

短距離走のスタートにおける反応時間

大塚 光雄, 栗原 俊之, 伊坂 忠夫

1. はじめに

「On your mark, set, "go!"」

陸上競技の短距離走では、スプリンターは「set」の掛け声の後にセット姿勢を保ち、スタート合図を聞いた後に、スターティングブロックに対して両足で力を加え走り始める（図1）。屋外で実施される短距離走の中では、レースの距離が短い100 m走で反応時間は最も短くなる（Babić and Delalija, 2009; Collet, 1999; Piliandis et al., 2012）。100 m走のレースでは、反応時間が短い者ほどフィニッシュタイムは短い（Martin and Buoncristiani, 1995; Paradisis, 2013; Piliandis et al., 2012）。そのため100 m走では、いち早くスターターの号砲に対して反応する能力は0.01秒差で勝負を決める上では重要である。

現在の陸上競技のルールでは、スターティングブロックに加わる力が、スタート合図が鳴ってから100ミリ秒未満で変化した場合、本人はスタート合図を聞かずにフライングスタートをしたと判断される。しかし、多くのスタートダッシュに関する研究成果では、スタート合図を聞いた後に反応をしても、100ミリ秒未満で反応した

者がいることが示されている（表1）。そのため、現行のルールでは、スプリンターはスタート合図を聞いてから反応したにも関わらず、フライングスタートをとられる可能性がある。そこで本稿では、短距離走のスタートダッシュにおける反応時間を決定する要因と反応時間の分析方法をレビューし、今後の研究分野だけでなく、コーチング現場さらに競技会運営に役立つ情報を提供したい。

2. 反応時間を決定する要因

スタートダッシュ時の全身反応時間は、図2に示す通り、①入力情報（スタート合図）が感覚受容器（耳）に到達するまでの時間、②入力情報が感覚受容器から脳に達し、脳から末梢へ運動指令を出す処理時間、③運動指令が脊髄・末梢神経を通過する時間、④筋収縮活動開始から力発揮までに要する時間の総和で決定される。

①スタート合図が耳に到達するまでの時間

気温が30℃の場合、音速は349 m/秒である（Julin and Dapena, 2003）。そのため、選手がスタート合図の音源から1 m離れるにつれ、スタート合図は2.9ミリ秒

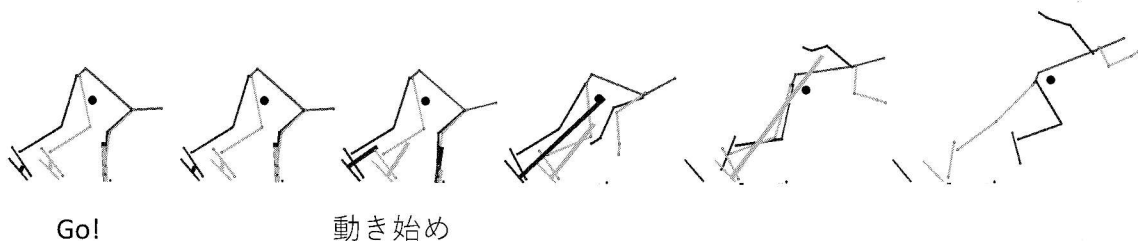


図1 セット姿勢からスターティングブロックをキックするまでのスティックピクチャーと地面反力

OTSUKA Mitsuo, KURIHARA Toshiyuki and
ISAKA Tadao
立命館大学

表1 スタートダッシュ時の反応時間の平均値と95%信頼区間(単位:ミリ秒)

