

区分	課程
----	----

(論文 様式)

フロントクロールスイミング選手のための 肩関節筋力の臨床的評価法

スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻

216D01

栗谷 健礼

研 究 指 導

森北 育宏 教授

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.2 肩関節伸展筋力および内旋筋力測定の信頼性に関する研究

1.3 スイミングパフォーマンスと肩関節伸展筋力および内旋筋力測定の関係に関する研究

1.4 研究の目的

1.5 論文の構成

第2章 研究課題1：ハンドヘルドダイナモメーターを用いた等尺性肩関節伸展筋力と内旋筋力測

定の検者内信頼性と検者間信頼性

2.1 目的

2.2 【調査1】肩関節最大外転位伸展力測定と肩関節外転外旋位内旋力測定の検者内および検者

間信頼性

2.2.1 対象

2.2.2 測定方法

2.2.3 分析

2.2.4 結果

2.3 考察

2.4 結論

第3章 研究課題2：大学男子競泳選手における等尺性肩関節筋力とフロントクロールスイミング

パワーの関係

3.1 目的

3.2 【調査2】アームスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係

3.2.1 対象

3.2.2 測定方法

3.2.3 分析

3.2.4 結果

3.3 【調査3】クロールスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係

3.3.1 対象

3.3.2 測定方法

3.3.3 分析

3.3.4 結果

3.4 考察

3.5 結論

第4章 結論

4.1 総合考察

4.2 結論

4.3 研究の限界と展望

引用文献

謝辞

本論文は、以下の論文に基づいて作成したものである。当該論文の編集委員会からは、転載の許可を得ている。

- 1) Awatani T, Morikita I, Shinohara J, Mori S, Nariai M, Tatsumi Y, Nagata A, Koshihara H: Intra- and inter-rater reliability of isometric shoulder extensor and internal rotator strength measurements performed using a hand-held dynamometer. J Phys Ther Sci., 2016, 28(11): 3054–3059.
- 2) Awatani T, Morikita I, Mori S, Shinohara J, Tatsumi Y: Relationship between isometric shoulder strength and arms-only swimming power among male collegiate swimmers: study of valid clinical assessment methods. J Phys Ther Sci., 2018, 30(4): 490–495.
- 3) Awatani T, Morikita I, Mori S, Shinohara J, Tatsumi Y: Clinical method to assess shoulder strength related to front crawl swimming power in male collegiate swimmers. J Phys Ther Sci., 2018, 30(10): 1221–1226.

略語一覧

- ・ハンドヘルドダイナモメーター (hand held dynamometer : HHD)
- ・級内相関係数 (intraclass correlation coefficients : ICC)
- ・測定の標準誤差 (standard error of measurement : SEM)

用語一覧

- ・最大スイミング速度：本研究の各調査における最大スイミング速度は、25 m スイミングにおける10 m 区間（10 m 地点から 20 m 地点）の平均スイミング速度とした。
- ・最大スイミングパワー：本研究の各調査における最大スイミングパワーは、無負荷のスイミングと3段階の負荷の Drag Boat を牽引したスイミング、それぞれのスイミング速度と牽引力を用いて算出したスイミングパワーと各スイミング速度の関係を表す曲線の最大値とした。
- ・パワー速度比：推進力であるスイミングパワーによって生み出されるスイミング速度を簡易に表す値として、パワーに対する速度の比（パワー速度比 = 最大スイミング速度 ÷ ウェイトパワー比）を算出した。
- ・肩関節伸展力および内旋力：本研究の各調査において、HHD を用いて測定される力を肩関節伸展力および内旋力と表現する（表題等は除く）。
- ・肩関節伸展筋力あるいは内旋筋力：本研究の各調査において、力と肢長を用いて算出されたトルクを肩関節伸展筋力あるいは内旋筋力と表現する（表題等は除く）。
- ・非対称性：非対称性とは両側差のことで、本研究の各調査では、両側の平均値に対する両側差の割合（両側差割合）を非対称性 [%] [= 絶対値（両側差 ÷ 両側平均） × 100] として、伸展筋力の非対称性（伸展非対称性）と内旋筋力の非対称性（内旋非対称性）を算出した。

第1章 序論

1.1 研究の背景

スイミング選手にとって、肩の痛みは最も頻繁に起こる整形外科的傷害であり (Wanivenhaus et al., 2012), 関節鏡手術後の競技復帰への成功率も低いことから (Brushøj et al., 2007), 解決すべき重要な課題である。また、水中トレーニングに復帰してからも推進力であるスイミングパワーの両側差が8週間持続することから、長期的なリハビリテーションの必要性が指摘されている (Swaine, 1997)。水中トレーニングまでの一般的なリハビリテーションにおいて、肩甲骨や回旋筋腱板の安定性、関節可動域に関する知見は得られているが (Blanch, 2004 ; Gaunt et al., 2012 ; O'Donnell et al., 2005 ; Tovin, 2006), 水中トレーニングから競技復帰に至る時期の肩関節筋力評価に関する知見は十分に得られていない。その肩関節筋力の中でも、特に推進力に関わる筋力は、競技復帰において推進力を改善するために重要であると考えられる。そのため、推進力に必要な筋力を評価する方法の提示は、受傷したフロントクロールスイミング選手の競技復帰に貢献できる可能性がある。

フロントクロールスイミングのストロークは、アームプルとレッグキックによって構成されており、過去の研究はアームプルの貢献が80%以上であることを報告している (Deschodt et al., 1999 ; Gourgoulis et al., 2014 ; Toussaint et al., 1992)。ストロークのアームプルは、様々な分類が行われている (Chollet et al., 2000 ; Colwin, 2002 ; Heinlein et al., 2010 ; Maglischo, 2003 ; Pink et al., 1991 ; Sanders et al., 2015)。Heinlein ら (2010) は、推進局面とされるプルスルーフェイズを、早期プルスルーフェイズ、中期プルスルーフェイズ、後期プルスルーフェイズ、終期プルスルーフェイズに分類している (Heinlein et al., 2010) (図1)。その中で、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズでは、肩関節伸展や内旋運動を行う大胸筋や小円筋、広背筋などの高い筋活動が報告さ

れている (Pink et al., 1991). 一方で、プルスルーフェイズの終末期 (終期プルスルーフェイズ) では、肩関節伸展を行う三角筋の後部や中部の高い筋活動が報告されている (Pink et al., 1991). このように、フェイズによって高い活動を示す筋が異なるため、対象とするフェイズと類似した肩関節の肢位で測定を行うことが重要であると考えられる. また、肩関節に疼痛のある選手は、肩関節に痛みのない選手よりも内旋筋力が低いため、肩関節内旋筋力の改善にも注意を向ける必要があることが報告されており (Bak et al., 1997), 推進局面である早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズで高い活動を示す内旋筋や伸展筋の筋力低下は、推進力に影響を与える可能性がある. そのため、競技復帰のためのリハビリテーションにおいて、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズと類似した肩関節外転位での肩関節伸展筋力および内旋筋力の評価が必要であり、この評価で用いられる筋力測定は、推進力に関係のある測定方法が望まれる.

これまでの研究において、水泳の推進力の指標の一つとして、スイミングパワーが用いられており、スイミングパワーはスイミング速度と抵抗力機器を引っ張った際の牽引力、あるいはアームブールで機器を押した力を用いて算出される. スイミングパワーとスイミング速度やパフォーマンスは有意な相関関係が報告されているため (森ら, 2015 ; Ria et al., 1990 ; Toussaint et al., 1990), スイミングパワーはスイミング速度向上のために重要な因子であると考えられる. しかしながら、これまで、スイミングパワーと筋力測定の関係は、十分に検討されておらず、フロントクロールスイミング選手のための肩関節筋力の臨床的評価法は明らかにされていない. そのため、フロントクロールスイミング選手のための肩関節筋力の臨床的評価法を明らかにするためには、筋力測定方法の信頼性とスイミングパワーとの関係を検討する必要がある.

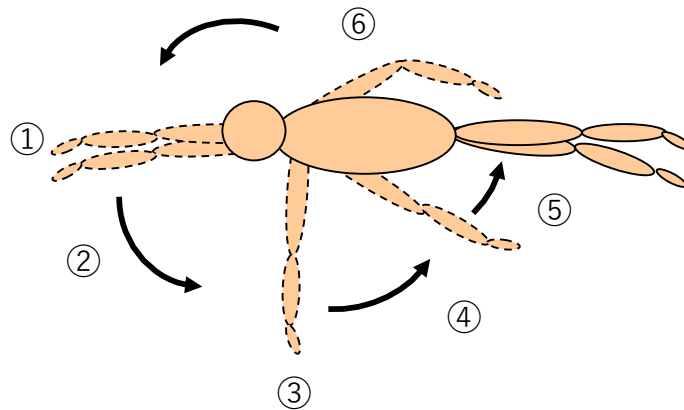


図1 クロールスイミングのストロークアームプルのフェイズ

①グライドフェイズ；②早期プルスルーフェイズ；③中期プルスルーフェイズ；
④後期プルスルーフェイズ；⑤終期プルスルーフェイズ；⑥リカバリーフェイズ（早期，中期，
後期）

Heinleinら(2010)の文献を参考に著者が作成した。

1.2 肩関節伸展筋力および内旋筋力測定信頼性に関する研究

これまで、肩関節の筋力測定は等速性筋力測定機，プルゲージ，ハンドヘルドダイナモメーター（hand held dynamometer：HHD）を用いて行われているが，それぞれに課題がある．等速性筋力測定機は，高い信頼性が報告されているが（Hill et al., 2005；Leggin et al., 1996；Malerba et al., 1993；Smith et al., 2001），コストが高く設置型の機器であることから，あらゆる臨床現場で測定ができるというものではなく，非実用的な側面を持っている（Leggin et al., 1996；Stark et al., 2011）．また，プルゲージはコストが低く携帯性を有しているが，固定できる場所が必要であるという制限がある（Leggin et al., 1996）．一方，HHDはプルゲージと同様にコストが低く携帯性を有しており，固定器具を使用することなく測定を行えるため，臨床活用において利便性が高い（Leggin et al., 1996；Stark et al., 2011）．さらに，HHDは等速性筋力測定機との中等度あるいは高い相関関係を示すことも報告されている（May et al., 1997；Noreau et al., 1998；Stark et al., 2011）．しかしながら，HHDに

は測定誤差の因子として安定性の欠如 (Kolber et al., 2005) と検者の不十分な筋力 (Stone et al., 2011 ; Wikholm et al., 1991) といった技術的な課題がある。これまで、高い信頼性を報告している研究は見られるものの、Schrama ら (2014) のレビューによると、HHD を用いた肩関節筋力測定方法は未だ確立されておらず、測定方法は一致した見解が得られていない。したがって、測定方法は、様々な方法の中からスポーツに関係のある信頼性の高い簡便な方法が選択されるべきである。

HHD を用いた等尺性肩関節伸展筋力測定において、過去の研究は、座位での肩関節 0°屈曲、0°外転位 (Kato, 2015) , 背臥位での肩関節 90°屈曲位 (Bohannon, 1997; Siatras et al., 2010 ; van den Beld et al., 2006) , 背臥位での肩関節 180°屈曲位 (Siatras et al., 2010) , 伏臥位での肩関節 0°外転位 (Kilmer et al., 1997 ; Siatras et al., 2010) , あるいは3種類の姿勢 (伏臥位, 座位, 背臥位) での肩関節肩甲骨面 140°外転位 (McLaine et al., 2016) について信頼性が検討されている。しかしながら、これまで、フロントクロールスイミングの早期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節最大外転位における伸展筋力測定の信頼性は報告されていない。

