

走速度増加に伴う腕振り動作と ピッチ数、ストライド長との関係

The Relationship between Arm Swing Movement and Step Frequency, Stride Length with Increased Running Speed

馬 場 崇 豪*

Takahide BABA

要 旨

本研究は、中長距離を専門とする男子大学生選手を対象に走速度増加に伴うピッチ数およびストライド長について、腕振り動作がどのように対応しているのかを明らかにすることを目的とした。被験者には予め算出した設定速度でトレッドミル上を走行してもらい、その様子をビデオカメラで撮影した。得られたデータからピッチ数およびストライド長、動作分析項目として上腕角度および肘関節角度を求めた。その結果、ピッチ数と最大屈曲角度、範囲角度、伸展肘角度に負の相関関係が認められ、ストライド長では範囲角度、屈曲速度、伸展速度、伸展肘角度に相関関係が認められた。

上腕角度では走速度増加に伴い前後の腕振り速度を高くすることでストライド長の増大に対応していたと考えられる。また肘関節角度では伸展肘角度においてピッチ数とストライド長に相反する結果が得られたことから、伸展肘角度の変化によりストライド長やピッチ数のそれぞれに対応していたと考えられる。

キーワード：中長距離選手、走速度増加、腕振り動作、ピッチ数、ストライド長

* ばばたかひで、九州国際大学現代ビジネス学部、t-baba@cb.kiu.ac.jp

1. 目的

中長距離レースにおける走速度の変化は著しく1500m走以上の種目では終盤に従い走スピードの増大であるラストスパートがみられ、平均走スピードに対し1500m走では87～122%、5000m走では96～109%、10000m走では92～110%の範囲で走スピードが変化しているとされており（門野2018）、目まぐるしく変化する中長距離のスピード変化に対応した身体操作を行わなければならない。競技レベル別にみた5000mレースの4000m地点におけるストライドおよびピッチの内訳に関する研究では、競技レベルが上がるにつれピッチは変わらないがストライドは増大しているとし、ストライドが大きいと高い走速度を獲得しているとしている（榎本2008）。一方、世界陸上競技選手権の'91年東京大会、2007年大阪大会における男子10000m優勝者の走スピード、ピッチおよびストライドの変化についての報告によると、統一的な結果は得られなかったとしているものの長距離レースの走速度の維持にはピッチとストライドの両方の維持が重要であると示唆されている（榎本・門野 2008）。

走運動は全身運動であり、上肢の動作は高い疾走速度を獲得するには不可欠である。走運動における腕振り動作に関する研究には、通常のランニング動作とランニング中に錘を持たせこれらを比較したもの（山下・得居1990）や、さまざまな腕振り動作を比較したもの（伊藤1991）、そして腕振り動作を制限した状態で走行させたもの（辻本2009；伊藤ら2013）があり、総じて腕振りの制限や腕振り動作を行わなかった場合では疾走速度の低下がみられるなど走運動による腕振り動作の重要性は明らかにされている。競技種目における短距離走では全力疾走中の腕振り動作と脚動作との関係について報告されているものがあり（田村ら2004；木越2015；前田・三木2010；田村ら2018）、中長距離走に関しては、馬場（2022）がトレッドミル上で設定速度を漸増させた場合の上腕角度や肘関節角度と走速度との関係について報告している。このように走運動における腕振り動作について、通常の全力走と腕振り動作を制限した場合の比

較や全力疾走中の腕振り動作について検討した報告はみられるものの、実際のレースのような走速度増加に伴う腕振り動作についての報告はあまり多くはみられない。疾走速度はピッチ数とストライド長との積で表すことができ、ピッチ数かストライド長のどちらか、また2因子とも高まれば疾走速度は増加するがそれらが腕振り動作とどのような関係かについて検討した報告は見当たらない。そこで本研究では、中長距離選手を対象に最大下運動による走速度の増加によるピッチ数やストライド長の変化に腕振り動作がどのように対応しているのかを明らかにし、パフォーマンス向上を目的としたコーチング指導に役立つ知見を得ることを目的とした。

