

2013年6月23日

公益財団法人 日本水泳連盟

競技運営委員長 鈴木 浩二

バックプレート付きスタート台に関わる科学的知見と提言

はじめに

一般に水泳プールでの飛び込みによる障害・事故は、スタート台や立ち上がり、プールサイドから飛び込んで水底に身体の一部を強打して起こすもので、飛び込みによる最も重大な事故は、水底で頭部を強打して頸椎を損傷して頸髄損傷、ひいては四肢の麻痺をきたすものです。

事故に至る飛び込みのパターンとしては、初心者が弱い蹴りで前に落ちるようにして飛び込んだ場合と、競技者がパイクスタートのように高く飛び上がって、その位置のエネルギーによって急速に水底に激突する場合とがあります。いずれの場合も共通しているのは、入水角度が必要以上に大きくなっていること、身長に対しプールの水深が相対的に浅いこと等があげられます。

競泳競技での飛び込みは、腕を振って飛び出す「モーションスタート」から、スタート台の前方を握る「クラブスタート」に移行し、近年では片足を後方に下げる「クラウチングスタート」・「トラックスタート」（同意語）が増加しています。国際水泳連盟（FINA）がバックプレートを承認したことから、クラウチングスタート（バックプレートを使用した場合はキックスタートともいう）がますます主流となってきました。そこで、水泳関係者が、バックプレート付きスタート台を用いた場合のスタートの特性を十分に理解した上で、泳ぎにつなげる合理的かつ重大事故が起きないよう安全な飛び込みが普及することを願います。



バックプレート付きスタート台を使った日本選手権男子決勝競技のスタート

※ 次に示すバックプレート付きスタート台に関わる科学的知見を参考にしていただくと共に、「提言」を是非活用して下さい。

1. 科学的知見

(1) 競泳のスタート動作の飛び出し技術にバックプレートが及ぼす影響

(野村 照夫氏らの研究発表から抜粋・編集)

出典

XIth International Symposium for Biomechanics & Medicine in Swim;2010, Issue 11, p135-137
http://www.nih.no/upload/BMS2010/Documents/BMS2010_BMS_XI_final_lowres.pdf

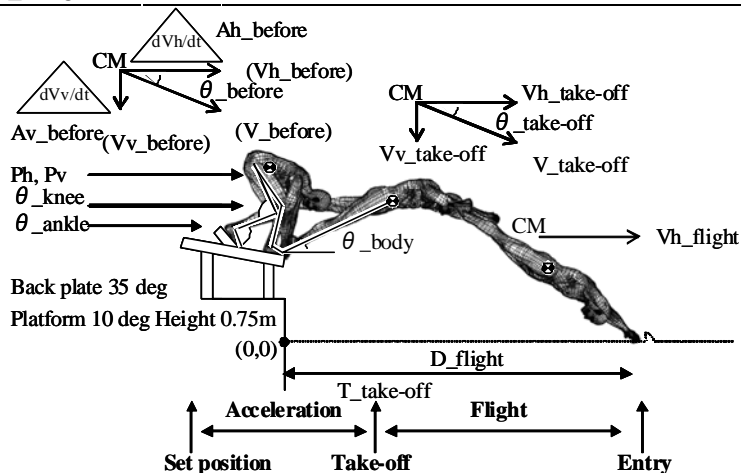
野村氏が、XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimmingにて口頭発表したものが、英語論文として掲載されたもの。

10名の男子大学一流競泳選手に、従来のプラットフォームからとバックプレート付きプラットフォームからのトラックスタートを行わせ、競泳スタート動作、特に飛び出しスキルに及ぼすバックプレートの影響を考察した。

- 1) 用意姿勢で、重心は比較的前方 (-0.205±0.054m) に変位した。
- 2) 用意姿勢の後脚の膝関節角度は、約90度 (84.3±11.3度) に設定されていた。
- 3) 離台直前に、身体が水平方向 (横 8.76±0.87 m/s² に、縦 0.16±1.13 m/s² に) に加速された。
- 4) 飛び出し角度は (-8.2±5.2度) の近くに水平に保つことができた。
- 5) 空中局面には差が無かった。

【飛び出し動作に関わる運動学的変数】

局面	略号	単位	説明
用意	Ph	m	スタート台前縁からの重心の水平距離
	Pv	m	水面からの重心の垂直距離
	θ_{knee}	deg	用意姿勢の膝角度
	θ_{ankle}	deg	用意姿勢の足首角度
加速	θ_{before}	deg	離台前0.3秒間の平均重心速度ベクトル角度
	Ah_before	m/s ²	離台前0.3秒間の平均重心水平加速度
	Av_before	m/s ²	離台前0.3秒間の平均重心垂直加速度
離台	T_take-off	sec	スタート信号から離台までの所要時間
	$\theta_{take-off}$	deg	離台時の重心速度ベクトル角
	θ_{body}	deg	離台時に重心とスタート台前縁と水平線のなす角度
	V_take-off	m/s	離台時の重心速度
	Vh_take-off	m/s	離台時の重心水平速度
	Vv_take-off	m/s	離台時の重心垂直速度
空中	D_flight	m	飛翔距離 (壁から入水指先までの水平距離)
	Vh_flight	m/s	平均飛翔水平速度



