

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

水泳競技における筋活動解析

EMG analysis during front swimming

2018年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

飯塚 哲司

IIZUKA, Satoshi

研究指導教員： 金岡 恒治 教授

《目 次》

第1章：序論	
1-1. 研究背景.....	1
1-2. 研究目的.....	2
第2章：本論	
2-1. 【研究1】クロール泳時の全身筋活動.....	3
2-1-1. 緒言.....	3
2-1-2. 方法.....	4
2-1-3. 結果・考察.....	18
2-1-4. 結論.....	38
2-2. 【研究2】競泳スタート動作時の体幹筋活動.....	39
2-2-1. 緒言.....	39
2-2-2. 方法.....	40
2-2-3. 結果.....	43
2-2-4. 考察.....	45
2-2-5. 結論.....	46
2-3. 【研究3】体幹深部筋トレーニング介入の効果.....	47
2-3-1. 緒言.....	47
2-3-2. 方法.....	48
2-3-3. 結果.....	52
2-3-4. 考察.....	53
2-3-5. 結論.....	55
第3章：総合考察	
3-1. 筋活動に関する考察.....	56
3-2. パフォーマンス向上への応用.....	58
第4章：まとめ.....	59
参考文献.....	60
謝辞.....	68

第 1 章：序論

1-1. 研究背景

水泳競技には，競泳，飛込，水球，シンクロ，オープンウォータースイミングの 5 競技が含まれている．この中で最も普及し，競技人口が多いのは競泳である．競泳はオリンピックや世界選手権において，数多くのメダルを獲得することができる，日本において有数の競技の一つである．しかし，国内において競泳の研究は他の競技に比べて多く行なわれておらず，国外においても同様である．その理由の一つに，水中という特殊な環境があげられる．そのため，競泳のみならず水泳競技全般の研究が他の競技と比べると少なく，未知の部分が多い．これまで様々な測定を行うための機器が開発されているが完全に防水された機器は多くはない．近年では様々な電子機器において防水加工が施され，それらの技術が研究機器にも応用されるようになった．これら研究機器の開発により，水泳に関する様々な研究が進み，その成果が指導現場などに反映されることで競技力向上に大いに貢献すると考える．

競泳の競技力向上に関する要因として身体形態[1, 2]や筋力[2, 3]，柔軟性[4]，心理学[5]，そしてテクニックや戦術[6]などが先行研究であげられている．その中でも筋活動が影響をすると考える筋力やテクニックは筋電図を用いて観察，測定することができる．競泳以外の様々な競技において筋活動の測定が行われており，パフォーマンスとの関係性が示されている[7-9]．筋電計を用いた測定は皮膚に直接機器をつけなければならず，水中での測定は困難であり，これまでも競泳に関する筋電測定は行われてきてはいる[10]が，様々な制限が加わった状態での測定や被験筋数が少ないものが多い[11]．今までの研究では流水プールなどで測定されたものがほとんどであり，実際のプールで行われた研究は少なく，

泳動作時のより正確かつ自然な筋活動は明らかにはされていないと考える。

1-2. 研究目的

本研究は国内の競泳熟練者を被験者とし、クロール泳中とスタート動作時の筋電図測定を行い、またスタート動作へのトレーニング介入効果を検証し、競技力向上の一助となることを目的とする。

第 2 章：本論

2-1. 【研究 1】クロール泳時の全身筋活動

2-1-1. 緒言

スポーツにおける筋活動の測定方法として、筋電図を用いる方法は確立されている [12]. これまで行われてきた研究の殆どが陸上で行われたものであるが、近年では陸上での測定と水中での測定を比較し、最大随意収縮時の筋活動が同等のものであり、且つ高い再現性を示したという報告もあり [13-17], 水中での測定の信頼性が認められている.

これまでに競泳競技を対象にして行われてきた筋電研究の多くがクロールを対象としており [11], 近年では平泳ぎを対象とした報告 [18] があるものの、国内においては競泳選手の筋活動を測定したものは少なく、水中でのストリームライン中のものや女性選手を被験者としたものである [19-21].

日本において、競泳競技は世界選手権やオリンピックにおいて数多くのメダルを獲得できる競技の 1 つであり、男女問わず様々な種目で輝かしい成績を残しているが、クロールの特に 50m や 100m といった短距離種目では世界大会で決勝に残ることも出来ていない現状がある. 国内男子トップレベルの選手を被験者とした測定を行い、泳時の筋活動を明らかにすることは、今後のコーチングやトレーニング方法の考案などにつながると思う. そこで、本研究ではクロール泳時の筋活動を明らかにすることを目的とした.

2-1-2. 方法

2-1-2-1. 被験者

被験者は男子大学競泳選手 18 名（年齢 20 ± 2 歳，身長 175.3 ± 4.1 cm，体重 70.9 ± 4.4 kg）とした。これらの被験者は 11.4 ± 2.4 年の長い競泳経験を有しており，国内の全国大会への出場が可能な競技レベルの高い選手であった。なお，専門種目は問わず測定を行った。18 名の内クロール（以下 Fr）を専門とする選手は 9 名，それ以外の選手が 9 名であった。

本研究は早稲田大学研究倫理オフィス「人を対象とする研究に関する倫理委員会研究倫理委員会」の承認を得て実施し，全被験者から実験参加に関する同意を得たうえで実験を実施した。

2-1-2-2. 計測

(1) 動作解析

被験者の体表面上には自発光マーカー（株式会社ノビテック社製，煌）を手関節中央，上前腸骨棘（ASIS），外果の 3 箇所に貼付し（図 1），水中の泳動作は水中に設置したハイスピードカメラ（株式会社ディテクト社製，HAS-220）を用いて 200fps にて撮像した。

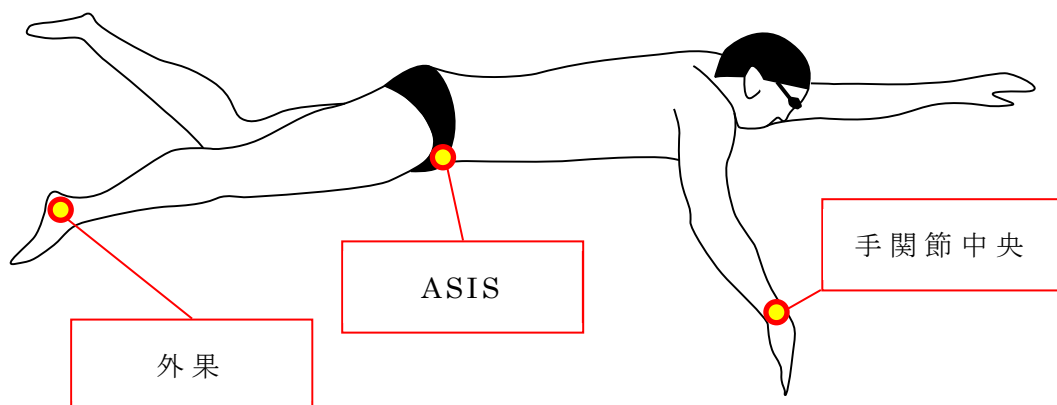


図 1 マーカー貼付位置

カメラの設置位置はスタートする壁から 7.5m とし，水面から 50cm の位置に沈めた（図 2）。

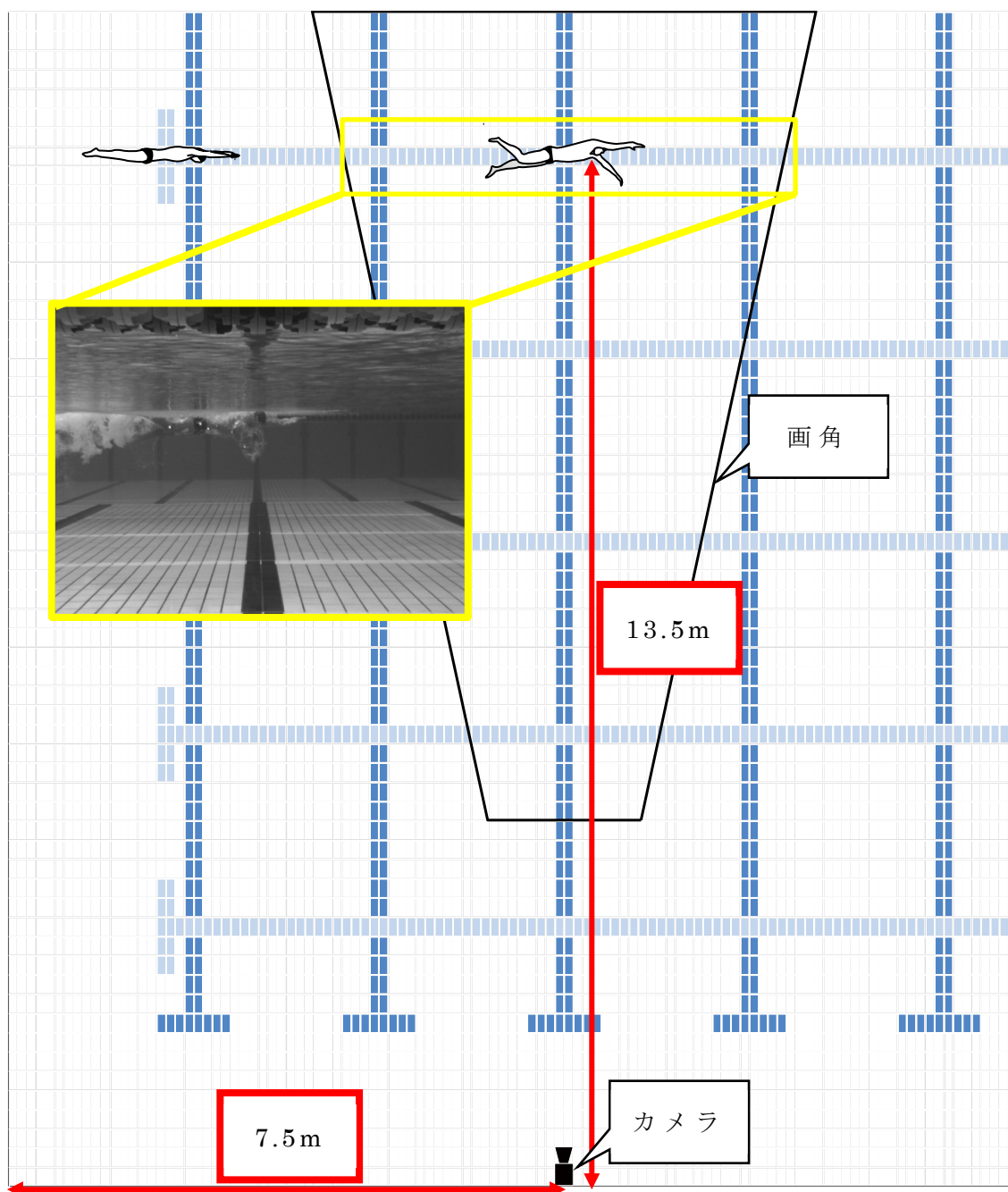


図 2 カメラ設置図

(2) 筋電計測

無線筋電計（有限会社 S&ME 社製）（図 3）を用いて，体表面上からサンプリングレート 1000Hz にて筋電測定を行った．身体表面上を皮膚前処理剤（日本光電工業株式会社製，スキンプュア）にて下処理し皮膚の接触抵抗を $1k\Omega$ 以下まで下げたのち，身体表面上に心電図用 Ag/AgCl 電極（Ambu 社製，ブルーセンサー）を貼付した．また，皮膚抵抗に関してはアナログマルチテスタ（三和電気計器株式会社製，AP33）このとき，電極間は 20mm になるようにし，対象となる筋の筋繊維の方向に一致するように貼付した [22, 23]．

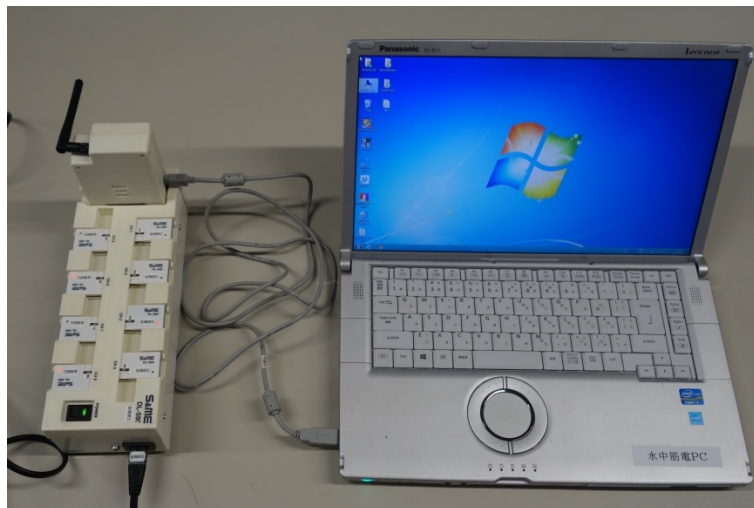


図 3 使用した筋電計と PC

また，電極が水に触れるとノイズとなり正確な筋電図測定が行えないため，データロガーおよび電極の上から医療用防水フィルム（ニチバン株式会社製，防水フィルム）を貼り，その周囲を伸縮テープ（Mueller Sports Medicine 社製，キネシオロジーテープ 50mm）を用いて補強した（図 4）．



図 4 筋電計の防水加工

今回測定の対象とした被験筋は上腕二頭筋 (BB), 上腕三頭筋 (TB), 尺側手根屈筋 (FCU), 三角筋中部 (DM), 大胸筋 (PM), 広背筋 (LD), 僧帽筋中部 (TM), 多裂筋 (MF), 脊柱起立筋 (ES), 外腹斜筋 (EO), 内腹斜筋 (IO), 大殿筋 (Gmax), 大腿直筋 (RF), 大腿二頭筋 (BF), 腓腹筋 (GC), 前脛骨筋 (TA) の 16 筋 (全て右側) とした。各筋の貼付位置は下記の通りとした。

- ・ 上腕二頭筋 (BB) : 肘関節 90 度屈曲位での最大膨隆部
- ・ 上腕三頭筋 (TB) : 肘最大伸展位での等尺性収縮時の最大膨隆部
(外側頭)
- ・ 尺側手根屈筋 (FCU) : 上腕骨内側上顆から遠位方向へ 2 横指
- ・ 三角筋中部 (DM) : 肩峰と上腕骨中部外側の三角筋粗面を結んだ線の中点
- ・ 大胸筋 (PM) : 上腕骨大結節稜と胸骨中央を結んだ線の中点

- ・ 広背筋 (LD) : 同側の肩甲骨下角のやや下方外側
- ・ 僧帽筋中部 (TM) : 第3頸椎棘突起と肩甲骨内側縁の中点
- ・ 多裂筋 (MF) : 多裂筋は第5腰椎棘突起の2cm外側
- ・ 脊柱起立筋 (ES) : 脊柱起立筋は第1腰椎棘突起の2cm外側
- ・ 外腹斜筋 (EO) : 外腹斜筋は臍から10cm~15cm外側
- ・ 内腹斜筋 (IO) : 内腹斜筋は上前腸骨棘から2cm内下方
- ・ 大殿筋 (Gmax) : 大殿筋は仙骨中央と大転子を結んだ線の中点
- ・ 大腿直筋 (RF) : 上前腸骨棘と膝蓋骨上端を結んだ線の中点
- ・ 大腿二頭筋長頭 (BF) : 坐骨結節と脛骨外側顆を結んだ線の中点
- ・ 腓腹筋内側頭 (GC) : 最大膨隆部
- ・ 前脛骨筋 (TA) : 脛骨粗面の4横指外側部で脛骨稜より1横指外側

多裂筋は深部の筋であるが、同部位で測定することの妥当性は先行研究にて示されている[24]。また、内腹斜筋に関しては、上前腸骨棘から2cm内下方の位置は外腹斜筋が覆っていない腹斜筋群の層となっており[25]、内腹斜筋の活動を評価する表面電極貼付位置として妥当であるとされている[26]。

しかしノイズや防水不足などの技術的な問題により、全ての筋の筋活動を同時に測定できた被験者はいなかった。しかし11名の被験者については10筋(BB, TB, FCU, LD, PM, EO, IO, MF, Gmax, RF)が共通して測定できたため、この11名、10筋を解析対象とした(表1)。11名中クロール(Fr)を専門とする選手が5名、その他の泳法を専門とする選手が6名であった。

表 1 全被験者の測定可能筋一覧

ID	S1	B B	T B	F C U	D M	P M	L D	T M	E S	M F	E O	I O	G m a x	R F	B F	G C	T A
A	Fr	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B	Br	○	○	○		○	○			○	○	○		○	○	○	○
C	Fr	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○		○	○
D	Br	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
E	Fr	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○
F	Br	○	○	○		○	○			○	○	○	○	○			
G	Fr	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○
H	Ba	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
I	Fr	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
J	Fly	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
K	Ba	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○		○			
L	Fr										○	○	○	○	○		
M	Fr										○		○				
N	Br										○	○	○		○		
O	Ba										○	○	○	○	○		
P	IM												○	○	○		
Q	Ba		○			○	○			○		○	○	○		○	○
R	Fr	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○

S1: Style1 (専門種目),
Fr: クロール, Ba: 背泳ぎ, Br: 平泳ぎ, Fly: バタフライ, IM: 個人メドレー

(3) 同期

筋電計とカメラの同期はシンクロナイザ (株式会社ディケイエイチ社製, PH105) を用いて, 1 つのトリガースイッチによってカメラの録画がスタートし, 予め記録開始していた筋電計にトリガーが記録されるようにした (図 5).

