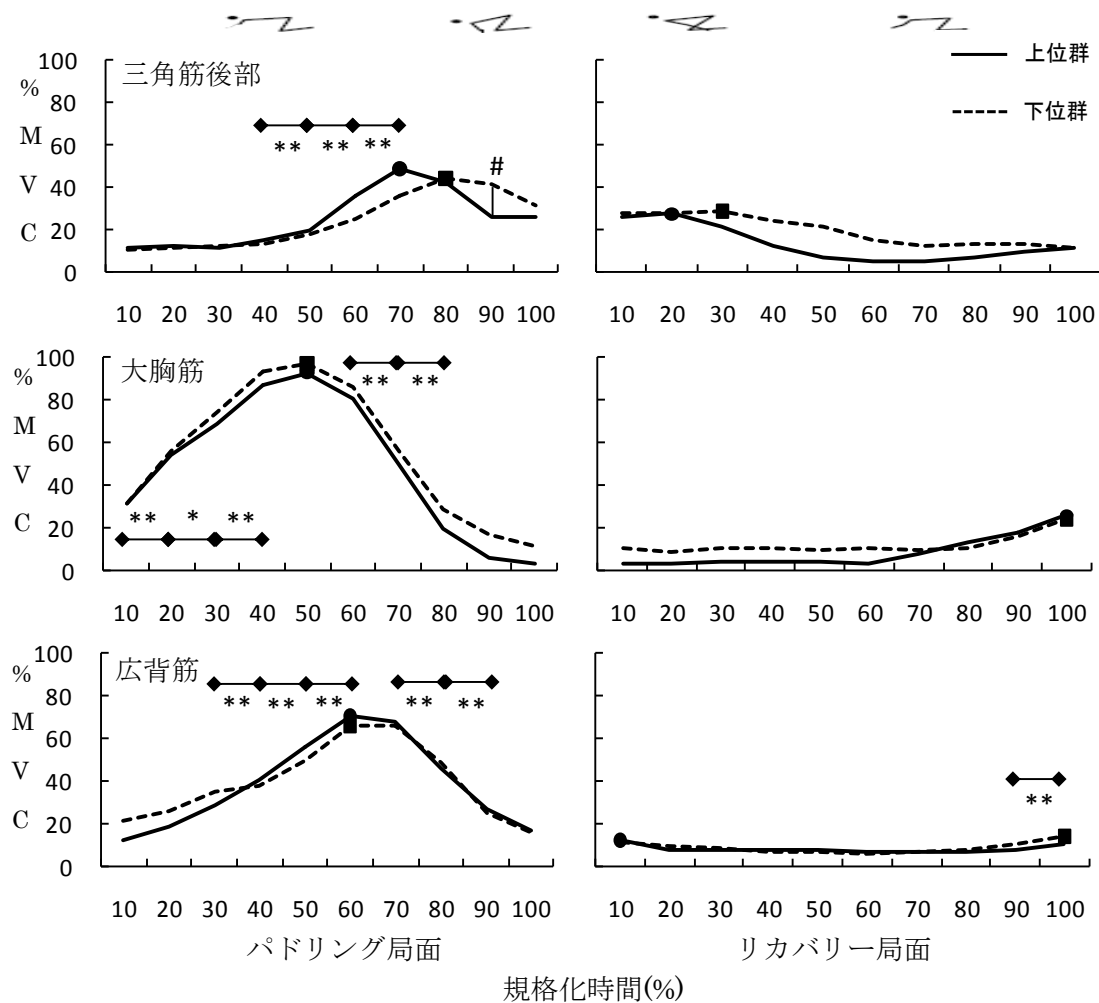


図 15: 400m KP 時の時系列 10%データごとの筋活動

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ # $p < 0.05$; 群間の主効果

●; 上位群の最大の筋活動 ■; 下位群の最大の筋活動

三角筋前部のP局面で最も大きな筋活動を示したのは、上位群で50%の時、下位群では30%(上位群: $9.65 \pm 4.22\%$ MVC, 下位群: $17.11 \pm 27.02\%$ MVC)の時であった。R局面では上位群が40%の時に、下位群では30%の時に筋活動(上位群: $12.54 \pm 5.64\%$ MVC, 下位群: $11.99 \pm 8.35\%$ MVC)が最も大きくなった。

僧帽筋上部ではP局面の80~100%で筋活動量が増加し、両群共に100%の時に筋活動(上位群: $45.78 \pm 25.41\%$ MVC, 下位群: $29.55 \pm 19.02\%$ MVC)が最も大きくなっていった。R局面では、

両群共に30%の時に最も大きな値(上位群; $58.79 \pm 35.89\%$ MVC, 下位群; $43.25 \pm 22.29\%$ MVC)を示した。

脊柱起立筋においては、P局面では上位群が100%の時に最も大きな値($38.99 \pm 24.70\%$ MVC)を示し、下位群は90%の時に筋活動($40.57 \pm 24.33\%$ MVC)が最も大きくなった。R局面では両群共に10%の時に最も筋活動(上位群; $33.67 \pm 29.89\%$ MVC, 下位群; $39.42 \pm 20.73\%$ MVC)が大きく、40~50%にかけて筋活動が低下した。