著者	平均値(95%信頼区間)	特筆すべき条件, 被験者, 測定法
Pain & Hibbs (2007) †	82 (53-143)	スプリンター1名(#8)
Komi et al. (2009) †	98 (45-93)	両足にかかる地面反力から分析
Henry (1952) †	116 (85-147)	エロンゲーティッドスタート
Otsuka et al. (2017)	117 (107-127)	先行期間が短い試技(1.465秒)
Mero & Komi (1990) †	119 (97-141)	後ろ足にかかる地面反力から分析
Brown et al. (2008) †	120 (81-159)	反応刺激が120dB
Maulder et al. (2008)	120 (100-140)	通常条件
Čoh et al. (2017) †	121 (99-143)	スプリンターの上位群
Eikenberry et al. (2007)	130 (127-133)	左足を後ろブロックに置く試技
Aerenhouts et al. (2013) †	134 (73-195)	15.0歳の男子スプリンター
Gutiérrez-Dávila et al. (2006) †	142 (95-189)	セット姿勢時に全力でブロックに荷重する試技
Taboga et al. (2014) †	155 (71-239)	普段使用するブロック足, 健常者
Slawinski et al. (2012)	159 (104-214)	エロンゲーティッドスタート
Fortier et al. (2005)	172 (113-231)	一流スプリンター
Otsuka et al. (2015)	179 (148-210)	通常条件

95%信頼区間は平均値 $\pm 1.96 \times$ 標準偏差で求めた。ここで取り上げた先行研究は、スタート合図が与えられた瞬間から動き始めた瞬間(足からスターティングブロックまたは地面反力計に作用した力の変化で判別)までの時間を反応時間と定義し、且つ、実際の競技会ではなく、スタートダッシュの実験にて反応時間を測定したものに限定した。†95%信頼区間のいずれかの値が100ミリ秒未満に含まれた先行研究。

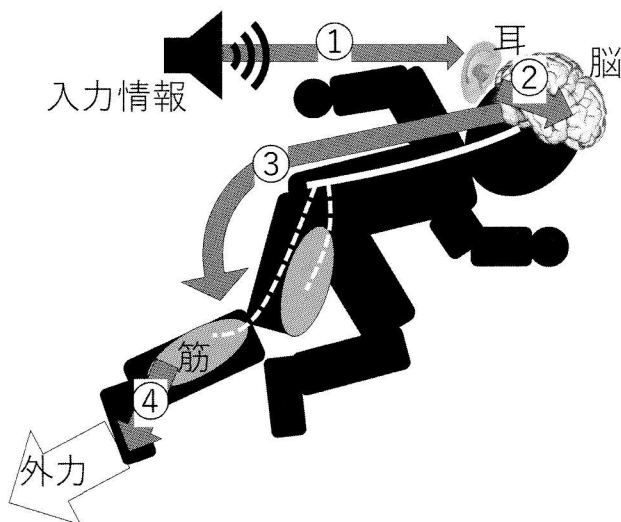


図2 入力情報が発生してからスターティングブロックへ力が大きく加わるまでの過程(イメージ図)

遅れて選手の耳に伝わる。すなわち、スターターの号砲を音源とする大会では、スターターから遠い位置にいる選手ほど反応時間は遅くなる。事実、1996年アトランタオリンピックにおける4×100mリレーでは、スターターから最も遠い8レーンの選手の反応時間は331ミリ秒であり、1レーンの選手の反応時間である176ミリ秒と比べて明らかに長かった(Julin and Dapena, 2003)。2004年のアテネオリンピックの100m走では、スターターに近い1レーンの選手の反応時間(160±26ミリ秒)は、アウトレーンの選手の反応時間(7レーン:185±34秒)よりも25ミリ秒有意に短かった(Brown et al., 2008)。これらの研究成果を踏まえ、現在の国際大会で

は、スタート合図の音源からすべての選手までの距離を統一するため、すべてのスターティングブロックにスピーカーを取り付けられている。

②スタート合図が耳から脳に達し、脳から末梢へ運動指令を出す処理時間

スタート合図は空気の振動として外耳、中耳、内耳の順に奥へと送られ、大脳皮質の聴覚野で処理される。聴覚野で処理された情報に基づき、事前に脳内で蓄えられた“前方へスタートダッシュする”運動プログラムがリリースされ、延髄に到達する。スタートダッシュ時におけるこの脳内の処理時間は、次の4つの要因によって短縮される。

