

競泳のキックスタートパフォーマンスと 等尺性・等速性脚筋力との関係

Relationship between the kick start performance and the isometric / isokinetic muscular strength in competitive swimming

水藤 弘吏 (Hiroshi SUITO)
尾関 一将 (Kazumasa OZEKI)
布目 寛幸 (Hiroyuki NUNOME)
池上 康男 (Yasuo IKEGAMI)

愛知学院大学心身科学部
大阪体育大学体育学部
福岡大学スポーツ科学部
愛知淑徳大学健康医療科学部

(abstract)

The purpose of this study was to clarify the relationship between the kick start performance and legs muscular strength in competitive swimming. Six male competitive swimmers performed maximal efforts in 20 m of front crawl swimming using kick start. The start time was measured as the time when swimmer's head passed across 5 m line using a digital camera operating at 30 Hz. Moreover, the starting movements were recorded by a high speed camera (100 Hz) and the 2-DLT method was used for calculating the kinematical data. The maximal voluntary isometric and isokinetic (60 deg/s, 120 deg/s) knee extension moments of front and rear legs were determined by using an isokinetic dynamometer. High correlation coefficients ($r = -0.821$, $P < 0.05$, $r = 0.962$, $P < 0.01$) were observed between the start time, the horizontal velocity of center of mass at take-off and the isometric knee extension moment of front leg, whereas there was no significant correlation for the other parameters. These results of this study suggested a possibility some trainings for isometric strength of the front leg would improve the resultant start performance.

Key words: male competitive swimmer, front crawl swimming, time to 5m, horizontal velocity at take-off

1. 緒言

競泳のレースはスタート局面、ストローク局面、ターン局面、フィニッシュ局面の4局面で構成⁷⁾されており、スタート局面はレース中において最も高い速度を獲得することが知られている¹¹⁾。スタート局面は、スタートシグナルから泳者の頭部が15 m地点を通過するまでの区間を指す³⁾。15 m通過時間をレース時間全体で割ると50 mのような短距離種目ではレースタイムの25%程度をスタート局面が占めている。したがって、競泳短距離種目

ではスタート局面の貢献が大きく、スタート局面の改善が競技力向上に必要な要因の一つといえる。

スタート局面の改善の一つに、スタート台から速く跳び出すことが求められる。Miller et al.⁶⁾は、男女エリート選手のスタート動作を比較・検討した結果、男子は女子よりも足離れの際に、身体重心が進行方向前方に位置した状態で跳び出すとともに、入水距離が有意に遠かったと報告している。入水距離は、跳び出し時の跳び出し速度と跳び出し角度によって決定される。武田ほか⁹⁾は、跳び出し角度の減少に伴い跳び出し速度が増加するの

対し、跳び出し角度が増加することによって入水距離が増加する傾向があると報告している。競泳のスタートにおいては、入水後の水中局面で高い泳速を獲得することが求められる。推進方向への高い速度を獲得するため、泳者は跳び出し角度を抑えてスタート台から跳び出すことが望まれると考える。