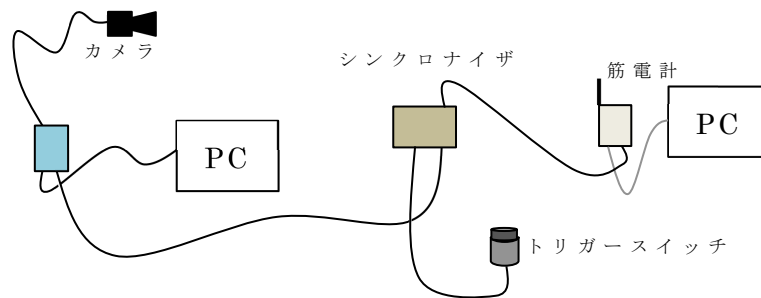


図 5 機器の接続

2-1-2-3. データ解析

(1) 動作

撮像した映像は，動作解析ソフト（株式会社ディケイエイチ社製，Frame-DIASV）を用いて，2次元4点実長換算方にて解析を行った．実長換算に用いたリファレンスポイントを図6に示す．デジタルズにより得られたデータから，泳動作の期分けを行った．

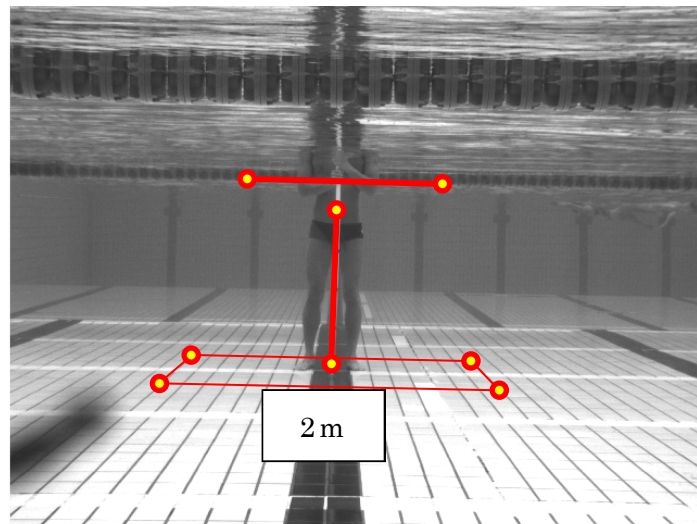


図6 実長換算におけるリファレンスポイント

クロール泳中の手の動きは大きく2つに分けることができる．1つ目は手が水中をかいているプル局面であり，もう1つは水面から出て再び入水するまでのリカバリー局面である．Pinkらはプルとリカバリーをそれぞれ2つに分け，合計4期とし[27]（図7-1），Rouardらはプルを4つ，リカバリーは1つの合計5つの期に分けている[28]（図7-2）．

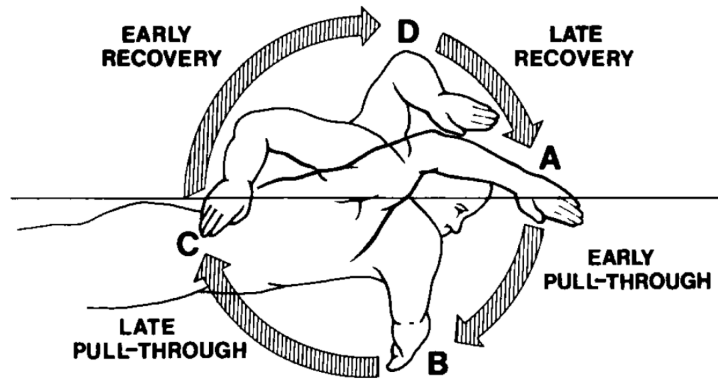


図 7-1 Pink らによるクロールの期分け [27] (1991)

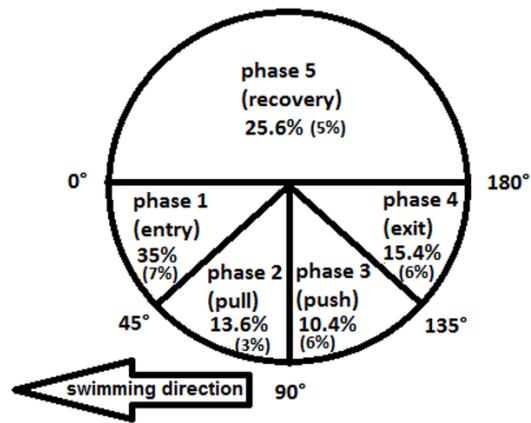
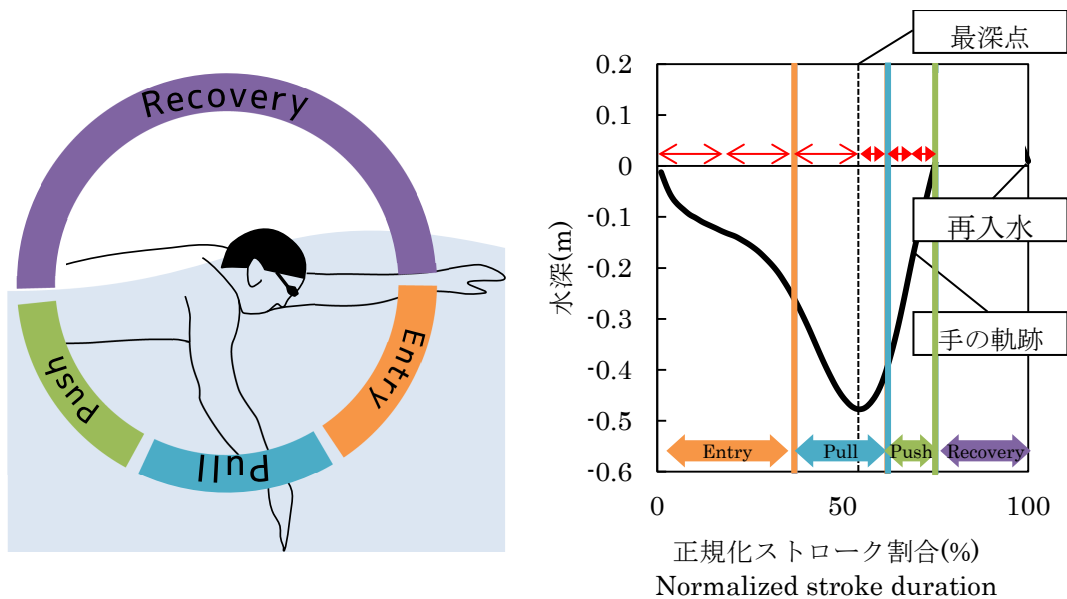


図 7-2 Rouard らによるクロールの期分け [28] (1990)

近年の研究では水中局面を Entry, Pull, Push の 3 つ, そして空中局面を Recovery とした 4 つの期に分けられる事が多く [29-32]. 本研究においても, これらの先行研究同様 4 つの期に分けることとした. 水中局面の期分けに関しては図 8 に示す.



Entry ; 入水 (0) から最深点までを三等分し, 入水から三分の二まで (オレンジ線)
 Pull ; Entry と Push 以外の水中局面
 Push ; 最深点から離水 (緑線) までの後ろの 2/3
 Recovery ; 離水 (緑線) から再入水 (100) まで

図 8 期分け

(2) 筋電解析

採取された筋電データは EMG 研究用プログラム (キッセイコムテック株式会社製, BIMUTAS-Video) を用いて解析を行った. まず, バンドパスフィルター (20-500Hz) をかけ, その後全波整流化した[33]. 各筋のデータは陸上での最大等尺性収縮 (MVC) 時の平均二乗平方根 (Root Mean Square : RMS) 値で除し, 正規化した. 各筋の MVC 測定の肢位は下記の通りである.

上腕二頭筋 (BB)

被験者は座位にて, 肩関節 90 度屈曲, 肘関節 90 度屈曲位を維持させ, 検者の徒手抵抗にて肘関節伸展方向へ力を加えた.

上腕三頭筋 (TB)

被験者は腹臥位にて肘関節最大伸展位を維持させ、検者の徒手抵抗によりヒジ関節屈曲方向へ力を加えた。このとき手関節の回内外は中間位とした。

尺側手根屈筋 (FCU)

被験者は座位にて肘関節 90 度屈曲、手関節最大屈曲（掌屈）位を維持させ、検者の徒手抵抗にて手関節伸展（背屈）方向へ力を加えた。このとき被験者の手指は屈曲させずに行った。

三角筋中部 (DM)

被験者は座位にて肘関節 90 度屈曲、肩関節 90 度外転位を維持し、検者が上腕の遠位端を内転方向へ力を加えた。

大胸筋 (PM)

被験者は背臥位にて肘関節 90 度屈曲、肩関節 90 度屈曲位を維持し、検者が上腕の遠位端を肩関節水平外転方向へ力を加えた。

広背筋 (LD)

被験者は腹臥位にて肩関節軽度外転軽度伸展位を維持し、検者が上腕の遠位端を肩関節外転および屈曲方向へ力を加えた。

僧帽筋中部 (TM)

被験者は腹臥位にて肩甲骨を最大内転位で維持し、検者が左右の肩峰を肩甲骨外転方向へ力を加えた。

多裂筋 (MF) & 脊柱起立筋 (ES)

被験者は腹臥位にて両手を後頭部で組み、脊柱を最大伸展させ、検者は上背部（肩甲骨周囲）を脊柱屈曲方向へ力を加えた。この時、別の検者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにした。

外腹斜筋 (EO)

被験者は背臥位で股関節及び膝関節を屈曲させ、両上肢は胸の前で組んだ状態で体幹を屈曲させ、さらに左回旋させた。検者は被験者の肩前面を体幹右回旋方向へ力を加えた。このとき、他の検者が下肢を抑え、力発揮時に下肢が浮かないようにした。

内腹斜筋 (IO)

被験者は背臥位にて全力のドローインを行った。被験者には波形を見せ、内腹斜筋がしっかりと活動するようなドローインを練習した後、実施した。

大殿筋 (Gmax)

被験者は腹臥位にて膝関節を 90 度屈曲し、股関節伸展位を維持させ、検者が大腿の遠位端を股関節屈曲方向へ力を加えた。

大腿直筋 (RF)

被験者は座位にて、膝関節及び股関節 90 度を維持させ、検者が下腿遠位端を膝関節屈曲方向へ力を加えた。

大腿二頭筋 (BF)

被験者は腹臥位にて、膝関節 45 度屈曲位を維持し、検者が下腿遠位端を膝関節伸展方向へ力を加えた。

腓腹筋 (GC)

被験者は片脚立位にて足関節最大底屈位を維持し、検者が被験者の肩へ垂直下向きの力を加えた。このとき、被験者はバランスをとるため壁などに触れることを許可した。

前脛骨筋 (TA)

被験者は背臥位にて足関節最大背屈を維持し、検者が被験者の足部遠位を足関節底屈方向へ力を加えた。

その後、数値解析ソフト（MathWorks 社製，MATLAB R2016a）を用いて、4次 Lowpass Butterworth Filter(12Hz)をかけ、平滑化した[18]. その後、解析対象とした1ストロークを100点に正規化し、各期のRMS値を算出した（図9）. RMS（Root Mean Square）は平均二乗平方根の意味であり、下記の式で算出することができる.

$$\text{RMS}[x] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2}$$

N個のデータのRMS値を算出する際はN個の各値を全て二乗し、平均するため、各期の長さが異なるデータであってもRMSを用いることで各期の値を算出することが可能である.

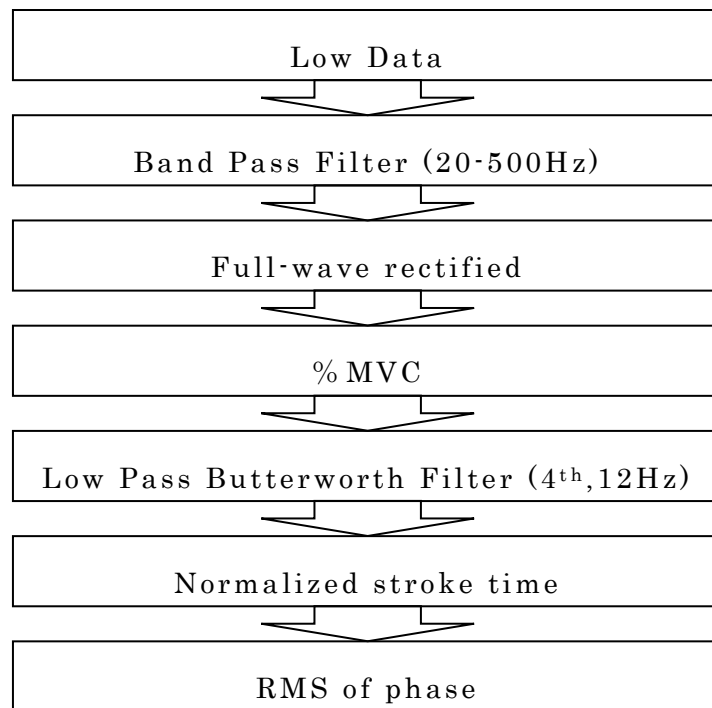


図9 EMG データ解析の流れ

2-1-2-4. 試技

計測試技はクロールとし，フォーミング（以下 **Form**）とハード（以下 **Hard**）の 2 種類を行った．**Form** は速度を意識せずフォームを意識しゆっくりと泳ぐよう指示をし，**Hard** は 100m のレースをイメージした強度（テンポ）で泳ぐよう指示をした（図 10）．熟練した競泳選手は練習でも **Form** を常に行っており，フォーミングと伝えることで上記のような強度で全員が泳ぐ事が可能である．また，100m のレースをイメージした強度に関しても，競泳選手は 100RP（100m のレースペース）という教示で各々が持つその距離でベストなタイムで泳ぐことが可能である．実際に泳いだ距離は各試技 15～20m であり，各強度 2 本ずつ泳いでもらい防水フィルムなどを貼付した状態での泳ぎに慣れたと考えられる 2 本目を解析対象とした．なお被験者は筋電計やマーカー貼付前に十分なウォーミングアップを行ったが，防水フィルム内に浸水する可能性を減らすため，防水フィルム等貼付後は W-up を実施しなかった．

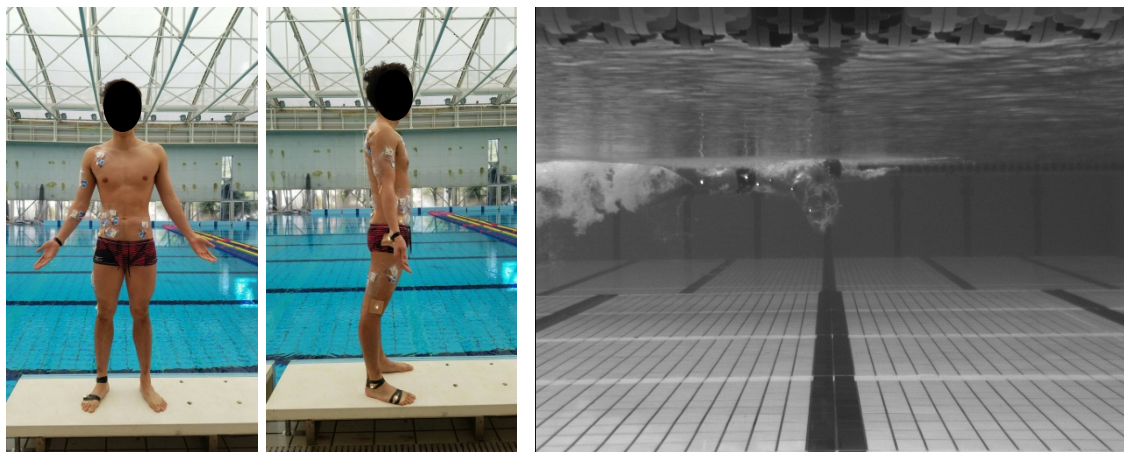


図 10 筋電を貼付した被験者と泳動作中の様子

2-1-2-5. 統計解析

各測定項目の平均値および標準偏差を求めた。期と強度を要因として統計解析ソフト（IBM社製，SPSS Statistics 24）を用いて二要因分散分析を行い，交互作用が認められなかった場合には主効果の事後検定として Bonferroni の方法にもとづいて有意水準を調整しペアごとの比較を行った。交互作用が認められた場合には被験者内要因の単純主効果を検討した。有意水準は 5%未満とした。