まずはスタート合図の音量、すなわち、聴覚刺激の強さである。聴覚刺激が124 dBといった驚愕反応を引き起こす強度であると、皮質下経路(網様体)は興奮され、脳に蓄えられた運動プログラムがリリースされる時間は短縮される(Carlsen et al., 2011; Marinovic and Tresilian, 2016; Nonnekes et al., 2015; Valls-Sole, 2012)。スプリンターの反応時間の研究(Brown et al., 2008)では、驚愕反応がみられた試技での反応時間は、そうでない試技での反応時間と比べて18ミリ秒短いことが明らかにされている。

次に右半球の優位性である。スプリンター10名を含む被験者20名を対象とした研究では、13名がセット姿勢で右足を後ろ足にする姿勢が得意と答えていたにも関わらず、左足が後ろ足となる試技での反応時間の方が、右足が後ろ足となる試技での反応時間と比べて26ミリ

秒短いことが明らかにされている (Eikenberry et al., 2007). スタートディングブロックをキックする動作は、後ろ足が前足よりも先行する (Fortier et al., 2005). この左足を動かす運動プログラムは右半球から指令される. この右半球は信号に対する発見や同定 (Boulinguez et al., 2000) だけでなく、注意資源の配分 (Marzi, 1999) に優れているため、その反応時間が短くなったと考えられる (Eikenberry et al., 2007).

三つ目は、スタート合図のタイミングの予期である. 「set」の警告刺激から反応刺激であるスタート合図までの時間間隔を先行期間と呼ぶ. 単純反応時間の課題では、先行期間が短すぎると、心理的にその反応に備えることが不十分であることから反応時間が長くなる (Niemi, 1979; Niemi and Näätänen, 1981). このような心理的不応期 (Telford, 1931) は、スプリンターのスタートダッシュ時でもみられる. 国際大会における先行期間を参考にして5種類の先行期間を変動させた実験では、最も長い先行期間 (2.096秒) 下での反応時間は 117 ± 5 ミリ秒であり、最も短い先行期間 (1.465秒) 下での反応時間の 156 ± 8 ミリ秒よりも有意に短かった (Otsuka et al., 2017). 一方、このスタート合図のタイミングを常に一定 (1.780秒) にした場合、スプリンターの反応時間は短く、且つ、その再現性は高くなることが明らかにされている (Otsuka et al., in press). この実験では、反応刺激を時々消失させるキャッチトライアルを導入していたため、被験者は確実にスタート合図を聞いた後に走り始めていたと考えられる.

四つ目の要因として、自我消耗 (ego depletion) といった心理状態によって反応時間は長くなることが明らかにされている (Englert and Bertrams, 2014).

③運動指令が脊髄・末梢神経を通過する時間

日常的なトレーニングへの適応として、神経伝達速度が増加することを示唆する報告はある (Kamen et al., 1984; Samorajski and Rolsten, 1975). したがって、日常のトレーニングがスプリンターの末梢神経の伝達速度に変化を与えている可能性はあるが、それを示す研究は見当たらない.

身長が高い人ほど神経伝達速度は遅いことが明らかにされている (Patel et al., 2013; Takano et al., 1991). 詳しいメカニズムは明らかにされていないが、スタートダッシュにおいても高身長の者ほど反応時間は長くなることが推察される.

現在のフライングスタートは、スタートディングブロックに加わる力の変化から判定される. しかし、足がス

ターディングブロックに加える力から求めた反応時間は 98 ± 23 ミリ秒である一方、手が地面に加える力から求めた反応時間は 69 ± 12 ミリ秒であることが明らかにされている (Komi et al. 2009). これは脳から足までの距離よりも脳から手までの距離が短いことが原因として考えられる. このような手にかかる力データの変化から動き始めを判定し、反応時間を分析する方法が最も妥当であるが、現在の競技会では用いられていない.

④筋収縮活動開始から力発揮までに要する時間

筋収縮が開始されてから外力として力が測定されるまでに時間ずれが生ずる. 足関節の底屈を課題とする実験では、アキレス腱のスティッフネスが高い者ほど、この電気力学的遅延は短いことが報告されている (Waugh et al., 2013). そのため、スタートダッシュにおいて反応時間が短くなる筋腱複合体の構造をもつスプリンターがいると考えられる.

