

クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの役割に関する研究

篠原 康男^{*1}, 前田 正登^{*2}

A study on the role of the starting block in the crouch start

Yasuo SHINOHARA ^{*1}, and Masato MAEDA

^{*1} Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University
Tsurukabuto 3-11, Nada-ku, Kobe, 657-8501 Japan

Japan Society for the Promotion of Science Research Fellow DC

In this study, the functional role of starting blocks in the sprint start was examined. Participants were 6 sprinters (height: 175.8±5.0 cm; weight: 69.2±4.0 kg; personal best 100 m time: 10.65±0.13 s) who performed two kinds of sprint starts: a crouch start with starting blocks (BS), and a crouch start without starting blocks (CS). During block clearance, two force plates were used to measure the force applied to the front and rear starting blocks (in BS) or to the ground (in CS). The force plates were placed under each block (in BS) or under the participant's feet (in CS). The ground reaction force of the first and second step after block clearance was measured using another two force plates. The sampling frequency for these measurements was 1 kHz, and kinematic data were recorded using four high-speed cameras at 250 frames/s. The horizontal impulse applied to the rear block in BS was greater than that applied by the rear foot in CS; the horizontal impulse applied to both starting blocks in BS was greater than the horizontal impulse in CS. The vertical impulse applied to both starting blocks in BS was lower than the vertical impulse in CS, and the duration of force application to both starting blocks in BS was shorter than the duration of force application in CS. Taken together, starting blocks enable a greater horizontal impulse to be applied in a shorter time during block clearance, compared with no starting blocks. Therefore, the starting block can be regarded as an essential tool for enhancing sprint start performance.

Key Words : Sprint start, Crouch start, starting block, Block clearance

1. 緒言

短距離走におけるクラウチングスタートが競走で用いられ始めたのは、1896年のアテネ五輪からといわれている⁽¹⁾。クラウチングスタートが用いられ始めた初期のころは、現在のようなスターティングブロックはなく、選手達は地面に穴を掘ってクラウチング姿勢をとっていた。その後、1948年に初めてスターティングブロックが導入されて以来、数多くの短距離走のレースに用いられている。

クラウチングスタートでは「Set」の姿勢から加速を開始することから、静止した状態から速度を獲得して出発するには力積が不可欠である。Bender⁽²⁾は、短距離走スタートにおける速度獲得要因にスターティングブロックの使用を挙げており、Henry⁽³⁾によると、スターティングブロックに加えられた力に着目することはスタート技術の検討や指導を行う上で有用であるとされている。また、山根ら⁽⁴⁾のスタート方法に関する報告によると、クラウチング姿勢からのスタートを疾走に生かせるかどうかは、ブロックへの力の加え方が要因になるという。したがって、短距離走スタートにおける「Set」からの加速、特にブロッククリアランス時の力発揮には、スターティングブロックは欠かせない用具であるといえよう。しかしながら、現在ではスターティングブロックには、むし

^{*1} 学生員, 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11), 日本学術振興会特別研究員 DC

^{*2} 正 員, 神戸大学

E-mail: 091d203d@stu.kobe-u.ac.jp

ろ、不正スタートの判定や反応時間の計測が求められる用具として認識されつつある⁽⁵⁾。クラウチングスタートが導入された初期には、スターティングブロックを用いたスタートではなかったことを踏まえると、スターティングブロックは選手の加速を援助する役割を担うものであるといえよう。しかし、スターティングブロックがスタートに及ぼす影響については、ブロック配置に関する検討が数多くなされているものの⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、スターティングブロックそのものがスタートに及ぼす影響やその役割についてはほとんど検討されていない。

本研究では、スターティングブロックの有無が「Set」からのスタートに及ぼす影響に着目し、クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの役割を検討することを目的とした。

2. 方法

2・1 被験者

被験者は、学生男子短距離選手6名とした（身長；175.8±5.0 cm，体重；69.2±4.0 kg，100m 走の自己記録；10.65±0.13 秒，競技歴；9.5±2.9 年）。なお、被験者には実験内容を十分に説明し、同意を得た上で実験を実施した。

2・2 実験方法

被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後、①スターティングブロックを用いたクラウチングスタート（以降、BS とする）、②スターティングブロックを用いないクラウチングスタート（以降、CS とする）の2種類のスタートを行わせた。両スタートの試技は各3～4本ずつとした。なお、BSの試技前には、普段のブロック配置と同じ位置に前後のブロックを設定した。また、CSの試技前には、選手が「Set」で構えやすい姿勢を取れるよう、足を置く位置を自由に調整させた。調整後、決定した位置にマークをつけ、足を置く位置が試行回で変わらないようにした。両スタートとも、試技前には十分に練習を行わせて実施した。

各試技の後ブロックと前ブロックに加えられた力、「Set」時に手で支える力及び第1歩目と第2歩目の地面反力について、5台のフォースプレートを用いてそれぞれ1kHzで測定した。また、被験者の側方、斜め前方及び斜め後方に高速度ビデオカメラ（Phantom Miro eX2, Vision Research）を4台設置し、被験者のブロッククリアランス及びスタート動作を250Hzで撮影し収録した。なお、各フォースプレートと高速度ビデオカメラは完全同期し、それぞれ測定を行った。被験者のスタートダッシュの合図にはスタート合図器（JESTAR, NISHI）を用い、各フォースプレートと高速度ビデオカメラの外部トリガーとしても用いた。さらに、スタートラインから10m地点の疾走タイムについても計測員を配置し計測した。