◆結果

- 1) 用意の姿勢で、バックプレート付きスタート台（以下バックプレート付き）における重心座標はスタート台前縁から $-0.205 \pm 0.054\text{m}$ 、水面から $1.367 \pm 0.029\text{m}$ であり、従来型スタート台の $-0.253 \pm 0.054\text{m}$ 、 $1.355 \pm 0.031\text{m}$ よりも有意に前方で高い位置にあった。
- 2) バックプレート付きで前脚と後脚の膝関節角度はそれぞれ 140.1 ± 5.7 度と 84.3 ± 11.3 度であり、従来型の 145.5 ± 8.0 度と 97.1 ± 11.4 度よりも有意に伸展が少なかった。
- 3) バックプレート付きで前脚と後脚の足首関節角度は、 140.6 ± 8.4 度と 104.1 ± 8.4 度であり、従来型の前脚の足首関節角度 147.1 ± 10.5 度より、背屈によって角度が有意に小さくなっていた。一方、従来型で後脚の足首角度 76.4 ± 7.2 度よりも有意に底屈によって角度が大きかった。
- 4) 加速局面で離台直前の0.3秒間に、バックプレート付きにおけるCMの平均飛び出し直前角は -6.7 ± 4.4 度であり、従来型の -8.2 ± 4.3 度に比べて有意に水平に近かった。
- 5) バックプレート付きの平均水平加速度は $8.76 \pm 0.87 \text{ m/s}^2$ であり、従来型の $7.96 \pm 0.79 \text{ m/s}^2$ に比べて有意に大きかった。
- 6) バックプレート付きの垂直加速度は $0.16 \pm 1.13 \text{ m/s}^2$ であり、有意に従来型の $-0.58 \pm 0.79 \text{ m/s}^2$ に比べて0に近かった。
- 7) 離台時のバックプレート付きにおける重心の飛び出し角は -8.2 ± 5.2 度であり、従来型 -10.5 ± 4.9 度に比べて有意に大きく、水平に近かった。
- 8) バックプレート付きで離台時の重心の垂直速度は $-0.65 \pm 0.45\text{m/s}$ であり、従来型の $-0.81 \pm 0.45\text{m/s}$ に比べて0に近く、有意に大きかった。
- 9) 離台までの所要時間、重心とスタート台前縁と水平線のなす角、離台時の重心水平速度と離台時の重心垂直速度などの離台に関する項目では、有意な差が見られなかった。
- 10) 空中局面では、どの項目にも有意差が見られなかった。

【従来型と新型スタート台での運動学的変数の比較】

局面	略号	単位	CON (従来型)		BKP (新型)		有意差
			Mean	S. D	Mean	S. D	
用意 姿勢	Ph	m	-0.253	± 0.054	-0.205	± 0.054	***
	Pv	m	1.355	± 0.031	1.367	± 0.029	**
	θ_{knee} (front)	deg	145.5	± 8.0	140.1	± 5.7	**
	θ_{knee} (rear)	deg	97.1	± 11.4	84.3	± 11.3	***
	θ_{ankle} (front)	deg	147.1	± 10.5	140.6	± 8.4	**
加速	θ_{ankle} (rear)	deg	76.4	± 7.2	104.1	± 8.4	***
	θ_{before}	deg	-8.2	± 4.3	-6.7	± 4.4	*
	Ah_before	m/s^2	7.96	± 0.79	8.76	± 0.87	*
	Av_before	m/s^2	-0.58	± 0.79	0.16	± 1.13	**
離台	T_take-off	sec	0.784	± 0.033	0.764	± 0.046	N. S.
	$\theta_{\text{take-off}}$	deg	-10.5	± 4.9	-8.2	± 5.2	*
	θ_{body}	deg	20.5	± 5.4	20.9	± 5.9	N. S.
	V_take-off	m/s	4.47	± 0.30	4.41	± 0.32	N. S.
	Vh_take-off	m/s	4.38	± 0.22	4.34	± 0.26	N. S.
	Vv_takeoff	m/s	-0.81	± 0.45	-0.65	± 0.45	*
空中	D_flight	m	3.00	± 0.19	2.99	± 0.18	N. S.
	Vh_flight	m/s	4.48	± 0.16	4.46	± 0.17	N. S.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