肩関節内旋筋力測定における信頼性について、過去の研究では、測定姿勢は伏臥位, 背臥位, 座位とし、肩関節の肢位は中間位や外転位での検討が報告されている (Beshay et al., 2011 ; Cools et al., 2014 ; Hayes et al., 2002 ; Leggin et al., 1996 ; McLaine et al., 2016 ; Riemann et al., 2010 ; Sacool et al., 2017) 。これらの方法の中で、フロントクロールスイミング選手には、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節外転位の内旋筋力測定が適していると考えられる。背臥位, 座位での測定 (Beshay et al., 2011 ; Cools et al., 2014 ; Hayes et al., 2002 ; Leggin et al., 1996 ; McLaine et al., 2016 ; Riemann et al., 2010) は、高い信頼性を報告しているものがある一方で、Sacool ら (2017) は、臨床経験のない検者を対象に調査を行い、背臥位での肩関節 90°外

転、回旋中間位において、検者間信頼性の級内相関係数（intraclass correlation coefficients : ICC）を利き手 0.45、非利き手 0.65 であったと報告している。このように、HHD による測定は、経験の有無も含めて、検者が抵抗に関与すると検者の筋力や HHD の安定性という技術が関係してしまうことが考えられる。伏臥位での測定は、肩関節 90°外転、回旋中間位（McLaine et al., 2016 ; Riemann et al., 2010）、あるいは肩関節 90°外転、90°外旋位（肩関節外転外旋位）（Cools et al., 2014）で内旋筋力測定の信頼性が検討されている。肩関節外転外旋位で測定している Cools ら（2014）は ICC_{3,3} が 0.98、ICC_{2,2} が 0.97 という高い信頼性を報告しているものの、検者が徒手的に抵抗を加えている点が一般化可能性の限界として挙げられ、HHD が抱える技術的な課題を解決しなければならない。

1.3 フロントクロールスイミングと肩関節伸展筋力および内旋筋力測定に関する研究

Reilly ら（1990）は、スイミング速度と等速性筋力測定機による肩関節伸展トルクあるいは内旋トルクに相関関係がないことを報告している。一方で、Gola ら（2014）は個別の筋力との比較において、25 m フロントクロールスイミング速度と肩関節伸展トルクおよび肘関節屈曲トルクが中等度の有意な相関関係を示したことも報告しており（それぞれ $r=0.5746$, $r=0.5147$ ）、肩関節伸展トルクが最も強い相関を示している。しかし、この研究は、牽引力を測定するダイナモメーターを使用しており、これを固定する機器が必要である。また、実施されている肩関節 0°での肩関節伸展筋力測定は、終期プルスルーフェイズの肢位での測定であり、伸展筋や内旋筋の筋活動が高いとされる早期プルスルーフェイズに類似した肩関節最大外転位ではない。このように、スイミング速度と筋力の関係を検討した研究は存在するものの、一致した見解は得られていない。

その一方で、推進力と筋力の関係について、筋力の強い腕と弱い腕のそれぞれが、スイミング時

の牽引力 (スイミングフォース [N]) と有意な相関関係が報告されており (dos Santos et al., 2017), 筋力は推進力に対して重要な要素の一つであると考えられる. しかしながら, 推進力と筋力の関係について, これまでスイミングパワーと早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した肩関節最大外転位での伸展筋力や外転外旋位での内旋筋力の関係は, 十分に検討されていない.

また, 両側を交互に使用するフロントクロールスイミングにおいて, 各腕によって生成される推進力を保つことは重要であり, 推進力と筋力の非対称性に関する研究が報告されている. 筋力が両側対称な選手は, スイムベンチのハンドフォース [N] も両側対称であることが報告されている (Evershed et al., 2014). dos Santos ら (2013) は, パフォーマンスの高い選手は, パフォーマンスの低い選手よりもスイミングフォース [N] の非対称性が低いことを報告している. さらに, Tourny-Chollet ら (2009) は, 筋力に非対称性のある選手 (利き手がより高い) において, 利き手 (51.7%) の推進局面 (キャッチとプル) の持続時間が, 非利き手 (48.4%) よりも有意に長いことを報告している. したがって, 筋力の非対称性は, 水中の動作に関係し, 各腕によって生成される推進力から得られるスイミング速度に影響を与える可能性がある. しかしながら, これまでスイミングパワーと肩関節伸展筋力非対称性および内旋筋力非対称性の関係は示されていない. リハビリテーションにおいて, 筋力の非対称性を評価として活用できる可能性を示すためには, スイミングパワーと筋力非対称性の関係を検討した研究が求められる.

このように, フロントクロールスイミング選手に関係のある簡便な肩関節筋力の臨床的評価方法は見出されておらず, スイミングパワーと肩関節伸展筋力および内旋筋力の関係, スイミングパワーと筋力非対称性の関係を調査することは, フロントクロールスイミング選手のためのリハビリテ

ーションにおける肩関節筋力評価方法を提示するうえで、重要な研究課題である。

1.4 研究の目的

本研究の目的は、フロントクロールスイミング選手のための肩関節筋力の臨床的評価法を示すことである。そこで、本研究は二つの研究課題を設定した。本研究は、研究課題1として、臨床で実施可能な肩関節筋力測定方法を提示するために、「ハンドヘルドダイナモメーターを用いた等尺性肩関節伸展筋力と内旋筋力測定の検者内信頼性と検者間信頼性」を検討する。次に研究課題2として、その測定方法がフロントクロールスイミング選手のスイミングパワーと関係があるかを確認するために、「大学男子競泳選手の等尺性肩関節筋力とフロントクロールスイミングパワーの関係」を検討する。筋力との関係を検討するスイミングパワーは、推進力の指標である最大スイミングパワー、またスイミングパワーによって生み出されるスイミング速度を簡易に表すパワー速度比を対象とする。研究課題1は一つの調査（調査1）によって、研究課題2は二つの調査（調査2と調査3）によって検討する（図2）。【調査1】は、検者が徒手的に抵抗を加えないことによって、HHDの持つ技術的な課題を解決した肩関節筋力（伸展および内旋筋力）測定の信頼性を検討する。【調査2】はアームスイミングのスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係を検討し、【調査3】はフロントクロールスイミングのスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係を検討する。

これ以後、本稿において、HHDを用いて測定される力を肩関節伸展力あるいは内旋力とし、力と肢長を用いて算出されたトルクを肩関節伸展筋力あるいは内旋筋力と表現する。

1.5 論文の構成

第2章で研究課題1の「ハンドヘルドダイナモメーターを用いた等尺性肩関節伸展筋力と内旋筋力測定の検者内信頼性と検者間信頼性」の検討を示す。第3章で研究課題2の「大学男子競泳選手の等尺性肩関節筋力とフロントクロールスイミングパワーの関係」の検討を示し、第4章で結論および今後の展望について述べる。

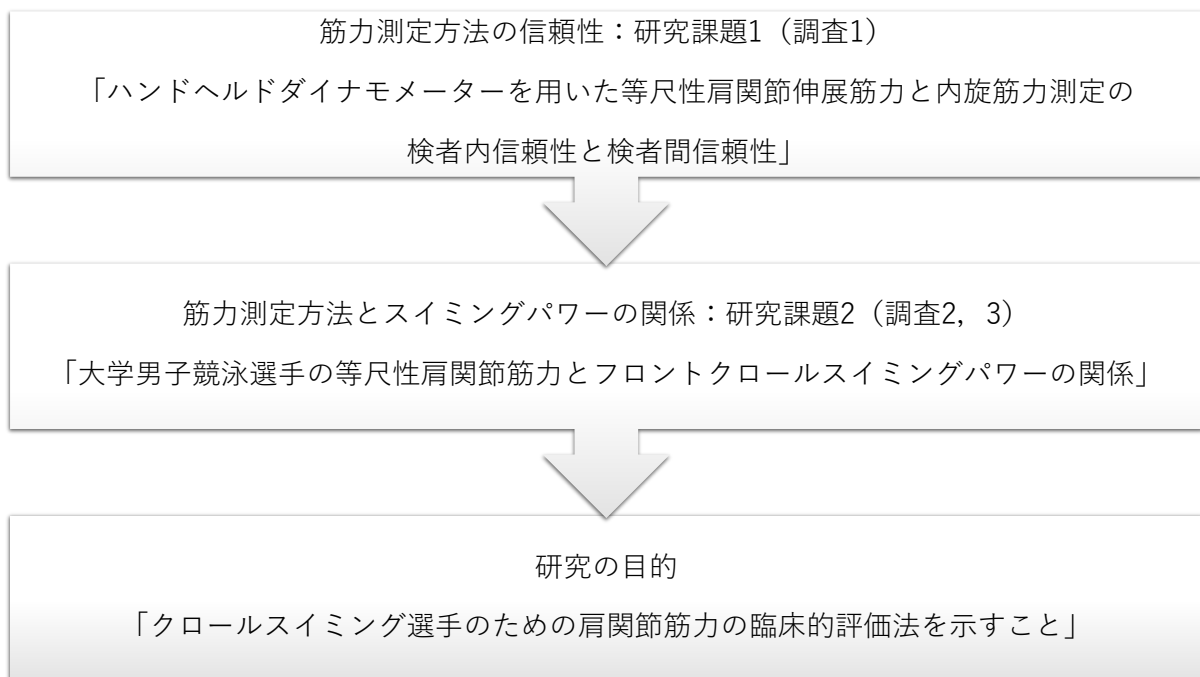


図2 研究の目的

第2章 研究課題1：ハンドヘルドダイナモメーターを用いた等尺性肩関節伸展筋力と内旋筋力測

定の検者内信頼性と検者間信頼性

2.1 目的

これまで、フロントクロールスイミングの早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節最大外転位伸展筋力測定や、伏臥位での肩関節外転位内旋筋力測定は、検者が徒手的に抵抗を加えない方法で調査されていない。そこで、検者の抵抗技術という測定誤差課題を解決するために、【調査1】により、検者が徒手的に抵抗を加えない肩関節最大外転位伸展筋力測定と肩関節外転外旋位内旋筋力測定の検者内および検者間信頼性を検討することとした。

2.2 【調査1】肩関節最大外転位伸展筋力測定と肩関節外転外旋位内旋筋力測定の検者内および検者間信頼性

2.2.1 対象

【調査1】は、九州共立大学倫理委員会の承認（Approval No. 2015-04）を得て実施した。参加者は、健常男子大学生12名（平均 ± 標準偏差：年齢 19.0 ± 1.1 歳；身長 173.5 ± 4.8 cm；体重 65.8 ± 5.8 kg）であった。参加者には口頭および書面にて研究内容を説明し、同意を得た。参加者は、肩の手術歴や6ヶ月以内に肩の痛みを経験していないものとした。検者は、筋力測定において臨床の経験のない大学生2名とした。検者は、事前に測定方法の説明を受け、練習を行った。