2-1-3. 結果・考察

被験者 11 名の各筋の平均波形を図 11～図 26 に示す．実線が筋活動 (%MVC)，破線が各期の区切りを示す．

(1a) 上腕二頭筋 (BB) の結果

上腕二頭筋の筋活動を図 11a,b に示す．Form, Hard とともに Pull 期に活動のピークを迎える．2 要因分散分析の結果交互作用は認めず，両要因に有意な主効果を認めた．多重比較検定の結果，筋活動は Form より Hard のほうが有意に大きく ($p=0.001$)，Pull 期で最も高い活動量 (Form ; 44.1%，Hard ; 60.4%) を示した．

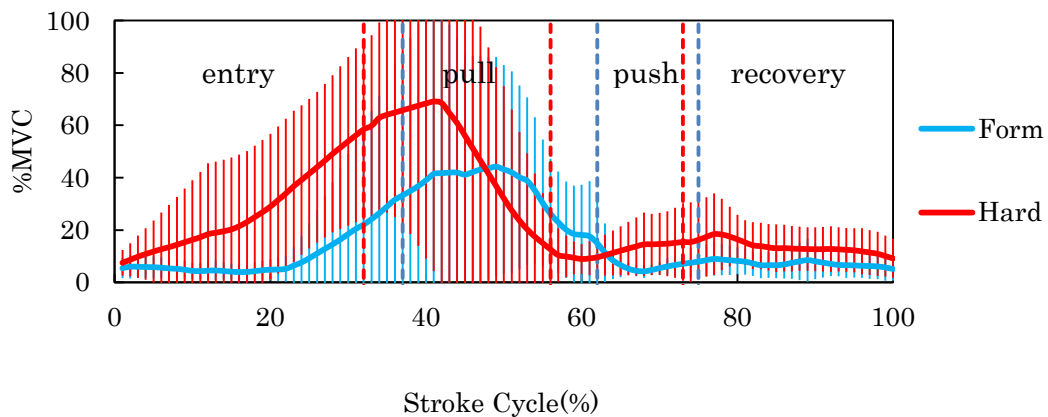


図 11a 上腕二頭筋の平均筋活動パターン

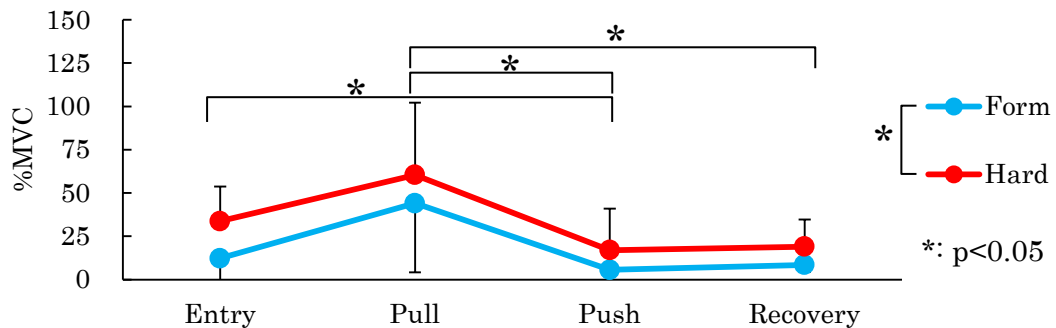


図 11b 上腕二頭筋筋活動の期×強度比較

(1b) 上腕二頭筋 (BB) に関する考察

上腕二頭筋は Pull 期に活動のピークが見られ, 期間比較における多重比較検定でも, 他の期に比べて有意に高い活動を示した (図 11b).

Figueiredo らの先行研究によるとクロール泳時に肘関節が最大屈曲するのは手が肩の真下にある時であり, 約 87.8 度屈曲していると報告している [34]. 本研究における上腕二頭筋の活動ピークが先行研究における肘関節が最大屈曲する期と近似していることから, クロール泳中の上腕二頭筋は肘関節の屈曲運動に伴い活動していると考えられる.

また, McCabe らは, クロール中の肘関節角度は泳速度によって変わらないことも報告している [29]. 本研究の結果において, Form より Hard で筋活動が大きかったことに関して, 速く泳ぐためには力強く速く水を掻く必要がある. 水中で動く場合, 速度の 2 乗分だけ抵抗が増加するという報告がある [35]. そのため, Pull から Push へ移行する際, 速度の増加に伴って大きくなる水の抵抗に負けないよう肘関節を瞬間的に強く固定する必要があり, そのために活動量が大きくなったと考える.

(2a) 上腕三頭筋 (TB) の結果

上腕三頭筋の筋活動を図 12a,b に示す. Form, Hard とともに活動のピークは Push 期の直前であった. 2 要因分散分析の結果, 期間のみ有意な主効果を認めた ($p=0.000$). 多重比較検定の結果, 筋活動は Push 期で最も高い活動量 (Form ; 70.5%, Hard ; 106.0%) を示した.

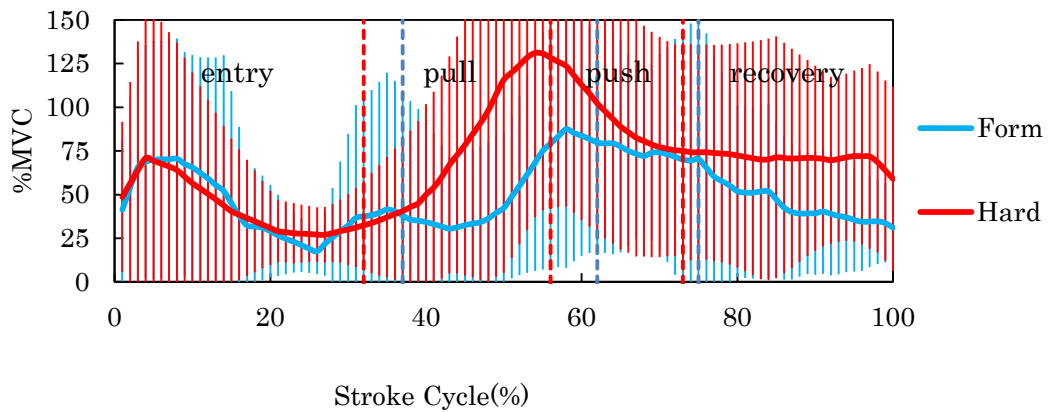


図 12a 上腕三頭筋の平均筋活動パターン

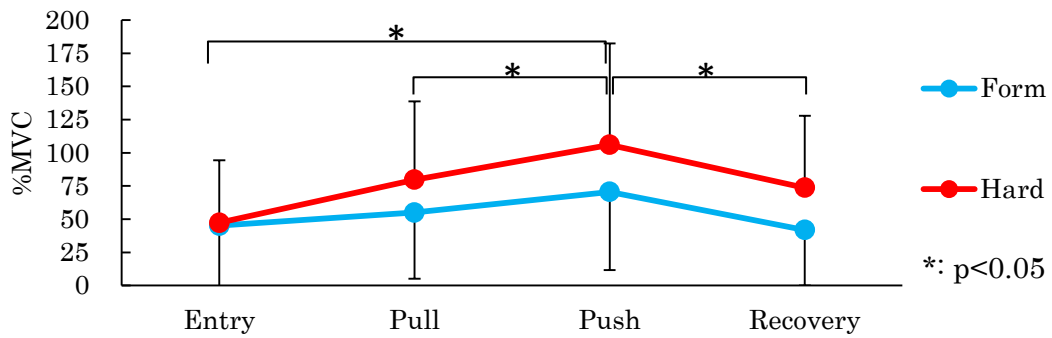


図 12 b 上腕三頭筋筋活動の期×強度比較

(2b) 上腕三頭筋 (TB) に関する考察

上腕三頭筋は **Entry** 期の最初にやや高い活動あり，その後 **Push** 期の直前に活動のピークを迎えている．**Fantozzi** らの報告によると，手の入水時は肘関節軽度屈曲位（約 20 度）であり，その後完全伸展した後，屈曲しながらプル動作を行う [36]．そのため，**Entry** 期の最初に肘を伸展するために上腕三頭筋が活動したと考える．

活動のピークに関してだが，上腕二頭筋と同様に考えるのであれば最大伸展時に活動のピークが来ると考えられるが，本研究の結果ではそうではない．**McCabe** らの報告では，手が水から出る前に肘関節が最も伸展（屈曲角度 39.7 度）していたとしている [29]．これら先行研究の角度データから，上腕三頭筋の活動は肘関節屈曲位から伸展位に変わるときにピークを迎えると考えられる．

(3a) 尺側手根屈筋 (FCU) の結果

尺側手根屈筋の筋活動を図 13a,b に示す。2 要因分散分析の結果、有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果を検討した[37]。全ての期において **Form** より **Hard** のほうが高い筋活動を示した。**Hard** に関しては期間で差は認めなかったものの、**Form** では **Pull** で他の期とくらべて高い筋活動 (39.7%) を示した。

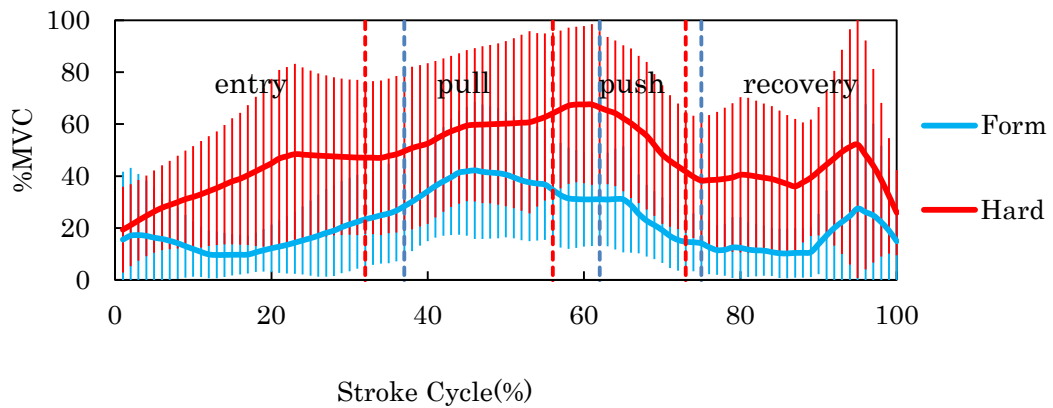


図 13a 尺側手根屈筋の平均筋活動パターン

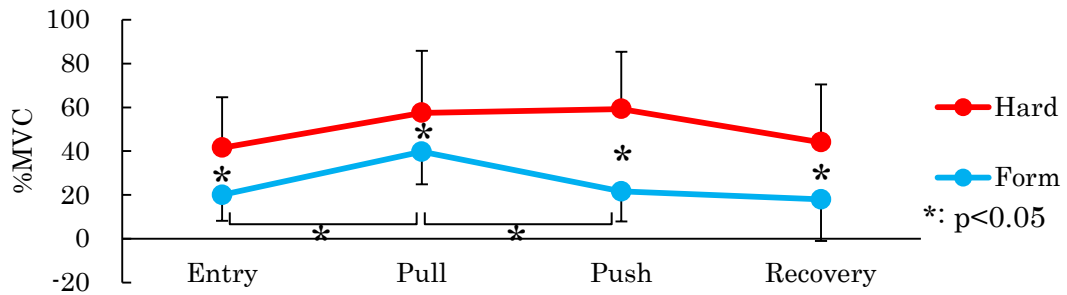


図 13b 尺側手根屈筋筋活動の期×強度比較

(3b) 尺側手根屈筋 (FCU) に関する考察

尺側手根屈筋に関しては Pull から Push 期にかけて徐々に活動が高くなっていくが、Hard は期間で有意な差はなく、常に一定量活動をしていると言える。Fantozzi らの報告によると、Pull 期では手関節は約 30～40 度屈曲し、その後 Push にかけて伸展し Recovery する時は伸展位になる際に手関節の屈筋群に伸張性の収縮が生じていたと考える [36]。また、水をしっかりと掻き切るために手関節屈筋群を活動させて手関節を固定しようとするため、断続的な活動が見られたと考える。

(4a) 広背筋 (LD) の結果

広背筋の筋活動を図 14a,b に示す. 2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用を認めたため, 各要因の単純主効果を検討した. Entry 期においてのみ Form より Hard のほうが高い筋活動を示した. Hard に関しては期間で差は認めなかったものの, Form では Push (16.1%) でのみ Entry (60.7%) より有意に高い筋活動を示した.

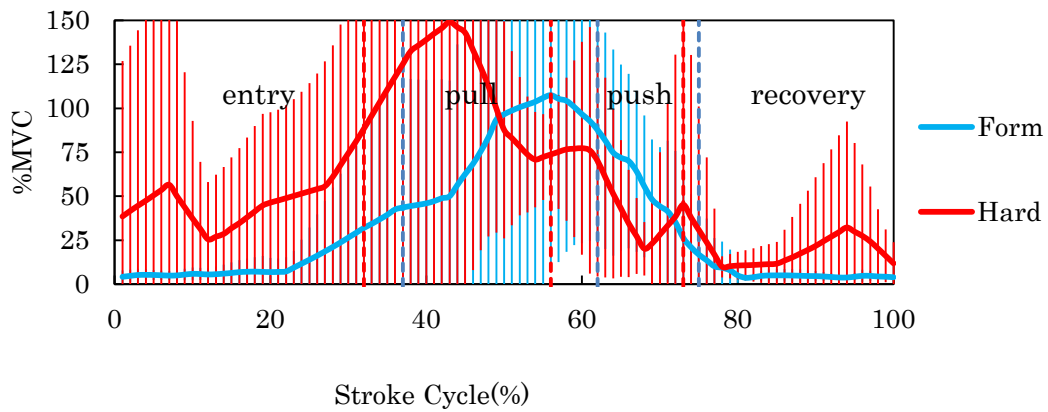


図 14a 広背筋の平均筋活動パターン

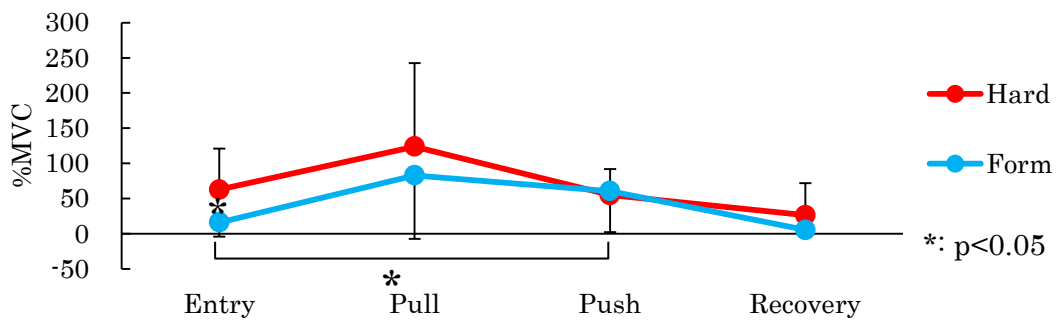


図 14b 広背筋筋活動の期×強度比較

(4b) 広背筋 (LD) に関する考察

広背筋の活動パターンは上腕二頭筋と類似している。入水の瞬間に肩関節は屈曲位（外転位）にあり，そこから屈曲，内転そして内旋動作を伴いながら **Push**，そして **Recovery** へと向かう。そのため，肩関節の屈曲，内転，内旋機能をもつ広背筋が **Pull** と **Push** の期で主に活動していたと考える。**Form** と **Hard** の比較では **Entry** 期においてのみ，**Hard** 時の筋活動が有意に高い事を認めた。より高い推進力を得るために，**Entry** の瞬間から広背筋を活動させ，**Pull** 動作でのより大きな活動へつなげていると考える。

(5a) 大胸筋 (PM) の結果

大胸筋の筋活動を図 15a,b に示す. 2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため, 各要因の単純主効果を検討した[37]. いずれの強度においても, 期に関する有意な単純主効果を認めた. また, Entry 期にのみ, Form (4.1%) に比べて Hard (24.2%) で高い活動を認めた ($p=0.003$). 多重比較検定の結果, いずれの強度においても Pull 期においても他の期より高い筋活動を認めた (Form; 43.8%, Hard; 57.5%).

