

博士学位論文

競泳のキックスタートにおける
技能の巧拙の要因と指導効果に関する
バイオメカニクス的研究

明石啓太

【 目 次 】

第 1 章	研究の背景と目的	
第 1 節	緒言	・・・ 1
第 2 節	先行研究の検討	・・・ 4
第 3 節	問題の所在と研究目的	・・・ 8
第 2 章	3次元動作解析を用いたキックスタートの動作分析	
第 1 節	研究目的	・・・ 10
第 2 節	研究方法	・・・ 10
第 3 節	結果	・・・ 15
第 4 節	考察	・・・ 19
第 5 節	小活	・・・ 22
第 3 章	キックスタート動作における熟練度による相違	
第 1 節	研究目的	・・・ 23
第 2 節	研究方法	・・・ 23
第 3 節	結果	・・・ 29
第 4 節	考察	・・・ 44
第 5 節	小活	・・・ 52
第 4 章	キックスタートの巧拙を生じさせる動作的要因から 導かれた指導方法の効果の検討	
第 1 節	研究目的	・・・ 54
第 2 節	研究方法	・・・ 54
第 3 節	結果	・・・ 62
第 4 節	考察	・・・ 65
第 5 節	小活	・・・ 69

第 5 章 総合考察	
第 1 節 本研究の成果と意義	・ ・ ・ 70
第 2 節 総括と今後の課題	・ ・ ・ 72
文献	・ ・ ・ 77
謝辞	・ ・ ・ 87

第 1 章 研究の背景と目的

本章では競泳競技（以下，競泳と略す）の競技現場におけるスタート局面を取り巻く現状と K スタートに関する先行研究の検討から，K スタートのバイオメカニクス的研究の意義と課題を見出し，本研究の目的を導く．

第 1 節 緒言

競泳競技（以下，競泳と略す）のレースはスタート局面，ストローク局面，ターン局面，フィニッシュ局面に分類される．上肢や下肢によって推進力を生み出し，水中を進むストローク局面はレース時間の大半を占めるため，レースにおいて最も重要な局面である．しかし，スタート台や壁面を蹴ることのできるスタート局面はストローク局面より高い速度を獲得することができる．一般的にスタート局面はスタートから 15m までを指すことが多いが，50m 種目においてレースの 30% をスタート局面が占め，また，生田ほか（1995）は 50m 自由形のレース平均速度とスタート局面速度との間に有意な相関が見られたと述べている．このことから，短距離種目では日々のトレーニングにより泳速を高めることに成功した泳者であっても，スタート局面のパフォーマンスが低ければレースで勝利することは困難である．

このスタート局面ではより短い時間での離台やより高い速度の獲得を目指し，多くのスタート技術が考案されてきた．水中からスタートする背泳ぎを除くと，腕を下方に下ろした状態で構え，スタートシグナル後に腕をスイングして跳ぶスイングスタートや下方に下ろした手でスタート台前縁をつかんで構えるクラブスタート（以下，G スタートと略す），G スタートの状態から脚を前後に開いた形で構えるトラックスタート

(以下、Tスタートと略す)、側面にハンドルが設置されたスタート台において、ハンドルを握り、体を前方に倒して構えるハンドルスタートなどが挙げられる。これらの中で現在の競技会でも用いられるGスタートとTスタートであるが、両者のスタート局面における有意性については一貫した結果が得られていない。

一方で、2009年のワールドカップ以降、FINA（国際水泳連盟）によりバックプレート付きスタート台が導入された。このバックプレート付きスタート台は、陸上競技のスターティングブロックのようなプレートを天板の後方に装着したものである（Fig. 1）。このスタート台の導入により、Tスタート同様に脚を前後に開き、後方の脚をバックプレート上に乗せて構えるキックスタート（以下、Kスタートと略す）が可能になった。このKスタートは従来のTスタートやGスタートと比較し、7.5mや15mの通過時間が短く、スタートパフォーマンスが高いと報告されている（Biel et al., 2010; Honda et al., 2010; Petryaev, 2010）。2001年に山野井智広選手が樹立し、長年破られることのなかった男子50m自由形の日本記録（22.18s）が、2010年に開催された第86回日本選手権水泳競技大会において、岸田真幸選手によって更新された（22.11s）。この



Fig.1 Starting block with back plate.

大会がバックプレート付きスタート台の導入された最初の日本選手権であったことも日本記録更新と無関係ではないであろう。また，Nomura et al. (2010) が 5m 通過時間などで T スタートより K スタートのほうが優れた傾向を示し，かつ，その被験者は K スタートに熟練していなかったと述べている。このようなことから K スタートはエリート選手から熟練度の低い選手まで幅広い競技レベルの選手のスタート局面を向上させる技術であり，一方で K スタートの技能を磨かなければ，レースにおいて不利であると考えられる。

K スタートを身につけ，更にその技能を向上させるためにはバックプレート付きスタート台での練習が必要である。しかし，飛び込みスタートによる事故を防止することを目的に日本水泳連盟が策定した「プール水深とスタート台の高さに関するガイドライン」では，1.20-1.35m 未満の水深のプール（一般的なスイミングクラブや学校のプール）において飛び込みスタートを行う場合，安全なスタート台の高さは $0.35\text{m}\pm 0.05\text{m}$ であるとしており，国際大会で使用される Omega 社のバックプレート付きスタート台（最高部 0.65m）はこの範囲に収まっていない。これに加え，多額な設置費用が必要なことなどからも，バックプレート付きスタート台は広く普及しているとは言えないであろう。エリート選手でもない限り，バックプレート付きスタート台の設置に問題がないほど深い水深のプールで日常的にトレーニングを積めることは稀であり，多くの選手にとって K スタートを練習できる機会は競技会場になりうる規模のプールに出向いた時に限られる。このように K スタートの熟練度が低い選手が技能改善のために費やせる時間が十分でない現状がある。

以上のことから，K スタートの熟練度の低い選手が K スタートの技能を向上できる効果的な指導方法の確立を目指すことは，短距離種目のレ

ベル底上げにつながる有意義な取り組みであると考えられる。

第 2 節 先行研究の検討

1. 競泳のスタート動作の技能向上に関する実践的研究

スポーツ動作におけるパフォーマンスの向上を目的とした実践的研究や事例報告は各競技で見られる。小森ほか（2012）は、リバウンドジャンプの初心者を対象に、膝関節を屈曲した姿勢で接地する接地時の姿勢を改善する指導方法によって、空中局面と接地瞬間の膝関節が屈曲位を示す適切なフォームへと導き、跳躍高やリバウンドジャンプ指数（跳躍高/接地時間）を増大させた。黒松・瓜田（2012）は大学男子砲丸投げ選手に対してグライド投法の投げ動作を改善するためのトレーニングを 8 ヶ月間に渡って 3 段階に分けて実施した。3 段階のトレーニング課題として「グライドからパワーポジションに入った時に、左腕をリラックスさせ、左手先を左肩よりも身体前方に残す」、「右踵から投擲方向への線上に左つま先を位置させる」、「右脚の力強い押し込みと、それに続く右腰の投げ方向への押し出し、並びに胸の張り出しにより体幹の大きな「しなり」を作る動作」を設定した。これらの動作の改善により大幅な記録の向上を達成した。走幅跳に関しては、大学生男子走幅跳選手を対象にした技術練習の効果を検討したものから（東畑ほか，2010；佐渡，2013），選手以外の児童（陳ほか，2012；土肥ほか，2004），中学生（伊藤，1981）を対象にした技術練習の効果を検討したものまで、幅広い事例報告がなされている。競泳のスタート局面においても、プライオメトリックトレーニングにより、G スタートのパフォーマンスを改善したという Hassannezhad et al.（2012）や Bishop et al.（2009），また、垂直跳びの跳躍高を改善するためのレジスタンストレーニングを実施し、垂直跳び

の跳躍高したものの3種類のスタート（Gスタート、Tスタート、スイングスタート）の飛距離は向上せず、筋力や垂直跳びの跳躍高の向上はスタートパフォーマンスには直接転移しなかったという Breed and Young（2003）の報告が見られる。Kスタートに限定すると、Cuenca-Fernández et al.（2015）がKスタートの直前にポストアクティベーションとしてランジとYOYOスクワットを実施した結果、5mと15mの通過時間、跳び出し水平速度などが有意に改善されたと述べている。これらのように競泳のスタート局面におけるパフォーマンスの向上を目的とした指導方法の実践的研究として、体力の向上を意図したトレーニングの効果については検討されている。しかし、Kスタートの技能の改善を意図した技術練習が、スタート局面のパフォーマンスに及ぼす効果についての実践的研究は見当たらない。このようにKスタートの指導方法は確立されているとは言えない。

2. 運動動作の習熟に関する横断的研究

運動の指導方法を確立するためには、技能水準の高い対象者の動作から高パフォーマンスを発揮するための動作的要因を明らかにするのはもちろん、様々な技能水準にある対象者の動作を比較し、運動技能の巧拙の要因を明らかにする必要がある。国内だけでも数多くの指導に関する事例報告がなされている走幅跳に着目すると、エリート選手（青山ほか，2009；伊藤ほか，2008；村木ほか，2003；大村ほか，1999）をはじめ、大学生の走幅跳選手（熊野ほか，2012；前田，2005；志賀・尾縣，2004）やそれ以下の年代の選手（木野村・森，2011；大村，1986；大村ほか，2009）を対象としたバイオメカニクスの検討が行われている。さらに、走幅跳選手に限らず、一般の大学生（佐藤ほか，1992）や小中学生（三

條, 1990; 中雄ほか, 2011) の動作に対しても報告が見られ, 技能水準の異なる対象者の動作比較もなされている(真野ほか, 1993; 小山ほか, 2002). これら多くの検討の積み重ねで前述のような技術練習の事例報告につながっていると考えられる.

競泳においても走幅跳ほどでないにしろ, 様々な技能レベルの対象者の動作比較がけのび動作や(Havriluk, 2005; 合屋ほか, 2008; 合屋ほか, 2010; 柴田, 1992), 各泳法(Leblanc et al., 2005; Nikodelis et al., 2005; Potdevin., 2006; Seifert et al., 2010)などで行われているが, スタート局面においては Benjanuvatra et al. (2007) によるエリート女子選手と熟練女子スイマーの G スタートの各変数と跳躍力の関係についての報告や Vantorre et al. (2010) によるエリート男子選手と熟練男子選手の G スタートを比較した報告が見られるものの数が少なく, K スタートについては尾関ほか(2012)が国内トップ選手は全国大会出場レベル選手より後脚の伸展によって地面反力が生じるタイミングが早いことを報告しているのみである. また, K スタートについての過去の検討はエリート選手や全国大会出場経験のある大学水泳選手が主であり, K スタート技能も高いと推測される(Honda et al., 2010; Petryaev, 2010; 尾関ほか, 2012; Slawson et al., 2012; 尾関ほか, 2015). 一方で競技力や技能レベルの低い選手を対象とした報告は見られず, K スタートのパフォーマンスを横断的に検討できるだけの知見は得られていない. また, バックプレート付きスタート台が常設されるほど整った環境で日々の練習ができる選手は競技力が高い確率が高いため, 本研究の対象となる K スタートの練習量を十分に確保することが困難な選手についての K スタート動作に関する知見は特に不足していると言える.

3. K スタートのバイオメカニクスの分析とその手法

K スタートは前述のように、主に高い競技力を有する選手を対象にバイオメカニクスの分析が行われてきた。その結果、K スタートは T スタートや G スタートに比べ、7.5m や 15m の通過時間が短く、スタート局面パフォーマンスが高いことが明らかにされた (Biel et al., 2010; Honda et al., 2010; Petryaev, 2010)。そして、その高いスタート局面パフォーマンスを生む要因についても検討されている。バックプレート付きスタート台の導入以前に用いられてきた主なスタート技術である G スタートや T スタートにおいて、跳び出し水平速度とブロックタイム (以下、BT と略す) はトレードオフの関係にあるとされてきた (Lyttle et al., 1999)。しかし、K スタートでは両方の値で T スタートや G スタートを上回り (Biel et al., 2010; Honda et al., 2010; 野村ほか, 2011; 尾関ほか, 2015)、これが高いスタート局面パフォーマンスの発揮につながっていると考えられる。K スタートのこのような動作特性を可能にする理由については、後脚による水平方向への推力の増加 (Honda et al., 2010; 野村ほか, 2011)、後脚の伸展による上体の倒れ込みの容易さ (尾関ほか, 2010) が指摘されているものの、まだ十分に明らかではないと考えられる。このように K スタートについては、パフォーマンスの高さは証明されているものの、その要因についてはまだ検討の余地がある。

K スタートの動作上の最も顕著な特徴は後脚でバックプレートを蹴ることである。このことから、左右の下肢の非対称性が発生する。これはスタート台上で足を左右に開く T スタートでも同様であるが、K スタートや T スタートにおける左右それぞれの下肢動作については、Slawson et al. (2012) が左右の膝関節角度の変化と BT、地面反力との関係について言及したこと、窪 (2005) や武田 (2007b) が振り子モデルを用いて重

心速度を後脚と腕が生じさせる回転要素と前脚が生じさせる伸展要素に分解して検討したこと、Benjanuvatraet al. (2004) が左右の脚伸展によって得られる床反力を比較したことなどが散見される程度である。また、左右の下肢の非対称な動作は体幹のねじれ動作を生じる可能性もあるが、これについて検討した研究は認められない。これらの諸点の解析には 3 次元動作解析が有用であり (吉原ほか, 1997; 高木ほか, 2008; 藤井ほか, 2010), K スタートの 3 次元動作解析により, 先行研究で検討されることのなかった K スタートの新たな動作特性に関する知見を得ることができると考えられる。

第 3 節 問題の所在と研究目的

先述のように, 熟練度の低い短距離選手が K スタートの技能を向上できる効果的な指導方法の確立を目指すことは, 短距離種目のレベル底上げにつながる有意義な取り組みであると考えられる。しかし, 第 2 節に示したように K スタートの技能を向上し, スタート局面のパフォーマンスを改善する指導方法を確立する上での問題点が存在する。1 つは技能の巧拙を生じさせる動作的要因が明らかにされていないことである。これはこれまでの K スタートの動作分析が技能レベルの高い泳者を対象としたものが主であり, 技能が低い泳者の動作についての知見が不足しているため, 異なる技能レベルにある泳者の動作比較が困難なことが原因であると考えられる。また, K スタートに関する従来の検討は左右対称な動作を前提とした 2 次元動作解析の手法が用いられており, 必然的に生じる脚動作の左右の非対称性や体幹のねじれなどを考慮した 3 次元での分析が行われていないことも問題点に挙げられる。

そこで本研究では, K スタートの技能の低い選手が効果的にスタート

局面のパフォーマンスを向上できる指導方法の提案を目指し、Kスタートの詳細な動作特性や技能の巧拙を生じさせる要因の検討から指導上の要点を導き、その要点に基づく指導の実践がKスタートのパフォーマンスに及ぼす効果を検討することを目的とした。

本研究の目的を達成するために、以下の3つの研究課題を設定した。

課題 1. 3次元動作解析を用いたKスタートの動作解析

従来のスタート方法に比較しKスタートの利点を明らかにするために、3次元動作解析を用いてKスタートの動作特性を詳細に検討する（第2章）。

課題 2. Kスタート動作における熟練度による相違

課題1において明らかにしたKスタートの動作特性を中心に、Kスタートの技能の異なる被験者において動作がどのように異なるかを横断的に検討することにより、Kスタートにおける技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにする（第3章）。

課題 3. Kスタートの巧拙を生じさせる動作的要因から導かれた

指導方法の効果の検討

課題2におけるKスタートの巧拙を生じさせる動作的要因から指導上の要点を導き、その要点に基づく指導の実践がKスタートのパフォーマンスに及ぼす効果を検討する（第4章）。

第 2 章 3次元動作解析を用いた K スタートの動作解析

第 1 節 研究目的

従来のスタート方法に比較し K スタートの利点を明らかにするために、3次元動作解析を用いて K スタートの動作特性を詳細に検討する。

第 2 節 研究方法

1. 被験者

大学水泳部に所属する男子競泳選手 5 名を対象とした。被験者の身体特性の平均値 (\bar{x}) 及び標準偏差 (σ) を Table 1 に示した。試技の際、水着とスイミングキャップを着用した被験者に、頭頂、左右耳珠点、左右肩峰、左右肘、左右手首、左右中手指節関節、第 7 頸椎、第 10 胸椎、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、左右大転子、左右膝、左右外果、左右つま先、左右踵の計 27 箇所に球体の発泡スチロールでマーキングを行った。

Table 1 Physical characteristics of the subjects

Subj	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	100m Free style (s. ms)
A	21	163	59.5	54.8
B	23	177	75.3	54.9
C	23	175	73.1	58.1
D	22	166	60.1	59.1
E	24	167	58.8	59.7
\bar{x}	22.6	169	65.4	57.3
σ	1.1	6	8.1	2.3

2. データ収集

測定は H 大学屋外プール (50m×8 レーン, 水深 1.7-1.9m) で行った. 被験者は, 十分なウォーミングアップを行った後, バックプレート付きスタート台 (Seiko 社製) を用いて K スタートを実施した. 試技は基本的には 1 回のみであったが, 水泳指導歴 10 年の指導者と被験者の両方が試技に失敗したと判断した時のみ, 十分な休息時間を設けた後, 2 回目の試技を行なわせた. 試技は撮影スピードを毎秒 60 コマに設定した 3 台のデジタルビデオカメラ (Canon 社製) で撮影した. これら 3 台のデジタルビデオカメラは被験者の左前方, 右前方, 背後上方に設置し, Fig. 2 にカメラ配置を示した. 撮影区間はブロック期 (スタート合図-両足離台) からフライト期 (両足離台-両手着水) までとした. スタートシグナルには雷管ピストルを用いた. スタートシグナルとデジタルビデオカメラの同期は, 3 台のデジタルビデオカメラによって撮影された雷管ピストルの白煙によった.

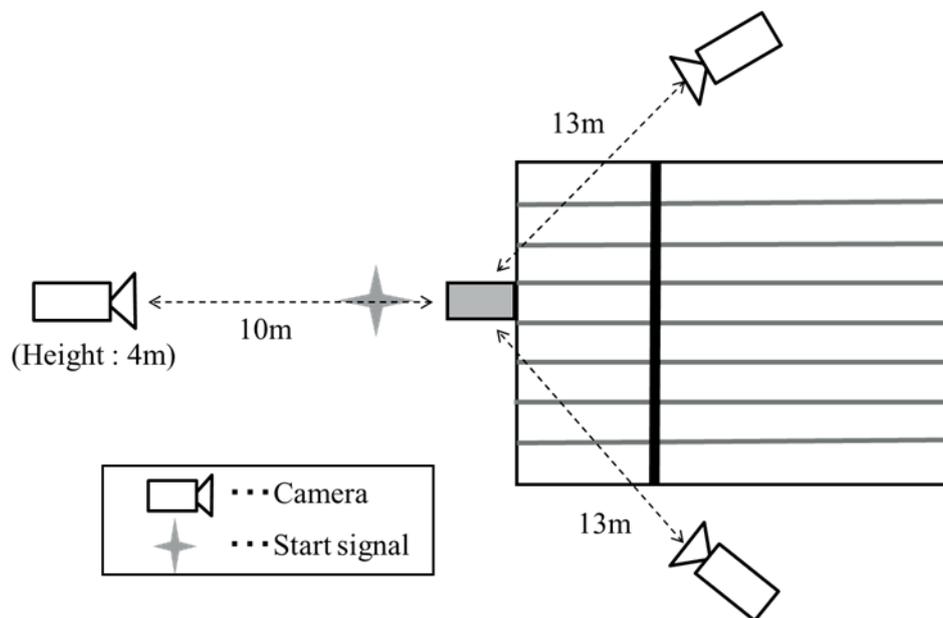


Fig.2 Start signal and camera placement in the 50m pool.

3. データ処理

デジタルビデオカメラで撮影した映像はパーソナルコンピュータに取り込み、画像解析ソフト Tomoco-VM（東総システム社製）を用いて手動デジタイズを行い、3次元 DLT 法によって泳者のマーキングポイントの実座標を算出した。画像分析によって得られた実座標は Butterworth digital filter による平滑化を行った（遮断周波数 3.0-6.0Hz）。本研究では Fig.3 のようにスタート台前縁の中心を原点とする絶対座標系を設定し、被験者の進行方向である水平方向を X 軸、X 軸に直交する上向き方向を Y 軸、X 軸及び Y 軸に直交する横方向を Z 軸とした。すべてのデータにおいて DLT 法による計測誤差は X 軸方向が 8mm 以下、Y 軸方向が 12mm 以下、Z 軸方向が 18mm 以下であった。

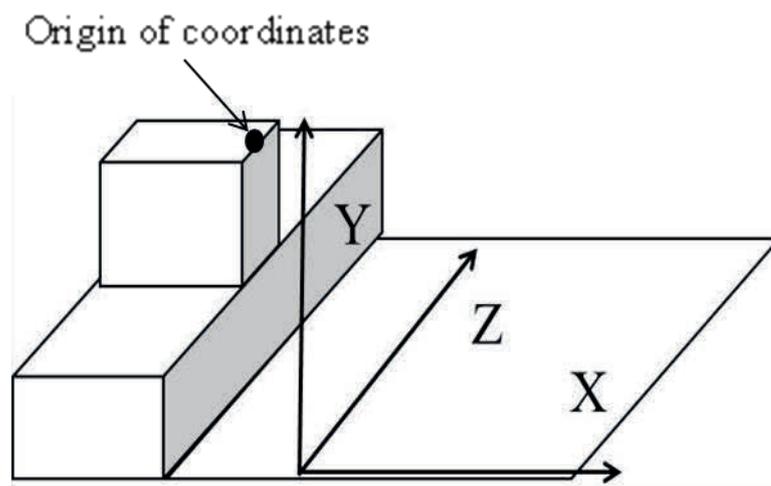


Fig.3 Set of coordinate axes.