2.2.2 測定方法

参加者は、ウォームアップ後に測定を行った。測定は、等尺性筋力測定機器である HHD（モービィ，ミナト医科学）を用いて，肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力の 2 種類を行った（図 3）。測定の姿勢は，両測定方法とも伏臥位で，肩関節最大外転位伸展力測定は頤，胸部，腹部，両側の足先を床面に接し，肩関節外転外旋位内旋力測定は頤，胸部，腹部，測定側の肘，両側の足先を床面に接した。測定側上肢の肢位は，肩関節最大外転位伸展力測定が肩関節最大外転位，肘関節伸展位，前腕中間位とし，肩関節外転外旋位内旋力測定は，肩関節外転 90°，肩関節外旋 90°，肘関節屈曲 90°，前腕中間位とした。また，両測定方法とも非測定側上肢は体側に接触させた。測定は，利き手と非利き手において実施した。HHD は，床上に設置し，中手骨頭掌側部を接触させた。HHD は，測定の間動かないように参加者の手で固定された。参加者は，HHD を床面に最大努力で押すことにより，その力の強さを測定した。参加者は，1 セッションにおいて，3 秒間の最大等尺性収縮の測定を，両測定方法とも両側上肢各 3 回，測定間の休息を 5 分間設けて行なった。検者は，参加者の姿勢が変わらないか観察した。参加者と検者を盲検化するため，測定結果は参加者と検者に知らせることなく記録者が記録した。再測定は，姿勢の変化あるいはエラーが発生した可能性がある場合に実施した。測定セッションは，1 週間の間隔を空けて 2 回，各検者とも同一参加者に対して同一のプロトコルを行った。測定の順番は，参加者と両側上肢，検者をコンピューターによってランダムに振り分けた。



A



B

図3 ハンドヘルドダイナモメーターを用いた肩関節伸展力と内旋力測定

A: 肩関節最大外転位での伸展

B: 肩関節外転外旋位での内旋

2.2.3 分析

検者内信頼性は $ICC_{1,k}$ を用いて同一セッションと日間の信頼性を決定した。検者間信頼性は $ICC_{2,1}$ を用いて決定した。ICC は Landis ら (1977) の基準 (slight, 0.00 to 0.20 ; fair, 0.21 to 0.40 ; moderate, 0.41 to 0.60 ; substantial, 0.61 to 0.80 ; almost perfect, 0.81 to 1.00) によって評価した。検者内 ICC が substantial の場合は、目標とする $ICC_{1,k}$ を 0.81 とし得られた $ICC_{1,1}$ ($p1$) により decision study を行い、必要測定回数 k $[= \{0.81 \times (1 - p1) \} / \{p1 \times (1 - 0.81) \}]$ を求めた。検者内および検者間測定誤差量は測定の標準誤差 (standard error of measurement : SEM) $[= SD \times \sqrt{(1 - ICC)}]$, SEM% $[= (SEM / mean) \times 100]$ を算出した。Bohannon ら (2011) の SEM の変動係数と同一である SEM% は、変動係数の伝統的な分析目標である 10%以下 (Atkinson et al., 1998) を参考に、SEM%が 10% 以下の場合、測定誤差量を軽度の誤差と評価した。系統誤差は、Bland-Altman 分析 (Ludbrook, 2002) を用いて評価した。統計分析は R2.8.1, Excel for Windows 2013 (Microsoft Japan Co.,Ltd.) を使用した。

2.2.4 結果

肩関節伸展力と内旋力測定の結果は表1に示した。

肩関節伸展力測定における同一セッション検者内信頼性の結果は表2に示した。両検者の $ICC_{1,3}$ は0.813以上であり、almost perfectと評価した。SEM%は、8.8%以下であった。

肩関節内旋力測定における同一セッション検者内信頼性の結果は表2に示した。両検者の $ICC_{1,3}$ は0.903以上であり、almost perfectと評価した。SEM%は、8.6%以下であった。

肩関節伸展力における日間の検者内信頼性の結果は表3に示した。検者1の $ICC_{1,2}$ は0.884以上であり、almost perfectと評価した。SEM%は、6.8%以下であった。検者2の $ICC_{1,2}$ は利き手側において0.772でありsubstantialと評価し、非利き手側において0.847であり、almost perfectと評価した。検者2の利き手側は、substantialであったため、 $ICC_{1,1}$ (0.628) を用いてdecision studyを行い、必要測定回数は2.5回となった。SEM%は、8.6%以下であった。Bland-Altman分析において、系統誤差は存在せず、偶然誤差のみ存在した (表3)。

肩関節内旋力における日間の検者内信頼性の結果は表3に示した。 $ICC_{1,2}$ は両検者とも0.944以上であり、almost perfectと評価した。両検者とも、SEM%は、7.1%以下であった。Bland-Altman分析において、系統誤差は検者1の利き手側に比例バイアスが、検者2の利き手側に固定バイアスが存在した (表3)。

肩関節伸展力における検者間信頼性の結果は表4に示した。 $ICC_{2,1}$ は2日目の利き手側のみsubstantial (0.768) であったが、それ以外は0.861以上であり、almost perfectと評価した。両日とも、

SEM%は、9.1%以下であった。Bland-Altman分析において、系統誤差は存在せず、偶然誤差のみ存在した（表4）。

肩関節内旋力における検者間信頼性の結果は表4に示した。両日とも $ICC_{2,1}$ は0.908以上であり、almost perfectと評価した。両日ともSEM%は、8.3%以下であった。Bland-Altman分析において、系統誤差は存在せず、偶然誤差のみ存在した（表4）。

表1 等尺性肩関節伸展力と内旋力

	伸展力 [N]				内旋力 [N]			
	1回目	2回目	3回目	3回の平均	1回目	2回目	3回目	3回の平均
1日目								
検者1								
利き手側	84.9(22.0)	86.9(16.3)	85.9(19.1)	85.7(18.4)	76.5(31.4)	80.9(27.4)	77.8(25.4)	78.4(27.5)
非利き手側	71.0(15.0)	78.1(16.1)	76.9(9.9)	75.3(12.7)	62.3(21.8)	68.2(18.9)	71.0(17.7)	67.2(18.5)
検者2								
利き手側	85.6(19.4)	83.5(14.8)	86.2(15.1)	85.1(15.9)	84.0(28.1)	83.3(23.3)	82.1(25.9)	83.1(25.0)
非利き手側	78.3(11.7)	75.2(16.8)	78.2(14.2)	77.2(12.8)	72.6(20.8)	69.7(18.5)	68.4(21.5)	70.3(19.8)
2日目								
検者1								
利き手側	83.6(13.9)	80.9(16.6)	79.4(21.6)	81.3(15.2)	82.3(22.8)	80.8(21.9)	75.6(20.7)	79.6(20.8)
非利き手側	75.1(12.9)	74.1(13.3)	78.3(20.5)	75.8(14.2)	70.3(19.3)	66.1(17.4)	68.9(19.8)	68.4(17.3)
検者2								
利き手側	80.8(18.8)	77.7(14.7)	82.5(16.2)	80.3(14.2)	80.7(28.0)	75.1(22.8)	75.1(21.1)	77.0(22.4)
非利き手側	76.6(15.3)	69.2(18.9)	69.7(11.9)	71.8(14.0)	70.3(22.1)	66.6(21.2)	61.5(15.2)	66.1(18.3)

平均(標準偏差)

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Intra- and inter-rater reliability of isometric shoulder extensor and internal rotator strength measurements performed using a hand-held dynamometer.]. J Phys Ther Sci [28]: [3054-3059], [2016]. Table 1 を一部改変.

表 2 肩関節筋力測定 of 同一セッション検者内信頼性

		ICC _{1,3} (95%信頼区間)	SEM [N]	SEM% [%]
伸展力				
1 日目				
検者 1				
	利き手側	0.952 (0.876 to 0.985)	4.1	4.8
	非利き手側	0.881 (0.692 to 0.962)	4.8	6.4
検者 2				
	利き手側	0.956 (0.887 to 0.986)	3.4	4.0
	非利き手側	0.869 (0.662 to 0.959)	5.1	6.6
2 日目				
検者 1				
	利き手側	0.832 (0.566 to 0.947)	7.1	8.7
	非利き手側	0.87 (0.663 to 0.959)	5.6	7.4
検者 2				
	利き手側	0.813 (0.517 to 0.941)	7.1	8.8
	非利き手側	0.857 (0.629 to 0.955)	5.9	8.2
内旋力				
1 日目				
検者 1				
	利き手側	0.976 (0.938 to 0.992)	4.2	5.4
	非利き手側	0.926 (0.809 to 0.977)	5.2	
検者 2				
	利き手側	0.967 (0.915 to 0.99)	4.6	5.5
	非利き手側	0.972 (0.929 to 0.991)	4.3	6.2
2 日目				
検者 1				
	利き手側	0.943 (0.851 to 0.982)	5.1	6.4
	非利き手側	0.906 (0.757 to 0.97)	5.6	8.2
検者 2				
	利き手側	0.921 (0.796 to 0.975)	6.6	8.6
	非利き手側	0.903 (0.75 to 0.97)	4.3	6.5

ICC = intraclass correlation coefficient; SEM = standard error of measurement

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Intra- and inter-rater reliability of isometric shoulder extensor and internal rotator strength measurements performed using a hand-held dynamometer.]. J Phys Ther Sci [28]: [3054–3059], [2016]. Table 2 を一部改変.

表 3 肩関節筋力測定の日間検者内信頼性

	信頼性分析			Bland-Altman 分析			
	ICC _{1,2} (95%信頼区間)	SEM [N]	SEM% [%]	95%信頼区間	固定バイアス	回帰分析	比例バイアス
伸展力							
検者 1							
利き手側	0.884(0.615 to 0.966)	5.7	6.8	-2.2 to 11.1	なし	p = 0.307	なし
非利き手側	0.917(0.725 to 0.976)	3.8	5.0	-5.4 to 4.4	なし	p = 0.551	なし
検者 2							
利き手側	0.772(0.242 to 0.933)	7.1	8.6	-3.3 to 12.8	なし	p = 0.644	なし
非利き手側	0.847(0.491 to 0.955)	5.2	7.0	-0.1 to 10.9	なし	p = 0.647	なし
内旋力							
検者 1							
利き手側	0.944(0.814 to 0.984)	5.6	7.1	-8.6 to 6.2	なし	p = 0.043	あり
非利き手側	0.953(0.843 to 0.986)	3.8	5.6	-6.2 to 3.7	なし	p = 0.628	なし
検者 2							
利き手側	0.96(0.868 to 0.988)	4.7	5.8	1.5 to 10.8	あり	p = 0.273	なし
非利き手側	0.957(0.858 to 0.988)	3.9	5.7	-0.2 to 8.5	なし	p = 0.477	なし

ICC = intraclass correlation coefficient; SEM = standard error of measurement

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Intra- and inter-rater reliability of isometric shoulder extensor and internal rotator strength measurements performed using a hand-held dynamometer.]. J Phys Ther Sci [28]: [3054-3059], [2016]. Table 3 を一部改変.

