

平成 30 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

クロール泳のプル筋力と泳速の定量評価による
パフォーマンス事前予測の試み

学籍番号 4117052

氏名 桑井 太陽
研究指導教員 武田 剛

合格年月日 平成 31 年 2 月 18 日

論文審査員 主査 青木 和浩

副査 宮本 直和

副査 武田 剛

目次

I 緒言	1
研究の背景	1
I—I 競泳におけるコンディショニング評価	1
I—II 試合現場でのフィールドテスト	2
I—III クロール泳法のパフォーマンス構成要素	4
目的	6
I—IV 実験①と実験②による筋力測定値と泳力の関係性の検証	6
I—V 実験①の仮説	7
I—VI 実験②の仮説	7
II 実験①	9
II—I 方法	9
対象者	9
泳タイム測定	9
プル動作牽引力測定	10
計測における牽引姿勢	12
上肢測定位置の決定	13
肩ローリング（体幹の回旋角度）角度の設定	14
姿勢の誤差調整	15
データ分析	15
II—II 結果	16
II—III 考察	17
III 実験②	21
III—I 実験デザイン	21
III—II 方法	22
対象者	22
泳タイム測定	22
2つの介入運動	22
プル動作牽引力測定	25
データ分析	26

III—III	結果	26
III—IV	考察	29
	介入エクササイズの動員筋群の特異性の問題	30
	泳タイム測定における疲労回復の問題と泳動作における筋収縮動態について	30
IV	総合討論	32
V	結論	34
VI	引用文献	35
VII	英文要約	40

I 緒言

研究の背景

I—I 競泳におけるコンディショニング評価

近年、競泳の競技力向上においてコンディショニングは重要視されており、選手のコンディショニングに直接かかわるトレーナーサポートの役割は年々高まっている。オリンピック選手数に対する帯同トレーナーの割合をみても 1996 年アトランタオリンピックの競泳日本代表チームにおいては選手数 27 名に対し 1 名のトレーナー帯同であったが、2016 年リオデジャネイロオリンピックにおいては選手数 36 名に対して 5 名のトレーナー帯同と増加している^{15, 16-21)}。

日本体育協会³⁰⁾は、アスレティックトレーナーが行うコンディショニングを、広義の意味では、ピークパフォーマンスの発揮に必要な全ての要因を目的に向かって望ましい状況に整える事とし、狭義の意味では、競技スポーツにおける全ての準備プロセスとしている。また競技場面では、トレーナーが選手のパフォーマンスの向上や障害の予防の為に直接行う手段をコンディショニングとしている。これには National Council on Rehabilitation がリハビリテーションの基本概念を身体的、精神的、社会的、職業的ならびに経済的に最高度の有用性を発揮できる回復と提唱したことが背景にある。また世界保健機関 (WHO)⁵¹⁾は、リハビリテーションの目的は機能障害や能力低下を最小限におさえ、社会的不利益が生じないように最善の努力をすることとし、これに基づき社会復帰を目指す医学的リハビリテーションから、スポーツ選手の競技復帰に特化したアスレティックリハビリテーションが競技スポーツ界で発展した。さらにスポーツ競技選手が過去の外傷による後遺症によってパフォーマンスが低下した場合、これを元の競技レベルに戻す行為をリコンディショニングとも呼ぶようになった³¹⁾。

競泳の競技会期間中のコンディショニングの必要性は試合形式によって説明することができる。競泳は主要全国大会等では予選決勝方式が採用されている。また、選手は一競技会についての複数種目へのエントリーが一般的であるため、1日に複数回のレースを行うことが多い。このため、すべてのレースにおいて最大努力で競技を行うためには、レース毎に疲労回復を図る必要がある。この回復を促す方法として、レース後のクーリングダウンの他に、選手自身によるストレッチや、コーチやトレーナーによるマッサージなどが行われている。これらの手法は、競泳の指導現場では「ケ

ア」と呼ばれる。山本ら⁵⁴⁾は、激しい運動の後にストレッチやマッサージを実施する事が、作業能力回復に有効な効果をもたらすとしている。この疲労回復を目的として行うストレッチも近年の研究において、特に静的なストレッチは実施後の筋力が低下することがBehm et al.⁴⁵⁾によるシステマティックレビューによって明らかにされている。したがって静的なストレッチを含むケアによって一時的に低下する筋力を適切な水準に回復させる為に、現場ではケアと並行して陸上での筋力トレーニングも行われている。このトレーニングは荷重位、非荷重位を問わず、局所的な部位から水泳運動の特異性を考慮した全身運動まで幅広くプログラム化され¹⁴⁾、障害予防の体幹の補強運動もこれに分類される⁴²⁾。この手法は指導現場では「エクササイズ」と呼んでいる。

I—II 試合現場でのフィールドテスト

2016年リオデジャネイロオリンピックの競泳種目では、日本人選手が出場した個人種目において、予選敗退者を除く準決勝以上に進出した選手の中で、予選より自己タイムを縮めた選手の人数の割合は全体で66.7%（男子78.6%/女子53.8%）と報告されており、その選手の中での自己ベスト更新率は23.8%（男子28.6%/女子19.0%）であった²¹⁾。2016年リオデジャネイロオリンピックでは、パフォーマンスが上がらなかった選手に対する疲労回復方法（ケア）やフィジカルトレーニング（エクササイズ）の強化改善の取り組みが反省点として挙げられている¹⁵⁾。競技会期間中にコーチやトレーナーが選手に対して処方するケアやエクササイズの効果の評価は、選手の主観的感觉やトレーナーの経験則に基づき行われ、試合前の選手の筋出力の確認も徒手抵抗の感覚のみで実施され、定量化されていない。したがって、レースを重ねる選手にはその都度ケアが実施されるが、その後エクササイズによって適切な水準にまで筋出力が復帰しているかの確認は定量的に実施されていない。しかし、すでに欧米の一部の競泳オリンピックナショナルチームでは、試合直前のパフォーマンスの即時評価として、精密な実験機器を競技会場に設置し筋力測定を実施しているが、学術論文や先行研究への報告は見られない。

日本コーチング学会⁵⁵⁾はトレーニングサイクル循環モデルを提案し、このモデルではトレーニングアセスメント論、スポーツパフォーマンス構造論、トレーニング目標論、トレーニング手段論、トレーニング方法論、トレーニング計画論、トレーニング実践論、試合行動論があり、それぞれに理論体系があり、競技力向上の為にこのサイ

クルを循環させていくことが重要であると述べている。この循環モデルのトレーニングアセスメント論では、最終的な目標試合への過程において、段階的かつ定期的に各種の測定および診断を行い、トレーニング進行状況におけるアセスメント（評価）が必要不可欠としている。またトレーニングアセスメント論における競技力の評価テストを、高度で専門的なラボラトリーテストと、簡易的でどこでも行えるフィールドテストに分類している。このフィールドテストはトレーニングの進捗状況の確認としての位置付けが強く、現在のところ競技会期間中に処方されるやケアやエクササイズの評価（コンディショニング評価）の位置付けは明確には定義されていない。

またフィールドテストは、主観的測定法と客観的測定法に分類されている。映像解析に代表される主観的測定方法は、水泳競技のトレーニングや競技会現場でも選手への動作のフィードバック方法として頻繁に用いられており、一般的なものとなっている。これら水泳のフィールドテストは、時間情報、そして映像から得られる速度や位置・角度情報といった **kinematics** を評価するテスト方法が多い。

客観的測定法はタイム測定に代表される手法であり、水泳現場では高強度のトレーニングタイムと競技会での成績との関連が強いとされるゴールセット⁴³⁾や、持久的運動能力をみる乳酸カーブテスト⁷⁾、T-30^{13, 49)}などが有効なフィールドテストとして用いられている。その他の水泳現場のテストとして、スイムベンチテスト⁹⁾などが行われているが、装置の大きさや装置設置が大掛かりであることから、ラボラトリーテストの分類に近く、スイミングクラブや大学チーム内での通常の練習環境や試合会場で頻繁に実施する事は現実的とはいえない。公益財団法人水泳連盟コーチ教本（第3版）で解説されているパフォーマンス評価方法もラクテートカーブテスト（血中乳酸濃度テスト）のみの記載となっている²³⁾。試合現場において、トレーナーやコーチが行う選手のコンディションの最終チェックは重要であり、これを共有して選手の調子の良し悪しを把握する必要がある。日々のトレーニングによって変化するコンディションを定量化し、競技タイムを予測する事は重要と思われる。しかし競泳において、運動の発生原因となる力やトルクなどの **kinetics** を評価する方法は少なく、選手の評価を網羅的に実施するためには、この **kinetics** の評価方法の充実が指導現場で求められている。

一方、陸上競技種目における客観的測定法は、脚筋力と競技種目の特異的動作に近いフィールドテストとの関連の研究⁴¹⁾や、最大無酸素パワーの測定と、国内外で広く

用いられているバッテリーテストと競技パフォーマンスの関連も研究されている^{38, 55)}。

競泳においても、最終的な競技力である泳タイムを説明し、運動の発生原因である力やトルク発揮の情報 (kinetics) など、下位のパフォーマンス構成要因を評価できるフィールドテストが確立できれば、レース直前に実施するコンディショニング評価によって泳パフォーマンスの事前予測や、これら評価に基づいたコンディショニング処方内容の修正によって、より高度なパフォーマンスが期待できる。

I—III クロール泳法のパフォーマンス構成要素

選手を評価する方法の確立や指標の決定には、評価測定の対象となる競技の最終的なパフォーマンスにどのような因果関係で、またどの程度の強さで影響するかを明確にする必要がある。ジャンプテストを例に考えるならば、ジャンプ高は体力の瞬発力の測定項目と思われているが、実際にはジャンプに関する技術 (実施している動きのよさ)、下肢の筋力やパワーなど、多くの要素が内在している。このように実践性が強くなるほど、要素還元論的な考え方が不可欠になる⁵⁵⁾。そこで競泳競技を対象に、代表的かつ最速の泳法としてクロール泳を一例に考えてみる。このクロール泳の競技力のパフォーマンス構造を図式化した(図1)。この構造モデルではクロール泳の速度は、泳者が水に対して推進方向に発揮する力積 (推進力積) と泳者の抵抗の力積 (抵抗力積) によって決定される。さらにこの推進力は上肢のプル動作と下肢のキック動作によって生み出される。下肢のキック動作は主に下半身を持ち上げるために用いられ⁴⁰⁾、上肢のプル動作は主にストローク動作とリカバリー動作の2つの動作で構成されている。ストローク動作は腕が水中に入ってから水上に出るまでの動作であり、リカバリー動作は腕が水中から出て再び水中に入るまでの動作のことである。クロール泳の推進力は上肢の貢献率が非常に高く、およそ全推進力の7割以上がストローク動作によるものとされている^{1, 3, 6, 33)}。またクロールのストローク動作は水中における①キャッチ局面、②プル局面、③プッシュ局面の3つに分類されている²²⁾ (図2)。

