論　文

大学男子競泳選手における懸垂の最大および平均挙上距離はクロール泳の最大牽引力と関連する

尾関 一将*
大阪体育大学

丸山 康之
埼玉県立戸田かけはし高等特別支援学校

若吉 浩二
大阪経済大学

植松 梓
追手門学院大学

Maximal and Average Lifting Distances in Pull-Ups are Associated with Maximal Pulling Force during the Front Crawl in College Male Competitive Swimmers

Kazumasa OZEKI
Osaka University of Health and Sport Sciences

Yasuyuki MARUYAMA
Saitama Prefectural Toda Kakehashi High School for Special Needs Education

Koji WAKAYOSHI
Osaka University of Economics

Azusa UEMATSU
Otemon Gakuin University

Abstract

The aim of this study was to determine whether pull-up performance correlates with swimming velocity and power during the front crawl in college male competitive swimmers. Seven college male competitive swimmers performed pull-ups on dryland, a maximal-effort tethered front crawl for 12 s, and a maximal-effort 25-m front crawl in a swimming pool. We calculated lifting velocity, maximal and average lifting distances, and the number of repetitions in pull-ups and swimming velocity, pulling force, and swimming power. Maximal and average lifting distances in pull-ups strongly correlated with maximal pulling force (r = 0.80 and 0.75, p = 0.03 and 0.05). These findings suggest that increasing maximal and average lifting distances in pull-ups may contribute to improving front crawl performance in college male competitive swimmers.

キーワード：懸垂，挙上速度，挙上距離，挙上回数，泳速度，泳パワー
Keywords：pull-ups, lifting velocity, lifting distance, lifting numbers, swimming velocity, swimming power

*責任著者：尾関 一将，大阪体育大学，ozeki@ouhs.ac.jp
Corresponding Author：Ozeki Kazumasa, Osaka University of Health and Sport Sciences, ozeki@ouhs.ac.jp

緒言

競泳競技のパフォーマンス向上には，各泳法の技術的な要素だけでなく，体力や筋力を強化する陸上トレーニングの役割が重要である[1), 2)]．競泳選手のための陸上トレーニングでは，広背筋をはじめとする上半身の主要な筋群を効率的に鍛える手法として懸垂が広く用いられている[3)]．これまでに，懸垂の挙上速度が高いほど 50 mクロール泳記録が短いことが報告されている[3)]．そして，懸垂をトレーニングとして処方することで 50 mクロール泳の前半 25 mのパフォーマンスが改善することが明らかにされている[2)]．これらのことから，懸垂は短距離のクロール泳記録の予測因子であるだけでなく，クロール泳の記録向上のための有用なトレーニング手段であると言える

Pérez-Olea et al.（2018）はクロール泳記録と懸垂の挙上速度との関係性を検討したが，クロール泳記録の重要な決定因子である推進力や泳パワーとの関連は詳細に検討されていない．また，挙上速度ではなく，挙上距離といった競技現場で簡便に求められる指標がクロール泳速度，推進力，および泳パワーと関連があるかも検討されていない．これらの関係を調べることで，懸垂のパフォーマンスがクロール泳の競技力と関連するメカニズムが明らかになり，競泳の競技現場で懸垂をどのように評価するべきか示すことができる．

本研究の目的は，大学男子競泳選手を対象に懸垂のパフォーマンス（挙上速度，挙上距離，挙上回数）とクロール泳のパフォーマンス（泳速度，推進力，泳パワー）との関連性を明らかにすることとした．また，懸垂は上半身の主要な筋群の筋力改善を目的としたトレーニングであることから，プル泳のパフォーマンスとの関係性が特に強い可能性が高い．したがって，本研究ではクロール泳だけでなくプル泳のパフォーマンスも合わせて評価することとした．

方法

対象者

対象者は，自由形種目を専門とする男子大学生競泳選手 7 名（身長 176.3 ± 3.0 cm，体重 72.8 ± 5.6 kg，年齢 20.0 ± 1.0 歳）であった．対象者の競技レベルは，専門種目における SWIMMING POINTS（$(\textit{世界記録} / \textit{個人記録})^3 \times 1000$）において 642.1 ± 43.7 であった．本研究は大阪体育大学倫理審査委員会の承認を得て実施された．対象者には，事前に研究目的，測定手順，測定に伴うリスクについて口頭および書面で十分に説明し，書面による同意を得た．