表 4 肩関節筋力測定の間検者間信頼性

	信頼性分析			Bland-Altman 分析			
	ICC _{2,1} (95%信頼区間)	SEM [N]	SEM% [%]	95%信頼区間	固定バイアス	回帰分析	比例バイアス
伸展力							
1 日目							
利き手側	0.861 (0.584 to 0.958)	6.3	7.3	-5.3 to 6.6	なし	p = 0.385	なし
非利き手側	0.931 (0.783 to 0.98)	3.3	4.3	-4.8 to 1.0	なし	p = 0.998	なし
2 日目							
利き手側	0.861 (0.588 to 0.958)	5.3	6.6	-4.1 to 6.0	なし	p = 0.684	なし
非利き手側	0.768 (0.394 to 0.926)	6.7	9.1	-1.9 to 9.8	なし	p = 0.942	なし
内旋力							
1 日目							
利き手側	0.941 (0.782 to 0.983)	6.3	7.7	-9.9 to 0.4	なし	p = 0.313	なし
非利き手側	0.908 (0.722 to 0.972)	5.7	8.3	-8.2 to 2.0	なし	p = 0.591	なし
2 日目							
利き手側	0.95 (0.84 to 0.985)	4.7	6.1	-1.6 to 6.8	なし	p = 0.422	なし
非利き手側	0.916 (0.745 to 0.975)	5.1	7.5	-2.3 to 6.9	なし	p = 0.660	なし

ICC = intraclass correlation coefficient; SEM = standard error of measurement

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Intra- and inter-rater reliability of isometric shoulder extensor and internal rotator strength measurements performed using a hand-held dynamometer.]. J Phys Ther Sci [28]: [3054-3059], [2016]. Table 4 を一部改変.

2.3 考察

肩関節におけるHHDを用いた等尺性肩関節伸展力測定の信頼性研究は、様々な肢位で検討され、高い信頼性を報告している研究もある (Bohannon, 1997; Katoh, 2015 ; Kilmer et al., 1997 ; McLaine et al., 2016 ; van den Beld et al., 2006) . 背臥位での研究は、肩関節90°屈曲位 (Bohannon, 1997; van den Beld et al., 2006) と肩関節180°屈曲位 (Siatras et al., 2010) において検討され、Bohannonら (1997) は検者内信頼性 (ICC_{3,1}) を利き手側が0.974, 非利き手側が0.973と報告し、van den Beldら (2006) は検者内信頼性 (ICC_{2,1}) を利き手側が0.95, 非利き手側が0.93と報告した. また、Siatras ら (2010) は検者内信頼性 (ICC) を0.82と報告した. 一方、伏臥位での研究は、Kilmerら (1997) は肩関節0°外転位において検討し、検者間信頼性 (ICC) を0.89と報告している. また、McLaineら (2016) は肩関節肩甲骨面140°外転位における検討で、検者内信頼性 (ICC_{3,1}) を利き手側が0.98, 非利き手側が0.99と報告した. しかし、これまで、伏臥位での肩関節最大外転位伸展力測定の信頼性は、明らかにされていない.

肩関節内旋筋力測定における過去の研究では、検者が徒手的に抵抗を加えており、測定姿勢は伏臥位、背臥位、座位で、肩関節の肢位は中間位や外転位で信頼性が検討されている (Beshay et al., 2011 ; Cools et al., 2014 ; Hayes et al., 2002 ; Leggin et al., 1996 ; McLaine et al., 2016 ; Riemann et al., 2010 ; Sacool et al., 2017). 伏臥位での測定は、肩関節 90°外転、回旋中間位 (McLaine et al., 2016 ; Riemann et al., 2010), 肩関節外転外旋位 (Cools et al., 2014) にて評価されている. 伏臥位での肩関節外転位内旋力測定において、Cools ら (2014) は高い信頼性を報告しているものの、検者が徒手的に抵抗を加えており、検者の筋力が誤差因子となる可能性がある. そこで、本研究では、検者が徒手的に抵抗を加えない肩関節最大外転位伸展力測定と肩関節外転外旋位内旋力測定において、

参加者および検者に測定結果を伏せた盲検化した条件で、検者内および検者間信頼性を検討した。

肩関節伸展力の同一セッションの検者内信頼性において、 $ICC_{1,3}$ は両検者の両側とも almost perfect を示した (表 2) 。日間 $ICC_{1,2}$ の検者 2 の利き手側のみ substantial を示した。decision study の結果、検者 2 の利き手側も 3 回測定の平均値 ($ICC_{1,3}$) が、他の測定と同様に almost perfect となる。したがって、この測定方法は 3 回の平均値を用いることが推奨される。肩関節伸展力の検者内の測定誤差は、系統誤差は存在せず、日間の SEM% が 10% 以下であるため、軽度の偶然誤差に抑えられたことを示している (表 3) 。また、肩関節最大外転位伸展力の検者間信頼性と検者間測定誤差において、 $ICC_{2,1}$ は substantial あるいは almost perfect を示し (表 4) ，SEM% は両日の両側とも 10% 以下で軽度の偶然誤差であった (表 4) 。ICC の評価基準に関して、0.75 以上を最高評価 (excellent) とする基準 (Cicchetti, 1994) もあることから、本研究において substantial ($ICC = 0.768$) と評価された非利き手側伸展力の検者間信頼性 $ICC_{2,1}$ は高い信頼性であり、さらに測定誤差も軽度であったことから、本測定方法は十分な精度を持っていると考えられる。【調査 1】の結果、肩関節最大外転位伸展力測定は検者内および検者間信頼性が高く、検者内および検者間測定誤差も軽度の偶然誤差であるため、精度の高い測定方法であることが明らかとなった。

肩関節外転外旋位内旋力の検者内信頼性において、同一セッションの $ICC_{1,3}$ および日間の $ICC_{1,2}$ は両検者の両側とも almost perfect を示した (表 2, 3) 。Cools ら (2014) は $ICC_{3,3}$ を 0.97 と報告しており、肩関節外転外旋位内旋力測定は、過去の報告と同様に高い検者内信頼性を示した。肩関節内旋力の検者内の測定誤差において、Cools ら (2014) は SEM を 6.09 N と報告しており、そのデータを用いて算出した SEM% は 5.0% であった。本研究の SEM% は同一セッション、日間の両検者の両側ともに 10% 以下であり (表 2, 3) ，過去の報告と同様に軽度の誤差であった。さらに、肩関節

外転外旋位内旋力の検者間信頼性 $ICC_{2,1}$ は、全て almost perfect を示し、SEM%は 10%以下であった（表 4）。Cools ら（2014）は $ICC_{2,2}$ を 0.97、SEM を 9.6 N と報告しており、そのデータを用いて算出した SEM%は本研究と同等の 7.8%であった。一方、日間の検者内の測定誤差において系統誤差が認められた。しかしながら、両日とも検者間に系統誤差が認められなかったことから、検者の要因よりも、参加者の要因が影響している可能性がある。つまり、測定方法において、HHD の固定に検者が関与せず、検者の筋力や HHD の安定性という測定誤差因子を除外しているため、参加者の努力の非一貫性が系統誤差の要因であると考えられる。したがって、肩関節外転外旋位内旋力測定は高い検者内および検者間信頼性と軽度の誤差であるため、十分な精度を持った測定方法であると考えられる。

過去の研究において、HHD の測定誤差の因子として安定性の欠如（Kolber et al., 2005）と検者の不十分な筋力（Stone et al., 2011 ; Wikholm et al., 1991）が報告されている。肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力測定の両測定方法は HHD を床に置くことで安定化させ、検者が抵抗に関与しないことにより、これらの測定誤差因子を除外し、簡便に実施することができる。また、両測定方法は、参加者および検者が盲検化された二重盲検、ランダム化された条件においても、検者内及び検者間信頼性が高く、軽度の測定誤差に抑えることができた。したがって、これらの測定方法は、簡便かつ信頼性の高い測定方法であることが明らかとなった。

2.4 結論

本研究は、肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力測定の検者内および検者間信頼性を検討し、高い信頼性が示された。つまり、本研究で用いた検者が抵抗に関与しない測定方法は、

HHD を安定させる技術や検者の筋力が問題とならず，信頼性の高いデータを得られることが明らかとなった。

第3章 研究課題2：大学男子競泳選手における等尺性肩関節筋力とフロントクロールスイミング

パワーの関係

3.1 目的

研究課題1により、肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力測定の高い検者内および検者間信頼性が示された。続いて、研究課題2では、フロントクロールスイミングのスイミングパワーと肩関節筋力との関係を明らかにすることを目的として、二つの調査を行った。【調査2】ではアームスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係を検討した。さらに、【調査3】ではフロントクロールスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係を検討した。

3.2 【調査2】アームスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係

3.2.1 対象

必要参加者数はG*Powerを用いて、森ら（2015）の結果を参考に、効果量0.73、検出力0.8、有意水準5%で算出し、10名と決定した。参加者は、日常的に競泳のトレーニングを実施している大学男子競泳選手14名（平均±標準偏差：年齢 19.6 ± 1.2 歳、身長 167.9 ± 6.1 cm、体重 64.0 ± 8.0 kg）とした。参加者は肩の手術歴や6ヶ月以内に肩の痛みを経験していないものとした。参加者には口頭および書面にて研究内容を説明し、同意を得た。【調査2】は九州共立大学倫理委員会の承認

(Approval No. 2015-04) を得て実施した。

3.2.2 測定方法

参加者はウォームアップ後に、測定手順を始めた。HHD（モービィ、ミナト医科学）を用いて最大の力を測定し、測定した力と上肢の長さによってトルク [Nm] を算出した。肩関節最大外転位伸展トルクは肩関節最大外転位伸展力と上肢長によって算出し、肩関節外転外旋位内旋トルクは肩関節外転外旋位内旋力と前腕長によって算出した。算出したトルクを筋力として分析に用いた。力の測定方法は【調査 1】で用いた肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力の 2 種類を（図 3）、経験のある検者が行い、測定間の休息は 5 分間設けた。両測定方法とも利き手と非利き手において実施した。測定の代表値は、3 秒間の最大努力の測定によって得られた両側上肢各測定 3 回の平均値とした。また、検者は、参加者の姿勢が変わらないか観察し、姿勢の変化あるいはエラーが発生した可能性がある場合に再測定を実施した。上肢長と前腕長はデジタルキャリパー（D-500, 新潟精機）を用いて測定した。上肢長は肩峰から第 3 中手骨頭背側部までとした。前腕長は肘関節外側関節裂隙から第 3 中手骨頭背側部までとした。各測定は 3 回実施され、その平均値を代表値とした。

筋力の両側差を標準化するため、両側の平均値に対する両側差の割合（両側差割合）を非対称性 [%] として式 (1) により算出した (Bini et al., 2014 ; Tourny-Chollet et al., 2009)。伸展筋力の非対称性（伸展非対称性）と内旋筋力の非対称性（内旋非対称性）を算出した。

$$\text{非対称性 [\%]} = \text{絶対値 (両側差} \div \text{両側平均)} \times 100 \quad \dots \dots (1)$$

スイミングパワーの測定は、1回の25 m アームスイミング（キックを行わないフロントクロールスイミング）と3回の15 m アームスイミングを25 m 屋内プールで実施し、スイミング速度を測定して算出された（図4）。プールサイドに設置したデジタルビデオカメラ（HDR-CX270V, SONY社製）によって60 fpsで撮影された。スイミング速度 [m/s] は10 m 間の平均スイミング速度と定義し、撮影した動画の10 m 地点から20 m 地点の頭部通過時間から算出した。最大スイミング速度 [m/s] は25 m アームスイミングで算出した。25 m アームスイミングは水中からスタートし、無負荷で実施された。15 m アームスイミングは森ら（2015）の簡易型スイミングパワー装置（Drag Boat）を用いて、5 m 地点から3段階の負荷のDrag Boatを牽引して実施された。参加者はブイを大腿の間に挟み、ゴムチューブで両足関節を固定して試技を行なった。