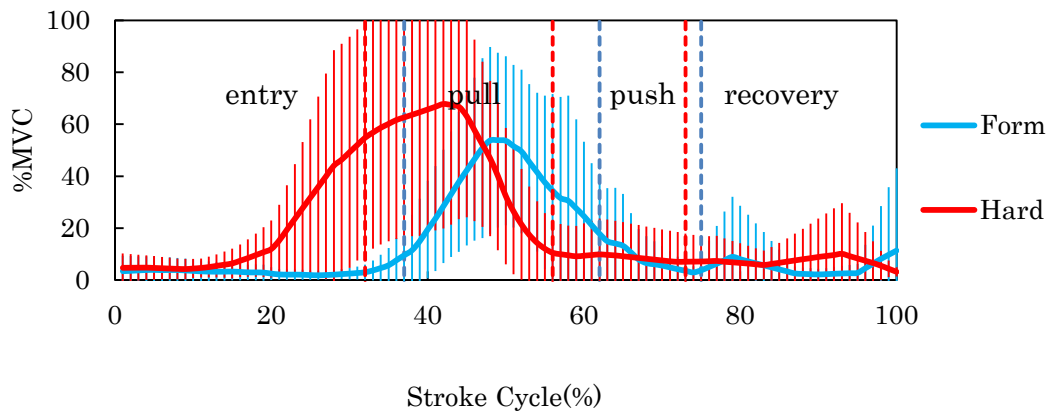


図 15a 広背筋の平均筋活動パターン

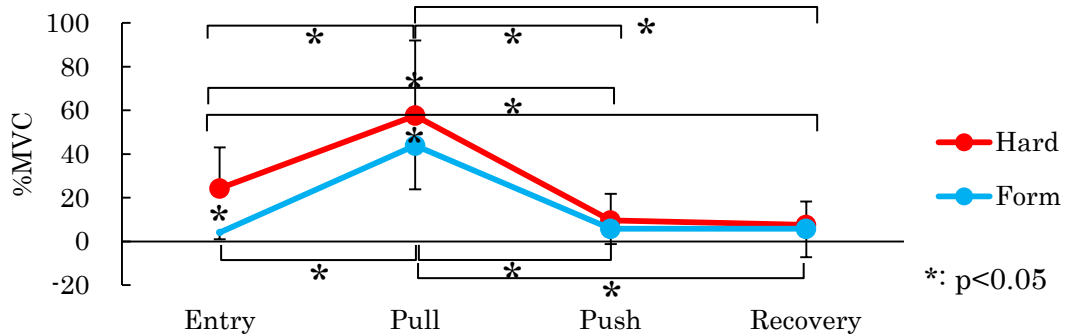


図 15b 大胸筋筋活動の期×強度比較

(5b) 大胸筋 (PM) に関する考察

大胸筋の活動は広背筋の活動に類似している。Entry時、肩甲骨上腕関節は軽度外旋位であり、そこからプル動作に併せて内旋していく[36]。そのため、クロールにおける肩関節内旋角度が最も大きくなると考えられる Pull 期に肩関節を内旋させる主働筋である大胸筋が、高い活動を示したと考える。広背筋同様、Form と Hard で有意な差があったのは Henry 期だけであった。最も力を必要とする Pull 期ではなく、その前に如何に活動させるかが重要であると考えられる。

(6a) 外腹斜筋 (EO) の結果

外腹斜筋の筋活動を図 16a,b に示す. Form では Pull 期に活動のピークが見られるのに対し, Hard では Pull 期に入る直前に活動のピークが見られた. 2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため, 各要因の単純主効果を検討した [37]. Hard では期に関する有意な単純主効果が認められ, Push 期 (20.5%) に比べ Entry 期 (38.9%) で有意に高い値を認めた ($p=0.037$). また, 全期で Form に比べて Hard で高い筋活動を認めた.

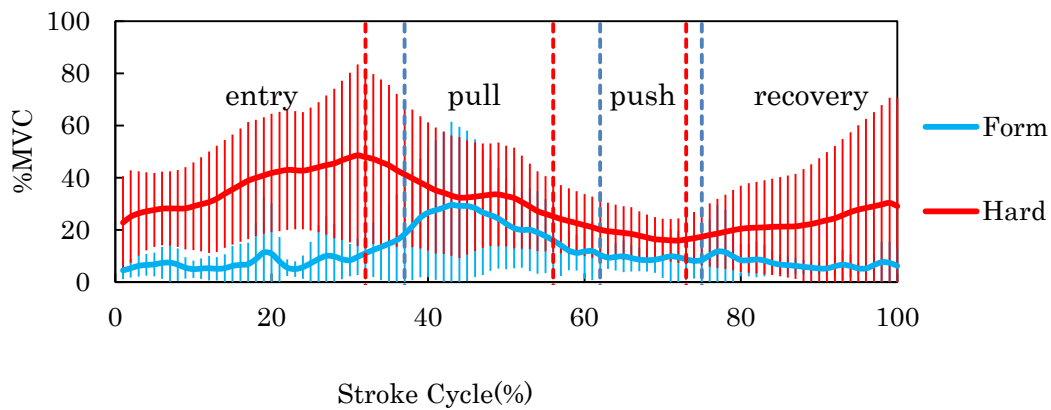


図 16a 外腹斜筋の平均筋活動パターン

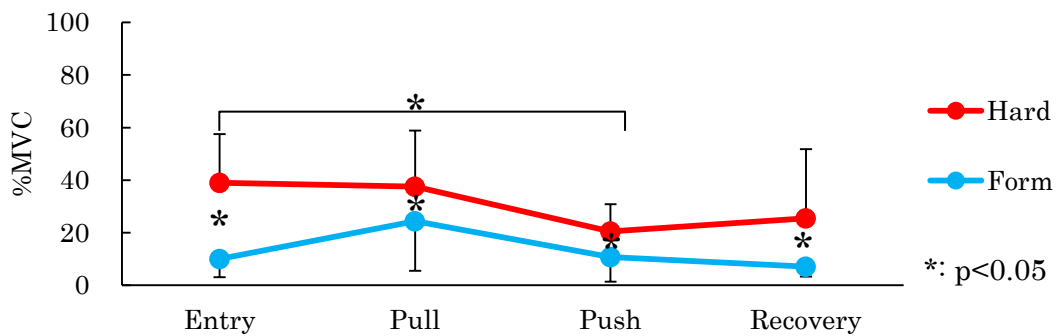


図 16b 外腹斜筋筋活動の期×強度比較

(6b) 外腹斜筋 (EO) に関する考察

右外腹斜筋の活動ピークは右手 Entry 期から Pull 期に入るときであるように見られる (図 16a). しかし, 右外腹斜筋の機能は体幹の左回旋と右側屈そして屈曲である [38]. 右腕のプル動作 (図 17a) を行うと水の抵抗により身体は左側屈方向への力 (図 17b) を受けると考え, その力を打ち消すために右側屈方向への力 (図 17c) を発揮するために外腹斜筋が活動していたと考える.

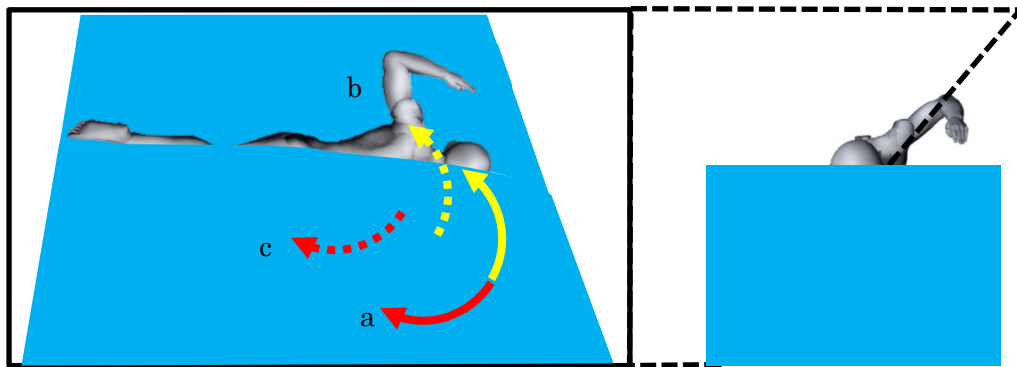


図 17 プル動作時に体幹側屈方向へ加わる力

その他の原因としては体幹の回旋動作がおきていると考え, 骨盤の上前腸骨棘上に貼付したマーカーの軌跡を図 18 に示す. 黒の実線が実際にデジタイズを行った右側 ASIS の軌跡であり, 点線は左手の入水タイミングを基に作成した仮想の左 ASIS の軌跡である.

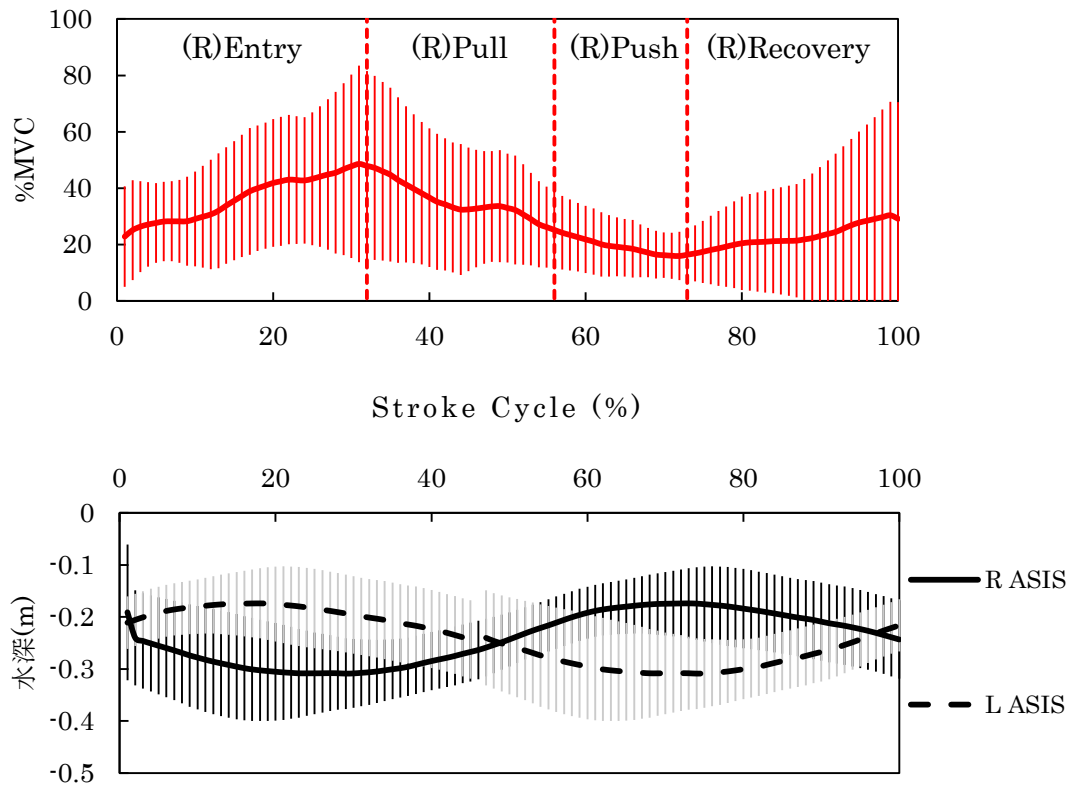


図 18 Hard 時の ASIS の軌跡と右外腹斜筋の活動

Entry 期では同側の ASIS が下方へ移動している，つまり骨盤が頭側から見て左回旋（反時計回り）の方向に動き（図 19A），Pull 期から Push 期にかけては右回旋（時計回り）に回っていると考えられる（図 19B）。



図 19 ASIS 最下点(A)及び最上点(B)時のイメージ

Yanaiの先行研究によると右手の Entry 期から Pull 期にかけて身体の左回旋が最大になると報告している [39]. 図 18 で示すとおり, 身体の左回旋が最大になるときに, 同機能をもつ右外腹斜筋の活動もピークを迎えている. このことから, 外腹斜筋の活動はクロール泳時に起こる身体のローリングにおいて, 左回旋時に同機能をもつ右外腹斜筋が働いているため, このとき右外腹斜筋は求心性の収縮をしたと考える.

(7a) 内腹斜筋 (IO) の結果

内腹斜筋の筋活動を図 20a,b に示す. **Hard** では **Pull** 期終盤に活動のピークが確認できた. **Form** では **Hard** ほど顕著なピークは見られない. 2 要因分散分析の結果, 期と強度の両要因に有意な主効果が認められた. 多重比較検定の結果, **Entry** 期 (**Form** ; 13.1%, **Hard** ; 41.3%) に比べて **Pull** 期 (**Form** ; 24.1%, **Hard** ; 78.2%) で有意に高い活動量を認めた ($p=0.049$).

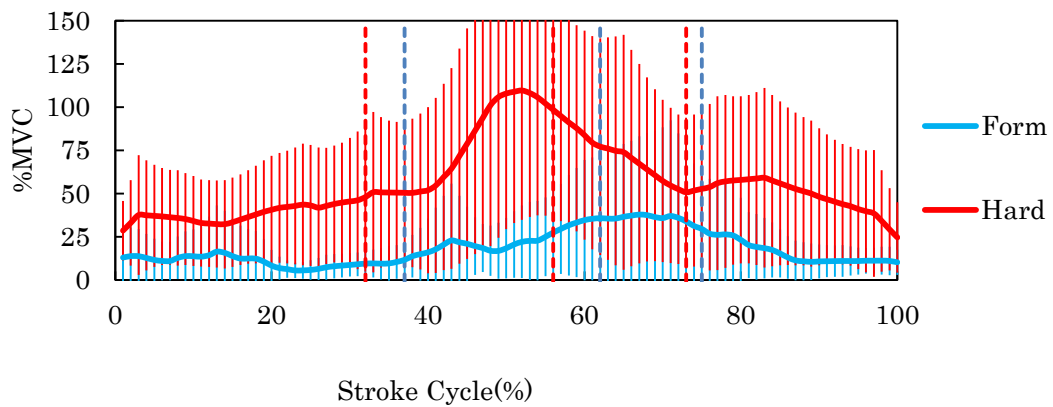


図 20a 内腹斜筋の平均筋活動パターン

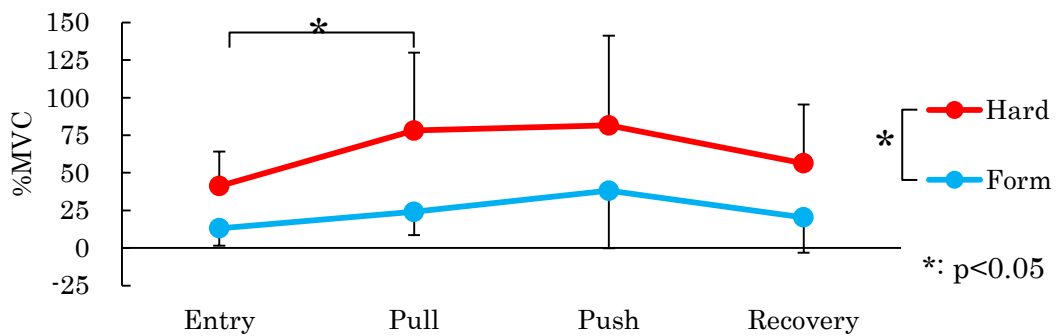


図 20b 外腹斜筋筋活動の期×強度比較

(7b) 内腹斜筋 (IO) に関する考察

右の内腹斜筋は骨盤に対して胸郭を右回旋方向に動かす筋である。外腹斜筋と内腹斜筋の活動を重ねた波形を図 21 に示す。

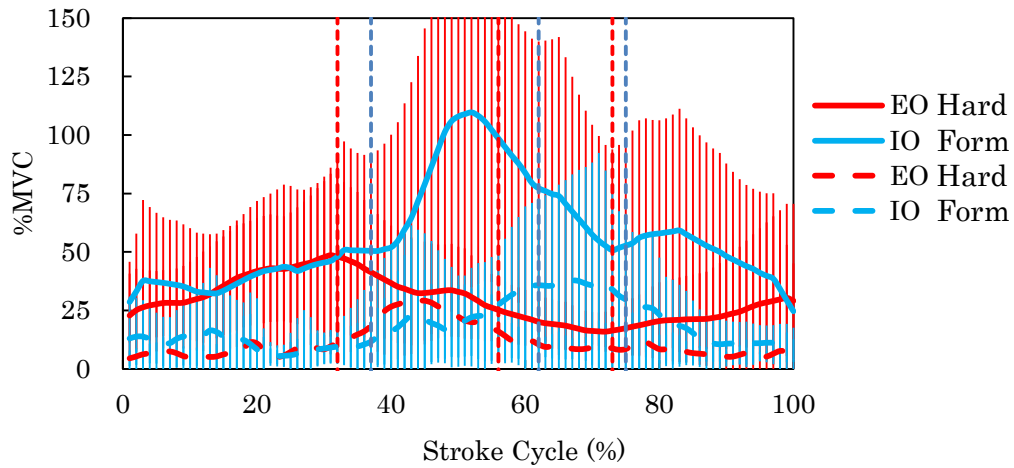


図 21 外腹斜筋と内腹斜筋の活動

外腹斜筋に関する考察で述べた様に、右手が Pull 期になるとときには身体は左回旋する。その後、左手が入水してくるため、体幹は右回旋すると考える。そのため、体幹右回旋に伴って右内腹斜筋が活動していると考えられる。期間の比較では、手の軌跡を中心に期分けしているため、期間での有意差は見られなかったと考える。

(8a) 多裂筋 (MF) の結果

多裂筋の筋活動を図 22a,b に示す. Form に関しては活動量も少なく, 特徴的なピークは見られない. 2 要因分散分析の結果, 強度間でのみ有意な主効果が認められ, 全期で Hard のほうが高い筋活動を示した ($p=0.001$).