先行研究によると、スタートディングブロックの前後間隔を広くするエロンゲーティッドスタート (前後間隔: 54.8 cm) では、他のミディアム (36.8 cm) ・バンチスタート (21.5 cm) と比べて、スタート合図に対する反応時間が短くなることが報告されている (Slawinski et al., 2012). この先行研究では、ブロックの前後間隔は後ろ足のブロックだけを動かすことで調整されていた. 後ろ足の接地位置が後方へ移動した場合、セット姿勢での足関節角度はより背屈位となる. より背屈位にある足関節角度では電気力学的遅延は短くなるため (Muraoka et al., 2004), これによってエロンゲーティッドスタートの反応時間は短くなる可能性がある.

このようにスタートダッシュ時における反応時間に影響を与える因子は①から④で示した通り、数多く存在している. この他、スプリンターの競技経験もその因子としてあげられる (Tonnesen et al., 2013). ②から④のどの時間に影響を与えているかわからないが、実際の競技会では、20歳以上のシニアスプリンターの反応時間は 147.61 ± 24.67 ミリ秒と、18または19歳のジュニアスプリンターの反応時間の 157.39 ± 29.25 ミリ秒よりも有意に短いことが明らかにされている (Collet, 1999).

3. 反応時間の分析方法

反応時間は、主に①生体信号の測定機器と②生体信号が変化し始める瞬間を同定する閾値によって変動する.

①生体信号の測定機器

多くの実験では、地面反力計を用いて足裏にかかる地面反力を測定し、反応時間が分析されている (Čoh et al., 2017; Eikenberry et al., 2007; Gutiérrez-Dávila et al., 2006; Komi et al., 2009; Mero et al., 1990; Otsuka et al., 2015, 2017; Pain and Hibbs, 2007; Taboga et al., 2014). それに対して、スターティングブロックに力センサーを埋めて力データを測定し、反応時間を分析する方法がある (Aerenhouts et al., 2013; Brown et al., 2008; Fortier et al., 2005; Ille et al., 2013). この方法だと、地面反力計とスターティングブロックとの間に弾性体であるタータンマットがない分、直接、足がブロックに作用した力を時間ずれなく測定することができると考えられる。

取得する力データには水平・鉛直・左右成分がある。反応時間の分析では、その鉛直成分 (Eikenberry et al., 2007), 合力 (Komi et al., 2009) を分析対象とするケースがあるが、水平成分を分析対象とするケースが最も多い (Brown, 2008; Henry, 1952; Mero et al., 1990; Taboga et al., 2014).

一方、ハイスピードカメラで反応時間を分析した先行研究はいくつかある (Maulder et al., 2008; Pain and Hibbs, 2007). 500 Hzのサンプリング周波数に設定したハイスピードカメラを用いて、その撮影映像から動き始めを判定して求めた反応時間は、地面反力計で求めた反応時間より60ミリ秒長いことが報告されている (Pain and Hibbs, 2007). 映像データは安価なビデオカメラやスマートフォンで簡単に撮影することができるため、今後ビデオカメラで反応時間を分析する場合は、過大評価される反応時間を補正する方法を検討する必要がある。

②生体信号が変化し始める瞬間を同定する閾値

スプリンターが動き始める瞬間、すなわち、スターティングブロックに加える力に変化がみられる瞬間は、設定する閾値により変化する。しかし、現在の国際陸上競技連盟が示す競技ルールでは、この閾値の設定方法に関して具体的な記述はない (International Association of Athletics Federations, 2017). そのため、閾値の設定方法は、スターティングブロックの販売会社や研究者によって異なる (図3).