回帰係数と回帰定数は、アームスイミングにおける無負荷と3段階の負荷のDrag Boatを牽引した際のそれぞれのスイミング速度と牽引力 [N] を用いて式（2）から算出した（森ら，2015）。スイミングパワー [W] は、スイミング速度と牽引力を用いて式（3）により算出した（森ら，2015）。スイミングパワーとスイミング速度の関係を表す曲線の最大値と定義した最大スイミングパワー [W]は（森ら，2015），式（4）により算出した。パワー速度比はウエイトパワー比（Power-to-weight ratio, 最大スイミングパワー ÷ 体重）を用いて、式（5）により算出した。

$$\text{牽引力 [N]} = \text{回帰係数} \times \text{スイミング速度} + \text{回帰定数} \quad \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned} \text{スイミングパワー [W]} &= \text{牽引力} \times \text{スイミング速度} \\ &= (\text{回帰係数} \times \text{スイミング速度} + \text{回帰定数}) \times \text{スイミング速度} \\ &= \text{回帰係数} \times \text{スイミング速度}^2 + \text{回帰定数} \times \text{スイミング速度} \quad \dots \dots (3) \end{aligned}$$

$$\text{最大スイミングパワー [W]} = -1 \times \text{回帰定数}^2 \div (4 \times \text{回帰係数}) \quad \dots \dots (4)$$

$$\text{パワー速度比} = \text{最大スイミング速度} \div \text{ウェイトパワー比} \quad \dots \dots (5)$$

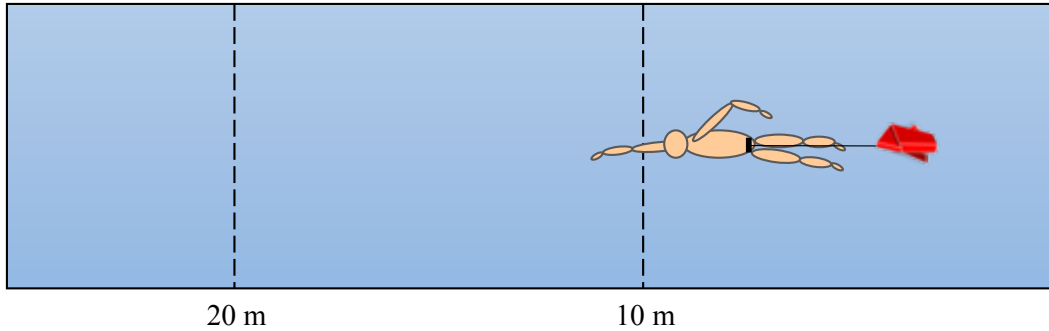


図4 Drag Boatを用いたスイミングパワー測定

スイミングパワー測定は1回の25 mスイミングと3回のDrag Boatを用いた 15 mスイミングを実施, 25 mスイミングと15 mスイミングのスイミング速度と牽引力からスイミングパワーを算出した.

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Clinical method to assess shoulder strength related to front crawl swimming power in male collegiate swimmers.]. J Phys Ther Sci [30]: [1221–1226], [2018]. Fig. 2を一部改変.

3.2.3 分析

最大スイミング速度と最大スイミングパワーの関係, 最大スイミングパワーと筋力の関係, 伸展筋力と内旋筋力の関係, パワー速度比と筋力の非対称性の関係はピアソンの積率相関係数を用いて検討した. 統計分析はR2.8.1, Excel for Windows 2013 (Microsoft Japan Co.,Ltd.) を使用した. 有意水準は5%とした. それぞれ検討した関係において, 有意なp値はHolm–Bonferroni correction (Holm, 1979 ; Abdi, 2010) を用いて調整した. 相関係数はHinkleら (2003) の基準 (negligible, 0.00 to 0.30 ;

low, 0.30 to 0.50 ; moderate, 0.50 to 0.70 ; high, 0.70 to 0.90 ; very high, 0.90 to 1.00) によって評価した.

3.2.4 結果

上肢長は、利き手側が 63.8 ± 2.8 cm, 非利き手側が 64.2 ± 3.2 cm であった. 前腕長は、利き手側が 32.1 ± 1.4 cm, 非利き手側が 32.3 ± 1.3 cm であった. 筋力測定の結果を表 5 に、スイングパワー測定の結果を表 6 に示した. 筋力は、全参加者で利き手側の方が非利き手側よりも高い値を示した.

最大スイング速度と最大スイングパワーは、有意な高い相関関係 ($r = 0.726$; $p = 0.007$; high) を示した (表 6). 最大スイングパワーと肩関節筋力の分析では、利き手側内旋筋力 ($r = 0.85$; $p < 0.001$; high), 非利き手側内旋筋力 ($r = 0.76$; $p = 0.008$; high), 利き手側伸展筋力 ($r = 0.608$; $p = 0.042$; moderate) が、有意な相関関係を示した (中等度から高い) (表 7). 最大スイングパワーと非利き手側伸展筋力は、有意な相関関係を示さなかった ($r = 0.211$; $p = 0.469$) (表 7). パワー速度比と筋力の非対称性の分析では、パワー速度比と伸展非対称性は、有意な高い負の相関関係を示した ($r = -0.728$; $p = 0.006$; high) (表 6). パワー速度比と内旋非対称性は、有意な相関関係を示さなかった ($r = -0.1$; $p = 0.735$) (表 7).

伸展筋力と内旋筋力の分析では、利き手側伸展筋力と非利き手側伸展筋力 ($r = 0.836$; $p = 0.002$; high), 利き手側伸展筋力と利き手側内旋筋力 ($r = 0.852$; $p = 0.001$; high), 利き手側内旋筋力と非利き手側内旋筋力 ($r = 0.897$; $p < 0.001$; high) は、有意な高い相関関係を示した (表 7). しかしながら、非利き手側伸展筋力と非利き手側内旋筋力 ($r = 0.432$; $p = 0.123$), 利き手側伸展筋力と伸展非対称性 ($r = 0.423$; $p = 0.132$), 非利き手側伸展筋力と伸展非対称性 ($r = -0.13$; $p = 0.64$), 利き

手側内旋筋力と内旋非対称性 ($r = -0.027$; $p = 0.927$), 非利き手側内旋筋力と内旋非対称性 ($r = -0.383$; $p = 0.176$), 伸展非対称性と内旋非対称性 ($r = -0.164$; $p = 0.575$) は, 有意な相関関係を示さなかった (表 7).

表 5 調査 2 における筋力測定の結果

	平均 (標準偏差)
利き手側伸展力 [N]	125.1 (29.8)
非利き手側伸展力 [N]	99.5 (20.1)
利き手側内旋力 [N]	113.1 (32.1)
非利き手側内旋力 [N]	102.1 (29.3)
利き手側伸展筋力 [N m]	80.0 (19.8)
非利き手側伸展筋力 [N m]	64.2 (14.7)
利き手側内旋筋力 [N m]	36.4 (10.5)
非利き手側内旋筋力 [N m]	33.1 (10.1)
伸展非対称性 [%]	21.4 (12.3)
内旋非対称性 [%]	13.3 (10.7)

非対称性 = 絶対値 (両側差 ÷ 両側平均) × 100

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [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]: [490–495], [2018]. Table 1 を一部改変.

表 6 アームスイミング測定の結果

	平均(標準偏差)	最大スイミング速度とのピアソンの積率相関係数	
		r (95%信頼区間)	評価
最大スイミング速度 [m/s]	1.67(0.08)		
最大スイミングパワー [W]	58.55(20.70)	0.726 ** (0.318 to 0.907)	high
ウエイトパワー比	0.91(0.27)	0.72 ** (0.307 to 0.905)	high
パワー速度比	1.94(0.39)		

ウエイトパワー比 = 最大スイミングパワー ÷ 体重

パワー速度比 = 最大スイミング速度 ÷ ウエイトパワー比

有意な p 値は Holm-Bonferroni correction を用いて調整した。調整後: *p < 0.05, **p < 0.01

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [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]: [490-495], [2018]. Table 2 を一部改変.

表 7 アームスイミングパワーと筋力のピアソンの積率相関係数

	利き手側伸展筋力	非利き手側伸展筋力	利き手側伸筋力	非利き手側伸筋力	利き手側内旋筋力	非利き手側内旋筋力	伸展非対称性	内旋非対称性
最大スイミングパワー	r 0.608*	0.211	0.85**	0.76**	-	-	-	-
	95%信頼区間 0.114 to 0.861	-0.36 to 0.667	0.582 to 0.952	0.384 to 0.92	-	-	-	-
	評価 moderate	-	high	high	-	-	-	-
パワー速度比	r -	-	-	-	-0.728**	-0.1	-	-0.1
	95%信頼区間 -	-	-	-	-0.908 to -0.322	-0.599 to 0.455	-	-
	評価 -	-	-	-	high	-	-	-
利き手側伸筋力	r 0.836**	0.852**	0.764*	0.423	-	-	-	-
	95%信頼区間 0.549 to 0.947	0.587 to 0.952	0.393 to 0.921	-0.139 to 0.779	-	-	-	-
	評価 high	high	high	-	-	-	-	-
非利き手側伸筋力	r 0.494	-	0.432	-0.137	-	-	-	-
	95%信頼区間 -0.05 to 0.812	-	-0.128 to 0.783	-0.622 to 0.424	-	-	-	-
	評価 -	-	-	-	-	-	-	-
利き手側内旋筋力	r 0.897**	-	0.897**	-0.027	-	-	-	-0.027
	95%信頼区間 0.699 to 0.967	-	0.699 to 0.967	-0.55 to 0.511	-	-	-	-0.55 to 0.511
	評価 high	-	high	-	-	-	-	-
非利き手側内旋筋力	r -	-	-	-0.383	-	-	-	-0.383
	95%信頼区間 -0.759 to 0.185	-	-	-0.759 to 0.185	-	-	-	-0.759 to 0.185
	評価 -	-	-	-	-	-	-	-
伸展非対称性	r -	-	-	-0.164	-	-	-	-0.164
	95%信頼区間 -0.639 to 0.402	-	-	-0.639 to 0.402	-	-	-	-0.639 to 0.402
	評価 -	-	-	-	-	-	-	-

それぞれ検討した関係において、有意な p 値は Holm-Bonferroni correction を用いて調整した。調整後：*p < 0.05, **p < 0.01

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [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]: [490-495], [2018]. Table 3 を一部改変.