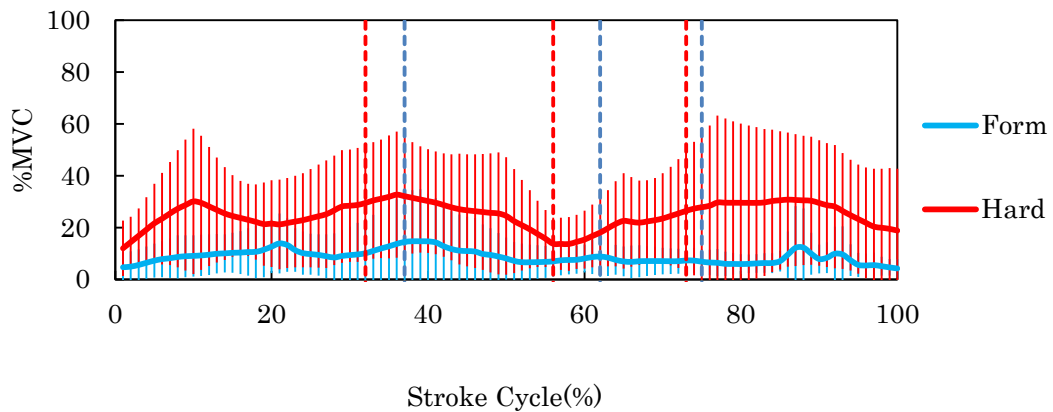


図 22a 多裂筋の平均筋活動パターン

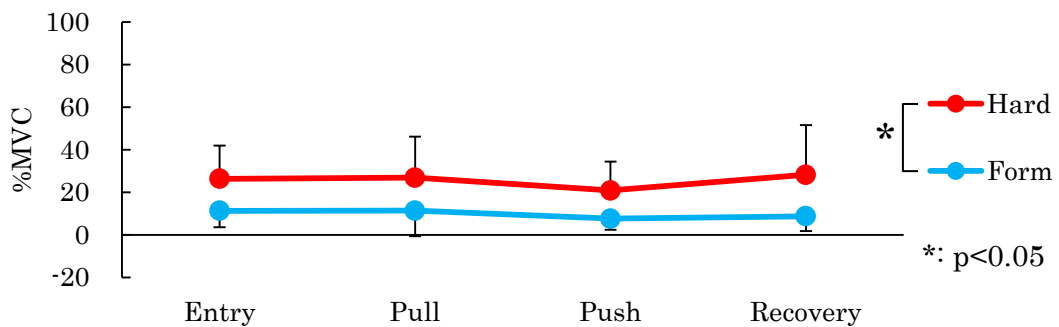


図 22b 多裂筋筋活動の期×強度比較

(8b) 多裂筋 (MF) に関する考察

他の上肢の筋とは異なり, 特徴的な活動のピークが見られるわけではなく, 断続的に活動していることから, 多裂筋の活動はキック動作と関連していると考えられる. キックには 2 ビート, 4 ビート, 6 ビートとあるが [40], 1 ストロークの間に左右 3 回ずつキックを打つ 6 ビートが主流と

なっており，本研究の被験者も全員が 6 ビートキックを使っていた．

図 23 にキック時の足（外果）の軌跡を多裂筋の活動を示す．図 23 からわかる通り，同側下肢のアップキック時に多裂筋も活動していると思われる．骨盤を中心に考えると，アップキックで生じる時計回りの力の反作用として反時計周りの力を生じる必要がある．そのために，同側の多裂筋が活動し腰椎を伸展方向へ動かそうとし，腰部の屈曲と伸展のバランスをとっていると考えられる（図 24）．

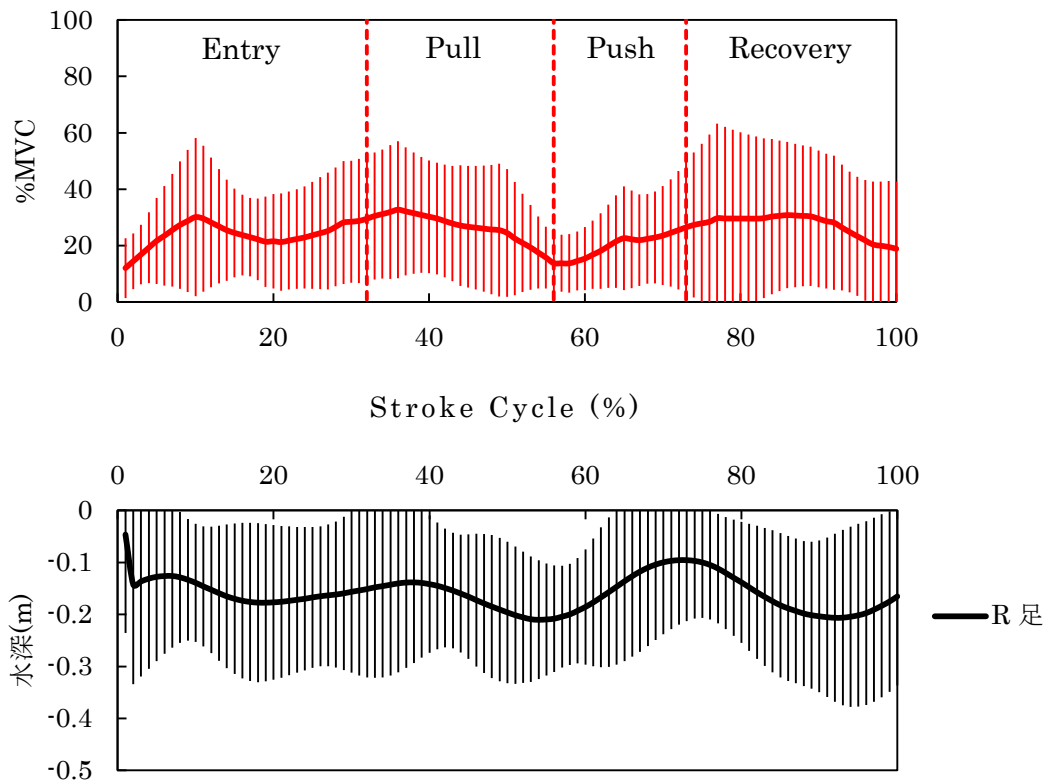


図 23 Hard 時の足（外果）の軌跡と多裂筋の活動

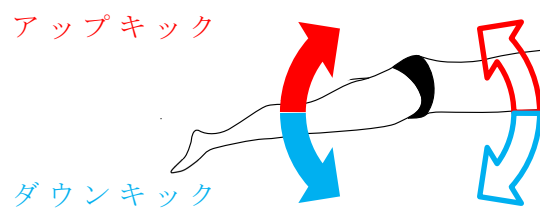


図 24 アップキックとダウンキック

(9a) 大殿筋 (Gmax) の結果

大殿筋の筋活動を図 25a,b に示す. 2 要因分散分析の結果, 強度間でのみ有意な主効果が認められ, 全期で Hard のほうが高い筋活動を示した ($p=0.035$).

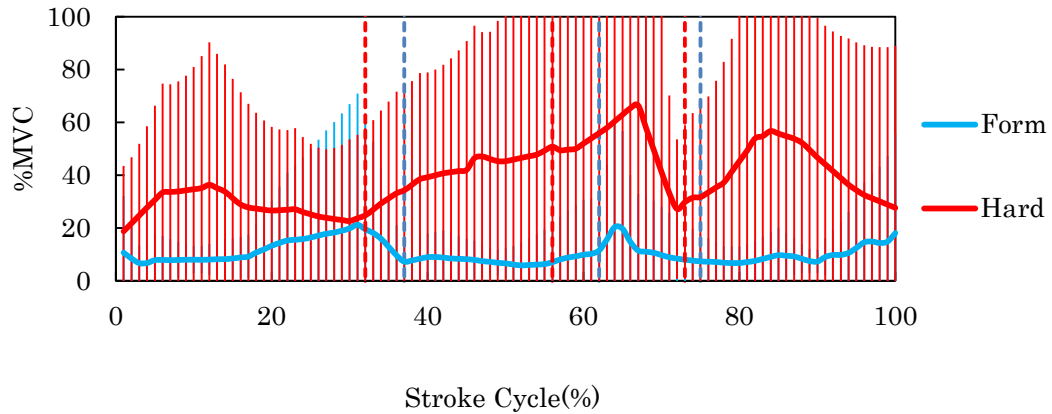


図 25a 大殿筋の平均筋活動パターン

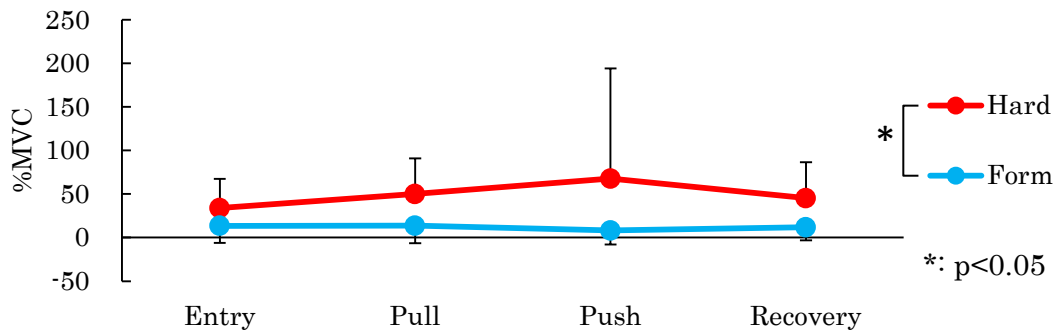


図 25b 大殿筋筋活動の期×強度比較

(9b) 大殿筋 (GM) に関する考察

大殿筋も多裂筋同様のタイミングでの活動がみられる. アップキックによる股関節伸展動作をするために大殿筋が活動していると考えられる.

(10a) 大腿直筋 (RF) の結果

大腿直筋の筋活動を図 26a,b に示す. 2 要因分散分析の結果, 強度間でのみ有意な主効果が認められ, 全期で Hard のほうが高い筋活動を示した ($p=0.002$).

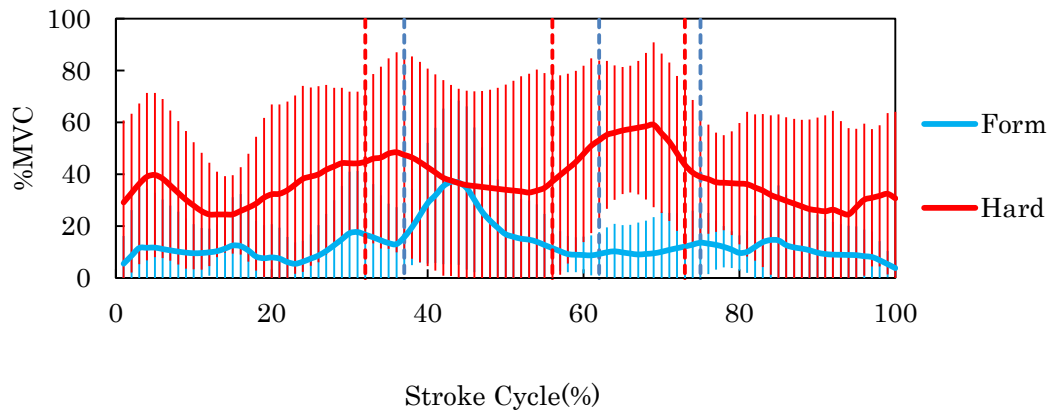


図 26a 大腿直筋の平均筋活動パターン

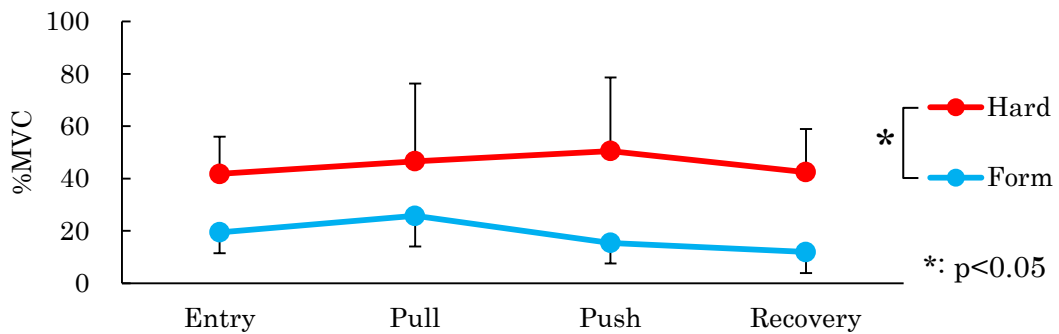


図 26b 大腿直筋筋活動の期×強度比較

(10b) 大腿直筋 (RF) に関する考察

大腿直筋と大殿筋は類似したタイミングで活動している. しかし, 大殿筋が股関節伸展に作用する筋であるのに対し, 大腿直筋は膝関節を伸展させ股関節を屈曲させる筋である. 大殿筋がキックにおける股関節伸展動作のために活動しているとするれば, 大腿直筋は膝関節屈曲から伸展に切り替わる局面に強く働いていると考える.