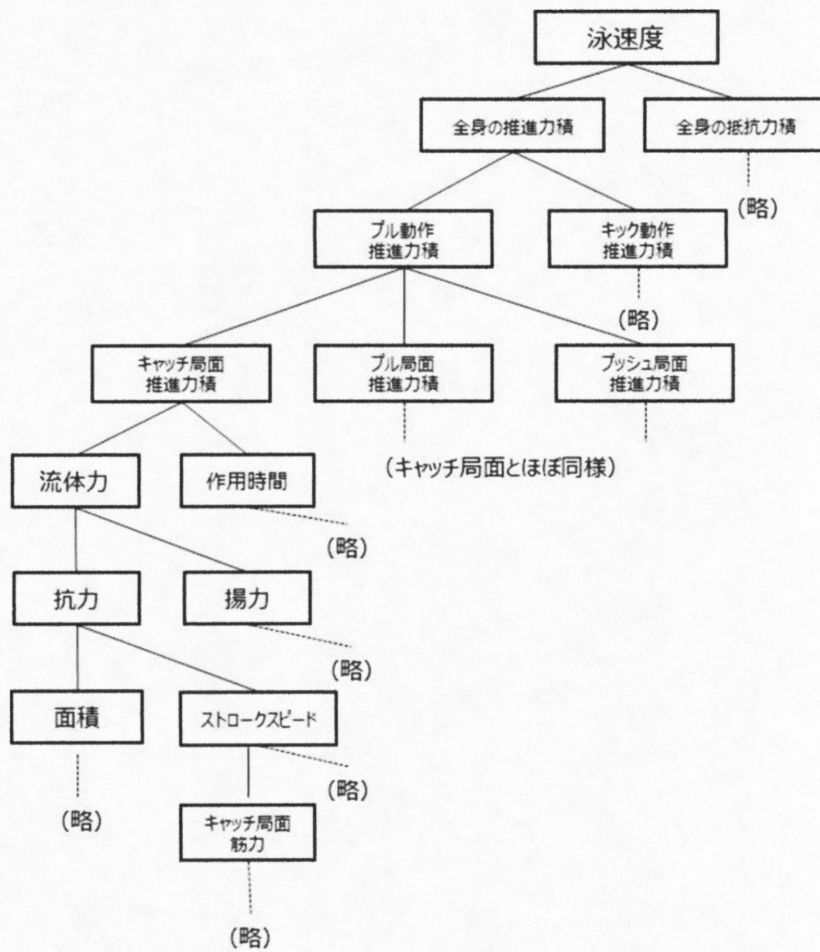


図1. クロール泳のパフォーマンス構造モデル

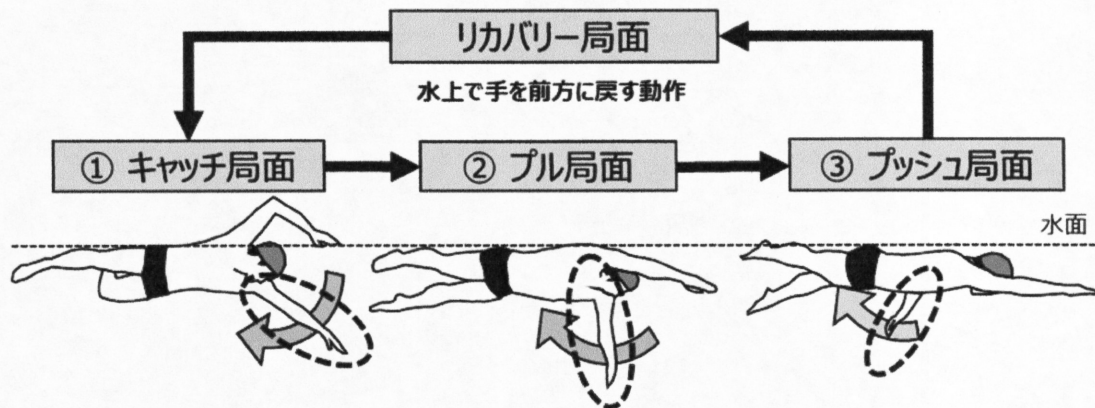


図2. クロール泳の上肢のストローク動作（プル動作）の局面構造

目的

I—IV 実験①と実験②による筋力測定値と泳力の関係性の検証

競泳クロール泳のプル動作によって発揮される推進力積の重要性は周知の事実であるが、このプル動作を細分化した3局面で発揮される筋力について、実際のストローク動作を模倣し、陸上で測定する競泳競技のフィールドテストやコンディショニング評価テストは学術論文形式での報告はなく、普及していない。これらの3局面を模倣した筋力が最終的なパフォーマンスであるタイムに影響する強さは、局面を細分化しているために小さくなる。一方ではパフォーマンスの良し悪しを詳細に特定・限定するためには、パフォーマンス構造モデルの下位項目まで評価することが必要となる。このようにパフォーマンス構造モデルにおいて最終的なパフォーマンス対し、下位に位置する要因についてもコンディショニング評価を含むフィールドテストとして確立していることが望ましいと考えられる。

そこで本研究では、競泳競技の代表的かつ最速の泳法であるクロール泳を取り上げ、プル動作の水中3局面の動作姿勢に類似した筋力テストを考案した。リオデジャネイロオリンピック競泳日本代表における競技会でのトレーナーコンディショニングの部位別対応数は、484件中、プル動作で使われる肩周囲（肩関節・肩甲骨・胸郭）に対する対応件数が184件（38.01%）と最も多く、またその対応方法は、トレーナーの徒手によるマッサージ・ストレッチ・エクササイズ（筋力トレーニング）が390件（80.57%）と最も多いと報告されている³⁴。この対応数と内容からも競泳の競技現場でのコンディショニング評価の必要性の高さが推察される。本研究で牽引力として評価するプル3局面の等尺性筋力と泳パフォーマンスの因果関係は力学的な理論に基づいたモデル（図1）により説明できるが、実際の競泳選手の競技力のばらつきをこれらの筋力がどの程度説明するのは、これまでの研究で明らかになっていない。したがって、本研究では、クロール泳のプル3局面の等尺性筋力と泳パフォーマンスの関係について明らかにするために、異なる選手集団を対象とした横断的な分析（実験①）と、エクササイズ介入による同一選手の一時的な筋力変化に伴うプル泳力（上肢動作のみの泳力）の変化（実験②）を見ることとした。この2つの実験による分析でプル3局面を模倣した姿勢での等尺性筋力計測の泳パフォーマンスとの関連性や選手のコンディショニングを反映する指標としての採用できる可能性を検討することとした。研究におけるこれらの検証によって得られる知見は、競泳のフィールドテストの拡充や、今後競技

会場で実施できるコンディショニング評価の確立に貴重な基礎資料を提供できる。
これらの2つの実験①②における仮説は以下の通りである。

I—V 実験①の仮説

水中の水の抵抗に逆らって進むことは、力学的仕事をしたことになり、一定速度で遊泳中に働く力は、抵抗力と推進力がほぼ等しくなり、抵抗力が速度の2-3乗に比例することから、推進力も速度の2-3乗に比例する。このことから泳速度の速い選手ほど、大きな自己推進時抵抗に打ち勝つため、上肢のプル動作に動員する筋力も高いと予想できる。したがって実験①では、上肢のプル動作を模倣した等尺性筋力が高い（牽引力）選手ほど泳パフォーマンスは高いと仮説を立てた。

I—VI 実験②の仮説

ウォーミングアップの一般的な生理学的効果は、筋温（体温）の上昇、呼吸循環機能の向上、柔軟性の向上、神経機能の亢進が挙げられる³²⁾。また、体温の上昇による中枢の神経系の興奮性と伝導性の高まりや³⁵⁾、ピーク張力到達時間の短縮⁵⁾といった現象が先行研究で報告され、ウォーミングアップを行うことで一時的に機能が向上し、その後の主運動で最適なパフォーマンスが発揮されることが知られている。形本³²⁾はウォーミングアップの生理学的効果を、①受動的ウォーミングアップ（身体運動を行わない温熱やマッサージによる）、②ストレッチやランニング動作の主運動と関連のないウォーミングアップ、③競技動作の主運動を行うウォーミングアップの3つの種類に分類している。

本研究ではその中でも神経機能の亢進と、競技動作の主運動を行うウォーミングアップ方法に注目した。したがって、競泳選手の推進力発揮に適切なウォーミングアップを処方すれば、一時的に個人内で牽引力が向上し、推進力発揮に必要な筋力も一時的に高まり、これに伴いウォーミングアップ実施前に比べて泳タイムも速くなることが予測される。したがって、本研究で計測する牽引力が、泳中の推進動作で発揮される筋力を反映する指標であれば、ウォーミングアップの実施によりこれらの筋力が向上し、泳タイムも一時的に改善するはずであると仮説を立てた。この仮説を検証することで、等尺性筋力値によって推進力を評価することの妥当性を検証することとした。これら実験①と②によって牽引力とプルタイムとの関連が明らかになれば、トレーニング現場で行われるようなフィールドテスト（コントロールテスト）の一項目と

して採用できるだけでなく、競技会本番直前にトレーナーやコーチが行う選手のコンディショニング評価にも採用できると考え、本研究を実施した。

II 実験①

II-I 方法

対象者

対象者は、競泳全国大会出場から地区大会出場の競技レベルで、日常的にトレーニングを積む大学生競泳選手男子 14 名(平均身長 173.6±5.3cm, 平均体重 68.4±7.7kg, 平均年齢 19.1±1.6 歳)と女子 11 名(平均身長 160.1±2.9cm, 平均体重 54.0±4.5kg, 平均年齢 19.1±1.1 歳)、そしてトライアスロン選手男子 7 名(平均身長 168.8±4.5cm, 平均体重 63.0±5.5Kg, 平均年齢 20.0±0.8 歳)とした。本実験は順天堂大学スポーツ健康科学研究科の倫理委員会の承認(承認番号:院 30-40)を受けて、研究内容を説明する説明会を実験に先立ち実施し、実験対象者全員に実験内容の説明を書面と口頭で行い、同意書にて実験参加の意思を確認した。

泳タイム測定

泳タイム測定は屋内プール(25m の 7 レーン、水深 1.1~1.2m、水温 28 度)にて行った。対象者は研究者の作成した総泳距離 750m のウォーミングアップを実施した。ウォーミングアップの内容を図 3 に示す。その後 20m クロール全力泳を上肢動作のみのプル試技と、上肢と下肢動作によるスイム試技の 2 種類で実施した。それぞれ泳タイムを「20m プルタイム」と「20m スイムタイム」と定義した。この泳タイム測定において、泳者は水中でプール底から足を浮かせ、うつ伏せ状態からの水平姿勢で頭部が 5m ラインの真上に位置するようにスタート合図に備え待機してもらった。この姿勢から実験補助者のホイッスルの号砲により泳動作を開始し(フローティングスタート形式)、両足で壁を蹴ることによる初速度の影響を排除した。プル試技は上肢動作のみの動作を行い、下肢の動きを制限するために泳者の股下に浮き具であるプルブイ(85ZB750 ミズノ社製)を装着し、さらに両足首をゴムチューブ(セラバンド社製)で拘束し、キック動作を行えないようにした。プル試技とスイム試技の泳タイム計測は 2 名の計測員の手動計時で実施した。この 2 名の計測員のタイムの平均値を泳タイムの代表値として採用した(図 4)。

タイプ	距離	回数	サイクル	泳法	強度
W-UP	300m	× 1	4分		Swim・Kick・Pull 100mづつ
Swim	50m	× 4	50秒	Free	
	25m	× 6	1分	Kick・Pull・Swim	Easy-Hard
Easy	100m	× 1	5分	Choice	