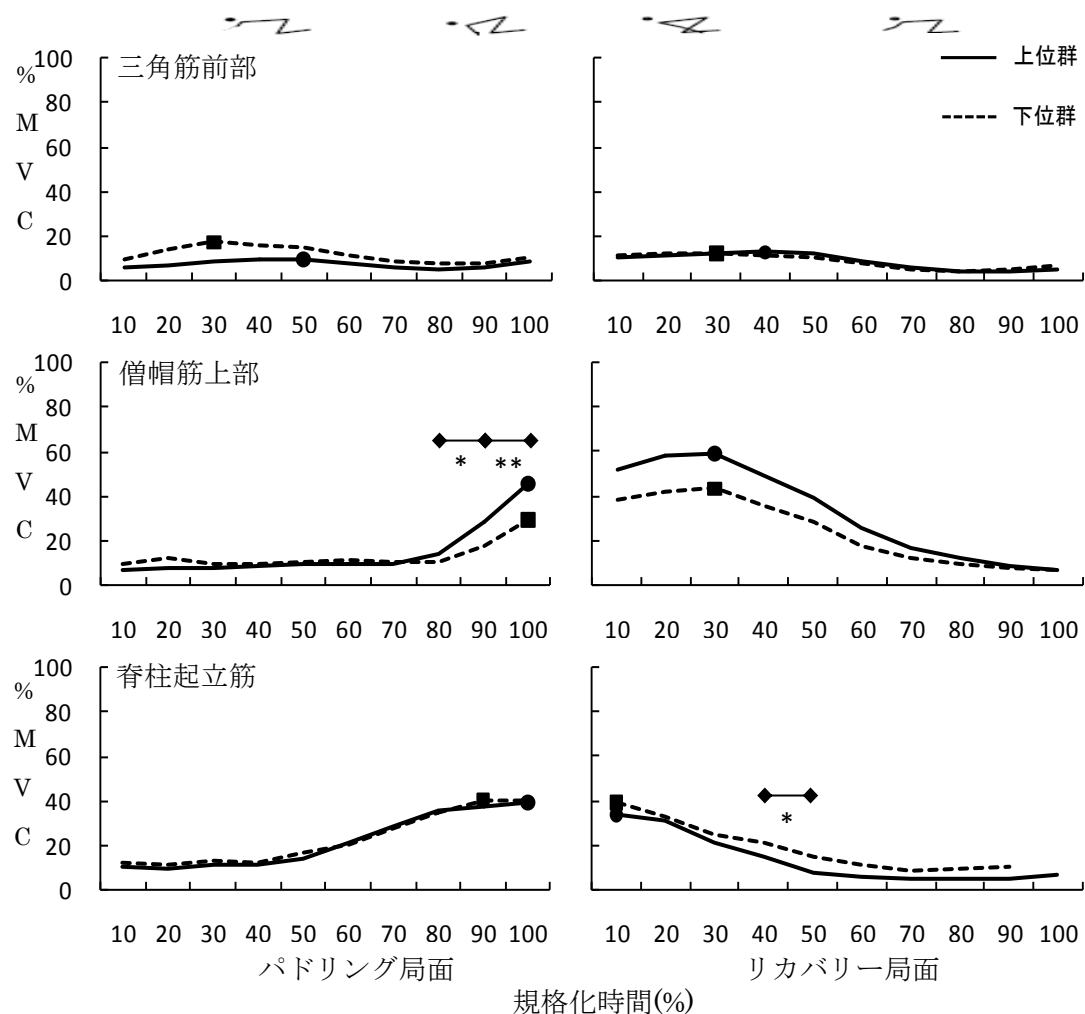


図 16; 400m KP 時の時系列 10%データごとの筋活動 *p<0.05 **p<0.01

●;上位群の最大の筋活動 ■;下位群の最大の筋活動

3-3-5. 400mKP時の lap1~lap5における三角筋後部の時系列データ10%ごとの筋活動

400mKP時の三角筋後部に交互作用がみられたため、lap1~lap5における三角筋後部の時系列データ10%ごとの筋活動を図17に示した。lap5のP局面において上位群と下位群に交互作用がみられた($p=0.024$)。lap5においては、P局面の50~60%において筋活動が増加し、上位群では70%で、下位群では80%の時に最も大きな筋活動(上位群; $50.88 \pm 19.74\%$ MVC, 下位群; $50.48 \pm 16.90\%$ MVC)を示した。上位群では80~90%にかけて筋活動が低下し、90%において上位群は下位群よりも有意に低い値となった。R局面では交互作用はみられず、上位群は20%の時に、下位群は10%の時に最も大きな値(上位群; $24.99 \pm 22.68\%$ MVC, 下位群; $30.54 \pm 17.91\%$ MVC)を示した。その他、lap1~lap4においては、交互作用はみられなかった。

lap1のP局面では、上位群が70%、下位群が90%の時に最も大きな筋活動(上位群; $56.49 \pm 29.50\%$ MVC, 下位群; $44.42 \pm 20.90\%$ MVC)を示し、R局面では上位群が20%の時に、下位群が30%の時に最も大きな値(上位群; $30.41 \pm 24.82\%$ MVC, 下位群; $44.42 \pm 20.90\%$ MVC)を示した。lap2のP局面では上位群が70%の時に、下位群が90%の時に筋活動(上位群; $42.05 \pm 22.50\%$ MVC, 下位群; $41.21 \pm 23.55\%$ MVC)が最大になり、R局面では、上位群が10%の時、下位群が30%の時に最も大きな筋活動(上位群; $28.04 \pm 20.16\%$ MVC, 下位群; $27.91 \pm 14.62\%$ MVC)を示した。lap3ではP局面は上位群が70%で、下位群が80%の時に筋活動(上位群; $49.75 \pm 23.79\%$ MVC, 下位群; $43.10 \pm 18.29\%$ MVC)が最大となり、R局面では上位群が20%の時に、下位群が10%の時に最も大きな筋活動(上位群; $26.70 \pm 27.97\%$ MVC, 下位群; $26.49 \pm 16.76\%$ MVC)を示した。lap4においては、P局面で両群共に80%で最も大きな筋活動(上位群; $43.41 \pm 25.78\%$ MVC, 下位群; $44.22 \pm 15.62\%$ MVC)を示し、R局面では上位群が20%で、下位群では30%の時に筋活動(上位群; $27.72 \pm 30.36\%$ MVC, 下位群; $25.42 \pm 19.86\%$ MVC)が最大となった。