3.3 【調査3】フロントクロールスイミングにおけるスイミングパワー（最大スイミングパワーおよびパワー速度比）と肩関節外転位での肩関節筋力（伸展および内旋筋力）の関係

3.3.1 対象

参加者は、日常的に競泳のトレーニングを実施している9名の大学男子フロントクロールスイミング選手（平均 ± 標準偏差：年齢 19.6 ± 1.2 歳，身長 169.4 ± 6.8 cm，体重 64.7 ± 9.3 kg）とした。参加者は肩の手術歴や6ヶ月以内に肩の痛みを経験していないものとした。【調査3】は九州共立大学倫理委員会の承認（Approval No. 2017-11）を得て実施した。参加者には口頭および書面にて研究内容を説明し，同意を得て，経験のある検者が測定を行った。

3.3.2 測定方法

測定の順番はランダム化した。参加者はウォームアップ後に，測定を始め，力の測定後にスイミングパワーを測定した。【調査2】で用いた方法によって，HHDを用いた最大の力と，デジタルキャリパーを用いた上肢の長さを測定して算出したトルク [Nm] を筋力として分析に用いた。肩関節最大外転位伸展トルクは肩関節最大外転位伸展力と上肢長によって算出し，肩関節外転外旋位内旋トルクは肩関節外転外旋位内旋力と前腕長によって算出した。両側差割合として式 (1) により，伸展非対称性 [%] と内旋非対称性 [%] が算出された。最大の力と上肢の長さの代表値は，3回の平均値とした。力の測定は肩関節最大外転位伸展力と肩関節外転外旋位内旋力を行った（図3）。両測定方法とも利き手と非利き手において，参加者は最大等尺性収縮を3秒間，3回行い，休息は5分間設けた。検者は，参加者が適切な測定ができているか確認した。再測定は姿勢の変化あるいはエラーが発生した場合に実施した。

スイミングパワー測定は、1回の25 m フロントクロールスイミングと3回の Drag Boat を用いた15 m フロントクロールスイミングを25 m 屋内プールで実施した(図4)。スイミング速度は10 m 間の平均スイミング速度と定義し、撮影した動画の10 m 地点から20 m 地点の頭部通過時間から算出した。最大スイミング速度 [m/s] は25 m フロントクロールスイミングにおいて算出した。15 m フロントクロールスイミングは、3段階の負荷の Drag Boat を用いて5 m 地点から実施された。

回帰係数と回帰定数は、通常のフロントクロールスイミングと3段階の負荷の Drag Boat を牽引したフロントクロールスイミング、それぞれのスイミング速度と牽引力を用いて式(2)から算出した(森ら, 2015)。最大スイミングパワー [W] は、スイミングパワーとスイミング速度の関係を表す曲線の最大値と定義し(森ら, 2015)、式(4)により算出した。パワー速度比は式(5)により算出した。

3.3.3 分析

分析は【調査2】と同様に、最大スイミング速度と最大スイミングパワーの関係、最大スイミングパワーと筋力の関係、伸展筋力と内旋筋力の関係、パワー速度比と筋力の非対称性の関係はピアソンの積率相関係数を用いて検討した。統計分析はR2.8.1, Excel for Windows 2013 (Microsoft Japan Co.,Ltd.)を使用した。有意水準は5%とした。それぞれ検討した関係において、有意な p 値は Holm-Bonferroni correction (Holm, 1979 ; Abdi, 2010) を用いて調整した。相関係数は Hinkle ら (2003) の基準 (negligible, 0.00 to 0.30 ; low, 0.30 to 0.50 ; moderate, 0.50 to 0.70 ; high, 0.70 to 0.90 ; very high, 0.90 to 1.00) によって評価した。

3.3.4 結果

上肢長は、利き手側が 64.6 ± 3.1 cm, 非利き手側が 64.6 ± 2.8 cm であった。前腕長は、利き手側が 32.6 ± 1.5 cm, 非利き手側が 32.6 ± 1.3 cm であった。筋力測定の結果を表 8 に、スイミングパワー測定の結果を表 9 に示した。

最大スイミング速度と最大スイミングパワーは、有意な非常に高い相関関係 ($r=0.927$; $p<0.001$; very high) を示した (表 9)。最大スイミングパワーと肩関節筋力の分析では、利き手側伸展筋力 ($r=0.844$; $p=0.017$; high) と非利き手側伸展筋力 ($r=0.779$; $p=0.04$; high) が、有意な高い相関関係を示した (表 10)。しかしながら、利き手側内旋筋力 ($r=0.72$; $p=0.057$) と非利き手側内旋筋力 ($r=0.624$; $p=0.073$) は、有意な相関関係を示さなかった (表 8)。パワー速度比と筋力の非対称性の分析では、パワー速度比と伸展非対称性 ($r=-0.426$; $p=0.253$)、パワー速度比と内旋非対称性 ($r=0.002$; $p=0.995$) は、有意な相関関係を示さなかった (表 10)。

伸展筋力と内旋筋力の分析では、利き手側伸展筋力と非利き手側伸展筋力 ($r=0.965$; $p<0.001$; very high)、利き手側内旋筋力と非利き手側内旋筋力 ($r=0.84$; $p=0.046$; high) が、有意な高い相関関係を示した (表10)。しかしながら、利き手側伸展筋力と利き手側内旋筋力 ($r=0.777$; $p=0.11$)、非利き手側伸展筋力と非利き手側内旋筋力 ($r=0.667$; $p=0.299$)、利き手側伸展筋力と伸展非対称性 ($r=0.042$; $p=0.914$)、非利き手側伸展筋力と伸展非対称性 ($r=-0.169$; $p=0.663$)、利き手側内旋筋力と内旋非対称性 ($r=0.478$; $p=0.193$)、非利き手側内旋筋力と内旋非対称性 ($r=0.212$; $p=0.585$)、伸展非対称性と内旋非対称性 ($r=-0.479$; $p=0.192$) は、有意な相関関係を示さなかった (表10)。

表 8 調査 3 における筋力測定の結果

	平均(標準偏差)
利き手側伸展力 [N]	134.2(21.9)
非利き手側伸展力 [N]	130.5(25.2)
利き手側内旋力 [N]	129.6(20.3)
非利き手側内旋力 [N]	123.6(12.8)
利き手側伸展筋力 [N m]	87.0(16.7)
非利き手側伸展筋力 [N m]	84.6(17.9)
利き手側内旋筋力 [N m]	42.4(8.1)
非利き手側内旋筋力 [N m]	40.4(5.1)
伸展非対称性 [%]	3.1(5.5)
内旋非対称性 [%]	4.0(10.5)

非対称性 = 絶対値 (両側差 ÷ 両側平均) × 100

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Clinical method to assess shoulder strength related to front crawl swimming power in male collegiate swimmers.]. J Phys Ther Sci [30]: [1221–1226], [2018]. Table 1 を一部改変.

表 9 クロールスイミング測定の結果

	平均(標準偏差)	最大スイミング速度とのピアソンの積率相関係数	
		r (95%信頼区間)	評価
最大スイミング速度 [m/s]	1.82(0.09)		
最大スイミングパワー [W]	99.62(20.01)	0.927** (0.684 to 0.985)	very high
ウエイトパワー比	1.55(0.29)	0.807** (0.308 to 0.958)	high
パワー速度比	1.21(0.23)		

ウエイトパワー比 = 最大スイミングパワー ÷ 体重

パワー速度比 = 最大スイミング速度 ÷ ウエイトパワー比

有意な p 値は Holm–Bonferroni correction を用いて調整した。 調整後: *p < 0.05, **p < 0.01

Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Clinical method to assess shoulder strength related to front crawl swimming power in male collegiate swimmers.]. J Phys Ther Sci [30]: [1221–1226], [2018]. Table 2 を一部改変.

表 10 クロールスイミングパワーと筋力のピアソンの積率相関係数

	利き手側伸展筋力	非利き手側伸展筋力	利き手側内旋筋力	非利き手側内旋筋力	伸展非対称性	内旋非対称性
最大スイミングパワー	r 0.844** 0.409 to 0.966 high	0.779** 0.238 to 0.951 high	0.72 0.107 to 0.936	0.624 -0.069 to 0.911	-	-
パワー-速度比	r 95%信頼区間 評価	- - -	- - -	- - -	-0.426 -0.85 to 0.332	0.002 -0.663 to 0.665
利き手側伸展筋力	r 95%信頼区間 評価	0.965** 0.838 to 0.993 very high	0.777 0.233 to 0.951	0.788 0.26 to 0.953	0.042 -0.64 to 0.687	-
非利き手側伸展筋力	r 95%信頼区間 評価	-	0.737 0.143 to 0.941	0.667 0.005 to 0.922	-0.169 -0.749 to 0.558	-
利き手側内旋筋力	r 95%信頼区間 評価	-	-	0.84* 0.397 to 0.965 high	-	0.478 -0.273 to 0.867
非利き手側内旋筋力	r 95%信頼区間 評価	-	-	-	-	0.212 -0.526 to 0.768
伸展非対称性	r 95%信頼区間 評価	-	-	-	-	-0.479 -0.867 to 0.271

それぞれ検討した関係において、有意な p 値は Holm-Bonferroni correction を用いて調整した。調整後: *p<0.05, **p<0.01
 Reproduced with permission of the Society of Physical Therapy Science from [Awatani et al.]. [Clinical method to assess shoulder strength related to front crawl swimming
 power in male collegiate swimmers.]. J Phys Ther Sci [30]: [1221-1226], [2018]. Table 3 を一部改変。

3.4 考察

スイミングパワーと比較した過去の研究において、森ら（2015）は最大スイミング速度との相関係数を 0.73、Ria ら（1990）はスイミング速度との相関係数を 0.72、Toussaint ら（1990）はスイミングタイムとの相関関係を 0.83 と報告している。本研究において、最大スイミング速度と最大スイミングパワーの関係は、【調査2】【調査3】ともに高い相関関係（それぞれ $r=0.726$, $r=0.927$ ）を示し、過去の研究と同等以上の相関係数であるため、最大スイミングパワーを測定した研究として【調査2】と【調査3】が妥当であることが示された。また、【調査2】の最大スイミングパワーと利き手側内旋筋力、パワー速度比と伸展非対称性の相関係数は、それぞれ 0.85 と -0.728 であり、必要参加者数を効果量 0.728, 検出力 0.8, 有意水準 5% で G*Power (Correlation: Bivariate normal model, two tails) を用いて算出すると 12 名となる。したがって、【調査2】は必要な参加者数を満たしている。さらに、【調査3】においても、最大スイミングパワーと利き手側伸展筋力の相関係数は、0.844 であり、必要参加者数を効果量 0.844, 検出力 0.8, 有意水準 5% で G*Power (Correlation: Bivariate normal model, two tails) を用いて算出すると 8 名となる。したがって、【調査3】も必要な参加者数を満たしていることが示された。

【調査2】において、利き手側内旋筋力 ($r=0.85$) が、アームスイミングの最大スイミングパワーと最も高い相関関係を示した。一方、【調査3】において、利き手側伸展筋力 ($r=0.844$) が、フロントクロールスイミングの最大スイミングパワーと最も高い相関関係を示し、筋力と最大スイミングパワーの関係は、【調査2】と【調査3】で異なる結果であった。Yanai (2001) は、上肢の下方運動は、下肢を沈ませる作用を持っており、キックは下肢を持ち上げ、体を水平に保っていることを報告している。つまり、本研究でのアームスイミングは、プルブイを使用して下肢浮かせている

ものの、上肢の下方運動による下肢が沈む作用を補うことが十分ではないため (Yanai, 2001), 下方運動である肩関節伸展よりも肩関節内旋筋力とアームスイミングパワーに最も高い相関関係が示された可能性がある。一方、クロールスイミングは、早期プルスルーフェイズに肩関節伸展や内旋を行う大胸筋や広背筋の高い筋活動が認められていることから (Pink et al., 1991), 早期プルスルーフェイズと類似した肩関節最大外転位の伸展筋力が最大スイミングパワーと関係していた可能性が考えられる。この結果から、一般的に早期プルスルーフェイズで行われる肩関節最大外転位からの肩関節伸展と類似した伏臥位での肩関節最大外転位伸展筋力の測定は、フロントクロールスイミング選手のための筋力を評価できる可能性が考えられる。また、肩関節外転外旋位内旋筋力測定がフロントクロールスイミング選手のアームプルを着眼点として評価するために重要な可能性がある。

