

Key Words【加速:acceleration、キネマティクス(運動学):kinematics、キネティクス(運動力学):kinetics、  
最大速度:maximum velocity、競技特異性:sport-specificity、上肢:upper limbs】

# スプリント走動作中における 腕のメカニクスの役割

## Role of Arm Mechanics During Sprint Running

Paul Macadam,<sup>1</sup> M.SE.    John B. Cronin,<sup>1, 2</sup> Ph.D.    Aaron M. Uthoff,<sup>1</sup> M.Sc., CSCS  
Michael Johnston,<sup>3, 4</sup> Ph.D.    Axel J. Knicker,<sup>5</sup> Ph.D.

<sup>1</sup>Sports Performance Research Institute New Zealand (SPRINZ) at AUT Millennium, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

<sup>2</sup>School of Exercise, Biomedical and Health Sciences, Edith Cowan University, Perth, Australia

<sup>3</sup>British Athletics, National Performance Institute, Loughborough University, Loughborough, United Kingdom

<sup>4</sup>A-STEM, Swansea University, Swansea, United Kingdom

<sup>5</sup>Institute of Movement and Neuroscience, Research Centre for Neuromechanics and Neuroplasticity, German Sport University, Cologne, Germany

### 要約

スプリント走動作中におけるアームスイングの重要性は、専門職の間で現在も議論が続いている。腕は脚部の回転運動量に対するバランスの提供に役立つだけだと考えるコーチもいるが、他方、腕はスプリント走のパフォーマンスにとってきわめて重要であり、推進力の一因であると考えられるコーチもいる。スプリント走のパフォーマンスに対する脚部のキネマティクス(運動学)やキネティクス(運動力学)の効果に関してはすでに多くの研究が行なわれているが、アームスイングの役割はいまだ不明確で、研究が不足している。したがって、本レビューの目的は、スプリント走動作中における腕のメカニクスに関する理解を深め、現場で役立つ実用的なガイドラインを提供することである。

### はじめに

アームスイングはスプリント走動作における際立った特徴であり、脚とは左右反対の運動を行なうことにより身体を水平方向に前進させる。大きな加速力と最大速度を達成するためには、腕と脚のコーディネーションが必要である(19)。下肢のキネマティクスとキネティクスがスプリント走のパフォーマンスに及ぼす効果については、今日までに、すでに多くの研究が行なわれている(16,20,23,26,27)。体系的な研究レビューによると、下肢の筋力とスプリント走のパフォーマンスとの間には強い関連性があることが明らかになっている(33)。しかし、アームスイングの役割とその結果としてのパフォーマンスの強化は今なお不明確で、研究が不足している。スプリント走動作には特徴的な局面(スタート、加速、最大速度)があり、これらの局面を通じて身

体姿勢が変化するため、腕の役割もこれらの局面に従って変化する可能性が大きいと思われる(写真1)。さらに、チームスポーツ競技では、スプリントパフォーマンスの最適化のために異なる開始姿勢が用いられる。例えば、クラウチングスタート(アメリカンフットボール、陸上の走競技など)やスタンディングスタート(サッカー、ラグビー、バスケットボールなど)などである(36)。写真2はそれぞれ、ブロックスタート、2ポイントスタート、3ポイントスタートの身体姿勢と腕の位置の違いを強調している。

陸上競技やスポーツのスピードに腕がどのように貢献し影響を及ぼすかに関するエビデンスが少ないことを考慮すると、スプリント走の様々な局面における腕の役割を理解し改善することは、パフォーマンスの結果の向上にとって重要であると思わ

れる。したがって、本レビューの目的は、スプリント走中の腕のメカニクスに関する理解を深めることであり、また、その情報を現場で役立つトレーニング方法のガイドラインを提供することである。学術誌に掲載された査読論文をScienceDirect、Web of Science、PubMed、Google Scholar およびSPORTDiscusの各電子データベースで検索した。論文は英語に限り、重要な文献はマニュアル検索した。探索のキーワードには、arms(腕)、upper limb(上肢)、sprint(スプリント)、run(走)、acceleration(加速)およびvelocity(速度)を用いた。最終検索は2017年9月に実施した。スプリント走中の腕の役割を論じた論文がこのレビューの対象となると考えられたが、スプリント走のこの分野の研究数は少ないため、走運動中の腕の運動を評価した論文も考察に含めた。合計28件の研究が本レビューの対象基準を満たした。

### 走運動中およびスプリント走中の腕の役割

走運動中の腕の重要性はEgbunuら(7)により強調されている。著者らの報告によると、トレッドミルランニング中にアームスイングを行わない(両腕を背中に回して保持する)場合、エネ