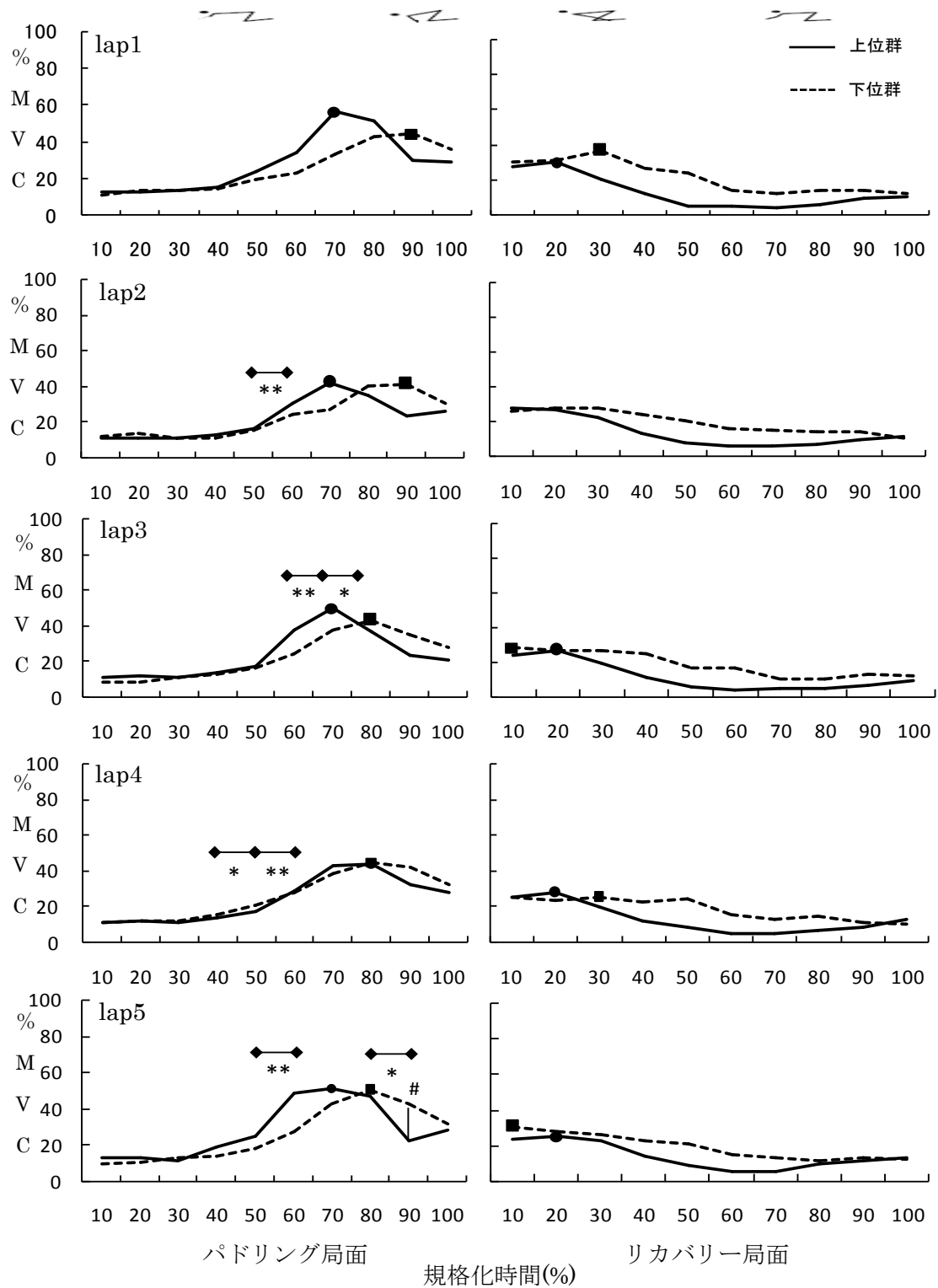


図 17; 400mKP 時の lap1~lap5 における三角筋後部の筋活動

*p<0.05 **p<0.01 #p<0.05; 群間の主効果

●;上位群の最大の筋活動 ■;下位群の最大の筋活動

4. 考察

4-1. KP動作中の上半身の筋活動

先行研究により、KP動作は上半身における肩関節の屈曲伸展、体幹の屈曲伸展動作であると報告されている(須田, 2007)。そのため、P局面では肩関節の伸展動作に伴い、三角筋後部、大胸筋、広背筋の筋活動が大きくなり、手の出水時に肩甲骨の挙上、体幹の伸展動作により僧帽筋上部、脊柱起立筋の筋活動が大きくなり、そして、R局面では肩関節屈曲に伴い三角筋前部の筋活動が大きくなると予想された。本研究において、KP動作中の筋活動を測定したところ、仮説通りの結果となった。

KPでのP局面の動作は、水泳のバタフライ泳法のように両腕を動かし肩関節の伸展を伴うが、R局面においては、両腕を身体の外側ではなく、内側を通るように肩関節を屈曲させて腕を入水位置へと戻すため、バタフライ泳法とは異なる動作である。Gordonら(1986)、Scottら(2010)は、バタフライ泳法のプル・プッシュ局面では広背筋と大胸筋の筋活動が大きくなり、リカバリー局面では棘上筋、棘下筋、三角筋中部の筋活動が高まると報告しており、プル・プッシュ局面では初期に大胸筋の筋活動が高まり、終盤に広背筋の筋活動が大きくなっている。また、Gordonら(2010)は先行研究の中でバタフライ泳法の筋活動はクロール泳に類似していると報告している。