一般的に、スタートは両足をスタート台前端に揃えて構えるクラブスタートと前後に足を開いて構えるトラックスタートがある。先行研究において、トラックスタートはクラブスタートよりもブロックタイムが有意に短いと報告されている⁴⁾。一方、近年ではバックプレート付きのスタート台が国内・国際での競泳競技大会で導入され、これまでのスタート方法から変化がみられた。バックプレート付きのスタート台を用いたスタートは、従来のトラックスタートのように前後に脚を開き、後方の脚をバックプレートに置く姿勢をとる。このスタートでは、跳び出す際、バックプレートを蹴り出してスタートをすることから、キックスタートと呼ばれている。キックスタートは、従来のトラックスタートと比べて跳び出し水平速度および5 m・7.5 m 通過時間、スタート台における後方への力の作用が有意に向上したと報告されている²⁾。したがって、キックスタートでは泳者がバックプレートを利用することで、従来のトラックスタートよりも大きな力を後方へ作用させ、跳び出し水平速度が向上し、スタートパフォーマンスの改善につながる可能性があると考えられる。以上のように、バックプレートがあることで、より大きな力を後方へ作用させる事実から、脚筋力がキックスタートのパフォーマンスに対して大きく影響すると考えられる。武田ら¹⁰⁾は、クラブスタートを対象とし、台上動作における跳び出しまでの肩・腰・膝・足関節トルクの変化について検討し、下肢の関節トルクの中でも膝関節伸展トルクが最も大きな値を示していたと報告している。したがって、スタートの跳び出しにおいては膝関節伸展筋力の影響が大きいと考えられる。これまで、従来のスタートとキックスタートとのパフォーマンスの比較やその有効性については検討がなされているものの、膝関節伸展筋力がキックスタートのパフォーマンスへ及ぼす影響については検討されていない。また、キックスタートに対する脚筋力の影響について明らかにすることは、選手やコーチへの陸上トレーニングやスタートの台上動作に関する有効な資料や情報に繋がると考え

られる。

そこで本研究では、キックスタートにおける5 m 通過時間および跳び出し水平速度と脚筋力との関係について検討することを目的とした。

2. 方法

1). 対象者

対象は、競技歴10年以上の男子大学競泳選手6名(年齢: 20 ± 1 歳, 身長: 170.4 ± 2.4 cm, 体重: 65.7 ± 3.7 kg, 専門種目(距離(m):シーズンベストタイム(分'秒.00)): クロール1名(100:53.00), 平泳ぎ1名(200:2'24.03), バタフライ2名(100:55.92, 200:2'07.25), 個人メドレー2名(400:4'32.60, 4'45.72))であった。すべての対象者には事前に本実験の趣旨と内容を説明し、書面にて参加の同意を得た。

2). スタート動作の撮影方法

公益財団法人日本水泳連盟公認の屋内プール(25 m × 6 レーン, 水深 1.42 m)にて、公益財団法人日本水泳連盟公認のバックプレート付きのスタート台(SEIKO 社製)を用いて、クロールによる20 mの全力泳を3本実施した。対象者のスタートのパフォーマンスを評価するため、ブロックタイム(スタートシグナルから、対象者の足部がスタート台から離地するまでの時間)、5 m 通過時間および跳び出し時の身体重心水平速度を計測した。

ブロックタイムおよび5 m 通過時間については、デジタルビデオカメラ(HDR-SR12, SONY 社製)を用いて、スタートシグナルから5 m 地点を頭部が通過するまでを撮影速度30 Hzで陸上より撮影した。水面の反射による影響を極力抑制するため、泳者が5 m 地点を通過する際は、5 m ラインの真上から撮影した。得られた映像から、すべての対象者のブロックタイムと5 m 通過(対象者の頭頂が5 m ラインに達するまで)時間を計測した。

跳び出し時の身体重心位置を求めるため、高速度カメラを1台泳者側面のプールサイドに設置し、全ての対象者の台上から入水動作までを撮影速度100 Hz(シャッター速度1/1000秒)でスタートシグナルから撮影した。全ての対象者には身体各部13点(耳珠点, 手関節, 肘関節, 肩峰, 大転子, 左右の膝関節・足関節・踵・つま先)にマーカーを貼付した。得られた映像から、画像分析ソフト(Frame-DIAS IV, DKH 社製)を用いて自動お

よび手動デジタイズを行い、2次元 DLT (Direct Linear Transformation) 法を用いて、対象者に貼付したマーカーの2次元座標値を求めた。スタート台が設置してあるプールサイドの壁と水面が交わる点を原点とし、対象者の進行方向を X 軸、垂直方向を Y 軸とした。さらに、得られたマーカーの座標値より、阿江ほか¹⁾の身体部分慣性係数を用いて、スタートシグナルから手部が入水するまでの身体重心の2次元座標値を求めた。さらに、身体重心位置の X 座標データを一階微分し、身体重心の水平方向の速度データを算出した。得られた身体重心の水平方向の速度データはバターワースデジタルフィルターを用いて、データの平滑化を行った。なお、デジタルフィルターの遮断周波数は、先行研究^{9), 10)}を参考とし、7 Hz に設定した。

