

脚筋力を考慮した競泳キックスタート姿勢における脚の前後配置が スタートパフォーマンスに及ぼす即時的な影響

水藤弘吏¹⁾, 尾関一将²⁾

¹⁾ 愛知学院大学心身科学部,

²⁾ 大阪体育大学体育学部

キーワード: 競泳, 動作分析, 等尺性最大筋力, 運動学的変数

【要約】

競泳のキックスタートでは左右の脚を前後に開き, スタート姿勢を構える. 本研究ではスタート姿勢を構える際, 脚筋力が大きい脚を前後どちらに配置することが望ましいか, スタートパフォーマンスに及ぼす影響から検討することを目的とした. 対象は, 16名の男女大学競泳選手とし, 左右脚の前後配置を交互に入れ替えさせ, 合計4本のキックスタートを実施させた. 脚筋力については, 膝関節伸展方向への等尺性最大筋力を左右それぞれ計測し, 脚筋力の大きい脚を判定した. 測定項目は, 跳び出し速度, 跳び出し水平速度, 跳び出し垂直速度および跳び出し角度を算出した. その結果, 脚筋力が大きい脚を前方に配置したスタート姿勢において, 跳び出し速度および跳び出し水平速度が有意に高い値を示していた. したがって, 脚筋力が大きい脚を前方に配置することは, キックスタートパフォーマンスを向上させる可能性があることが示唆された.

スポーツパフォーマンス研究, 13, 516-526, 2021年, 受付日: 2021年5月17日, 受理日: 2021年9月13日

責任著者: 水藤弘吏, 470-0195 日進市岩崎町阿良池 12, suito@dpc.agu.ac.jp

Effects of leg position on kick start performance: considering leg strength

Hiroshi Suito¹⁾, Kazumasa Ozeki²⁾

¹⁾ Aichi Gakuin University

²⁾ Osaka University of Health and Sport Sciences

Key words: competitive swimming, motion analysis,
isometric maximum voluntary contraction, kinematics variables

【Abstract】

In the kick start, swimmers put one foot on the front edge of the starting block, and

the other foot on the back plate. The present study compared effects of competitive swimmers' foot position on their kick start performance, specifically on whether their stronger leg was placed in the front or the rear. College swimmers (12 male, 4 female) performed 4 kick starts, alternately using their preferred and non-preferred combination of front and rear foot positions. A Biodex System 3™ was used to measure the isometric maximal voluntary contraction of the extension of both of the swimmers' knees, in order to determine which was the stronger leg. Other measures analyzed were start parameters, that is, the take-off horizontal and vertical velocities and the take-off angle. The take-off velocity and the horizontal take-off velocities with the stronger leg on the front edge of the starting block were significantly higher than with the weaker leg in that position. These results suggest that positioning the stronger leg in front may improve kick-start performance.

・ 緒言

競泳レースは、スタート局面、ターン局面、フィニッシュ局面、それ以外をストローク局面といった4つの局面に分けられている(Pai et al., 1984). 特に、スタート局面はレース中で最も高い速度を獲得することができる(奥野ほか, 1998). 競技記録に対するスタート局面の占める割合は、レース距離が短くなるにつれて高くなる(Cossor and Mason, 2001)ことから、短距離種目ではスタート局面の改善が求められる。

スタート局面はスタートシグナル後から泳者の頭部が15m地点を通過するまでと定義されている(Cossor and Mason, 2001). 競泳のスタートについて、背泳ぎを除いた3泳法は、スタート台上から行われる。国際水泳連盟(Fina: FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION)の定める施設規定(FR 2.7)には、バックプレート付きスタート台の設置が明記されており(FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION, 2020), 国内外の主要競技会ではバックプレート付きスタート台が使用されている。このスタート台では泳者が脚を前後に開いてスタート姿勢を構え、後ろ脚でバックプレートを蹴るスタートをキックスタートと呼ぶ(Honda et al., 2010). キックスタートにおける15m通過時間の短縮には、跳び出し水平速度が主要因の一つであると報告されている(Tor et al., 2015). したがって、高い跳び出し水平速度を獲得することは、キックスタートのパフォーマンス向上に必須といえる。