懸垂パフォーマンス測定

対象者は足部が地面に接触しない高さに固定された懸垂バーを用いて懸垂を行った．懸垂の際の左右手間の長さは指極長の半分とした．対象者はウォーミングアップ後にこれ以上繰り返せなくなるまで懸垂を行った．

1 台のデジタルビデオカメラ（FDR-AX700，SONY 社製，撮影速度 60 fps，シャッタースピード 1/1000 s）を用いて対象者の懸垂を記録した．カメラを被験者から左側 10 m の距離に設置し，動作平面とカメラ光軸が直交するよう調整した．被験者の頭頂および左側の耳珠，肩関節中心，肘関節中心，手関節中心，肋骨下端，大転子，膝関節中心，外踝，踵，第二中足骨頭の 11 点に白いマーカーを貼付した．

撮影した映像データはパーソナルコンピュータに取り込み，画像分析ソフト（Frame-DIAS V，Q's fix 社製）を使用して手動デジタイズを実施した．4 点実長換算法を用いて，貼付したマーカーの位置座標を算出した．2 次元静止座標系の原点はバーの設置位置とし，挙上方向を Y 軸，Y 軸に直行する方向を X 軸とした．また，阿江ら[4)]の身体部分係数を用いて身体重心の座標を導出した．得られた座標データはバターワースデジタルフィルター（遮断周波数 6 Hz）を用いて平滑化した．

懸垂の分析対象試技は開始から 3 回目までとした．懸垂について算出した変量とその定義は以下の通りとした．

挙上回数（回）：疲労困憊に至るまでの懸垂回数．
最大挙上距離（cm）：動作開始時の身体重心位置から身体重心最高位置までの距離（1-3 回の最大値）．
平均挙上距離（cm）：動作開始時の身体重心位置から身体重心最高位置までの距離（1-3 回の平均値）．
最大挙上速度（m/s）：最大挙上距離を挙上時間で除した値（1-3 回の最大値）．
平均挙上速度（m/s）：平均挙上距離を挙上時間で除した値（1-3 回の平均値）．

クロール泳パフォーマンス評価

対象者は牽引パワー測定用の特注エルゴメーター（風



図 1．牽引パワー測定器の特注エルゴメーター（風神雷神，大橋知創研究所）

神雷神，大橋知創研究所，日本）を用いたクロールによる牽引泳を公認 25m 屋内プールにて行った（図 1）．対象者の腰部に装着したベルトを介してエルゴメーターの負荷を加えた．牽引泳はスイム泳とプル泳で実施した．プル泳の際はプルブイ（85ZB750，ミズノ社，日本）を対象者の両大腿部間に挟んだ．エルゴメーターの負荷は 2.8，5.6，8.4，および 11.2　N·m の 4 段階とした．対象者はウォーミングアップを行った後，各負荷におけるクロールのスイム泳およびプル泳を 12 秒間，最大努力で実施した．試技順は対象者毎にランダム順とした．各試技間には 6 分のインターバル時間を確保した．牽引泳測定を実施した翌日にスイム泳およびプル泳の泳速度を算出するための 25m 最大努力泳をプッシュオフスタートから実施した．対象者はウォーミングアップをした後に 25m 最大努力泳を各 2 本ずつ行った．各 2 本のうち，泳速度が高い方の値を最大泳速度とした．

各負荷における牽引泳中のエルゴメーターの回転速度を 0.1 秒毎に求めて 11 点平滑化した．そして，Wakayosi et al.（2018）の方法を用いてスイム泳およびプル泳中の最大牽引力と最大発揮パワーを算出した[5]．算出方法を以下に示す．