◆考察

- 1) 用意の姿勢では、バックプレート条件の重心は、比較的前方に変位する。それはスクワット姿勢から立位の運動では、踵を上げが股関節の前方変位のような姿勢の調整に影響を与えたとする研究と一致した。
- 2) バックプレートの条件では、後脚の膝関節角度は、体を推進する膝角度に近い 90 度の値を得た。
- 3) 膝伸展における等尺性力-角度関係では、105 から 120 度で他の角度条件よりも大きな力が発揮されることを報告した。さらに、等尺性膝関節伸展を脚の長さに対する比で表した場合、脚の長さの 80~90%にあったときに力がピークを示した。この比率を角度に変換すると、屈曲角は 106 から 128 度程度となる。そのため、バックプレートの条件で設定された位置で、後脚の膝関節はよりもう少しを伸展する必要がある。その結果、重心が少し前方に移動すると考えられた。
- 4) 進行方向に高速で移動する重心が速いスタートのための一つの重要な要因であり、バックプレートの条件の 0.3 秒の間の重心の平均飛び出し直前角度が、水平に近づく望ましい効果が見られた。離台直前に垂直加速度が 0 に近似したことが、バックプレートの条件の水平加速を裏付けた。
- 5) スタート台上の力分布は、スタート運動の最後の局面で大きな力が発揮され、徐々に離台まで弱くなったことが報告された。それは、体重を支えていない可能性があるため、離台角度が、平均離台直前重心飛び出し角よりも約 2 度低くなったと考えられる。
- 6) バックプレートの影響は離台時および空中局面にもやや見られた。重要なのは、スイマーがいかなる技術も集中的な練習を行うことによって改善することができるということである。

結論として、競泳のスタート動作、特に飛び出し技術に及ぼすバックプレートの影響は、

- 1) 用意の姿勢では、重心が比較的前方に変位する。
- 2) 用意の姿勢の後脚の膝関節角度は 90 度程度に設定された。
- 3) 離台直前に、身体が水平方向に加速された。
- 4) 離台時に、飛び出し角度を水平に近く保つことができる。
- 5) 速いスタートのために、スタート台の利点を生かす集中的な練習が必要であることが示唆された。

(2) 一流選手の従来のトラックスタートと新しいキックスタートのバイオメカニクスの比較

(Honda 氏による研究発表から抜粋・編集)

出典

XIth International Symposium for Biomechanics & Medicine in Swim;2010, Issue 11, p94-96

http://www.nih.no/upload/BMS2010/Documents/BMS2010_BMS_XI_final_lowres.pdf

Honda 氏による研究。XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming にて口頭発表されたものが、英語論文として掲載されたもの。

14 名の一流水泳選手（男性 9 名;年齢 20.8±3.0 歳、女性 5 名;年齢 21.4±2.8 歳）とした。全員オーストラリアスポーツ研究所（A I S）の水泳チームのメンバーであった。参加者の個人ベスト記録はすべて F I N A ポイント 850 点以上を達成していた。

- 1) 参加者には最大努力で飛び込み、キックや泳動作をせずに、勢いが止まるまでグライドするように指示した。
- 2) 参加者は 3 回のキックプレートを使った「飛び込みからグライド」と、3 回の従来のトラックスタートを無作為の順序で行った。
- 3) 統計的にキックスタート（バックプレートを利用したスタート）と従来のトラックスタートのパフォーマンスの違いを表 1 に示した。
- 4) 男子はトラックスタートとキックスタートの両方について女子よりも速く、高い速度を記録した。
- 5) 示した全ての力の値は、参加者の体重によって正規化し、体重（BW）の何倍かで表現した。

表 1: キックスタートと従来のトラックスタートの比較

変数	平均値と標準偏差		有意差
	Kick Start	Track Start	
5m 通過時間(s)	1.62 ± 0.01	1.66 ± 0.01	0.002**
7.5m 通過時間(s)	2.69 ± 0.02	2.73 ± 0.02	0.032*
台上時間(s)	0.77 ± 0.01	0.80 ± 0.01	0.001**
離台 水平速度(m/s ⁻¹)	4.48± 0.04	4.41 ± 0.03	0.009**
5m ~ 7.5m 平均速度(m/s ⁻¹)	2.39± 0.04	2.37± 0.04	0.644
平均水平分力 (BW)	0.60± 0.01	0.57 ± 0.01	0.003**
台上最大水平分力 (BW)	1.13± 0.04	1.09 ± 0.04	0.151

