

最大下運動での走速度増加に伴う腕振り動作について

The arm action with running speed increase in submaximal exercise

馬 場 崇 豪^{*}
Takahide BABA

要 旨

本研究は中長距離走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腕振り動作について定量的に明らかにすることを目的とした。被験者には平均速度から算出した70%、80%、90%、100%の設定速度をトレッドミル上で走行してもらい、その様子を側方よりビデオカメラで撮影した。測定項目は上腕角度および肘関節角度とし、70%時と100%時について比較検討した。その結果、上腕では走速度増加により屈曲角度は増大したが、負の値を示した。また肘関節の屈曲角度も走速度の増加により増大した。上腕の屈曲角度の負の値は肘関節を積極的に前方に振り出すのではなく肩の回旋動作と同調した腕振り動作を行っていることが考えられる。また肘関節では走速度の増加に伴いより伸展位を示したのは、腕を後方へ引く際に肘の角度を開くことで脚動作をコントロールしていることが考えられる。

キーワード：中長距離選手、走速度、腕振り、上腕角度、肘角度

^{*} 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

走運動における腕振りの役割には、走速度の増大、キック力の増大、下肢の角運動量の相殺、などがあげられる（伊藤1991）。馬場（2019）は短距離選手を対象に、全力疾走と手を腰に当て腕振りを制限させた状態での全力疾走を比較したところ、腕振りを制限した場合では滞空期のストライドの減少が認められ疾走速度の低下に繋がったとしている。腕振りを制限することで走パフォーマンスが低下することは他にも報告されており（伊藤2013；笠井1982）、腕振り動作は疾走速度の獲得にとって重要な補助的作用を担っていると考えられる（馬場2019）。長距離選手を対象に通常走行、片腕固定、両腕固定での全力走を行わせた研究では、腕振り動作を制約した場合、ストライドの減少による走速度の減少、肩の回旋角度や角速度の増加、腰の回旋角度や角速度の減少が認められ、腕振り本来の働きを妨げ、それらを補償するような動作を誘発し走速度を減少させたとしており（辻本ら2009）、短距離走、中長距離走に関係なく走運動による走速度向上には腕振り動作は不可欠な動作であると考えられる。他に疾走速度と腕振りに関して、児童に短距離走を行わせた実験では、腕振り動作が下肢の動作に影響を及ぼし、そのことが原因でストライド長やピッチ数が変化しその結果、疾走速度が変化するという報告がなされている（木越2015）。また短距離選手を対象に、腕振り動作と脚動作との関連性について検討した報告では（田村・久保田2004）、腕振り動作は直接パフォーマンスに関わるのではなく、脚動作を引き出すために重要な機能を果たしているとしている。これらの研究では、通常での全力疾走と腕を固定するなど腕振り動作を行わない走行とを比較し、腕振り動作が間接的に疾走速度に影響を及ぼしていることを明らかにしたものや、最高速度時点の疾走速度との関係について明らかにしたもので、疾走中の走速度増加に伴う腕振り動作については明らかにしていない。とくに中長距離走においては、レース序盤からゴールに至るまでレース中における走速度増減の変化は激しく、走速度の変化に対し上肢である腕振りがどう

ように対応しているかを明らかにすることは、今後の指導における基礎的知見に役立つことができると考えられる。そこで本研究は、中長距離選手を対象に最大下運動による走速度の増大に伴い、腕振り動作がどのように対応しているのか定量的に明らかにすることを目的とした。

2. 方法

被験者は中長距離を専門とする男子大学生 5 名で、平均身長 169.96 ± 4.65 cm、平均体質量 57.08 ± 4.48 kg、5000m 走の平均ベストタイムは15分31秒であった。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。

トレッドミルの走速度は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時速18kmとなっており、シーズンベストタイムから求めた平均速度が時速18km以上の被験者に対しては時速18kmを100%とみなし、各%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(210fps)。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。

測定項目

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（図1）。上腕角

度は鉛直線を軸に反時計回りを正、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歩に対する時間を算出し、その逆数より求め、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。また本研究では5名の平均値を求め、設定速度の70%時と100%時の各動作項目について比較検討した。