エルゴメーターの負荷（x）とエルゴメーターの回転速度（y）には直線関係がある．

$$y = -ax + b$$

回転速度が 0（$y = 0$）の場合に負荷は最大となるため，左辺に 0 を代入し x について整理する．

$$0 = -ax + b$$
$$x = b/a$$

したがって最大負荷は b/a で求められる．

エルゴメーターの負荷はトルクであるので，ゴニオメーターのドラムの半径（0.1 m）で除することで牽引力が求められる．

パワーは力×速度であるので，パワー（p）は上記の 1 次式に負荷（x）を乗ずることで求められる．

$$p = xy = x\ (-ax + b)$$
$$p = -a\ (x - b/2a)^2 + b^2/4a$$

つまり，$x - b/2a = 0$ の時に最大発揮パワーは $b^2/4a$ となる．

なお，a と b は，本研究で設定した 4 つの負荷とその際の回転速度の 4 点を用いた単回帰分析で求められる回帰式の傾きと切片とした．

本研究におけるクロール泳におけるパフォーマンスを示す変量とその定義は以下の通りである．

スイム泳速度（m/s）：クロール泳における 25m 最大努力泳における 10 − 20m 区間の平均速度
スイム泳最大発揮パワー（watt）：クロール泳における推定式から得られたスイム最大発揮パワー
スイム泳最大牽引力（N）：クロール泳における推定式から得られた速度ゼロ時における負荷
プル泳速度（m/s）：プル泳における 25m 最大努力泳における 10 − 20m 区間の平均速度
プル泳最大発揮パワー（watt）：プル泳における推定式から得られたスイム最大発揮パワー
プル泳最大牽引力（N）：プル泳における推定式から得られた速度ゼロ時における負荷
50 m クロール泳記録（s）：短水路競技大会における 50m 自由形のベスト記録

統計手法

全てのデータは平均値 ± 標準偏差で示した．算出した懸垂とクロール泳の各指標間の関係性を明らかにするためにピアソンの積率相関係数を求めた．統計処理には，統計解析ソフト（SPSS Statistics version 29.0.2.0,

IBM，アメリカ）を用いた．有意水準は $p < 0.05$ とした．

結果

表 1 に本研究において算出されたすべての変量の平均値と標準偏差を示した．

懸垂の変量とクロール泳の変量において，最大挙上距離とスイム泳最大牽引力の間に強い正の相関（$r = 0.80$, $p = 0.03$）（図 2），平均挙上距離とスイム泳最大牽引力の間に強い正の相関が認められた（$r = 0.75$, $p = 0.05$）（図 3）．最大挙上距離とスイム泳最大発揮パワーの間に強い正の相関（$r = 0.73$, $p = 0.06$）が認められた（図 4）．懸垂の変量とスイム泳速度の間に有意な相関は認められなかった．

懸垂の変量とプル泳の変量において，挙上回数とプル泳最大発揮パワーの間に中程度の正の相関（$r = 0.68$, $p = 0.09$）が認められた（図 5）．懸垂の変量とプル泳速度の間に有意な相関は認められなかった．

表 1．懸垂，クロール泳およびプル泳における算出された変量

	平均値±標準偏差（N = 7）
挙上回数	15.86 ± 2.12
最大挙上距離（cm）	61.84 ± 7.73
平均挙上距離（cm）	59.33 ± 6.40
最大挙上速度（m/s）	1.28 ± 0.23
平均挙上速度（m/s）	1.20 ± 0.19
スイム泳速度（m/s）	1.89 ± 0.03
スイム最大発揮パワー（watt）	61.54 ± 10.76
スイム最大牽引力（N）	143.47 ± 19.59
プル泳速度（m/s）	1.77 ± 0.11
プル最大発揮パワー（watt）	43.24 ± 7.35
プル最大牽引力（N）	117.19 ± 7.34
50 m クロール泳記録（s）	23.39 ± 0.58

