

学位論文要旨

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
- 第 2 節 先行研究の検討
- 第 3 節 問題の所在と研究目的

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
- 第 2 節 研究方法
- 第 3 節 結果
- 第 4 節 考察

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
- 第 2 節 研究方法
- 第 3 節 結果
- 第 4 節 考察

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 2 節 研究方法
- 第 3 節 結果
- 第 4 節 考察

第 5 章 総合考察

- 第 1 節 本研究の成果と意義
- 第 2 節 総括と今後の課題

文献

第 1 章 研究の背景と目的

第 1 節 緒言

競泳競技（以下，競泳と略す）の短距離種目ではレース中で最も高い速度を獲得できるスタート局面の重要度が高いとされており（生田ほか，1995），この局面のパフォーマンスを高めるため，多くのスタート技術が考案されてきた．その中でもバックプレート付きスタート台において，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）は従来のスタート技術と比較し，スタート局面のパフォーマンスが高く（Honda et al.， 2010），短距離種目での勝利に不可欠な技術である．K スタート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，安全性などの問題からバックプレート付きスタート台は広く普及していると言えず，多くの選手が K スタートの技能を向上する練習機会に恵まれていない現状がある．このため，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確立が求められる．

第 2 節 先行研究の検討

先行研究では K スタートの特徴として後脚による水平方向への推力の増加（Honda et al.， 2010），後脚の伸展による上体の倒れ込みの容易さ（尾関ほか， 2010）などが挙げられているが，左右非対称な動作である K スタートは 3 次元動作解析により，新たな動作特性を明らかにできると考えられる．また，過去の検討は K スタートの熟練度の高い選手を対象であり（Honda et al.， 2010；尾関ほか， 2015），技能の低い選手を対象とした報告は見られない．また，K スタートの指導方法に関しては体力的要素の向上を手段としたもののみである（Cuenca-Fernández et al.， 2015）．

第 3 節 問題の所在と研究目的

本研究では，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，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ことを目的とした．

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

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，3 次元 DLT 法で両下肢や体幹のねじれ等を分析した．

第 3 節及び第 4 節 結果および考察

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，屈曲時間はわずか $0.33\pm 0.06\text{s}$ であった．よって，K スタート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）の発生によって伸展力が増加された可能性がある．

K スタートではバックプレートを蹴るため，後脚の水平方向推力は大きく（野村ほか，2011），これが 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．また，本研究のブロック期の動作に注目すると，全被験者において体幹全体のねじれ角度は前脚離台の前後で最大値を示し， $9.8\text{-}15.8\text{deg}$ のねじれが生じていた．この変化は下胴の回旋角度と類似していた．このことから，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たと考えられる．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 (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.

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で K スタート動作を比較し, 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

男子大学競泳選手 13 名と男子大学体育専攻学生 14 名を対象に 3 次元 DLT 法によって K スタート動作を分析した. また, 被験者を 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 群に分類し, それぞれの動作を比較した.

第 3 節及び第 4 節 結果および考察

1. K スタートの巧拙の要因

スタート局面のパフォーマンス指標として 5m や 10m, 15m の通過タイムが用いられる. これらのタイムは跳び出し水平速度 (離台時における身体重心の水平移動速度) と有意な負の相関があるとされている (吉田・斉藤, 1981). 本研究においても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 (熟練上位群: $4.42 \pm 0.17 \text{m/s}$, 熟練下位群: $4.28 \pm 0.21 \text{m/s}$, 未熟練群: $4.18 \pm 0.81 \text{m/s}$). この跳び出し水平速度と有意な相関を示した変数として前脚の膝及び股関節の最大伸展速度が挙げられ (膝: $r=.626$, $p<.01$, 股関節: $r=.564$, $p<.01$), 前脚の各関節における伸展力強