図3. 泳タイム測定ウォーミングアップ内容

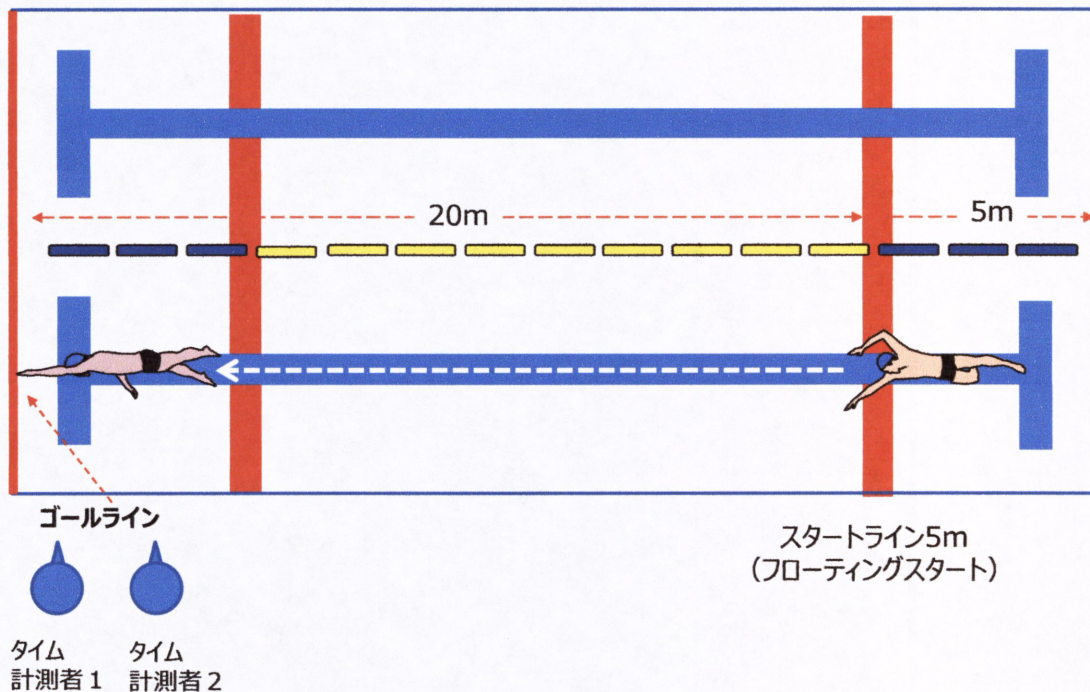


図4. プル試技とスイム試技の泳タイム計測概要図

プル動作牽引力測定

本研究の牽引力測定は、フィールドテストの一項目としての普及を目的とするため、その計測に使用する器具は試合現場での使用を想定し、測定場所を取らず、比較的安価でシンプルにプル動作3局面の計測に対応できることを計測設定の条件とした。測定場所を取らないように、被計測者の力発揮を計測するための小型ロードセル(DIGITAL FORCE GAUGE: FGPX-100 日本電産シンポ)を上方から任意の位置に吊り下げる器具を製作した(図5)。この吊り下げられた小型ロードセルからステンレスチェーンでつながれた水泳用パドルを被計測者が片手の手のひらで下方に押し下げる形式を採用した。被計測者は計測器具に対して膝立ち姿勢となり、水泳用パドルを下

方かつ垂直に牽引する形式とした。これは膝立ち立位で計測することで計測器具の占有面積を小さくすることと、水中での固定点がなく泳動作の進行方向に平行かつ逆向きに力を発揮する状態に、本器具での計測状態を近づけるためであった。また計測時において被計測者が股関節の屈曲や体全体の前傾を行うと自重がパドルを介して牽引力に含まれてしまうと考えられた。しがたってこの自重の混入を制限するために、実施者の前面に支柱が位置する構造に設計し、被計測者の股関節の屈曲や体幹の前傾を制限できるようにした。計測中に被計測者の身体が前面の支柱に触れないように事前に指示し、触れた場合は計測失敗として再計測を行なった。小型ロードセルの計測モードは牽引中の最大値をディスプレイに表示するモードとした。被計測者の試技の練習と動員筋群へのウォーミングアップを目的として、本人主観の任意強度の50%努力度でそれぞれ2秒間牽引した。その後被計測者は2秒間のプル動作の3局面（キャッチ・プル・プッシュ）を全力発揮にて左右の上肢で3回ずつ実施した（左右×3局面×3回）。記録数値はフォースゲージ本体に表示される値を計測値として記録した。

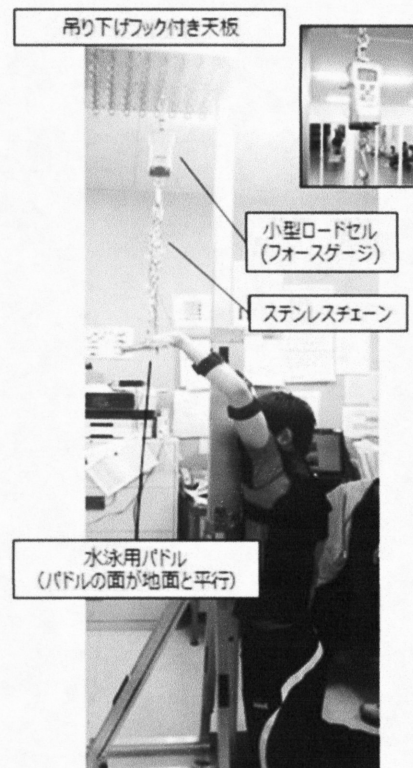


図5. 本研究で製作した小型ロードセル吊り下げ式のプル動作牽引器具

計測における牽引姿勢

本研究での計測姿勢は、エリート選手を対象としたクロール泳の 3 次元運動情報を報告する Suito et al.⁴⁷⁾ と McCabe et al.³⁶⁾ の先行研究を参考にした。そしてフィールドテストとしての普及を目指して、複雑になりすぎないという条件を考慮して計測姿勢を決定した。図 6、図 7、図 8 にプル 3 局面の計測姿勢の概要を示した。小型ロードセルの吊り下げ位置は、計測器具の 500mm×400mm の天板の下に等間隔の 63 箇所 (7×9) の吊り下げフックを備え付け、位置を変更できるようにした。水泳用パドルと小型ロードセルはこのチェーンと S 字フックによって接続され、被計測者が下に押し下げる水泳パドルの高さはチェーンの穴に S 字フックを差し込むことで、短時間で長さを調節できるようにした。

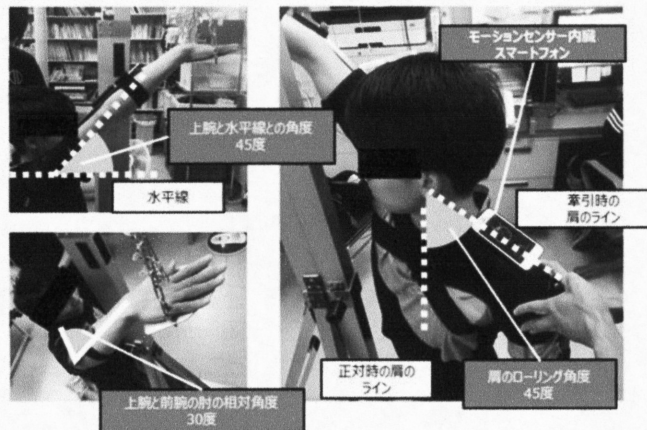


図 6. キャッチ局面牽引力の計測姿勢の略式図

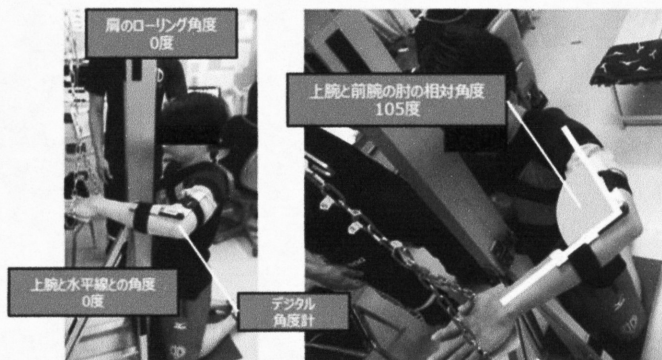


図 7. プル局面牽引力の計測姿勢の略式図



図 8. プッシュ局面牽引力の計測姿勢の略式図

上肢測定位置の決定

キャッチ局面とプル局面については水泳競技の専門書²²⁾で局面の定義がなされているためこれらを参考にした。キャッチ局面はクロール泳の推進力を高めるための代表的なハイエルボーテクニック（うつ伏せ水平姿勢でのストローク動作で肘の位置が手首よりも高い位置になり、前腕と手のひらを垂直にし、前腕との手のひらで水をかく方向に対して垂直な面を作るようにする技術）（図 9）になるように姿勢を決定した。上腕の水平からの角度は手を水泳パドルにのせ、肘を伸ばした状態で水平面から 45 度となるように調整した。この角度はデジタル水準器（BLUE LEVEL DIGITAL 73644, シンワ測定）を腕の上部に密着させて計測した。上腕と前腕の相対角度はデジタル角度計（ZA-356CM30, クロスワーク）を用いて決定した。デジタル角度は 2 つの定規の相対角度を表示するもので、定規の交点が肘の関節中心に位置するように面ファスナーが付いた伸縮性バンドで上腕と前腕に固定した。一方、プッシュ局面については一貫した定義がなされていないため、計測姿勢をつくる際の便宜性を考慮し、パドルの位置（高さ）を被計測者の臍の高さになるように、前腕と上腕の位置を決定した。

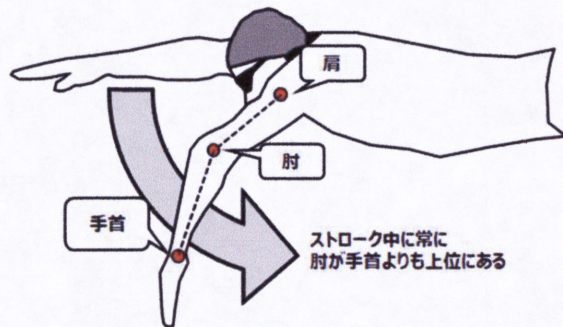


図 9. クロール泳法の水中ストローク動作のハイエルボーテクニックにおける肘と手首の位置関係

肩ローリング（体幹の回旋角度）角度の設定

肩のローリング角度はスマートフォン(iPhone SE, Apple JAPAN)の内蔵のモーションセンサと備え付けのコンパスアプリを利用した。スマートフォンを立位状態の肩上面に面ファスナーを使用して固定した（図 10）。コンパスアプリの方位角度を基準にローリング角度を決定した。本計測器具へ正対した状態を 0 度とし、キャッチ局面計測時は、スマートフォンを装着した肩を後方に長軸回りに 45 度回旋し、反対側の上肢が泳者の前面に位置するようローリングを行い、この前面に位置する側の上肢で水泳パドルを下方に牽引してもらった。プル局面計測時はローリング角度が 0 度となるように計測器具に正対した状態で計測した。プッシュ局面はスマートフォンを装着した肩が前面にくるように長軸回りに 45 度回旋し、反対側の上肢が後方に位置するようローリングを行い、この後方に位置する側の上肢で水泳パドルを牽引してもらった。