2. 方法

被験者

中長距離を専門とする大学生男子選手5名（身長 169.96 ± 4.65 cm、体質量 57.08 ± 4.48 kg、5000m走の平均ベストタイムは15分31秒）を被験者とした。トレッドミルの走速度の設定は5000m走のシーズンベストタイムから平均速度を算出し、この平均速度を100%とし70%、80%、90%の設定速度を求めた。しかし、本実験で使用したトレッドミルの速度設定の上限は18km/hであり、平均速度が18km/h以上の被験者に対しては18km/hを100%とみなし、それぞれの%速度を設定した。被験者には十分なウォーミングアップの後、50%の速度から2分30秒から3分おきに70%、80%、90%、100%と速度を漸増していき、その際における走動作を側方よりビデオカメラで撮影した（210コマ）。撮影されたビデオ映像はパーソナルコンピューターに取り込み、動作分析ソフトkinoveaにより分析を行った。また本研究は九州国際大学研究倫理審査委員会において承認され、コーチ及び選手に対し研究内容を説明し、文面で実験参加の同意を得た者に対してのみ実験を行った。

測定項目

先行研究（馬場2022）を参考に右足離地から再び右足の離地までの1サイクルを分析対象とし、右上腕角度（鉛直線と肩関節と肘関節を結ぶ線のなす角度）、右肘関節角度（肩関節と肘関節を結ぶ線と肘関節と手首を結ぶ線のなす角度）を読み取った。上腕角度は鉛直線を軸に反時計回りを正、反時計回りを負とし、それぞれ正を屈曲位、負を伸展位と定義し最大屈曲角度、最大伸展角度を求めた。肘関節角度は上腕角度の最大屈曲角度、最大伸展角度の時点の角度を求め、それぞれ屈曲肘角度、伸展肘角度とした。計測した角度は4次のButterworth digital filterによる平滑化処理を行い、角度変位を時間微分することで角速度を算出した。ピッチ数およびストライド長は各%走速度より1サイクルに要した時間から1歩に対する時間を求め、その逆数よりピッチ数を求めた。ストライド長は得られたピッチ数を走速度から除することで算出した。本研究ではこれらピッチ数およびストライド長と上肢動作項目との相関には、5%水準未満をもって有意とした。

3. 結果と考察

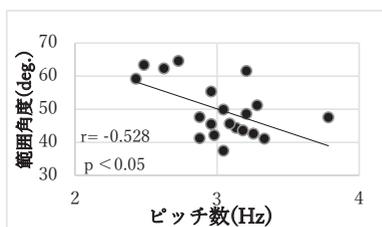
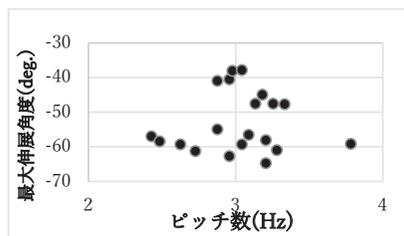
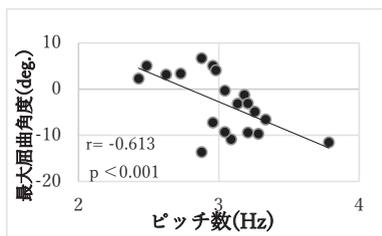
走速度増加に伴うピッチ数およびストライド長について

各被験者の5000m走のシーズンベストタイムから設定速度を算出した全被験者による平均走速度は70%時12.57km/h、80%時14.37km/h、90%時16.16km/h、100%時17.96km/hであった。平均ピッチ数は、70%時 2.88 ± 0.25 Hz、80%時 3.12 ± 0.42 Hz、90%時 3.02 ± 0.24 Hz、100%時 3.07 ± 0.20 Hzであり、平均ストライド長は70%時 1.22 ± 0.11 m、80%時 1.30 ± 0.17 m、90%時 1.50 ± 0.12 m、100%時 1.63 ± 0.11 mを示し、走速度増加とともにストライド長は増加していた。先行研究（馬場2022）にも示したとおり、設定速度70%時から100%時にかけてピッチ数、ストライド長とも増加したものの、その割合はピッチ数では約6%増、ストライド長では約25%増であり、ピッチ数よりもストライド長を