クロール泳1ストローク中の筋活動を測定したMarilynら(1991)の研究では、三角筋後部、大胸筋、広背筋の筋活動を測定しており、水中動作が始まり、上腕骨が水面と垂直になった地点で大胸筋が最も大きな筋活動を示し、その後、広背筋が最も大きな筋活動を示し、最後に水中動作の終盤で三角筋後部が最も大きな筋活動となっていた。このことはKP動作中のP局面における3筋の筋活動と類似している。まず、大胸筋の筋活動が水中動作の入水から50%の時に最大値となり、その後、広背筋が70%で最大値を示した。そして、最後に三角筋後部がパドリング局面における終盤の100%の時に筋活動が最大値を示していた。このことから、KPのP局面に関しては、先行研究でのバタフライ泳法の筋活動、クロール泳の筋活動の結果と類似していると言える。そのため、KP動作のP局面に関してはクロール泳、

バタフライ泳の指導を参考にできる可能性がある。従来よりKPの上半身の動きを習得していく際には、水をつかむ感覚を養うためにもプールでの練習が行われていたが、本研究の結果よりクロール泳やバタフライ泳を練習に取り入れることで、KPの練習になるとも考えられる。また、P局面はKPの推進力を生む局面であり、その局面で筋活動が大きかった大胸筋、広背筋の働きは重要であると考えられる。そのため、大胸筋と広背筋を強化することでKPのパドリング力を強化することができると考えられる。

本実験では先行研究では比較の行われていない僧帽筋上部、脊柱起立筋について測定しており、P局面の終わり、出水時となる100%においては三角筋後部、僧帽筋上部と脊柱起立筋が最も大きな筋活動を示した。三角筋後部に関しては、肩関節伸展動作が続いており、僧帽筋上部、脊柱起立筋に関しては、R局面で再び腕を入水する準備のため、肩甲骨の挙上と体幹の伸展動作が起こったためと考えられる。

R局面においては、脊柱起立筋が初期である10%の時に、僧帽筋上部が20%の時に、三角筋前部が40%の時に最も筋活動が大きくなった。つまり、R局面では再びP局面に手に戻すために、体幹を伸展させながら肩をすくませる動作を行い、その後、肩関節を屈曲させることで腕を前に戻そうとしているためと考えられる。しかし、三角筋前部のR局面での最大の筋活動は、約25%MVCであり、時間の経過による筋活動の変化はみられなかった。そのため、R局面での三角筋前部の貢献率は低いと考えられる。須田(2007)の先行研究において、R局面では股関節、膝関節の伸展動作が行われており、時間の経過により股関節は40°~60°、膝関節は45°~60°と増加したと報告している。そのため、R局面では、体幹を伸展させながら肩をすくませる動作を行い、そして、肩関節の屈曲、股関節の伸展、膝関節の伸展動作を行いながら腕を前に返していると考えられる。

また、R局面の終盤では、大胸筋と広背筋の筋活動が100%の時に最も大きな値を示していた。これはP局面の予備動作のためと考えられる。R局面の終盤で入水の準備を行い、手が入水した後、そのまま肩関節の伸展動作を始めるため、R局面終盤に、大胸筋と広背筋の筋活動が最も大きくなり、そのままP局面で筋活動が大きくなっていたと考えられる。

4-2. 距離の違いによる比較

4-2-1. 40mKP時と400mKP時の筋活動

40mKP時と400mKP時の筋活動を比較したところ、三角筋前部、三角筋後部、僧帽筋上部のR局面、広背筋、脊柱起立筋のR局面で群間による主効果がみられ、40mKP時の筋活動が400mKP時よりも大きかった。これは、本研究においてP局面、R局面共に40mKP時の局面時間が、400mKP時よりも短く($p<0.01$)、40mKP時に400mKP時よりもSRが大きくなっているため、より速い動作を行っていたからであると考えられる。先行研究では、陸上運動、水中運動どちらにおいても、速い速度で運動を行った時に筋活動が大きくなると報告されている(三好ら 2003、井上 2007、沢井 2008)。つまり、40mKP時には、SRが400mKP時より大きく、より速い動作を行っているため、筋活動が大きくなったと考えられる。

40mKP時と400mKP時との比較では、P局面の三角筋後部、大胸筋において交互作用がみられた。三角筋後部は肩関節を伸展させる筋肉であり、40mKP時にはP局面の100%の時に最も大きな筋活動を示し、R局面の20%まで筋活動が大きくなっている。つまり、40mKP時には、手が出水し、R局面の初期段階まで肩関節の伸展動作が行われていると考えられる。一方、400mKP時にはP局面の80%の時に筋活動が最も大きくなっており、その後、筋活動は小さくなっている。そのため、400mKP時には40mKP時と比較して筋活動が小さく、特に出水前に三角筋後部の筋活動は小さくなっていくと考えられる。

大胸筋においては、70~100%にかけて群間に主効果がみられ、40mKP時の筋活動が400mKP時よりも有意に大きかった。これは40mKP時において、三角筋後部による肩関節伸展動作が出水後まで行われており、この三角筋後部の筋活動の増加と共に、大胸筋の筋活動も大きな値のままであったため、違いがうまれたと考えられる。400mKP時には、三角筋後部と共に筋活動が小さくなっており、このことから、40mKP時ほど出水前に肩関節伸展動作を行っていないと考えられる。

また、三角筋前部、僧帽筋上部のR局面において、40mKP時には400mKP時よりも筋活動が大きくなっていたことから、三角筋後部と大胸筋の筋活動の違いは推測することができる。40mKP時のR局面時間は400mKP時よりも有意に短く、40mKP時には400mKP時よりも早い動作を行っており、それによって三角筋前部、僧帽筋上部の筋活動は大きくなっている。R局面の初期では、僧帽筋上部を用いて肩をすくませる動作を行い、その後、三角筋前部を機能させ、肩関節を屈曲させる。一方、三角筋後部ではR局面の初期段階である20%まで筋活動が大きくなっており、また、大胸筋の筋活動も大きなままであった。三角筋後部、大胸筋による肩関節伸展での動作は、腕を前に戻すための肩甲骨の挙上、肩関節屈曲動作とは反対の動きであるため、肩関節伸展動作を行いながら、腕を前に返さなければならない。つまり、僧帽筋上部、三角筋前部の筋活動を大きくすることで、肩関節伸展動作に対して反作用となる肩関節屈曲動作を行っていると考えられる。そのため、三角筋後部と大胸筋の筋活動が大きくなっていたと考えられる。