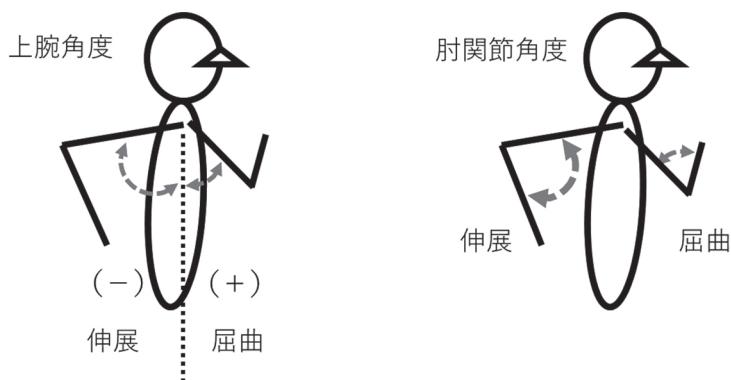


図1 角度定義（著者作成）

3. 結果と考察

設定速度について

シーズンベストタイムから算出した5000mの平均速度は被験者5名のうち4名が時速18km以上だったため、100%を時速18km、90%を時速16.2km、80%を時速14.4km、70%を時速12.6kmに設定した。また1名に関してはシーズンベストタイムの平均速度は時速17.4kmと時速18km以下だったため、100%を時速

17.4km、90%を時速15.7km、80%を時速13.9km、70%を時速12.2kmに設定した。

上腕角度、肘関節角度の変化パターンについて

どの被験者とも1サイクルにおける変化曲線は%速度に関係なく、概ね同パターンを示したため、図2にシーズンベストタイムが良かった被験者の設定速度100%時の上腕角度、肘関節角度の変化曲線を示した。上腕角度では右足離地後から回復期中間時点に最大伸展位を、右足接地中間時点では最大屈曲位を示した。肘関節角度は右足離地後から回復期前半には伸展位、回復期中間時点は屈曲位、回復期後半から右足接地では伸展位、右足接地から離地にかけて屈曲位を示した。

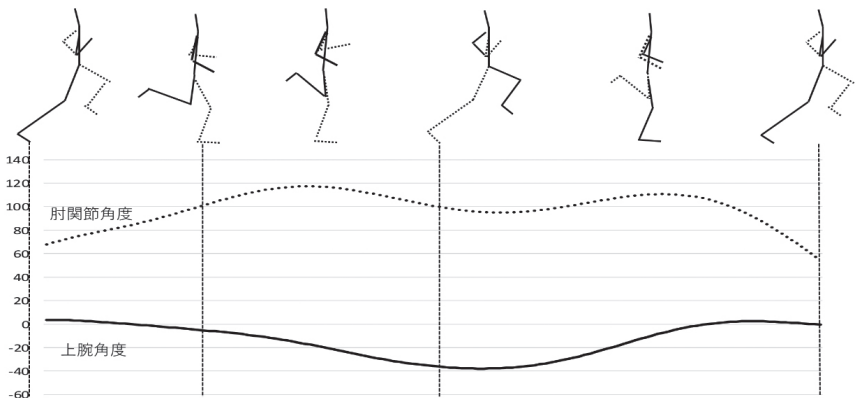


図2 1サイクルにおける上腕角度および肘関節角度の変化曲線（著者作成）

ピッチとストライドについて

図3に70%時と100%時のストライド長、ピッチ数を示した。ストライド長の70%時では1.22m、100%時では1.63m、ピッチ数の70%時では2.88Hz、100%時では3.07Hzであり、走速度増加によりストライド長、ピッチ数とも増大した。70%時のストライド長、ピッチ数から100%時にはストライド長約25%増、ピッチ数では約6%増であることから、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ことが考えられる。松尾ら（1994）は1991年世界陸上の5000m決勝のスピードの変化はおもにストライドの変化であるとしており、長距離レースではピッチよりもストライドの変化がスピードに影響していたとしている。本実験での設定速度70%時から100%時の走速度増の変化においてもピッチよりもストライド長の変化の方が大きかったことから、先行研究と同様な対応をした結果であると考えられる。

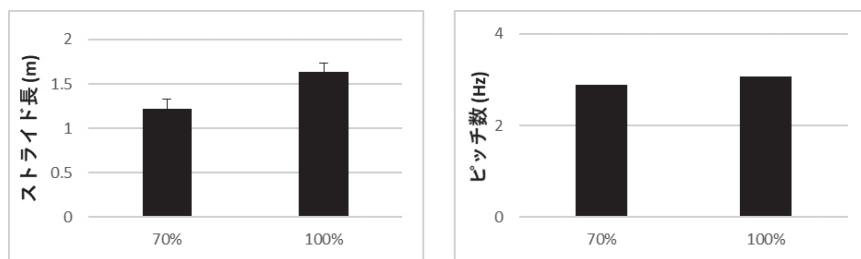


図3 70%時と100%時のストライド長およびピッチ数（著者作成）

走速度増加にともなう上腕角度について

図4に70%時と100%時の上腕角度の最大伸展角度、最大屈曲角度、そして最大伸展角度から最大屈曲角度の可動範囲を示した。最大伸展角度の70%時では-51.35度、100%時では-54.12度であり、走速度増加により伸展角度は増大した。最大屈曲角度の70%時では-3.72度、100%時では-3.16度であり、走速度増加により屈曲角度は増大したものの最大伸展角に比べるとわずかな値であった。可動範囲は70%時では47.6度、100%時では50.95度を示し、走速度増加とともに可動範囲は増大した。次に図5に70%時と100%時の最大伸展速度、最大屈曲速度を示した。最大伸展速度の70%時では-218.45度/秒、100%時では-252.24度/秒であり、最大屈曲速度の70%時では253.33度/秒、100%時では282.85度/秒を示し、最大伸展速度、最大屈曲速度とも走速度増加により増大した。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