2・3 分析

2・3・1 分析方法

BSおよびCSのいずれのスタートについても、測定したスタートの中で被験者の内省が良く、計測した疾走タイムが早かった試技を分析対象とした。分析は、号砲に反応してから第2歩目の離地直後までとし、ブロッククリアランスを含めたスタート動作を分析した。号砲への反応は、「Set」の構え時に各ブロックに加わる力の水平成分と鉛直成分の合成力を基準（Baseline）とし、号砲後、前後どちらかのブロックに加わる合成力がBaselineから5%上回った時点を号砲への反応時点とした。なお、本研究では、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間（号砲への反応時点）から前足が前ブロックから離れる瞬間までをブロッククリアランスとし、前ブロックから前足が離れる瞬間をブロッククリアランス時とした。ブロッククリアランスおよびスタート動作の分析には、3次元動作解析ソフトウェア（Frame-DIASIV, DKH）を用いて、身体23点をデジタイズし、3次元DLT法による分析を行った。デジタイズにより得られた3次元座標から、進行方向と鉛直方向の2次元座標を得た。得られた座標データはButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化を行った。このときの遮断周波数は先行研究⁽⁹⁾を参考に8Hzとした。平滑化した座標値を用いて、身体重心の位置座標を求めた。算出には阿江⁽¹⁰⁾の身体部分慣性係数を用いた。

2・3・2 分析方法

本研究では、以下の8項目を分析項目として算出した。

a. 各局面の時間 [s]

「Set」の構え時に各ブロックに加わる水平成分と鉛直成分の合成力を基準（Baseline）とした。そして、号砲後、合成力がBaselineを100%とした時の105%を上回った時点をブロックに力が加えられ始めた時点とした。また、ブロックに力が加えられ始めた時点から足がブロックを離地するまでの時間を前後のブロック別にそれぞれ求め、ブロックに力が加えられた時間とした（以下、後ブロック時間 t_1 および前ブロック時間 t_2 と略す、図1参照）。また、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めた時点から前ブロックを離地するまでのブロッククリアランス全体に要した時間（以下、ブロッククリアランスタイム t_3 と略す）も求めた。これらの分析項目はČoh et al.⁽¹¹⁾やFortier et al.⁽¹²⁾の報告を参考に算出した。

さらに、ブロッククリアランス（前ブロックを離地）してから、第1歩目を接地するまでに要した時間（以下、滞空時間① t_4 と略す）、第1歩目を接地してから離地するまでの時間（以下、第1歩目の接地時間 t_5 と略す）、第1歩目を離地してから第2歩目を接地するまでの滞空時間（以下、滞空時間② t_6 と略す）、第2歩目を接地してから離地するまでの時間（以下、第2歩目の接地時間 t_7 と略す）、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、第2歩目を離地するまでの時間（以下、第2歩目離地までの時間 t_8 と略す）についても、それぞれ算出した。

b. 身体重心位置 [cm]

「Set」時とブロッククリアランス時、および第1歩目と第2歩目の接地・離地時の身体重心位置について、進行方向についてはスタートラインからの水平距離（以下、身体重心水平位置と略す）を、鉛直方向については地面からの高さ（以下、身体重心高と略す）をそれぞれ算出した。（図2を参照）

c. 疾走速度 [m/s]

ブロッククリアランス時および第1歩目と第2歩目の離地時における身体重心の水平速度と鉛直速度をそれぞれ算出した。

d. 加えられた力積 [Ns/kg]

ブロッククリアランス中にスターティングブロックに加えられた力積の水平成分及び鉛直成分を前後のブロック別にそれぞれ求めた（以下、前ブロックへの力積（水平成分 IF_h 、鉛直成分 IF_v ）と後ブロックへの力積（水平成分 IR_h 、鉛直成分 IR_v ）と略す）。そして、成分ごとに加算し、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分及び鉛直成分をそれぞれ算出した（以下、スターティングブロックへの力積（水平成分 IT_h 、鉛直成分 IT_v ）と略す）。なお、ブロッククリアランス中に加えられた力積の鉛直成分については、Set時に前ブロック及び後ブロックに加えられている鉛直成分の力の平均値を基準（Baseline）とし、号砲後、鉛直成分に加えられた力からBaseline分を差し引いた値を用いて算出した。

また、第1歩目および第2歩目については、第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力積を水平成分および鉛直成分にそれぞれ分けて算出した（以下、第1歩目の力積（水平成分 I_1G_h 、鉛直成分 I_1G_v ）、第2歩目の力積（水平成分 I_2G_h 、鉛直成分 I_2G_v ）と略す）。なお、第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力積の鉛直成分については、体重分を差し引いた値として算出した。全ての力積は被験者の体重で除した値とした。

e. 加えられた力の最大値 [N/kg]

前後のブロックおよび第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力の水平成分と鉛直成分の最大値について、それぞれフォースプレートから算出した（以下、後ブロックへの最大力（水平成分 PFR_h 、鉛直成分 PFR_v ）、前ブロックへの最大力（水平成分 PFF_h 、鉛直成分 PFF_v ）、第1歩目での最大力（水平成分 $PF1_h$ 、鉛直成分 $PF1_v$ ）、第2歩目での最大力（水平成分 $PF2_h$ 、鉛直成分 $PF2_v$ ）と略す）。

f. 「Set」時における前後の足の位置 [cm]

「Set」時における前後の足の位置について、BSは前後のブロック配置、CSは構えの姿勢を調整後に決定したマークの位置を用いて、スタートラインからの距離をそれぞれ測定した。

g. 「Set」時に手で支える力 [N/kg]

「Set」時に手で支える力について、フォースプレートから算出した（以下、手で支える力（水平成分 FA_h 、鉛直成分 FA_v ）と略す）。

h. 身体各部の関節角度 [deg.]