3). 脚筋力の測定方法

等尺性・等速性筋力測定器 (Cybex770, Cybex 社製) を用いて、左右の膝関節伸展における等尺性最大筋力および等速性最大筋力 (60 deg/s, 120 deg/s) を各3回、十分な休息を挟み瞬間最大筋力値を計測した。等尺性最大筋力の測定について、上体および大腿部をベルトで固定し、膝関節の内角を 90° に屈曲させた状態で5秒間、最大努力で力を発揮するよう指示した。一方、等速性最大筋力においても等尺性最大筋力の測定方法と同様に、上体および大腿部を固定した。可動域は、膝関節完全伸展位を 180° とし、90° 屈曲までの範囲とした。すべての対象者には、膝関節を 90° 屈曲させた状態から膝関節が完全に伸展するまで最大努力で行うよう指示した。なお、キックスタートでは対象者によって前方と後方に配置する脚が左右異なるため、本研究では前方と後方の脚筋力として

分類した。

4). 統計処理

すべての値は平均値 ± 標準偏差で示した。また、膝関節伸展の等尺性・等速性最大筋力 (Nm) については、体重 (kg) で除し、体重比で示した。

各測定値について、正規性を検定するため、Shapiro-Wilk 検定を行った。各測定値の正規性を確認した後、5 m 通過時間、跳び出し水平速度と前方および後方脚の等尺性・等速性最大筋力との関係を検討するため、ピアソンの相関係数を用いた。また、前方および後方脚の等尺性・等速性最大筋力の差を検討するため、各測定値について等分散性の検定 (F 検定) を行い、等分散性を確認した後、対応のある t 検定を用いた。なお、有意水準はいずれも $P < 0.05$ をもって有意とした。統計処理については、統計処理ソフト (IBM SPSS, version 22.0) を用いた。

3. 結果

前方脚および後方脚の等尺性・等速性 (60 deg/s, 120 deg/s) 最大脚筋力とキックスタートパフォーマンスであるブロックタイム、5 m 通過時間および跳び出し時の身体重心水平速度を表1に示す。等尺性最大脚筋力において、前方脚の脚筋力が後方脚よりも有意に高い値を示した。等速性最大脚筋力について、いずれも有意な差はみられなかった。

図1に、前方および後方脚の等尺性・等速性筋力と5 m 通過時間との関係を示す。前方脚の等尺性最大筋力は、5 m 通過時間との間に有意な相関関係が認められたものの ($r = -0.821, P < 0.05$), 等速性最大筋力との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。一方、後方

Table 1 Isometric and isokinetic strength / body weight of front and rear legs, kinematic variables of kick start of subjects.

	Front leg	Rear leg
Isometric strength (Nm/kg)	3.37 ± 0.32	3.07 ± 0.29*
Isokinetic strength (60deg/s) (Nm/kg)	2.41 ± 0.23	2.22 ± 0.16
Isokinetic strength (120deg/s) (Nm/kg)	1.93 ± 0.21	1.87 ± 0.30
Block time (s)	0.78 ± 0.02	
Time to 5m (s)	1.69 ± 0.07	
Horizontal velocity at take-off (m/s)	3.91 ± 0.28	

Values are means ± SD.