筋力の非対称性とフロントクロールスイミングにおいて、Tourny-Chollet ら (2009) は、筋力に非対称性のある選手 (利き手がより高い) において、利き手 (51.7%) のキャッチとプルの持続時間 (推進局面) が、非利き手 (48.4%) よりも有意に長いことを報告しており、筋力の非対称性は、水中の動作に関係し、推進力によって得られるスイミング速度に影響を与える可能性がある。【調査2】において、伸展非対称性はパワー速度比と高い負の相関関係にあることが示された ($r = -0.728$)。したがって、肩関節最大外転位伸展筋力測定による非対称性の確認は、パワー速度比に関係のある筋力を評価できる可能性を示している。しかしながら、【調査3】において、パワー速度比と伸展非対称性、パワー速度比と内旋非対称性は有意な相関関係が示されず、【調査2】と異なる結果となった。フロントクロールスイミングは腕だけでなく四肢の様々な要因も含まれているため、肩の筋力だけがパワー速度比に関係することを明らかにできなかった可能性がある。したがって、今後の研

究では、幅広い技術レベルを持った参加者を対象に、負の影響を与える技術的な側面を含めた検討が必要である。

肩の痛みはスイミング選手で最も頻繁に起こる整形外科的傷害であり、罹患率は40%から91%であると報告されている (Wanivenhaus et al., 2012)。Bakら (1997) は、肩関節に疼痛のある選手は肩関節に痛みのない選手よりも内旋筋力が低いため、肩関節内旋筋力の改善にも注意を向ける必要があることを報告している。推進局面で高い活動を示す肩関節伸展筋や内旋筋の筋力低下は、推進力に影響を与える可能性があり、リハビリテーションにおいて、肩関節伸展筋力や内旋筋力の評価が必要である。【調査3】で明らかになった肩関節最大外転位伸展筋力がフロントクロールスイミングの最大スイミングパワーとの相関関係は、リハビリテーション期間中に、最大外転位での伸展筋力測定を用いて、フロントクロールスイミング選手の筋力評価に活用できる可能性を示している。また、【調査2】で示された肩関節外転外旋位内旋筋力とアームスイミングの最大スイミングパワーの相関関係や、肩関節最大外転位伸展筋力非対称性とパワー速度比の相関関係も、肩関節外転外旋位内旋筋力の測定や肩関節最大外転位伸展筋力非対称性の測定が、アームプルに対する筋力評価に活用できる可能性を示している。

3.5 結論

本研究の結果、アームスイミングの最大スイミングパワーは、伏臥位での肩関節外転外旋位内旋筋力と高い相関関係を示し、フロントクロールスイミングの最大スイミングパワーは、伏臥位での肩関節最大外転位伸展筋力と高い相関関係を示した。また、肩関節最大外転位伸展筋力の非対称性とパワー速度比に高い負の相関関係を示した。したがって、肩関節外転外旋位内旋筋力測定および

肩関節最大外転位伸展筋力測定が，フロントクロールスイミング選手の肩関節傷害のリハビリテーション過程における筋力評価に活用できる可能性を示している．

第4章 結論

4.1 総合考察

肩の痛みは、スイミング選手で最も頻繁に起こる整形外科的傷害であり (Wanivenhaus et al., 2012), 推進局面で高い筋活動を示す肩関節内旋筋 (Pink et al., 1991) は、肩の痛みによる筋力低下が報告されている (Bak et al., 1997). 推進局面で高い筋活動を示す肩関節伸展筋や内旋筋の筋力低下は、推進力に影響を与える可能性があるため、競技復帰を目的としたフロントクロールスイミング選手のリハビリテーションにおいて、肩関節伸展筋力や内旋筋力の評価と改善は重要な要素であると考えられる.

フロントクロールスイミングにおいて、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズには肩関節伸展や内旋を行う大胸筋や広背筋の高い筋活動、終期プルスルーフェイズには肩関節伸展を行う三角筋の後部や中部の高い筋活動が報告されている (Pink et al., 1991). このように、フェイズによって高い活動を示す筋が異なるため、対象とするフェイズと類似した肩関節の肢位で測定を行うことが重要であると考えられる. これまで、Siatras ら (2010) の背臥位肩関節 180°屈曲位や、McLaine ら (2016) の伏臥位肩関節肩甲骨面 140°外転位など肩関節の外転角度が大きい研究において、高い検者内信頼性が報告されているものの、検者間信頼性は検討されていない. また、伏臥位での肩関節外転外旋位における内旋において、Cools ら (2014) は、伏臥位での肩関節外転外旋位における内旋力測定で高い信頼性を報告しているものの、検者が徒手的に抵抗を加えており、検者の筋力が誤差因子となる可能性がある. このように、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節最大外転位における肩関節伸展力測定や、伏臥位での肩関節外転外旋位における内旋力測定の信頼性は、十分に明らかにされていない. さらに、推進力の指標

である最大スイミングパワーと早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節最大外転位における伸展筋力や肩関節外転外旋位における内旋筋力の関係は、これまで十分に検討されていない。そこで、検者が徒手的に抵抗を加えない方法を用いて、早期プルスルーフェイズから中期プルスルーフェイズに類似した伏臥位での肩関節最大外転位における肩関節伸展力測定および肩関節外転外旋位における内旋力測定の信頼性、そしてこれらの測定方法で得られた肩関節筋力と最大スイミングパワーおよびパワー速度比の相関関係を検討した。

その結果、本研究の測定方法は、高い検者内および検者間信頼性が示され、これらの測定方法で得られた肩関節伸展筋力と推進力の指標である最大スイミングパワー、伸展筋力の非対称性とアームスイミングのパワー速度比が高い相関関係にあり、内旋筋力もアームスイミングの最大スイミングパワーと高い相関関係にあった。したがって、本研究の測定方法は、高い信頼性を有し、最大スイミングパワーやパワー速度比と高い相関関係のある筋力を評価できることが示された。臨床において測定を実施するために、簡便であることは重要な要件の一つである。本研究の測定方法は、床面が硬く、伏臥位をとることができる環境があれば実施可能であり、検者が抵抗に関与しないため、臨床経験のない学生においても高い信頼性が得られた。つまり、これらの測定方法は、信頼性が高く、フロントクロールスイミング選手の最大スイミングパワーやパワー速度比と高い相関関係を持つデータを、簡便に得ることができる臨床的有用性を持った方法である可能性を示している。したがって、本研究の測定方法は、フロントクロールスイミング選手のための肩関節筋力の臨床的評価法として、受傷したフロントクロールスイミング選手の競技復帰のためのリハビリテーションに貢献できる可能性があると考えられる。

本研究の測定方法は、臨床現場で適用する時期に注意を要する。一般的に、肩関節のリハビリテーションは、損傷組織や修復組織を保護するために愛護的な関節可動域改善訓練を行い、一定の期間をかけて全可動域を獲得させる (Gaunt et al., 2010 ; Thigpen et al., 2016)。筋力改善訓練もまた、損傷組織や修復組織の治癒と関節可動域の改善を考慮して愛護的に実施される (Gaunt et al., 2010 ; Thigpen et al., 2016)。そのため、肩関節最大外転位や90°外転外旋位で実施する本研究の測定方法は、十分な関節可動域が獲得されて以後に用いることが推奨される。

4.2 結論

選手に対する測定は、信頼性の高い方法の中から簡便でスポーツ動作に関係のある方法が選択されることが望ましい。そこで、本研究は、フロントクロールスイミング選手のための肩関節筋力の臨床的評価法を明らかにするために、肩関節伸展筋力および内旋筋力測定方法の信頼性と、その測定による筋力と最大スイミングパワーやパワー速度比の相関関係を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 伏臥位における肩関節最大外転位伸展力および肩関節外転外旋位内旋力測定は、高い検者内および検者間信頼性を有している。
- 2) 伏臥位における肩関節外転外旋位での利き手側内旋筋力はアームスイミングの最大スイミングパワーと高い正の相関関係を示し、肩関節最大外転位での伸展筋力の非対称性はアームスイミングのパワー速度比と高い負の相関関係を示した。
- 3) 伏臥位における肩関節最大外転位での利き手側伸展筋力はフロントクロールスイミングの最

大スイミングパワーと高い正の相関関係を示した。

- 4) 伏臥位における肩関節最大外転位での伸展筋力および肩関節外転外旋位での内旋筋力測定は、高い信頼性を有し、得られた筋力が最大スイミングパワーやパワー速度比と高い相関関係も有しているため、フロントクロールスイミング選手のための臨床的評価法として活用できる可能性がある。

4.3 研究の限界と今後の展望

本研究では、肩関節最大外転位伸展筋力および肩関節外転外旋位内旋筋力測定方法は、高い信頼性を有し、得られた筋力が最大スイミングパワーやパワー速度比と高い相関関係も有していることが示された。しかしながら、本研究には検者要因と参加者要因に関していくつかの課題と限界がある。研究課題1における信頼性の検討は、経験のある検者と未経験の検者を比較したものではないため、経験による違いやその影響を詳細に検討することはできない。本研究では簡便性を重視したため、測定姿勢は規定しているものの、測定におけるHHDの位置は一貫性が十分ではない可能性がある。また、検者の姿勢観察によるエラーの判断も一定の基準を設ける必要がある。本研究において、参加者における努力の非一貫性が測定誤差因子と考えられるが、参加者における努力の一貫性を向上させる方法の検討は行っていないため、参加者要因の誤差を減少させる方法を示すことができなかった。また、参加者における既往歴のない潜在性の肩の症状も、努力の一貫性に負の影響を与えた可能性がある。本研究で検討した筋力は、肩関節最大外転位伸展筋力および肩関節外転外旋位内旋筋力のみであり、その他の筋力とスイミングパワーの関係は不明のままである。さらに、陸上での評価とスイミングパワーを比較した研究であるため、水中の利き手側、非利き手側各上肢

の推進力やストローク技術との関係は明らかにできていない。

今後は、幅広い年齢層や競技レベルの選手を対象として、動作あるいは筋電図学的分析を含む研究によって、技術的な側面を含めたメカニズムの解明が必要である。また、肩関節傷害を持った症例の調査を行うことにより、肩関節最大外転位伸展筋力および肩関節外転外旋位内旋筋力測定の重要性を検証することも必要である。

引用文献

- Abdi H: Holm's sequential Bonferroni procedure. In: Salkind N, Dougherty DM, Frey B (e-ds.): Encyclopedia of research design. Thousand Oaks, CA: Sage, 2010, pp. 573–577.
- Atkinson GI, Nevill AM: Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.*, 1998, 26(4): 217–238.
- Bak K, Magnusson SP: Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. *Am J Sports Med.*, 1997, 25(4): 454–459.
- Beshay N, Lam PH, Murrall GAC: Assessing the reliability of shoulder strength measurement: hand-held versus fixed dynamometry. *Shoulder & Elbow*, 2011, 3(4): 244–251.
- Bini RR, Hume PA.: Assessment of bilateral asymmetry in cycling using a commercial instrumented crank system and instrumented pedals. *Int J Sports Physiol Perform.*, 2014, 9(5): 876–881.
- Blanch P: Conservative management of shoulder pain in swimming. *Phys Ther Sport.*, 2004, 5(3): 109–124.
- Bohannon RW: Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil.*, 1997, 78(1): 26–32.
- Bohannon RW, Bubela DJ, Magasi SR, Gershon RC: Relative reliability of three objective tests of limb muscle strength. *Isokinet Exerc Sci.*, 2011, 19(2): 77–81.
- Brushøj C, Bak K, Johannsen HV, Faunø P: Swimmers' painful shoulder arthroscopic findings and return rate to sports. *Scand J Med Sci Sports.*, 2007, 17(4): 373–377.