2-1-4. 結論

クロール泳において，上腕二頭筋，大胸筋，広背筋，大殿筋，多裂筋に関してはそれぞれの短縮性収縮による活動によって関節が動いている．

尺側手根屈筋は関節を動かすためではなく，水の抵抗に負けないように関節を固定するために等尺性収縮に近い活動をしていた．

肘関節及び膝関節の伸展筋である上腕三頭筋と大腿直筋は伸展方向への挙動が始まる初期に高い活動を示し，その後の伸展動作時には活動量が減る．

外腹斜筋と内腹斜筋はプル動作に伴う体幹のローリング動作に伴って活動している．

また，速度をあげることでほとんどの筋の活動量は増加するが，上腕三頭筋に関しては差がなく，大胸筋と広背筋は **Entry** 時のみ高い活動をし，その後は差がなかった．これらのことから泳速を上げる場合に上肢の筋は常に筋活動量を増加しておらず，プル動作の初期により大きな力を発揮し水を力強く掻くことで高い推進力を得ている．

2-2. 【研究 2】競泳スタート動作時の体幹筋筋活動

2-2-1. 緒言

競泳のレースはスタート、ストローク、ターン、フィニッシュの4つの局面に分類することができる。この中でスタート局面はレースの中で最も高い速度を生み出すことから、パフォーマンスに与える貢献度が高いと言われている[41, 42]。スタートの瞬間にはスタート台を蹴りだし、水平方向への速度を高める必要がある。また先行研究により、入水の瞬間には入水の衝撃から肩や胸部に大きな力が加わるとされている[43]。そのため入水時に受ける衝撃による減速を抑えることも重要である。そのため、効率よく、瞬間的にスタート台へ力を加え、より高い速度を獲得し、なおかつ入水時の衝撃に耐え、より抵抗の少ない姿勢を保持するためには体幹を安定させることが重要である。体幹とは四肢を除いた部分と定義されることもあるが、本研究では胸郭と骨盤の間の腹部を体幹と定義し、その部分にあり、体幹安定性に寄与する筋を体幹筋と定義する。先行研究において、体幹深部筋の促通が身体の安定性を高めることが報告されている[44]。また身体を安定させることは、様々な動きをコントロールするうえで重要であると言われている[45, 46]。

しかし、競泳のスタート動作時に体幹筋群がどれだけ活動しているかは明らかになっていない。スタート時の体幹筋活動の特徴を明らかにすることで、スタート局面のパフォーマンスを向上させるためのトレーニング方法の考案などの一助になりうると考える。そこで、本研究ではスタート動作時の体幹筋筋活動を明らかにすることを目的とした。

2-2-2. 方法

2-2-2-1. 被検者

被験者は大学生男子競泳選手 9 名（年齢 20 ± 1 歳，身長 174.4 ± 3.5 cm，体重 68.9 ± 4.1 kg）とした。この被験者は長い競泳経験を有しており，国内の全国大会への出場が可能な競技レベルの高い選手で，専門種目は問わず測定を行った。なお，本研究は早稲田大学研究倫理オフィス「人を対象とする研究に関する倫理委員会研究倫理委員会」の承認を得て実施し，全被験者から実験参加に関する同意を得たうえで実験を実施した。

2-2-2-2. 計測

(1) 動作

スタートには SEIKO 社製のスタート台を用い，スタート台の可動式バックプレートの位置は各被験者が普段レースで使用する位置とした。被験者の体表面上には自発光マーカー（株式会社ノビテック社製，煌）を貼付し，2 台のハイスピードカメラ（株式会社ディテクト社製，HAS-220）をスタート台の真横（陸）とスタート台から 5m 地点（水中）にそれぞれ設置し動作を撮像した（200fps）。

被検者は試技となるスタート動作を含めた 10 分程度のウォーミングアップを行った後，実際のレース同様にシグナルの合図に合わせてスタート動作を行った。

(2) 筋電

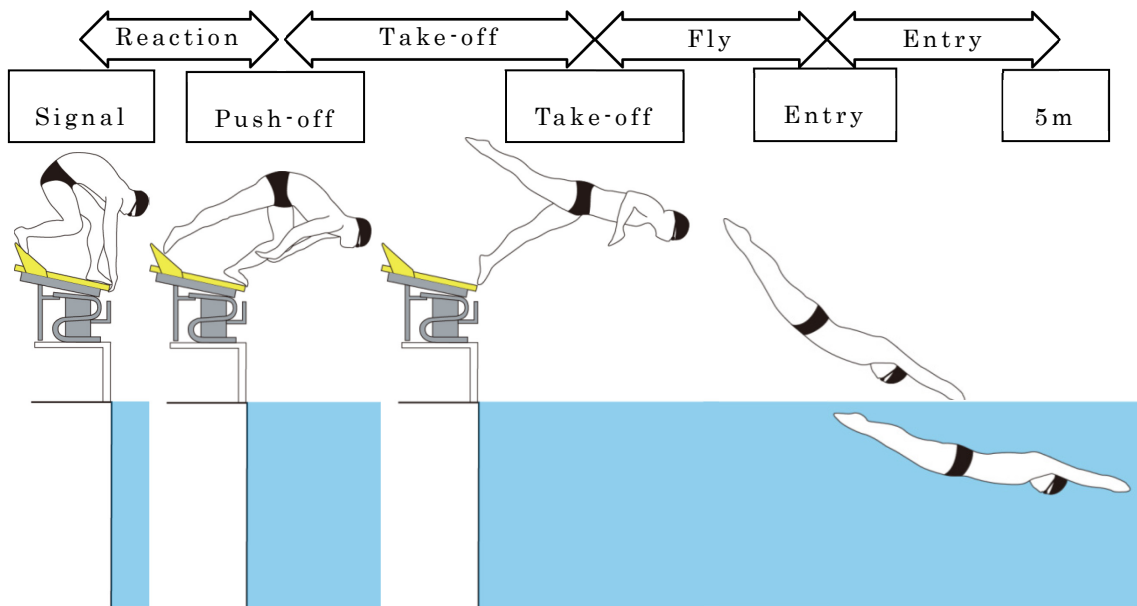
使用した筋電計に関しては研究 1 と同様に身体表面上から計測を行い，防水処理なども同様に行った。本研究では体幹筋の中でもトレーニングの対象となる事が多い左右の外腹斜筋，左右の内腹斜筋の 4 筋を測定対

象とした。

2-2-2-3. データ解析

(1) 動作

撮像した映像から目視にて 4 つの期に分けた (図 27)。スタートの Signal が鳴った瞬間から後脚がバックプレートから離れる瞬間までは「Reaction 期」とし、「Push-off」から前脚が完全に離れるまでを「Take-off 期」とした。「Take-off」から指先が着水するまでを「Fly 期」とし、着水後指先が 5m 地点に到達するまでを「Entry 期」とした。なお、着水の瞬間は水中の映像より、水面に指先が見えた瞬間とした。



- (1) Reaction : 合図～後脚が離れ (2) Take-off : 後脚離れ～前脚離れ
(3) Fly : 前脚離れ～指先着水 (4) Entry : 指先着水～5m 到達 (指先)

図 27 スタート合図から 5m 到達までの期分け

また、5m 到達は 5m 地点の水中に設置したカメラにて撮像された動画を、動作解析ソフト（株式会社ディケイエイチ社製、Frame-DIASV）を用いて解析し判断した。解析方法には研究 1 同様 2 次元 4 点実長換算方を用い、5m 地点を原点としてキャリブレーションを行った（図 28）。

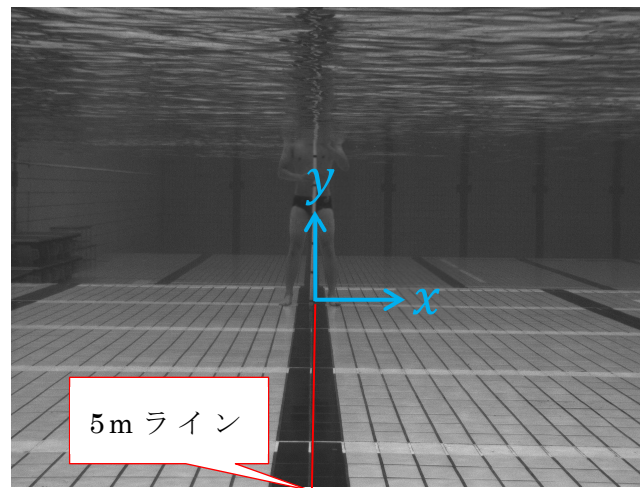


図 28 5m ラインの定義

(2) 筋電

筋電解析の手順に関しては研究 1 と同様に行った（研究 1 図 9 参照）。時間の正規化はスタート合図がなった瞬間（Signal）から指先が 5m ラインを通過した瞬間を 100%とした。

2-2-2-4. 統計解析

各測定項目の平均値および標準偏差を求めた。各期間に関して統計解析ソフト（IBM 社製、SPSS Statistics 24）を用いて二要因分散分析を行った。有意水準は 5%未満とした。

2-2-3. 結果

(1) 外腹斜筋 (EO)

左右の外腹斜筋の活動を図 29a に示す. Signal から 5m 到達まで徐々に活動量が増している.

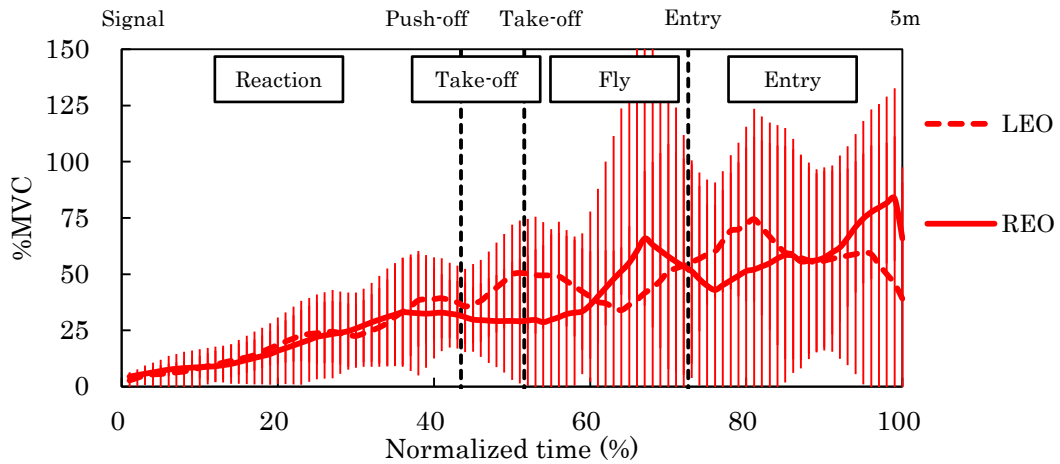


図 29a 左右外腹斜筋の活動

2 要因分散分析の結果 (図 29b), 期間にのみ有意な主効果が認められた ($p=0.020$). 多重比較検定の結果, Reaction (L; 23.0%, R; 21.1%) よりも Take-off (L; 58.9%, R; 56.8%), Entry (L; 64.1%, R; 65.2%) で有意に高い活動量を示した.

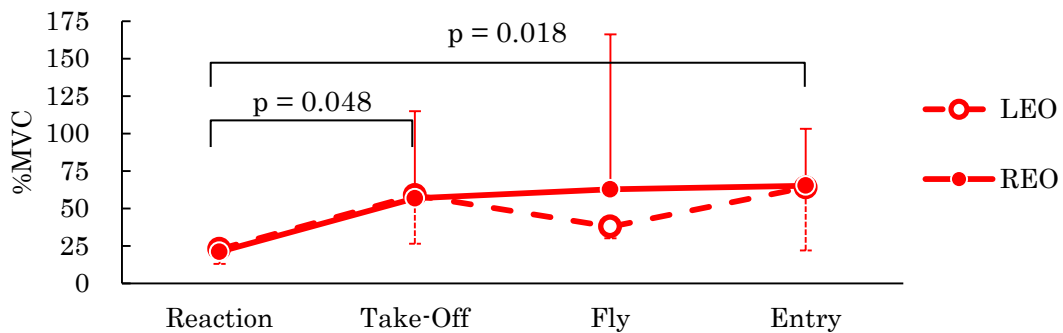


図 29b 各期における左右外腹斜筋の活動

(2) 内腹斜筋 (IO)

左右の内腹斜筋の活動を図 30a に示す。内腹斜筋の活動は左右ともに Take-off に向けて高まり、その後 Fly 時には活動が低下し、Entry にかけて再度活動が高まる。

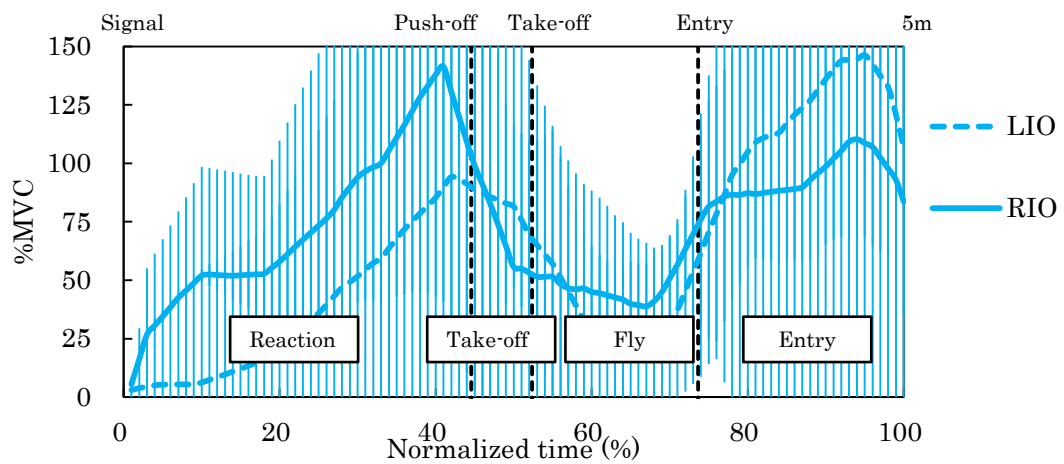


図 30a 左右内腹斜筋の活動

2 要因分散分析の結果 (図 30b), 期間, そして左右間のいずれにおいても有意な差は見認めなかった。

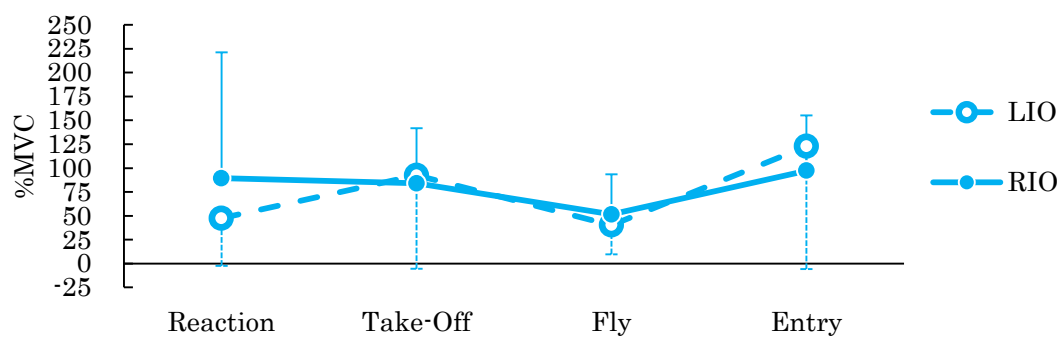


図 30b 各期における左右外腹斜筋の活動

2-2-4. 考察

競泳のスタート動作では入水の瞬間に肩や胸部に大きな力が加わることがシミュレーションを用いた研究により明らかとなっている[43]. 入水時に体幹を固定することが出来なければ入水時に上肢などに加わる衝撃に耐えることができず, 入水時の姿勢が崩れ, 抵抗が増えるため減速に繋がると考える. 本研究の結果において外腹斜筋は Signal から 5m 到達まで直線的に活動量が増していた. Reaction から Take-Off にかけてはスタート台を蹴り出す期である. Okubo らの先行研究によると, 前方ジャンプでは跳躍の前から腹横筋が働きはじめ, 脚が地面から離れる Push of Phase では腹横筋に加え, 腹直筋, 外腹斜筋の活動が増すことが報告されている[47]. 本研究の期間の比較においても, Reaction よりも Take-Off にて活動量が有意に高かったことから, スタート台を強く蹴り出すために外腹斜筋が活動し体幹の剛性を高めていたと考える. また, Okubo らの報告によると空中期では外腹斜筋の活動が低下すると報告しているが, 競泳スタート動作では同じく空中期である Fly 期において活動の低下は認められなかった. このことは, その後の入水時の衝撃に備えて体幹を安定させるために活動を維持させたためと考える.

内腹斜筋に関しては期間において統計学的に有意な差は認めなかった. しかし, 図 30a の波形を見ると, 外腹斜筋の活動とは異なり Take-Off 前に一度高い活動を示し, その後空中期である Fly 期では活動が下がっている. しかしその後の Entry 期では再び活動が高まっていることから外腹斜筋と同様に入水時および入水後の姿勢保持のために活動していると考え. Fly 期において相対的な活動量は小さく見えるが, 最大随意収縮時の約 50% (L: 40.2%, R: 51.5%) の活動を示しており, 外腹斜筋 (L: 37.9%, R: 62.8%) と同等の活動をしている. このことから空中の

Fly 期においても姿勢保持と入水後の衝撃に耐えるために内腹斜筋も必要十分な活動はしていると考える。

また外腹斜筋と内腹斜筋の両方で左右差がなかったことから、両筋共に体幹回旋の機能ではなく、体幹部の安定化のために働いたと考えることができる。

2-2-5. 結論

競泳のスタート動作において、外腹斜筋と内腹斜筋はスタート台を蹴り出す際の下肢筋の力発揮および入水時の体幹安定性向上のために活動している。

2-3. 【研究 3】 体幹深部筋トレーニング介入の効果

(掲載論文 : Iizuka, Satoshi, et al. "Immediate effects of deep trunk muscle training on swimming start performance." International journal of sports physical therapy 11.7 (2016): 1048.)

2-3-1. 緒言

体幹の深部にある内腹斜筋や腹横筋などの筋は体幹の安定性に大きく貢献しスポーツパフォーマンスの向上や障害予防に繋がることが示唆されている[48-52]. そのため, 近年では様々なスポーツ現場において体幹深部筋に焦点を当てたトレーニング(**Stabilization exercises**)が多く行われており, ストレングス&コンディショニングプログラムにおいて必要不可欠である[53].

競泳の動作は体幹が中心となり四肢を動かすため, 体幹深部筋による体幹安定性の向上がパフォーマンス向上に貢献すると考えられている[54]. 競泳競技では日常のトレーニングからレース前のウォーミングアップに至るまでの幅広い場面でこの **Stabilization exercises** が実施されており, クロール泳においてはパフォーマンスを高めることが示唆されている[50].