「Set」時とブロッククリアランス時、および第1歩目と第2歩目の接地・離地時の身体各部の関節角度（図2を参照）について、進行方向と鉛直方向の2次元座標を用いて算出した。なお、算出には、嶋田ら⁽¹³⁾の報告や中野ら⁽¹⁴⁾の報告を参考にした。

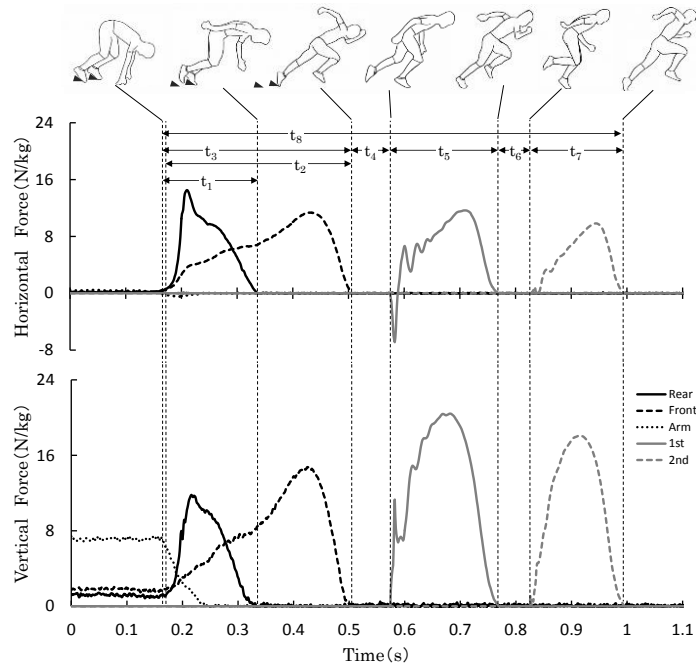


Fig. 1 Example of applied force in the sprint start (BS)

Horizontal distance from starting line to C.G. : $l_s, l_{cl}, l_{1c}, l_{1r}, l_{2c}, l_{2r}$

Height of C.G. : $h_s, h_{cl}, h_{1c}, h_{1r}, h_{2c}, h_{2r}$

Upper body angle : $\theta_{u-s}, \theta_{u-cl}, \theta_{u-1c}, \theta_{u-1r}, \theta_{u-2c}, \theta_{u-2r}$

Hip joint angle (Front leg) : $\theta_{hf-s}, \theta_{hf-cl}, \theta_{hf-1c}, \theta_{hf-1r}, \theta_{hf-2c}, \theta_{hf-2r}$

Knee joint angle (Front leg) : $\theta_{kf-s}, \theta_{kf-cl}, \theta_{kf-1c}, \theta_{kf-1r}, \theta_{kf-2c}, \theta_{kf-2r}$

Ankle joint angle (Front leg) : $\theta_{af-s}, \theta_{af-cl}, \theta_{af-1c}, \theta_{af-1r}, \theta_{af-2c}, \theta_{af-2r}$

Hip joint angle (Rear leg) : $\theta_{hr-s}, \theta_{hr-cl}, \theta_{hr-1c}, \theta_{hr-1r}, \theta_{hr-2c}, \theta_{hr-2r}$

Knee joint angle (Rear leg) : $\theta_{kr-s}, \theta_{kr-cl}, \theta_{kr-1c}, \theta_{kr-1r}, \theta_{kr-2c}, \theta_{kr-2r}$

Ankle joint angle (Rear leg) : $\theta_{ar-s}, \theta_{ar-cl}, \theta_{ar-1c}, \theta_{ar-1r}, \theta_{ar-2c}, \theta_{ar-2r}$