- Chollet D, Chabies S, Chatard JC: A new index of coordination for the crawl: Description and usefulness. *Int J Sports Med.*, 2000, 21: 54–59.
- Cicchetti DV: Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, 1994, 6(4): 284–290.
- Colwin CM: Strokes, Starts, and Turns. In: *Breakthrough Swimming*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2002, pp 49–72.
- Cools AM, De Wilde L, Van Tongel A, Ceyskens C, Ryckewaert R, Cambier DC: Measuring shoulder external and internal rotation strength and range of motion comprehensive intra-rater and inter-rater reliability study of several testing protocols. *J Shoulder Elbow Surg.*, 2014, 23(10): 1454–1461.
- Deschodt VJ, Arsac LM, Rouard AH: Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol.*, 1999, 80(3): 192–199.
- dos Santos KB, Bento PCB, Pereira G, Payton C, Rodacki ALF: Front crawl swimming performance and bi-lateral force asymmetry during land-based and tethered swimming tests. *J Sports Sci Med.*, 2017, 16(4): 574–580.
- dos Santos KB, Pereira G, Papoti M, Bento PC, Rodacki A: Propulsive force asymmetry during tethered-swimming. *Int J Sports Med.*, 2013, 34(7): 606–611.
- Evershed J, Burkett B, Mellifont R: Musculoskeletal screening to detect asymmetry in swimming. *Phys Ther Sport.*, 2014, 15(1): 33–38.

- Gaunt BW, Shaffer MA, Sauers EL, Michener LA, McCluskey GM, Thigpen C: The American Society of Shoulder and Elbow Therapists' consensus rehabilitation guideline for arthroscopic anterior capsulolabral repair of the shoulder. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 2010, 40(3): 155–168.
- Gaunt T, Maffulli N: Soothing suffering swimmers: a systematic review of the epidemiology, diagnosis, treatment and rehabilitation of musculoskeletal injuries in competitive swimmers. *Br Med Bull*, 2012, 103(1): 45–88.
- Gola R, Urbanik C, Iwańska D, Mdej A: Relationship between muscle strength and front crawl swimming velocity. *Human Movement*, 2014, 15(2): 110–115.
- Gourgoulis V, Boli A, Aggeloussis N, Toubekis A, Antoniou P, Kasimatis P, Vezos N, Michalopoulou M, Kambas A, Mavromatis G: The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *J Sports Sci.*, 2014, 32: 278–289.
- Hayes K, Walton JR, Szomor ZL, Murrell GA: Reliability of 3 methods for assessing shoulder strength. *J Shoulder Elbow Surg.*, 2002, 11(1): 33–39.
- Heinlein SA, Cosgarea AJ: Biomechanical considerations in the competitive swimmer's shoulder. *Sports Health*, 2010, 2(6): 519–525.
- Hill AM, Pramanik S, McGregor AH: Isokinetic dynamometry in assessment of external and internal axial rotation strength of the shoulder: Comparison of two positions. *Isokinet Exerc Sci.*, 2005, 13(3): 187–195.
- Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG: Correlation: A measure of relationship. In: *Applied statistics for the behavioral sciences* (5th ed.). Boston: Houghton Mifflin, 2003, pp. 95–120.

- Holm S: A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scand. J. Stat.*, 1979, 6(2): 65–70.
- Kato M: Test-retest reliability of isometric shoulder muscle strength measurement with a handheld dynamometer and belt. *J Phys Ther Sci.*, 2015, 27(6): 1719–1722.
- Kilmer DD, McCrory MA, Wright NC, Rosko RA, Kim HR, Aitkens SG: Hand-held dynamometry reliability in persons with neuropathic weakness. *Arch Phys Med Rehabil.*, 1997, 78(12): 1364–1368.
- Kolber M, Cleland J: Strength testing using hand-held dynamometry. *Phys Ther Rev.*, 2005, 10(2): 99–112.
- Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.*, 1977, 33(1): 159–174.
- Leggin BG, Neuman RM, Iannotti JP, Williams GR, Thompson EC: Intrarater and interrater reliability of three isometric dynamometers in assessing shoulder strength. *J Shoulder Elbow Surg.*, 1996, 5(1): 18–24.
- Ludbrook J: Statistical techniques for comparing measurers and methods of measurement: a critical review. *Clin Exp Pharmacol Physiol.*, 2002, 29(7): 527–536.
- Maglischo E: Front Crawl Stroke. In: *Swimming fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003, pp 95–144.
- Malerba JL, Adam ML, Harris BA, Krebs DE: Reliability of dynamic and isometric testing of shoulder external and internal rotators. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 1993, 18(4): 543–552.

May LA, Burnham RS, Steadward RD: Assessment of isokinetic and hand-held dynamometer measures of shoulder rotator strength among individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.*, 1997, 78(3): 251–255.

McLaine SJ, Ginn KA, Kitic CM, Fell JW, Bird ML: The reliability of strength tests performed in elevated shoulder positions using a handheld dynamometer. *J Sport Rehabil.*, 2016, 25(2). pii: 2015-0034.

森誠護, 下野晃, 田口正公, 田場昭一郎: 簡易型測定装置を用いた泳パワー計測の有用性, *水泳水中運動科学*, 2015, 18(1) : 10–19.

Noreau L, Vachon J: Comparison of three methods to assess muscular strength in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord.*, 1998, 36(10): 716–723.

O'Donnell CJ, Bowen J, Fossati J: Identifying and managing shoulder pain in competitive swimmers: how to minimize training flaws and other risks. *Phys Sportsmed.*, 2005, 33(9): 27–35.

Pink M, Perry J, Browne A, Scovazzo ML, Kerrigan J: The normal shoulder during freestyle swimming. An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am J Sports Med.*, 1991, 19(6): 569–576.

Reilly MF, Kame VD, Termin B, Tedesco ME, Pendergast DR: Relationship between freestyle swimming speed and stroke mechanics to isokinetic muscle function. *J. Swim. Res.*, 1990, 6(3): 16–21.

Ria B, Falgairrette G, Robert A: Assessment of the mechanical power in the young swimmer. *J. Swim. Res.*, 1990, 6(3): 11–15.

- Riemann BL, Davies GJ, Ludwig L, Gardenhour H: Hand-held dynamometer testing of the internal and external rotator musculature based on selected positions to establish normative data and unilateral ratios. *J Shoulder Elbow Surg.*, 2010, 19(8): 1175–1183.
- Sacool MF, Santos G, Oliano HJ: Inter- and intra-examiner reliability of the strength of shoulder rotators in different positions using isometric dynamometry. *Fisioter. Pesqui.*, 2017, 24(4): 406–411.
- Sanders RH, McCabe CB: Freestyle Technique. In: Riewald S, Rodeo S (e-ds.): *Science of swimming faster*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2015, pp 23–50.
- Schrama PP, Stenneberg MS, Lucas C, van Trijffel E: Intraexaminer reliability of hand-held dynamometry in the upper extremity: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.*, 2014, 95(12): 2444–2469.
- Siatras TA, Douka ID, Milosis DC: Feasibility and reproducibility of muscular strength measures in gymnastics-specific body positions using hand-held dynamometry. *Isokinet Exerc Sci.*, 2010, 18(4): 223–234.
- Smith J, Padgett DJ, Kotajarvi BR, Eischen JJ: Isokinetic and isometric shoulder rotation strength in the protracted position: A reliability study. *Isokinet Exerc Sci.*, 2001, 9(2,3): 119–127.
- Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, Beck R: Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM R.*, 2011, 3(5): 472–479.
- Stone CA, Nolan B, Lawlor PG, Kenny RA: Hand-held dynamometry: tester strength is paramount, even in frail populations. *J Rehabil Med.*, 2011, 43(9): 808–811.

- Swaine IL: Time course of changes in bilateral arm power of swimmers during recovery from injury using a swim bench. *Br J Sports Med.*, 1997, 31(3): 213–216.
- Thigpen CA, Shaffer MA, Gaunt BW, Leggin BG, Williams GR, Wilcox RB 3rd: The American Society of Shoulder and Elbow Therapists' consensus statement on rehabilitation following arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg.*, 25(4): 521–535.
- Tourny-Chollet C, Seifert L, Chollet D: Effect of force symmetry on coordination in crawl. *Int J Sports Med.*, 2009, 30(3): 182–187.
- Toussaint HM, Vervoorn K: Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *Int J Sports Med.*, 1990, 11(3): 228–233.
- Toussaint HM, Beek PJ: Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med.*, 1992, 13(1): 8–24.
- Tovin BJ: Prevention and Treatment of Swimmer's Shoulder. *N Am J Sports Phys Ther.*, 2006, 1(4): 166–175.
- van den Beld WA, van der Sanden GA, Sengers RC, Verbeek AL, Gabreëls FJ: Validity and reproducibility of hand-held dynamometry in children aged 4-11 years. *J Rehabil Med.*, 2006, 38(1): 57–64.
- Wanivenhaus F, Fox AJ, Chaudhury S, Rodeo SA: Epidemiology of injuries and prevention strategies in competitive swimmers. *Sports Health*, 2012, 4(3): 246–251.
- Wikholm JB, Bohannon RW: Hand-held dynamometer measurements: tester strength makes a difference. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 1991, 13(4): 191–198.

Yanai T: Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink? J Biomech., 2001, 34(2): 235–243.

謝辞

大阪体育大学大学院 森北育宏先生には、大阪体育大学診療所職員時代から8年間、本論文のみならず、これまでの業務や研究活動に関して、様々なご支援とともに、幾度となく的確なご助言を頂戴致しました。これまでに賜りました多大なるご尽力を考えれば、感謝という言葉だけでは不十分ですが、改めまして心より御礼申し上げます。

大阪体育大学大学院 岡村浩嗣先生、下河内洋平先生には、ご多忙の中、本論文の副査の労を賜り、的確なご助言を頂戴致しました。心より御礼申し上げます。

研究実施にあたり共同研究者として多大なるご尽力を賜りました九州共立大学 森誠護先生、篠原純司先生、辰見康剛先生に心より御礼を申し上げます。森先生との出会い、そして研究へご協力をいただいていたなければ、本論文は完成できませんでした。篠原純司先生、辰見康剛先生には論文作成にあたり多くのご助言を賜りましたこと感謝致しております。

大阪体育大学職員時代より、大阪体育大学診療所ならびに大阪体育大学、大阪体育大学大学院の皆様には多くのご支援を賜りましたこと感謝申し上げます。また、測定にご協力いただきました測定員ならびに研究協力者の皆様、公私ともに支えてくださったすべての方々に心より御礼申し上げます。

最後になりましたが、両親、兄夫婦はじめ、私のことを気にかけていただいた親族、義母に感謝します。そしてなにより、日々の生活はもちろん、仕事に関しても理解し、応援し続け、惜しみない協力、常に私を支え続けてくれた最愛の妻に心から感謝の言葉を送り、私の謝辞と致します。

栗谷健礼