図 10. モーションセンサ内蔵のスマートフォンとコンパスアプリによる肩のローリング角度計測の様子

姿勢の誤差調整

複数の指定角度の姿勢調整の難易度を考慮し、各センサの角度 ± 3 度の誤差は許容範囲とした。また2秒間の全力牽引中に、指定した初期姿勢を完璧に保持して水泳パドルを牽引することは困難であったため、水泳パドルにつながれたチェーンの角度（フォースゲージの牽引角度）を計測者が目視し、適正姿勢の保持の判定を行なった（図11）。姿勢保持の判定基準はワイヤー角度が鉛直から約 ± 10 度範囲に収まっていることと、キャッチ局面とプル局面については開始姿勢から肘の位置が下方へ移動しない（エルボードロップ）とした。全ての牽引力測定は同一の計測者によって実施された。



図 11. 計測者によるチェーンの角度（フォースゲージの牽引角度）の適正姿勢保持の判定の様子

データ分析

本研究の実験において、牽引力複数測定の見者内信頼性評価のために級内相関係数 ICC(1,3)の検定を実施した。プル3局面での牽引力は、左右の手で各3回実施した計6回の平均値を各被計測者の代表値とし、それぞれキャッチ局面牽引力、プル局面牽引力そしてプッシュ局面牽引力とした。計測した牽引力と泳タイムとの関連の検討する為に、牽引力を独立変数、プル試技とスイム試技の20m平均泳速度を従属変数とする曲線単回帰分析を、べき乗モデルを使用して実施した。これは全力泳時には泳者の発揮する推進力と抵抗力が釣り合いほぼ等速で泳ぐと仮定したことと、成田ら⁴⁰⁾のクロール泳の自己推進時抵抗が泳速度の約2~3乗に比例するという先行研究を参考にモデルを決定した。これらの統計処理は、有意水準を危険率5%とし、SPSS (SPSS

statistics 21,IBM) を用いて実施した。

II-II 結果

本研究で考案したクロール泳プル動作 3 局面の牽引力の左右 3 回測定 of 級内相関係数は、左手についてはキャッチ局面牽引力で $ICC(1,3)=0.991$ 、プル局面牽引力で $ICC(1,3)=0.989$ 、プッシュ局面牽引力で $ICC(1,3)=0.983$ となり、右手についてはキャッチ局面牽引力で $ICC(1,3)=0.972$ 、プル局面牽引力で $ICC(1,3)=0.956$ 、プッシュ局面牽引力で $ICC(1,3)=0.986$ となった。いずれの級内相関係数も $P<0.01$ で有意であった。

表 1 には本研究で計測した 20m のプルタイム、20m スイムタイム、プル 3 局面の牽引力の競泳選手男子、競泳選手女子、トライアスロン選手男子のそれぞれについて示した。表 2 には曲線回帰分析から得られたそれぞれの決定係数 (R^2) と、回帰式の回帰係数と乗数の一覧を示した。べき乗モデルの曲線回帰分析では次の回帰式が得られた。

$$y = ax^n \quad (\text{式 1})$$

式 1 において y は平均泳速度、 a は回帰係数、 x は牽引力、 n は乗数を示す。

いずれの組み合わせの回帰分析においても、回帰係数は有意であり ($P<0.001$)、プル試技 (20m プルタイム) の平均泳速度を従属変数とした回帰分析の決定係数のほうがスイム試技 (20m スイムタイム) の平均泳速度を従属変数とした場合よりも大きくなった。図 12 には本研究の独立変数と従属変数のすべての組み合わせの散布図と回帰曲線を示した。平均泳速度に対する牽引力は、全ての局面のプル試技とスイム試技について右肩上がりの曲線カーブの形に近い分布を示した。

表 1. 競泳選手男女とトライアスロン選手男子の泳タイムと牽引力の平均値

		競泳選手 男子	競泳選手 女子	トライアスロン選手 男子
20m スイムタイム	(秒)	11.53 ± 0.38	13.12 ± 0.71	14.03 ± 0.34
20m プルタイム	(秒)	13.09 ± 0.92	14.80 ± 0.87	15.32 ± 1.00
キャッチ局面牽引力	(N)	175.20 ± 45.54	101.49 ± 19.95	128.21 ± 17.31
プル局面牽引力	(N)	149.56 ± 39.40	100.90 ± 26.92	109.57 ± 13.58
プッシュ局面牽引力	(N)	178.83 ± 50.52	119.63 ± 29.35	137.86 ± 22.97

表 2. 曲線回帰分析（べき乗モデル）における従属変数と独立変数の組み合わせに対する決定係数と回帰係数と乗数の一覧

独立変数	従属変数	決定係数 (R^2)	回帰係数 (a)	乗数 (n)
キャッチ局面牽引力	20mスイムタイム平均泳速度	0.361	0.707	0.166
プル局面牽引力	20mスイムタイム平均泳速度	0.380	0.671	0.181
プッシュ局面牽引力	20mスイムタイム平均泳速度	0.324	0.698	0.166
キャッチ局面牽引力	20mプルタイム平均泳速度	0.486	0.524	0.204
プル局面牽引力	20mプルタイム平均泳速度	0.506	0.494	0.221
プッシュ局面牽引力	20mプルタイム平均泳速度	0.456	0.505	0.208

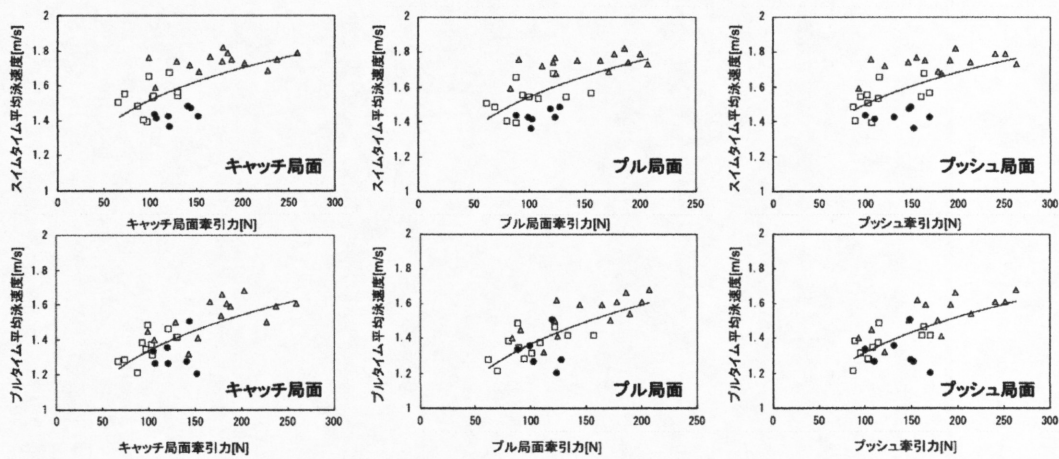


図 12. スイム試技（上肢）とプル試技（下段）の 20m 平均速度とプル動作 3 局面の牽引力の散布図一覧

II—III 考察

本研究で考案した牽引力テストは、同一計測者の級内相関係数の検定において、すべての局面で有意で高い係数を確認したため高い信頼性が示された。また曲線回帰分析において、計測した牽引力がプル試技とスイム試技の平均泳速度の全ての組み合わせによって得られた回帰式の回帰係数が有意であり、プル試技の平均速度を従属変数とした場合の決定係数がスイム試技よりも大きくなる結果が示された。このことにより本研究で計測した牽引力はプル動作で生み出せる推進力に関与する筋力を反映していると考えられ、本研究の計測法はフィールドテストとして活用可能であると考えられた。先行研究において Awatani et al.²⁾ は、等尺性筋力発揮による肩関節の伸展トルク

と内旋トルクが 25m のクロール全力泳タイムと泳パワーとの間に有意な相関関係を示すことを報告している。またトレーニング種目であるラットプルダウンやチンアップ（懸垂）の回数や挙上スピードがクロール全力泳タイムと関連することも報告されている^{37,44)}。これらの研究において報告されているクロール泳のストローク動作に動員される筋群の筋力とクロール全力泳タイムとの強い関連性は、本研究の結果を支持するものと考えられた。

本研究では測定した牽引力と泳速度との関係を分析するために、べき乗モデル（曲線推定）を使用した単回帰分析を実施した。本研究で得られた回帰式より、泳者が発揮した牽引力は泳者が発揮できる泳速度の 0.166~0.221 乗に比例することを確認できた（表 2）。成田ら⁴⁰⁾は遊泳中の自己推進時抵抗を計測し、泳速度を独立変数と自己推進時抵抗を従属変数とした近似式の乗数は 2.5~3.1 乗と報告している。本研究の平均速度と牽引力のデータについて、泳速度を独立変数とし牽引力を従属変数とした場合の泳速度に対する牽引力の変化をべき乗モデルで曲線近似し、得られた近似式の決定係数、回帰係数、乗数を表 3 に示した。この逆転した回帰分析結果についても、すべての牽引力と平均泳速度の組み合わせで回帰係数は有意であり、乗数は 1.95~2.39 となった。このように平均泳速度に対する牽引力の変化についても直線関係にあると確認できたことで、計測した牽引力が泳者の発揮する推進力をある程度反映していると考えられた。本研究では泳者が発揮する推進力の指標として、泳タイムから求めた平均泳速度を採用した。泳タイムは泳者が発揮した推進力を強く反映するが、このタイムは発揮した推進力と抵抗力の結果によって決まるため、推進力の大きさのみを反映した指標ではない。現在までに遊泳中に泳者が流体に発揮する力を全て詳細に測定する方法は確立しておらず、成田ら⁴⁰⁾によって報告された自己推進抵抗も回帰式を利用して求めた推定値でしかない。本研究の結果では泳タイムによって統計学的に有意な回帰式を得ることが出来たが、厳密には本研究で計測した牽引力と泳者が遊泳中に発揮する推進力との関係を検討すべきである。流体力学的研究手法の確立と合わせて、今後さらなる研究が必要である。

表3 曲線回帰分析（べき乗モデル）における独立変数を平均泳速度、従属変数を牽引力とした場合の決定係数と回帰係数と乗数の一覧

独立変数	従属変数	決定係数 (R^2)	回帰係数	乗数
20mスイム試技平均泳速度	キャッチ局面牽引力	0.361	48.2	2.18
20mスイム試技平均泳速度	プル局面牽引力	0.380	44.6	2.10
20mスイム試技平均泳速度	プッシュ局面牽引力	0.324	57.6	1.95
20mプル試技平均泳速度	キャッチ局面牽引力	0.486	57.5	2.39
20mプル試技平均泳速度	プル局面牽引力	0.506	53.1	2.29
20mプル試技平均泳速度	プッシュ局面牽引力	0.456	66.3	2.19