高い跳び出し速度を獲得するためには、スタート台へ大きな力積(力変化の時間積分)を加えることが求められる。力積は、加えた力と力を加えた時間の積によって決まるため、競泳ではスタート台に加えた力と力を加えた時間が重要といえる。キックスタートの跳び出し速度に対しては、後ろ脚が水平速度に、前脚が垂直速度に主に貢献している(Takeda et al., 2017). このことから、キックスタートでは後ろ脚で推進力を獲得する一方で、前脚で身体を支持する役割がある(Ikeda et al., 2016). これまで、キックスタートの左右脚の配置について、通常用いている脚配置と逆の脚配置での比較がなされている(金沢ほか, 2015; Suito et al., 2018)ものの、左右脚の特性を考慮した脚配置を検討した研究は見受けられない。

脚には手と同様に優位性があり、利き脚では機能的役割があるのに対し、非利き脚は支持的役割がある(木村・浅枝, 1974; Asami et al., 1983). バックプレートが付いてないスタート台を使用したトラックスタート(前後に脚を開いた状態でスタート姿勢を構えるスタート)では7割弱の選手が前方に利き脚を置いているものの、利き脚を前後に入れ替えてトラックスタートを行わせてもスタート台への力発揮の様子は同様であったと報告されており(Carradori et al., 2015), 前脚の力発揮が大きい選手もいれば、後ろ脚の力発揮が大きい選手もいる(Benjanuvatra et al., 2004). 一方、キックスタートではバックプレートを用いることでトラックスタートよりも大きな力をスタート台に加え、高い跳び出し水平速度を獲得することができる(Honda et al., 2010). キックスタートでは後ろ脚で強く蹴り出すことができる一方で、水平方向へ跳び出すためには前脚での力発揮が必要となる(Ikeda et al., 2016). 水藤ほか(2015)は、前脚の膝関節伸展の等尺性最大筋力と跳び出し水平速度との間に有意に高い正の相関関係がみられたと報告しているとともに、前脚での大きな力発揮が身体重心水平速度を増加させる可能性があるとして述べている。このようなことから、膝関節伸展の等尺性最大筋力の大きな脚を前方に配置することは、跳び出し水平速度を大きくする可能性があると考えられる。また、左右脚の筋力特性を

考慮した脚配置がキックスタートのパフォーマンスに及ぼす影響を検討することは、選手やコーチがスタート姿勢を検討する上で必要な情報・資料となり得ると考える。しかしながら、通常と異なる脚配置でのスタート練習を長期的に実施することは、選手のスタート感覚やスタートパフォーマンスに対して悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

そこで、本研究ではキックスタートにおける脚の前後配置について、脚の筋力特性を考慮した前後配置の即時的な影響を跳び出し速度から検討することを目的とした。

方法

1. 対象者

対象は、男女大学競泳選手 16 名(男子:12 名, 女子:4 名)であった。全ての対象者の平均 FINA ポイントは 662 ± 56 ポイントであった。Table 1 に、対象者の特徴を示す。実験前に全ての対象者には研究の内容について十分に口頭で説明するとともに、同意書に署名をもらった。なお、本研究は、「愛知学院大学心身科学部健康科学科におけるヒトを対象とする研究審査委員会」から研究承諾を得ている(受付番号 1302)。

Table 1. Participant characteristics of physical, leg muscle strength and FINA points.

No.	Gender	Age [y]	Height [cm]	Body Mass [kg]	Muscle Strength		Best Record FINA points	Muscle Strength	
					right leg [Nm/kg]	left leg [Nm/kg]		front leg	strong leg
1	M	19	171	65.0	3.0	3.1	605	L	L
2	M	20	183	80.0	2.5	1.8	736	L	R +
3	M	20	190	74.1	3.6	3.2	589	R	R
4	M	20	171	64.0	4.1	3.8	540	R	R
5	M	20	176	62.5	2.8	2.3	725	R	R
6	M	20	176	68.0	2.5	3.2	661	L	L
7	M	20	177	66.5	4.4	3.3	653	R	R
8	M	21	178	77.0	3.0	2.8	696	L	R +
9	M	20	175	62.0	2.6	2.1	647	L	R +
10	M	19	175	67.0	3.7	3.2	667	R	R
11	M	19	164	57.0	2.1	2.1	675	R	R
12	M	19	173	61.0	3.4	2.8	742	R	R
13	F	19	171	61.0	3.2	2.7	709	R	R
14	F	20	164	59.0	1.8	1.7	611	R	R
15	F	19	155	54.5	2.6	3.3	690	L	L
16	F	20	159	55.6	1.5	1.8	649	L	L
<i>Mean</i>		20	172	64.6	2.9	2.7	662		
<i>SD</i>		1	9	7.4	0.8	0.7	56		