* $P < 0.05$

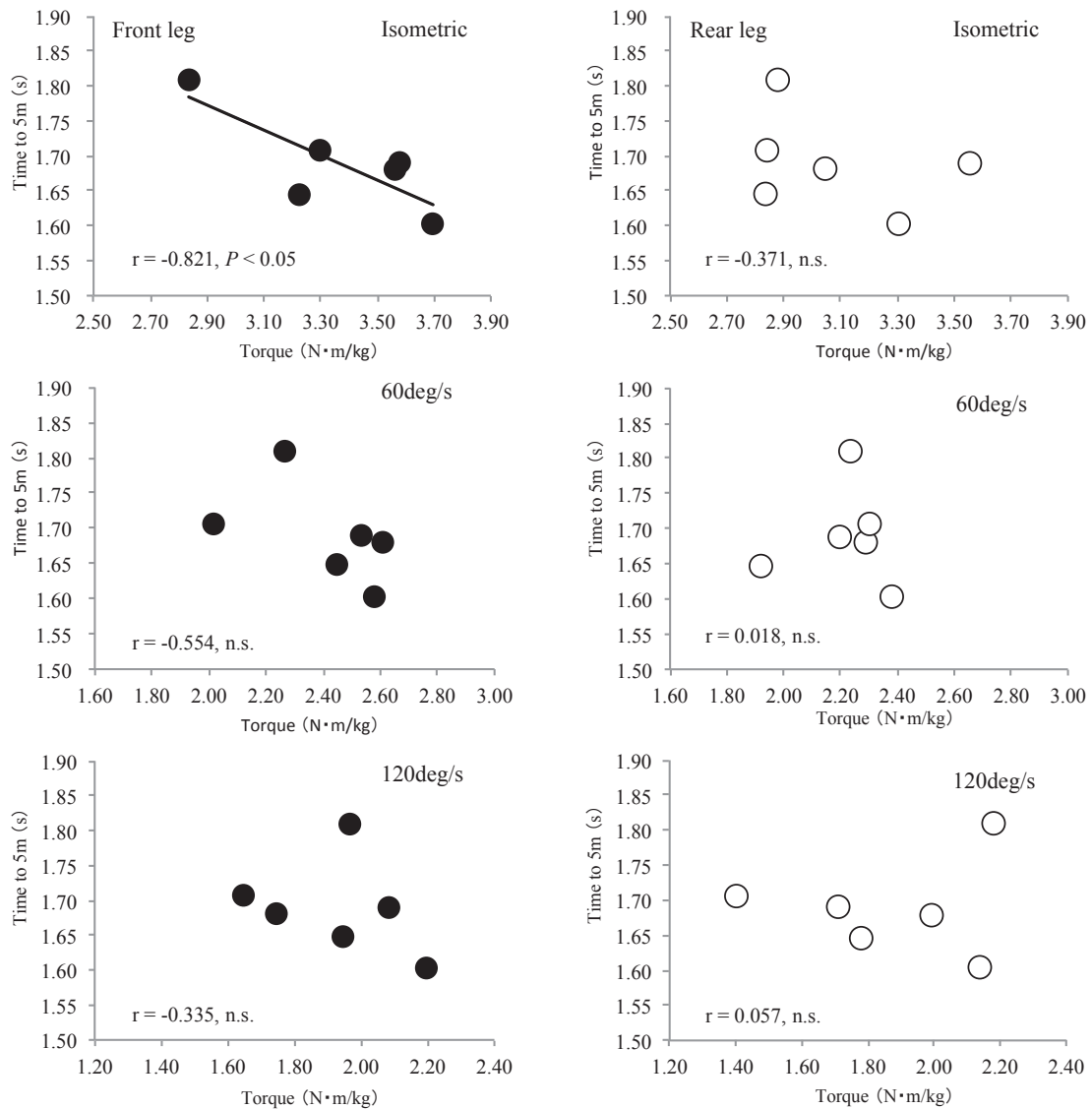


Fig. 1 The relationships between time to 5m and isometric, isokinetic (60deg/s, 120deg/s) strength of front (right side) and rear (left side) legs.