本研究の計測の成否は、計測者の目視かつ主観的な判断で判定したため、被計測者の牽引姿勢の統一にはある程度の誤差を含んでいると考えられる。また最大努力でパドルへの力発揮を行う際に指定姿勢の保持が困難になるケースが見受けられた。特にキャッチ局面のハイエルボーポジションでの牽引は被計測者にとって適切姿勢で牽引するという難易度が高かった。よって事前の練習時間を要し、失敗試技も多かった。実際の泳動作では完全なるハイエルボーテクニックでストローク動作を行わなくても、推進力が発揮される。キャッチ局面の牽引姿勢をハイエルボーテクニックに限定をしたが、限定しない場合の検討も必要であると考えられた。しかしながら、ハイエルボーテクニックの重要性は多くの先行研究^{47, 53)}や指導書⁴⁾で指摘され、クロール泳の技術として一般的なものとなっている。この姿勢で牽引する筋力測定の普及によって、ハイエルボーテクニックの重要性がより認知され、その重要性が広く伝わる可能性も期待される。計測姿勢の決定には今後検討を要する点が多いため、被計測者への指示が簡単で、かつ牽引姿勢の保持がしやすい計測条件の工夫を今後行っていく必要があると考えられた。また牽引姿勢の判定に多くのセンサが必要となることと、比較的高額な計測機器等は使用してはいないが計測コストがかかる点も改善すべき点である。本研究で使用した器具は持ち運びができる可搬性や携帯性が重要と考え、アルミ素材を使用して軽量化を図った。このため被計測者の牽引試技中には器具の振動や一過性の歪みが確認され、小型ロードセルを設置する土台としての強度（剛性）が低く、ラボラトリテストとして本測定を行う場合にはこの器具の強度は問題になると考えられた。この器具は特注品である上、運搬できる重量ではあるが、可搬性や携帯性に優れた器具ではない。これらの点から本研究の牽引力測定は、広く普及できるフィールドテストとしては改善の余地を残している。しかしながら、本研究の結果により頭上か

ら小型ロードセルを吊り下げ，これに接続された水泳パドル等を垂直に牽引するというシンプルな計測設定で泳動作に特異的な推進評価を実施でき、さらにこの牽引力がパフォーマンスとの関連が強いことが確認できたことは十分な価値があると考えられた。

Ⅲ 実験②

Ⅲ-Ⅰ 実験デザイン

実験①の横断分析での競技力との関連を踏まえ、実験②では、ウォーミングアップによってウォーミングアップなしの状態から一時的な筋力向上を引き起こし、これに伴う泳パフォーマンス変化の検証を目的とした。実験参加者を A 群と B 群に分け、体幹エクササイズを中心としたウォーミングアップエクササイズを一般ウォーミングアップとし、上肢のプル動作に特化したウォーミングアップエクササイズを専門ウォーミングアップとして、これらをクロスオーバーデザインでそれぞれ 2 日間の間隔を空けて実施した (A 群：一般ウォーミングアップ→専門ウォーミングアップ B 群：専門ウォーミングアップ→一般ウォーミングアップ)。一般ウォーミングアップは、競泳競技のトレーニング現場において広く普及され、上肢のプル動作に関与する筋群の出力発揮に影響の少ないストレッチと軽運動を実施した。この一般ウォーミングアップを専門ウォーミングアップに対するコントロール群とした。専門ウォーミングアップは、上肢のプル動作に関与する筋群の出力発揮水準の復帰を主目的としたエクササイズを中心に構成される運動を実施した。これらの異なる 2 つのウォーミングアップを参加者がそれぞれ実施し、ウォーミングアップ後のプル動作に関与する筋出力の増加を実験的に再現し、実験①と同様な手順でウォーミングアップ前後の牽引力と泳タイムの変化を検出できるかを検証した。参加者の群分けは本研究に参加する選手のトレーニングスケジュール等を考慮して群分けを行った。また泳タイム測定と牽引力測定は、それぞれのウォーミングアップ条件について、ウォーミングアップ前 (Pre) とウォーミングアップ後 (Post) で 2 回実施した (図 13)。また実験は、参加者の所属水泳部のトレーニング計画に配慮し、参加者の通常の練習時間内 (90 分) で実施した。このため Pre 測定では筋力測定後に泳タイム測定を実施し、Post 測定では泳タイム測定後に牽引力測定を実施し、参加者の移動距離を少なくすることと、拘束時間を短くするように配慮した。



図 13. 実験②の流れ

Ⅲ—Ⅱ 方法

対象者

実験参加者は、競泳全国大会出場から地区大会出場の競技レベルで、日常的にトレーニングを積む大学生競泳選手男子 7 名（平均身長 172.38±6.2cm，平均体重 66.9±7.0kg，平均年齢 19±0.8 歳）とした。本実験は順天堂大学スポーツ健康科学研究科の倫理委員会の承認（承認番号:院 30—40）を受けて、研究内容を説明する説明会を実験に先立ち実施し、実験参加者全員に実験内容の説明を書面と口頭で行い、同意書にて参加の意思を確認した。

泳タイム測定

泳タイム測定は実験 1 の方法と同様の方法で実施した。

2 つの介入運動

Pre 測定のプールでの泳タイム測定の後、プールサイドにて一般ウォーミングアップ

プあるいは専門ウォーミングアップのいずれかのエクササイズを行った。一般ウォーミングアップは、日本水泳連盟競泳日本代表チームで実施されているエクササイズと日本水泳連盟医事医委員が推奨するエクササイズ²⁴⁻²⁹⁾に基づきプログラムした(図 14)。専門ウォーミングアップは、上肢のプル動作に特化したエクササイズとし、競泳現場でトレーニングとして実施されているエクササイズと、以下の研究報告を基に 3 つのエクササイズを本研究で独自に考案した(図 15)。1 つ目は、床面での背臥位姿勢と比べ、フォームローラー上で下肢を挙上した際の背臥位姿勢の方が筋電図上で腹筋群(腹直筋・腹横筋・内外腹斜筋)の筋活動レベルが高かったという報告⁴⁸⁾に基づく①「ストレッチポールプル」である。これはストレッチポール(株式会社 LPN 製)上の背臥位姿勢で実施者が片手で掴んだセラチューブ(セラバンド社製 グリーン「レベル+1」)を上肢の伸展動作で足元に向かって牽引するエクササイズであり、20 回を 2 セット、1 秒つき 1 回の頻度(1Hz)で左右それぞれ実施させた。2 つ目は、四つ這い姿勢時の上肢挙上側の腹筋収縮が高まるという報告⁴²⁾に基づく②「四つ這い姿勢プル」である。これは実施者が四つ這い姿勢になり、片手でつかんだセラチューブを下方に牽引するエクササイズであり、20 回を 2 セット、1 秒につき 2 回の頻度(2Hz)で左右それぞれ実施させた。3 つ目は、四肢の遠位運動(蹴り、投げ、着地)での高速運動でより高い力を発生させる為には、上肢と胴体が一緒に機能する膝立ち姿勢が機能的という報告⁵⁰⁾に基づく③「ハーフニーリングスタンスプル」を実施した。これは前後に開脚し片膝を立てる「ニーリング」姿勢で、実施者が片手で掴んだセラチューブを上肢の伸展動作で後方に牽引するエクササイズであり、これを 20 回 2 セット、1 秒につき 1 回の頻度(1Hz)で左右それぞれ実施させた。

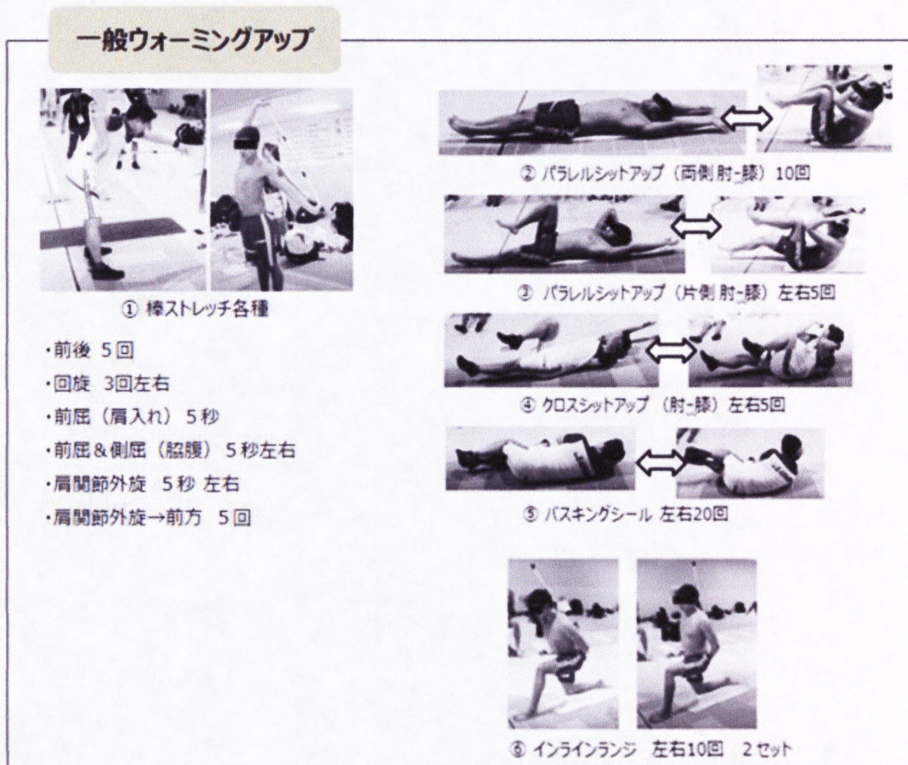


図 14. 一般ウォーミングアップエクササイズ

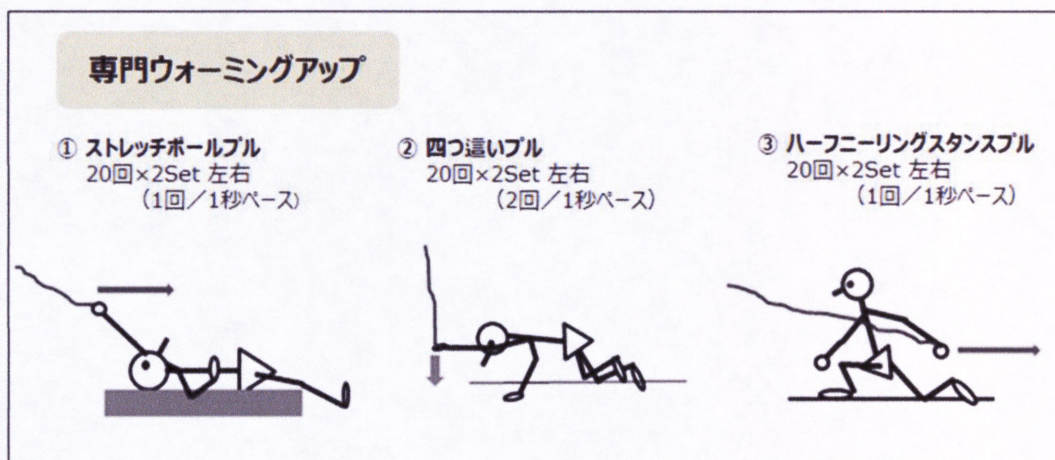


図 15. 専門ウォーミングアップエクササイズ (3種類)

プル動作牽引力測定

本研究ではウォーミングアップ（エクササイズ）実施による筋力とパフォーマンス変化を評価するため、Pre 測定と Post 測定において実験①の方法と同様な手順でプル動作牽引力を等尺性筋収縮で評価した。Pre 測定において、筋力測定前の準備運動（ウォーミングアップ）を完全に排除し、全く運動をしてない状態での全力発揮の筋力測定は障害のリスクが高く、倫理的な問題が生じる。したがって、日本水泳連盟 監修・作成の「競泳選手育成プログラム コンディショニング編：準備体操プログラム」に準じ、筋力変化に影響しないと考えられる軽度な準備体操（肩回し 10 回・体幹回旋 10 回・体幹前後屈 10 回各 5 秒・背中合わせ全身伸ばし 10 秒・肩入れ 5 秒・側屈 10 秒）を実施した後（図 16）、実験①で使用した牽引力測定器具を用い、同条件で牽引力測定を実施した。Post 測定については、準備運動は実施しなかった。