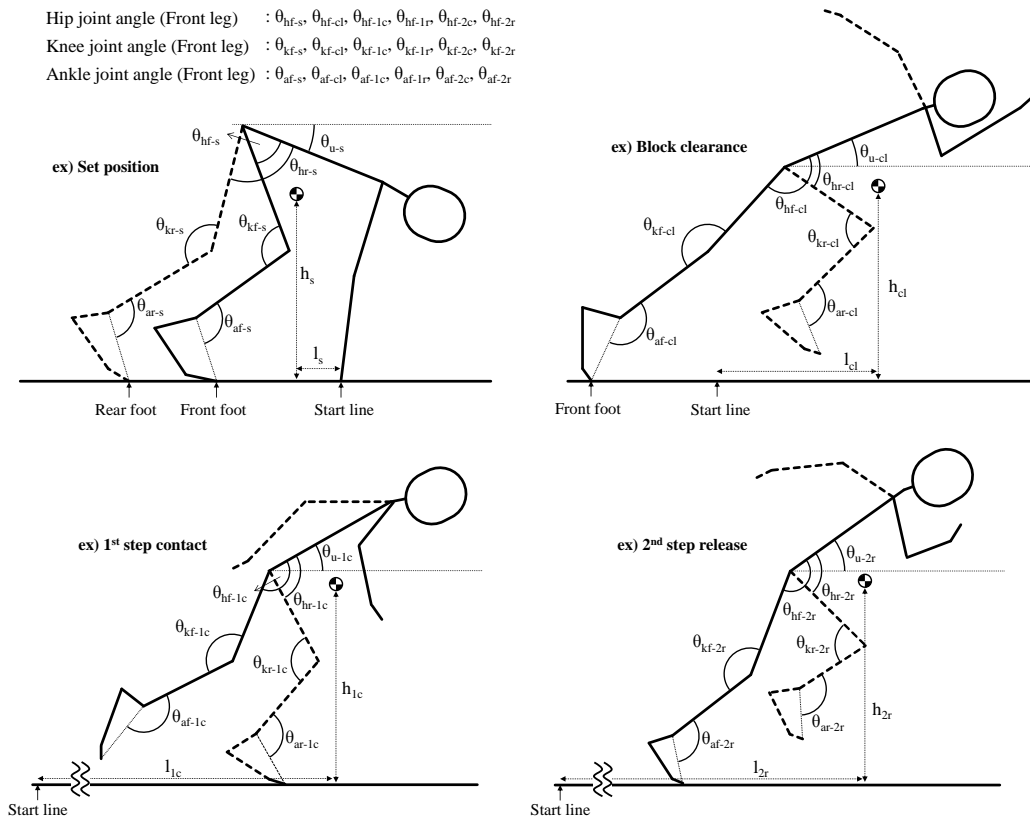


Fig. 2 Kinematic variables of the start and start acceleration

2・3・3 統計処理

BSおよびCSの試技ごとに各項目の平均値及び標準偏差を算出し、BSとCSの比較には、対応のあるt検定を用いて有意水準5%未満で検定した。

3. 結果

表1にBSとCSにおける第2歩目離地までの時間 t_8 とスタートラインから10m地点の疾走タイムを示す。第2歩目離地までの時間について、両者の間には有意な差は認められなかった。また、スタートラインから10m地点の疾走タイムは計測員による測定であり、参考までに比較したが、第2歩目離地までの時間と同様に有意な差は認められなかった。

図3に前後のブロックに力が加えられた時間と第2歩目離地までの時間 t_8 を局面ごとに示す。後ブロック時間と前ブロック時間ともに、BSとCSの間に有意な差はみられなかった。一方、BSとCSのブロッククリアランスタイム t_3 の間には有意な差が認められ、BSの方がCSに比べて有意に時間が短かった($p<0.05$)。

各時点での身体重心位置について、身体重心水平位置の推移を図4に、身体重心高の推移を図5に示す。図4より、Set positionではBSがCSに比べて、身体重心水平位置が有意にスタートラインに近く($p<0.01$)、第1歩目接地時については、BSがCSに比べて、身体重心水平位置が有意にスタートラインから遠かった($p<0.01$)。また、図5より、Set positionにおいて、BSがCSに比べて、身体重心高が有意に高かった($p<0.01$)。

図6に各時点での疾走速度を示す。ブロッククリアランス時の水平速度に有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.01$)。また、第2歩目の鉛直速度にも有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.05$)。

表2に加えられた力積について、水平成分および鉛直成分に分けて示す。水平成分では、後ブロックへの力積 IR_h とスターティングブロックへの力積 IT_h について、BSとCSの間に有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた(後ブロック： $p<0.01$ 、スターティングブロック： $p<0.05$)。また、前ブロックへの力積の水平成分 IF_h について、BSとCSの間に有意な差が認められ、CSの方がBSより大きい値を示していた($p<0.01$)。鉛直成分では、前ブロックへの力積 IF_v とスターティングブロックへの力積 IT_v に有意な差が認められ、CSの方がBSより大きい値を示していた(前ブロック： $p<0.05$ 、スターティングブロック： $p<0.05$)。一方、第1歩目と第2歩目に加えられた力積には水平成分と鉛直成分ともに有意な差は認められなかった。

表3に加えられた力の最大値について、水平成分および鉛直成分に分けて示す。水平成分では、後ブロックへの最大力 PFR_h について、BSとCSの間に有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.01$)。その他の項目には有意な差は認められなかった。鉛直成分では、いずれの項目においても有意な差は認められなかった。

表4に「Set」時における前後の足の位置と手で支える力を示す。スタートラインから後足までの距離において、BSとCSの間に有意な差が認められ、BSの方がCSより距離が短かった($p<0.01$)。また、手で支える力では、鉛直成分についてBSとCSの間に有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.01$)。

表5に「Set」時とブロッククリアランス時における身体各部の関節角度を示す。「Set」時では、上体角度 θ_{u-s} 、股関節角度(前脚 θ_{hf-s} 、後脚 θ_{hr-s})、足関節(前脚 θ_{af-s} 、後脚 θ_{ar-s})について、BSとCSの間に有意な差が認められ、BSの方がCSに比べて上体角度が低く($p<0.01$)、股関節角度が前後ともに小さく(前脚： $p<0.05$ 、後脚： $p<0.05$)、足関節角度が前後ともに大きかった(前脚： $p<0.01$ 、後脚： $p<0.05$)。一方、ブロッククリアランス時では、後脚の股関節角度 θ_{hr-cl} のみ有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.05$)。

表6に第1歩目の接地および離地時における身体各部の関節角度を示す。接地時では遊脚(「Set」時の前脚)の股関節角度 θ_{hf-1c} のみ有意な差が認められ、BSの方がCSより小さい値を示していた($p<0.05$)。離地時ではいずれの項目においても有意な差は認められなかった。

表7に第2歩目の接地および離地時における身体各部の関節角度を示す。接地時では遊脚(「Set」時の後脚)の足関節角度 θ_{ar-2c} のみ有意な差が認められ、BSの方がCSより小さい値を示していた($p<0.05$)。離地時では遊脚の股関節角度 θ_{hr-2r} のみ有意な差が認められ、BSの方がCSより大きい値を示していた($p<0.05$)。

Table 1 10m time in BS and CS

	Time [s]		
	BS	CS	BS vs CS
t_8	0.87 ± 0.04	0.95 ± 0.09	n.s.
$^{**}10m$ time	1.85 ± 0.06	1.91 ± 0.10	n.s.