4-2-2. 40mKP時と400mKP時のBV、SL、SR、局面時間、局面時間比率

先行研究より、水泳の泳速度はストローク長とストローク頻度を乗じて求められるとされており(松井ら, 1998)、ライフセービングにおけるKPのBVもSLとSRから求められると考えられ、先行研究においても同様の方法で算出されている(須田, 2007)。本研究においても同様の方法でBVを算出し、40mKP時と400mKP時のBVに有意な差がみられた($p<0.01$)。この時、SRにおいて40mKP時と400mKP時に有意な差がみられ($p<0.01$)、SLでは有意な差は認められなかった。このことから、KPのBVはSRによる影響を受けると考えられる。

水泳においては、距離が長くなればストローク頻度を低くし、ストローク長を維持、もしくは長くすることが示されている(Albert, 1985)。本研究における40mKP時と400mKP時の比較では、BVとSRに有意な差がみられた。そのため、KPにおける距離の変化によるBVとSL、SRの関係は、短距離の時にはSRを高くし、長距離の時にはSRを短距離の時よりも低くすると考えられる。本実験ではSLに関しては有意な差はみられなかったが、BVはSR

とSLの積によって算出されるので、SLもBVに関しては重要な要素であると考えられる。より早いBVを獲得するためにもSLを短くすることなくSRを高くしていくことが必要であろう。

Seifertら(2004)は、競泳選手では泳速度が増すと1 ストロークにおけるキャッチ局面時間比率を少なくし、プル・プッシュ局面時間比率を多くして、ストローク頻度の高い泳ぎをすると報告している。本実験ではKP1ストロークを手が入水しているP局面と手が出水しているR局面の二つの局面に分けて分析を行った。40mKP時、400mKP時共にP局面にかかる時間と割合がR局面にかかる時間と割合よりも有意に大きかった($p<0.01$)。また、SRに有意な差があったことから、400mKP時の方が40mKP時よりも1ストロークにかかる時間は有意に大きくなったといえる($p<0.01$)。つまり、手部から推進力が生まれないR局面にかかる時間を少なくすることで、手部から推進力を生むP局面をより速く開始することができ、このことが大きなSR獲得につながり、KPのBVもより速くなるのではないかと考えられる。

4-3. 競技レベルの違いによる比較

4-3-1. KP動作中の筋活動

40mKP時、400mKP時において、上位群と下位群の筋活動に交互作用がみられたのは400mKP時のP局面における三角筋後部だけであった($p=0.031$)。上位群では水中動作の70%で筋活動が最も大きくなり、P局面の終盤である90%の時に下位群と比較して有意に筋活動が小さくなっていた。そのため、上位群ではP局面の終盤では筋活動が低下しており、下位群では大きな筋活動を維持したままであったと考えられる。つまり、下位群は上位群と比較して、P局面の終盤、出水間近まで肩関節伸展動作を行っていたと考えられる。実際、先行研究においては、P局面の終盤の下位群の肩関節角度は、上位群に比べて有意に小さくなっている(須田, 2007)。このことから下位群は、上位群よりも肩関節伸展動作変位が大きいと考えられる。しかし、これは40mKP時と400mKP時

の比較とは矛盾する結果であった。40mKP時と400mKP時の比較では、BVが速かった40mKP時では肩関節伸展動作を出水後まで行っていたと思われる。それゆえ、40mKP時におけるSRの方が筋活動よりもBV与える影響が大きかったためではないかと考えられる。

また、上位群では下位群よりも筋活動が最大になる時間が早かったこともBVに影響を与えた可能性はある。水泳では、プル動作の時の大胸筋と三角筋後部の筋活動を重ねることで泳パフォーマンスが向上したという報告がなされている(身のこなしラボラトリー, 2007)。本実験では、上位群において、大胸筋と広背筋が大きな筋活動を維持している時に、同時に三角筋後部の筋活動が最大値に達した。これは、上位群が下位群よりも大胸筋、広背筋と三角筋後部でのP局面の動作が重なっていることを示しており、この違いがBVに影響を与えていた可能性もある。

一方、肩関節伸展動作の増大はボードの上下動を増加させる可能性もある。ボードの上下動はボードに対する抵抗を増加させることにつながり、KPのBVを低下させると考えられる。しかし、本実験ではボードの上下動に関しては測定していないため、ボードの上下動がBVに与える影響については断定することはできないが、ボードに与える抵抗に関しても考慮する必要があると考えられる。

本実験ではKP動作を水上カメラのみで撮影したため、水中の動作を撮影することはできなかった。そのため、KP1ストロークをP局面、R局面に分けて分析するとともに、時系列データの筋活動を算出することとなったが、被験者によっては、水中での腕の位置に違いがある可能性も考えられる。そのため、水中動作を撮影し、その映像を用いて筋活動を解析していくことで、より詳細にKP動作中の筋活動を算出することができると考えられる。また、KPの動作分析を行った先行研究では、体幹、股関節、大腿角度に上位群と下位群との間に違いがみられたと報告されている(須田, 2007)。KPにおける下半身の動作は、直接的に推進力を生みださない動作であると考えられるが、推進力を生みだしている上半身の動作とのコーディネーションは重要になってくるであろう。そ