おり、屈曲角度よりも伸展角度の方が増大していることや最大伸展速度も高まっていることから、走速度の増加には上腕の伸展動作が関係していることが考えられる。より後方へ肘を速く引くことで反対脚の脚全体の後方スイング動作との協調を図り、その際における地面反力に影響を与え（木越2015）前方への推進力を高めることで、走速度の増加に対応していると考えられる。

本研究の角度定義では、最大伸展角度は走方向に対し肘の位置が後方の位置を示していることから負の値を、最大屈曲角度は走方向に対し肘の位置が前方の位置を示していることから正の値としている。その結果、最大屈曲角度では70%時では-3.72度、100%時では-3.16度と前方方向にありながら負の値を示した。短距離走（疾走速度9.82m/s）では、本研究にあたる上腕角度を示す屈曲角度は25.5度と報告したものがあり（田村・久保田2004）、中長距離走を対象にした本研究結果とは異なり、肘関節が肩関節よりも大きく前方に位置している。中長距離走の場合、短距離走に比べ疾走速度は低くストライド長も小さいことや、走の経済性から常に大きな腕振り動作を行うことはエネルギーロスに繋がる事が考えられる。走運動における骨盤と体幹回旋運動について3次元的に動作解析した研究によると、走速度2.5m/s、4.5m/s、6.5m/s及び最高速度では、骨盤と体幹の回旋運動の振幅は2.5m/sから6.5m/s付近まで増大したとしており（西守・伊藤2006）、2.5m/sから6.5m/sの間では体幹の回旋運動が走速度の増加に対応していることを示唆している。これらのことを鑑みると本研究結果の屈曲動作は肩関節の鉛直線下に近い位置であることから、上腕の屈曲動作は肘関節が前方方向へ移動する際、体幹による回旋動作に同調した上腕運動を行っていると考えられる。つまり肘関節を積極的に前方に出すのではなく肩の回旋動作といっしょに腕振り動作を行っていることが考えられる。しかし、西守らの研究ではそれ以降の速度では骨盤と体幹の回旋運動の振幅が減少したとしていることから6.5m/s以上での更なる検討が必要である。2007年世界陸上競技選手権大阪大会での男子5000m決勝レースでの上位3名の走速度は7.93m/s、7.79m/s、7.83m/sであったこと（榎本ほか2010）や本研究で扱っ

たトレッドミルの速度が時速18km以上は設定できないことを考えると、今後、実際のレースでの分析やオールアウトによる実験を行うなど中長距離走における最高速度時点での腕振り動作に関する分析を検討しなければならない。