図 16. 牽引測前の筋力変化に影響しない軽度な準備体操（公財：日本水泳連盟 監修・作成「競泳選手育成プログラム コンディショニング編：「準備体操プログラム」を一部改変）

データ分析

本研究の実験 2 において、プル 3 局面の牽引力と泳タイムについて、ウォーミングアップ前後（エクササイズ実施の主効果）とエクササイズの種類（エクササイズ種類の主効果）の 2 要因から成る繰り返し測定ありの分散分析を実施した。プル 3 局面での牽引力は、左右の手で各 3 回実施した計 6 回の平均値を各対象者の代表値とし、それぞれキャッチ局面牽引力、プル局面牽引力そしてプッシュ局面牽引力とした。これらの統計処理は、有意水準を危険率 5%未満とし、SPSS (SPSS statistics 21,IBM) を用いて実施した。

Ⅲ—Ⅲ 結果

2 要因の分散分析におけるエクササイズ実施とエクササイズ種類の主効果、交互作用の F 値と P 値について表 4 に示した。エクササイズ種類の主効果については、キャッチ局面牽引力 (F=13.852, P=0.010) とプッシュ局面牽引力 (F=16.074, P=0.007) において統計学的に有意であった。エクササイズ実施の主効果、交互作用については、有意ではなかった。またこれらの平均値の推移を折れ線グラフで図 17-21 に示し、計測項目の平均値と標準偏差の一覧を表 5 に示した。3 局面全てにおいて専門ウォーミングアップ後の牽引力が一般ウォーミングアップよりも大きくなる傾向は、キャッチとプルの牽引局面（図 17、図 18）で確認されたが、前述のように統計学的に有意な交互作用ではなかった。またスイムタイムとプルタイムについては、いずれの主効果と交互作用も統計学的に有意ではなかった。

表 4 実験② 2 種類のウォーミングアップエクササイズの 2 要因の分散分析結果

	エクササイズ実施の主効果		エクササイズ種類の主効果		交互作用	
	F値	P値	F値	P値	F値	P値
キャッチ局面牽引力	1.955	0.212	13.852	0.010	2.875	0.141
プル局面牽引力	2.895	0.140	0.051	0.829	1.953	0.212
プッシュ局面牽引力	2.934	0.138	16.074	0.007	0.065	0.808
20mスイムタイム	0.760	0.417	0.364	0.568	0.099	0.764
20mプルタイム	0.485	0.512	0.153	0.709	0.249	0.635

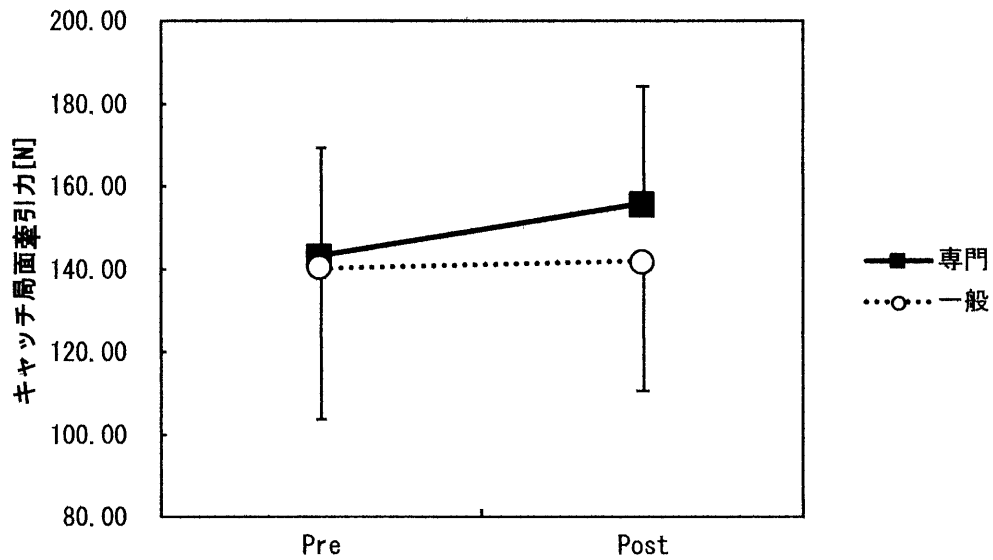


図 17. 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップにおけるキャッチ局面牽引力の平均値の Pre 測定と Post 測定時の変化

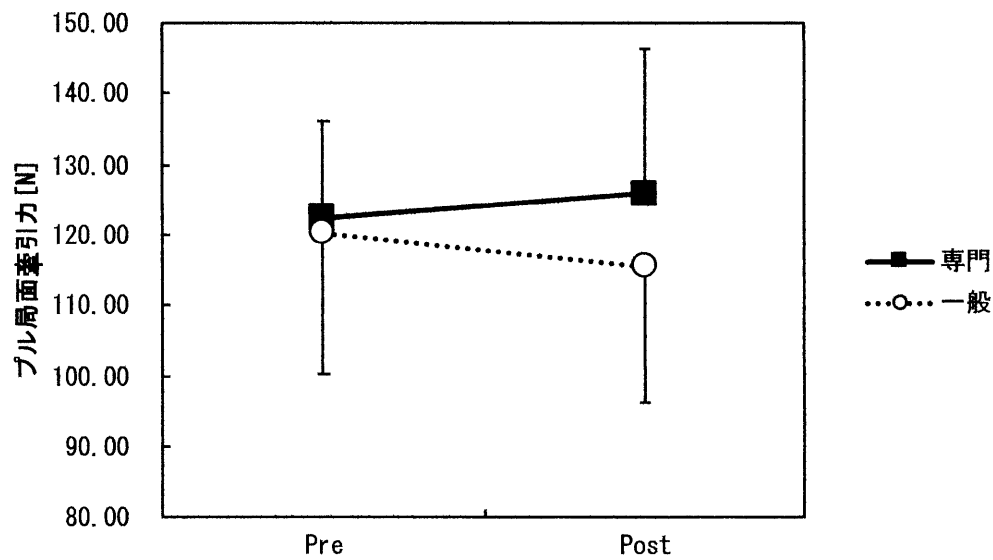


図 18. 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップにおけるプル局面牽引力の平均値の Pre 測定と Post 測定時の変化

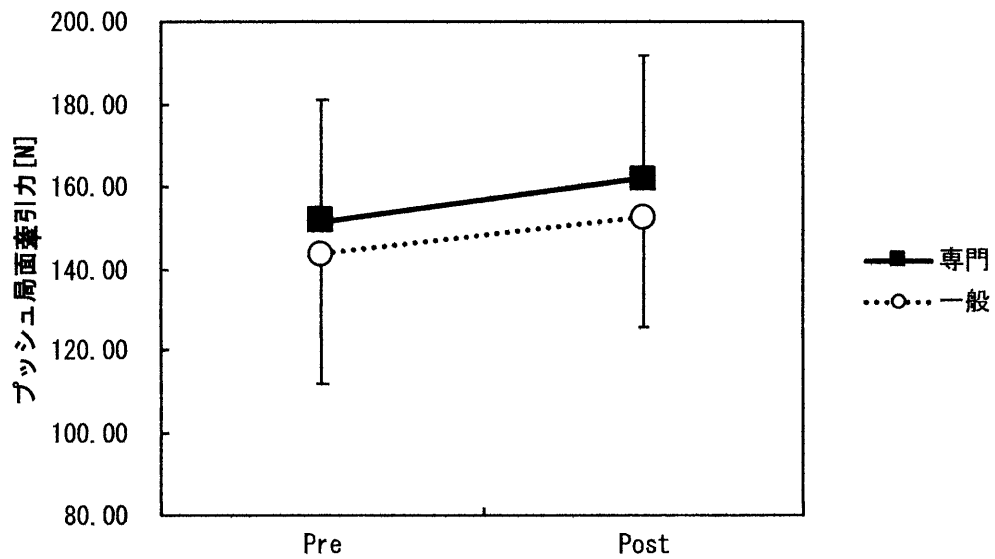


図 19. 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップにおけるプッシュ局面牽引力の平均値の Pre 測定と Post 測定時の変化

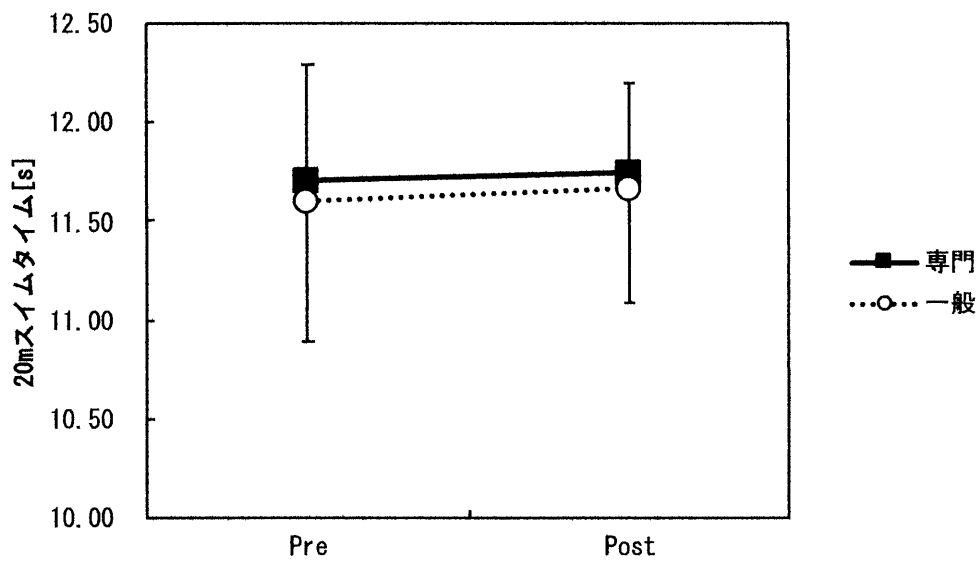


図 20. 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップにおける 20m スイムタイムの平均値の Pre 測定と Post 測定時の変化

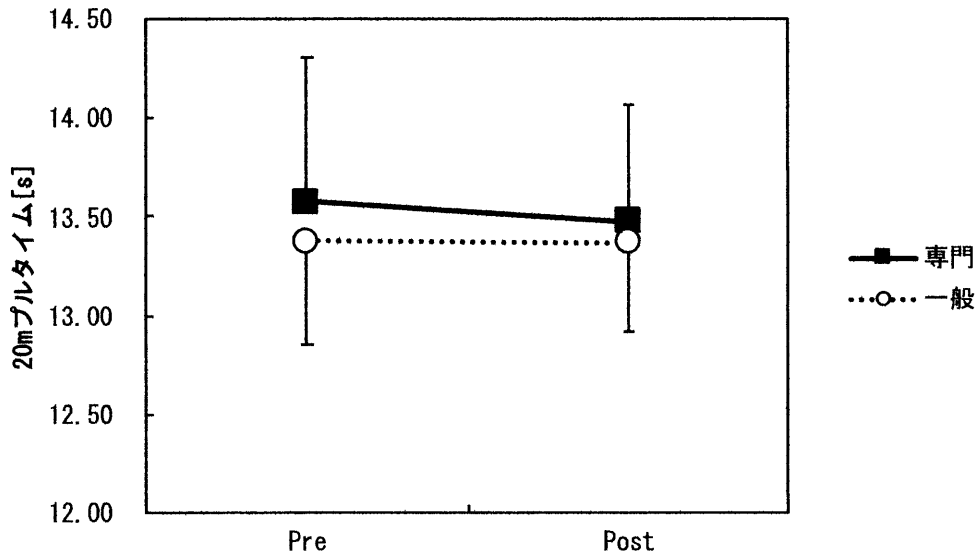


図 21. 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップにおける 20m プルタイムの平均値の Pre 測定と Post 測定時の変化