4. 測定項目

得られた実座標よりベクトル内積 (1) を利用して各関節の角度を算出した。

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{\beta}}{|\alpha||\beta|} \right) \dots (1)$$

本研究における各下肢関節角度の定義を以下に、また、その概略図を Fig. 4 に示した。

- (1) 股関節角度 (Hip Angle, 以下 HA と略す) : 大転子と第 10 胸椎を結んだベクトルと, 大転子と膝を結んだベクトルの内積から求めた (Fig. 4-a).
- (2) 膝関節角度 (Knee Angle, 以下 KA と略す) : 膝と大転子を結んだベクトルと, 膝と外果を結んだベクトルの内積から求めた (Fig. 4-b).
- (3) 足関節角度 (Ankle Angle, 以下 AA と略す) : 外果と膝を結んだベクトルと, 外果とつま先を結んだベクトルの内積から求めた (Fig. 4-c).

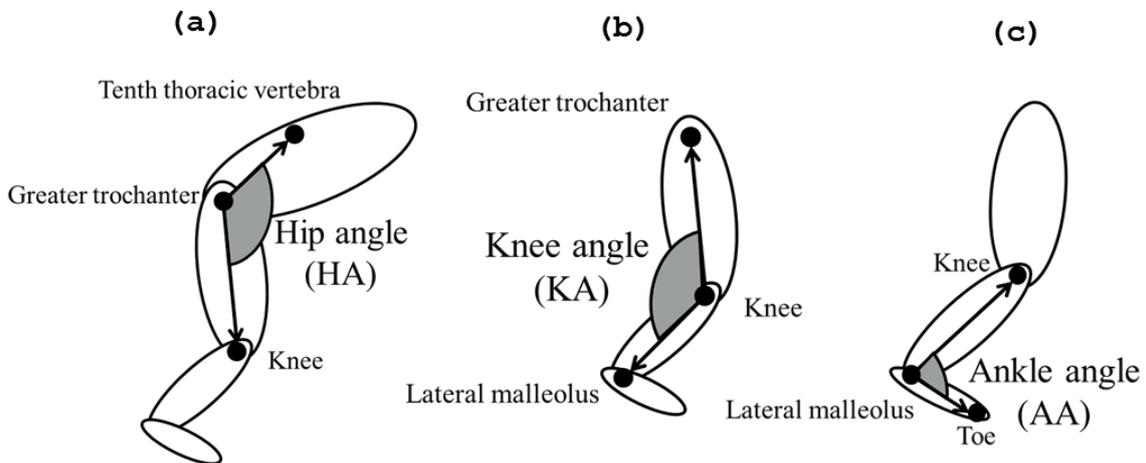


Fig.4 Definition of the lower limb joint angles.

本研究で測定した体幹のねじれに関する角度の定義を以下に，また，その概略図を Fig. 5 に示した．

- (4) 体幹全体のねじれ角度 (Trunk Twist Angle, 以下 TTA と略す) :
YZ 平面上において両肩峰を結んだベクトルと両大転子を結んだベクトルの内積から求めた．後脚の大転子が前脚の大転子より高くなった状態で 2 つの直線が交差すると正の値を示す (Fig. 5-a).
- (5) 上胴の回旋角度 (Shoulder Twist Angle, 以下 STA と略す) : 両肩峰を結んだベクトルと Y 軸上の単位ベクトル, $e_y = \{0, 1, 0\}^T$ の内積から求めた．後脚側の肩峰が前脚側の肩峰より高くなった状態で e_y と交差すると正の値を示す (Fig. 5-b).
- (6) 下胴の回旋角度 (West Twist Angle, 以下 WTA と略す) : 両大転子を結んだベクトルと Y 軸上の単位ベクトル, $e_y = \{0, 1, 0\}^T$ の内積から求めた．後脚の大転子が前脚の大転子より高くなった状態で e_y と交差すると正の値を示す (Fig. 5-b).

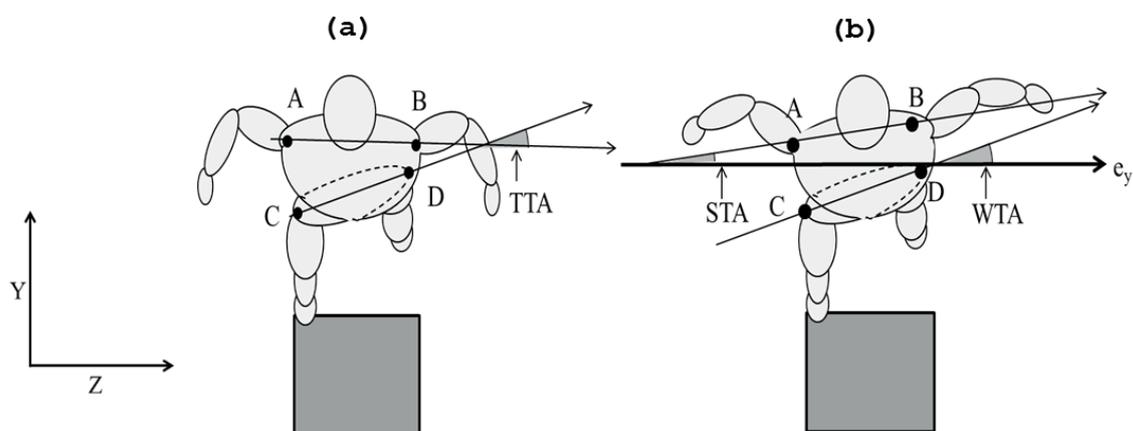


Fig.5 Definition of the angles related twist movement in the trunk.

A : Right acromion, B : Left acromion,

C : Right greater trochanter, D : Left greater trochanter.

第 3 節 結果

1. 下肢動作

各被験者のスタート時における下肢動作の時間区分に関する変数を Table 2 に示し，さらにスタート時の下肢関節角度の典型例として，被験者 A における後脚及び前脚の下肢関節角度の変化について Fig. 6 に示した．スタート合図からフライト期終了まで ($1.09 \pm 0.07s$) のうち，BT ($0.79 \pm 0.07s$) と FT ($0.30 \pm 0.02s$) の比はほぼ 7 : 3 であった．スタート合図から後脚離台までの時間は $0.67 \pm 0.08s$ であり，それより $0.13 \pm 0.01s$ 遅れて前脚が離台していた．

後脚 KA に着目すると，スタート合図から $0.17 \pm 0.02s$ 後に伸展を開始した．この後 KA は伸展し続け，後脚離台直後に最大値に達し，以後ほぼその値を保った．一方，前脚 KA に着目すると，スタート合図から $0.29 \pm 0.03s$ 後に屈曲を開始し，後脚離台の前後で伸展に転じ，屈曲時間は $0.33 \pm 0.06s$ であった．この後，前脚 KA は前脚離台直後に最大値に達し，着水まで概ねその値を保った．後脚と前脚の KA における伸展開始時の時間差は $0.45 \pm 0.07s$ であり，全被験者において後脚の方が前脚よりも伸展開始が早かった．

Table 2 The variables related to time segments of the lower limbs movement in the each subjects.

Subj	All start time (s)	BT (s)	FT (s)	Leaving rear leg (s)	0~A (s)	0~B (s)	0~C (s)
A	1.06	0.73	0.33	0.60	0.13	0.30	0.60
B	1.10	0.80	0.30	0.67	0.17	0.30	0.57
C	1.20	0.90	0.30	0.80	0.17	0.30	0.73
D	1.10	0.80	0.30	0.67	0.20	0.30	0.63
E	1.00	0.73	0.27	0.60	0.17	0.23	0.57
Mean	1.09	0.79	0.30	0.67	0.17	0.29	0.62
±SD	0.07	0.07	0.02	0.08	0.02	0.03	0.07

All start time : start signal ~ landing on water, BT : start signal ~ leaving front leg,
FT : leaving front leg ~ landing on water, Leaving rear leg : start signal ~ leaving rear leg,
0 : start signal, A : start of KA extension in the rear leg,
B : start of KA flexion in the front leg, C : start of KA extension in the front leg.

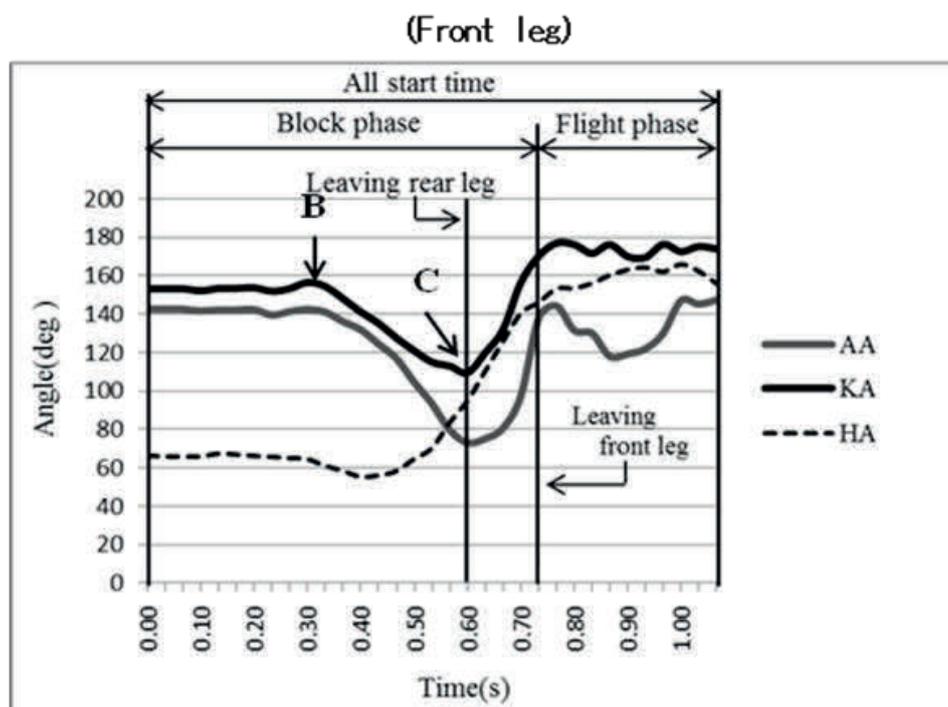
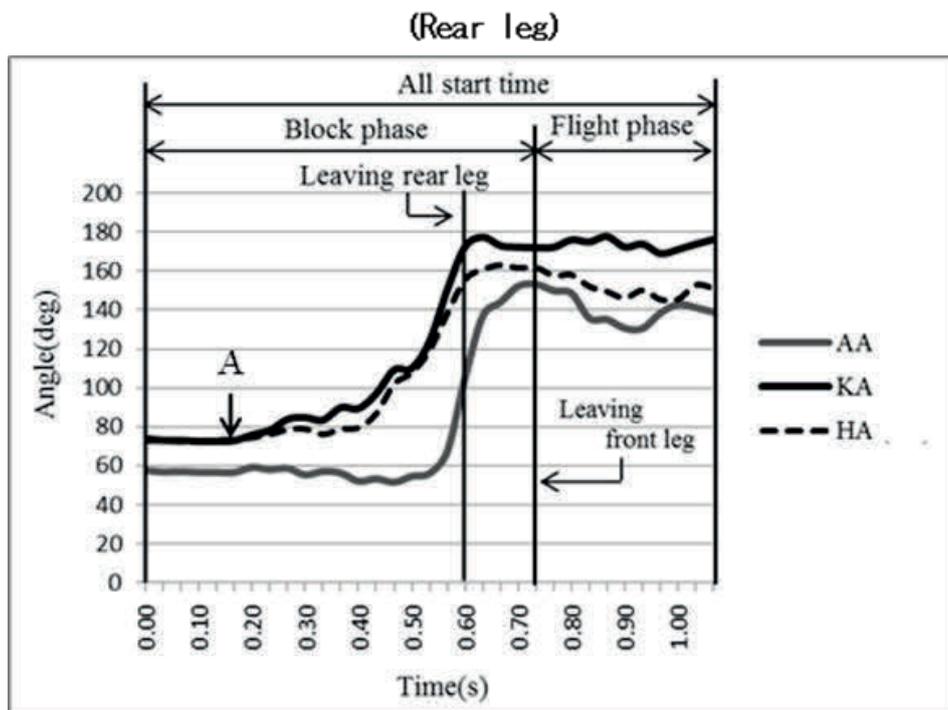


Fig.6 Time course of the lower angles in the subject A.

AA : Ankle angle, KA : Knee angle, HA : Hip angle

A : start of KA extension in the rear leg

B : start of KA flexion in the front leg

C : start of KA extension in the front leg

2. 体幹のねじれ

各被験者における体幹のねじれの変化を競技記録の高い順に Fig. 7 に示した。ブロック期全体を通じて TTA が増加し続けた被験者 E を除くと、全ての被験者において、TTA はブロック期中盤で一度小さく減少した後、前脚の離台前後まで急激に増加し、最大値に達した。この最大値は本研究の被験者において 9.8-15.8deg であった。その後のフライト期に TTA は減少し、着水時に競技記録の高い被験者 A と B では正の値を示したが、他の被験者では負の値まで減少した。また正の値を示した被験者 A と B では他の被験者に比べ、フライト期における TTA の減少速度がゆるやかであった。

WTA と TTA の波形を比較すると、全被験者において 2 つの波形が類似した。一方、STA はブロック期終盤からフライト期にかけて多少の増減を示したものの、全時間帯を通して WTA や TTA ほどの大きな変化は認められなかった。

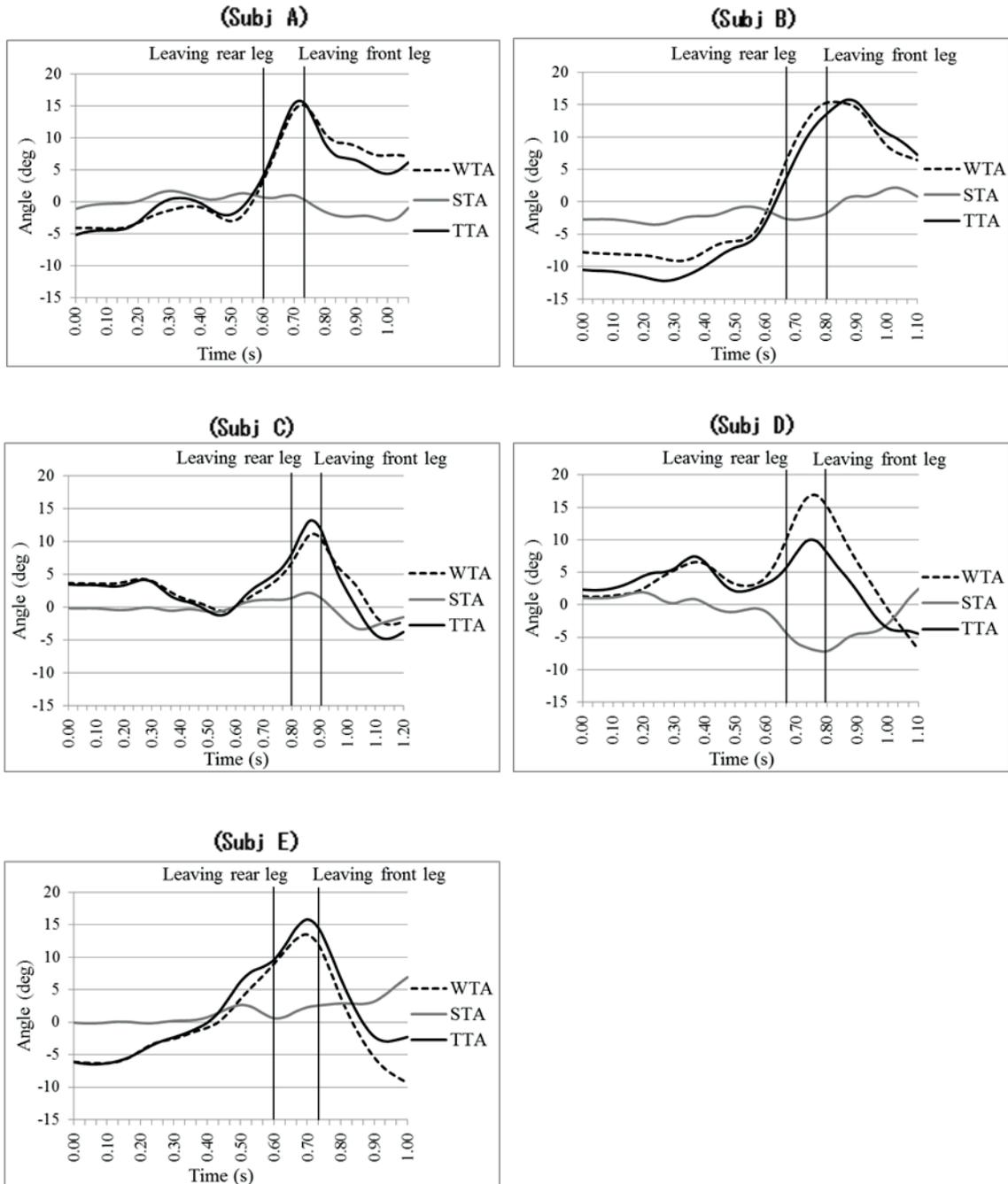


Fig.7 Time course of the twint movement in the trunk in each subjects.
WTA : west twist angle, STA : shoulder twist angle, TTA : trunk twist angle.

第 4 節 考察

競泳競技の勝敗は，スタート合図からゴールタッチまでの所要時間，すなわち記録により決定される（生田ほか，2010）．このため，スタート局面においては，（1）動作時間の短縮，（2）高い跳び出し水平速度の獲得が必要となる．

1. 動作時間の短縮

100m 自由形のベストタイムが 57.3 ± 2.33 s である男子大学競泳選手を対象とした本研究における K スタートの全スタート時間は 1.09 ± 0.07 s，BT は 0.79 ± 0.07 s，FT は 0.30 ± 0.02 s であった．これを本研究より競技記録のやや高い男子短距離選手 7 名（100m 自由形ベストタイム： 53.60 ± 3.48 s）を対象にした Vantorre et al.（2010）の結果と比較すると，G スタートとの対比においては全スタート時間で 0.18s 短く，BT でも 0.19s 短かったが，FT はほぼ同一であった．次に，T スタートとの対比においては全スタート時間で 0.10s 短く，BT でも 0.10s 短かったが，FT は同一であった．このように本研究の K スタートは被験者の泳力で上回る Vantorre et al.（2010）の G スタート及び T スタートに比べると，FT ではほぼ同じであるが，BT が短いために全スタート時間を短くしていると指摘できる．すなわち，従来のスタートに比べ BT が短いことが K スタートの利点であると考えられる．また，オーストラリアのトップ選手を対象とした Honda et al.（2010）の BT (0.77 ± 0.01 s) と本研究の結果はほぼ一致し，K スタートの BT には競技記録による差が生じなかったことから，BT の短縮という K スタートの利点は K スタートが本来備えている特性であると考えられる．

BT において T スタートは G スタートより短いことは武田ほか(2007b) や Mason et al.（2007），Vladimir and Oleg（2002）が報告しており，この理由として T スタートではその構え時の脚の配置によって台上所要時

間の早い段階で大きな水平反力を受けることが出来るためと考えられている (武田ほか, 2007b). さらに, BTにおいてKスタートがTスタートより短いことは尾関ほか (2015) や Biel et al. (2010) も報告しており, この理由として尾関ほかは, Kスタートは後脚でプレートを蹴ることにより上体を倒しこみやすく, それがBTの短縮につながると指摘している. このようにKスタートのパフォーマンスがTスタートやGスタートより高い理由の1つとしてBTの短縮があると考えられる.

2. 高い跳び出し水平速度の獲得

TスタートとGスタートの跳び出し水平速度については, Gスタートの方が高いとする報告 (Takeda and Nomura, 2006) と両者に有意な差はないとする報告 (武田ほか, 2007b; 田中・荻田, 1998) があるが, Kスタートにおける跳び出し水平速度はTスタートに比べて高いことが Honda et al. (2010) や尾関ほか (2015) によって報告されている.

本研究の下肢動作に注目すると, 前脚の膝関節は一度屈曲した直後に伸展を開始しており, 屈曲開始から伸展開始までの時間はわずかに 0.33 ± 0.06 s であった. ドロップジャンプ時のKAにおいて, 屈曲開始から伸展開始までの時間は, 0.31 ± 0.05 s であることから (佐久間ほか, 2009), 本研究の前脚の膝関節伸展筋群においては伸張 - 短縮サイクル (Stretch-shortening-cycle: SSC) が生じている可能性が考えられる. Bosco et al. (1982) によれば, SSCを利用すると純粋な短縮性筋収縮以上にコンセントリック局面の筋放電量は増大する. 武田ほか (2007a) はGスタートの両膝関節においてSSCを効果的に利用し, 関節トルクを大きくしている可能性があるとして指摘している. ただし, 本研究では関節トルクや筋電図の測定をしていないため, SSCの発生に関する確証を得ていない.

Kスタートの後脚動作については, バックプレートを蹴るため, Kス

タートの後脚の水平方向推力は T スタートより有意に大きい(野村ほか, 2011). この K スタートにおける後脚の大きな水平方向推力は T スタートより K スタートのパフォーマンスが高い要因の 1 つと考えられる.