n.s. : no significant

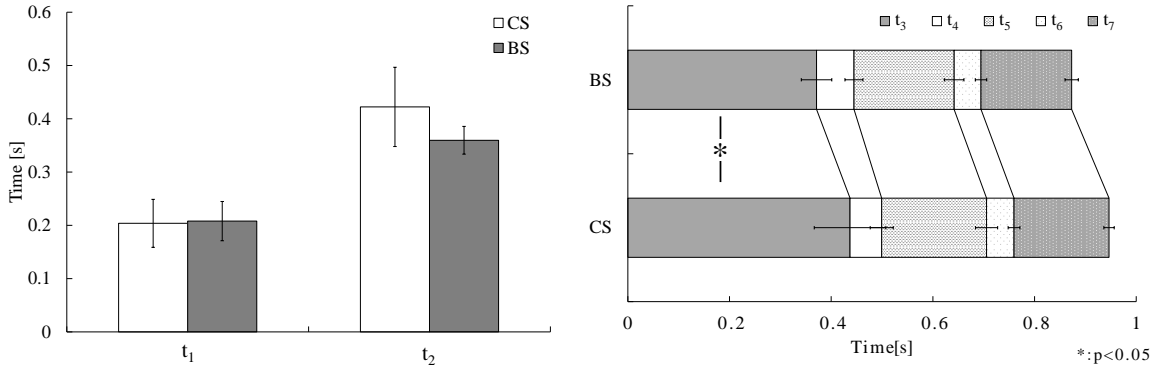


Fig. 3 Duration of force application in BS and CS

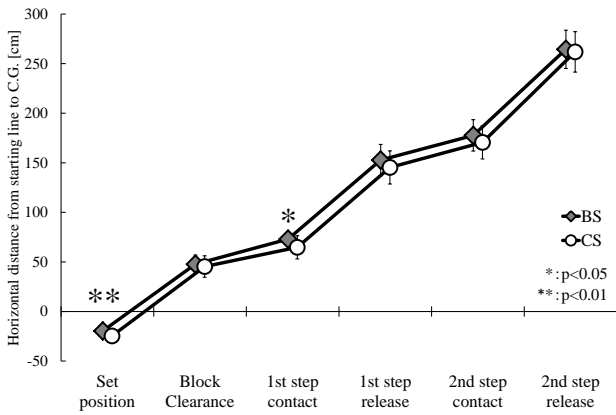


Fig. 4 Change of horizontal distance from starting line to C.G. in BS and CS

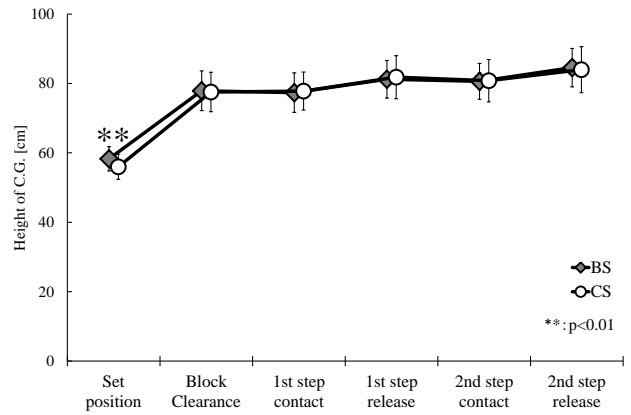


Fig. 5 Change in height of C.G. in BS and CS

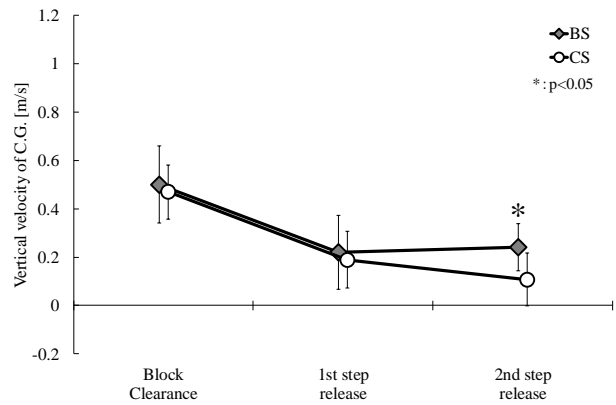
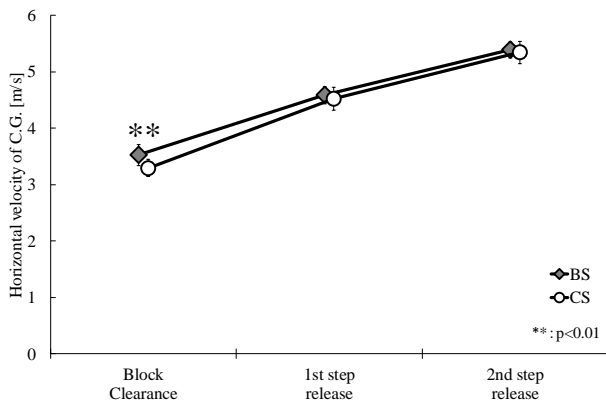


Fig. 6 Change in velocity of C.G. in BS and CS

Table 2 Applied impulse in BS and CS

	Horizontal impulse [Ns/kg]			Vertical impulse [Ns/kg]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
IR _h	1.25±0.25	0.77±0.27	BS > CS **	IR _v	0.89±0.25	0.68±0.30	n.s.
IF _h	2.26±0.16	2.49±0.20	BS < CS **	IF _v	1.93±0.26	2.35±0.21	BS < CS *
IT _h	3.51±0.19	3.26±0.16	BS > CS *	IT _v	2.82±0.16	3.03±0.28	BS < CS *
I ₁ G _h	1.15±0.14	1.31±0.13	n.s.	I ₁ G _v	0.90±0.22	0.74±0.17	n.s.
I ₂ G _h	0.92±0.06	0.98±0.09	n.s.	I ₂ G _v	0.71±0.09	0.72±0.14	n.s.