脚の等尺性・等速性最大筋力は、いずれも有意な相関関係はみられなかった。

図2に、前方および後方脚の等尺性・等速性筋力と跳び出し時の身体重心水平速度との関係を示す。前方脚の等尺性最大筋力は、跳び出し時の身体重心水平速度との間に有意な相関関係が認められたものの ($r = 0.962, P < 0.01$), 等速性最大筋力との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。一方、後方脚の等尺性筋力においては、高い相関係数がみられたものの ($r = 0.790, n.s.$), 有意な相関関係は認められなかった。また、後方脚の等速性最大筋力において、いずれも有意な相関関係は認められなかった。

4. 考察

本研究では、競泳の新たなスタート法であるキックスターートのパフォーマンスと脚筋力との関係について検討することであった。筋力は静的筋力と動的筋力の2つに大きく分類される。また、キックスターートの構えにおいて左右の脚を前後に開くため、本研究では前方と後方脚について膝関節伸展の等尺性および等速性最大筋力をそれぞれ計測した。その結果、前方脚の等尺性最大脚筋力が大きい者ほど、跳び出し時の水平速度が高く、5m通過時間が有意に短かった。

従来のトラックスタートでは、両足をスタート台先端に揃えたグラブスタートと比べて、有意に跳び出し時の

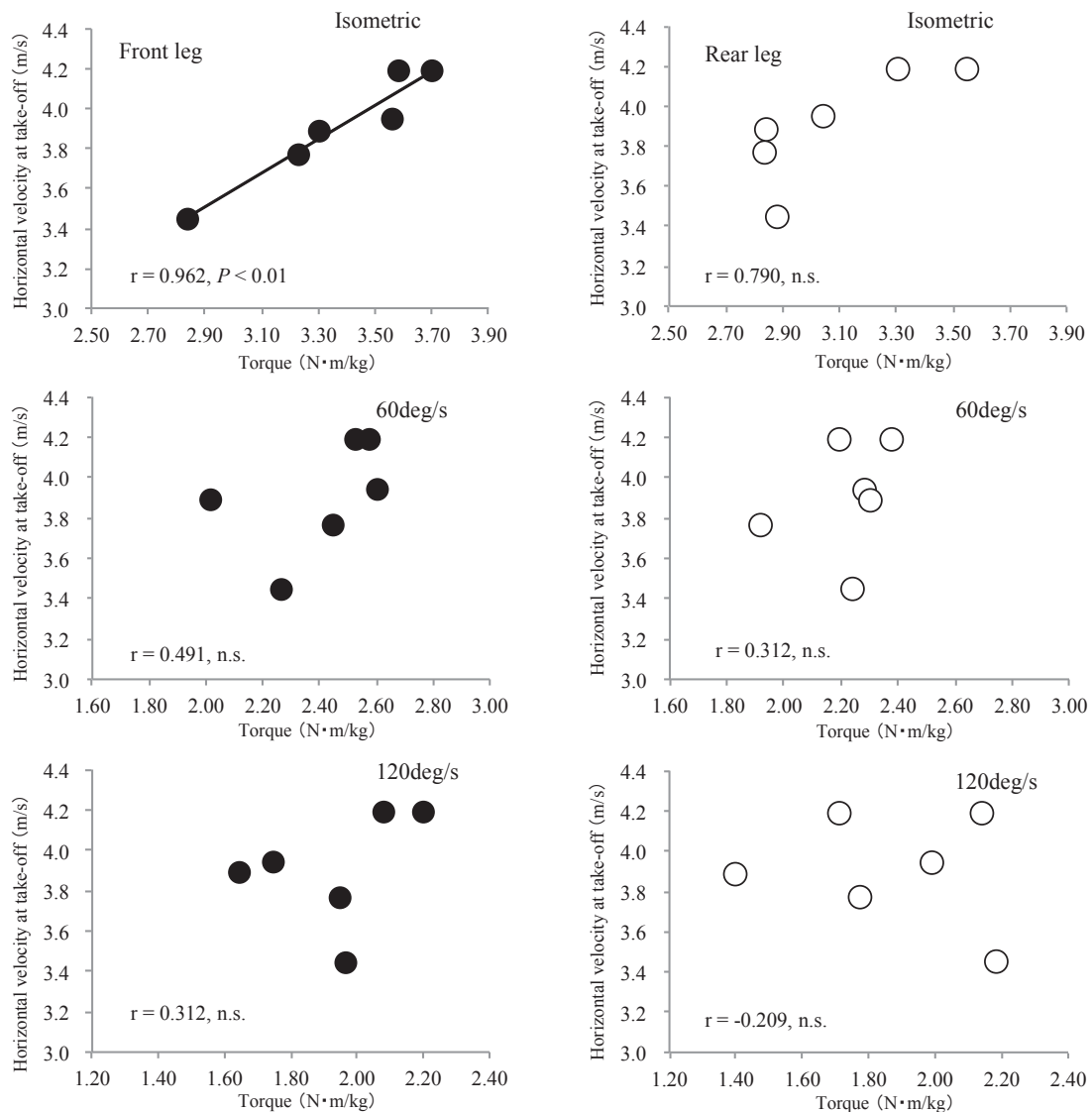


Fig. 2 The relationships between horizontal velocities at take-off and isometric, isokinetic (60deg/s, 120deg/s) strength of front (right side) and rear (left side) legs.

身体姿勢角（スタート台先端から身体重心へ向かうベクトルと水平面とのなす角度）が小さいと報告されている⁵⁾。さらに、武田ほか¹⁰⁾はスタートの跳び出し時の身体姿勢角と跳び出し角度（身体重心の跳び出し速度ベクトルと水平面とのなす角度）との間に有意な正の相関関係を認めているとともに、跳び出し角度の減少に伴い跳び出し速度が増加する傾向があると報告している。したがって、跳び出し水平速度を増加させるためには、身体姿勢角をより水平に近い状態で跳び出すことが必要であると考えられる。