K スタートでは両脚を前後に開いて構えた状態から動作を開始するため体幹のねじれが生じる可能性がある. 本研究では体幹全体のねじれを表す指標として TTA を, また, その内容を構成する下胴の回旋を表す指標として WTA を, 上胴の回旋を表す指標として STA を用いてねじれ動作を検討した. 本研究のブロック期に注目すると, 全被験者において TTA は前脚離台の前後で最大値を示し, 9.8-15.8deg のねじれが生じていた. さらに, 下胴の回旋を表す WTA と TTA の変化が類似していたことから, 体幹の回旋には下胴や下肢の動作が大きく影響していると考えられる. このねじれの発生原因の 1 つとして, 泳者は後脚でバックプレートを蹴る際に下肢の各関節の伸展に加え, 下胴を回旋させていることが挙げられる. 四肢の屈曲・伸展時に上胴や下胴の回旋を伴うことで四肢のみの運動時よりも発揮できるパワーが増大するケースが認められており(豊嶋ら, 1991; Naito et al., 2010), K スタートでも下胴の回旋を伴った後脚の伸展を行うことで, 伸展パワーを増大している可能性があると考えられる.

次にフライト期に着目すると, 全被験者で TTA の減少が見られ, 競技記録の高い 2 名の被験者では着水時に TTA は正の値であったが, 他の被験者では負の値まで減少した. 負の値まで減少した場合, ブロック期に生じた方向とは逆方向に体幹がねじれたことを示す. このような逆方向への過剰なねじれの原因として, これらの被験者においてねじれの復元速度が比較的急であったことが考えられるが, このために空中や水中での動作の安定性を欠き, ストロークへの移行に支障をきたす可能性が高いと考えられる. 被験者 A と B では他の被験者と比べ, 着水時までの体幹のねじれの復元速度がゆるやかであった. このことは, 不安定な空中

動作をバランスよく行なうことに貢献している可能性が考えられる。

第 5 節 小活

従来のスタート方法に比較し K スタートの利点を明らかにするために、3次元動作解析を用いて K スタートの動作特性を詳細に検討した。男子大学競泳選手 5 名における競泳の K スタートを対象として、両下肢の非対称性や体幹のねじれについて 3次元動作解析を用いて分析した。その結果以下のようなことが明らかになった。

- ・ブロック期において、前脚の KA においては短時間での屈曲から伸展への切り替えが見られたことから、前脚 KA では SSC を用いて伸展パワーを増大させている可能性がある。

- ・体幹全体のねじれ角度は上胴の回旋角度ではなく、下胴の回旋角度と類似した。また、体幹全体のねじれ角度はブロック期中盤から急激に増加し、前脚の離台前後に最大値 (9.8-15.8deg) に達した後、フライト期に減少した。これらのことから、体幹全体のねじれはブロック期における後脚の伸展に伴って生じる下胴の回旋が主な発生要因であり、下胴の回旋を伴うことで、後脚の各関節の伸展速度や伸展パワーをより大きくしている可能性がある。

第3章 Kスタート動作における熟練度による相違

第1節 研究目的

第2章において明らかにしたKスタートの動作特性を中心に、技能レベルの異なる被験者間でKスタート動作がどのように異なるかを検討することにより、Kスタートにおける技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにする。

第2節 研究方法

1. 被験者

被験者の身体特性とベスト記録の平均値(\bar{x})及び標準偏差(σ)をTable 3に示した。大学水泳部に所属する男子競泳選手13名のうち、5m通過タイムの上位6名を熟練上位群(Up)とし、7位から13位の7名を熟練下位群(Lo)とした。水泳部以外の運動部に所属する男子大学体育専攻学生14名を未熟練群(Un)とした。なお、未熟練群は水泳の授業においてイルカ跳びや座った状態からの飛び込みなどの段階を踏んだ指導を90分受けた学生のうち、Kスタートにおいて指先、肩、腰、足先の順に入水できた者とした。

Table 3 Physical characteristics of the subjects

Group	Age [yrs]		Height [cm]		Weight [kg]		Best record [m : s . ms]					
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	FC		BR		BF	
							\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Up (n=6)	21.2	±1.8	172.3	±7.3	64.3	±6.8	100m	54.68 ± 3.17 (n=3)	1:07.06 ± 1.88 (n=3)			
Lo (n=7)	19.7	±0.5	171.4	±4.0	61.6	±5.0	100m	56.33 ± 0.91 (n=2)	1:11.78 ± 4.19 (n=3)	59.34 ± 0.45 (n=2)		
Un (n=12)	21.8	±0.8	174.1	±6.6	65.8	±6.2	100m	1:32.90 ± 15.93 (n=12)				

\bar{x} = average ; σ = standard deviation ; FC = front crawl ; BR = breast stroke ; BF = butterfly.

Up = upper skilled group ; Lo = lower skilled group ; Un = unskilled group.

2. データ収集

測定は H 大学屋外プール（50m×8 レーン，水深 1.7-1.9m）で行った．被験者は，十分なウォーミングアップを行った後，バックプレート付きスタート台（Seiko 社製）を用いて K スタートから 5m 以上のけのび動作を行った．試技は基本的には 1 回のみであったが，水泳指導歴 10 年の指導者と被験者の両方が試技に失敗したと判断した時のみ，十分な休息時間を設けた後，2 回目の試技を行なわせた．試技の際，水着とスイミングキャップを着用した被験者に，頭頂，左右耳珠点，左右肩峰，左右肘，左右手首，左右中手指節関節，第 7 頸椎，第 10 胸椎，左右上後腸骨棘の中点，左右大転子，左右膝，左右外果，左右つま先，左右踵の計 24 箇所

に球体の発泡スチロールでマーキングを行った．

試技はブロック期（スタート合図- 両脚離台），フライト期（両脚離台 - 指先入水），エントリー期（指先入水- 全身入水），グライド期（全身入水- 5m 通過）の 4 期に分割した．ブロック期からエントリー期までは陸上に設置した 4 台のデジタルビデオカメラ（Olympus 社製，300fps）を用い（Fig. 8），グライド期は水中に設置した 1 台のデジタルビデオカメラ（Canon 社製，60fps）を用いて（Fig. 9），それぞれ撮影した．すべてのカメラはスタートシグナル用の雷管ピストルの白煙を用いて同期を行った．

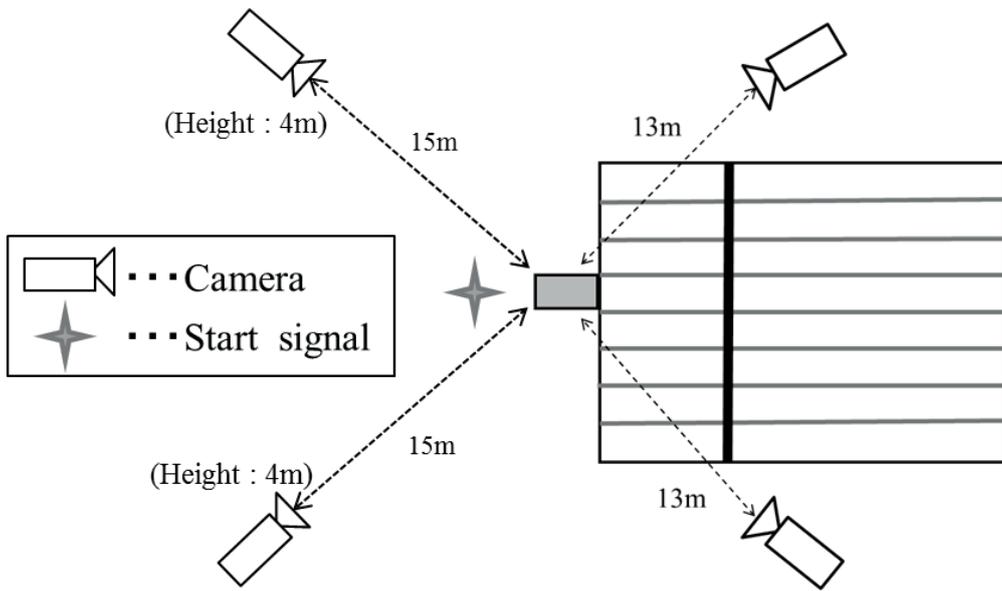


Fig.8 Start signal and camera placement in the 50m pool.

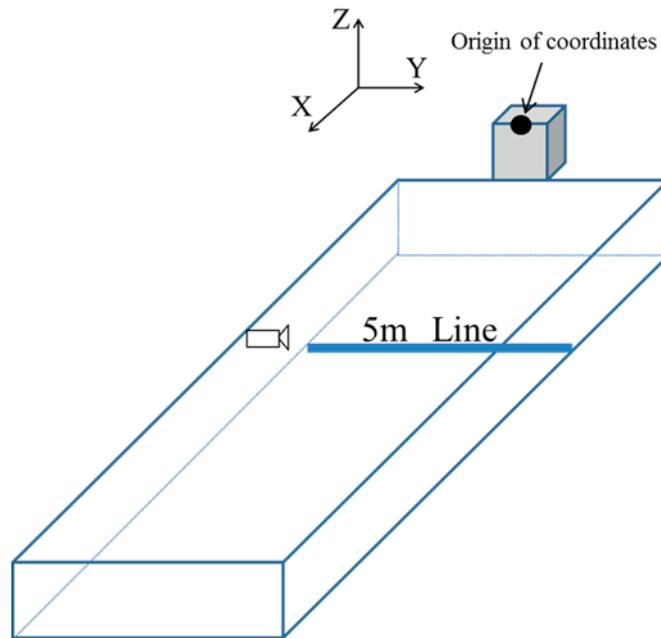


Fig.9 Camera placement in underwater and coordinate axes.

3. データ処理

デジタルビデオカメラで撮影した映像はパーソナルコンピュータに取り込み，三次元画像解析ソフトを用いて手動デジタイズを行い，三次元 DLT 法によって泳者のマーキングポイントの実座標を算出した．画像分析によって得られた実座標は Butterworth digital filter による平滑化を行った（遮断周波数 3.0-6.0Hz）．遮断周波数は残差分析法（Winter, 1990）により特定した．本研究ではスタート台前縁の中心を原点とする絶対座標系を設定し，座標軸は被験者の進行方向である水平ベクトルを X，鉛直軸を Z，X と Z に直行するベクトルを Y と設定した．すべてのデータにおいて DLT 法による計測誤差は X 軸方向が 8mm 以下，Y 軸方向が 12mm 以下，Z 軸方向が 18mm 以下であった．

4. 測定項目

本研究では阿江（1992）の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心座標を算出した．その際，胸骨上縁の代わりに第 7 頸椎を胴体の上端とした．本研究で測定した変数は以下のように定義し，その概略図を Fig. 10 に示した．また，関節角度については第 2 章と同じ方法で算出した．

- (1) 5m 通過タイム：スタートシグナルから被験者の頭部が 5m ラインを通過するまでの時間とした．
- (2) 5m 通過速度：被験者が 5m ラインを通過した時の身体重心速度の絶対値とした．
- (3) ブロックタイム：スタート合図から両足離台までの時間とした．
- (4) 跳び出し水平速度：離台時（被験者の両足がスタート台から離れた瞬間）における身体重心の水平速度とした．

- (5) 飛距離：スタート台前縁から泳者の手が着水した地点までの水平距離とした。
- (6) 入水速度：入水時（被験者の左右どちらかの指先が水面に到達した瞬間）における身体重心速度の絶対値とした。
- (7) 速度維持率： $(5\text{m 通過速度}) / (\text{入水速度}) \times 100$ とした。
- (8) 構え時重心高：構え時（スタート合図直前）における原点から身体重心点までの Z 座標の差とした。
- (9) 離台時重心高：離台時における原点から身体重心点までの Z 座標の差とした。
- (10) 重心高差：構え時重心高と離台時重心高の差とした。
- (11) 飛び出し角度：離台時における身体重心速度ベクトルと水平面がなす角度とした。
- (12) 飛び出し姿勢角度：離台時における身体重心と原点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- (13) 入水角度：入水時の身体重心速度ベクトルと水平面がなす角度とした。
- (14) 入水姿勢角度：入水時に中手指節関節中点と大転子中点を結んだベクトルと水平面がなす角度とした。
- (15) 入水迎え角度：入水角度と入水姿勢角度の差の絶対値とした。
- (16) 構え時上体角度：構え時において、第 7 頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- (17) 離台時上体角度：離台時において、第 7 頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- (18) 上体角度差：構え時上体角度と離台時上体角度の差とした。

- (19) 下胴の最大回旋速度：スタート合図から後脚離台までの間における下胴の回旋角度の最大値とした。
- (20) 規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間：BT を 100%とした規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間を百分率で示した。
- (21) 規格化時間における前脚 KA の伸展開始時間：BT を 100%とした規格化時間における前脚 KA の伸展開始時間を百分率で示した。
- (22) 構え時後脚 KA：構え時における後脚 KA とした。
- (23) 後脚 KA の最大屈曲時角度：ブロック期における後脚 KA の最大屈曲時の角度とした。
- (24) 後脚 KA の屈曲幅：後脚 KA における構え時と最大屈曲時の差とした。
- (25) 構え時前脚 KA：構え時における前脚 KA とした。
- (26) 前脚 KA の最大屈曲時角度：ブロック期における前脚 KA の最大屈曲時の角度とした。
- (27) 前脚 KA の屈曲幅：前脚 KA における構え時と最大屈曲時の差とした。
- (28) 後脚 KA の最大伸展速度：スタート合図から後脚離台までの間における後脚 KA の最大伸展速度とした。
- (29) 後脚 HA の最大伸展速度：スタート合図から後脚離台までの間における後脚 HA の最大伸展速度とした。
- (30) 前脚 KA の最大伸展速度：ブロック期における前脚 KA の最大伸展速度とした。
- (31) 前脚 HA の最大伸展速度：ブロック期における前脚 HA の最大伸展速度とした。

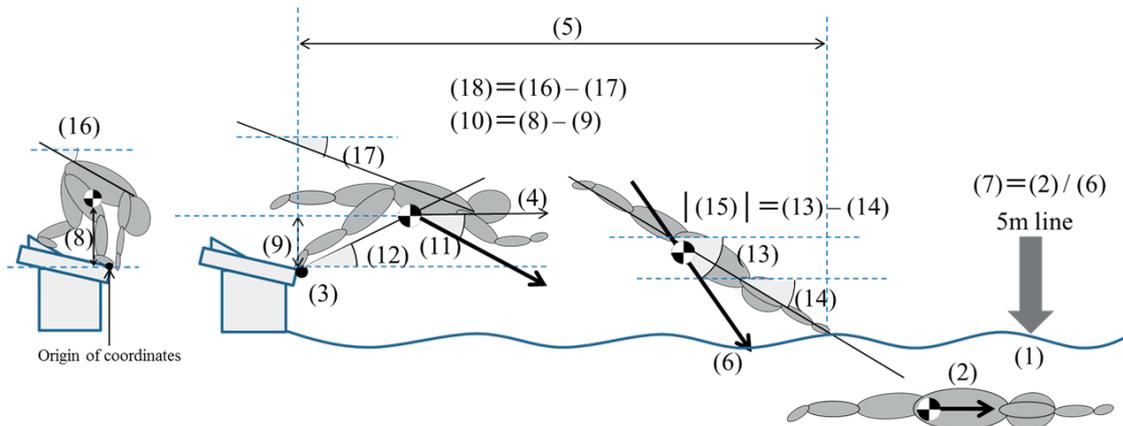


Fig.10 Definition of kinematical variables.

5. 統計処理

群間における各変数の平均値は，一元配置分散分析及び Tukey-Kramer 法による多重比較検定を用いて有意差を検定した．2 つの変数の相関検定にはピアソンの相関分析を用いた．各統計処理の有意水準は危険率 5% 未満とした．

第 3 節 結果

1. スタートパフォーマンスに関する項目

本章における結果のうち，スタートパフォーマンスに関する項目を Table 4 に示した．5m 通過タイムは熟練度が高いほど短い傾向にあり，熟練上位群は未熟練群より有意に短かった ($p < .05$)．5m 通過速度も熟練度が高いほど高く，すべての群間に有意差が認められた(いずれも $p < .01$)．BT も熟練度が高いほど短い傾向にあり，熟練上位群は未熟練群より有意に短かった ($p < .01$)．飛距離は熟練上位群と未熟練群が熟練下位群より有意に大きかった ($p < .05$)．飛び出し水平速度と入水速度はすべての群間に有意差が認められなかったものの，飛び出し水平速度は熟練度が高

いほど高い傾向を示した。速度維持率は熟練度が高いほど高く、すべての群間に有意差が認められた ($p<.01-.05$)。

2. 重心移動に関する項目

本章における結果のうち、重心移動に関する項目を Table 5 に示した。構え時重心高と離台時重心高の両方においてすべての群間に有意差が認められなかった。しかし、重心高差 (Fig. 11) については熟練度が高いほど小さい傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に小さかった ($p<.05$)。跳び出し角度及び跳び出し姿勢角度は群間に有意差が認められなかった。

入水迎え角度については熟練度が高いほど小さい傾向にあり、入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度のすべてにおいて熟練上位群及び熟練下位群と未熟練群との間に有意差が認められた (いずれも $p<.01$)。つまり、熟練上位群と熟練下位群は未熟練群より、入水角度において水平に近く、入水姿勢角度において水平から離れたことにより、結果として両角度の差である入水迎え角度は熟練度が高いほど 0deg に近かった。

また、跳び出し角度と跳び出し姿勢角度 (Fig. 12)、跳び出し角度と重心高差 (Fig. 13)、速度維持率と入水角度 (Fig. 14) に有意な正の相関が、速度維持率と入水姿勢角度 (Fig. 15)、速度維持率と入水迎え角度 (Fig. 16) に有意な負の相関が認められた (いずれも $p<.01$)。

3. 体幹動作に関する項目

本章における結果のうち、体幹動作に関する項目を Table 6 に示した。構え時上体角度は未熟練群が熟練下位群より有意に大きく ($p<.01$)、離台時上体角度は熟練下位群が熟練上位群及び未熟練群より有意に小さか

った ($p<.01-.05$). その結果として両角度の差である上体角度差は熟練度が高いほど大きい傾向にあり, 熟練上位群は未熟練群より有意に大きかった ($p<.05$) (Fig. 17). 下胴の最大回旋速度は熟練度が高いほど大きい傾向にあったが, 各群間に有意差は認められなかった.

また, 重心高差と上体角度差 (Fig. 18), 跳び出し水平速度と上体角度差 (Fig. 19) に有意な正の相関が認められた ($p<.01$). 下胴の最大回旋速度は後脚 HA の最大伸展速度と有意な相関を示した ($p<.05$) (Fig. 20).

4. 下肢動作に関する項目

本章における結果のうち, 下肢動作に関する項目を Table 7 に示した. BT を 100% とした規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間は熟練度が高いほど短い傾向にあり, 熟練上位群は未熟練群より有意に短かったが ($p<.01$). 後脚 KA の屈曲幅は各群間に有意差は認められなかったものの, 熟練度が高いほど大きい傾向が見られた. 前脚 KA の最大屈曲時角度は熟練度が高いほど大きい傾向にあり, 熟練上位群は未熟練群より有意に大きかった ($p<.05$). 後脚 HA と前脚 KA 及び HA の最大伸展速度は熟練度が高いほど高い傾向にあり, 後脚 HA のみ熟練上位群と未熟練群に有意差が認められた ($p<.05$).

また, 規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間及び後脚 KA の屈曲幅と BT との間に有意な相関が見られた ($p<.01$) (Fig. 21, Fig. 22). 重心高差と前脚 KA の最大屈曲時角度に有意な相関が認められた ($p<.01$) (Fig. 23). さらに前脚の KA 及び HA の最大伸展速度は跳び出し水平速度との間にそれぞれ有意な相関が見られた ($p<.01$) (Fig. 24, Fig. 25).

Table 4 Kinematic variables about start phase performance in each group.

		Upper skilled group (Up)		Lower skilled group (Lo)		Unskilled group (Un)		significant difference		
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	Up-Lo	Up-Un	Lo-Un
(1)	5m time	[s]	1.57±0.07	1.79±0.11	2.02±0.41					
(2)	5m velocity	[m/s]	4.48±0.67	3.24±0.88	2.28±0.65	**	**	**		**
(3)	Block time	[s]	0.71±0.04	0.75±0.05	0.87±0.18		**			
(4)	Take-off/horizontal velocity	[m/s]	4.42±0.17	4.28±0.21	4.18±0.81					
(5)	Flight distance	[m]	3.21±0.23	2.82±0.19	3.16±0.33					
(6)	Entry velocity	[m/s]	5.87±0.05	5.47±0.28	5.79±0.89					
(7)	Velocity maintenance rate	[%]	76.4±11.5	59.4±8.2	39.3±10.9	*	**	**		**

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$

Table 5 Kinematic variables about COG in each group.

	Upper skilled group		Lower skilled group		Unskilled group		significant difference
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
(8) Height of COG on start position	0.65±0.04		0.66±0.08		0.72±0.07		
(9) Height of COG on take off	0.57±0.11		0.49±0.07		0.49±0.10		
(10) Difference in height of COG between start position and take-off	-0.08±0.10		-0.17±0.07		-0.28±0.11		*
(11) Angle of projection on take-off	-4.5±6.5		-10.1±5.1		-10.1±4.9		
(12) Attitude angle on take-off	30.9±6.2		27.5±6.2		27.0±7.1		**
(13) Angle of projection on entry	-40.8±1.1		-40.8±1.5		-45.2±8.2		**
(14) Attitude angle on entry	-39.5±1.3		-44.0±5.7		-28.0±7.3		**
(15) Angle of attack on entry	1.3±1.3		4.7±4.8		17.2±9.5		**

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$, COG: center of gravity.

Table 6 Kinematic variables about trunk movement in each group.