ルギーコストが4%増大する。同様に、トレッドミルランニング中に腕を胸の前で交差させておくと、腕を振りながら走る場合に比べ、代謝パワー要求が著しく増加した(8%)<sup>(2)</sup>。さらに、アームスイングを行わずに走る場合とアームスイングを行なう場合を比べると、平均のステップ幅は変化しなかったが、ステップ幅の変動が有意に大きくなり(9%)、またステップ頻度も高くなった(2.5%)<sup>(2)</sup>。

スプリント走動作中におけるアームスイングの役割と重要性は、研究者の間で数十年にわたり議論されてきた。例えばBosch&Klomp(4)は、スプリント走動作中のアームスイングは、単にバランスを維持したり、身体の小さな振動を相殺して姿勢を保持したりするに留まらず、それ以上の大きな機能が

あることを示唆した。アームスイングは、進行方向への推進力を増大させることにより速度の増加に役立つと考えられた(4)。この役割はスタートと加速局面で特に重要である。Bunn(6)とHay(10)は、最大速度スプリント走中に身体が直立している時、腕は股関節に対してバランスをとる役割を果たしているとし唆した。一方Hopper(15)は、走運動中のアームスイングの主な機能は、ランナーの地面からの引き上げを補助することであると主張した。Sayers(31)は、アームスイングには2つの主な目的があると示唆した。すなわち、(a)ストライド速度と地面反力の両方を増大させること、そして(b)骨盤から始まる身体の回旋に対する反作用として働くことでバランスを改善することである。スプリント走に対す



写真1 スプリント走の(A)スタート局面と(B)最大速度局面



写真2 スタート姿勢 (A) ブロックスタート、(B) 2ポイントスタート、(C) 3ポイントスタート

る腕の貢献に関して様々な視点があることを前提として、以下の節では、スタートと加速局面および最大速度局面についてそれぞれ論じる。

## スタートと加速局面

スプリント走のスタート中は、身体の質量中心は前方に傾き、両腕の水平成分の相対運動量は相殺されることが示唆される(28)。Schnier(32)とEmbling(8)は、力強いアームスイングがスプリント走のスタートにおける前方駆動を補助すると提言した。少なくともスタートと初期加速局面にとってアームスイングは重要であり、それを理解することはスプリント走のパフォーマンスに有益であると思われる。

10mスプリント走のブロックスタートからの押し出し局面の開始時に、肩関節後部の関節角速度は主に胸郭の引き上げにかかわる伸展運動と関連があった(35)。この伸展運動のために、地面に着いた手は、肩関節の角速度に伴って活動すると考えられる(35)。ブロックスタートの後、Lockieら(19)の報告によると、アメリカンフットボール選手においては、肩関節の屈曲-伸展の関節可動域(ROM)は1歩目と2歩目にそれぞれ45.6～52.5°と46.4～55.0°で、肘関節では1歩目と2歩目それぞれ53.8～66.3°と56.9～67.3°であった。著者らは肩関節の屈曲が小さい(<30°)のは、被験者が適切なスプリントテクニックを有していないことに関連があると指摘した。スプリント走の初期加速の間、肩関節の屈曲と伸展の角速度は約700°/秒と大きく、スプリント走中の肩甲胸郭関節のROMが重要であることを示している(35)。Slawinskiら(35)の報告によると、脚と比較すると腕では、関節角速度のよ

り大きなばらつきがみられるが、それは個人の形態的特性とスタートのテクニックに関連があると思われる。肩甲胸郭関節におけるROMの重要性は、腕の駆動が、肩甲骨の動きをテープを貼って制限した場合に強調され、1歩目の歩幅(-4.6%)と全身の傾斜姿勢(-3.9%)が有意に減少し、続いてスプリントスピード(-3.2%)も減少した(28)。さらにOtsukaら(28)は、質量中心の前傾位置(-3.9%)と胸郭上腕関節のROM(-5.2%)は、自由な条件で走る場合よりも有意に減少したことを明らかにした。Kugler&Janshen(18)の報告のように、離地において身体が一層前傾することにより、より大きな水平加速が達成されることを前提とすると、このような前傾姿勢の変化は興味深い。スプリントスピードの加速にとって離地における質量中心の前傾位置は重要であり、腕がこの姿勢に寄与することを示唆している。

Bhowmick&Bhattacharyya(3)は、アームスイングにおける水平方向の加速は、ストライド長の増加に役立つことを示唆した。さらに著者らは、スプリント走のスタートにおいて、腕運動の垂直成分が接地中における脚部の駆動を促進する状況を生み、したがって間接的に主たる運動の前進速度増大に役立つと提言した(3)。Lockieら(19)がすでに言及しているように、スプリント走におけるランニングパフォーマンスの最適化には、腕と脚のコーディネーションが必要である。この提言はSlawinskiら(35)も支持している。彼らは、一流スプリンターにおいて、腕と脚の同期化が優れているほどスプリントのスタートでブロックを押す効果が増大すると報告した。ブロックスタートからの10mスプリント走の間、全身の最大比率の運動エネルギーを提供す