2. 試技

本研究では全ての対象者に、通常脚配置でのキックスタートと通常とは逆の脚配置でのキックスタートを交互に入れ替え、合計 4 本、実施させた。入水後は、水中でストリームライン姿勢のみを保持するよう指示した。バックプレート位置については普段対象者が使用している位置とし、通常と逆配置においても同様とした。対象者には、実験開始前に十分なウォーミングアップを行わせ、身体各部分点にマーカを貼付し、試技を実施させた。なお、通常と逆の脚配置でのキックスタートについては、試技前に 60 分程度の練習時間を設け、本人が十分な跳び出し動作ができると感じるまで練習を行わせた。

3. 撮影方法

スタート動作は、対象者の左側方より、1 台のハイスピードカメラ(TS3 Model 100-L, Fastec Imaging 社製)を用い、スタートシグナルから手部が入水するまでを撮影した。撮影速度は 120fps (シャッター速度 1000Hz)とした。対象者の進行方向を X 軸、垂直方向を Y 軸とする静止座標系を設定し、プール壁の水面位置を原点とした。対象者の身体各部 15 点(頭頂, 耳珠点, 左肩峰, 左上腕骨端, 左尺骨端, 左第三中手骨, 左大転子, 左大腿骨端, 左外顆, 左踵骨端, 左第一中足骨, 右大腿骨端, 右内顆, 右踵骨端, 右第五中足骨)にビニールテープと半球体の発泡スチロールマーカーを貼付した(Figure 1)。



Figure 1. Kick start positioning with reflecting markers.

4. 等尺性最大筋力の測定

等尺性最大筋力の計測には、Biodex System3 (BDX-3, BIODEX Medical 社製)を用い、先行研究(水藤ほか, 2015)を参考に、すべての対象者には、膝関節の内角 90 度の状態で 5 秒間、膝関節伸展方向に等尺性の最大筋力発揮を行わせた。3 回実施したうち、最も大きな値を膝関節の等尺性最大伸展筋力とした。さらに、左右の等尺性最大伸展筋力を比較して値が大きい脚を脚筋力が大きい脚(以下、「STL」と略す)を判定した。

5. データ処理・分析

本研究ではスタート動作が 2 次元平面上で行われ、上半身を左右対称の運動であると仮定した。得られた映像から 2 次元動作分析システム(Frame-Dias IV, DKH 社製)において自動および手動デジタイズによって得られた画面上の座標値を実長換算法により、スタート動作中の対象者の身体各部分点の実座標を算出した。デジタイズ中、腕の動作によって頭部や下肢のマーカーを認識することが困難な場合、3 次のスプライン補間を用いた。身体重心については、日本人の身体部分係数を用いて計算した(阿江ほか, 1992)。

身体重心速度については、身体重心の変位を一次の数値微分をして求めた。さらに、得られた跳び出し速度を水平成分と垂直成分に分解し、跳び出し水平速度と垂直速度とした。跳び出し角度は、跳び出し水平速度と垂直速度を用いて跳び出し合成速度を算出し、跳び出し合成速度と X 軸とのなす

角度から求めた。なお、跳び出し角度は水平位から上方向を正の値、下方向を負の値とした。全てのデータについて、残差分析により遮断周波数を 6Hz に設定し、バターワースフィルターを用いて平滑化した。

6. 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した。なお、各測定値の正規性の検定には、Shapiro-Wilk 検定を用い、正規性の確認をした。脚筋力が大きい脚の前後配置におけるスタートに関する運動学的変数を比較するため、対応のある t 検定を用いた。効果量については Choen's *d* (Choen, 1992) を用いて算出した (小: $d = 0.1$, 中: $d = 0.3$, 大: $d = 0.8$)。統計処理には、統計解析ソフト IBM SPSS Statistics version 25.0 (IBM, Armonk, NY, USA) を用いた。有意水準は、いずれも $p < 0.05$ とした。