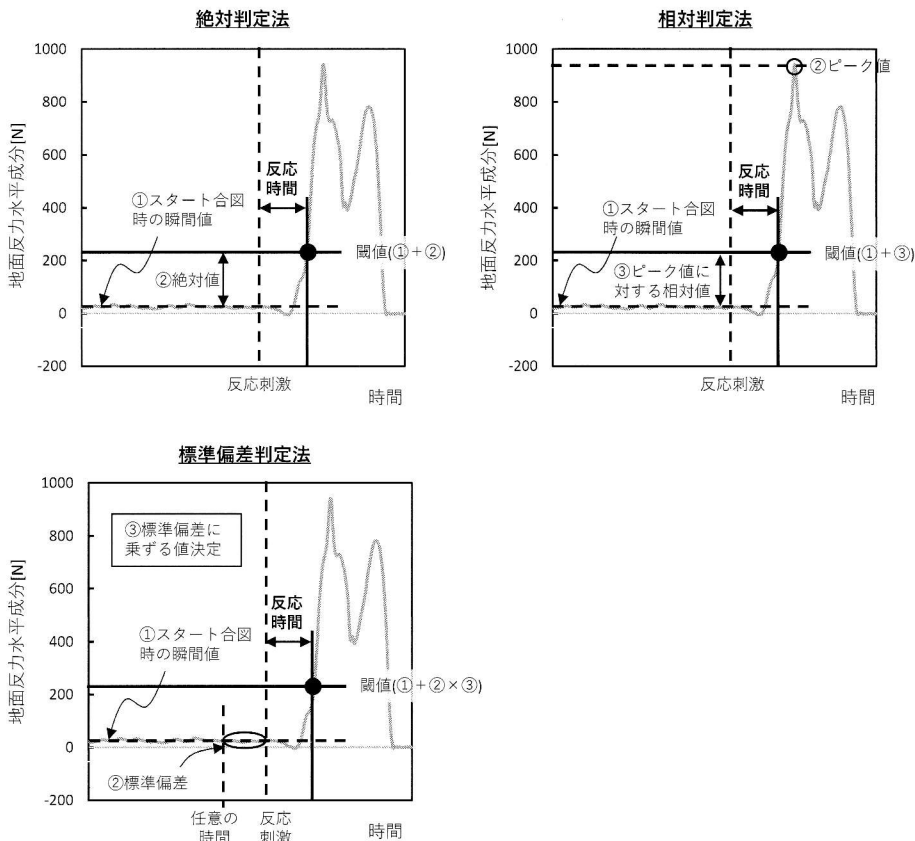


図3 絶対判定法、相対判定法、標準偏差判定法による反応時間の分析手順。各判定法の①～③は計算順を示し、それらの値を用いて閾値を求めた。

閾値の設定方法として、スタート合図時の瞬間値に絶対値7.2 N (Aerenhouts et al., 2013)や16.55 N (Eikenberry et al., 2007))を加える絶対判定法がある (Taboga et al., 2014). Collet et al. (1999)は、当時の国際陸上競技連盟の競技ルールでは10 kg (≒ 98.1 N)が動き始めを判別する閾値として定められており、それに基づきフライングスタートが検出されていることを述べている。また、ブロックをキックした際のピーク値の相対値をスタート合図時の瞬間値に加えて閾値とする相対判定法がある。Mero et al. (1990)は、地面反力水平成分のピーク値の10%を採用している。さらに、先行期間のある時間間隔における標準偏差を求め、その標準偏差に任意の値を乗じ、それをスタート合図時の瞬間値に加えて閾値とする標準偏差判定法がある。

閾値の設定方法と反応時間の関係を図4に示した。絶対判定法、相対判定法、標準偏差判定法ともに、閾値を

高く設定した場合、反応時間が長く検出されていることがわかる。Komi et al. (2009)は、閾値を25 kgまで高めた際、反応時間は64ミリ秒長くなることを報告している。一方、標準偏差判定法では反応刺激前の信号の変化が小さい場合、閾値が低くなるため反応時間を短く検出してしまうことがあり、標準偏差に5を乗じても反応時間が50ミリ秒を下回るケースがみられた。そのため、標準偏差測定法で設定する閾値は慎重に取り扱う必要がある (Otsuka et al., 2017)。

これらの他にも、取得した力データにかけるフィルタ処理も反応時間に影響を与えるが、先行研究ではフィルタ情報を記載したものはわずかであった (Fortier et al., 2005; Otsuka et al., 2017; Taboga et al., 2014)。これは、力データにローパスフィルタをかける必要がないと判断されたケースがあると考えられる。