るのは脚部と頭部-体幹であるが、腕もなお身体の運動エネルギーの22%を提供している。これは、ブロックスタートの押す局面における腕の部位の重要性を示唆している(35)。またSlawinskiら(34)は、ブロックスタート後の最初の2歩を調査し、一流スプリンターは鍛錬者のスプリンターよりも質量中心をさらに遠くに運ぶ能力があり、それは部分的には彼らの腕運動によるものであることを明らかにした。

ブロックスタートは400mまでの短距離レースで用いられるが、アスリートはしばしばスタンディングスタートで練習を行なう。一方、チームスポーツでは、アスリートは直立姿勢からのスプリントを要求される(21)。スタンディングスタートからの加速パフォーマンスを調査した研究はあるが、このスタート姿勢における腕の役割やこのスタート姿勢とブロックポジションとの違いを調査した著者はまだいない。Salo&Bezodis(30)は、スプリットスタンスのスタンディングスタートを用いる際、アスリートはスプリント走の初期局面でブロックスタートの時よりも大きな加速力を発揮できるとしている。スタンディングスタートにおいて、前後の足の距離は当然長くなるため、前方の足は、後方の足が地面を離れた瞬間からより長い時間地面を押すことができる(30)。Majumdar&Robergs(21)は、加速局面の間に前方への加速を続けるためには、質量中心および重心を可能な限り前方におくように、身体姿勢を適切に調節することが重要であると指摘した。加速局面での移行中に身体姿勢が変化することを前提とすると、将来の研究では、スタンディングスタートからのアームスイングの変化がいかにスタートと加速局面の加速パフォーマンスに役立つかを調査する

必要がある。

## 最大速度局面

最高速度局面の間、身体は直立し、腕の角運動量における水平成分は直接質量中心には関与しない。前後へのアームスイングは左右反対方向であり、運動量が相殺されるためである(11,14)。Mann(22) およびMann&Herman(23)による2次元の定量的研究によると、スプリント走の最大速度局面では、肩関節と肘関節の、関節からの筋力の貢献は最小限であることが明らかとなった。Mann&Herman(23)は、200mレースの最大速度局面において、第1位のスプリンターと第8位のスプリンターのパフォーマンスを比較した。より速いスプリンターほど肩関節(135°対118°)と肘関節(84°対67°)からの腕の変位が大きく、肩関節を中心とした平均速度もより大きかった(525°/秒対490°/秒)(23)。大学生レベルから世界レベルまで、経験の異なるスプリンター15名を対象とした筋モーメントの分析から、Mann(22)は、肩関節からの筋活動がバランスの維持に関与すること、また肘関節からの筋活動は前腕を維持することであると主張した。しかし、最適な姿勢が何かは明確に示していない。しかも、アームスイングとスプリント走のパフォーマンスに相関関係はないことを示唆し(22)、したがって著者は、スプリント走中の腕の役割はバランスを維持することであると提言した(22,23)。しかし、被験者の数が少ないこと、また、被験者のスプリント走の経験レベルが異なっていることにより、最大速度局面におけるアームスイングを理解するためにはさらに研究が必要である。

トレッドミルランニング中のアームスイングの効果を3次元動作解析を

用いて分析した研究では、アームスイングにより、質量中心の垂直ROMが5~10%増加したことを明らかにした(14)。著者らは主要な上昇メカニズムがミッドコンタクト(接地中期)の局面で起こると提言した。その場合、腕が体幹に対して相対的に上方へ加速することにより、全体として身体に対して上方へのより大きな垂直インパルスが生じる(14)。腕によって提供されるこの上昇はランニングスピードが増すにつれて増大することが見出され、したがって高速でのスプリント走における腕の潜在的な重要性が強調される。この知見は、Youngら(38)が、身体が大きな前傾姿勢をとる時、腕の駆動により提供される垂直上昇が水平方向の推進成分を有すると報告したように、スタート局面において重要な意味をもつと思われる。Hinrichsら(13)の報告では、直立姿勢で走っている時、両腕は、質量中心を通じて垂直軸回りの全身の角運動量を減らすことに関与している。しかしHinrichs(12)は、トレッドミルランニング中、左右の腕はお互いに、また身体その他の非対称性を補う潜在的な役割があると報告した。Bunn(6)は、力強い後方へのアームスイングが脚のストライドを増大させ、脚部が疲れた時に速度を維持することに役立つと示唆した。最大速度局面の腕の役割に関しては、スプリント走のすべての局面の移行を理解することと合わせて、さらに多くの研究が必要である。