. 結果

Table 2に、全ての対象者のSTLが前側(以下、「STL-F」と略す)、STLが後ろ側(以下、「STL-R」と略す)の脚配置におけるキックスタートの運動学的特徴を示す。また、Table 3に、STL-FとSTL-Rの脚配置におけるキックスタートの運動学的変数の比較を示す。跳び出し水平速度と跳び出し合成速度は、STL-Fが有意に高い値を示していた ($p=0.002$, $d=0.48$; $p=0.040$, $d=0.42$)。一方で、跳び出し垂直速度および跳び出し角度は、いずれも有意な差が認められなかった ($p=0.290$, $d=0.37$; $p=0.249$, $d=0.26$)。

Table 2. The horizontal, vertical and resultant velocities and the angle at take-off of the positioning of the strong leg in the front or the rear.

No.	Gender	STL-F				STL-R			
		Horizontal velocity at take-off (m/s)	Vertical velocity at take-off (m/s)	Resultant velocity at take-off (m/s)	Angle at take-off (°)	Horizontal velocity at take-off (m/s)	Vertical velocity at take-off (m/s)	Resultant velocity at take-off (m/s)	Angle at take-off (°)
01	M	4.47	-0.11	4.47	-1.4	4.60	-0.47	4.62	-5.8
02	M	4.47	-1.14	4.61	-14.3	4.34	-1.20	4.50	-15.4
03	M	4.84	-0.57	4.88	-6.7	4.77	-0.50	4.79	-6.0
04	M	4.77	-0.36	4.78	-4.3	4.33	-0.02	4.33	-0.3
05	M	4.71	-0.52	4.74	-6.4	4.66	-0.70	4.71	-8.5
06	M	4.78	-0.41	4.79	-4.9	4.25	0.05	4.25	-0.6
07	M	4.69	-0.53	4.72	-6.5	4.29	-0.02	4.29	-0.2
08	M	5.02	-0.64	5.06	-7.3	4.83	-0.16	4.84	-1.9
09	M	4.31	-0.46	4.33	-6.0	4.35	-1.20	4.51	-15.5
10	M	4.73	-1.44	4.94	-17.0	4.29	-1.15	4.44	-15.0
11	M	4.39	-0.15	4.39	-1.9	4.08	-0.10	4.09	-1.4
12	M	4.37	-0.62	4.41	-8.0	4.12	-0.78	4.19	-10.7
13	F	3.89	-1.33	4.11	-18.9	3.81	-1.47	4.08	-21.1
14	F	3.92	-1.07	4.06	-15.2	3.68	-1.32	3.91	-19.6
15	F	3.87	-0.06	3.87	-1.0	3.83	-1.16	4.00	-16.8
16	F	3.65	0.94	3.77	-14.4	3.73	-1.64	4.07	-23.8
Mean		4.43	-0.53	4.50	-8.4	4.25	-0.74	4.35	-10.2
SD		0.41	0.57	0.39	5.7	0.36	0.58	0.29	8.1

STL-F: Strength leg in front - non-strength leg in rear
 STL-R: Non-strength leg in front - strength leg in rear

Table 3. Comparison of the horizontal, vertical and resultant velocities and the angle at take-off with the positioning of the strong leg in the front versus the rear.

	STL-F	STL-R	<i>p</i>	<i>d</i>
Horizontal velocity at take-off (m/s)	4.43 ± 0.41	4.25 ± 0.36	0.002	0.48
Vertical velocity at take-off (m/s)	-0.53 ± 0.57	-0.74 ± 0.58	0.290	0.37
Resultant velocity at take-off (m/s)	4.50 ± 0.39	4.35 ± 0.29	0.040	0.42
Angle at take-off (°)	-8.37 ± 5.74	-10.17 ± 8.12	0.249	0.26

STL-F: Strength leg in front - non-strength leg in rear

STL-R: Non-strength leg in front - strength leg in rear

. 考察

本研究ではキックスタートのスタート姿勢を構える際の前後の脚配置について、即時的ではあるものの、脚の筋力特性から検討した。その結果、脚筋力が大きい脚を前方に配置したスタート姿勢において、跳び出し水平速度と跳び出し合成速度が有意に高い値を示していた (Table 2)。また、脚筋力の大きい脚を前方に配置したスタート姿勢について、本研究の対象者16名中3名のみ通常と逆の脚配置であった (Table 1)。また、3名中2名は通常と逆配置であったにもかかわらず、跳び出し水平速度および跳び出し合成速度が通常脚配置よりも高い値を示していた (Table 2)。キックスタートのパフォーマンスに対し、跳び出し水平速度が主要因の一つとして挙げられている (Tor et al., 2015) ことから、脚筋力の大きい脚を前方に配置することは、キックスタートのパフォーマンス向上に有効である可能性があることが示唆された。