* : p<0.05, ** : p<0.01, n.s. : no significant

Table 3 Applied force in BS and CS

	Horizontal peak force [N/kg]			Vertical peak force [N/kg]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
PFR _h	11.40±2.13	7.38±2.89	BS > CS **	PFR _v	9.66±2.06	8.49±2.90	n.s.
PFF _h	11.62±0.64	10.78±0.78	n.s.	PFF _v	14.17±0.72	13.88±0.99	n.s.
PF1 _h	10.69±1.34	11.10±1.18	n.s.	PF1 _v	19.43±1.66	18.72±1.72	n.s.
PF2 _h	9.82±0.52	9.70±0.63	n.s.	PF2 _v	19.64±3.64	17.87±1.39	n.s.

** : p<0.01, n.s. : no significant

Table 4 Foot spacing and Arm force at the set position in BS and CS

	Foot spacing ^a [cm]			Arm force [N/kg]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
Rear foot	70.50±8.70	80.87±7.94	BS < CS **	FA _h	0.61±0.40	0.47±0.32	n.s.
Front foot	43.67±9.08	42.58±12.07	n.s.	FA _v	7.09±0.44	5.99±0.59	BS > CS **

^aDistance from starting line to block

** : p<0.01, n.s. : no significant

Table 5 Joint angle at the block clearance in BS and CS

	Joint angle at the Set position [deg.]			Joint angle at the moment of the block clearance [deg.]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
θ _{u-s}	-25.06±7.96	-16.88±8.82	BS < CS **	θ _{u-cl}	25.30±7.57	28.28±8.70	n.s.
θ _{hf-s}	41.90±5.09	50.86±4.87	BS < CS *	θ _{hf-cl}	155.32±9.43	157.60±12.16	n.s.
θ _{hr-s}	72.38±9.87	88.08±12.39	BS < CS *	θ _{hr-cl}	86.14±7.86	78.17±6.80	BS > CS *
θ _{kf-s}	107.84±8.86	108.29±12.77	n.s.	θ _{kf-cl}	170.15±3.97	166.39±5.27	n.s.
θ _{kr-s}	124.33±18.54	131.85±27.43	n.s.	θ _{kr-cl}	83.64±11.24	90.30±13.33	n.s.
θ _{af-s}	102.38±5.11	81.93±7.98	BS > CS **	θ _{af-cl}	143.13±3.18	139.79±4.79	n.s.
θ _{ar-s}	97.69±7.90	95.16±8.71	BS > CS *	θ _{ar-cl}	89.66±4.77	88.50±5.90	n.s.

* : p<0.05, ** : p<0.01, n.s. : no significant

Table 6 Joint angle at the 1st step in BS and CS

	Joint angle at the moment of the 1 st step contact			Joint angle at the moment of the 1 st step release			
	[deg.]			[deg.]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
θ_{u-1c}	25.75 ± 8.41	29.56 ± 8.05	n.s.	θ_{u-1r}	36.21 ± 10.22	37.12 ± 10.01	n.s.
θ_{hf-1c}	140.82 ± 9.28	145.39 ± 7.52	BS < CS *	θ_{hf-1r}	77.74 ± 9.09	81.13 ± 6.79	n.s.
θ_{hr-1c}	94.29 ± 9.06	96.16 ± 10.91	n.s.	θ_{hr-1r}	157.85 ± 14.32	159.09 ± 10.00	n.s.
θ_{kf-1c}	123.35 ± 13.61	132.18 ± 12.85	n.s.	θ_{kf-1r}	93.03 ± 7.40	91.83 ± 9.12	n.s.
θ_{kr-1c}	113.59 ± 5.30	108.17 ± 6.06	n.s.	θ_{kr-1r}	156.08 ± 6.15	158.72 ± 6.94	n.s.
θ_{af-1c}	141.73 ± 9.57	142.27 ± 15.58	n.s.	θ_{af-1r}	87.94 ± 3.15	87.94 ± 2.73	n.s.
θ_{ar-1c}	87.74 ± 6.92	87.93 ± 8.06	n.s.	θ_{ar-1r}	138.47 ± 7.64	139.89 ± 8.01	n.s.

* : p<0.05, n.s. : no significant

Table 7 Joint angle at the 2nd step in BS and CS

	Joint angle at the moment of the 2 nd step contact			Joint angle at the moment of the 2 nd step release			
	[deg.]			[deg.]			
	BS	CS	BS vs CS	BS	CS	BS vs CS	
θ_{u-2c}	37.82 ± 8.52	38.25 ± 10.20	n.s.	θ_{u-2r}	42.65 ± 9.20	43.55 ± 10.02	n.s.
θ_{hf-2c}	95.94 ± 11.23	98.59 ± 13.99	n.s.	θ_{hf-2r}	157.12 ± 14.40	161.06 ± 12.82	n.s.
θ_{hr-2c}	147.24 ± 13.19	146.61 ± 6.55	n.s.	θ_{hr-2r}	83.23 ± 7.12	81.33 ± 7.09	BS > CS *
θ_{kf-2c}	113.23 ± 6.29	112.22 ± 7.18	n.s.	θ_{kf-2r}	152.50 ± 12.56	155.89 ± 8.97	n.s.
θ_{kr-2c}	117.65 ± 14.70	122.49 ± 11.33	n.s.	θ_{kr-2r}	93.79 ± 12.59	94.74 ± 9.52	n.s.
θ_{af-2c}	86.21 ± 3.26	86.70 ± 3.42	n.s.	θ_{af-2r}	133.96 ± 8.77	139.25 ± 4.26	n.s.
θ_{ar-2c}	140.11 ± 12.55	144.05 ± 12.80	BS < CS *	θ_{ar-2r}	91.26 ± 7.05	92.64 ± 11.09	n.s.