	Upper skilled group (Up)		Lower skilled group (Lo)		Unskilled group (Un)		significant difference		
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	Up-Lo	Up-Un	Lo-Un
(16) Upper body angle on start position	[deg]	-23.0±18.2	-29.0±7.2	-12.7±6.2					**
(17) Upper body angle on take-off	[deg]	-4.4±6.1	-21.9±8.9	-11.5±9.8			**		*
(18) Difference in upper body angle between start position and take-off	[deg]	18.6±15.2	7.1±18.8	1.3±10.9			*		
(19) Maximum lower trunk rotation velocity	[rad/s]	2.4±0.7	2.2±0.4	1.8±0.9					

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$

Table 7 Kinematic variables about lower limbs movement in each group.

	Upper skilled group (Up)		Lower skilled group (Lo)		Unskilled group (Un)		significant difference Up-Lo Up-Un Lo-Un
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
(20) Start of KA extension in the rear leg	28.9±7.7		48.5±16.9		55.6±19.4		**
(21) Start of KA extension in the front leg	75.1±5.6		75.1±8.8		75.7±5.1		
(22) KA in the rear leg on start position	85.5±19.8		88.5±4.8		97.4±16.8		
(23) Max bending KA in the rear leg	84.1±18.0		83.8±4.6		83.0±9.0		
(24) Bending width of KA in the rear leg	1.4±2.4		4.7±6.2		14.4±14.4		
(25) KA in the front leg on start position	140.5±5.8		145.2±8.6		134.2±12.8		
(26) Maximum bending KA in the front leg	103.8±7.3		96.1±9.2		88.6±10.6		*
(27) Bending width of KA in the front leg	36.6±5.7		49.2±8.8		45.6±15.5		
(28) Maximum KA extension velocity in the rear leg	16.9±4.3		17.2±2.5		15.2±4.6		
(29) Maximum HA extension velocity in the rear leg	7.0±1.6		5.8±0.8		5.7±0.8		*
(30) Maximum KA extension velocity in the front leg	19.0±2.8		17.1±2.8		16.1±4.4		
(31) Maximum HA extension velocity in the front leg	8.6±0.6		7.7±0.5		7.5±2.0		

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$

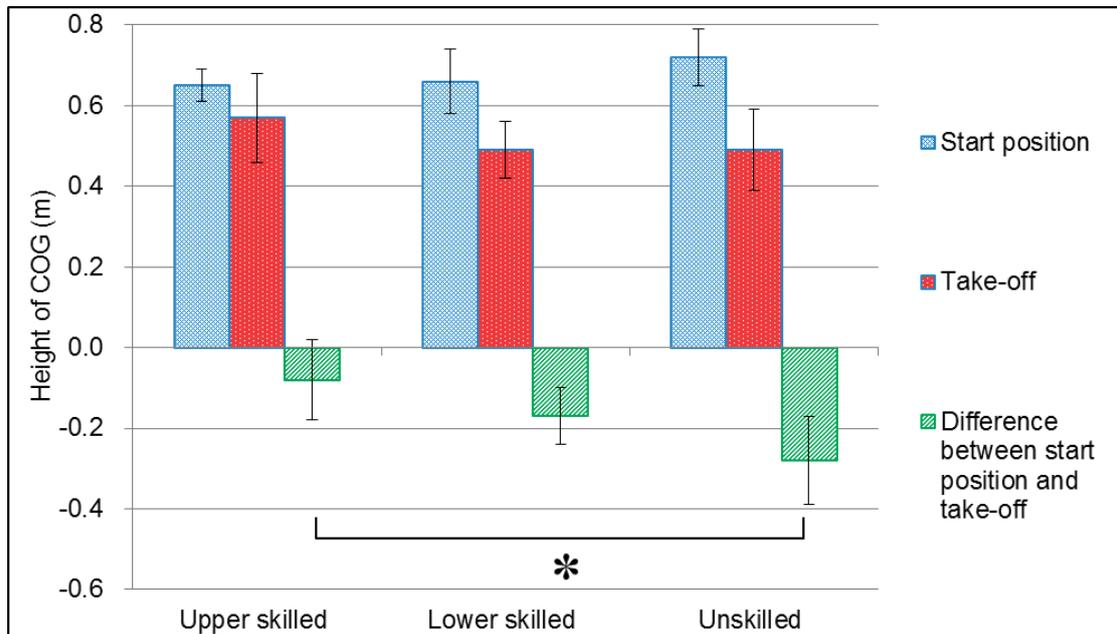


Fig.11 Difference in height of COG among the three groups.
 *: significant difference at $p < .05$.

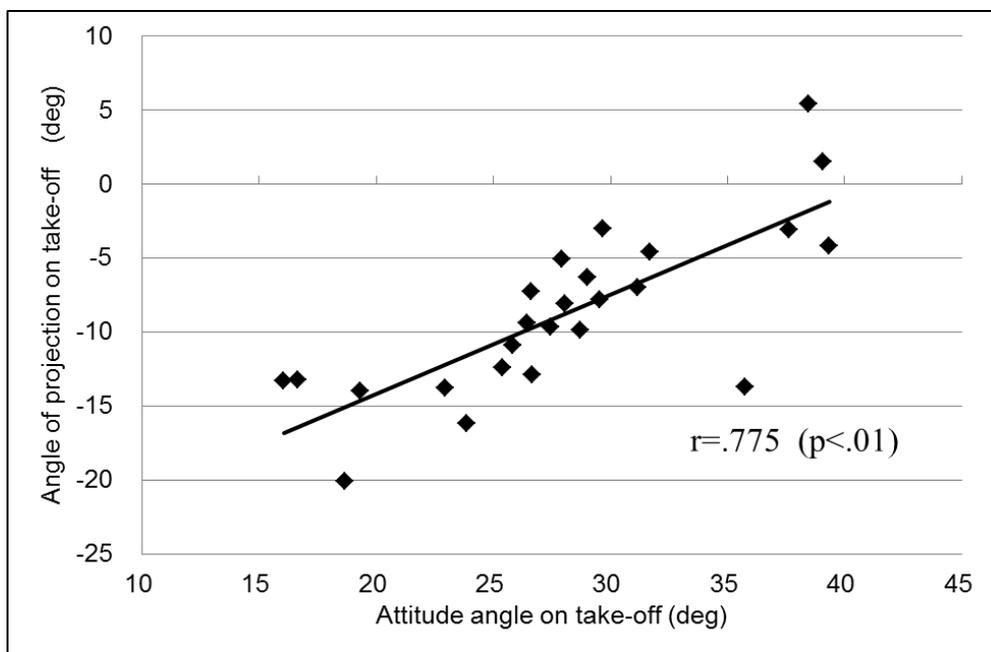


Fig.12 Relationship between attitude angle on take-off and angle of projection on take-off.

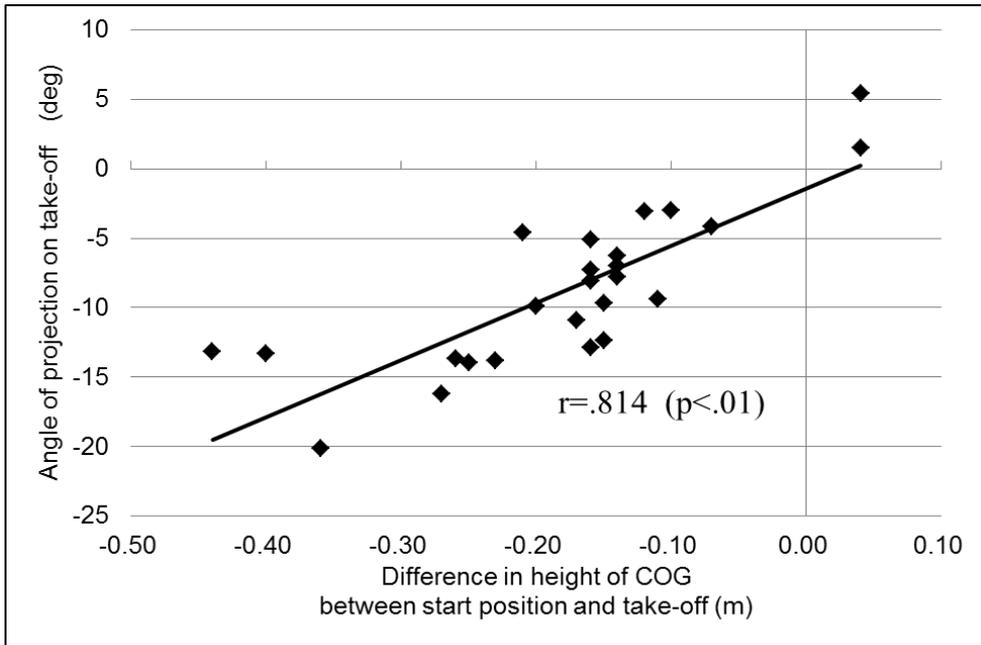


Fig.13 Relationship between difference in height of COG between start position and take-off and angle of projection on take-off.

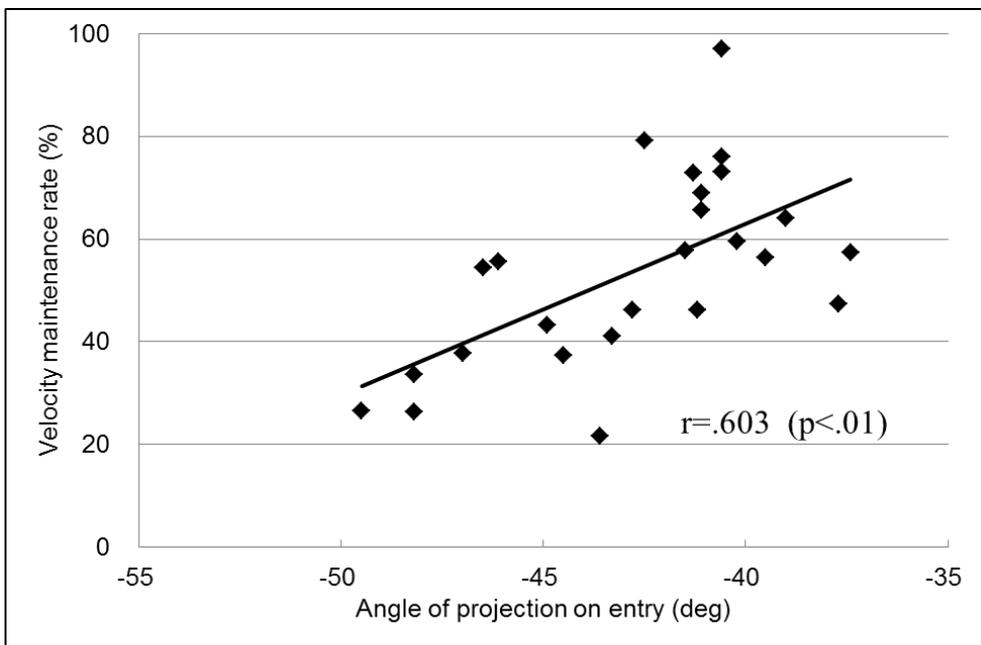


Fig.14 Relationship between angle of projection on entry and velocity maintenance rate.

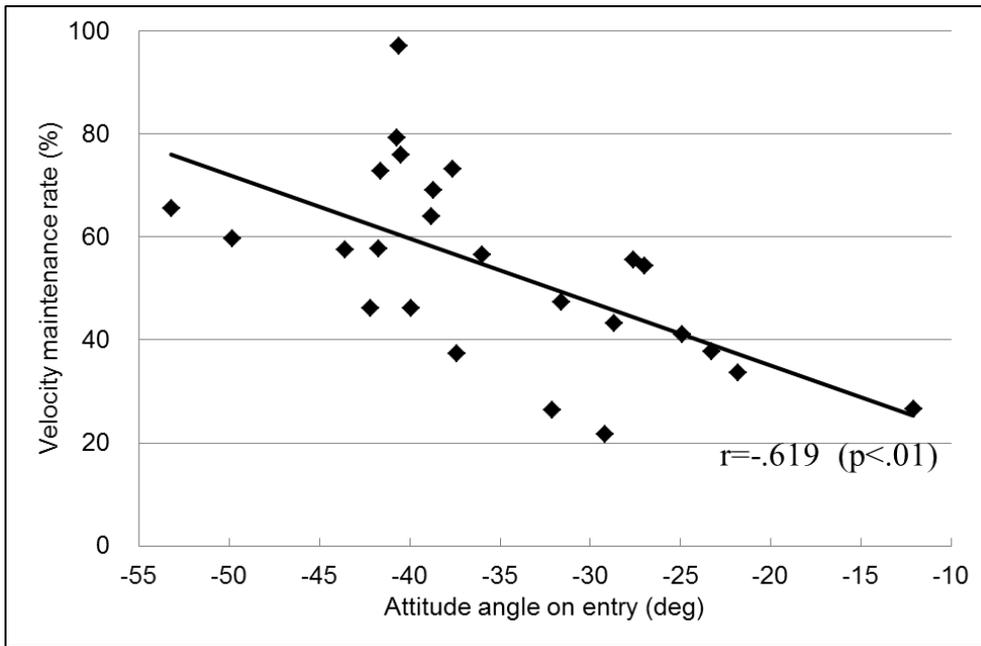


Fig.15 Relationship between attitude angle on entry and velocity maintenance rate.

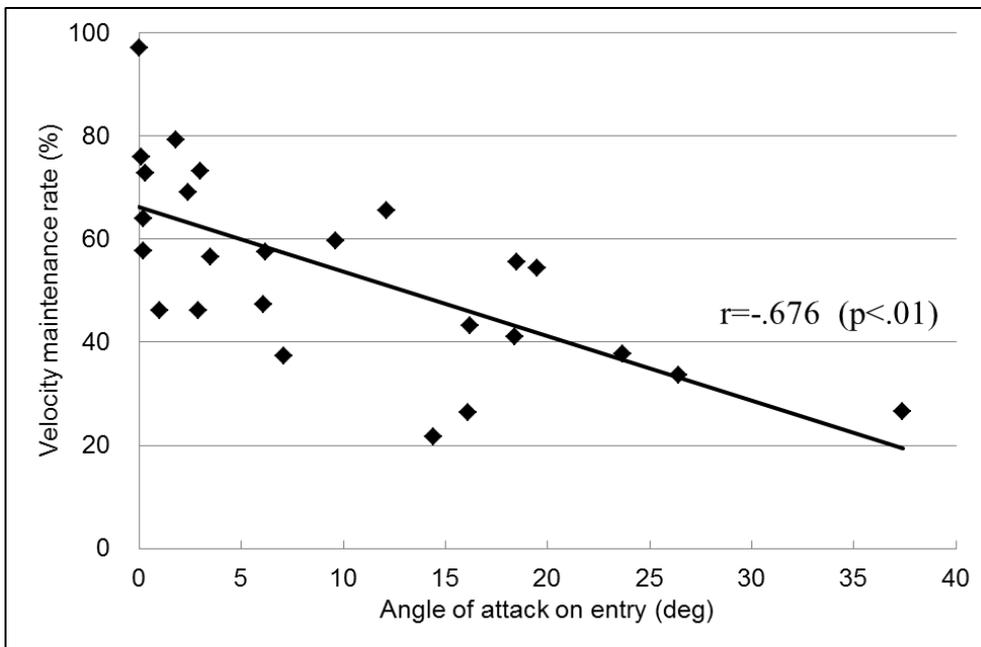


Fig.16 Relationship between angle of attack on entry and velocity maintenance rate .

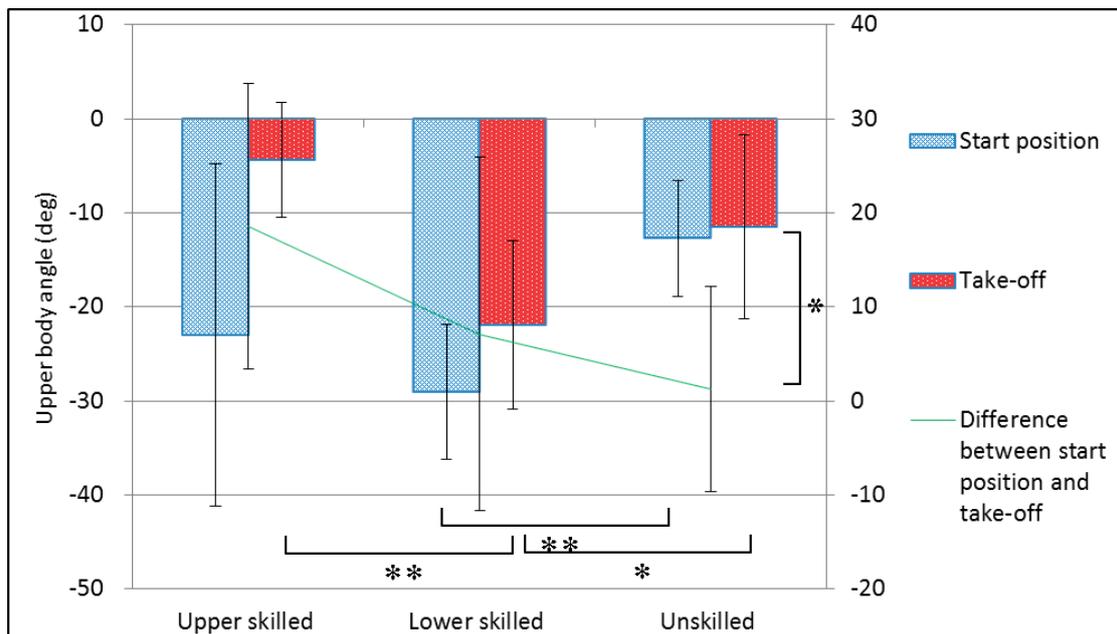


Fig.17 Difference in upper body angle among the three groups.
 * : significant difference at $p < .05$, ** : significant difference at $p < .01$.

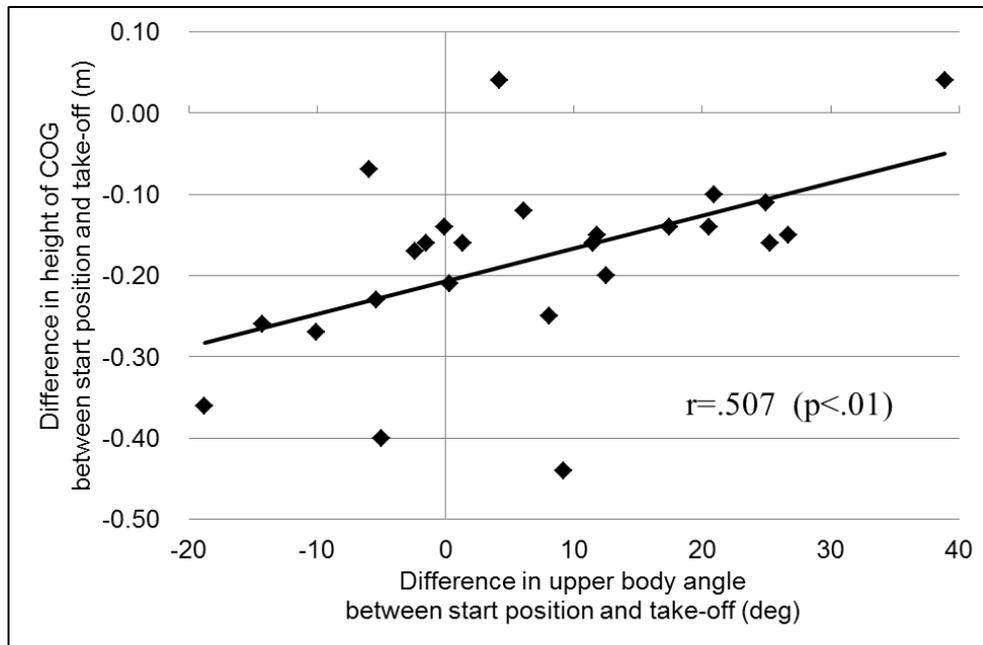


Fig.18 Relationship between difference in upper body angle between start position and take-off and difference in height of COG between start position and take-off.

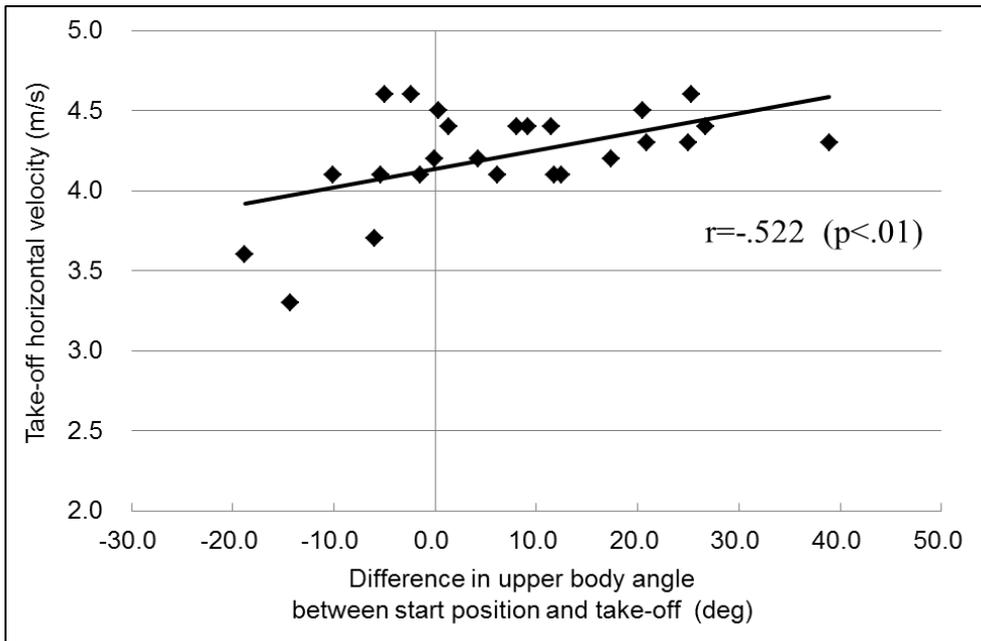


Fig.19 Relationship between difference in upper body angle between start position and take-off and horizontal take-off velocity.