化の重要性が示されたが、前脚の膝における SSC の利用と伸展力の関係については明らかにできなかった。また、跳び出し水平速度を増加するためには後脚の伸展力強化が有効であるという指摘されており (Ikeda et al., 2016), 本研究でも後脚の股関節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た (熟練上位群: $7.0 \pm 1.6 \text{ rad/s}$, 未熟練群: $5.7 \pm 0.8 \text{ rad/s}$)。これに加え、後脚の股関節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 ($r = .481$, $p < .01$), 下脛の最大回旋速度の増加によって、後脚の股関節の最大伸展速度も増加する可能性がある。ただし、本研究の対象とした技能レベルでは後脚の伸展力と跳び出し水平速度に先行研究のような関係性は見られなかった。

跳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されており (Ruschel et al., 2007), 本研究でも熟練上位群が最も飛距離が大きかった (熟練上位群: $3.21 \pm 0.23 \text{ m}$, 熟練下位群: $2.82 \pm 0.19 \text{ m}$, 未熟練群: $3.16 \pm 0.33 \text{ m}$)。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 (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。本研究において熟練下位群と未熟練群は熟練上位群より跳び出し角度が小さく、下方へ向かって離台していたため (熟練上位群: $-4.5 \pm 6.5 \text{ deg}$, 熟練下位群: $-10.1 \pm 5.1 \text{ deg}$, 未熟練群: $-10.1 \pm 4.9 \text{ deg}$), どちらの群も跳び出し角度を増加によって飛距離を増加できると考えられる。

跳び出し角度はブロック期前 (構え時) とブロック期後 (離台時) の重心高の差と有意な相関を示した ($r = .814$, $p < .01$)。離台時の重心移動ベクトルの方向を示す跳び出し角度は、ブロック期における身体重心の軌道が影響すると推測される。ブロック期前後の重心高の差は熟練度が高

いほど小さかったことから（熟練上位群： $-0.08 \pm 0.10\text{m}$ ，熟練下位群： $-0.17 \pm 0.07\text{m}$ ，未熟練群： $-0.28 \pm 0.11\text{m}$ ），K スタートの技能が高い泳者はブロック期における重心高の低下を抑えることで跳び出し角度を大きくしていると考えられる．さらに，ブロック期前後の重心高差と有意な相関があった変数として，前脚の膝の最大屈曲時角度（ $r=.673$ ， $p<.01$ ）及びブロック期前後の重心高差はブロック期前後の上体角度差（ $r=.507$ ， $p<.01$ ）が挙げられる．前脚の膝の最大屈曲時角度は熟練度が高いほど浅く（熟練上位群： $103.8 \pm 7.3\text{deg}$ ，熟練下位群： $96.1 \pm 9.2\text{deg}$ ，未熟練群： $88.6 \pm 10.6\text{deg}$ ），ブロック期前後の上体角度差は熟練度が高いほど大きい傾向を示した（熟練上位群： $18.6 \pm 15.2\text{deg}$ ，熟練下位群： $7.1 \pm 18.8\text{deg}$ ，未熟練群： $1.3 \pm 10.9\text{deg}$ ）．このように技能の高い泳者は前脚の膝の屈曲を浅くし，離台までに上体を大きく振り上げることでブロック期の重心高を高く保っていたと考えられる．重心高低下の抑制は跳び出し角度の増加に，跳び出し角度の増加は飛距離の増加につながると考えられることから，K スタートの技能が低い泳者に対しては，前脚の膝を深く屈曲しないこと，離台までに上体を大きく振り上げることを要点として指導することで，スタート局面のパフォーマンスが改善されると期待できる．

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

飛距離を増加する指導方法を提案するために，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実施し，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

被験者は男子競泳選手 7 名（熟練群）と男子非競泳選手 5 名（未熟練群）とし、前脚の膝の最大屈曲時角度とブロック期前後の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。