表 5 一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップの Pre と Post 測定時の計測項目の平均値一覧

単位	一般ウォーミングアップ				専門ウォーミングアップ			
	Pre		Post		Pre		Post	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
キャッチ局面牽引力 [N]	140.55 ± 37.11	141.95 ± 31.58	143.29 ± 26.27	155.81 ± 28.69				
ブル局面牽引力 [N]	120.19 ± 19.95	115.52 ± 19.33	122.45 ± 13.50	125.88 ± 20.51				
プッシュ局面牽引力 [N]	143.57 ± 31.41	152.45 ± 26.84	151.60 ± 29.70	161.93 ± 29.86				
20mスイムタイム [s]	11.60 ± 0.71	11.67 ± 0.58	11.71 ± 0.58	11.74 ± 0.46				
20mプルタイム [s]	13.38 ± 0.53	13.38 ± 0.46	13.58 ± 0.73	13.48 ± 0.58				

III—IV 考察

本研究の実験②では、2 要因分散分析によって、有意な交互作用（エクササイズ種類×エクササイズ実施）が見られるかの分析を試みた結果、エクササイズ種類の主効果については、キャッチ局面牽引力とプッシュ局面牽引力において統計学的に有意であった。しかしエクササイズ実施の主効果、交互作用については、有意ではなかった。

したがって本研究の仮説で意図したウォーミングアップ実施による筋力向上を引き起こせず、ウォーミングアップ実施後の筋力向上（ウォーミングアップをしていない

状態からの最適な筋力発揮水準への復帰)による泳パフォーマンスの変化を検討する事ができなかった。

介入エクササイズの実験的動員筋群の特異性の問題

本研究の異なるプル3局面の牽引力のいずれにおいても、2要因分散分析における有意な交互作用を確認することができなかった。図17・18の折れ線グラフの変化は、キャッチ局面とプル局面牽引力について、交互作用の特徴を示すような形と思われたが統計学的に有意ではなく、エクササイズ種類の主効果が有意であった。これは、各ウォーミングアップ間のPre測定時の牽引力の差が大きく、かつウォーミングアップ実施後(Post測定時)の牽引力の向上を引き起こせていないことを意味する。つまり、実験参加者のPre測定時のコンディションを統制できていない点と、有意な筋力向上を引き起こせなかった専門ウォーミングアップのエクササイズ内容に問題があったと考えられた。

特に専門ウォーミングアップのエクササイズ内容は、クロールのプル動作中に動員される筋群への適切な負荷を与えてなかったと考えられる。専門エクササイズで実施した動きには、生田ら¹¹⁾の報告にあるようなスプリント泳における動員される大胸筋の筋活動を高める動作が含まれておらず、体幹腹筋群や三角筋の後方と広背筋を中心とした上肢の肩関節の伸展方向への運動に動員される筋群の活動が大きくなる動きが中心となるエクササイズ内容であった。

また、上肢のプル動作の抵抗運動で使用したゴムチューブ(セラバンド社製)の強度レベル「+1」を使用した。このチューブ商品の抵抗強度設定は長さ60cmのチューブを60cm伸長させた際(120cm伸長)で2.3kgという設定になっており、今回のプル動作で伸ばす長さ、回数、セット数を踏まえると負荷抵抗が低かった可能性が考えられた。同社製品の抵抗強度設定が上位レベルのゴムチューブを用いる事で対象筋群の筋活動をさらに動員できた可能性も考えられる。

泳タイム測定における疲労回復の問題と泳動作における筋収縮動態について

本研究の実験②では、1回目と2回目の泳タイム測定の間200mのクーリングダウン(リカバリー泳)を行い、2回目の泳タイム測定を実施したが、実験協力先である水泳部の練習時間内(90分)での実験を終了させるという拘束時間の制限により1回目泳タイム測定後の全力泳の疲労に対し、十分な回復が得られないままに、ウォーミ

ングアップを実施し、2回目の泳タイム測定を行った可能性が挙げられる。つまり、専門的なウォーミングアップによって適切な筋力向上を引き起こせていたかもしれないが、Pre測定時の疲労状態をPost測定時まで継続させてしまい、これにより専門ウォーミングアップ後の泳タイムの向上を引き起こせなかった可能性が否定できない。

これに加え、本研究で計測した等尺性の筋力値は、実際のクロール泳の上肢動の筋収縮動態とは異なる筋力値で、実際のクロール泳動作の上肢の筋収縮に対して特異的でなかった点が泳パフォーマンス向上を引き起こせなかった原因として考えられた。実際のクロール泳の筋収縮は短縮性であり、空気に比べ流体抵抗の大きい水中での上肢動きは等速性に近い筋収縮でなされると考えられる。力学的なモデルに基づくと等尺性収縮はパフォーマンスに影響する要因ではあるが、ウォーミングアップによって改善されたプル動作に動員される筋の出力が、泳タイムまで反映されるほど、等尺性筋力の影響は大きくないと考えられた。泳タイムについて交互作用が認められなかった理由のひとつには、この等尺性筋力の泳パフォーマンスに対する特異性の低さも原因として考えられた。

実験①と②の結果を踏まえ、今回の研究では、現場で実践しやすい等尺性筋力測定を採用したが、等尺性筋力と泳力（推進力）の関係は、横断的な分析でその関係を確認できたが、一時的な変化では泳力（推進力）に有意な影響を及ぼさない程度の影響力であったと考えられた。

IV 総合討論

水中の水の抵抗に逆らって進む力学的仕事とパワーは、それぞれ泳速の2~3乗に比例するため、クロール泳のストローク動作に動員される筋力とクロール全力泳タイムとの強い関連性は先行研究から明らかである^{2, 37, 44)}。また水泳の基本姿勢であるストリームライン姿勢で受ける抵抗力に比べ、四肢を動かす自己推進抵抗は大きいため、泳速の向上には高い筋力発揮が必要とされる。

クロール泳のストローク動作に関与する筋力の評価は、ラボラトリーテストで実施されるような理想的計測条件においては、筋力発揮特性を踏まえると短縮性あるいは等速性の筋収縮形態で計測を行うことが望ましい。しかし現場で求められているフィールドテストにおいては測定の簡便性が重要となるため、コンディショニング評価を含めたフィールドテストでは、比較的簡易な計測設定で実施できる等尺性筋力が最終的なパフォーマンスに与える影響の強さを明らかにすることには意義があると考えられる。

実験①の結果より、力学的なパフォーマンス構造モデルの上位にある泳タイムと、プル動作を3局面に分割したそれぞれの局面でのこのモデルにおいて下位に位置する牽引力との関連の強さを曲線回帰分析により確認できた。これにより計測した牽引力が泳者の推進力発揮に関与する筋力を十分に反映していることが確認できた。しかし、実験②の介入実験では、ウォーミングアップのエクササイズ種類とエクササイズ実施の2要因分散分析の結果、これら2つの要因の交互作用は、牽引力と平均泳速度について認められなかった。これは介入したウォーミングアップ内容の特異性や負荷量が問題となり、意図した筋力の差異を再現できなかったことが理由としてあげられた。したがって、上肢のプル動作による推進力発揮に関わる筋力のウォーミングアップによる一時的な機能向上の泳タイムへの影響を検討することができなかった。しかしながら、危険率5%水準での有意な交互作用は確認されなかったが、キャッチ局面のPost測定の前牽引力は高くなっていた。また実験②の対象者の人数が少ないことも本研究の課題であった。今後の追加研究をする必要があり、仮説が採択される可能性があると考えられた。

泳パフォーマンス向上を目的としたトレーニング方法は多くの手法があるが、前述の理論体系のトレーニングアセスメント論⁵⁴⁾を重視した場合、記録向上という最上位

の泳パフォーマンス向上を引き起こすには、上位と下位の構成要素のつながりをそれぞれ評価し、一つ一つの要因を向上させていくことが望ましい。本研究では泳速度を高めるプル推進力積を構成する筋力の一つである等尺性筋力に注目し、その関連性を確認した。しかし本研究ではプル動作 3 局面姿勢での等尺性筋力と最上位の泳タイムとの関係を分析しただけにとどまるため、パフォーマンス構造モデルにおいて測定した指標が持つ意味を正しく理解するためには、それぞれの要因間で隣接する要因間の関係性についても詳細に分析する必要がある。

今後の研究において、推進力との筋力の関係性をより明確に示した上で、現場でのコンディション評価の採用するためには、選手に「疲労させずに評価する」という課題に取り組むことが、本研究の最終目標の達成に必要なことである。

V 結論

競泳競技の代表的かつ最速の泳法であるクロール泳を対象とし、フィールドテストやコンディショニング評価テストの普及を目指し、プル動作を細分化した3局面で発揮される推進力を評価する等尺性筋力テストを考案し、筋力と泳パフォーマンスとの関連を2つの実験（実験①、実験②）によって調査した。

実験①から、同計測者の級内相関係数の検定において、すべての局面で高い係数が示され、高い信頼性を確認できた。また曲線回帰分析において、計測した牽引力が20mプルタイムとスイムタイムの平均泳速度を強く説明する結果が示されたため、大きな自己推進時抵抗に打ち勝つための上肢のプル動作における筋力（牽引力）が高い選手ほど、泳速度は高いことが明らかになった。この結果より、本研究で考案した筋力計測は、トレーニング現場における選手の評価やトレーニングの進捗状況を判断するためのフィールドテストとして活用可能であることが示された。

実験②から、一般ウォーミングアップと専門ウォーミングアップの2種類のエクササイズの実施による等尺性筋力の変化が泳力（推進力）の一時的変化へ及ぼす影響を検証することが出来なかった。したがって、実験②で得られた結果からでは考案した筋力計測は選手のコンディション評価には使用できないと結論づけた。

VI 引用文献

- 1) Adrian, M.J.Singh,M. and Karpovichi,P.V. (1966) Energy cost of leg kick, arm stroke and the whole crawl stroke. *J.Appl.Physiol*,21:pp.1763－1766.
- 2) Awatani, T., Morikita, I., Mori, S., Shinohara, J., and Tatsumi, Y. (2018). Relationship between isometric shoulder strength and arms-only swimming power among male collegiate swimmers:study of valid clinical assessment methods. *J Phys Ther Sci*, 30(4): pp.490－495.
- 3) Bucher,W. (1975) The influence of the leg kick and arm stroke on the total speed during the crawl stroke.*Swimming*,University Park Press: pp.180－187.
- 4) Counsilman, J. E. (1968). *Science of swimming*. Prentice-Hall : Englewood Cliffs, N.J.
- 5) Davies,C.T.M.and K.Young (1983) Effect of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans.*J.Appl.Physiol.:Respirat.Environ.ExercisePhysiol*.55. pp.191-195
- 6) Deschodt, V. J. , Arsac, L. M. , and Rouard, A. H. (1999) Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur.J.Appl.Physiol*,80 : pp.192－199.
- 7) E.W.マグリシオ (2005) :スイミング・ファステスト:ベースボール・マガジン社 pp.647－658.
- 8) Gola, R., Urbanik, C., Iwańska, D., and Madej, A. (2014). Relationship between Muscle Strength and Front Crawl Swimming Velocity. *Human Movement*, 15(2):pp.110－115.
- 9) Heller, M., Edelmann-Nusser, J., Hohmann, A., Witte, K., Krfiger, A., Sikorski, K., and Hofmann,M. (2004). Evaluation of a training and performance diagnosis device in swimming. *Engineering of Sport* 5(1): pp.479－483.
- 10) HUMAN MOVEMENT 2014, vol. 15 (2), pp.110－115.
- 11) 生田泰志・松田有司・山田陽介・来田宣幸・小田伸午 (2010) クロール泳における泳速度における泳速度，ストローク頻度およびストローク長と筋活動の関係. *体力科学* 59 (4) : pp.427－438.