4. これらの研究成果を踏まえて

以上の科学的知見を踏まえ、以下の点を提案することができる。

2. 3. に示したように測定方法や分析方法によって反応時間は変動する。そのため、研究分野では、反応時間に関するデータを出す際は、音源から被験者までの距離、聴覚刺激の強さ、スタート合図のタイミングの詳細、どの測定機器で力データを測定したのか、スプリンターのセット姿勢について、詳細に測定方法を記述することが客観的な情報提示となろう。そしてフィルタ処理の有無、力データのどの成分 (水平成分、鉛直成分またはその合力) を分析したのか、動き始めの判定方法、図で力データの波形を示す、といった詳細な分析方法の記述も求められる。

コーチング現場に対しては、選手がどのスターターのスタート合図にも対応できるように、日常的なトレーニングから様々なタイミングでスタート合図に反応する練習を提案することができる。このようなトレーニングによって、スターターのスタート合図に“あうんの呼吸”で反応することをねらうのはいかがだろうか。もちろん、反応時間を短くすることだけをねらっても、その後の走パフォーマンスが低下する場合があるため (Eikenberry et al., 2007; Slawinski et al., 2012)、他の疾走区間でのパフォーマンスと総合して反応時間を改善させる必要がある。

競技会運営に対しては、スタート合図が鳴る位置から各選手までの距離は統一することはもちろん、その音量はできる限り大きくすることを提案したい。スターター

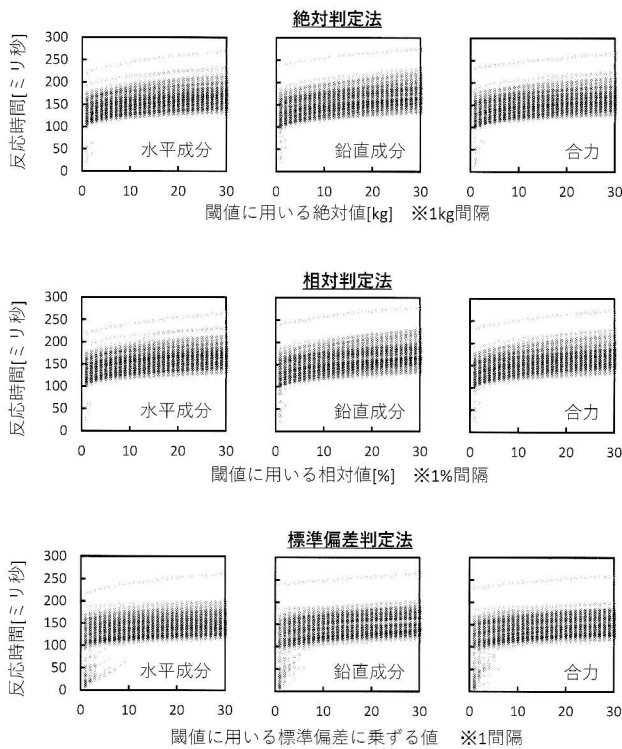


図4 閾値の設定方法と反応時間。著者らの実験室においてスプリンター13名から取得した両足に加わる地面反力データ計127に絶対判定法 (スタート合図時の瞬間値に1kg間隔で1~30kgまでの絶対値を加えて閾値を設定)、相対判定法 (スタート合図時の瞬間値に1%間隔でピーク値の1~30%までの相対値を加えて閾値を設定)、標準偏差判定法 (スタート合図時の瞬間値に加える標準偏差に乗ずる値を1~30に変化させて閾値を設定) によって、それぞれ30種類の閾値を設定した時の反応時間 (各グラフ3810プロット [127試技×30種類]) を求めた。

のスタート合図はできる限り一定にすることで、反応時間が長くなるレースが生まれない公平性に留意すべきであろう。さらに可能であれば、スターターがレース直前にどのようなタイミングでスタート合図を鳴らすかを選択手に確認し、そのタイミング通りにスタート合図を鳴らす手順を踏めると、スプリンターの反応時間は短縮すると考えられる。