## 腕の駆動のトレーニング方法

コーチたちはスプリント走動作で腕がきわめて重要な役割を果たすと考えてはいるが(17,37)、スプリント走のために腕のメカニクスを改善するトレーニング方法はまだ十分に探求されては

いない。Youngら(38)は、腕を駆動する筋群は、相対的に、短距離スプリント走にとってより重要であると提案している。しかし、アスリートが上肢の動きに集中できるように、立位と座位で行なうアームスイングエクササイズが通常実施されてはいるが(5)、特にスプリント走動作における腕のメカニクスのためのトレーニング介入とその効果を調査した研究はきわめて少ない。この節では、最大速度局面だけでなく、スタートおよび加速局面に関する論文の研究結果について論じる。

## スタートと加速局面

ウェイトスリーブを使って左右それぞれの腕に0.5kgの抵抗を装着した男性アスリート10名を対象に、グラウンドで40mスプリント走を行ない、その間の変数の一時的変化を調査した(25)。被験者は陸上競技中心のスポーツクラブでレクリエーションレベルのトレーニングを経験していた。スタート局面では、10mのベストタイム(-0.4%)と10mの平均タイム(-0.1%)において、負荷条件と無負荷条件との有意差は認められず、Cohenの効果量もきわめて小さかった(<0.2)(25)。負荷を前腕の背側につけて、手関節から肘の上までの伸縮スリーブにより保持し、ストラップで留めた。被験者の体重(BM)は報告されていないため、BMに対する負荷の割合は不明である。McNaughton&Kelly(25)は、パフォーマンスに有害な影響は認められなかったため、前腕への負荷は、テクニクやパフォーマンスにマイナスの影響を与えることなく、スピードトレーニングセッション中に過負荷による刺激を提供することに適していると提案した。先行研究では、体育学専攻の男子学生24名が、左右の腕にそれぞれ0.2、

0.4、0.6kg(0.3～0.9% BM)の負荷を用いて、グラウンドで30mスプリント走を行なった(29)。このRopretら(29)の報告でも同様に、最初の15mにおいて、無負荷のスプリント走と比較して、速度やストライド頻度またはストライド長にはいかなる変化も認められなかった。これらの結果から、以下のよう<sup>3</sup>に結論づけられる。(a)0.6kg以下の腕への負荷は、空間時間的変数を害するとは思われず、したがってテクニックの破たんをもたらすことはない。(b)好ましいのは負荷を腕の先端部分に装着することである。この方法は慣性を増大させ、また手で負荷を握る必要がない。負荷を手で握ると、腕や肩関節の不要な緊張を高める可能性があるため望ましくない。さらに、(c)前述の研究で用いられた負荷の大きさは、最初の15mのスプリント走中に、腕のメカニクスに大きな過負荷をかけるには十分ではない可能性があり、将来は、装着可能なより重い負荷を用いた研究が必要であると思われる。

スプリント走にスレッドを抵抗として用いる場合、アスリートの身体姿勢は否応なく前傾が増す(19,24)。その結果、Lockieら(19)が報告したように、アスリートの腕の駆動は、8週間のスレッドトレーニングの後、最初の2歩にわたり、肩関節のより大きな屈曲可動域(最大2～3°)を示した。アスリートはスプリントのスタートの離地に際し、より水平姿勢をとるように指示されるため、BMの20%のスレッドを引くレジスティッドスプリント走では、ブロックスタートより9%大きな水平離地角度をもたらした(24)。したがって、スレッドレジスティッドスプリント走を用いて達成された前傾姿勢は、部分的にスプリント走のスタート局面を反映している。また、スプリント走

初期における腕の駆動に関するキネマティクスの変化を目的とする専門職にとって、スレッドレジスティッドスプリント走は効果的なトレーニング様式であると思われる。効果を確認するためには、特に腕には直接負荷がかからないため、さらに調査を行なうことが必要である。