増大することで走速度増加に対応していた。疾走速度はピッチ数とストライド長の積で決定されるため（阿江2004）、疾走速度を高めるにはこの2要因を高くすれば良いことになるが、ストライド長が大きくなればなるほどピッチは落ちやすく、ストライド長が小さくなればなるほどピッチは上がりやすいといった相反する関係でもある（土江2008）。

ピッチ数およびストライド長と上肢動作項目について

図1にピッチ数と上肢動作項目との関係の結果を示した。ピッチ数では、上腕角度の最大屈曲角度、範囲角度との間にそれぞれ負の相関関係が認められ、ピッチ数が高くなるにつれ最大屈曲角度、範囲角度とも小さい値を示した。肘関節角度ではピッチ数と伸展肘角度との間に負の相関関係が認められ、ピッチ数が高くなるにつれ伸展肘角度は小さい値を示した。



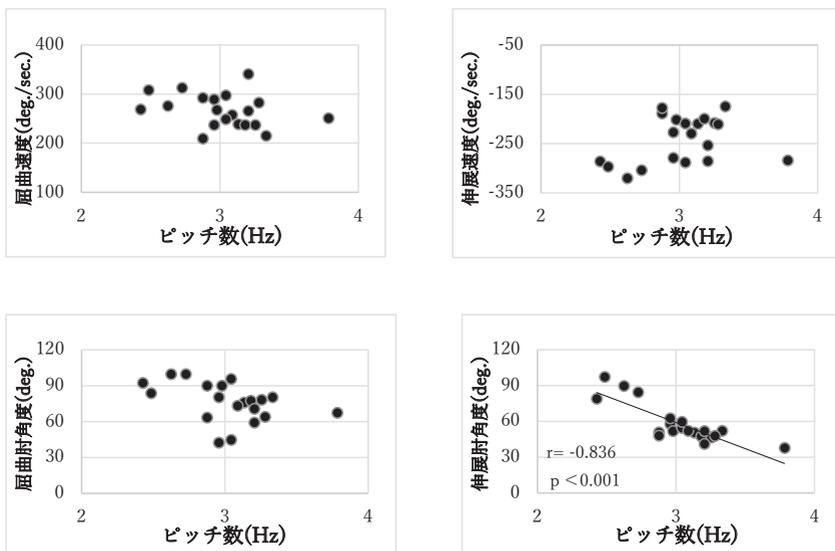
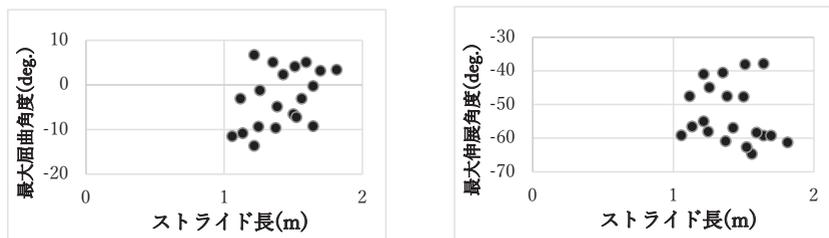


図1 ピッチ数と上腕角度および肘関節角度との関係（著者作成）

図2にストライド長と上肢動作項目との関係の結果を示した。ストライド長では、上腕角度の範囲角度、屈曲速度、伸展速度との間に相関関係が認められ、ストライド長が増加するにつれ範囲角度は大きな値を示し、屈曲速度、伸展速度とも高い値を示した。肘関節角度ではストライド長と伸展肘角度との間に相関関係が認められ、ストライド長が増加するにつれ大きな値を示した。