- 12) 石井直方 (2004) NSCA 決定版ストレングストレーニング&コンディショニング 第2版.東京,ブックハウス HD,pp.8-9.
- 13) 石井裕明・千葉智則・前田明伸・高橋彌穂 (2003) 200m 泳テストにおけるジュニア水泳選手の有酸素性能力. 人間情報学研究,第8巻 pp.63-74.
- 14) 甲斐裕子,湯田淳,森山進一郎,定本朋子,北川幸夫 (2003) 大学女子競泳選手における上肢および下肢の陸上トレーニングが泳パフォーマンスに及ぼす影響 日本女子体育大学紀要 43, 2013-03.pp.107-115.
- 15) 公財) 日本オリンピック委員会 (2016) 第31回オリンピック競技大会 (2016 リオデジャネイロ) 日本代表選手団報告書 pp.327-342.
- 16) 公財) 日本オリンピック委員会 (1996) 第26回オリンピック競技大会 (1996/アトランタ) 大会報告書
- 17) 公財) 日本オリンピック委員会 (2000) 第27回オリンピック競技大会 (2000/シドニー) 大会報告書
- 18) 公財) 日本オリンピック委員会 (2004) 第28回オリンピック競技大会 (2004/アテネ) 大会報告書
- 19) 公財) 日本オリンピック委員会 (2008) 第29回オリンピック競技大会 (2008/北京) 大会報告書
- 20) 公財) 日本オリンピック委員会 (2012) 第30回オリンピック競技大会 (2012/ロンドン) 大会報告書
- 21) 公財) 日本水泳連盟 第31回オリンピック競技大会 (2016/リオデジャネイロ) 大会報告書
- 22) 公財) 日本水泳連盟 (2014) 水泳コーチ教本第3版.東京,大修館書店,pp.23.
- 23) 公財) 日本水泳連盟 (2014) 水泳コーチ教本第3版.東京,大修館書店,pp.173.
- 24) 公財) 日本水泳連盟 (2017) 月刊水泳 November11.Vol.496 pp.18-21.
- 25) 公財) 日本水泳連盟 (2018) 月刊水泳 February2.Vol.499 pp.25.
- 26) 公財) 日本水泳連盟 (2018) 月刊水泳 March3.Vol.500 pp.31.
- 27) 公財) 日本水泳連盟 (2018) 月刊水泳 April4.Vol.501pp.51.
- 28) 公財) 日本水泳連盟 (2018) 月刊水泳 May5.Vol.502 pp.25.
- 29) 公財) 日本水泳連盟 (2018) 月刊水泳 Jun 6.Vol.503 pp.31.
- 30) 公財) 日本体育協会 アスレティックトレーナー専門科目テキスト 6 pp.3-4.

- 31) 公財) 日本体育協会 アスレティックトレーナー専門科目テキスト 7 pp.2-9.
- 32) 形本静夫 (2001) スポーツ生理学.東京,市村出版,pp.41-48.
- 33) 鎌田安久,栗林徹,山下芳男,北田雅子 (1995) 水泳におけるプルの能力と泳力.岩手大学教育学部研究年報 54:pp.89-10.
- 34) 桑井太陽 2016 水と健康医学研究会誌 Journal of aquatic health medicine 19(1), 2016-10-15. pp.65-70.
- 35) 真島英信 (1981) 生理学 第 17 版.東京,文光堂,pp.47-72.Relationship between muscle strength and front crawl
- 36) McCabe, C. B., Sanders, R. H., and Psycharakis, S. G. (2015). Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming. Journal of Biomechanics, 48(15):pp.3995-4001.
- 37) Morouço, P., Neiva, H., Garrido, N., Marinho, D. A., Marques, M. C., and González-Badillo, (2011). Associations Between Dry Land Strength and Power Measurements with Swimming Performance in Elite Athletes: a Pilot Study. Journal of Human Kinetics, pp.105-112.
- 38) 中丸信吾・濱名慶匡・青木和浩。(2004) 男子大学スプリンターの無酸素パワー能力とスプリントパフォーマンスおよびフィールドテストとの関連性について。日本学生陸上競技連合.陸上競技研究 2004(1), pp.2-6.
- 39) 中島求 (2005) 水泳人体シミュレーションモデルによる標準的 6 ビートクロール泳の力学的考察。日本機械学会論文集 B 編 205 (71) : pp.154-160.
- 40) 成田健造・中島求・仙石康雄・本間三和子・椿本昇三・高木英樹 (2018) 多段階の泳速度におけるクロール泳中の自己推進時抵抗とストリームライン姿勢中の受動抵抗の比較。体育学研究, doi:10.5432/jjpehss.17051.
- 41) 吉田孝久・大山下圭悟・宮地力・村木征人 (2008) 跳躍競技者における両脚・片脚スクワット運動の負荷特性: 両脚・片脚レッグプレスとの比較から。スポーツ方法学研究,第 22 卷,1 号,pp.29-39.
- 42) Yu Okubo, Koji Kaneoka, Atsushi Imai, Itsuo Shiina, Masaki Tatsumura, Shigeki Izumi, Shumpei Miyakawa, (2010) Electromyographic Analysis of Transversus Abdominis and Lumbar Multifidus Using Wire Electrodes During Lumbar Stabilization Exercises. Journal of orthopedic & Sports Physical

- Therapy. 40 (11) pp.743-750.
- 43) 大庭昌昭,萬久博敏,下山好充ら (1997) 競泳トレーニング法に関する研究:ゴースットと競技記録の関係について 筑波大学運動学研究 13, 1997-04, pp.75-86.
- 44) PÉRez-Olea, J., Valenzuela, P. L.,Aponte, C., and Izquierdo, M. (2018). Relationship between dryland strength and swimming performance:pull-up mechanics as a predictor of swimming speed.Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins), 32(6):pp. 1637-1642.
- 45) David G. Behm, AnthonyJ.Blazevich, Anthony D.Kay, Malachy McHugh (2016) Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion,Published by NRC Research Press (2016) Appl. Physiol. Nutr. Metab. 41: pp.1-11.
- 46) Schleihauf,R.E.,Gray,L. and DeRose,J. (1983) Three dimensional analysis of swimmingIV (Edited by Hollander. A.P., Huying, P.A. and de Groot, G.) ,pp.315-322. University ParkPress,Baltimore,MD.
- 47) Suito, H., Nunome, H., and Ikegami, Y. (2017). A quantitative evaluation of the high elbow technique in front crawl. Journal of Sports Sciences, 35(13): 1264-1269.
- 48) Su-Jung Kim;Oh-Yun Kwon; Chung-Hwi Yi; Hye-Seon Jeon; Jae-Seop Oh; Heon-Seock Cynn; Jong-Hyuck Weon (2011) Comparison of Abdominal Muscle Activity During a Single-Legged Hold in the Hook-Lying Position on the Floor and on a Round Foam Roll. Journal of Athletic Training :46(4):pp.403-408.
- 49) 田場昭一郎・小島毅・森誠護・田口正公 (2014) 一流競泳長距離選手の高地トレーニングに関する一考察.福岡大学スポーツ科学研究,44(2),pp.57-65.
- 50) Thomas G. Palmer, MSED, ATC, CSCS; Timothy L. Uhl, PhD, PT, ATC, FNATA (2011) Interday Reliability of Peak Muscular Power Outputs on an Isotonic Dynamometer and Assessment of Active Trunk Control Using the Chop and Lift Tests Journal of Athletic Training 46(2):pp.150-159.
- 51) Vladimir M.Zatsiorsky & William J.Kraemer (2009) 筋力トレーニングの理論と実践.東京,大修館書店,pp.114-115.
- 52) WHO (1981) International Year of Disabled Persons, : WHO's cooperative

activities within the United Nations system for disability prevention and rehabilitation: report by the Director-General
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/156079/EB67_31_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- 53) Yanai, T. (2001). Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink? *Journal of Biomechanics*, 34(2): pp.235 – 243.
- 54) 山本正嘉,山本利春 (1993) 激運動後のストレッチング,スポーツパマッサージ,軽運動,ホットパックが疲労回復に及ぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復を指標として—*体力科学* 42, pp.82–92.
- 55) 関子浩二 体力測定 1 ; 競技スポーツの場合 *臨床スポーツ医学* Vol.19, No12 (2002-1)

VII 英文要約

The purpose of this study was to investigate relationship between sprint swimming velocity and towing force by arm stroking motion of front crawl. Two experiments (Exp.1 and Exp.2) were conducted to demonstrate two research hypotheses in this study. In Exp.1, twenty five swimmers and seven triathletes participated. They performed time-trials of 20m front crawl sprint swimming. They swam 20m with arms-only stroke (Pull trial) and arms and legs stroke (Swim trial) from floating-start style without wall push off-start by the legs in the time-trials. And they pulled down a swimming paddle hanging from a custom-built apparatus for isometric strength measurement for two seconds three times by one-hand (left and right) at three positions simulated to catch, pull, and push phases during arm-stroke motion of front crawl (2×3 positions). Pulling-down forces were measured by a load-cell and maximal values during two seconds were obtained. Significant regression formulas with swimming velocity as an independent values and towing force as a dependent value were derived in the all trials and at the all phases. The coefficients of determination in the regression formulas were 0.324-0.506. These results in Exp.1 indicated that the towing force at the three postures were useful as indicators for evaluating muscular strength specific to front crawl's arm motion.

In Exp.2, seven competitive swimmers participated in the experiment. The time-trials of 20m sprinting and towing force measurements were conducted after two different warming-up exercises (General- and Specific warm-ups) in the same procedure of Exp.1. General warming up mainly focused on the stretching of the whole body and did not aim to improve muscular strength of the arm-stroking. Specific warm-ups mainly focused on improving muscular strength of the arm-stroking. Two-way (Intervention × Exercise) repeated measures ANOVAs were performed to investigate the interaction of Intervention and Exercise. There was no significant interaction in any towing force, although there was significant main effects of Exercise in the towing force of the catch-phase ($F=13.852$, $P=0.010$) and push-phase ($F=16.074$, $P=0.007$). The specific warm up exercise was not valid to

induce greater muscle strength improvement than General warm up. In addition, isometric muscle strength at specific posture to arm-stroking motion did not strongly affect the change of sprint performance after the specific warm u, although the isometric muscle strength measurement was available for swimmer's performance assessment in training filed.