新スタート台を用いたキックスタートに関する先行研究では、トラックスタートと比較してブロックタイムが有意に短縮するとともに、スタート台における水平方向

へ作用する力が有意に増加し、跳び出し時の身体重心の水平速度が有意に向上したと報告している²⁾。その理由として、新スタート台には陸上競技短距離種目に用いられるスターティングブロックのようなバックプレートがある。そのため、バックプレートを後方脚で強く蹴ることが可能となり、身体を素早く前方へ移動させることでブロックタイムや5 m 通過時間に影響を与えるのではないかと考えられている。しかしながら、本研究の結果では、5 m 通過時間と後方脚の等尺性および等速性脚筋力との間に有意な相関関係がみられなかった。一方、跳び出し水平速度と後方脚の等尺性最大筋力との間には有意ではないものの、高い相関係数 ($r = 0.790$, n.s.) がみられた。跳び出し水平速度を増加させるためには、スタート

台に作用させる水平方向成分の力積の増加が必要である。Robert et al.⁸⁾ は、トラックスタート姿勢について後方に荷重するよりも前方に荷重することによってリアクションタイムが有意に短くなるものの、後方に荷重した方が跳び出し水平速度が有意に高くなると報告している。つまり、後方に荷重することで水平方向への力積が増加し、その結果として跳び出し水平速度が向上すると考えられる。本研究ではスタート姿勢（荷重の方法）について統一していない。そのため、後方に荷重を行うようなスタート姿勢の場合では、後方脚による力発揮の影響が跳び出し水平速度に大きく現れる可能性があるかもしれない。バックプレートを利用することは、後方脚で発揮する力を水平方向へ作用させやすくなり、前方へ身体重心を加速させることに関与していると考えられるものの、その影響の程度については台上でのスタート姿勢を考慮して検討する必要がある。