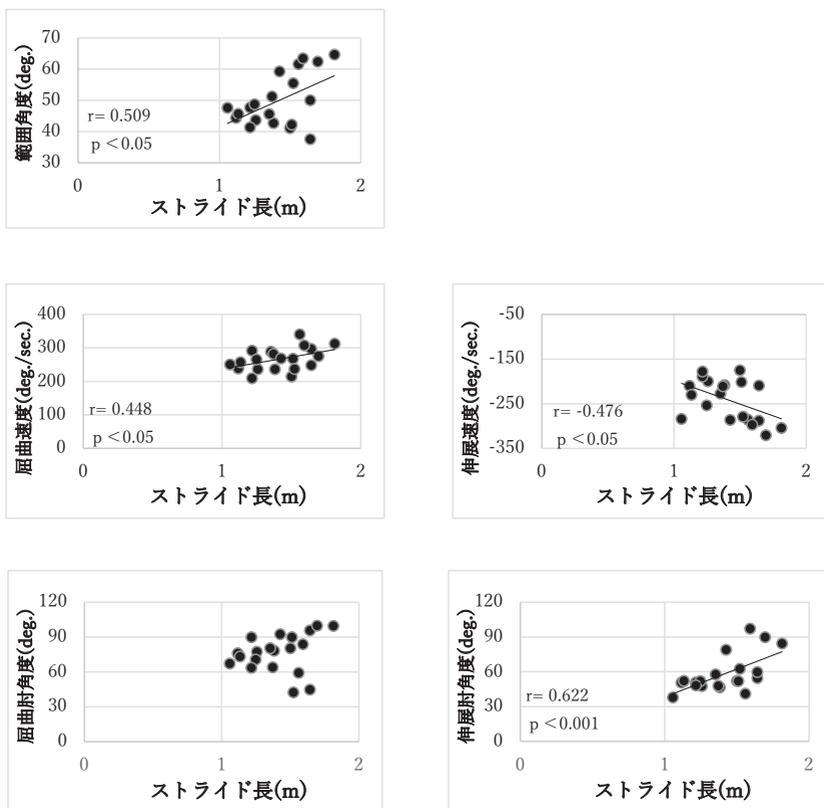


図2 ストライド長と上腕角度および肘関節角度との関係（著者作成）

上腕角度についてみると、ピッチ数が高くなるにつれ最大屈曲角度および範囲角度が減少し、ストライド長が高くなるにつれ範囲角度は増加した。この範囲角度の増加は走速度の増加により腕振り動作の前後の可動範囲は大きくなっていることから（馬場2022）、ストライド長の影響によるものと考えられる。これは屈曲角度よりも伸展角度の方が走速度の増加に伴い増大していることから（馬場2022）、ピッチ数が高くなるにつれ最大屈曲角度が減少したことで範囲角度も減少し、その影響がストライド長増加とした結果に反映されていたと考えられる。また走速度増加により屈曲速度、伸展速度とも増大していること

や（馬場2022）、本研究結果から屈曲速度、伸展速度ともストライド長の増加と相関関係にあることから、上腕の前後の腕振り速度を高くすることでストライド長の増大に対応していることが推察できる。大きな加速度で腕振りを行うことによりその反作用として地面反力が変化する可能性があるとし、そのことがストライドやピッチに影響を及ぼすことや（木越2015）、走速度増加に伴う接地中の脚全体のスイング速度の増加によるキック力の変化を鑑みると、ストライド長にはキック力が関係しており、このキック力を変化させる要因として腕振りの速度が影響を与えていることが考えられる。