第 3 節及び第 4 節 結果および考察

本研究の熟練群において、前脚の膝の最大屈曲時角度（Pre 測定： 94.1 ± 9.9 deg, Post 測定： 96.5 ± 7.4 deg）とブロック期前後の上体角度差（Pre 測定： 12.0 ± 12.4 deg, Post 測定： 17.9 ± 9.7 deg）は変化が見られなかった。よって、本研究の指導方法では、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。未熟練群については、指導の要点であった前脚の膝の最大屈曲時角度（Pre 測定： 92.3 ± 10.9 deg, Post 測定： 101.7 ± 9.8 deg）とブロック期前後の上体角度差（Pre 測定： 4.9 ± 6.7 deg, Post 測定： 17.4 ± 5.0 deg）が有意に増加したにも関わらず、ブロック期前後の重心高差に変化はなく、期待された指導効果を得られなかった。

熟練群及び未熟練群の結果は期待されたものではなかったが、全被験者の半数は跳び出し角度が増加したため、泳者の特徴によっては本研究の指導方法が有効であると期待される。そこで、全被験者のうち跳び出し角度が増加した被験者を 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 低下群とし、結果を比較することで跳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ブロック期終盤（前脚の膝の伸展開始から離台まで）の重心高差（TOA 増加群： -0.09 ± 0.09 m, TOA 低下群： 0.00 ± 0.03 m）や跳び出し角度（TOA 増加群：

-11.8±7.1deg, TOA 低下群 : -3.7±3.3deg) に有意な差があった。よっ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、跳び出し角度が小さい泳者に対して効果が期待できる。

TOA 増加群では指導の要点であった前脚の膝の最大屈曲時角度 (Pre 測定 : 89.1±9.5deg, Post 測定 : 96.5±6.2deg) とブロック期前後の上体角度差 (Pre 測定 : 4.8±5.8rad/s, Post 測定 : 18.9±9.9rad/s) の両方が有意に増加した。このため、ブロック期終盤の重心高低下が顕著で、跳び出し角度が小さい泳者であれば、本研究の指導方法で効果的に動作を変化させることができると考えられる。また、TOA 増加群は前脚の膝の最大屈曲時の重心高 (Pre 測定 : 0.53±0.06m, Post 測定 : 0.58±0.06m) 及び離台時の重心高 (Pre 測定 : 0.45±0.07m, Post 測定 : 0.56±0.04m) が有意に増加した。前脚の膝が屈曲から伸展に切り替わる前後で後脚は離台するため、ブロック期終盤はほぼ前脚のみで床反力を獲得することになる。よって、TOA 増加群は前脚の伸展によって得られる床反力が増加したことで、ブロック期終盤の重心高を高く保てるようになったと考えられる。このような変化が跳び出し角度 (Pre 測定 : -11.8±7.1deg, Post 測定 : -5.9±7.0 deg) と飛距離 (Pre 測定 : 3.02±0.29m, Post 測定 : 3.22±0.26m) の有意な増加を生じさせたと示唆された。

第 5 章 総合考察

第 1 節 本研究の成果と意義

課題 1 では 3 次元動作解析の手法を用いることで前脚の膝における SSC の有効利用と下胴の回旋を伴う後脚の伸展動作という K スタートの動作特性に言及した。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ことでこのような新しい知見を得るこ

とができた。

課題 2 では技能レベルの異なる泳者の K スタート動作を比較することで技能の巧拙を生じさせる動作的要因を明らかにした。それにより、K スタートの技能が低い泳者は先行研究で示された後脚の伸展力よりも前脚の伸展力を高めることで飛び出し水平速度を向上できるという示唆を得た。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飛び出し角度、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で、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。これらの知見によって、さらなる 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「前脚の膝の最大屈曲時角度とブロック期前後の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、飛び出し角度が増加するため、飛距離が増加する」という仮説に基づく指導を実施した。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飛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ができたと思われる。

第 2 節 総括と今後の課題

本研究で提案した指導方法は特定の動作的特徴を持つ泳者に対して有効であると考えられるため、指導を実施すべきか否かを泳者や指導者が適切に判断できるかが重要である。今後はその判断基準となるような明確な指標を示す必要がある。

文献

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. *京都教育大学紀要. B, 自然科学*, 40: 77-86.
- 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・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.

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.

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.

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.