前方脚について、本研究では5 m 通過時間および跳び出し水平速度と前方脚の等尺性脚筋力との間にそれぞれ有意な相関関係 ($r = -0.821, P < 0.05, r = 0.962, P < 0.01$) がみられた。キックスタートではトラックスタートと同様、スタート台から跳び出すには、前方脚においても強く蹴り出さなければならない。先述している通り、スタートでは跳び出す際、身体姿勢角を水平に近づけ跳び出し、身体重心の水平速度を増加させることが求められる⁹⁾。キックスタートの台上動作において、後方脚がバックプレートから離地して以降、さらに身体重心を急激に前方へ加速させるためには、前方脚で力強くスタート台を蹴り出す必要がある。さらに、前方脚での等尺性膝伸展筋力においてのみ有意な相関関係が認められたことから、前方脚でより大きな力を発揮するためには、等尺性筋収縮による力発揮が求められ、前方脚の等尺性脚筋力が大きい者ほどスタート台へ大きな力を作用させられることで身体重心水平速度を増加させ、5 m 通過時間が短くなる可能性があると考えられる。なお、本研究では、等尺性最大筋力において後方脚よりも前方脚の方が有意に高い値を示していたことから、選手自身が筋力の高い脚を前方脚に選択していたのではないかと考えられる。

以上のことから、前方脚の膝関節伸展の等尺性最大筋力が大きい者ほど後方へ大きな力を作用させられることで身体重心速度の水平成分を増加し、5 m 通過時間が短くなる可能性があると考えられる。ただし、本研究では

脚部がスタート台へ作用させる力について検討していない。また、スタートの台上動作では、膝関節の伸展のみだけでなく、股関節の伸展や足関節の底屈動作についても検討する必要がある。したがって、今後、跳び出し動作については、泳者が跳び出す際の前方脚と後方脚がそれぞれスタート台へ力をどのように作用させているか計測するとともに、股関節、膝関節、足関節の動きや筋力との関係についても検討する必要がある。

謝辞

本研究は平成23年度愛知学院大学心身科学研究所の助成を受け実施したものである。

参考文献

- 1) 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1991) 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 (2) : 23-32.
- 2) Honda, K, E., Sinclair, P, J., Mason, B, R., Pease, D, L. (2010) A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. *Proceedings of biomechanics and medicine in swimming XI*: 94-96.
- 3) 生田泰志, 宮下充正, 野村照夫, 奥野景介, 仰木裕嗣, 若吉浩二, 高木英樹, 荻田太 (2002) 第9回世界水泳選手権大会福岡2001における競泳のレース分析. *トレーニング科学* 13 (3) : 167-172.
- 4) Issurin, V., Verbitsky, O. (2003) Track Start vs Grab Start: evidence from the Sydney Olympic Games. *Proceedings of biomechanics and medicine in swimming IX*: 213-217.
- 5) Jorgic, B., Puletic, M., Stankovic, R., Okicic, T., Bubanj, S., Bubanj, R. (2010) The kinematic analysis of the grab and track start in swimming. *Physical Education and Sport* 8 (1) : 31-36.
- 6) Miller, J, A., Hay, J, G., Wilson, B, D. (1984) Starting techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences* 2: 213-223.
- 7) 日本水泳連盟 (2005) 水泳コーチ教本第二版. 大修館書店: 東京, 173-176.
- 8) Robert, L, W., Richard, N, H., Thomas, R, G. (2008) Front- or rear- weighted track start or grab start: Which is the best for female swimmers? *Sports Biomechanics* 7 (1): 100-113.
- 9) 武田剛, 市川浩, 杉本誠二, 野村武男 (2006) 競泳スタートにおける跳び出し角度の変化が跳び出し速度, 飛距離とブロックタイムに与える影響. *体育学研究* 51 (4) : 515-524.
- 10) 武田剛, 市川浩, 杉本誠二, 三輪飛寛, 椿本昇三, 野村武男 (2007) 競泳クラブスタートの跳び出し角度に影響を与える動力学的要因. *バイオメカニクス研究* 11 (3) : 183-197.
- 11) 若吉浩二, 劉華, 森弘暢, 福本隆行, 小野桂市 (2001) 日本選手権における競泳100m自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化に関する研究. *スポーツ方法学研究* 14 (1) : 31-40.