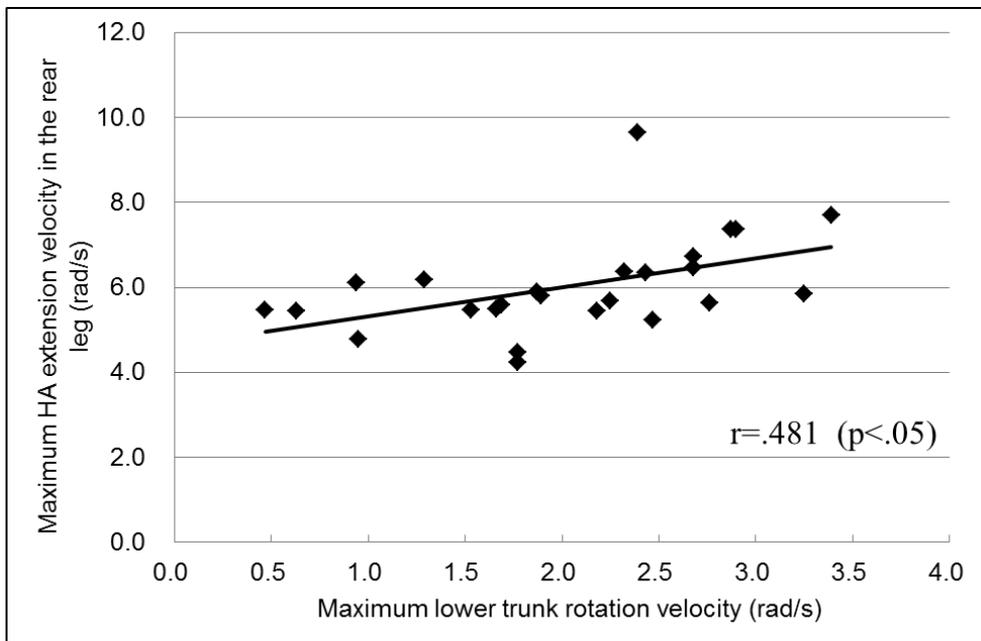


Fig.20 Relationship between maximum lower trunk rotation velocity and maximum HA extension velocity in the rear leg.

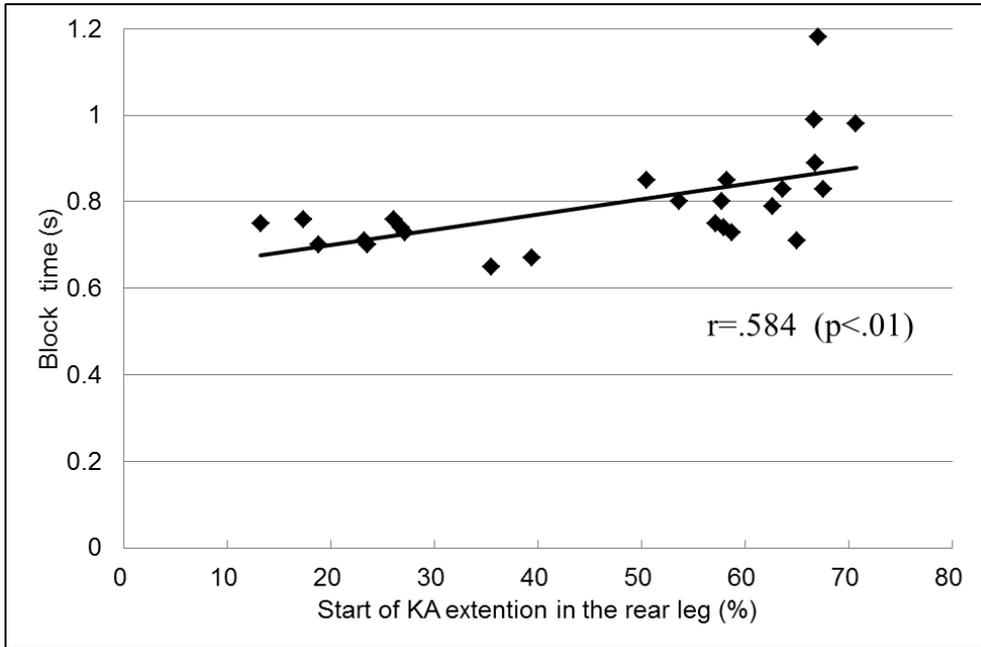


Fig.21 Relationship between start of KA extension in the rear leg and block time.

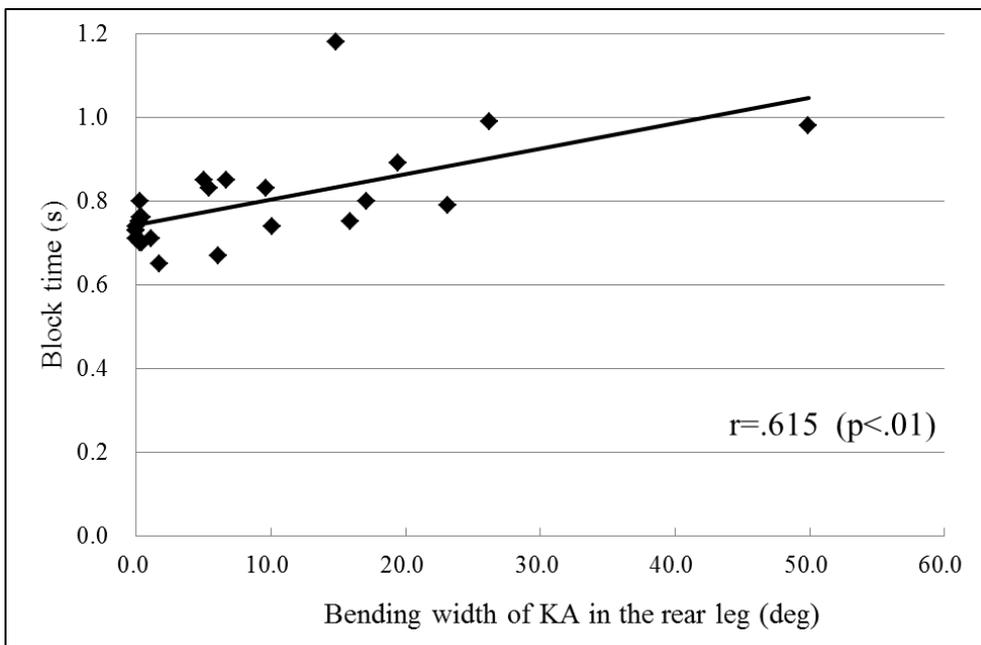


Fig.22 Relationship between bending width of KA in the rear leg and block time.

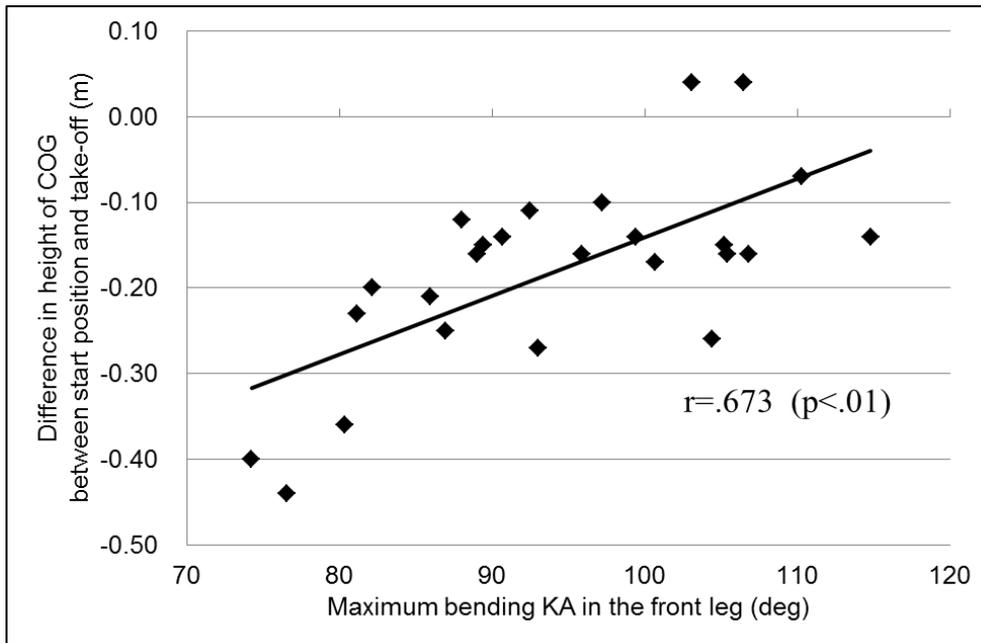


Fig.23 Relationship between maximum bending KA in the front leg and difference in height of COG between start position and take-off.

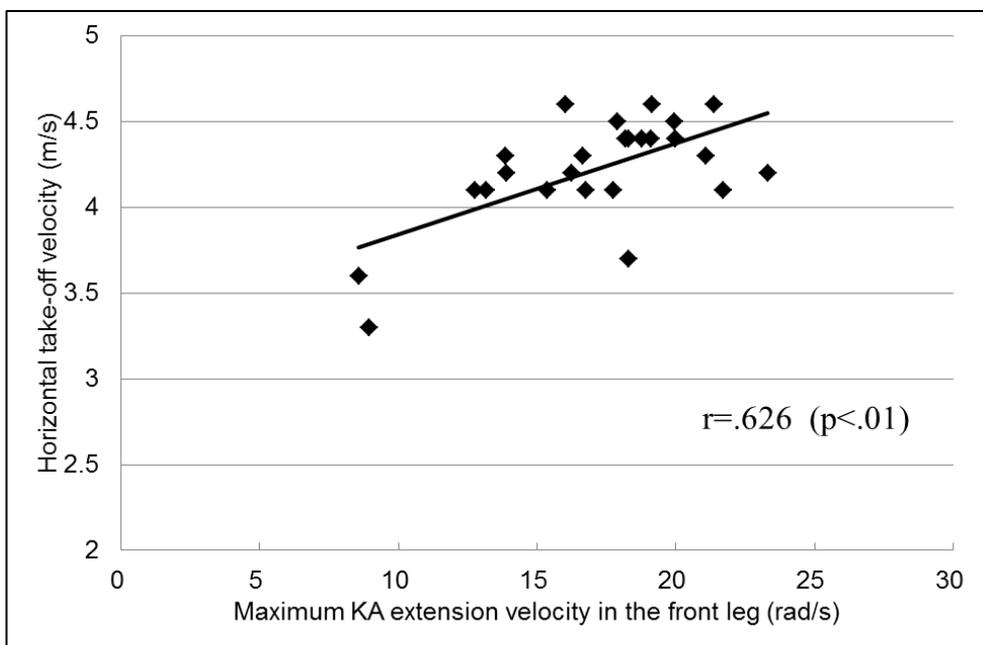


Fig.24 Relationship between maximum KA extension velocity in the front leg and horizontal take-off velocity.

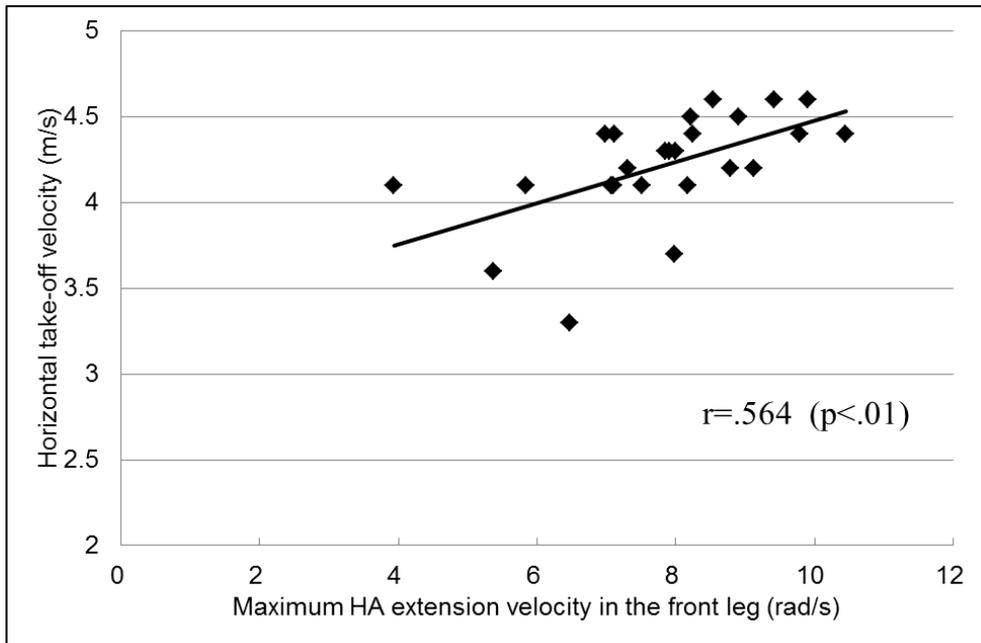


Fig.25 Relationship between maximum HA extension velocity in the front leg and horizontal take-off velocity.

第 4 節 考察

1. K スタートの巧拙の要因

熟練度が高いほど 5m 通過タイムが短く，5m 通過速度が高い傾向がみられたことから，本研究の被験者は，熟練度が高いほど 5m 通過時に，タイムでも速度でも優位であることが示された．

5m 通過タイムはブロック期，フライト期，エントリー期，グライド期に区分することができる．まず，本研究のブロック期については熟練度が高いほど BT が短い傾向が見られた．G スタートや T スタートを対象とした Tanner (2001) や Arellano et al. (2000) では，BT が短距離レースやスタート局面全体に与える影響は小さいとされている．しかし，本研究における熟練上位群と未熟練群との BT の差は 0.16s であり，この時間は 5m 通過タイムにおける両群間の差 0.45s の 36% を占めていた．また，BT を 100% とした規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間と後脚 KA の屈曲幅は熟練度が高いほど値が小さいこと，さらにこれら 2 つの値と BT との間にそれぞれ有意な正の相関 ($r=.584$, $r=.615$) が見られたことから，ブロック期において熟練度が高い泳者は構えから後脚 KA をそれ以上の屈曲することなく，ただちに伸展し始めることで BT を短縮していたと考えられる．尾関ほか (2012) によると，国内一流選手の K スタートではブロック期の早い段階で後脚によって地面反力を発揮しており，本研究の知見と一致する．

次にフライト期に着目する．競泳の全レース局面の大部分を占めるストローク期に進行方向への速度を高く保持して移行するためには，フライト期への移行時の身体水平移動速度である跳び出し水平速度を高めることが重要であると考えられる．本研究において跳び出し水平速度は熟練度が高いほど高い傾向にあった．吉田・斉藤 (1981) や本間ほか (1997)

も、5m 通過時間や 10m 通過時間と飛び出し水平速度との間に有意な負の相関を認めている。ただし、本研究の飛び出し水平速度では各群間の差が有意ではなく、この原因として、本研究の未熟練群は陸上競技や球技種目等の水泳以外のスポーツの熟練者であり、高い脚力を有していたことが考えられる（岡子ほか、1993）。飛び出し水平速度を増加するためには後脚の伸展によって得られる床反力を増加することが有効であると指摘されている（Ikeda et al., 2016）。本研究でも後脚 HA の最大伸展速度において熟練上位群と未熟練群の間に有意差が認められ、熟練度の高い泳者ほど後脚の伸展によって得られる床反力は大きかったと考えられる。また、後脚 HA の最大伸展速度と下脛の最大回旋速度との間に有意な相関が認められたことから ($r=.481$)、下脛の最大回旋速度の増加によって、後脚 HA の最大伸展速度も増加する可能性がある。ただし、本研究において後脚の各関節の最大伸展速度と飛び出し水平速度との間に有意な相関は認められなかった。飛び出し水平速度と有意な相関を示した変数として前脚 KA 及び HA の最大伸展速度が挙げられる (KA: $r=.626$, HA: $r=.564$)。これらのことより、本研究で対象とした熟練度の泳者の場合、後脚ではなく前脚の伸展力を強化することが飛び出し水平速度の増加につながると考えられる。第 2 章で前脚 KA における SSC の利用によって伸展パワーを強化できる可能性が示唆されたが、本章では SSC の利用の有無や熟練度による違いなどは明らかにできなかった。

飛び出し水平速度に加えて飛距離も 15m 通過タイムとの有意な相関があると報告されており（Ruschel et al., 2007）、スタート局面のパフォーマンスの決定要因の 1 つであると言える。離台後の身体重心の移動は放物運動とみなすことができるため、飛距離は初速の大きさ（飛び出し合成速度）と投射方向（飛び出し角度）によって決まる。飛び出し角度は

正の値であれば水平より上向きに，負の値であれば水平より下向きに離台していることを示す．本研究でも飛び出し角度は熟練上位群で $-4.5 \pm 6.5 \text{deg}$ ，熟練下位群で $-10.1 \pm 5.1 \text{deg}$ ，未熟練群で $-10.1 \pm 4.9 \text{deg}$ といずれもやや下方へ向かって離台していた．飛距離について，熟練下位群は熟練上位群よりも有意に小さく，未熟練群も熟練上位群より小さい傾向にあったため，どちらの群も飛び出し角度を増加によって飛距離を増加できるものと考えられる．

飛び出し角度は離台以前の動作によって決定されるため，ブロック期における動作と飛び出し角度の関係について検討する．G スタートにおいては，飛び出し角度と飛び出し姿勢角度との間に $r=.93$ 以上の非常に強い正の相関があり，泳者が身体を前方に倒しこんだ角度によって飛び出し角度が決まるとされている（武田ほか，2006）．本研究でもこの2つの変数間に有意な正の相関（ $r=.775$ ）が認められたことから，K スタートにおいても飛び出し姿勢角度が小さいほど飛び出し角度も小さくなると考えられる．ただし，K スタートでは相関係数がG スタートより小さかったことから，飛び出し姿勢角度以外にも飛び出し角度に影響する要因があると考えられる．その1つとして，構え時と離台時における重心高差が考えられる．飛び出し角度は離台時の重心移動ベクトルの方向を示すため，その決定にはブロック期における身体重心の軌道が関与すると推測される．そこで重心高差と飛び出し角度との関係について検討したところ，重心高差は熟練度が高いほど小さく，さらに重心高差と飛び出し角度との間に有意な正の相関（ $r=.814$ ）が認められ，重心高差が小さいほど飛び出し角度も大きい（ 0deg に近づく）ことが示唆された．

このように，重心高差を小さくすることが適切な飛び出し角度の獲得に有効であると考えられるため，重心高差に影響する要因について検討

する。本研究において、重心高差と前脚 KA の最大屈曲時角度との間に有意な正の相関 ($r=.673$) が認められた。前脚 KA の最大屈曲時とは前脚 KA の伸展開始時と同じであり、熟練度に関係なくブロック期の約 75% 時点のブロック期終盤で発現している。片脚立ち時における膝の伸展力は深い屈曲位では著しく弱く、100deg 程度になるまで大きくならないとされていることから (野原ほか, 1972)、前脚 KA の屈曲が浅い熟練上位群は、伸展開始当初から高い伸展力を発揮できたため、ブロック期終盤において重心高を維持しやすい動作であったと考えられる。

また、本研究においては、重心高差と上体角度差との間に有意な正の相関 ($r=.507$) が認められた。上体角度差は熟練度が高いほど大きく、大きな上体角度差は上体を深く折り曲げて構え、離台時には上体を水平近くまで起こすことにより得られる。ブロック期においては膝の屈曲等により重心高が徐々に低下していくが、離台までに上体を大きく起こすことで重心高の低下を抑えることができると考えられる。スクワットジャンプにおいて、上体起立状態から跳ぶ場合と上体前屈姿勢から体を起こしながら跳ぶ場合とでは、後者の方で高い跳躍高が得られる (蛭田ほか, 1986) ことに加え、本章において K スタートでも上体角度差と跳び出し水平速度との間に有意な相関が認められたため ($r=.523$)、K スタートにおいて構えから離台までの間に上体を大きく起こすことは、重心高の維持だけでなく、跳び出し速度の増加につながる可能性が考えられる。

フライト期の後、エントリー期を経てグライド期へ移行するが、跳び出し水平速度や入水速度に群間の有意差が見られなかったにも関わらず、5m 通過速度や速度維持率は熟練度が高いほど高かった。このことから、熟練度の高い被験者は水中での減速を抑える技術に優れていることが示唆された。そこで、エントリー期やグライド期における減速を抑え、高

い速度を維持するために必要な要因について検討する。本研究においては、入水後の減速を減らす技術を示す速度維持率と入水角度 ($r=.603$) との間に有意な正の、入水姿勢角度 ($r=-.619$)、入水迎え角度 ($r=-.676$) との間に有意な負の相関が認められた。尾関ほか (2010) もグライド期開始時の身体重心速度であるグライドスピードと入水角度 ($r=.536$) との間に有意な正の、入水姿勢角度 ($r=-.748$)、入水迎え角度 ($r=-.792$) との間に有意な負の相関を認めている。これらのことから入水方法は入水後の身体移動速度に強い影響を与えると考えられる。各群間の比較については、入水角度において熟練上位群及び熟練下位群が未熟練群より有意に水平に近い値を示した。一方、入水姿勢角度においては未熟練群が熟練上位群及び熟練下位群より有意に水平に近い値を示した。この結果、両者の差の絶対値である入水迎え角度は熟練度が高いほど小さい傾向を示した。入水迎え角度が小さいことは、入水時の身体重心移動ベクトルと身体の長軸の角度がより一致することを意味する。このため、入水方向を示す身体重心ベクトルに直交する身体の断面積も小さくなり、入水時に水から受ける抵抗を最小限にできると考えられる (尾関ほか, 2010)。このことから、本研究の熟練度の高い被験者は、入水時に水から受ける抵抗を小さくする技術に優れていることが示唆された。

2. K スタートの技術指導への示唆

スタート局面ではそれに続くストローク局面へ短時間で、かつ、高い速度を保って移行することが求められる。その達成には、BTの短縮、跳び出し水平速度の増加、飛距離の増加、入水後の速度維持などが課題となるが、本章で得られたKスタートの巧拙を生じさせる動作的要因から

これらの課題に対する指導方法について考察する。

まず、BTは構えの姿勢からそれ以上後脚KAを屈曲することなく、ブロック期の早い段階で伸展し始めることでその短縮が可能であると考えられる。窪（2005）は振り子モデルによる分析により、水平方向の重心速度を伸展要素と回転要素に分けると（Fig. 30）、Tスタートはブロック期初期の腕の引きつけと後脚の伸展動作によって、回転要素による速度の立ち上がりを強調できると述べている。バックプレートを蹴るKスタートではTスタートより後脚の伸展動作で得られる偶力の水平成分が大きいため、ブロック期の早い段階で後脚KAを伸展し始めることで、身体重心をより水平方向へ移動させやすいと考えられる。

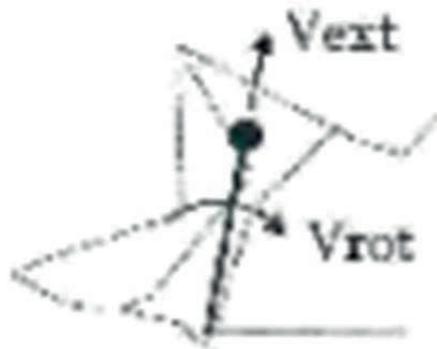


Fig.26 pendulum model (Kubo, 2005).
 V_{ext} : extensional component of COG velocity,
 V_{rot} : rotational component of COG velocity.