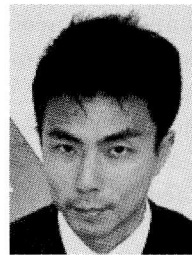
ここで提案した内容が、2020年に開催される東京オリンピックの陸上競技短距離種目において、日本人の決勝レース進出（日本記録更新）ならびに世界記録更新に貢献することができれば幸いである。

文 献

- Aerenhouts D, Debaere S, Hagman F, van Gheluwe B, Delecluse C, Clarys P (2013) Influence of physical development on start and countermovement jump performance in adolescent sprint athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 53(1) : 1-8.
- Babić V, Delalija A (2009) Reaction time trends in the sprint and hurdle events at the 2004 Olympic Games : differences between male and female athletes. *New Studies in Athletics*. 24(1) : 59-68.
- Boulinguez P, Barthelemy S, Debu B (2000) Influence of the movement parameter to be controlled on manual RT asymmetries. *Brain and Cognition*. 44 : 653-661.
- Brown AM, Kenwell ZR, Maraj BKV, Collins DF (2008) "Go" signal intensity influences the sprint start. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 40(6) : 1144-1150.
- Carlsen AN, Maslovat D, Lam MY, Chua R, Franks IM (2011) Considerations for the use of a startling acoustic stimulus in studies of motor preparation in humans. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 35 : 366-376.
- Collet C (1999) Strategic aspects of reaction time in world-class sprinters. *Perceptual and Motor Skills*. 88 : 65-75.
- Čoh M, Peharec S, Bačić P, Mackala K (2017) Biomechanical differences in the sprint start between faster and slower high-level sprinters. *Journal of Human Kinetics*. 56 : 29-38.
- Eikenberry A, McAuliffe J, Welsh TN, Zerpa C, McPherson M, Newhouse I (2007) Starting with the "right" foot minimizes sprint start time. *Acta Psychologica*. 127 : 495-500.
- Englert C, Bertrams A (2014) The effect of ego depletion on sprint start reaction time. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 36 : 506-515.
- Englert C, Persaud BN, Oudejans D, Bertrams A (2015) The influence of ego depletion on sprint start performance in athletes without track and field experience. *Frontiers in Psychology*. 6 : 1207.
- Fortier S, Basset FA, Mbourou G, Favérial J, Teasdale N (2005) 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*. 4 : 134-143.
- Gutiérrez-Dávila M, Dapena J, Campos J (2006) The effect of muscular pre-tensing on the sprint start. *Journal of Applied Biomechanics*. 22 : 194-201.
- Henry FM (1952) Force-time characteristics of the sprint start. *Research Quarterly*. 23(3) : 301-308.
- Ille A, Selin I, Do MC, Thon B (2013) Attentional focus effects on sprint start performance as a function of skill level. *Journal of Sports Sciences*. 31(15) : 1705-1712.
- International Association of Athletics Federations (2017) Competition rules 2018-2019.
- Julin AL, Dapena J (2003) Sprinters at the 1996 Olympic Games in Atlanta did not hear the starter's gun through the loudspeakers on the starting blocks. *New Studies in Athletics*. 18(1) : 23-27.
- Kamen G, Taylor P, Beehler PJ (1984) Ulnar and posterior tibial nerve conduction velocity in athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 5 : 26-30.
- Komi PV, Ishikawa M, Salmi J (2009) IAAF sprint start research project : is the 100 ms limit still valid? *New Studies in Athletics*. 24(1) : 37-47.
- Marinovic W, Tresilian JR (2016) Triggering prepared actions by sudden sounds : reassessing the evidence for a single mechanism. *Acta Physiologica*. 217 : 13-32.
- Martin DE, Buoncristiani JF (1995) Influence of reaction time on athletic performance. *New Studies in Athletics*. 10(1) : 67-79.
- Marzi CA (1999) Neuropsychology of attention. In G. Denes & L. Pizzamiglio (Eds.), *Handbook of clinical and experimental neuropsychology* (pp. 509-524). Hove : Psychology Press.
- Maulder PS, Bradshaw EJ, Keogh JW (2008) Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 22(6) : 1992-2002.
- Mero A, Komi PV (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*. 61 : 73-80.
- Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, Kanehisa H (2004) Influence of tendon slack on electromechanical delay in the human medial gastrocnemius in vivo. *Journal of Applied Physiology*. 96 : 540-544.
- Niemi P (1979). Stimulus intensity effects on auditory and visual reaction processes. *Acta Psychologica*. 43 : 299-312.
- Niemi P, Näätänen R (1981) Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin*. 89 : 133-162.
- Nonnekes J, Carpenter MG, Inglis T, Duysens J, Weerdsteijn V (2015) What startles tell us about control