### 最大速度局面

最大速度局面において、両腕に0.5kgの負荷を装着した条件でのスプリント走では、40mのベストタイム(-0.2%)にも、40mの平均タイム(-0.2%)にも、有意な影響を及ぼすことはなく、変化に対するCohenの効果量もきわめて小さかった(<0.04)(25)。さらに、平均速度に関しても有意な影響は認められなかった(-0.5%、効果量=0.08)(25)。Ropretら(29)の報告によると、15～30mまでのスプリントパフォーマンスにおける一時的効果は、より重い負荷(0.6kg、0.9% BM)を用いるまでみられなかった。重い負荷では、無負荷の状態に比べ1%の有意な速度の低下が認められた。最大速度局面において、ストライド頻度やストライド長においても有意な変化は認められなかったが、ストライド長は0.6kgの負荷条件では最大3cm減少した(29)。スプリント走動作中の腕の最適なメカニクスに関しては、定量的研究が不足している。さらに、定性的研究から、コーチは、スプリント走の最大速度局面とそれ以前の局面では、腕のメカニクスが異なると考えている。コーチらは、アスリートが直立姿勢かつ最大速度で疾走する時は、腕は体幹の安定を助け、脚部と一体となって身体を安定させバランスを保持する働きがあることを確認した(17)。

### 現場への応用

コーチらは、スプリント走動作における腕の駆動の重要性を認識してはいるが、スプリント走の様々な局面における腕の役割や腕のトレーニングについては、詳細はまだ明らかになっていない。本レビューは、まずスプリント走のスタートおよび加速局面とそれに対する最大速度局面における腕の役割の理解を促すことにより、入手可能な情報を統合しようと試みた。これらの異なる腕の役割とそのメカニクスを理解することによって、プログラム作成が一層明確になる必要がある。以下の節では、スプリントの局面に特異的な腕のトレーニングを行なう際、専門職に役立つと思われる少数のエクササイズを選択して解説する。

### スタートと加速局面

スプリント走に関する前述の2件の研究は、腕に装着した負荷または手に保持した負荷が空間時間的変数を過度に変化させないことを証明した。したがって、着脱式の負荷を腕に装着したスプリント走は(写真3)、スタートと加速のキネマティクスに不当な影響を与えない適切なトレーニング刺激であり、パフォーマンスに好ましい適応をもたらすと思われる。前腕に着脱式の抵抗を装着することにより、腕の遠位の負荷からより大きな回転慣性が生じるため、離地におけるより大きな水平推進力が生じると思われる。

スタート局面の身体の向き(より大きな水平傾斜)により、腕の駆動が提供する垂直上昇は水平方向の推進成分を有し、したがって、アームスイングを最適化することにより、より大きな水平方向の推進力を達成できる可能性がある。スプリント走のスタートにおけるアスリートにとっての技術的な重

点は、離地のために水平姿勢をとることである。さらに、研究により、離地の際、質量中心が前方に傾斜した位置にある姿勢をとることがスプリントスピードを促進することが明らかになった。したがって、レジスティッドスレッドを用いたスプリント走のトレーニングは**(写真4)**、そのような姿勢を保持し、より大きな肩関節のROMにより、より大きな腕の駆動力を可能にするトレーニング様式であるといえる。この姿勢では、腕に直接的な過負荷は課されないが、身体姿勢により、より大きな腕の速度と四肢のコーディネーションが達成されるため、効果的なトレーニング刺激が実現できる。さらに、前腕に着脱可能な抵抗を装着することにより**(写真4)**、アームスイングに対する過負荷も達成できる。しかし、この提案はあくまでも想定に基づくものであり、この種のトレーニングが腕の駆動のキネマティクスやキネティクスに、つまりスプリントパフォーマンスに何らかの効果があるかを解明するためには、今後の研究が必要である。

負荷が重すぎると、腕の高速運動を維持しようとアスリートが無理をするため、腕のキネマティクスにマイナスの影響をもたらす可能性がある。そのため、将来の研究においては、装着可能な抵抗の最適な大きさを見極めることが必要である。蹴り出しと加速の間の腕の運動の重要性を前提とすると、専門職は、腕と脚のコーディネーションおよび左右反対の腕と脚の位置に焦点を合わせる必要がある。

伝統的なスプリントトレーニングとレジスタンストレーニングに加えて、スタートと加速局面における腕と脚のコーディネーションおよび腕の駆動機能の向上を図るために、コーチが用いる一連のエクササイズが**写真5**～



写真3 装着可能な抵抗を用いた前腕への負荷



写真4 装着可能な抵抗を用いたスレッドレジスティッド・スプリントランニング



写真5 メディソンボール・ファーストステップリリース



写真6 プレートオーバーヘッド・ステップアップ



写真7 スタンディングトランジション・アームドライブ

7に示されている。メディソンボール・ファーストステップリリース(写真5)は、負荷をかけた腕のエクササイズであり、初期段階で必要とされる腕の駆動による伸展力と推進力を高めるために用いることができる。プレートオーバーヘッド・ステップアップ(写真6)は、腕の駆動力を増して、肩関節と肘関節に過負荷をかけることにより、下肢との連携による腕と脚のコーディネーションを改善し、水平推進力を促進することに役立つ目的で用いることができるだろう。スタンディングトランジション・アームドライブ(写真7)は、コーチが、腕の駆動テクニックを改善するためだけでなく、スタートから最大速度局面まで身体姿勢が前傾から直立へと変化するのに伴い腕のタイミングを調節することにより、身体の立ち上がりのリズムを改善するためにも活用できる。ただし読者は、これらのエクササイズには限界があることを認識する必要がある。(a)ボールやプレートの上方向への推進は、胸の大きな伸展をもたらす可能性があること、(b)エクササイズが垂直方向の力発揮に偏っていること、そして(c) (例えば)反対側の腕からのカウンターバランス