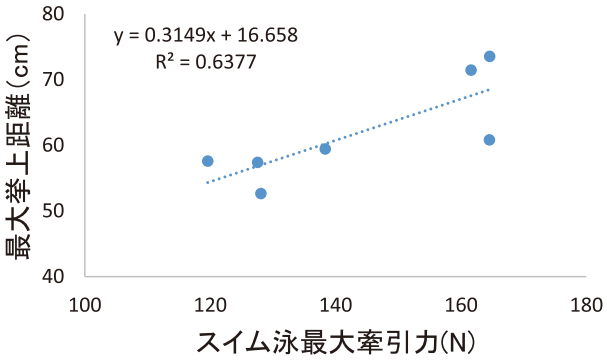

図 2．最大挙上距離とスイム泳最大牽引力の関係

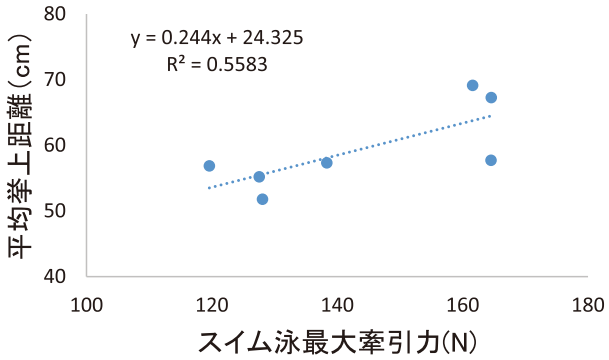

図 3．平均挙上距離とスイム泳最大牽引力の関係

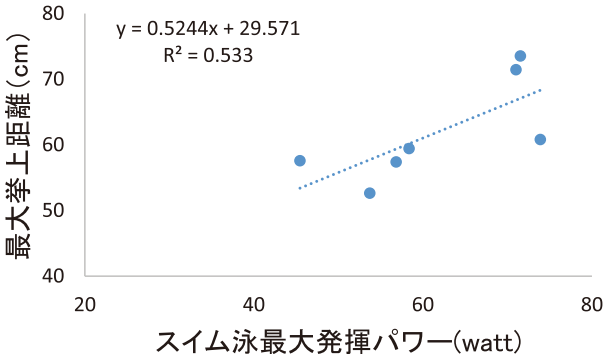

図 4．最大挙上距離とスイム泳最大発揮パワーの関係

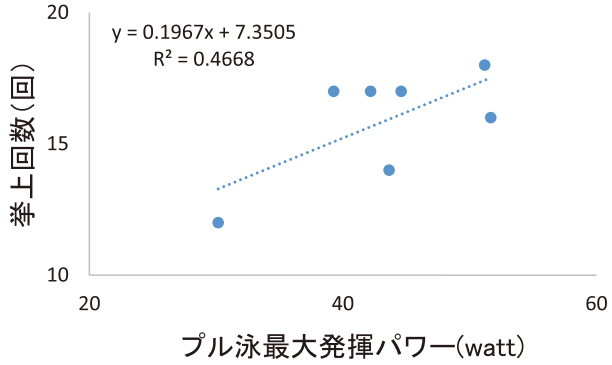

図 5．挙上回数とプル泳最大発揮パワーの関係

考察

本研究の目的は，競泳選手を対象に，懸垂のパフォーマンスとクロール泳のパフォーマンスとの関係を明らかにすることであった．その結果，懸垂の最大および平均挙上距離とクロールのスイム泳最大牽引力との間に強い正の相関が認められた．また，最大挙上距離とスイム泳最大発揮パワーおよび挙上回数とプル泳の最大発揮パワーとの間にも有意ではないが中程度の正の相関が認められた．これらのことから，挙上距離や挙上回数といった簡便に求められる懸垂の評価指標がクロール泳記録の重要な決定因子である最大牽引力と関連していることが明らかとなった．

スイム泳では，最大挙上距離が最大牽引力および最大発揮パワーと関係があった．この結果は，懸垂のパフォーマンスと泳記録との関係を示した先行研究[2),3)]を支持している．これらの先行研究と本研究の結果を総合すると，懸垂による上半身の筋力強化によって最大牽引力と最大発揮パワーが向上することで泳記録が短縮するというメカニズムが考えられる．

懸垂の評価において，挙上距離は特別な機器を要せずとも簡単に算出できるだけでなく，現場のコーチや選手にとって理解が容易な指標である．懸垂の挙上距離を大きくするためには，広背筋と上腕二頭筋の力発揮を高め，肩関節および肘関節を大きく屈曲させる動作が重要となる．そして，これらの筋群はクロール泳の力発揮において重要な役割を果たしている[6)]ことから，本研究では懸垂の挙上距離と最大牽引力および最大発揮パワーとの関連が認められたと考えられる．一方で，挙上速度との関係性が認められなかった点は，Pérez-Olea et al.（2018）の報告と相違している[3)]．Pérez-Olea et al.（2018）の研究では，最大挙上速度を評価する 1 回のみの懸垂と，疲労困憊に至るまでの懸垂をそれぞれ別で実施していた[3)]．本研究では疲労困憊に至るまでの懸垂における開始から 3 回目までの試技を分析対象としていたため，懸垂の実施方法が Pérez-Olea et al.（2018）異なっていたことが、これらの差異の要因であると考えられる．

Pérez-Olea et al.（2018）とは異なり，本研究では懸垂パフォーマンスと泳速度との間に有意な相関が認められなかった．泳速度は，発揮された推進力から自己推進時抵抗を差し引いた結果として得られる指標である．そのため，本研究の対象者における自己推進時抵抗の差異によって、泳速度との相関が認められなかったと推測される．