のため、KP動作中の下半身の筋活動を測定することも重要である。本実験ではKP動作中の上半身の筋活動を測定したが、KP動作中の下半身の筋活動を測定して、KP動作を生理学的要素から分析していく必要があるだろう。そして、水中動作を含めた上半身の筋活動も算出することで、KPのBVに影響を与える要素を明らかにしていくことができるのではないかと考えられる。

4-3-2. 上位群と下位群の40mKP時と400mKP時の所要時間

本研究では40mKP時、400mKP時の所要時間において、上位群と下位群で有意な差がみられた($p<0.05$)。40mKP時では上位群が下位群よりもBVが早かったため、タイムが短かったが、400mKP時では40m間を5往復するため、ボードを一度静止させ、ボードを反転させて再びスタートする技術も必要となる。400mKP時においては、上位群のBVが下位群よりも速かったことも影響はしているが、上位群ではボードを反転させる技術に優れているため、所要時間が短かった可能性も考えられる。

4-3-3. 上位群と下位群の BV、SL、SR

本実験においても先行研究にならい、KPのBVをSLとSRを乗じて算出したが、40mKP時、400mKP時のBVにおいて、上位群で有意に高い値を示していた($p<0.01$)。これは40mKP時、400mKP時の所要時間の結果とも一致する。しかし、40mKP時、400mKP時ともにSL、SRには両群に有意な差はみられなかった。これは須田(2007)が報告した結果とは異なるが、本研究において、BVはSLとSRを乗じることによって算出しているため、BVに差が生まれたと考えられる。

400mKP時においては、lap1がlap2($p<0.01$)、lap3($p<0.01$)、lap4($p<0.01$)、lap5($p<0.01$)よりも有意に高く、lap2はlap3($p=0.013$)とlap4($p=0.027$)よりも有意に高い値を示した。これらのことは、lap1のBVをlap2以降では維持することができなかったことを示している。また、SRではlap1がlap2よりも有意に高い値を示し($p<0.01$)、SLにおいては時間の経過に

よる主効果も認められたことから、SRとSLを維持できなかったことがBVに影響を与えていた可能性もある。つまり、BVの低下はSL、もしくはSRの低下によるものであると考えられる。これは須田(2007)が報告した先行研究の結果と同様であった。

本実験において、被験者特性として年齢、身長、体重を測定したが、年齢においては上位群が有意に高く($p=0.03$)、体重においては下位群の方が重い傾向がみられた($p=0.07$)。年齢が高ければライフセービング経験歴も長くなり、ボードを扱う技術も高くなる。その影響がBVに影響した可能性もある。また、本実験では同一のボードを使用したため、体重の重かった下位群では、上位群よりもボードが沈み、それが抵抗となることでBVに差が生まれたとも考えられる。

4-3-4. 上位群と下位群の局面時間、局面時間比率

両群共に、P局面にかかる時間と時間の割合がR局面にかかる時間と時間の割合よりも有意に大きな値を示した($p<0.01$)。両群共に、手部から推進力が生まれないR局面にかかる時間を少なくし、手部から推進力を生むP局面をより速く開始していたと思われる。

40mKP時のR局面時間では上位群が下位群よりも有意に短かった($p=0.049$)。このことは須田(2007)が報告しているKP動作中の股関節角速度と体幹角速度において、上位群と下位群に有意な差があったことから起こっている可能性がある。先行研究では肩関節の角速度には違いはなかったが、R局面の0~40%における体幹の角速度、R局面の30~70%における股関節の角速度が、上位群で下位群よりも有意に大きかったことを示している。この角速度の違いが上位群と下位群のR局面にかかる時間に影響を与えており、上位群においては、手部からの推進力が生まれないR局面にかかる時間の割合を少なくし、手部からの推進力を生むP局面により早く移行していたと考えられる。P局面に早く移行できることはより大きなSRを獲得することにつながり、より速いBVの獲得につながるといえる。

400mKP時におけるlap1~5の局面時間と局面時間比率全てにおいて、上位群と下位群との間に有意な交互作用は認められなかったが、P局面時間に関しては時間の経過による主効

果がみられた($p=0.016$)。400mKPにおいては時間の経過によりP局面にかかる時間が長くなり、このことがSRの低下に影響を与えているとも考えられる。

本実験は、海では波や風などの自然環境の変化により、被験者全員に対して同じ状況下での実験を行うことはできないと判断したため、50mプールで行ったが、このことが本実験の最も大きな課題である。更なる研究やコーチングに活用されるためにも、救助の現場や競技会に近い状況下で実験が行うことが大切であり、このような問題は今後解決していかなければならない。また、体重の違いによって影響を受けない器材の使用や被験者の選定を行うことでより信頼性のあるデータが得られた可能性も考えられる。

しかし、KPの筋活動を測定した先行研究はこれまでに笠井ら(2004)のものしかなく、また、本実験は各ライフセービング競技会にて優秀な成績を収めたライフセーバーを被験者にすることができたため、これらの結果はKPの指導方法、トレーニング方法、研究活動において貴重な基礎資料になると考えられる。本実験では、三角筋後部において距離や競技レベルの違いによって筋活動に差がみられたが、このことは、KPにおける上半身の動作が重要であることを示したと同時に、下半身の動作、そして、上半身とのコーディネーションが重要であることを再認識する結果となった。指導の現場で叫ばれていたことが間違いではなかったと考えられる。P局面の上半身の働きによって、より大きな推進力をうみ、R局面の上半身の働き、そしてKP1ストローク中の下半身の働きによって、いかに抵抗を減らし、BVの低下を防いでいくかということがKPにおいて重要になってくると考えられる。KPを指導していく際には、この点に注目すべきであると考ええる。