* 有意水準 p < 0.05

** 有意水準 p < 0.01

◆結果

- 1) 5 m と 7.5m の通過時間のパフォーマンス指標を見たときに、キックスタートが有意に優れていることを示した。
- 2) 新型スタート台での平均ブロック時間がキックスタートの 0.77s は、トラックスタートの 0.80s に比べ有意に優れていることを示した。
- 3) キックスタートが有意に (P < 0.01) 0.03 秒、離台時間が短かった。
- 4) キックとトラックの差が 0.01 秒より小さい値で、有意な差であった。
- 5) トラックスタートよりキックスタートの優れた点は、5 m と 7.5m の通過時間の両方で有意に 0.04 秒程度速かったことである。この差はスタート台の性能の向上を示すが、その後は有意な差は見られなかった。

◆考察

全参加者がキックスタートの5 mと7.5mの通過時間が、トラックスタートに比べて速かったという事実は、キックスタートがトラックスタートに比べ、優れていることを示している。

キックスタートの平均水平分力は、トラックスタートより有意に高く、離台時間が短く、離台速度も高い両立を示した。これは、キックプレートは水平方向の力積を犠牲にすることなく、ブロック時間を短縮することを示している。後方の足が上げられることと、より水平方向に力を発揮できることの利点は、水平方向速度を増した身体の前方向への移動に、直接的に力を用いることができることである。大きな水平速度を得ることは、全体的な飛び込みのパフォーマンスに貢献すると見られている。

スタート台を離れるときに有意に大きな水平速度があっても、これが5 mから7.5m平均速度には表れない。これは、スイマーがキックスタートからより減速することを示唆している。これが唯一の飛び込みとグライド研究であるが、これは驚くに値しない。流体中の移動体に作用する抵抗が速度の二乗に比例するので、より高い速度は、より大きな抵抗をもたらす。キックを利用できるスタートで、より高い速度を維持するための方法があるかもしれない。

本研究の結果、新しいスタートプラットフォーム上でのキックスタートは、従来のトラックスタートより有意に高速になることが示された。水泳のスタートに関する先行研究では、それが「何が最も得意か、最も得意なものがベストだ」と示唆する傾向にある。

参加者自身のトラックスタートという好みと、経験による技術的な偏見にもかかわらず、キックスタートは高い水平速度と水平分力から、有意に離台時に高い水平速度を示した。この利点は、5 mと7.5mの通過時間でも維持された。水中キックとストロークへの移行の影響を含めた15m全体のスタートを見るさらなる研究が、キックスタートに必要とされるが、コーチと選手が、新型スタート台に適応する技術の習得に時間を費やすべきであると推奨する。

2. 提言

野村氏らの研究によると、被験者はまだバックプレートを使用するための十分なスキルに至っておらず、スタート台の利点を生かし切れているといえる段階ではありませんでした。台上での水平方向への加速と、飛び出し角度が水平に近づくことの2点には、大きな優位性が認められました。

また、Honda氏の研究では、多方面にわたり明らかな優位性が示されており、「飛距離」・「空中速度」などの「空中局面」も、すでに優位性が認められる状況に発展している可能性も十分に考えられます。

幸い飛び出し角度が水平に向ったことは、冒頭に上げた事事例の「入水角度が必要以上に大きくなる」という点では、危険な方向へは向かっていないとはいえませんが、空中局面が向上し飛距離や空中速度が増すことで、角度によってはその大きなエネルギーが、水底への到達時間が短くすることも考えられます。

さらに、飛込み後の到達水深が深くなる原因として、入水角度の他に、「上肢の伸展の遅れ」、「腰部の伸展の遅れ」、「入水後の浮き上がり動作の遅れ」などが上げられます。

冒頭の写真に見られるように、腕によるスタート台前方の引き付け（プル動作）から押し出し（プッシュ動作）が行われるようになり、両腕が進行方向と逆に動く動作に対しての『上肢の伸展の遅れ』は注意すべき点であると考えられます。

また、主要競技会においては、出発合図前の「フラつき」や「フォルススタート」などが、ほとんど見られなくなりましたが、入水時の抵抗を軽減するための『直線的な入水』や、入水から水平姿勢に移る際の抵抗を軽減するため『深々度での姿勢変化』（1.5mを超える水深で水平姿勢に至る傾向）なども多く見られるようになってきました。

これは2mの水深を有効に活用して、意図的に「入水後の浮き上がり動作の遅れ」を作っている状況ですが、選手自身が水深を確認し、スタート台と水深関係を十分に認識した上で、最大到達深度を調整する必要があります。

バックプレート付きスタート台は、多方面にわたる数値に現れる優位性の他に、選手自身の感じる「安定感」や「スタートしやすさ」など面からも、今後全国的に普及して行くことになると思われますが、さらに高まるであろうその優位性と、スタートから浮上動作の新たな傾向など、スタート台と水深の関係は十分に検討する余地があり、高さ・大きさ・傾斜角度など、バックプレートを使用しない初心者の利用などに対しても、注意をはらう必要があると思われます。