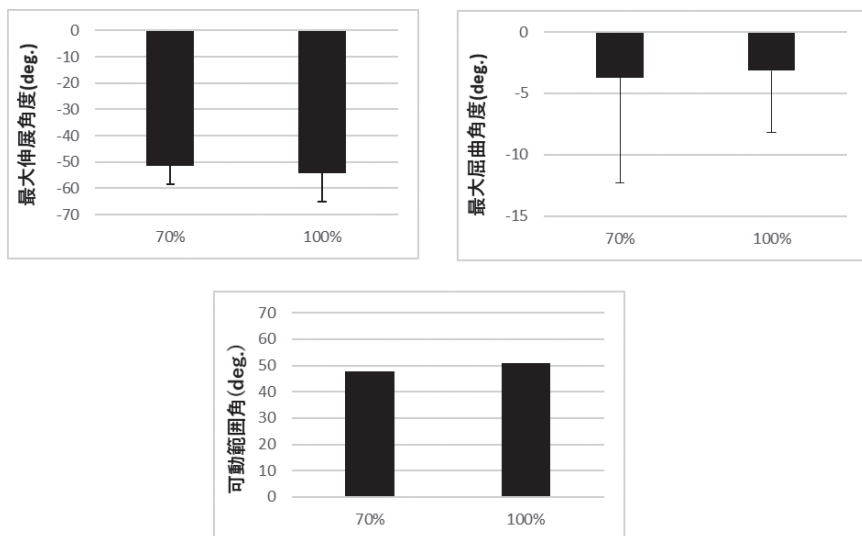


図4 70%時と100%時の上腕角度の最大伸展角度・最大屈曲角度および可動範囲角（著者作成）

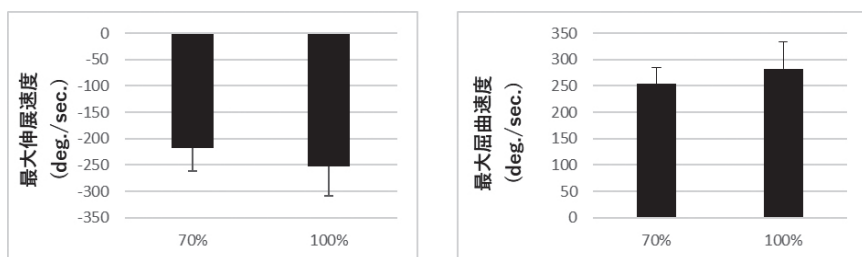


図5 70%時と100%時の上腕角度の最大伸展速度および最大屈曲速度（著者作成）

走速度増加にともなう肘関節角度について

図6に70%時と100%時の上腕角度が伸展、屈曲の最大値に達した際の肘関節角度である伸展肘角度、屈曲肘角度を示した。伸展肘角度の70%時では56.03度、100%時では58.26度であり、屈曲肘角度の70%時では78.95度、100%時では75.88度であり、走速度増加により伸展肘角度は増大を、屈曲肘角度は減少した。左足離地付近で上腕の伸展角度は最大になり、その時の肘関節角度は走速度増加に伴い増大していた。短距離走ではこの局面の肘関節の働きは上腕の伸展動作中の肘関節角度は適度に開いた状態が望まれ、この作用により伸展速度および最大伸展位を抑制することが腕動作における肘関節の重要な働きとしている（田村・久保田2004）。つまり後方への腕振りでは肘の角度を開くことで腕全体の慣性モーメントを大きくし、伸展速度を抑制することで脚が流れる動作に対応している。この点、中長距離走でも同様に走速度が増加すればそれだけ離地以降では脚全体が後方へ流れることが考えられる。その為、脚全体が後方へ流れるのを抑制するためには、短距離疾走時と同様に後方へ腕を引く際に、肘の角度を開き腕全体の慣性モーメントを大きくすることで脚動作をコントロールしていたことが考えられる。肘関節屈曲動作に関してみると、走速度の増加に伴い関節角度は減少し肘をより曲げることで対応していた。伸展角度では速度が増加することで肘関節角度が大きくなったことから、後方から前方へと動かす際には、腕全体の慣性モーメントを小さくすることで腕を振りやすい状態にしたことが考えられる。また上腕の動作では前方へ動かす際、体幹の回旋動作と同調した上腕動作を行っていたと考えれば肘関節角度も小さくすることで腕全体として体幹の回旋動作に同調した動作を行っていると考えられる。

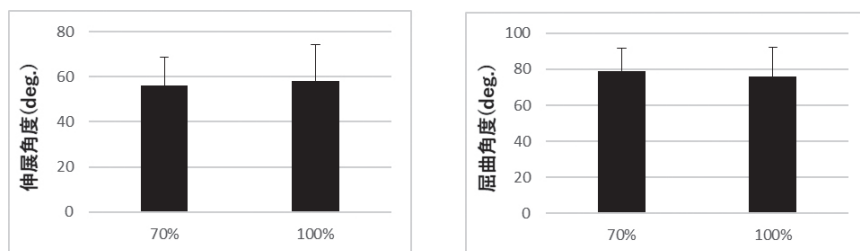


図6 70%時と100%時の肘関節角度の伸展角度および屈曲角度（著者作成）

【参考文献】

- 伊藤章 (1991)「走りにおける腕の役割」『体育の科学』41 (9), 688-692.
- 伊藤宏・西井勝章 (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, 147-148.
- 榎本靖士・門野洋介・法元康二・鈴木雄太・小山桂史・千葉哲 (2010)「長距離レースにおける世界一流選手の走動作の特徴」『世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術』pp. 135-153. 財団法人日本陸上競技連盟
- 笠井達哉 (1982)「走における腕振り動作の効果」『国士舘大学体育研究所報』2, 61-66.
- 木越清信 (2015)「短距離走における腕振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, 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), 13-19.
- 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), 38-50.
- 西守隆・伊藤章 (2006)「歩行と走行の移動速度変化における骨盤と体幹回旋運動の相互相関分析」『理学療法学』33 (6), 318-323.
- 馬場崇豪 (2019)「スプリント走における腕振り動作に関するバイオメカニクスの研究」『スプリント研究』28, 17-22.
- 松尾彰文・杉田正明・阿江通良・小林寛道・岡田英孝 (1994)「中長距離決勝におけるスピード、ピッチおよびストライドについて」『第3回世界陸上競技選手権大会・バイオメカニクス研究班報告書-』pp. 92-111. ベースボールマガジン社