跳び出し水平速度については、構えから離台までの間に上体を大きく起こし、身体重心の前方への移動を促すことが増加手段に挙げられる。また、本研究では明らかにできなかったものの、前脚 KA や HA の最大伸展速度を増加する方法についての知見が得られれば、跳び出し水平速度の増加につながるであろう。これらに加えて、Ikeda et al., (2016) で示されたように後脚の伸展力強化が跳び出し水平速度の増加につながるとすると、下胴の最大回旋速度を増加させることで後脚 HA の最大伸展速度も増加できる可能性がある。

先述のとおり飛距離は初速の大きさ（跳び出し合成速度）と投射方向（跳び出し角度）によって決まるため、跳び出し角度の増加は飛距離増加の効果的な手段であると考えられる。本研究ではブロック期の重心高差を抑制することで跳び出し角度を増加できる可能性が示された。さらに、上体角度差及び前脚 KA の最大屈曲時角度がブロック期の重心子差と有意な相関を示したため、これらの動作を改善することで結果的に飛距離の増加につながると推測される。

入水後の速度維持率を増加させる方法としては入水方法（入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度）を改善することが挙げられる。特に入水迎え角度が大きく、身体重心ベクトルに直交する身体の断面積が大きい泳者の場合、入水角度と入水姿勢角度の差をできるだけ小さくすることは水抵抗を受ける投射面積を減ずる上で有効な手段であると考えられる。ただし、本研究では未熟練群に入水方法の稚拙さが見られたものの、熟練上位群と熟練下位群の間に入水方法の差は見られなかった。よって、入水方法の改善による速度維持率の増加はある程度の技能を持つ泳者にとっては効果が薄いと考えられる。

以上のように K スタートのパフォーマンスを改善するための知見が本

章で数多く得られた。本研究の目的は、K スタートの技能の低い泳者がスタート局面のパフォーマンスを向上できる効果的な指導方法を提案することである。ここまで挙げてきたスタート局面のパフォーマンスを改善できうる方法から、この目的に適したものの選出し、次章で具体的な指導方法とその効果について検討する。

後脚 KA の伸展開始を早めて BT を短縮する方法は、BT が短距離レースやスタート局面全体に与える影響が小さい (Tanner, 2001; Arellano et al., 2000) とされていることから、優先度は低いと考えられる。また、入水方法の改善により速度維持率を増加させる方法は本章における未熟練者のように K スタート技能の大きく劣る泳者では有効な手段であると考えられるが、入水方法において、熟練上位群と熟練下位群との差は小さかったことから、ある程度の技能を持つ泳者には有効であるとは言えなかった。

スタート局面のパフォーマンスと相関が高いとされているのは跳び出し水平速度と飛距離であるが (吉田ほか, 1981; 本間ほか, 1997; Ruschel et al., 2007), 競技力の高い泳者では飛距離を犠牲にしてでも跳び出し水平速度を高めているとされており (武田ほか, 2006), 跳び出し水平速度がより重視されている。本研究において前脚 KA 及び HA の最大伸展速度を増加することで跳び出し水平速度が増加する可能性が示されたが、これらの関節の最大伸展速度を増加する具体的な方法が明らかにできなかった。また、Ikeda et al. (2016) で示された後脚の伸展力強化が跳び出し水平速度につながるという関係性も本研究では確認できなかったため、技能の低い泳者の場合、仮に下胴の最大回旋速度を増加によって後脚 HA の最大伸展速度が増加できたとしても跳び出し水平速度が増加するとは限らない。本研究で熟練度の低い泳者は飛距離と跳び出し水平速

度の両方が小さかったため、K スタートの技能が低い泳者は飛距離の増加によるスタート局面のパフォーマンス向上も大きいと期待される。よって、K スタートの技能が低い泳者に対して、跳び出し角度の増加によって飛距離を大きくする指導方法を構築することはスタート局面のパフォーマンスの改善方法を追究するうえで有意義な取り組みであると考えられる。本研究では前脚 KA の最大伸展速度と上体角度差の増加によってブロック期の重心高低下が抑制され、跳び出し角度が増加し、結果的に飛距離が増加する可能性が示唆された。一方で、熟練度の低い泳者において、前脚 KA の伸展筋力の低さが過度な屈曲の原因になっている可能性も否定できず、その場合、伸展筋力の強化なしに前脚 KA の動きを改善できないと考えられる。ただし、最も前脚 KA の最大屈曲時角度が小さかった未熟練群の被験者は他競技の競技者であったため、熟練上位群及び下位群より脚筋力が劣っていたとは考えづらく(図子ほか, 1993), 前脚 KA の伸展筋力が最大屈曲時角度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

第 5 節 小活

本章の目的は、第 2 章において明らかにした K スタートの動作特性を中心に、技能レベルの異なる被験者において K スタートの動作がどのように異なるかを横断的に検討することで、K スタートにおける技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにすることであった。被験者は男子大学競泳選手 13 名と男子大学体育専攻学生 14 名であり、5m 通過タイムに基づき熟練上位群、熟練下位群、未熟練群の 3 群に分けられた。その結果以下のような知見が得られた。

- ・ BT は熟練度が高いほど短かった。また、BT は後脚 KA の屈曲幅とは

正の、規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間とは負の有意な相関をそれぞれ示した。よって、熟練度が高いほど後脚 KA を伸展するタイミングを早めることで BT を短縮していたと考えられる。

・ 飛び出し水平速度は熟練度が高いほど大きい傾向を示した。それには前脚の KA 及び HA の最大伸展速度の大きさが関与していると考えられ、その伸展速度を増加する方法として SSC の効果的利用などを検討したが、増加方法は明らかにできなかった。また、本件研究では後脚の伸展力と飛び出し水平速度との間に有意な相関がなかったものの、下胴の回旋速度を高めることで、後脚 HA の伸展を強化できる可能性がある。

・ 熟練度が高いほど速度維持率が高く、その要因として、入水方法（入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度）の違いが挙げられた。特に未熟練群は他の二群より入水技術が劣っていた。

・ 熟練度の低い泳者の場合、飛距離の増加によるスタート局面のパフォーマンスを向上が見込まれ、ブロック期の重心高低下を抑制することができれば飛び出し角度増加は増加すると考えられる。

第 4 章 キックスタートの巧拙を生じさせる動作的要因から導かれた

指導方法の効果の検討

第 1 節 研究目的

第 3 章において K スタートの技能が低い泳者は飛距離を優先的に改善すべきであり，そのために跳び出し角度を増加する必要があるという示唆を得た．本章では跳び出し角度の増加に有効であると考えられるブロック期の重心高差の抑制を目指した指導を行うことで，泳者の K スタート動作やスタート局面のパフォーマンスにどのような影響があるかを検討する．

第 2 節 研究方法

1. 被験者

被験者は大学水泳部に所属する男子競泳選手 7 名と非競泳選手で水泳の授業を受講した男子大学体育専攻学生 5 名で，前者を熟練群，後者を未熟練群とし，両群に属する泳者の身体特性とベスト記録の平均値 (\bar{x}) 及び標準偏差 (σ) を Table 8 に示した．熟練群の競技力は第 3 章の熟練下位群と，未熟練群の競技力は第 3 章の未熟練群と同程度であった．これに加えて，跳び出し角度が Pre 測定よりも Post 測定で増加した被験者を TOA 増加群 (TOA は跳び出し角度を指す Take-off angle の略)，減少した被験者を TOA 低下群とする分類も行った．なお，TOA 増加群は熟練者 3 名と未熟練者 3 名，TOA 低下群は熟練者 4 名と未熟練者 2 名で構成された．

Table 8 Physical characteristics of the subjects

Group	Age [yrs]		Height [cm]		Weight [kg]		Best record [m : s . ms]					
							FC		BR		BF	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Skilled group (n=7)	22.1	±2.7	171.4	±5.0	63.3	±4.2	100m	57.05 ± 0.21 (n=2)	1:14.07 ± 7.22 (n=3)	59.35 ± 0.35 (n=2)		
Unskilled group (n=5)	21.8	±0.8	173.2	±6.6	67.9	±6.7	100m	1:46.42 ± 9.85 (n=5)				

\bar{x} = average ; σ = standard deviation ; FC = front crawl ; BR = breast stroke ; BF = butterfly.

2. 練習と指導の内容

本研究では第 1 日目を Pre 測定日，第 2 日目から第 4 日目までを練習日，第 5 日目を Post 測定日とした．Pre 測定日から Post 測定日までの日程は必ずしも連続しておらず，全日程を 1 週間以内に終わるように設定した．Pre 測定と Post 測定の測定日は十分なウォーミングアップ後，測定試技（KS から 5m 以上のけのび）を行わせた．測定試技は基本的には 1 回のみであったが，水泳指導歴 10 年の実験者と被験者の両方が試技に失敗したと判断した時のみ，十分な休息時間を設けた後，2 回目の試技を行なわせた．

本研究の指導ではブロック期の重心高差を抑制し，跳び出し角度を増加することで，飛距離の増加という目的達成を目指す，K スタート中の身体重心の位置を正確に把握することは泳者と指導者の両方にとって困難である．そのため，指導の際は重心高の抑制を指導の要点とするのではなく，第 3 章で重心高差との相関があると示された前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差を増加させることで重心高差の抑制につながると仮定し，これら 2 点を指導の要点とした．すなわち，本研究の指導は

「前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差を増加することでブロック期の重心高低下が抑制され，跳び出し角度が増加するため，飛距離が増加する」という仮説を基に実施された。

三日間の練習日の冒頭に被験者に対して本研究の仮説を説明したが，その際は専門用語の使用を避け，「前脚の膝の曲げ過ぎを防ぐことと上体の振り上げを大きくすることで，ブロック期中に重心高が低下しづらくなり，より前方に向かって跳び出せるようになる」という趣旨の説明を行った。1日の練習内容は測定試技と同じ動作を10回行うこととし，被験者は1回の試技を終えるごとに実験者から次回の注意点について指導を受けた。試技と試技の間は十分な休息時間を設け，一日の練習は約20分であった。

指導の要点は前述のとおり，前脚 KA の最大屈曲時角度の増加と上体角度差の増加であったが，これらを達成できている動作の基準として，第3章の熟練上位群の動作を参考にした。熟練上位群は前脚 KA の最大屈曲時角度が $103.8 \pm 7.3 \text{deg}$ ，構え時上体角度が $-23.0 \pm 18.2 \text{deg}$ ，離台時上体角度が $-4.4 \pm 6.1 \text{deg}$ ，上体角度差が $18.6 \pm 15.2 \text{deg}$ であったため，上体を大きく前傾させて構え，離台までに上体を水平近くまで起こすこと，また，前脚 KA の最大屈曲時角度を直角より大きくすることを被験者が習得できるように実験者は指導を行った。また，実際の競技現場で実施しやすい指導方法とするために映像による動作の確認などは行わず，口頭での指導のみとし，それぞれの要点について以下の文言を用いて指導した。

- ・上体角度差の増加：上体を大きく前傾して構える，離台までに上体を大きく起こす，離台時に遠くを見る，離台時に胸を張る。

- ・前脚 KA の最大屈曲時角度の増加：前脚の膝を曲げすぎない，前脚の膝をつぶさない，前脚で踏ん張る．

被験者が 2 つの要点のうち，どちらかにのみに改善の必要があると考えた場合は片方のみについて，どちらにも改善の必要があると考えた場合は両方について上記の文言のいずれかを用いて指導した．なお，2 つの要点を両方とも改善できたと判断した場合は動作の再現性を高めるよう指導した．

3. データ収集

測定及び練習は H 大学屋外プール（50m×8 レーン，水深 1.7-1.9m）で行った．測定の際，水着とスイミングキャップを着用した被験者に，頭頂，左右耳珠点，左右肩峰，左右肘，左右手首，左右中手指節関節，第 7 頸椎，第 10 胸椎，左右上後腸骨棘の中点，左右大転子，左右膝，左右外果，左右つま先，左右踵の計 24 箇所を球体の発泡スチロールでマーキングを行った．

試技はブロック期（スタート合図- 両足離台），フライト期（両足離台- 指先着水），エントリー期（指先着水- 全身入水），グライド期（全身入水- 5m 通過）の 4 期に分割した．撮影は第 3 章と同様にブロック期からエントリー期までは陸上に設置した 4 台の高速度デジタルビデオカメラ（Olympus 社製，300fps）によって，また，グライド期は水中に設置した 1 台のデジタルビデオカメラ（Canon 社製，60fps）によって，それぞれ行った．すべてのカメラはスタートシグナル用の雷管ピストルの白煙を用いて同期を行った．

4. データ処理

デジタルビデオカメラで撮影した映像はパーソナルコンピュータに取り込み、3次元画像解析ソフトを用いて手動デジタイズを行い、ブロック期からエントリー期までは3次元DLT法、グライド期は2次元DLT法によって泳者のマーキングポイントの実座標を算出した。画像分析によって得られた実座標は Butterworth digital filter による平滑化を行った（遮断周波数 0.48-6.00Hz）。遮断周波数は残差分析法（Winter, 1990）により特定した。本研究ではスタート台前縁の中心を原点とする絶対座標系を設定し、座標軸は被験者の進行方向である水平ベクトルを X、鉛直ベクトルを Z、X と Z に直行するベクトルを Y と設定した。すべてのデータにおいて3次元DLT法による計測誤差は X 軸方向が 22mm 以下、Y 軸方向が 21mm 以下、Z 軸方向が 17mm 以下、2次元DLT法による計測誤差は X 軸方向が 8mm 以下、Z 軸方向が 10mm 以下であった。

5. 測定項目

本研究では阿江（1992）の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心座標を算出した。本研究で測定した変数は以下のように定義し、その概略図を Fig. 32 に示した。また、関節角度は第2章と同様の方法で算出した。

- (1) 5m 通過タイム：スタートシグナルから被験者の頭部が 5m ラインを通過するまでの時間とした。
- (2) 5m 通過速度：被験者が 5m ラインを通過した時の身体重心速度の絶対値とした。
- (3) ブロックタイム：スタート合図から両足離台までの時間とした。

- (4) 飛び出し水平速度：離台時（被験者の両足がスタート台から離れた瞬間）における身体重心速度の水平成分とした。
- (5) 飛び出し鉛直速度：離台時における身体重心速度の鉛直速度とした。
- (6) 飛び出し角度：離台時における身体重心速度ベクトルと水平面がなす角度とした。
- (7) 飛距離：武田ほか（2009）を参考に、投射運動の式①，②を立て、 $y=0$ となる時点（身体重心が水面に達する時点）の x の値とした。第3章では原点から着水点までの水平距離としたが、この値は入水時の姿勢の影響を受ける。本章では理論値を用いることで、離台時の身体重心速度ベクトルの大きさと向きの変化の影響のみを見た。

$$x=V_{x0} \cdot t + x_0 \quad \text{①}$$

$$y=V_{y0} \cdot t - \frac{1}{2}gt_2 + y_0 \quad \text{②}$$

V_{x0} は飛び出し水平速度， V_{y0} 飛び出し鉛直速度， x_0 y_0 は離台時の身体重心位置， g は重力加速度である。

- (8) 構え時重心高：構え時（スタート合図直前）における原点から身体重心点までの Z 座標の差とした。
- (9) 前脚 KA の最大屈曲時の重心高：前脚 KA が最大屈曲した時点における原点から身体重心点までの Z 座標の差とした。
- (10) 離台時重心高：離台時における原点から身体重心点までの Z 座標の差とした。
- (11) ブロック期前後の重心高差：構え時と離台時の重心高の差とした。
- (12) ブロック期終盤までの重心高差：構え時と前脚 KA の最大屈曲時の重心高の差とした。
- (13) ブロック期終盤の重心高差：前脚 KA の最大屈曲時と離台時の重心高の差とした。

- (14) 前脚 KA の最大屈曲時角度：ブロック期における前脚 KA の最大屈曲時の角度とした。
- (15) 構え時上体角度：構え時において，第 7 頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- (16) 離台時上体角度：離台時において，第 7 頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- (17) 上体角度差：構え時上体角度と離台時上体角度の差とした。
- (18) 後脚 KA の最大伸展速度：スタート合図から後脚離台までの間における後脚 KA の伸展速度の最大値とした。
- (19) 後脚 HA の最大伸展速度：スタート合図から後脚離台までの間における後脚 HA の伸展速度の最大値とした。
- (20) 前脚 KA の最大伸展速度：ブロック期における前脚 KA の伸展速度の最大値とした。
- (21) 前脚 HA の最大伸展速度：ブロック期における前脚 HA の伸展速度の最大値とした。
- (22) 下胴の最大回旋速度：スタート合図から後脚離台までの間における下胴の回旋速度の最大値とした。

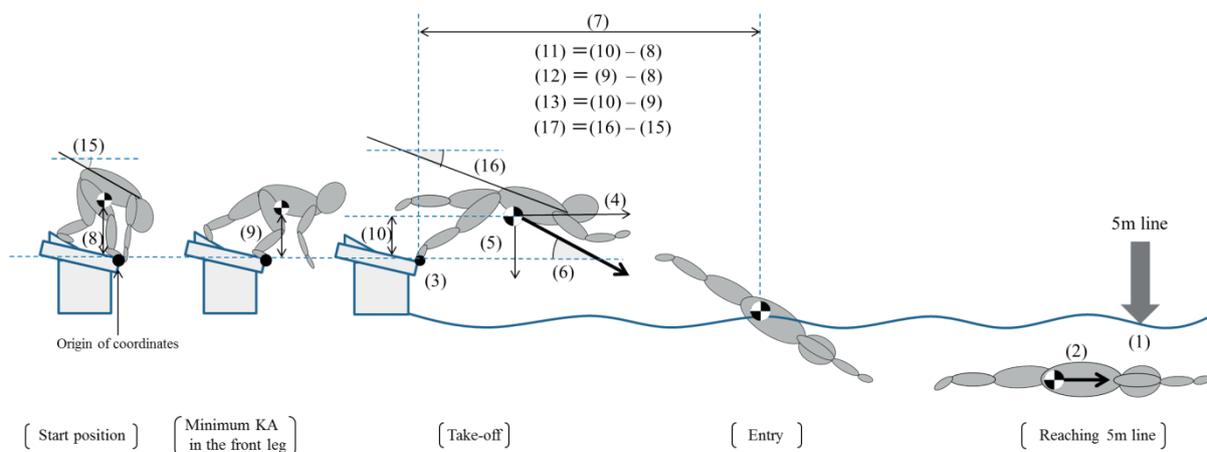


Fig.27 Definitions of kinematical variables.