肘関節角度についてみると、伸展肘角度においてピッチ数とストライド長に相反する結果が得られた。すなわちピッチ数が高くなれば伸展肘角度が減少し、反対にストライド長が増加すれば伸展肘角度は大きな値を示した。伸展肘角度の作用として後方への腕振り時に角度を大きくすることで腕全体の慣性モーメントを大きくし、走速度増加による脚動作をコントロールし脚全体が後方へ流れるのを抑制している（馬場2022）。木越（2015）は前方に振り出していた腕の後方へのスイング開始の局面において大きな角加速度によって積極的に肘関節を伸展させることで走速度増加に影響を与えているとしている。加えて、本研究結果によるストライド長が増加することで上腕角度の伸展速度も相関関係にあることを考えると、肘関節角度を伸展しながら上腕を後方へ素早く振ることで地面反力を大きくしストライド長を増加させ、その際における脚全体が後方へ流れるのを抑制している可能性が考えられる。原らは（2006）、地面反力を用い垂直跳びによる腕振り動作の有無が下肢関節の仕事量、身体全仕事量および跳躍高へ与える影響について報告している。その結果、腕振り動作により下肢関節がなす全体の仕事量が増加することで跳躍高が上昇するとし、下肢には直接つながっていない腕を振るという動作も間接的に下肢関節の仕事量を変化（増加）させ、その結果、跳躍高を上昇させるとしている。垂直跳びは鉛直方向に、走運動は水平方向と移動方向は異なるものの、走運動においても腕を振ることで地面に対し力が加わっていることは推察できる。今回、地面

反力の計測は行っていないため肘関節角度の運動動作が地面に対しどのような影響を及ぼしているのかは考察できないため、今後、上腕の動作も含めた走運動による腕振り動作が地面に対しどのような力の作用を及ぼしているのか検討しなければならない。以上のことから、本研究結果よりストライド長の増加とは反対にピッチ数と伸展肘角度との間に負の相関関係が認められたことから、ストライド長と伸展肘角度に示した理由とは逆の作用がピッチ数に因るものと考えられる。つまり、肘関節角度における伸展肘角度の角度を大きくすることでストライド長の増加に対応し、反対にその角度を小さくすることでピッチ数を高めていたと考えられる。

【参考文献】

- 阿江道良 (2004) 「走動作のメカニズム」『バイオメカニクスー身体運動の科学的基礎ー』金子公宥編, pp.166. 杏林書院
- 伊藤章 (1991) 「走りにおける腕の役割」『体育の科学』141 (9), pp.688-692
- 伊藤宏・西井勝彦 (2013) 「腕振り制限走が疾走動作に与える影響について」『スプリント研究』22, pp.147-148
- 榎本靖士 (2008) 「長距離走者の走技術に関するバイオメカニクスの研究」『陸上競技研究』72号 (1), pp.2-13
- 榎本靖士・門野洋介 (2008) 「世界陸上競技選手権大阪大会における中長距離レースのバイオメカニクス分析とその活用」『バイオメカニクス研究』12 (2), pp.118-124
- 門野洋介 (2018) 「中長距離走におけるスプリント能力」『スプリント学ハンドブック』, pp.93-99. 西村書店
- 木越清信 (2015) 「短距離走における腕ふり動作の反動効果が疾走速度に及ぼす影響」『筑波大学体育系紀要』38, pp.133-138
- 田村孝洋・久保田康毅 (2004) 「100m走の最高速度局面における腕動作機能」『陸上競技研究』59 (4), pp.13-19
- 田村孝洋・松田亮 (2018) 「ランニングの腕動作タイム変化による下肢の流れの抑制と接地時間の短縮を目指した試み」『スポーツパフォーマンス研究』10, 282-296
- 土江寛裕 (2018) 「スプリント走のバイオメカニクス」『スプリント学ハンドブック』, pp.62-80. 西村書店
- 辻本典央・水藤弘吏・新海宏成・布目寛幸・池上康男 (2009) 「腕振りの制約が走動作に及ぼす影響」『バイオメカニクス研究』13 (2), pp.38-50

- 馬場崇豪（2022）「最大下運動での走速度増加に伴う腕振り動作について」『九州国際大学国際・経済論集』9, pp.1-10
- 原樹子・深代千之（2006）「垂直跳びにおける下肢反動と腕振りの効果」『体育の科学』56（3），pp.168-173
- 前田正登・三木健嗣（2010）「スプリント走における腕振りの役割」『陸上競技研究』80（1），pp.13-19
- 山下誠・得居雅人（1990）「走運動中の腕振りの機能に関する実験的研究」『陸上競技研究』1（2），pp.12-16