* : p<0.05, n.s. : no significant

4. 考察

表 1 より、第 2 歩目離地までの時間とスタートラインから 10m 地点の疾走タイムには BS と CS の間に有意な差は認められなかった。また、第 1 歩目の離地以降における身体重心水平位置 (図 4) は BS と CS で変わらず、身体重心高もブロッククリアランス以降で有意な差はみられなかった (図 5)。さらに、第 1 歩目と第 2 歩目における力発揮にも差はみられず (表 2, 表 3)、疾走動作をみても、有意な差はほとんどみられなかった (表 6, 表 7)。これらのことからスターティングブロックの有無は、主として第 1 歩目の接地時までには影響を及ぼすものであり、第 1 歩目を接地して以降には大きな影響を及ぼすものではないと考えられる。そこで、ブロッククリアランス局面について特に着目して、スターティングブロックの役割を検討する。

前述したように、第 2 歩目離地までの時間には有意な差が認められなかったものの、構成する各局面の時間を比較すると、BS の方が CS に比べてブロッククリアランスタイムが有意に短かった (図 3)。また、ブロッククリアランス時の水平速度についても、BS の方が CS に比べて有意に大きかった (図 6)。ブロッククリアランス時の疾走速度は、スターティングブロックに加えられた力積により生じるものといわれている⁽¹⁵⁾。ブロッククリアランスでに加えられた力積 (表 2) をみると、BS の方が CS に比べてスターティングブロックへの力積の水平成分が有意に大きかった。また、鉛直成分において、BS の方が CS に比べて力積が有意に小さかった。これらのことから、スターティングブロックを使用することによって、短時間で水平方向への大きな力発揮を可能にし、その結果、身体重心を水平方向へ大きく加速させることができたものと考えられる。このことについて、天野⁽¹⁶⁾は前進に有効な水平方向に力を発揮しやすいことをクラウチングスタートの有利性に挙げており、本研究の結果と合

わせて考えると、スターティングブロックを用いることでクラウチングスタートの有利性を活かすスタートになっていたものと考えられる。

スターティングブロックの有無でこのような違いが生じる背景について、前後それぞれの脚での力発揮に着目して検討する。まず、後ブロックへの力発揮をみると、BSの方がCSに比べて、後ブロックへの力積の水平成分および水平成分の最大力ともに有意に大きかった(表2, 表3)。また、後ブロック時間にはBSとCSで違いがみられなかった(図3)。これらのことから、スターティングブロックを用いることで、後脚では力を加える時間は変わらずに、より大きな力を水平方向に発揮して、大きな力積を加えることを可能にしていると考えられる。

一方、前ブロックではCSの方がBSに比べて、前ブロックへの力積の水平成分および鉛直成分ともに有意に大きかった(表2)。また、前ブロックへの最大力については水平成分、鉛直成分ともに有意な差は認められず、前ブロック時間ではBSとCSで有意な差はみられなかったものの、CSの方が長い傾向を示していた(図3)。これらの結果は、後ブロックとは逆の結果であった。つまり、スターティングブロックを用いないCSでは、後脚での力発揮は小さくなっていたが、前脚では逆に水平成分・鉛直成分ともに大きな力発揮となっていた(表2, 表3)ことになる。このように前後のブロックで逆の傾向がみられたのには、「Set」時の構え方と後脚での力発揮が関係しているものと考えられる。CSではBSに比べて、「Set」時の身体重心水平位置(図4)はスタートラインから遠く、クリアランス時点ではCSとBSで差はみられなかった。身体重心高(図5)についても、CSの方がBSに比べて「Set」時の身体重心高は低く、クリアランス時点ではCSとBSで差はみられなかった。これらのことから、スターティングブロックを用いないスタートでは、水平および鉛直方向のどちらにも、身体重心をより大きく移動させていたといえる。しかし、スターティングブロックを用いないCSでは、後足での力発揮が小さくなっていた(表2, 表3)ことから、後脚で強い力発揮ができない分、ブロッククリアランスにおける前脚の力発揮の割合を高めなければならなかったものと考えられる。その結果、前脚で力発揮を行う時間が長くなり(図3)、前脚で加えられた力積が大きくなった(表2)ものと考えられる。しかし、前ブロックへの最大力に有意な差がなかったこと(表3)から、前ブロックへの力発揮そのものが大きくなったわけではなく、ブロッククリアランスで加えられた力積の水平成分はBSよりも有意に小さくなっていた(表2)。このことから、スターティングブロックを用いないことによって小さくなった分の後脚の力発揮を、前脚で担うことができなかったものと考えられる。その結果、ブロッククリアランス時の疾走速度(図6)も小さくなり、第1歩目接地時の身体重心水平位置に有意な差が生じたものと考えられる(図4)。

さらに、これらのことに加えて、「Set」時の姿勢も関係していると考えられる。図4より、CSはBSに比べて「Set」時の身体重心水平位置がスタートラインから遠かったが、これにはBSにおける後足の位置がCSに比べてスタートラインから遠かったこと(表4)や、手で支える力がCSに比べて小さかったこと(表4)、さらに、「Set」時の上体角度がCSと比べて低かったこと(表5)が影響したものと考えられる。天野⁽¹⁶⁾はクラウチングスタートの有利性について、「Set」の姿勢から手を離れた瞬間に前向きエネルギーを生ずることを挙げているが、構え方によっては必ずしも有利なものとはならないことを指摘している。本研究の結果を踏まえると、CSの「Set」時の構えは後方に低くかがんだ姿勢であるといえ、クラウチングスタートの有利性を活かすにくいものとなっていたといえる。したがって、クラウチングスタートの有利性を活かせるような「Set」の姿勢(身体重心がスタートラインに近くなるような姿勢)は、スターティングブロックを用いることで可能となるものと考えられる。