研究 2 においてスタート動作時に体幹筋群の高い活動が確認された。そこで, **Stabilization exercises** を介入することにより, 即時的に体幹安定性をさらに高めることができれば, スタート局面におけるパフォーマンス向上につながると考える。この **Stabilization exercises** の即時効果に関しては陸上でのリバウンドジャンプに有益な効果を与えることが明らかとなっている[55]. そこで本研究では **Stabilization exercises** が競泳スタート動作に与える即時効果を検討することを目的とした。

2-3-2. 方法

2-3-2-1. 被検者

被験者は大学生男子競泳選手 9 名 (年齢 20.2 ± 1.0 歳, 身長 174.4 ± 3.5 cm, 体重 68.9 ± 4.1 kg) とした。この被験者は長い競泳経験を有しており, 国内の全国大会への出場が可能な競技レベルの高い選手であった。なお, 本研究は早稲田大学研究倫理オフィス「人を対象とする研究に関する倫理委員会研究倫理委員会」の承認を得て実施し, 全被験者から実験参加に関する同意を得たうえで実験を実施した。

2-3-2.2. 計測

スタート動作の計測は研究 2 と同様の方法で行い, 最初の試技 (Pre) の直後に **Stabilization exercises** を介入し, 直後に 2 回目のスタート動作を行った (Post)。Pre, Post 共にそれぞれ 1 回のみ実施した。また Pre 試技の前には Pre 測定でベストのパフォーマンスが発揮できるよう, 被験者毎にレースを想定した 15 分程度の **W-up** を実施した。

2-3-2-3. 解析項目

解析項目はプールの壁から入水地点までの距離 (L), 前足がバックプレートから離れた瞬間 (**Take-off**) から入水までのタイム (T_{flight}), 手指先端が入水 (**Entry**) してから 5m ラインに到達するまでのタイム (T_{water}), そして T_{flight} と T_{water} を合わせたタイム ($T_{5\text{m}}$) とした。また, 入水時の速度 (V_{entry}) および 5m 到達時の速度 ($V_{5\text{m}}$) も算出した。 V_{entry} は指先が水面に着水した瞬間から 0.1 秒の間に大転子に貼付したマーカー移動距離を算出し, 0.1 秒で除すことで速度を算出した。 $V_{5\text{m}}$ も V_{entry} と同様に指先が 5m 到達から 0.1 秒間の移動速度とした (図 31)。

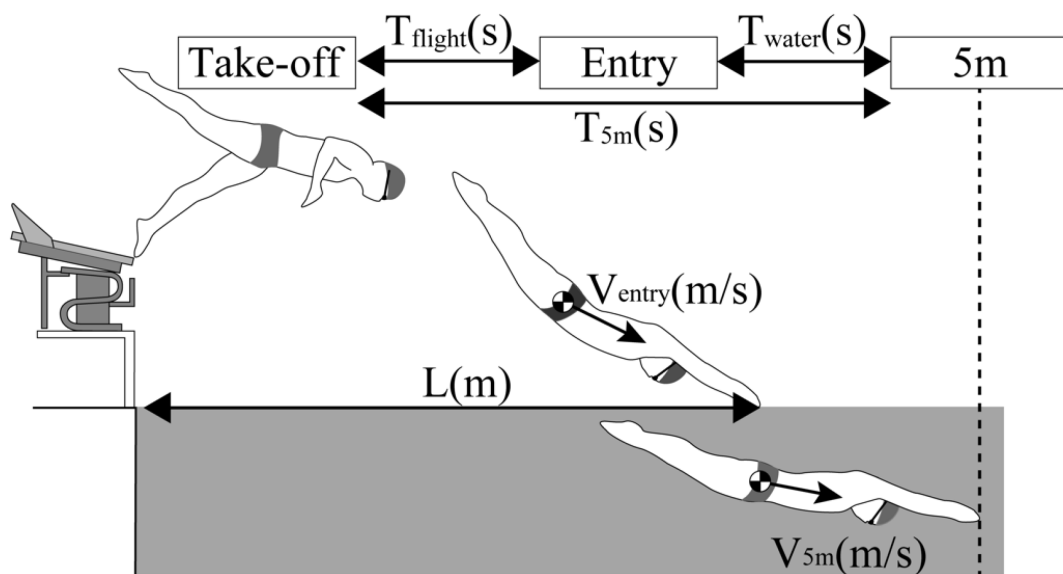


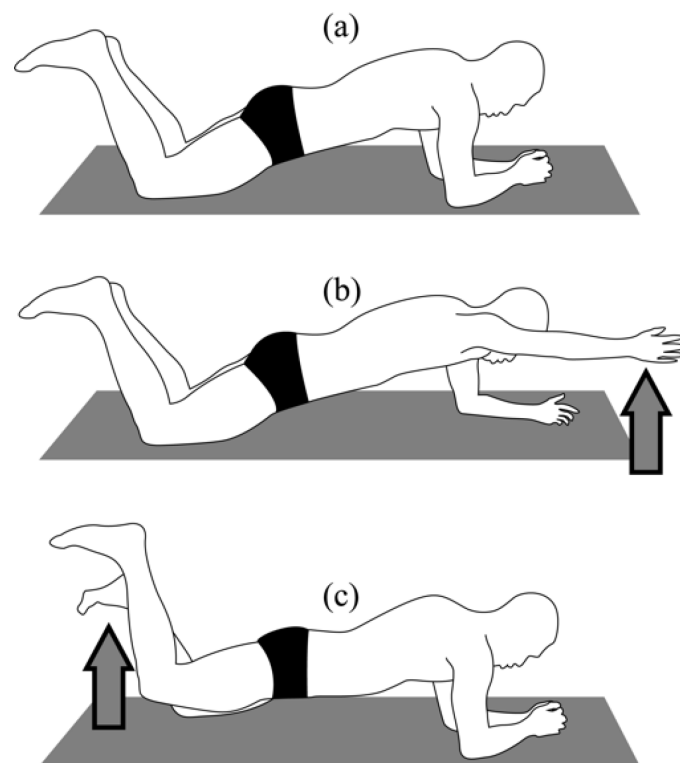
図 31 解析項目

2-3-2-4. トレーニング介入

体幹の安定性制御には体幹筋が重要であるとされており[56]，それらの筋を賦活化させるトレーニングはしばしば **Stabilization exercises** と呼ばれる．この **Stabilization exercises** の中で，先行研究によって実際に **Stabilization exercises** 中に体幹筋の活動が高まることが確認されている[57]，「Elbow Knee」，「Elbow Knee+手挙げ」，「Elbow Knee+脚挙げ」の3種目とした(図32)．「Elbow Knee」は腹臥位姿勢で肘と膝で身体を支える姿勢を60秒間保持させた．この時，肩関節は約90度屈曲位にし，股関節は屈曲や伸展をしないようさせ，膝から肩までが直線になるようにした．「Elbow Knee+手挙げ」は「Elbow Knee」の姿勢から上肢を交互に挙上させた．挙上は肩関節180度屈曲位となるようにし，回数は左右15回ずつの合計30回を60bpmのテンポで実施した．テンポは実際に被験者にメトロノームで60bpmのテンポを聞かせて，そのテンポに合わせるようにさせた．「Elbow Knee+脚挙げ」は下肢を交互に

浮かせるようにさせ、テンポや回数は「手挙げ」と同様にした。なお、脚を挙げる高さは特に規定せず、床から離れれば可とした。なお本研究で用いた **Stabilization exercises** は競泳のナショナルチームが実際にレース前に実施しているものを参考とした。

先行研究において、脊椎の安定性を制御するためには最大随意収縮の30%程度で十分であると示されている[58]。また、**Stabilization exercises** のなかでも、強度が低い **Hand-Knee exercise** でも体幹深部筋の十分な活動が確認されている[57]。それらの結果より、本研究で用いる上記 **Sbilization exercises** は介入として適当な強度であったといえる。



- (a) Elbow Knee (60 秒キープ)
- (b) Elbow Knee+手挙げ (30 回)
- (c) Elbow Knee+脚挙げ (30 回)

図 32 Stabilization exercises 介入

2-3-2-5. 統計解析

各測定項目の平均値および標準偏差を求めた。Pre と Post における各項目の値の比較には統計解析ソフト（IBM 社製，SPSS Statistics 24）を用いて対応のある T 検定を行った（有意水準 5%未満）。

2-3-3. 結果

Stabilization exercises 前後の結果を表 2 に示す。時間に関して、 T_{flight} と T_{water} に有意な差は認めなかったが、 T_{flight} と T_{water} を合わせた T_{5m} では Stabilization exercises 介入直後にタイムが 0.019 秒短縮した ($p=0.020$)。また、速度に関しては V_{entry} では有意な差を認めなかったが、 V_{5m} では有意な速度の向上を認めた ($p=0.023$)。また、 V_{entry} と V_{5m} から減速率を算出し Pre と Post で比較したところ、Post 試技において 5.17%の有意な減少が認められた ($p=0.036$) (図 33)。飛距離 L に関しては有意な差を認めなかった。

表 2 Pre と Post の比較

	Pre	Post	p-value	ES
L(m)	3.14±0.31	3.19±0.30	0.172	0.16
T_{flight} (s)	0.422±0.085	0.423±0.086	0.917	0.01
T_{water} (s)	0.407±0.085	0.387±0.074	0.112	0.26
T_{5m} (s)	0.829±0.037	0.810±0.039	0.020*	0.52
V_{entry} (m/s)	5.28±0.20	5.27±0.27	0.842	0.06
V_{5m} (m/s)	4.61±0.46	4.87±0.35	0.023*	0.63

Mean±SD

*: significant difference ES: Effect Size

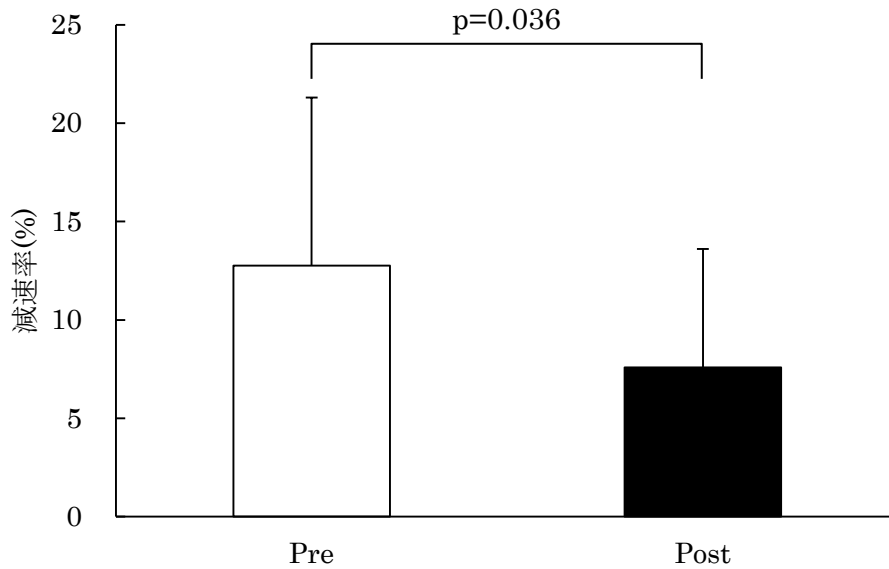


図 33 減速率の変化

2-3-4. 考察

近年多くのスポーツ現場で様々な **Stabilization exercises** が取り入れられているが，運動パフォーマンスに与える効果は明らかにされていなかった．このため **Stabilization exercises** が競泳レースのスタート局面におけるパフォーマンスに与える影響を検討した結果，**Stabilization exercises** の介入により，スタート後 5m 到達時の速度が有意に向上する結果となった．

本研究においてはスタート局面のパフォーマンスを評価する指標として，スタート台から入水位置までの飛距離とそれぞれの到達タイムおよびそれぞれの時点での速度を算出し比較した．その結果，**Stabilization exercises** 介入によって飛距離（L）には変化が見られなかった．先行研究において，リバウンドジャンプなどの地上での跳躍動作では **Stabilization exercises** 介入によって跳躍高が上昇するという即事効果が認められたとする報告がある [55]．先行研究では垂直跳びの能力と競

泳スタート局面のパフォーマンスには関連があるという報告[59]がある一方、Ray V.P.らは垂直跳びのパフォーマンス向上が競泳スタート局面のパフォーマンスには反映されないと報告しており[60]、一定の見解が得られていない。本研究の結果においても変化は見られなかったことから、競泳のスタート動作における飛距離は **Stabilization exercises** によって即時的に変わるものではないと考える。

時間に関しては 5m 到達タイム (T_{5m}) が **Stabilization exercises** 介入直後に 0.019 秒短縮した ($p=0.020$)。この時間短縮は僅かなものではあるが、1000 分の 1 秒のタイムを争う競泳競技において約 0.02 秒の短縮は大きな意味があると考えられる。また、速度に関しても 5m 到達時の速度 (V_{5m}) が有意に上昇しており、この速度の上昇がタイムの向上につながっていると考える。Entry 瞬間の速度には変化が見られないことから、**Stabilization exercises** 介入によりスタート台を蹴り出す力には変化がないと考える。

Stabilization exercises 介入後は介入前よりも 5m 到達時の瞬間速度が速くなっていったが、このことは入水時の減速を抑制したことを示している。実際に減速率を算出し検討したところ、減速率が 12.8%から 7.6%へと有意な減少を認めた (図 33)。競泳では入水の瞬間に肩や胸部に大きな力が加わることがシミュレーションを用いた研究により明らかとなっている[43]。入水時に体幹を固定することが出来なければ入水時に上肢などに加わる衝撃に耐えることができず、入水時の姿勢が崩れ、抵抗が増えるため減速に繋がると考える。しかし、**Stabilization exercises** を実施することで体幹を安定させるために必要な筋群が即時的に賦活化され、入水時の衝撃による体幹の動揺を減少していたと考える。そのことが結果として減速を減らし、5m 到達時に高い速度を保つこと

ができていたと考える。

これらのことから，本研究で実施した **Stabilization exercises** は競泳のスタート局面におけるパフォーマンスを即時的に改善し，競泳レースにおけるパフォーマンスの向上に繋がると考える。なお，本研究の被験者は日頃のトレーニングの中でも類似したトレーニングをしている選手であったにもかかわらず即時的な効果が認められたことから，幅広いレベルの選手のウォーミングアップなどで有用であると言える。

本研究では介入を行なわなかった被験者群（コントロール群）を設けておらず，単なるウォーミングアップ効果である可能性を完全に否定することができないことが本研究の限界である。しかし，試技前に各自が行ったウォーミングアップはレースを想定したものであり，試技と同じスタート動作も行っているため，ウォーミングアップ効果は少ないと考える。また介入トレーニングの強度もそれほど高いものではないため，より強度の高いものにすることで更に良い効果を得ることができ的可能性があり，最適な強度を明らかにするためには，様々な強度の介入を行った群との比較を行っていく必要がある。

2-3-5. 結論

競泳競技において，**Stabilization exercises** 介入を実施することでスタートから 5m 到達までのタイムが即時的に短縮され，競泳競技のパフォーマンス向上につながることを示唆された。

第 3 章：総合考察

3-1. 筋活動に関する考察

筋活動の最適な活動量やタイミングは、パフォーマンスを決定する重要な因子であると考えられている [9, 34]. 本論文では、国内競泳選手におけるクロール泳時の筋活動パターンと、スタート動作時の体幹筋活動パターンを明らかにし、またトレーニング介入がもたらす効果を検討した.

水がもつ物理的な特性には「比重」「密度」「粘性」などが考えられている [61]. 水中での運動は常に水の抵抗が加わっており、この抵抗は空気中よりも大きいため、同じ動作であっても陸上とは異なる筋活動を示すと考えられる. しかし、研究 1 の結果から、上腕二頭筋、大胸筋、広背筋、大殿筋、多裂筋のように純粹に筋の作用（収縮）に伴って関節が動くものや、上腕三頭筋と大腿直筋のように動作の最初にのみ高い活動を示し、その後はその動作をしているにも関わらず活動量が低下するものがある. 今回行った試技はクロール泳のみであるため、これらの活動はクロール泳中の筋活動の特徴であると言えない. しかし、今後様々な泳法や、より基本的な動作を詳細に検討していくことで関節の構造や動作の特性を踏まえたうえで水中運動時の筋活動の振る舞いを明らかにすることができると思う.