手や脚には優位性があり、利き手や利き脚側に機能的役割、非利き手や非利き脚側に支持的役割がある (木村・浅枝, 1974; Asami et al., 1983)。先行研究 (Burkhardt et al., 2020, Carradori et al., 2015) では利き脚の判定に、片足での垂直跳びを採用しており、跳躍高が高い脚を利き脚と判断している。しかしながら、膝関節の等尺性最大伸展筋力と垂直跳びの跳躍高との間には有意な相関関係が認められていない (Thomas et al., 2015)。一方で、等速性最大伸展筋力と垂直跳び高との間には有意な相関関係が認められている (Fischer et al., 2017)。また、等尺性最大伸展筋力について利き脚と非利き脚との間には、有意な差が認められていない (Hotta et al., 2007; Maly et al., 2015; Abdelmohsen, 2019) もの、片足での垂直跳びにおける脚が発揮した力については利き脚の方が非利き脚よりも有意に大きな力発揮をすることが報告されている (Maly et al., 2015)。したがって、片足での垂直跳びを用いた評価は、単に脚の筋力だけでなく、脚の機能性も含めて評価している可能性があると考えられる。一方、本研究では等尺性最大伸展筋力を用いて筋力が大きい脚を判定した (Table 1) ため、支持的役割を持つ脚を評価した可能性があると考えられる。しかしながら、利き脚と非利き脚の膝関節伸展方向への等尺性最大筋力に有意な差がみられる場合 (Lanshammar and Ribom, 2011; Rouissi et al., 2018) もあれば、有意な差がみられない場合もある (Hotta et al., 2007; Demura et al., 2010; Maly et al., 2015; Abdelmohsen, 2019)。したがって、脚の筋力だけでなく、利き脚を判定するための機能性も含めて評価する片足での垂直跳びのような動きを伴った運動を用いることが必要かもしれない。

跳び出し速度は、スタート台へ加えた力と力を加えた時間の積からなる力積によって決まるため、高い跳び出し速度の獲得にはスタート台へ大きな力積を加える必要がある。跳び出し水平速度の獲得に

対して、キックスタートでは後ろ脚が大きく貢献している(Ozeki et al., 2017; Takeda et al., 2017). 後ろ脚が動き出してからバックプレートより離地するまでの時間は、0.4秒程度である(酒井ほか, 2017; Suito et al., 2018)ことから、後ろ脚ではわずかな時間に大きな力発揮をすることが求められる(Ikeda et al., 2016). Burkhardt et al.(2020)は、キックスタートにおいて、片足での垂直跳びが高く跳べる脚を後方へ配置することが望ましいと述べている. 本研究では等尺性最大伸展筋力が大きい脚を前方、他方の脚を後方に配置した場合に高い跳び出し速度を示していた(Table 2)ことから、先行研究(Burkhardt et al., 2020)と同様に、高い跳び出し速度を獲得するには、支持的役割がある脚を前方に、機能的役割がある脚を後方へ配置することが望ましいと考えられる. 一方、キックスタートにおける前脚は、跳び出し垂直速度の獲得に貢献している(Ikeda et al., 2016; Ozeki et al., 2017; Takeda et al., 2017). より大きな跳び出し水平速度を獲得するためには、跳び出し角度を水平方向に近づけることが望ましい(武田ほか, 2006). したがって、スタート台から跳び出す際、前脚で身体を支持し、かつ垂直方向に跳び出すことで跳び出し角度を水平方向に近づけ、跳び出し水平速度成分を大きくしている可能性があると考えられる. 本研究ではどちらの脚配置においても跳び出し角度に有意な差が認められなかった(Table 2). 後ろ脚がバックプレートより離地した後の姿勢は、前脚の力発揮により調整されている(Ikeda et al., 2016). また、後ろ脚がバックプレートより離地後、前脚の膝関節は屈曲し、90度付近を保持しつつ、その後、膝関節を伸展させて跳び出している(Ikeda et al., 2016). 本研究の結果では跳び出し角度に有意な差が認められなかった(Table 2)ことから、どちらの条件においても前脚で同程度の力発揮をすることで同様な跳び出し動作をしていた可能性が考えられる.