6. 統計処理

同一群内における Pre 測定と Post 測定の各変数の平均値は、対応のある t 検定を用いて有意差を検定した。熟練群と未熟練群、また、TOA 増加群と TOA 低下群の Pre 測定における各変数の平均値は対応のない t 検定を行った。各統計処理の有意水準は危険率 5%未満とした。

第 3 節 結果

熟練群及び未熟練群の Pre 測定と Post 測定における変数を Table 9 に示した。熟練群は 5m 通過タイム及びブロックタイムにおいて Pre 測定と Post 測定の値に有意差が認められた ($p<.01$)。未熟練群は 5m 通過タイム, 飛距離, 前脚 KA の最大屈曲時角度, 構え時上体角度, 上体角度差, 後脚 HA の最大伸展速度において Pre 測定と Post 測定の値に有意差が認められた ($p<.01-.05$)。また, 熟練群と未熟練群の各変数の Pre における値を比較すると, 5m 通過タイム, 5m 通過速度, ブロックタイム, 構え時重心高, 前脚 KA の最大屈曲時の重心高, 前脚 KA の最大伸展速度, 前脚 HA の最大伸展速度において有意な差が認められた ($p<.01-.05$)。

次に TOA 増加群及び TOA 低下群の Pre 測定と Post 測定における変数を Table 10 に示した。TOA 増加群は 5m 通過タイム, 跳び出し鉛直速度, 跳び出し角度, 飛距離, 前脚 KA の最大屈曲時の重心高, 離台時重心高, ブロック期前後の重心高差, ブロック期終盤の重心高差, 前脚 KA の最大屈曲時角度, 構え時上体角度, 上体角度差において Pre 測定と Post 測定の値に有意差が認められた ($p<.01-.05$)。TOA 低下群は 5m 通過タイム, 跳び出し鉛直速度, 跳び出し角度において Pre 測定と Post 測定の値に有意差が認められた ($p<.01-.05$)。また, TOA 増加群と TOA 低下群の各変数の Pre における値を比較すると, 跳び出し鉛直速度, 離台時重心高, ブロック期前後の重心高差, ブロック期終盤までの重心高差, ブロック期終盤の重心高差において有意な差が認められた ($p<.01-.05$)。

Table 9 Kinematic variables of the skilled group and unskilled group.

	A: Skilled group				B: Unskilled group				significant difference Pre(A)-Post(B)		
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	significant difference Pre-Post	\bar{x}	σ	\bar{x}		σ	significant difference Pre-Post
(1) 5m time	[s]	1.70 ± 0.06		1.58 ± 0.08		1.96 ± 0.22		1.75 ± 0.17		**	**
(2) 5m velocity	[m/s]	3.69 ± 0.23		3.57 ± 0.35		2.61 ± 0.80		2.86 ± 0.72		**	**
(3) Block time	[s]	0.72 ± 0.04		0.70 ± 0.04		0.85 ± 0.06		0.82 ± 0.07		**	**
(4) Take-off horizontal velocity	[m/s]	4.22 ± 0.26		4.27 ± 0.23		3.97 ± 0.34		4.25 ± 0.26			
(5) Take-off vertical velocity	[m/s]	-0.46 ± 0.28		-0.42 ± 0.41		-0.71 ± 0.69		-0.75 ± 0.39			
(6) Take-off angle	[deg]	-6.3 ± 4.0		-5.6 ± 5.3		-9.7 ± 9.6		-10.0 ± 5.5			
(7) Flight distance	[m]	3.10 ± 0.25		3.12 ± 0.17		3.09 ± 0.22		3.25 ± 0.25		**	**
(8) Height of COG on start position	[m]	0.63 ± 0.03		0.65 ± 0.03		0.71 ± 0.03		0.71 ± 0.05			*
(9) Height of COG at maximum bending front KA	[m]	0.53 ± 0.03		0.54 ± 0.04		0.60 ± 0.06		0.61 ± 0.08			*
(10) Height of COG on take off	[m]	0.50 ± 0.07		0.54 ± 0.09		0.53 ± 0.14		0.54 ± 0.02			
(11) Difference in height of COG between before and after block phase	[m]	-0.14 ± 0.06		-0.12 ± 0.09		-0.18 ± 0.14		-0.17 ± 0.04			
(12) Difference in height of COG between start position and maximum bending front KA	[m]	-0.11 ± 0.03		-0.11 ± 0.03		-0.11 ± 0.07		-0.10 ± 0.07			
(13) Difference in height of COG between maximum bending front KA and take-off	[m]	-0.03 ± 0.04		0.00 ± 0.07		-0.06 ± 0.12		-0.07 ± 0.07			
(14) Maximum bending KA in the front leg	[deg]	94.1 ± 9.9		96.5 ± 7.4		92.3 ± 10.9		101.7 ± 9.8		*	*
(15) Upper body angle on start position	[deg]	-24.0 ± 5.0		28.3 ± 4.7		-19.3 ± 5.5		-28.2 ± 4.5		*	*
(16) Upper body angle on take-off	[deg]	-12.0 ± 10.5		10.4 ± 8.6		-14.4 ± 7.1		-10.7 ± 5.1		**	**
(17) Difference in upper body angle between start position and take-off	[deg]	12.0 ± 12.4		17.9 ± 9.7		4.9 ± 6.7		17.4 ± 5.0			
(18) Maximum KA extension velocity in the rear leg	[rad/s]	16.7 ± 2.8		17.3 ± 2.9		13.6 ± 4.0		13.9 ± 5.5			
(19) Maximum HA extension velocity in the rear leg	[rad/s]	5.6 ± 0.9		5.6 ± 1.1		4.7 ± 1.7		5.9 ± 1.3		*	*
(20) Maximum KA extension velocity in the front leg	[rad/s]	18.5 ± 3.9		16.8 ± 2.6		13.5 ± 2.6		14.7 ± 2.6			*
(21) Maximum HA extension velocity in the front leg	[rad/s]	8.0 ± 1.1		7.8 ± 0.8		6.4 ± 1.5		7.2 ± 1.7			*
(22) Maximum lower trunk rotation velocity	[rad/s]	2.4 ± 0.8		2.4 ± 0.3		2.0 ± 0.6		1.9 ± 0.7			

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$, COG: Center of gravity.

Table 10 Kinematic variables of the increase TOA group and decrease TOA group.

	Increase TOA group		significant difference Pre-Post	Decrease TOA group		significant difference Pre-Post	significant difference Pre(A)-Post(B)
	\bar{x} (Pre)	σ (Post)		\bar{x} (Pre)	σ (Post)		
(1) 5m time	1.81 ± 0.22	1.69 ± 0.19	*	1.81 ± 0.18	1.62 ± 0.10	**	*
(2) 5m velocity	3.10 ± 0.91	3.05 ± 0.72		3.39 ± 0.63	3.50 ± 0.47		
(3) Block time	0.80 ± 0.07	0.77 ± 0.09		0.75 ± 0.08	0.72 ± 0.07		
(4) Take-off horizontal velocity	4.13 ± 0.30	4.20 ± 0.21		4.11 ± 0.34	4.33 ± 0.26		
(5) Take-off vertical velocity	-0.86 ± 0.51	-0.42 ± 0.49	*	-0.27 ± 0.23	-0.69 ± 0.32	*	*
(6) Take-off angle	-11.8 ± 7.1	-5.9 ± 7.0	**	-3.7 ± 3.3	-8.9 ± 3.9	*	
(7) Flight distance	3.02 ± 0.29	3.22 ± 0.26	**	3.17 ± 0.15	3.13 ± 0.15		
(8) Height of COG on start position	0.67 ± 0.06	0.69 ± 0.04		0.66 ± 0.03	0.66 ± 0.06		
(9) Height of COG at maximum bending front KA	0.53 ± 0.06	0.58 ± 0.06	**	0.58 ± 0.05	0.56 ± 0.08		**
(10) Height of COG on take off	0.45 ± 0.07	0.56 ± 0.04	**	0.58 ± 0.08	0.52 ± 0.09		**
(11) Difference in height of COG between before and after block phase	-0.22 ± 0.09	-0.14 ± 0.07	*	-0.09 ± 0.05	-0.14 ± 0.08		**
(12) Difference in height of COG between start position and maximum bending front KA	-0.13 ± 0.06	-0.11 ± 0.06		-0.09 ± 0.03	-0.11 ± 0.03		*
(13) Difference in height of COG between maximum bending front KA and take-off	-0.09 ± 0.09	-0.03 ± 0.09	**	0.00 ± 0.03	-0.03 ± 0.07		*
(14) Maximum bending KA in the front leg	89.1 ± 9.5	96.5 ± 6.2	*	97.5 ± 9.1	100.8 ± 10.5		
(15) Upper body angle on start position	-21.8 ± 4.4	-30.1 ± 4.4	*	-22.3 ± 7.2	-26.4 ± 2.9		
(16) Upper body angle on take-off	-17.0 ± 9.1	-11.2 ± 7.9		-9.0 ± 8.5	-9.9 ± 5.7		
(17) Difference in upper body angle between start position and take-off	4.8 ± 5.8	18.9 ± 9.9	**	13.3 ± 13.2	16.5 ± 5.4		
(18) Maximum KA extension velocity in the rear leg	15.1 ± 4.8	16.7 ± 3.7		15.7 ± 2.2	15.1 ± 5.1		
(19) Maximum HA extension velocity in the rear leg	4.7 ± 0.8	5.4 ± 1.2		5.8 ± 1.5	6.0 ± 1.1		
(20) Maximum KA extension velocity in the front leg	15.2 ± 4.0	15.7 ± 2.3		17.6 ± 4.4	16.1 ± 3.3		
(21) Maximum HA extension velocity in the front leg	7.4 ± 1.2	7.7 ± 1.5		7.3 ± 1.9	7.4 ± 0.9		
(22) Maximum lower trunk rotation velocity	2.3 ± 0.9	2.2 ± 0.5		2.2 ± 0.6	2.2 ± 0.7		

\bar{x} : average, σ : standard deviation, *: significant difference at $p < .05$, **: significant difference at $p < .01$, COG: Center of gravity.

第 4 節 考察

1. 熟練度別の指導効果の検討

本研究の熟練群において、前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差、ブロック期前後の重心高差について Pre 測定と Post 測定で有意な変化が見られなかった。また、跳び出し角度と飛距離も同様であった。よって、本研究の指導方法や練習量では、K スタートにある程度熟練している泳者に対して明確な動作の変化を生じさせるほどの効果があるとは言えなかった。

未熟練群について Pre 測定と Post 測定の値を比較すると、指導の要点であった前脚の最大屈曲時角度と上体角度差が有意に増加していた。しかし、ブロック期前後の重心高差は変化がなく、跳び出し角度も増加しなかったため、本研究の仮説に反する結果であったと言える。この原因について検討する。前脚 KA に注目すると、未熟練群は熟練群に比べて Pre 測定の段階の最大伸展速度が有意に低く、Post 測定での有意な増加もなかった。本研究では脚筋力等の測定を行っていないが、未熟練群は競泳以外の競技（陸上競技、サッカー及び柔道）の競技者で構成されており、熟練群より脚筋力が著しく劣っていたとは考えづらい(図子ほか, 1993)。よって、Pre 測定における両群の差は技術的要因で生じたと推測される。第 3 章で述べたように前脚 KA において最大屈曲時角度を増加することで、より伸展力を発揮しやすい状態を作ることができると考えられるが、未熟練群のように前脚でスタート台を蹴る技術が低い泳者の場合は伸展力を発揮しやすい状態を作る以前に前脚でスタート台を蹴ることを意識づける必要があると言える。

一方で、未熟練群は跳び出し角度が増加しなかったにも関わらず、飛距離の増加という目的は達成された。飛距離を増加するには空中での水

平移動速度（飛び出し水平速度と等しい）と滞空時間（飛び出し鉛直速度によって左右される）のどちらか、または両方を増加する必要がある。未熟練群は飛び出し鉛直速度にほぼ変化がない一方で、飛び出し水平速度が有意ではないものの増加傾向（ $p=0.072$ ）にあった。よって、未熟練群の飛距離増加には飛び出し水平速度の変化が影響したと推測される。Ikeda et al., (2016) は後脚で得られる床反力を増加することが飛び出し水平速度の増加につながるとしているが、本研究において未熟練群は後脚 HA の最大伸展速度が有意に増加しており、これが飛び出し水平速度の増加傾向につながった可能性がある。ただし、本研究の指導では後脚の動作について言及していないため、未熟練群の被験者が後脚でバックプレートを蹴る動作に慣れたことで生じた変化であると考えられる。

2. 指導効果の期待できる泳者の条件

未熟練群の結果によって本研究における仮説は棄却されたものの、全被験者の半数は飛び出し角度が増加したため、泳者によっては本研究の指導方法が効力を発揮すると期待される。そこで、全被験者のうち飛び出し角度が増加した被験者を TOA 増加群（TOA は飛び出し角度を指す Take-off angle の略）、飛び出し角度が減少した被験者を TOA 低下群とし、結果を比較することで飛び出し角度が増加した被験者の動作的特徴について検討した。

両群の Pre 測定の段階における各変数を比較すると主に重心高や飛び出し角度に違いがあった。よって本研究の指導方法はブロック期全体を通して重心高が大きく低下し、特に離台時の重心高が低い泳者、また、飛び出し角度が小さい泳者に対して効果が期待できる。

TOA 増加群では飛び出し角度及び飛距離の有意な増加が認められた。

飛距離は初速（飛び出し合成速度）と投射方向（飛び出し角度）で決定されるため、飛び出し角度が増加した TOA 増加群の飛距離が増加したことは合理的な結果である。また、飛距離は空中での水平移動速度（飛び出し水平速度と一致）と滞空時間（飛び出し鉛直速度で変化）によって決定されると見ることもできる。TOA 増加群は飛び出し鉛直速度が有意に増加し、飛び出し水平速度に変化はなかったため、滞空時間の増加によって飛距離の増加につながった見ることができる。TOA 増加群は飛び出し鉛直速度に加え、前脚 KA 最大屈曲時及び離台時の重心高が増加し、ブロック期終盤の重心高差は抑制されていた。Ikeda et al. (2016) は後脚の離台以降に前脚の伸展によって得られる床反力の鉛直成分と飛び出し鉛直速度との間に有意な相関があるとしており、TOA 増加群も前脚の伸展によって得られる床反力の変化によって飛び出し鉛直速度が増加し、また、前脚 KA の伸展開始以降も重心高を高く保てるようになったと考えられる。ただし、前脚 KA や HA の最大伸展速度の有意な増加は見られなかったため、前脚の伸展で得られた床反力の大きさは変化せず、水平成分と鉛直成分の比率が変化した可能性もある。

次に指導の要点とした動作の習得状況に注目すると TOA 増加群は 1 名のみ前脚 KA の最大屈曲時角度が減少したものの、それ以外の被験者は前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差の両方が増加しており、平均値も有意に増加していた。このため、ブロック期の重心高の低下が顕著で、飛び出し角度も小さい泳者に対して本研究の指導方法を実施すると前脚の膝の曲げ過ぎの防止や上体の振り上げ強化を習得できる可能性が高く、それにより、飛び出し角度や飛距離の増加が期待できると言える。

一方で TOA 低下群は飛び出し鉛直速度と飛び出し角度が Pre 測定より Post 測定で有意に減少した。よって、飛び出し鉛直速度の低下が飛び出

し角度の低下につながったと考えられるが，その他の動作上の変化は見られず，跳び出し鉛直速度低下の原因は明らかにできなかった．TOA 低下群は Pre の段階で跳び出し角度が大きく，ブロック期全体を通して重心高の変動が少なかったため，そのような泳者に対しては本研究の指導方法は行うべきではないであろう．

4. 本研究における指導方法の総括

本研究では前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差の増加によってブロック期の重心高の低下を抑制し，跳び出し角度を増加することで結果的に飛距離が増加するという仮定に基づき指導を実施したが，本研究の指導方法は指導対象の泳者の動作的特徴により有効な場合とそうでない場合があることが分かった．本研究の指導方法が有効な泳者の特徴として，まず前脚でスタート台を強く蹴る意識があることが挙げられる．前脚 KA の最大屈曲時角度が増加して膝の伸展力を発揮しやすい状態を作れたとしてもスタート台を強く蹴る意識がなければ伸展力に変化はないと考えられる．また，ブロック期終盤の重心高の低下が顕著で，跳び出し角度が小さいことも本研究の指導方法が有効な泳者の条件である．これらの条件を満たす泳者であれば本研究の指導方法によって跳び出し角度が増加し，飛距離伸ばすことができると考えられる．ただし，K スタートにある程度熟練している泳者の場合は本研究の指導方法では前脚 KA の最大屈曲時角度や上体角度差を変化させる効果が薄かったため，練習期間や一日の試技数を増やすなど，練習量を増加する必要があるであろう．

第 4 章 小括

本章では飛距離の増加に有効な飛び出し角度の増加を達成するために、ブロック期の重心高差の抑制によって飛び出し角度を増加させるための指導を行うことで、泳者の K スタート動作やスタート局面のパフォーマンスにどのような影響があるかについて検討した。被験者は男子競泳選手 7 名と男子非競泳選手 5 名であり、前者を熟練群、後者を未熟練群とした。また、Pre 測定と Post 測定の飛び出し角度を比較し、増加した被験者を TOA 増加群、低下した被験者を TOA 低下群とする分類も行った。

被験者は前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差を増加させるための指導を三日間受け、指導の前後に Pre 測定と Post 測定を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- ・熟練群は前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差に変化が見られなかったため、本研究の指導方法では動作を変化させるほどの効果が得られなかった。

- ・未熟練群は前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差が増加したもののブロック期の重心高は変化しなかった。この原因として、前脚 KA の最大伸展速度の低さが挙げられ、前脚でスタート台を強く蹴る技術のない泳者は前脚の屈曲を浅くすることや上体の振り上げを強化することの効果が高いと示唆された。

- ・TOA 増加群は TOA 低下群の Pre 測定の比較から、本研究の指導方法はブロック期の重心高の低下が顕著で、飛び出し角度が低い泳者に対して有効であると考えられる。また、前脚 KA の曲げ過ぎの防止と上体の振り上げの強化はブロック期終盤の前脚 KA の伸展開始以降における重心高の維持につながると示唆された。

第 5 章 総合考察

本章では、第 2 章から第 4 章の結果を基に、競泳の K スタートにおける技能の巧拙の要因と指導方法に関するバイオメカニクス的研究を総合的に考察した。

第 1 節 本研究の成果と意義

本研究では K スタートの技能の低い選手がスタート局面のパフォーマンスを向上できる効果的な指導方法を提案するために、K スタートの詳細な動作特性や技能の巧拙を生じさせる要因の検討から指導上の要点を導き、その要点に基づく指導の実践が K スタートのパフォーマンスに及ぼす効果を検討することを目的とした。そのために以下に挙げる 3 つの課題を設定した。

課題 1. 3 次元動作解析を用いた K スタートの動作解析 (第 2 章)

課題 2. K スタート動作における熟練度による相違 (第 3 章)

課題 3. K スタートの巧拙を生じさせる動作的要因から導かれた指導方法の効果の検討 (第 4 章)

課題 1 では 2 次元動作解析による検討が主であった競泳のスタート局面の研究の中で、3 次元動作解析の手法を用いることで過去に言及されなかった K スタートにおける詳細な動作特性を明らかにした。すなわち、前脚 KA における SSC 有効利用と下胴の回旋を伴う後脚の伸展動作が BT や跳び出し水平速度を向上させている可能性に言及した。先行研究では跳び出し水平速度や跳び出し角度などの重心変位を基にした変数、ブロックタイムやフライトタイムなどの各局面の時間など K スタート動作を大枠で捉えたものが主であり、K スタートの詳細な動作について言及したものは非常に少ない。本研究において K スタートの詳細な動作につい

て言及を得られたのは 2 次元動作解析が主流であった K スタート研究において 3 次元動作解析を用いた成果であると言えよう。前脚 KA における SSC の利用については第 3 章以降で K スタートの技能の巧拙の要因であることを確認できなかったものの、K スタートでは前脚 KA において短時間での屈曲後に瞬発的な伸展動作が例外なく見られたことから、SSC を利用している可能性はある。下胴の回旋を伴う後脚の伸展動作については第 3 章以降で後脚の最大伸展速度を高めるという示唆が得られた。K スタートの最大の特徴である後脚のバックプレートを蹴る動作は T スタート以上のスタート局面のパフォーマンスを発揮する上で、当然重要な要素であると考えられる。三次元動作解析を用いたことで、この後脚の伸展動作を強化できる知見を得られたことは本研究の大きな成果と言えよう。

課題 2 では技能レベルの異なる被験者において K スタートの動作がどのように異なるかを検討することにより、K スタートにおける技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにした。その結果、K スタートの技能が高い泳者は、BT が短い、跳び出し水平速度が高い、飛距離が大きい、入水後の減速が小さいなどの特徴が見られた。また、先行研究では後脚の伸展力強化が跳び出し水平速度の増加につながるとされているが、本研究により、K スタートの技能が低い泳者は前脚の伸展力強化が跳び出し水平速度の増加につながることが分かった。このような技能に応じた技術的な改善点の違いを示した例は他にない。さらに、本研究ではブロック期の重心高差と跳び出し角度、飛距離の関係について深く掘り下げたが、他にもブロック期における後脚の伸展を開始するタイミングの早さが BT 短縮につながること、入水迎え角を小さくすることが入水後の減速抑制につながることなどが示唆され、K スタートの技能の巧拙を生

じさせる動作的要因についての多くの知見を得られた。これらの知見を用いれば、泳者の改善点に応じた K スタートの指導方法を考案することも可能であると考えられる。

課題 3 では課題 2 の知見から「前脚 KA の最大屈曲時角度と上体角度差を増加することでブロック期の重心高低下が抑制され、跳び出し角度が増加するため、飛距離が増加する」という仮説を立て、競泳選手 7 名を熟練群、非競泳選手 5 名を未熟練群として、前脚の膝の過度な屈曲の防止及び上体の振り上げの強化を習得するための指導を実施した。具体的な指導内容は 1 日に 10 回の K スタート試技を 3 日間行い、試技と試技の間に口頭で指導することであった。このように K スタートの技術的指導を実施し、その結果について述べた報告は過去に無く、本研究の試みは新奇性が非常に高かった。また結果として、本研究の指導方法はブロック期終盤の重心高低下が顕著で跳び出し角度の小さい泳者の飛距離を増加する効果があることが分かった。このように、課題 2 の段階で指導方法に関する仮説を構築することができたが、そこに留まらず、指導の実践により仮説の検証を行ったことでの指導方法の効果や有効な泳者の動作的特徴などの信憑性を高めることができた。本研究のこのような取り組みによって、実際の競技現場で実施する価値のある指導方法の提案という前例のない成果を上げることができた。