写真8 ダブルアーム・ピラープレス

が存在しないことが理由である。

#### 最大速度局面

スプリント走の最大速度局面では身体は直立している。この姿勢で高速で走っている時、腕は地面に対して発揮される全身の垂直推進力に寄与している。したがって、脚部との対称性を意識して腕のメカニクスを最適化することは、トレーニング計画の留意事項で

ある。アスリートは効果的なアームスイングのためのトレーニングを行なわねばならない。効果的なアームスイングは、肩関節から始め、反対側の肩関節と股関節で起こる屈曲と伸展に釣り合うように、肩関節と肘関節の屈曲と伸展を行なわねばならない。ダブルアーム・ピラープレスエクササイズ(写真8)とシングルアームでの同エクササイズ(写真9)は、肩関節と三頭筋を

強化するために用いることができる。さらに、**写真8、9**で示されたエクササイズと類似のエクササイズは、姿勢の一貫性、バランス、腕と脚のコーディネーションも併せて強化できる。

最大速度でのスプリント走における上半身の役割に関する議論を考えると、**写真8、9**に示されているような垂直面だけで行なうエクササイズはやや非特異的である。このような主張を考慮して、腕の体幹と股関節とのコーディネーションに挑戦するトラックドリルをいくつか利用することも、トレーニング要求の確認に役立つと考えられる。例えば、直立姿勢で行なうアームドリル(**写真10**、足を平らに地面に着けて開始し、足を底屈させる)は、股関節から肩関節までの非対称性を実演／点検できるのでより良い効果をもたらすと思われる。**写真10B**の例では、明らかに、左肩関節の機能不良が体幹(側屈)と骨盤(左前方／内旋)に影響を与えていることを示している。これにより、次の段階では、回旋を予防するための肩関節と股関節の相対的ステイフネスの改善を目指す、一連の体幹と肩関節の可動性エクササイズへと導かれるだろう。

### おわりに

アームスイングの役割は、スプリント走のコーチの間でも、また発表された研究においても、今なお論争的となっている。腕は、スプリント走中の脚の回転運動量に対抗してバランスをとっていることは確かだと思われるが、さらに、スプリント走のスタートと初期の加速局面においても重要な役割を担っていると思われる。水平力を発揮する腕の能力はきわめて限られているが、アスリートが直立している時に左右の腕が同時に前方-後方に運