最大挙上距離とスイム泳最大発揮パワーの間に有意ではないが強い相関が認められたことから，懸垂は特にパワー発揮を強化するトレーニングとしての特性が強いと考えられる．そのため，懸垂をトレーニングプログラムに組み込む際には，挙上回数を増やすことだけでなく挙上距離の向上を目指すことも重要であると言える．

プル泳においては，懸垂の挙上回数と最大発揮パワーに有意ではないが中程度の相関があることが明らかとなった．一方で，Pérez-Olea et al.（2018）は懸垂の挙上回数と泳記録の間に相関は認められなかったと報告している[3)]．懸垂の挙上回数は，発揮筋力だけでなく筋持久力も含んだ評価指標である．そのため，プル泳のパフォーマンスは関連筋群の最大筋出力だけでなく，一定の出力を繰り返し発揮する能力が重要である可能性が高い．プル泳は主に上肢を動かすためスイム泳よりも強い相関関係が得られると予想したが，そのような結果は得られなかった．スイム泳ではプル泳の貢献度が大きい一方で，クロール泳におけるキックは推進力の貢献よりも姿勢の安定に大きく寄与しているため[7)]，プル泳パワーの測定ではスイム泳のように十分な力発揮ができなかったことが原因であったと推測される．

本研究の限界として，懸垂パフォーマンスの評価において最大挙上速度と挙上回数を同一試技で測定した点が挙げられる．そのため，懸垂パフォーマンスと泳パフォーマンスの関係を詳細に明らかにすることができなかった．今後は，異なる条件下で測定を行い，検討することが重要であろう．また，強い相関や中程度の相関が認められたにもかかわらず有意水準に達しなかったことは対象者の人数 7 名と少なかったことが原因であると考えられるため，対象者数を増やした検討が必要である．

結論

本研究では，競泳選手を対象に，懸垂のパフォーマンスとクロール泳のパフォーマンスとの関係を検討した．その結果，懸垂の最大および平均挙上距離がクロール泳の最大牽引力と強い正の相関を示すことが明らかとなった．これらの結果から，懸垂がクロール泳における推進力向上に寄与する可能性が示された．

謝辞

本研究のデータ収集にご協力いただいた対象者の方々に厚く御礼を申し上げます．また，本研究の実施にご協力頂きました山中一寿（大阪体育大学卒業生）氏，山本勇斗（大阪経済大学卒業生）氏，および金井昭哉（大阪経済大学卒業生）氏に厚く御礼を申し上げます．

利益相反

本研究のすべての内容に対して利益相反はない．

引用文献

1） Keiner M, Wirth K, Fuhrmann S, Kunz M, Hartmann H（2021）The Influence of Upper- and Lower-Body Maximum Strength on Swim Block Start, Turn, and Overall Swim Performance in Sprint Swimming. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35: 2839-2845. doi: 10.1519/jsc.0000000000003229.

2） Pardo-Atarés C, Generelo E, Cirer-Sastre R, López-Laval I, Sitko S（2024）Effects of Pull-Up Training on 50-Meter Freestyle Swimming Performance: A Preliminary Analysis. *Cureus*, 16: e65397. doi: 10.7759/cureus.65397.

3） Pérez-Olea JI, Valenzuela PL, Aponte C, Izquierdo M（2018）Relationship Between Dryland Strength and Swimming Performance: Pull-Up Mechanics as a Predictor of Swimming Speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32: 1637-1642. doi: 10.1519/jsc.0000000000002037.

4） 阿江 通良，湯 海鵬，横井 孝志（1992）日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定．*バイオメカニズム*，11: 23-33. doi: 10.3951/biomechanisms.11.23.

5） Wakayoshi K, Akashi K, Fukui T, Stewart AM, Tachi M, et al.（2018）Measurement of tethered swimming force and power for Japanese national water polo players using an electromagnetic brake-type ergometer. *Biomechanics and Medicine in Swimming*, XIII, Impress R&D, Tokyo.

6） Piette G, Clarys JP（1979）Telemetric EMG of the front crawl movement. In: *Swimming III*: Proceedings of the Third International Symposium of Biomechanics in Swimming（Terauds J, Bedingfield EW, eds）, University Park Press, Edmonton, Canada, pp: 153-159.

7） Yanai T（2001）What Causes the Body to Roll in Front-Crawl Swimming? *Journal of Applied Biomechanics*, 17: 28-42. doi: 10.1123/jab.17.1.28.