第 2 節 総括と今後の課題

1. 総括

本研究では、K スタートの技能が低い選手を対象としたスタート局面のパフォーマンス向上についての効果的な指導方法を確立するために、K スタートの詳細な動作特性や技能の巧拙を生じさせる要因の検討から

指導上の要点を導き，その要点に基づく指導の実践が K スタートのパフォーマンスに及ぼす効果を検討することを目的とした．その結果，以下の諸点が明らかになった．

課題 1. 3次元動作解析を用いた K スタートの動作解析（第 2 章）

従来のスタート方法に比較し K スタートの利点を明らかにするために，3次元動作解析を用いて K スタートの動作特性を詳細に検討した．男子大学競泳選手 5 名における競泳の K スタートを対象として，両下肢の非対称性や体幹のねじれについて 3次元動作解析を用いて分析した．その結果以下のようなことが明らかになった．

- ・ブロック期において，後脚の KA は屈曲動作がほとんど見られず，ほぼ伸展のみに終始したが，前脚の KA においては短時間での屈曲から伸展への切り替えが見られたことから，前脚 KA では SSC を用いて伸展パワーを増大させている可能性がある．

- ・体幹全体のねじれ角度（TTA）は上胴の回旋角度ではなく，下胴の回旋角度と類似した．また，TTA はブロック期中盤から急激に増加し，前脚の離台前後に最大値（9.8-15.8deg）に達した後，フライト期に減少した．これらのことから，体幹全体のねじれはブロック期における後脚の伸展の際，下胴の回旋を伴うことで，より大きな伸展速度や伸展パワーを発揮している可能性がある．

課題 2. K スタート動作における熟練度による相違（第 3 章）

本課題の目的は，課題 1 おいて明らかにした K スタートの動作特性を中心に，技能の異なる被験者において K スタートの動作がどのように異なるかを横断的に検討することで，K スタートにおける技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにすることであった．被験者は男子大学競

泳選手 13 名と男子大学体育専攻学生 14 名であり、5m 通過タイムに基づき熟練上位群、熟練下位群、未熟練群の 3 群に分けられた。その結果以下のような知見が得られた。

- ・ BT は熟練度が高いほど短かった。また、BT は後脚 KA の屈曲幅とは正の、規格化時間における後脚 KA の伸展開始時間とは負の有意な相関をそれぞれ示した。よって、熟練度が高いほど後脚 KA を伸展するタイミングを早めることで BT を短縮していたと考えられる。

- ・ 飛び出し水平速度は熟練度が高いほど大きい傾向を示した。それには前脚の KA 及び HA の最大伸展速度の大きさが関与していると考えられ、その伸展速度を増加する方法として SSC の効果的利用などを検討したが、増加方法は明らかにできなかった。また、本件研究では後脚の伸展力と飛び出し水平速度との間に有意な相関がなかったものの、下胴の回旋速度を高めることで、後脚 HA の伸展を強化できる可能性がある。

- ・ 熟練度が高いほど速度維持率が高く、その要因として、入水方法（入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度）の違いが挙げられた。特に未熟練群は他の二群より入水技術が劣っていた。

- ・ 熟練度の低い泳者の場合、飛距離の増加によるスタート局面のパフォーマンスを向上が見込まれ、ブロック期の重心高低下を抑制することができれば飛び出し角度増加は増加すると考えられる。

課題 3. K スタートの巧拙を生じさせる動作的要因から導かれた

指導方法の効果の検討（第 4 章）

本課題では飛距離の増加に有効な飛び出し角度の増加を達成するために、ブロック期の重心高差の抑制によって飛び出し角度を増加させるための指導を行うことで、泳者の K スタート動作やスタート局面のパフ

パフォーマンスにどのような影響があるかについて検討した。被験者は男子競泳選手7名と男子非競泳選手5名であり、前者を熟練群、後者を未熟練群とした。また、Pre測定とPost測定の跳び出し角度を比較し、増加した被験者をTOA増加群、低下した被験者をTOA低下群とする分類も行った。

被験者は前脚KAの最大屈曲時角度と上体角度差を増加させるための指導を三日間受け、指導の前後にPre測定とPost測定を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- ・熟練群は前脚KAの最大屈曲時角度と上体角度差に変化が見られなかったため、本研究の指導方法では動作を変化させるほどの効果が得られなかった。

- ・未熟練群は前脚KAの最大屈曲時角度と上体角度差が増加したもののブロック期の重心高は変化しなかった。この原因として、前脚KAの最大伸展速度の低さが挙げられ、前脚でスタート台を強く蹴る技術のない泳者は前脚の屈曲を浅くすることや上体の振り上げを強化することの効果が高いと示唆された。

- ・TOA増加群はTOA低下群のPre測定の比較から、本研究の指導方法はブロック期の重心高の低下が顕著で、跳び出し角度が低い泳者に対して有効であると考えられる。また、前脚KAの曲げ過ぎの防止と上体の振り上げの強化はブロック期終盤の前脚KAの伸展開始以降における重心高の維持につながると示唆された。

2. 今後の課題

本研究では、競泳のKスタートについてこれまで言及されていなかった動作特性や技能の違いを生む動作的要因を明らかにし、それらを基に

スタート局面のパフォーマンス向上を可能とする指導方法について検討した。最終的にスタート局面のパフォーマンスに相関のある飛距離を増加するための指導方法を考案することができたが、この指導方法はブロック期終盤の重心高の低下が顕著で跳び出し角度の小さい泳者に対してのみ有効であった。実際の競技現場でこのような K スタート動作をしている泳者は多く見受けられるため、多くの泳者の K スタートの技能を改善することが期待されるが、これに当てはまらない泳者に対しては跳び出し角度の減少を招く可能性もあり、実施対象として適切であるか判断する指導者の役割が重要となる。しかし、本研究では適切な実施対象であるかの判断基準を目で見て判断できない重心高の変化でしか示すことができなかった。このように指導者の判断を手助けするための分かりやすい基準を示すことが求められる。また、本研究ではスタート局面のパフォーマンスに対する影響が最も大きいとされる跳び出し水平速度を増加するための指導方法について示すことができなかったことも課題である。これらに加えて、本研究では K スタートの技術のみに焦点を絞って検討を行ったが、今後は体力との兼ね合いについても検討することにより効果的で普遍的な指導方法を確立できるであろう。

文献

- 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. 東京大学出版会: 東京, pp. 23-33.
- 青山清英・越川一紀・青木和浩 (2009) 上級走幅跳選手におけるパフォーマンスに影響を与えるバイオメカニクスの要因とコーチの他者観察内容の関係. スポ-ツ方法学研究, 22(2): 87-100.
- Arellano, R., Pardillo, S., Fuente, B.D.L., and Garcia, F. (2000). A system to improve the swimming start technique using force recording, timing and kinematic analyses. Proceedings of XVIIIth International symposium on biomechanics and medicine in sports: 609-613.
- Benjanuvatra, N., Lytue, A., Blanksby, B., and Larkin, D. (2004) Force development profile of the lower limbs in the grab and track start in swimming. Proceedings of XXIIth International symposium on biomechanics in sports: 399-402.
- Biel, K., Fischer, S., and Kibele, A. (2010) Kinematic analysis of take-off performance in elite swimmers: New OSB11 versus traditional starting block. Proceedings of XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming: 91.
- Bishop, D. C., Smith, R. J., Smith, M. F., and Rigby, H. E. (2009) Effect of plyometric training on swimming block start performance in adolescents. The Journal of Strength & Conditioning Research, 23(7): 2137-2143.
- Bosco, C., Tarkka, I., and Komi, P. V. (1982) Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. International journal of sports medicine, 3(3): 137.

- Breed, R. V., and Young, W. B (2003) The effect of a resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming. *Journal of sports sciences*, 21(3): 213-220.
- Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., and Arellano, R. (2015) Effect on swimming start performance of two types of activation protocols: lunge and YoYo squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3): 647-655.
- 土肥照典・加藤謙一・秋元寛次 (2004) 小学 6 年生の体育授業における走り幅跳びの練習効果. *体育学研究*, 49(5): 457-469.
- 藤井範久・小山陽平・阿江通良 (2010) ハンマー投ターン局面におけるハンマーヘッド加速技術の研究 - ハンマーヘッド加減速パターンの違いに着目して -. *体育学研究*, 55(1): 17-32.
- 深代千之 (1993) 跳躍運動からみた筋・腱連合組織のダイナミクス. 東京大学博士論文: 29.
- Hassannezhad, E., Bahadoran, M. R., Ramezanpour, M. R., and Hosseini, S. R. (2012) Comparison of land and aquatic based plyometric training on swimming block start. *Annals of Biological Research*, 3(3): 1505-1509.
- 合屋十四秋・野村照夫・松井敦典・小山田早織 (2008) けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗 - 大学女子熟練泳者と非熟練泳者の比較 -. *愛知教育大学研究報告, 芸術・保健体育・家政・技術科学・創作編*, 57: 11-16.
- 合屋十四秋・松井敦典・杉浦加枝子・高木英樹 (2010) 初心者,熟練者及びエリート選手のけのび動作と力発揮の横断的検討. *愛知教育大学研究報告*, 59: 19-27.
- Havriluk, R. (2005) Performance level differences in swimming: a meta-analysis of passive drag force. *Research quarterly for exercise and sport*, 76(2): 112-118.

- 東畑陽介・凶子浩二・金高宏文 (2010) 走幅跳における「骨盤主導型」踏切動作を導くドリルの提案 - 「膝関節主導型」踏切で競技記録が低迷している大学男子走幅跳選手の改善事例から -. スポーツパフォーマンス研究, 2: 194-206.
- 蛭田秀一・島岡みどり・矢部京之助 (1986) 跳躍高と下肢筋力からみた垂直跳における上体の屈伸動作の役割. 第 37 回日本体育学会大会予稿集: 565.
- Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R., and Pease, D. L. (2010) A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. In XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming. pp94-96.
- 本間正信・生田泰志・宮地力 (1997) 競泳スタートの水中動作の分析. 第 13 回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会編 身体運動のバイオメカニクス. 第 13 回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会: 379-384.
- 堀畑裕也・仁木康浩・柏木悠・竹ノ谷文子・船渡和男 (2014) 男子競泳選手におけるスタート局面のタイムに影響を与える要因 - エントリー局面からグライド局面に着目して -. 星薬科大学一般教育論集. (32): 45-57.
- Ikeda, Y., Ichikawa, H., Nara, R., Baba, Y., Shimoyama, Y., and Kubo, Y (2016) Functional Role of the Front and Back Legs During a Track Start with Special Reference to an Inverted Pendulum Model in College Swimmers. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(5), 462-468.
- 生田泰志・小堀優子・加藤健志・原田隆・重松良祐・堀晶代 (1995) 競泳のレース分析: スタート局面の細分化と競技力の関係について. 第 46 回日本体育学会大会予稿集: 528.
- 伊藤宏 (1981) 中学校の走幅跳指導における実験的研究. 静岡大学教育

- 学部研究報告, 教科教育学篇, 12: 103-109.
- 伊藤信之・阿江通良・小山宏之・村木有也・関子浩二・松尾彰文・平野裕一 (2008) 一流走幅跳選手における踏切準備局面での重心低下の方法について: 助走動作との比較から. 日本体育学会大会予稿集, (59): 150.
- 木野村嘉則・森信二 (2011) ジュニア走幅跳選手における助走歩数が跳躍距離, 助走速度, 踏切時間に及ぼす影響. 茨城工業高等専門学校研究彙報, 46: 105-111.
- 小森大輔・関子浩二・小西麻耶子・小森智美 (2012) リバウンドジャンプ初心者のための指導方法-姿勢づくりに着目して. スポーツパフォーマンス研究, 4: 161-170.
- 小山宏之・村木有也・武田理 (2006) 競技会における一流男女走幅跳, 三段跳および棒高跳選手の助走速度分析. 陸上競技研究紀要, 2: 129-143.
- 窪康之 (2005) 競泳のスタート及びターン局面の動作に関するバイオメカニクス的研究. バイオメカニクス研究, 9(4): 259-265.
- 熊野陽人・吉田雅行・千住真智子 (2012) 男子学生走幅跳選手の助走におけるストライドの調整に関する研究. 大阪教育大学紀要, 第IV部門, 61(1): 343-350.
- 黒松直人・瓜田吉久 (2012) 砲丸投げグライド投法における投げ動作改善のためのトレーニング方法の提案. スポーツパフォーマンス研究, 4:59-70.
- Leblanc, H., Seifert, L., Baudry, L., and Chollet, D. (2005) Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 26(09); 787-797.
- Luhtanen, P., and Komi, P. V. (1979) Mechanical power and segmental

- contribution to force impulses in long jump take-off. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 41(4): 267-274.
- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliot, B. and Lloyd, D. (1999) Optimal depth for streamlined gliding. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, Jyväskylä, Finland: University of Jyväskylä. Eds: Keskinen, K.L., Komi, P.V. and Hollander, A.P. 165-170.
- 前田正登 (2005) 走り幅跳びにおける最適跳躍角度に関する研究. 順天堂大学保健体育紀要, 26: 34-39.
- 真野功太郎・尾縣貢・谷敏光・中野正英 (1993) 小学 5 年生と中学 1 年生における走幅跳の比較: 踏切に関して. 日本体育学会大会号, 44: 703.
- Mason, B., Alcocka., and Fowlie, J. (2007) A kinetic analysis and recommendations for elite swimmers performing the sprint start. *Proceedings of XXV International Society of Biomechanics in Sport*. Ouro Preto: 192-195.
- 三條俊彦 (1990) 小学校高学年生走幅跳の跳躍距離を決定する要因. 信州大学教育学部紀要, 69: 57-67.
- 村木有也・小山宏之・阿江通良 (2003) 踏切への移行期における一流男子走幅跳選手の下肢関節トルク. 日本体育学会大会号, (54): 376.
- Naito, K., Fukui, Y., and Maruyama, T. (2010) Multijoint kinetic chain analysis of knee extension during the soccer instep kick. *Human movement science*, 29(2): 259-276.
- 中雄勇人・岩木祐太・岩崎将大・萩原康太・飯山彩加 (2011) 走り幅跳における踏切動作と助走の関係 - 中学生の踏切動作に着目して -. 群馬大学教育学部紀要, 46: 117-123.
- 日本水泳連盟編 (2005) プール水深とスタート台の高さに関するガイドライン: pp.173-176.

- Nikodelis, T., Kollias, I., and Hatzitaki, V. (2005) Bilateral inter-arm coordination in freestyle swimming: Effect of skill level and swimming speed. *Journal of Sports Sciences*, 23(7): 737-745.
- 野原弘嗣・山岡誠一・畑岡正夫 (1972) 跳躍運動の研究 (第 1 報): 種々の膝角度における静的筋力と瞬発力について. 京都教育大學紀要. B, 自然科学, 40: 77-86.
- 野村照夫・来田宣幸・和田一宏・長谷川弘実・小島理永・谷川哲 (2011) 競泳スタート台のバックプレートがスタート動作に及ぼす影響: スタート台上の左右分離型床反力計による検討. 日本体育学会大会予稿集, 60: 220.
- Nomura, T., Takeda, T., and Takagi, H. (2010) Influences of the back plate on competitive swimming starting motion in particular projection skill. In XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, pp. 135-137.
- 大村一光 (1987) 走幅跳の助走に関する研究: 競技会における高校女子競技者の実態. 鹿児島女子短期大学紀要, 22: 117-126.
- 大村一光・飯干明・村木有也・阿江通良 (2009) 日本ジュニア走幅跳選手の踏切動作に関するバイオメカニクス的研究: ワールドクラスジャンパーとの標準動作, 動作変動性の比較. 日本体育学会大会予稿集, 60: 149.
- 大村一光・金高宏文・飯干明・伊藤信之・杉田正明・井本岳昭・阿江通良 (1999) 女子一流走り幅跳び選手の踏切準備動作に関するバイオメカニクス的研究. 日本体育学会大会号, 50: 687.
- 尾関一将・桜井伸二・高橋繁浩 (2010) 入水方法の違いが競泳スタートのパフォーマンスに与える影響. *バイオメカニクス研究*, 14(1): 12-19.
- 尾関一将・桜井伸二・高橋繁浩 (2012) 一流競泳短距離選手のスタート

- 動作の特徴.日本水泳・水中運動学会 2012年次大会講演論文集: 90-92.
- 尾関一将・桜井伸二・田口正公 (2015) 競泳におけるキックスタートとトラックスタートの比較. 水泳水中運動科学, 17(1): 4-11.
- Petryaev, A.V. (2010) Efficiency analysis of swimmers starts using starting block with adjustable raised foot in competitions. Proceedings of the XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming: 100.
- Potdevin, F., Bril, B., Sidney, M., and Pelayo, P. (2006) Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. International Journal of Sports Medicine, 27(03): 193-198.
- Ruschel, C., Araujo, L. G., Pereira, S. M., and Roesler, H (2007) Kinematical analysis of the swimming start: block, flight and underwater phases. ISBS-Conference Proceedings 1, 385-388.
- 佐渡夏紀 (2013) 走幅跳において低空飛行で記録が低迷している男子大学生競技者の改善事例 - 助走初期から踏切動作を意識した助走へ変更した取組 - . スポーツパフォーマンス研究, 5: 334-351.
- 佐久間香・西村純・大畑光司・市橋則明 (2009) ドロップジャンプ跳躍高向上に影響する運動学的要素の検討. 理学療法科学, 24(2): 263-267.
- 佐藤恭子 (1992) 走幅跳の未習熟者の踏切動作. 茨城大学教育学部紀要. 教育科学, 41: 135-144.
- Seifert, L., Leblanc, H., Chollet, D., and Delignières, D. (2010) Inter-limb coordination in swimming: effect of speed and skill level. Human Movement Science, 29(1): 103-113.
- 柴田義晴 (1992) 水泳指導についての一考察: け伸びの指導について. 東京学芸大学紀要, 第5部門, 芸術・健康・スポーツ科学, 44: 133-

140.

志賀充・尾縣貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクス及びキネティクスの関係: 膝関節と股関節に着目して. 体力科学, 53(1): 157-166.

Slawson, S. E., Chakravorti, N., Conway, P. P., Cossor, J., and West, A. A. (2012) The effect of knee angle on force production, in swimming starts, using the OSB11 block. *Procedia Engineering*, 34: 801-806.

高木斗希夫・藤井範久・小池関也・阿江通良 (2008) 異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. バイオメカニズム学会誌, 32(3): 158-166.

Takeda, T., and Nomura, T. (2006) What are the differences between grab and track start. In : Vilas-Boas J.P., Alves F. and Marques A. (Eds.), In X International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming: 102-105, Porto.

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.

武田剛・市川浩・杉本誠治 (2007a) 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.

武田剛・椿本昇三・野村武男 (2007b) 地面反力から見た競泳スタート台上動作. ジョイントシンポジウム 2007, 講演論文集: 284-286.

武田剛・高木英樹・椿本昇三 (2009) 競泳スタート台の傾斜角度の違いがスタートパフォーマンスに与える影響. 水泳水中運動科学, 12(1): 18-27.

田中孝夫・荻田太 (1998) 競泳のクラブスタートとクラウチングスター

- トのスタート局面における比較. 第49回日本体育学会予稿集: 535.
- Tanner, D.A. (2001) Sprint performance times related to block time in Olympic swimmers. *Journal of swimming research*, 15: 12-19.
- 多田真二・乾信之 (1995) 小学生と大学生における走幅跳の助走中の歩幅の視覚的制御. *発育発達研究*, 23: 55-62.
- 陳洋明・池田延行・藤田育郎 (2012) 小学校高学年の走り幅跳び授業における指導内容の検討. *スポーツ教育学研究*, 32(1): 1-17.
- Tor, E., Pease, D., and Ball, K. (2014) Characteristics of an elite swimming start. *Biomechanics and Medicine in Swimming Conference*, Vol. 1, Australian Institute of Sport. pp. 257-263.
- 豊嶋建広・田中越郎・中野昭一 (1991) ボクシングのパンチ力に及ぼす腰部の動きの影響. *体力科学*, 40(6): 626.
- Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., and Chollet, D. (2010) Biomechanical influence of start technique preference for elite track starters in front crawl. *Open Sports Sciences Journal*, 3: 137-139.
- Vladimir, B. I., and Oleg, V. (2002) Track start vs. Grab start: evidence of the Sydney Olympic Games. *Proceedings of the IX International Symposium on Biomechanics and medicine in swimming*: 213-218.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons Inc.:New York, pp.41-43.
- 吉田章・斉藤慎一 (1981) 競泳におけるスタート動作の分析. *筑波大学体育科学系紀要*, 4: 49-54.
- 吉原暁憲・植屋清見・中村和彦 (1997) 遠投動作の体幹の捻り効果に関するバイオメカニクス的研究. *体力科学*, 46(6): 792.
- 関子浩二・高松薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の

筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38(4): 265-278.

謝辞

本研究の遂行ならびに学位論文の執筆に際しまして、たくさんの方々にご指導、ご支援を賜りました。

主査である出口達也教授ならびに前主査である環太平洋大学の黒川隆志教授には研究の計画から論文の執筆まで熱心なご指導を賜りました。また、副査の上田毅教授、葛岡孝則教授には審査会において貴重なご助言をいただきました。広島大学大学院教育学研究科の学生の皆様には実験の補助者や被験者としてたくさんのご協力をいただきました。私を支えてくださった皆様に謹んでお礼申し上げます。

今後もスポーツ界の発展に微力ながら貢献できるよう精進して参りますので、ご指導、ご鞭撻のほどよろしくお願い致します。