競泳の動作は体幹が中心となり四肢を動かすため、体幹深部筋の活動による体幹安定性の確保が重要であると考えられている [54]. そのため、四肢の動きに連動し手や足で受ける抵抗に耐えるため、またそれらの力を適切に推進力に替えるために活動をしていると考えていた. しかし、本研究ではクロール泳では体幹筋はプル動作に伴うローリング動作に関わっている事が明らかとなった. 今回行った **Form** と **Hard** の 2 つの強

度において、同様の傾向が見られたが、今回行った **Hard** は「100m のレースペース」という指示であったため、これを「50m (もしくは 25m) の全力泳」という指示にした場合、ストロークの回転数が増すためローリング動作にも変化があると考えられる。今後、より様々な泳速度で測定しより詳細に検討することで泳速 (種目) に適した指導につながると考える。

また、研究 2 ではスタート動作時には外腹斜筋および内腹斜筋は体幹回旋動作ではなく、体幹安定性のために働いていることが示唆された。そこから、研究 3 ではそれら体幹筋をより賦活化させると考えられている **Stabilization exercises** 介入を実施したところ、スタートパフォーマンスの向上が確認された。水中のストリームライン姿勢時の体幹筋活動を測定した研究において、より良いストリームライン姿勢を作れていた選手においては外腹斜筋および内腹斜筋のより高い活動が確認されている [19]。これらのことから、入水時や水中において、抵抗が少ない姿勢を保つためには体幹筋群の活動を高める必要があると言える。本研究では競泳競技における局面の 1 つであるターン動作に関しては測定を行っていない。今後、スタート、ストローク、ターンと連続したデータを取り、各筋の振る舞いの変化を調査することで、より実際のレースに近い筋活動を把握することができると考える。

本論文で行った研究 1 から 3 に共通して言える研究の限界として、それぞれ試技が 1 回もしくは 2 回しか行えていないということである。より正確な筋電図を測定するためには確実な防水処理が必要であり、16ヶ所の筋の測定を実施する場合、準備に長い時間がかかり被験者の負担になってしまう。また、繰り返し泳ぐことで防水シールが剥がれ、電極部分に浸水してしまったこともあった。それらのことから、なるべく実験

時間を短縮し、尚且つ浸水するリスクを最小限にするために、少ない試技数しか行うことができなかった。また、被験者も国内トップレベルの選手であるとはいえ、被験者内において競技力にばらつきがあることも事実である。今後は被験者の数を増やすとともに、種目や競技レベルにおいてより詳細に分けて比較を行うことが重要であると考え。このような研究における限界点はあるものの、競技歴の高い選手を被験者とし、数多くの試行を繰り返すことで採取できた今回の筋活動データは、競泳選手のクロール泳やスタート動作時の筋活動様式として信頼できる結果であると考え。

3-2. パフォーマンス向上への応用

本研究により、クロール泳中の各筋の活動様式が明らかとなった。クロールのストロークを模した練習やウォーミングアップとして、ゴム製のチューブを用いたものが現場では多々行われている。今後、そういった実際のプル動作を模したウォーミングアップなどを実施する際、本研究により明らかになった筋活動タイミングを基に、チューブを引くときであっても Pull から Push へ移行するタイミングでは内外腹斜筋を収縮させるような意識を持つよう指導することで、より効果的なウォーミングアップになるのではないかと考える。

また、スタート時の体幹筋に関しては体幹を固めることが重要であるとされ、比較的動きの少ない **Stabilization exercises** が導入されることが多く、実際にその必要性が示された。また、水中では体幹筋群は身体のローリングに関わった活動が確認されたことから、体幹回旋動作を含んだ **Stabilization exercises** を行うことでより競技力の向上につながると思われる。

第 4 章：まとめ

- クロール泳において，上腕二頭筋，大胸筋，広背筋，大殿筋，多裂筋は各筋が作用する関節の動きに伴って活動している．
- 肘関節及び膝関節の伸展筋である上腕三頭筋と大腿直筋は伸展方向へ動く最初にのみ高い活動を示す．
- 外腹斜筋と内腹斜筋はプル動作時の体幹のローリングに伴って活動する．
- 競泳のスタート動作において，外腹斜筋と内腹斜筋の活動はスタート台を蹴り出す際の下肢筋の力発揮および入水時の体幹安定性の向上に貢献する．
- 競泳競技において，**Stabilization exercises** 介入を実施し体幹筋を賦活化させることでスタートから 5m 到達までのタイムが即時的に短縮される．

参考文献

1. Keskinen, K., L. Tilli, and P. Komi, *Maximum velocity swimming: interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables*. Scand J Sports Sci, 1989. **11**(2): p. 87-92.
2. Kjendlie, P.-L. and R. Stallman, *Morphology and swimming performance*. World Book of Swimming. From Science to Performance. New York: Nova, 2011: p. 203-222.
3. Colman, V., et al., *Relation between physical characteristics and undulation in the breaststroke*. Biomechanics and medicine in swimming (Swimming science VI), London: Spon, 1992: p. 365-370.
4. Persyn, U., V. Colman, and B. Ungerechts. *Diagnosis and advice in the undulating strokes requires information on global body flexibility and upper limb strength*. in *ISBS-Conference Proceedings Archive*. 2000.
5. Abbott, A. and D. Collins, *Eliminating the dichotomy between theory and practice in talent identification and development: considering the role of psychology*. Journal of sports sciences, 2004. **22**(5): p. 395-408.
6. Mason, B. and D. Formosa, *Competition analysis*, in *World book of swimming: From science to performance*. 2011, Nova Science Publishers, Inc. p. 411-424.
7. Castronovo, A.M., et al., *How to assess performance in cycling: the multivariate nature of influencing factors and related*

- indicators*. *Frontiers in physiology*, 2013. **4**.
8. Figueiredo, P., et al., *Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim*. *BioMed research international*, 2013. **2013**.
 9. HOLMER, I., *Swimming physiology*. *The Annals of physiological anthropology*, 1992. **11(3)**: p. 269-276.
 10. Martens, J., P. Figueiredo, and D. Daly, *Electromyography in the four competitive swimming strokes: A systematic review*. *Journal of electromyography and kinesiology*, 2015. **25(2)**: p. 273-291.
 11. Martens, J., P. Figueiredo, and D. Daly, *Electromyography in the four competitive swimming strokes: a systematic review*. *J Electromyogr Kinesiol*, 2015. **25(2)**: p. 273-91.
 12. Clarys, J.P. and J. Cabri, *Electromyography and the study of sports movements: a review*. *J Sports Sci*, 1993. **11(5)**: p. 379-448.
 13. Silvers, W.M. and D.G. Dolny, *Comparison and reproducibility of sEMG during manual muscle testing on land and in water*. *Journal of electromyography and kinesiology*, 2011. **21(1)**: p. 95-101.
 14. Alberton, C.L., et al., *Electromiographic responses induced by superficial electrodes isolation and by immersion*. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 2008. **8**: p. 330-336.
 15. Kalpakcioglu, B., et al., *Does local immersion in thermo-neutral bath influence surface EMG measurements? Results of an experimental trial*. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2009. **19(6)**: p. e550-e553.
 16. da Silva Carvalho, R.G., et al., *Analysis of various conditions in*

- order to measure electromyography of isometric contractions in water and on air.* Journal of Electromyography and Kinesiology, 2010. **20**(5): p. 988-993.
17. Pinto, S.S., et al., *Electromyographic signal and force comparisons during maximal voluntary isometric contraction in water and on dry land.* European journal of applied physiology, 2010. **110**(5): p. 1075-1082.
 18. Olstad, B.H., et al., *Muscle coordination, activation and kinematics of world-class and elite breaststroke swimmers during submaximal and maximal efforts.* J Sports Sci, 2017. **35**(11): p. 1107-1117.
 19. Kobayashi, K., et al., *Lumbar alignment and trunk muscle activity during the underwater streamline position in collegiate swimmers.* Journal of Swimming Research, 2015. **23**(1): p. 33-43.
 20. Kobayashi, K., et al. *ACTIVATION PATTERN OF TRUNK, THIGH AND LOWER LEG MUCLES DURING UNDERWATER DOLPHIN KICK IN SKILLED FEMALE SWIMMERS.* in *ISBS-Conference Proceedings Archive.* 2016.
 21. Yamakawa, K.K., et al., *Kinematic and EMG data during underwater dolphin kick change while synchronizing with or without synchronization of kick frequency with the beat of a metronome.* Data in Brief, 2017. **14**: p. 28-31.
 22. Clarys, J.P. and J. Cabri, *Electromyography and the study of sports movements: a review.* Journal of sports sciences, 1993. **11**(5): p. 379-448.

23. Hermens, H.J., et al., *European recommendations for surface electromyography*. Roessingh research and development, 1999. **8**(2): p. 13-54.
24. Arokoski, J.P., et al., *Back and hip extensor muscle function during therapeutic exercises*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 1999. **80**(7): p. 842-850.
25. Ng, J., V. Kippers, and C. Richardson, *Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions*. Electromyography and clinical neurophysiology, 1998. **38**(1): p. 51-58.
26. Marshall, P. and B. Murphy, *The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement*. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2003. **13**(5): p. 477-489.
27. Pink, M., et al., *THE NORMAL SHOULDER DURING FREESTYLE SWIMMING - AN ELECTROMYOGRAPHIC AND CINEMATOGRAPHIC ANALYSIS OF 12 MUSCLES*. American Journal of Sports Medicine, 1991. **19**(6): p. 569-576.
28. Rouard, A. and R. Billat, *Influences of sex and level of performance on freestyle stroke: an electromyography and kinematic study*. International journal of sports medicine, 1990. **11**(02): p. 150-155.
29. McCabe, C.B. and R.H. Sanders, *Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at a distance pace*. Journal of Sports Sciences, 2012. **30**(6): p. 601-608.

30. de Jesus, K., et al., *The Effect of Intensity on 3-Dimensional Kinematics and Coordination in Front-Crawl Swimming*. International journal of sports physiology and performance, 2016. **11**(6): p. 768-775.
31. Seifert, L., D. Chollet, and J.C. Chatard, *Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2007. **39**(10): p. 1784-1793.
32. Figueiredo, P., et al., *Upper- and lower-limb muscular fatigue during the 200-m front crawl*. Appl Physiol Nutr Metab, 2013. **38**(7): p. 716-24.
33. Merletti, R. and P. Di Torino, *Standards for reporting EMG data*. J Electromyogr Kinesiol, 1999. **9**(1): p. 3-4.
34. Figueiredo, P., et al., *Kinematic and electromyographic changes during 200 m front crawl at race pace*. International journal of sports medicine, 2013. **34**(01): p. 49-55.
35. Elliott, B., *Body Form Influences on the Drag Experienced by Junior Swimmers*. International Research in Sports Biomechanics, 2002: p. 310.
36. Fantozzi, S., et al., *Assessment of three-dimensional joint kinematics of the upper limb during simulated swimming using wearable inertial-magnetic measurement units*. Journal of Sports Sciences, 2016. **34**(11): p. 1073-1080.
37. 出村 慎一, et al., *健康・スポーツ科学のための SPSS による統計解析入門*. 2007, 杏林書院.

38. Thompson, C.W. and R. Floyd, *身体運動の機能解剖*. 2000: 医道の日本社.
39. Yanai, T., *Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions*. Journal of Biomechanics, 2003. **36**(1): p. 53-62.
40. Maglischo, E.W., *Swimming even faster*. 1993: McGraw-Hill Humanities, Social Sciences & World Languages.
41. Arellano, R., et al., *A device for quantitative measurement of starting time in swimming*. Biomech Med Swim VII, 1996: p. 195-200.
42. Mason, B. and J. Cossor, *What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships*. 2000.
43. Kiuchi, H., et al., *Modeling Fluid Forces in the Dive Start of Competitive Swimming*. Journal of Biomechanical Science and Engineering, 2010. **5**(4): p. 314-328.
44. Stanton, T. and G. Kawchuk, *The effect of abdominal stabilization contractions on posteroanterior spinal stiffness*. Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**(6): p. 694-701.
45. Mills, J.D., J.E. Taunton, and W.A. Mills, *The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial*. Physical Therapy in Sport, 2005. **6**(2): p. 60-66.
46. Ben Kibler, W., J. Press, and A. Sciascia, *The role of core stability in athletic function*. Sports Medicine, 2006. **36**(3): p. 189-198.
47. Okubo, Y., et al., *Abdominal muscle activity during a standing*

- long jump*. journal of orthopaedic & sports physical therapy, 2013. **43**(8): p. 577-582.
48. Durall, C.J., et al., *The effects of preseason trunk muscle training on low-back pain occurrence in women collegiate gymnasts*. J Strength Cond Res, 2009. **23**(1): p. 86-92.
49. Comerford, M.J. and S.L. Mottram, *Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction*. Man Ther, 2001. **6**(1): p. 3-14.
50. Weston, M., et al., *Isolated core training improves sprint performance in national-level junior swimmers*. Int J Sports Physiol Perform, 2015. **10**(2): p. 204-10.
51. Nuzzo, J.L., et al., *Trunk muscle activity during stability ball and free weight exercises*. J Strength Cond Res, 2008. **22**(1): p. 95-102.
52. Oliver, G.D. and R. Di Brezzo, *Functional balance training in collegiate women athletes*. J Strength Cond Res, 2009. **23**(7): p. 2124-9.
53. Reed, C.A., et al., *The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures: a systematic review*. Sports Med, 2012. **42**(8): p. 697-706.
54. Willardson, J.M., *Core stability training: applications to sports conditioning programs*. J Strength Cond Res, 2007. **21**(3): p. 979-85.
55. Imai, A., et al., *Immediate Effects of Different Trunk Exercise Programs on Jump Performance*. Int J Sports Med, 2016. **37**(3): p. 197-201.

56. Bergmark, A., *Stability of the lumbar spine: a study in mechanical engineering*. Acta Orthopaedica Scandinavica, 1989. **60**(sup230): p. 1-54.
57. Okubo, Y., et al., *Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises*. J Orthop Sports Phys Ther, 2010. **40**(11): p. 743-50.
58. Jull, G. and C. Richardson, *Rehabilitation of active stabilisation of the lumbar spine*. Physical Therapy of the Lumbar Spine 2nd de. Churchill Livingstone, 1994: p. p251-283.
59. Pearson, C.T., et al., *A comparison of the swimming start using traditional and modified starting blocks*. Journal of Human Movement Studies, 1998. **34**(2): p. 49-66.
60. Breed, R.V. and W.B. Young, *The effect of a resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming*. J Sports Sci, 2003. **21**(3): p. 213-20.
61. 成家篤史, 鈴木直樹, and 寺坂民明, 「感覚的アプローチ」による水泳学習の実践提案. 体育科教育学研究, 2013. **29**(2): p. 11-23.

謝辞

本論文を作成するにあたり，研究指導を行って頂いた早稲田大学スポーツ科学学院の金岡恒治教授には心より感謝申し上げます．金岡先生には研究とはなにか，また研究することの楽しさと素晴らしさ，そして厳しさを教えていただきました．結果的に博士論文を完成させるまでに5年かけてしまいました，その中でも自由に研究活動をさせていただき，多くのことを学ぶことができました．また，副査をご快諾して頂いた矢内利政教授，広瀬統一教授にはご多忙のなか，親身なご指導，ご指摘を賜りましたことを心より感謝申し上げます．また，鳥居俊准教授にはミーティングだけでなく，日常の会話の中でも多くの相談にのっていただき，的確なアドバイスと激励をしていただきましたことを，深く感謝しております．最後の1年は博士論文執筆のために多くのことを気遣っていただき，集中して博士論文に取り組むことができました．駿河台大学の飯田悠佳子先生には研究が何かもわからぬ学部生のころから多くのことをご指導いただきました．飯田先生から学んだことは今の私の全ての土台となっていると強く感じております．心より感謝申し上げます．帝京科学大学の岩沼聡一郎先生にも修士論文や学会発表など，多くの場面でご指導いただき，研究に必要な緻密さなど，研究者として必要な多くのことを学ばせて頂きました．今井厚先生には本研究の多くの実験をお手伝いいただき，実験や解析を行っていくなかで多くのアドバイスを頂きました．筋電図に関する研究を始めたばかりの私にとって，本論文を書き上げるために今井先生のご助言は必要不可欠でした．

そして，実験に協力してくれた多くの早稲田大学水泳部の部員に感謝申し上げます．水泳部でもあり，金岡ゼミのゼミ生であった学生には被験者から検者まで，本当にお世話になりました．実験を行う上では，金

岡研究室の大学院生にも大変ご協力いただきました。水泳部の皆様，金岡研の院生の皆様の力添えなくしては実験を完遂することは出来ませんでした。また，2017年度からは早稲田大学スポーツ科学学術院の助手として働かせていただく中での博士論文執筆でしたが，鳥居研究室の大学院生の皆様にも多くの気を使っていただき，時にはなかなか博士論文を進めない私を叱咤していただきました。本当にありがとうございました。最後の1年，本当に楽しく執筆作業を進めることができました。そして同期であるスポーツ科学学術院助手の大伴茉奈先生には，大学院での研究生生活を通じて様々な面でお世話になりました。

最後になりましたが，これまで暖かく見守って下さった父，母には大変感謝しております。どんなときでもサポートしていただき，誠にありがとうございました。