5. まとめ

本論文ではライフセービングにおけるボードパドリング、特にKPに焦点を当て、今後のライフセービングにおけるKPの指導方法やトレーニング方法のための基礎資料とするために、KPの筋活動を測定した。また、距離の違い、競技レベルの違いによるKPの筋活動の比較を行い、KP動作中の筋活動に関して検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. KPにおける筋活動では、P局面においては肩関節伸展動作が始まることによって、大胸筋の筋活動が水中動作の入水から50%の時に最大値となり、その後、広背筋の筋活動が最大となった。そして、P局面の終盤・出水時に三角筋後部、脊柱起立筋の筋活動が最も大きくなった。手が出水し、R局面が始まると、体幹の伸展、肩甲骨の挙上、肩関節の屈曲動作が行われることにより、脊柱起立筋ではR局面の初期である10%の時に、僧帽筋上部では20%の時に、三角筋前部では水上動作中の40%の時に最も筋活動が大きくなった。R局面の終盤では再びP局面における開始動作の準備段階として、大胸筋と広背筋の筋活動が増加し、100%の時に最も大きな筋活動を示した。P局面においては、クロール泳とバタフライ泳の筋活動と類似しているため、これまでも推奨されてきたプールでの練習を行うことも大切であると考えられる。また、P局面は推進力を生む局面であり、P局面での大胸筋と広背筋の筋活動が大きかった。そのため、大胸筋と広背筋を強化することが、KPのパドリング力を強化することにつながると考えられる。

2. 40mKP時には400mKP時よりも速いBVと高いSRを示し、一方、40mKP時と400mKP時共に局面時間と時間比率ではP局面にかかる時間がR局面にかかる時間よりも有意に大きくなっていた。このことが、手部で推進力をうむP局面の時間を大きくし、P局面へ移行するR局面の時間を短くしていたと思われる。そして、40mKP時は400mKP時よりもP局面、R局面にかかる時間が短かったことがKPのSRに影響を与えていると考えられる。

筋活動に関しては、三角筋後部と大胸筋の筋活動に違いがみられ、肩関節伸展動作の違いがBVに影響を与えていたと考えられる。また、40mKP時は三角筋前部、三角筋後部、僧帽筋上部、広背筋、脊柱起立筋において、400mKP時よりも大きな筋活動であったため、より速いBVをうみだすことができたと考えられる。

3. 競技レベルの違いによる比較では、400mKP時の三角筋後部において、上位群と下位群の間に筋活動の違いがみられた。このことにより、上位群は下位群よりも肩関節伸展動作範囲が小さかったと考えられる。また、上位群では下位群よりも三角筋後部の筋活動が最大値に達するタイミングが早く、大胸筋と広背筋の筋活動が大きな値を維持している時に筋活動が大きくなっていた。この筋活動の違いは、上位群と下位群におけるKPのBVに影響を与え、その結果、上位群の400mKPの所要時間においても違いがみられたと考えられる。40mKP時に関しては、筋活動に違いはなかったが、BVと40mKPの所要時間には違いがあった。このことは、ライフセービングの経験年数によるボードを扱う技術、そして、体重の違いが引き起こすボードの沈みによる抵抗の増加が、上位群と下位群の差を生み出したことを示している。

以上のように、ライフセービングにおけるKPでは距離の違いと競技レベルの違いにより、肩関節伸展筋の筋活動に違いがみられた。KPにおいては肩関節伸展動作の違いがBVに影響をもたらすと考えられる。KPの上半身の働きがKPのBVに影響を与えると仮説をたてたため、本実験では上半身の筋活動を測定したが、KPは全身運動であるため、下半身の動作も重要であり、下半身の筋活動を測定することで、KP動作に必要な要素をさらに明らかにできると考えられる。本実験の結果がKPの指導方法、トレーニング方法、そして、研究において基礎資料となり、更なる研究やこれからのコーチングに活用されることを期待する。

参考文献

Albert BC, Craig JR, Patriria LS, James AP, Wi l l iam LB.(1985) Velocity stroke rate, and distance per stroke elite swimming competition. Med Sci Sport Exerc, 17(6) 625-634

Celentano, F., Cortili, G., Di Prampero, P.E. and Cerretelli, P. (1974) Mechanical aspects of rowing. Journal of Applied Physiology 36: 642-647.

Chollet, D.,Chalies, S.,Chatard, J. C. (2000) A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. Int J Sports Med. 21(1):54-9

Craig, A. B., Jr.,Pendergast, D. R. (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. Med Sci Sports. 11(3):278-83

Dal Monte, A. and Komor, A. (1989) Rowing and sculling mechanics. In: Vaughan, C.L. (Ed) Biomechanics of sport. CRC Press: Boca Raton. pp. 53-119.

Drinker.P. , (1966) , WHO 報告書.

Gordon W. Nuber, Frank W. Jobe, Jacquelin Perry, Diane R. Moynes, Daniel Antonelli. (1986) Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming. Am J Sports Med January vol.14 no.1, 7-11

Gulbin J.P, J.W. Fell, P.T.Gaffney. (1996) A physiological profile of elite surf ironmen , fulltime life guard and patrolling surf lifesavers. Aust J sci mesd sports: 28. 86-90

Hagerman, F.C., Conners, M.C., Gault, J.A., Hagerman, G.R. and Polinski, W.J. (1978) Energy expenditure during simulated rowing. *Journal of Applied Physiology* 45: 87-93.

Hartmann, U., Mader, A., Wasser, K. and Klauer, I. (1993) Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *International Journal of Sports Medicine* 14: S42-S45.

Henry, J.C., Clark, R.R., McCabe, R.P. and Vanderby Jr., R. (1995) An evaluation of instrumented tank rowing for objective assessment of rowing performance. *Journal of Sports Sciences* 13: 199-206.

池田達昭, 澁谷颯一, 大岩奈青, 松尾彰文. (2009) The reality of the race performance for Japanese top kayakers, and the aims of the race strategy for the 2008 Beijing Olympic. *Japanese Journal of Elite Sports Support*, Vol.2, pp.1-11.