本研究の限界として、本研究の対象者は、16名中13名が通常スタート姿勢で等尺性最大伸展筋力の大きい脚を前方に配置していた(Table 1)ことから、スタート動作に対する熟練の程度が影響していた可能性があると考えられる. ただし、跳び出し角度は、どちらの脚配置においても有意な差がみられなかったことから、同様の跳び出し動作をしていたと考えられる. 金沢ほか(2015)は、女子競泳選手を対象に、脚配置について通常脚配置と逆の脚配置を比較した結果、逆の脚配置ではスタートシグナル後から動き出すまでの時間やリアクションタイムが有意に延長したものの、跳び出し速度や跳び出し水平速度に有意な差がみられなかったと報告している. 一方、Suito et al.(2018)は、男子競泳選手を対象に、通常脚配置と逆の脚配置を比較した結果、逆の脚配置ではスタート台に加えられた水平方向の力積および跳び出し水平速度が有意に減少したと報告している. これら先行研究の結果から、通常とは逆の脚配置では反応時間や力発揮に影響を及ぼしている可能性があると考えられる. しかしながら、等尺性最大伸展筋力の大きい脚を前方に配置したスタート姿勢が通常とは逆の脚配置であった対象者3名の内、2名は通常脚配置のスタートよりも高い跳び出し速度を示していた(Table 2). したがって、スタート動作に対する習熟に関する問題はあるものの、脚の筋力特性を考慮した脚配置は、跳び出し速度を向上させる可能性があると考えられる. また、8割程度の選手が通常脚配置において等尺性最大伸展筋力が大きい脚を前方に配置していたことから、今後は、等尺性最大伸展筋力だけでなく、左右脚の機能的・支持的役割を評価するとともに、支持的役割の脚を後方に配置している選手を対象にスタート練習を実施させ、脚の特性を考慮した脚配置の影響について検討する必要がある.

・結論

本研究ではキックスタートにおけるスタート姿勢での脚配置について着目し、即時的であるものの等尺性最大伸展筋力が大きい脚を前後どちらに配置することが望ましいか、跳び出し速度を比較することで検討した。その結果、等尺性最大伸展筋力が大きい脚を前方へ配置する脚配置において、跳び出し水平速度および跳び出し速度が有意に高い値を示していたことから、等尺性最大伸展筋力が大きい脚を前方に配置することがキックスタートのパフォーマンス向上に有効である可能性があることが示唆された。

謝辞

本研究は JSPS 基盤研究(C)19K11505 の助成を受けたものです。

文献

- ・ Abdelmohsen, A. M. (2019) Leg Dominance Effect on Isokinetic Muscle Strength of Hip Joint. *Journal of Chiropractic Medicine*. 18(1): 27-32.
- ・ 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.
- ・ Asami, T., Ishijima, S., Taneya, A. (1983) Characteristics of Hand, Foot, Trunk Side and Eye Dominance in University Athletes. *Journal of the Society of Biomechanisms*. 7(2): 35-46.
- ・ Benjanuvatra, N., Lyttle, A., Blanksby, B., Larkin, D. (2004) Force development profile of the lower limbs in the garb and track start in swimming. *ISBS - Conference Proceedings Archive*. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1333>.
- ・ Burkhardt, D., Born, D.-P., Singh, N. B., Oberhofer, K., Carradori, S., Sinistaj, S., Lorenzetti, S. (2020) Key performance indicators and leg positioning for the kick-start in competitive swimmers. *Sports Biomechanics*: 1-15. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1761435>.
- ・ Carradori, S., Burkhardt, D., Sinistaj, S., Taylor, W. R., Lorenzetti, S. (2015) Kinetic and kinematic analysis of the leg positioning in the freestyle track start in swimming. *ISBS - Conference Proceedings Archive*. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/6524>.
- ・ Choen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*. 1(3): 98-101.
- ・ Cossor, J., Mason, B. (2001) Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *Proceedings of the XIX International Symposium on Biomechanics in Sports*: 70-74.
- ・ Demura, S., Aoki, H., Yamamoto, Y., Yamaji, S. (2010) Comparison of strength values and laterality in various muscle contractions between competitive swimmers and