- of posture and gait. *Neuroscience and biobehavioral Reviews*. 53 : 131-138.
- Otsuka M, Kurihara T, Isaka T (2015) Effect of a wide stance on block start performance in sprint running. *PLoS ONE*. 10(11) : e0142230.
- Otsuka M, Kurihara T, Isaka T (2017) Timing of gun fire influences sprinters' multiple joint reaction times of whole body in block start. *Frontiers in Psychology*. 8 : 810.
- Otsuka M, Kurihara T, Isaka T (in press) Fixed gunfire timing leads to shorter reaction time with higher reliability in block starts. *New Studies in Athletics*.
- Pain MTG, Hibbs A (2007) Sprint starts and the minimum auditory reaction time. *Journal of Sports Sciences*. 25 : 79-86.
- Paradisis GP (2013) Reaction time and performance in the short sprints. *New Studies in Athletics*. 28(1/2) : 95-103.
- Patel A, Sanghavi S, Joshi R, Patel B, Harkhani J, Joshi S (2013) Study of relation between motor nerve conduction velocity and height in healthy individuals. *International Journal of Basic and Applied Physiology*. 2(1) : 114-117.
- Pilianidis T, Kasabalis A, Mantzouranis N, Mavvidis A (2012) Start reaction time and performance at the sprint events in the Olympic Games. 44(1) : 67-72.
- Taboga P, Grabowski AM, di Prampero PE, Kram R (2014) Optimal starting block configuration in sprint running : a comparison of biological and prosthetic legs. *Journal of Applied Biomechanics*. 30 : 381-3989.
- Takano K, Kirchner F, Steinicke F, Langer A, Yasui H, Naito J (1991) Relation between height and the maximum conduction velocity of the ulnar motor nerve in human subjects. *Japanese Journal of Physiology*. 41 : 385-396.
- Telford CW (1931) The refractory phase of voluntary and associative response. *Journal of Experimental Psychology*. 14 : 1-36.
- Tønnessen E, Haugen T, Shalfawi SAI (2013) Reaction time aspects of elite sprinters in athletic world championships. 27(4) : 885-892.
- Samorajski T, Rolsten C (1975) Nerve fiber hypertrophy in posterior tibial nerves of mice in response to voluntary running activity during aging. *Journal of Comparative Neurology*. 159(4) : 553-558.
- Slawinski J, Dumas R, Cheze L, Ontanon G, Miller C, Mazure-Bonnefoy A (2012) 3D kinematic of bunched, medium and elongated sprint start. *International Journal of Sports Medicine*. 33 : 555-560.
- Valls-Sole J (2012) Assessment of excitability in brainstem circuits mediating the blink reflex and the startle reaction. *Clinical Neurophysiology*. 123 : 13-20.

著者紹介



大塚 光雄
(おおつか みつお)

2011年大阪体育大学大学院スポーツ科学研究科博士後期課程修了，博士(スポーツ科学)号を取得。立命館大学スポーツ健康科学部助手および特任助教を経て，現在は同助教。一流スプリンターを対象とした測定・解析や発育期の子どもを対象とした発育バイオメカニクスを専攻。日本体育学会，国際スポーツバイオメカニクス学会，AIESEPの各会員。同大学の陸上競技部短距離ブロックのコーチを務める。