井上夏香. (2007) 水中と陸上運動時における下肢筋群の筋活動量. The muscle activity of lower extremities during exercise in water and on land. 早稲田大学スポーツ科学研究科修士論文.

笠井妙美, 松永尚久. (2004) ライフセービングにおけるパドリング動作～筋電図から見て～, *東京体育学研究*, pp.31-33.

(株)身のこなしラボラトリー. (2006) 筋電図から見た水泳パフォーマンスの向上

Laffite, L.P., Vilas-Boas, J.P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. & Billat, V.L. (2004) Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Can J Appl Physiol*, 29 Suppl: S17-31.

Mahler, D.A., Andrea, B.E. and Andresen, D.C. (1984) Comparison of 6-min "all-out" and incremental exercise tests in elite oarsmen. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16: 567-571.

Marilyn Pink, Jacquelin Perry, Anthony Browne, Mary Lynn Scovazzo, John Kerrigan. (1991) The normal shoulder during freestyle swimming. An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. doi: 10.1177/036354659101900603 *Am J Sports Med* December vol. 19 no. 6 569-576

Mary Lynn Scovazzo, Anthony Browne, Marilyn Pink, Frank W. Jobe, John Kerrigan. (1991) The painful shoulder during freestyle swimming. An electromyographic cinematographic analysis of twelve muscles. *Am J Sports Med* December vol.19 no.6 577-582

松井健,寺田昌裕,立貞栄治,本部洋介,生田泰志,若吉浩二,野村照夫. (1998) 競泳レースにおける 5m 毎の泳速度とストローク変数の変化日 本 選手権 200m 自由形種目における泳力別比較,スポーツ法方学研究 11 (1) 87-93

Maurice Cara: *Gestion hospitaliere*. (1977) No.162, p17-27

Miyoshi, T., et al (2000) Selective activation of human soleus and medial gastrocnemius muscles during walking in water. J Gravit Physiol, 2000. 7(2): p.P107-8.

三好扶, et al. (2003) 水中歩行時の下腿三頭筋 筋活動特性. 運動・物理療法, 2003. 14(4): p.307-312.

中村夏実,竹野欽昭 (2009) 水上全力パドリングにおける艇速度と身体加速度の積分値－カヌーフラットウォーターレーシング・カヤック種目を対象として－, スポーツパフォーマンス研究,1,14-21

日本ライフセービング協会 (2008), サーフライフセービング教本, 初版, 大修館書店, 東京

日本ライフセービング協会, 2011パトロールログ集計報告書
http://www.jla.gr.jp/patorol/2011patrol_log.pdf

Nolte, V. (1985) Die Effektivität des Ruderschlages. Bartels & Wernitz.

奥野景介,生田泰志,若吉浩二,野村照夫 (1998) 一流選手の100m 自由形における競泳のレース分析-1996 年度および1997 年度日本選手権大会の比較-. 大阪教育大学紀要. 47:211-23

沢井史穂, 2008 日常生活動作における筋活動水準—表面筋電図法を用いたアプローチ—
早稲田大学 博士(人間科学)学位論文

Sanderson, B. and Martindale, W. (1986) Towards optimizing rowing technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18: 454-468.

Schabort, E.J., Hawley, J.A., Hopkins, W.G. and Blum, H. (1999) High reliability of performance of well-trained rowers on a rowing ergometer. *Journal of Sports Sciences* 17: 627-632

Schneider, E. (1980) *Leistungsanalyse bei Rudermannschaften*. Limbert Verlag: Bad Homburg

Sciences 4: 12-16. Seifert, L., Chollet, D. & Chatard, J.C. (2007) Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1784-1793.

Scott A. Heinlein, Andrew J. Cosgarea, (2010) Biomechanical Considerations in the Competitive Swimmer's Shoulder. *Sports Health*

Secher, N.H., Espersen, M., Binkhorst, R.A., Andersen, P.A. and Rube, N. (1982) Aerobic power at the onset of maximal exercise. *Scandinavian Journal of Sports Sciences* 4: 12-16.

Seifert, L., Chollet, D., Bardy, B. G. (2004) Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *J Sports Sci.* 22(7):651-60

篠岳瑠,韓一栄,井上佳織,斉藤京子,大野誠 (2005) ライフセーバーの体力特性および模範救助作業に関する研究. 日本生理学雑誌,12,75-84

Smith, R.M. and Spinks, W.L. (1995) Discriminant analysis of biomechanical differences between novice, good and elite rowers. *Journal of Sports Sciences* 13: 377-385.

須田邦彦. (2006) ライフセービングにおけるボード速度とニーリングパドリング動作の関係. 早稲田大学スポーツ科学研究科修士論文.

Surf Lifesaving Australia (2003), Surf life saving coaching manual.

Toussaint, H.M., Carol, A., Kranenborg, H. & Truijens, M.J. (2006) Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1635-1642.

上野優子,稲垣安二,石井喜八. (1988) レーシングカヌー槽の運動学的分析-女子カヤック選手を対象として-.日本体育大学紀要17巻2号 103-107.

謝辞

本研究を行うにあたり、大学院進学以前から指導して下さった指導教員の村岡功教授に心から謝意を表します。さらに、助言ならびに指導をして頂いた副査の金岡恒治教授、奥野景介教授に心より御礼申し上げます。修士課程の2年間では、村岡研究室だけでなく、奥野研究室、岡田研究室のゼミでも勉強させていただき、丸藤祐子先生、武田剛先生には研究計画からご指導ならびに論文執筆まで多大なご助力を賜りました。両先生に厚く御礼申し上げます。

そして、研究を行うにあたり、予備実験、本実験と何度も協力して下さった村岡研究室の皆様、金岡研究室の皆様、被験者として快く実験協力をして頂いた学生、社会人ライバーの皆様にも深く感謝の意を表します。

2013 年1 月11 日

山地 智仁