- untrained persons. *Health*. 2(11): 1249-1254.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION (FINA). (2020) Fina facilities rules 2017-2021. https://resources.fina.org/fina/document/2021/01/19/c81a714a-022d-4622-ab8b-b22e95eb2be3/2017_2021_facilities_28012020_medium_ad.pdf (参照日:2021年3月8日).
 - Fischer, F., Blank, C., Dünwald, T., Gföller, P., Herbst, E., Hoser, C., Fink, C. (2017) Isokinetic extension strength is associated with single-leg vertical jump height. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 5(11): 1-6. <https://doi.org/10.1177/2325967117736766>.
 - Honda, K. E., Sinclair, P., Mason, B., Pease, D. (2010) A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. *XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*: 94-96.
 - Hotta, N., Sato, K., Sun, Z., Katayama, K., Akima, H., Kondo, T., Ishida, K. (2007) Ventilatory and circulatory responses at the onset of exercise after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 97(5): 598-606.
 - Ikeda, Y., Ichikawa, H., Nara, R., Baba, Y., Shimoyama, Y. (2016) Does installation of the backstroke start device reduce 15-m start time in swimming? *Journal of Sports Sciences*. 35(2): 189-195.
 - 金沢翔一, 森山進一郎, 宮地建人, 北川幸夫(2015) 大学女子競泳選手における左右の足の配置がキックスタートのパフォーマンスに及ぼす影響. *日本女子体育大学スポーツトレーニングセンター紀要*. 18:1-5.
 - 木村邦彦, 浅枝澄子(1974)ヒトの四肢の一側優位性について. *人類学雑誌*, 82(3):189-207.
 - Lanshammar, K., Ribom, E.L. (2011) Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20-39 years--a population-based study. *Physical Therapy in Sport*. 12(2): 76-79.
 - Maly, T., Zahalka, F., Mala, L., Cech, P. (2015). The bilateral strength and power asymmetries in untrained boys. *Open Medicine*. 10(1): 224-232.
 - 奥野景介・生田泰志・若吉浩二・野村照夫(1998)一流選手の100m自由形における競泳のレース分析-1996年度および1997年度日本選手権大会の比較 - 大阪教育大学紀要第 部門, 47(1):211-223.
 - Ozeki, K., Suito, H., Sakurai, S., Urata, T. (2017) Roles of the extremities during kick start in competitive swimming. *ISBS Proceedings Archive*, 35(1), Article 279. Available at: <https://commons.nmu.edu/isbs/vol35/iss1/279>.
 - Pai, Y.-C., Hay, J. G., Wilson, B. D. (1984) Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*. 2(3): 225-239.
 - Rouissi, M., Chtara, M., Bragazzi, N.L., Haddad, M., Chamari, K. (2018) Data

concerning isometric lower limb strength of dominant versus not-dominant leg in young elite soccer players. *Data in Brief* 17: 414-418.

- ・ 酒井紳, 武田剛, 佐藤智俊, 椿本昇三, 高木英樹(2017) 競泳キックスタートにおけるバックプレート位置がスタート・パフォーマンスに与える影響. *体育学研究*. 62(1):133-144.
- ・ Suito, H., Ozeki, K., Ikegami, Y. (2018) The effect of different combinations of foot positions on the kick-start performance. *XIII th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Proceedings*: 146-149.
- ・ 水藤弘吏, 尾関一将, 布目寛幸, 池上康男(2015) 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. *水泳水中運動科学*. 18(1):4-9.
- ・ 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飛び出し角度の変化が飛び出し速度, 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.
- ・ Takeda, T., Sakai, S., Takagi, H., Okuno, K., Tsubakimoto, S. (2017) Contribution of hand and foot force to take-off velocity for the kick-start in competitive swimming. *Journal of Sports Sciences*. 35(6): 565-571.
- ・ Thomas, C., Jones, P. A., Rothwell, J., Chiang, C. Y., Comfort, P. (2015) An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29(8): 2176-2185.
- ・ Tor, E., Pease, D. L., Ball, K. A. (2015) Key parameters of the swimming start and their relationship to start performance. *Journal of Sports Sciences*. 33(13): 1313-1321.