写真9 シングルアーム・ピラープレス

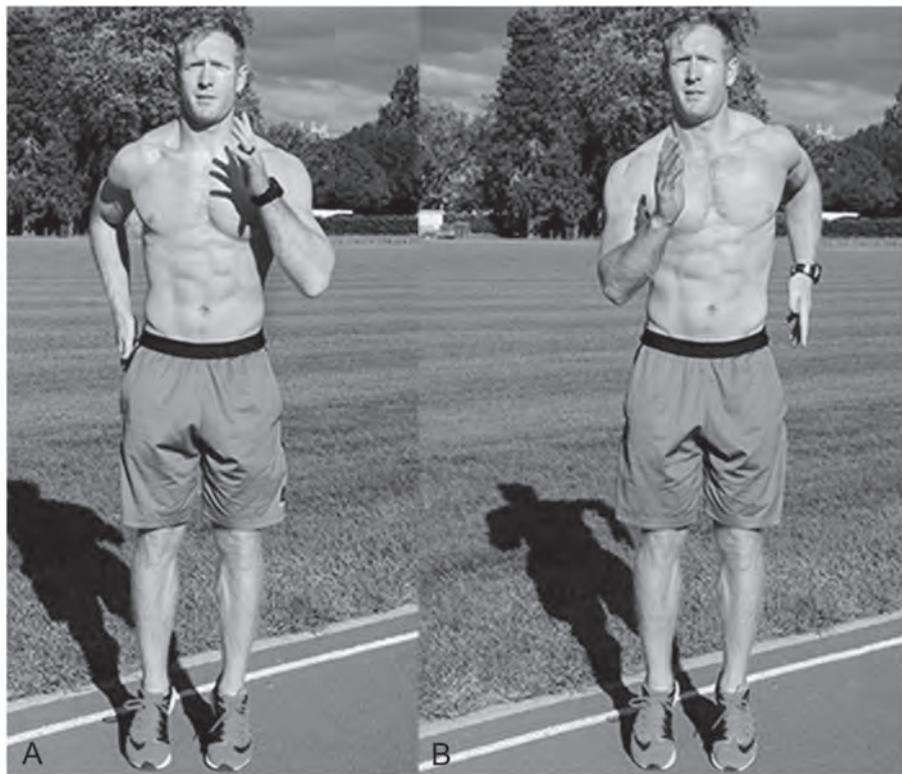


写真10 スタンディングアームドライブ中の肩の非対称性の評価  
(A)ニュートラルな肩関節 (B)上がった左肩関節

動することによる両腕における水平成分の相対的運動量は、初期には前傾姿勢をとっているため、無効にはならないと思われる。さらに、腕はアスリートが地面に対して発揮できる垂直推進力全体の10%を担っていると思われる(14)、効率的なアームスイングの重要性が強調される。一流スプリンターは、腕と脚をより巧みに同期させることにより、ブロックを押し効率を高めている。したがって、プログラムを作成する際は、脚との相乗効果による腕のメカニクスの最適化に留意すべきである。

腕と脚の同期化の重要性は神経科学の研究でも裏付けられている。Frigonら(9)は、リズムカルな腕の動きが、腕の位置とは無関係に、脚部の筋の反射に影響を及ぼすことを証明した。さらに、アームスイングの頻度は、低頻度において股関節と肩関節の相互作用を調節しているだけでなく、高頻度においても主に足関節と肩関節の同時的コーディネーションを調節している。これは、アームスイングと姿勢の調節との密接な関係を示唆している(1)。スプリント走に直接関係はないものの、これらの結果は、スプリントパフォーマンスの変化を定量化するために、腕と脚のコーディネーションに関して、また腕の単独トレーニングの効果に関して、より多くの研究が必要であることを示唆している。◆

## References

1. Abe M, Yamada N. Postural coordination patterns associated with the swinging frequency of arms. *Exper Brain Res* 139: 120-125, 2001.
2. Arellano CJ, Kram R. The effects of step width and arm swing on energetic cost and lateral balance during running. *J Biomech* 44: 1291-1295, 2011.
3. Bhowmick S, Bhattacharyya A. Kinematic analysis of arm movements in sprint start. *J Sports Med Phys Fitness* 28: 315-323, 1988.
4. Bosch F, Klomp R. *Running: Biomechanics and Exercise Physiology in Practice*. London, United Kingdom: Elsevier Churchill Livingstone, 2005. pp. 147-150.
5. Brown TD. Efficient arms for efficient agility. *Strength Cond J* 25: 7-11, 2003.
6. Bunn JW. *Scientific Principles of Coaching*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1972. 95.
7. Egbuonu M, Cavanagh P, Miller T. 100 degradation of running economy through changes in running mechanics. *Med Sci Sports Exerc* 22: S17, 1990.
8. Embling S. The sprint start. *Mod Athl Coach* 22: 30-31, 1984.
9. Frigon A, Collins DF, Zehr EP. Effect of rhythmic arm movement on reflexes in the legs: Modulation of soleus h-reflexes and somatosensory conditioning. *J Neurophysiol* 91: 1516-1523, 2004.
10. Hay J. *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1978. pp. 411-412.
11. Hinrichs RN. Upper extremity function in running. II: Angular momentum considerations. *Int J Sport Biomech* 3: 242-263, 1987.
12. Hinrichs RN. Case studies of asymmetrical arm action in running. *Int J Sport Biomech* 8: 111-128, 1992.
13. Hinrichs RN, Cavanagh PR, Williams KR. Upper extremity contributions to angular momentum in running. In: *International Series on Biomechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics Publ Inc, 1983. pp. 641-647.
14. Hinrichs RN, Cavanagh PR, Williams KR. Upper extremity function in running. I: Center of mass and propulsion considerations. *Int J Sport Biomech* 3: 222-241, 1987.
15. Hopper B. The mechanics of arm action in running. *Track Tech* 17: 520-522, 1964.
16. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 36: 261-271, 2004.
17. Jones R, Bezodis I, Thompson A. Coaching sprinting: Expert coaches' perception of race phases and technical constructs. *Int J Sports Sci Coach* 4: 385-396, 2009.
18. Kugler F, Janshen L. Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J Biomech* 43: 343-348, 2010.
19. Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res* 17: 760-767, 2003.
20. Macadam P, Simperingham K, Cronin J. Acute kinematic and kinetic adaptations to wearable resistance during sprint acceleration. *J Strength Cond Res* 31: 1297-1304, 2016.
21. Majumdar AS, Robergs RA. The science of speed: Determinants of performance in the 100 m sprint. *Int J Sports Sci Coach* 6: 479-493, 2011.
22. Mann R. A kinetic analysis of sprinting. *Med Sci Sports Exerc* 13: 325-328, 1981.
23. Mann R, Herman J. Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. *J Sport Biomech* 1: 151-162, 1985.
24. Maulder PS, Bradshaw EJ, Keogh JW. Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *J Strength Cond Res* 22: 1992-2002, 2008.
25. McNaughton JM, Kelly VG. The effect of weighted sleeves on sprint performance. *J Aust Strength Cond* 18: 14-19, 2010.
26. Morin JB, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour JR. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol* 112: 3921-3930, 2012.
27. Murphy AJ, Lockie RG, Coutts AJ. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *J Sports Sci Med* 2: 144, 2003.
28. Otsuka M, Ito T, Honjo T, Isaka T. Scapula behavior associates with fast sprinting in first accelerated running. *Springerplus* 5: 682, 2016.
29. Ropret R, Kukulj M, Ugarkovic D, Matavulj D, Jaric S. Effects of arm and leg loading on sprint performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77: 547-550, 1998.
30. Salo A, Bezodis I. Athletics: Which starting style is faster in sprint running standing or crouch start? *Sports Biomech* 3: 43-54, 2004.
31. Sayers M. Running techniques for field sport players. *Sports Coach* 23: 26-27, 2000.
32. Schnier B. Sprints and hurdles/film analysis. *Track Field Quar Rev* 82: 36-38, 1982.
33. Seitz LB, Reyes A, Tran TT, de Villarreal ES, Haff GG. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint

performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 44: 1693-1702, 2014.

34. Slawinski J, Bonnefoy A, Levêque JM, Ontanon G, Riquet A, Dumas R, Chêze L. Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J Strength Cond Res* 24: 896-905, 2010.

35. Slawinski J, Bonnefoy A, Ontanon G, Leveque J-M, Miller C, Riquet A, Cheze L, Dumas R. Segment-interaction in sprint start: Analysis of 3D angular velocity and kinetic energy in elite sprinters. *J Biomech* 43: 1494-1502, 2010.

36. Slawinski J, Houel N, Bonnefoy-Mazure A, Lissajoux K, Bocquet V, Termoz N. Mechanics of standing and crouching sprint starts. *J Sports Sci* 35: 858-865, 2017.

37. Whelan N, Kenny IC, Harrison AJ. An insight into track and field coaches' knowledge and use of sprinting drills to improve performance. *Int J Sports Sci Coach* 11: 182-190, 2016.

38. Young W, Benton D, Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J* 23: 7, 2001.

From *Strength and Conditioning Journal* Volume 40, Number 5, pages 14-23.

著者紹介



**Paul Macadam:**  
Auckland University of Technologyの研究者で博士号取得候補。



**John B. Cronin:**  
Auckland University of Technologyのストレングス & コンディショニングの教授でEdith Cowan Universityの非常勤講師も務める。



**Aaron M. Uthoff:**  
Auckland University of Technologyの研究者で博士号取得候補。



**Michael Johnston:**  
British Athletics チームのストレングス & コンディショニング主任コーチ。



**Axel J. Knicker:**  
German Sport University Cologneの運動・神経科学の上級講師。

NEXT12月号(2019年11月25日発行)

**特集 世界のフィットネストレンド最新レポート**

第一線で活躍するインストラクター・トレーナーのインタビュー記事や求人・養成情報も盛りだくさん! 更なるキャリアアップのお供にぜひご活用ください。☆バックナンバーのご注文も受付中!(在庫ある限り)

インストラクター・トレーナーの  
キャリアマガジン

**NEXT**



**月刊NEXT**  
毎月25日発行  
※施設への無料配布(5部以上)を承ります。  
一部売り(送料一律390円)も受付中!  
お電話かメールにてお申し込みください。

トレーナーの求人・養成  
セミナー情報量NO.1

**リニューアル!**  
**Fitness Job**



**Fitness Job**

求人情報や講座情報を随時UP  
新鮮な情報を、  
業界唯一のボリュームで提供しています!

**広告出稿企業も募集中!**

優秀なトレーナーやインストラクターを募集したい企業様、運動指導者向けの講座や資格を発行されている団体様はぜひこの機会に広告を掲載してみませんか? NEXT 編集部までお気軽にお問い合わせください。

株式会社クラブビジネスジャパン TEL:03-5459-2841 www.fitnessclub.jp/next info@fitnessclub.jp