以上のことを踏まえると、クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの役割は、ブロッククリアランスでの力発揮において、前後の脚それぞれでの力発揮を可能とし、特に後脚での力発揮を大きくするものであると考えられる。また、このような力発揮を可能とする「Set」の姿勢は、スターティングブロックを用いることによるものであると考えられたことから、スターティングブロックはクラウチングスタートに有効な用具であるといえよう。ただ、ブロッククリアランスの力発揮については、Harland and Steele⁽¹⁷⁾が、後ブロックを押さずにスタートする技法もあると述べている。本研究の結果を踏まえると、普段から後ブロックをほとんど押さない意識でスタートを行っている選手にとっては、現行のスターティングブロックが有効な用具とは必ずしもいえない可能性がある。今後は、選手のブロッククリアランスでの前後のブロックの使い方に注目し、クラウチングスタートにおけるより有効なスターティングブロックを検討していく必要があるといえる。

5. 総括

本研究では、スターティングブロックの有無が「Set」からのスタートに及ぼす影響に着目し、クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの役割を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. スターティングブロックの有無は、主に第1歩目の接地時までには影響を及ぼすものであり、第1歩目を接地して以降には大きな影響を及ぼすものではなかった。
2. スターティングブロックは、ブロッククリアランスにおいて短時間で水平方向への大きな力発揮を可能とされていた。これは、スターティングブロックを用いることで前後の脚それぞれでの力発揮を可能とし、特に後脚での力発揮が大きくなったことによるものと考えられた。また、このような力発揮はスターティングブロックを用いることで可能となる「Set」の姿勢によるものであり、スターティングブロックはクラウチングスタートに有効な用具であると考えられた。

文 献

- (1) Mach, G., "The Individual Sprint Events", In Payne, H.(Ed.), *Athletes in action : the official International Amateur Athletic Federation book on track and field techniques*, (1985), pp. 12-34, Pelham Book, London
- (2) Bender, W.R.G., "Factors contributing to speed in the start of a race and characteristics of trained sprinters: A summary of experimental investigations", *Research Quarterly*, Vol.5 (1934), pp. 72-78.
- (3) Henry, F.M. "Force-time characteristics of the sprint start", *Research Quarterly*, Vol. 23, No. 3 (1952), pp. 301-318.
- (4) 山根文隆, 後藤幸弘, 辻野昭, 梅野圭史, 藤田定彦, 田中譲, "クラウチングスタート法の適時性に関する基礎的研究—クラウチングスタート法による効果の年齢差—", 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集, (1986), pp. 14-20.
- (5) 野崎忠信, 金子敬二, 横倉三郎, 鈴木昇, "改良型陸上競技用不正出発発見装置の動作特性" 日本体育学会大会号, Vol. 46 (1995), pp. 387.
- (6) 野原弘嗣, 花田登, 安里重則, 山岡誠一, "クラウチングスタートの研究", 京都教育大学紀要, Vol. 50-B (1977), pp. 36-49.
- (7) Schot, P.K. and Knutzen, K.M., "A biomechanical analysis of four sprint start positions", *Research Quarterly for Exercise and Sports*, Vol. 63, No. 2 (1992), pp. 137-147.
- (8) 篠原康男, 前田正登, "短距離走におけるスターティングブロックの配置と加えられる力の関係", スポーツ産業学研究, Vol. 21, No. 2 (2011), pp. 44-50.
- (9) 金高宏文, 松村勲, 瓜田吉久, "逆振り子モデルからみたクラウチングスタートとスタンディングスタートの水平速度獲得要因の違い", スプリント研究, Vol.19 (2009), pp. 19-28.
- (10) 阿江通良, "日本人幼少年およびアスリーの身体部分慣性係数", *Japanese Journal of Sports Science*, Vol. 15 (1996), pp. 155-162.
- (11) Čoh, M., Jošt, B., Škof, B., Tomažin, K. and Dolenc, A., "Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters", *Gymnica*, Vol. 28 (1998), pp. 33-42.
- (12) Fortier, S., Basset, F.A., Mbourou, G.A., Favérial, J. and Teasdale, N., "Starting block performance in sprinters: A statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period", *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 4 (2005), pp. 134-143.
- (13) 嶋田義明, 尾縣貢, 関岡康雄, "'用意'の姿勢の変化がスタートに及ぼす影響について—腕と脚にかかる体重の比重に着目して—", 陸上競技研究, Vol. 29 (1997), pp. 33-37.
- (14) 中野正英, 尾縣貢, 真野功太郎, "短距離走のスタートに体力, スタートフォームが及ぼす影響—小学5年生の場合—", スポーツ教育学研究, Vol.3, No. 2 (1993), pp. 91-103.
- (15) Coppenolle, H., Delecluse, C., Goris, M., Diels, R. and Kraayenhof, H., "An evaluation of the starting action of world class female sprinters", *Track Technique*, Vol. 90 (1990), pp. 3581-3582.
- (16) 天野義裕, "短距離走のスターティングフォーム", 学校体育, Vol. 31, No. 12 (1978), pp. 131-135.
- (17) Harland, M.J. and Steele, J.R., "Biomechanics of the sprint start", *Sports Medicine*, Vol.23, No. 1 (1997), pp. 11-20.