

ランニングの腕動作のタイム変化による 下肢の流れの抑制と接地時間の短縮を目指した試み

田村孝洋¹⁾, 松田亮²⁾

¹⁾中村学園大学教育学部

²⁾広島経済大学経済学部

キーワード:ランニング、腕動作、接地時間、下肢の流れ

【要旨】

本研究の目的は、ランニングにおける協調的動作である腕と脚の動作タイムについて変化を測定して、疾走速度を高める上で重要となる動作ポイントに対する知見を得ることであった。実験は大学陸上競技部に所属する男子短距離走者 6 名を対象とし、対象者の主観的努力度に基づき 2 条件 (Mid effort, High effort) にて 50m 走を実施した。各条件を比較した結果、疾走速度の増大 ($7.53 \pm 0.63\text{m/s} \rightarrow 8.63 \pm 0.29\text{m/s}$) に対してピッチの増大 ($3.52 \pm 0.33\text{Hz} \rightarrow 4.15 \pm 0.25\text{Hz}$) と接地時間の短縮 ($0.13 \pm 0.02\text{s} \rightarrow 0.11 \pm 0.01\text{s}$) が関連していることが明らかとなった。この接地時間の短縮に関する疾走動作について、特に接地以後の上腕屈曲動作 ($0.18 \pm 0.03\text{s} \rightarrow 0.14 \pm 0.02\text{s}$) と大腿伸展動作 ($0.17 \pm 0.02\text{s} \rightarrow 0.14 \pm 0.01\text{s}$) が有意に短縮されていた。また、これら動作と接地時間には有意な相関があったことから上腕動作によって大腿動作の素早い切り返しを誘導することで接地時間を短縮して脚の流れを改善する可能性が示唆された。そのことから、接地から離地に至るまでの上腕の屈曲動作を制御して動作時間を短縮することがパフォーマンス向上につながるポイントだと考えられた。

スポーツパフォーマンス研究, 10, 282-296, 2018 年, 受付日: 2017 年 9 月 28 日, 受理日: 2018 年 10 月 15 日

責任著者: 田村孝洋 中村学園大学 814-0198 福岡市城南区別府 5 丁目 7-1

tamden@nakamura-u.ac.jp

* * * * *

Effects of changing arm movements on leg flow and ground contact time in running

Takahiro Tamura¹⁾, Ryo Matsuda²⁾

¹⁾Nakamura Gakuen University

²⁾Hiroshima University of Economics

Key words: running, arm movements, ground contact time, leg flow

[Abstract]

The objectives of the present research were to measure time series changes in movements of runners' arms and legs, which are cooperating movements in running, and to clarify the relations of movements of the arms and the legs. In addition, the possibility was considered of improving runners' performance by controlling the timing of their arm movements. The participants, 6 male members of a university athletic club, did a 50-m run. The results from the 2 conditions, mid effort and high effort, were compared. The results indicated that increasing the pitch (3.52 ± 0.33 Hz \rightarrow 4.15 ± 0.25 Hz) and shortening the ground contact time (0.13 ± 0.02 s \rightarrow 0.11 ± 0.01 s) were related to an increase in running velocity (7.53 ± 0.63 m/s \rightarrow 8.63 ± 0.29 m/s). When ground contact time was shortened, the time of the runners' arm and leg movements significantly shortened, and these movements were correlated with ground contact time ($p < 0.05$). These results suggest that inducing a turnover of leg movements by arm movements might shorten ground contact time and improve leg flow. Therefore, when attempting to improve performance, it is important to time arm movements so that they end simultaneously with grounding.

I. はじめに

陸上競技の 100m 走において日本人の積年の夢であった 10 秒の壁は 2017 年 9 月 9 日、桐生祥秀選手によってついに突破された。一方、男子 100m 走の世界記録は 2009 年にジャマイカのウサイン・ボルト選手によって樹立された 9.58s であり、Graubner・Nixdorf(2011)は、この時の疾走速度の平均値は 10.44m/s、疾走速度の決定因子であるピッチは 4.27steps/s、ストライドは 2.44m であったと報告している。これまで阿江ほか(1994)、矢田ほか(2011)は世界トップスプリンターと日本人トップスプリンターのパフォーマンスを比較し、ピッチよりもストライドに顕著な有意差があったと報告しており、そのことから理想的なピッチとストライドの獲得は疾走速度を高める上での課題と言えるであろう。

こうしたピッチとストライドを生み出す疾走動作に目を向けると、これまで特に脚動作に関する研究を中心に進められてきたことが指摘できる。伊藤ほか(1994)は疾走速度と脚全体最大スイング速度の相関を指摘しており、大腿部の高さは疾走速度と関連性が低いと結論付けた。また、馬場ほか(2000)は接地期後半から股関節屈曲トルクが発揮され、遊脚期前半にすばやく屈曲されることで下肢の脚全体の速度が高まり疾走速度につながると述べていた。これらの先行研究によって得た科学的データはコーチング現場で活用され、今日の日本人スプリンターの育成に多大な影響を与えていると言える。

しかし、パフォーマンスと脚動作の直接的な関連性が明らかになる一方で、未だにはっきりと解明されていないのが腕動作とパフォーマンスの関連性である。為末(2007)や土江(2011)など元トップアスリートの著書の中には疾走中の腕動作と接地のタイミングを合わせるようにという記述が散見され、腕動作の重要性について触れている。ただし、どういったタイミングを基準に動作改善を進めて良いのか具体的なポイントについてはアスリートの主観的感覚に基づいた経験による情報が主な内容である。一般的な身体感覚において腕動作は脚動作よりも制御しやすいため、直接的もしくは間接的に疾走動作を改善でき、パフォーマンス向上に関連する何らかのポイントがあるのではないかと考えられる。疾走中の腕動作に関して、前田・三木(2010)は、腕を固定した疾走と全力疾走を比較した結果、疾走速度、ストライド、ピッチともに有意に減少し、腕振りが下肢動作に果たす役割には不要な角運動量を打ち消したり、必要な角運動量を増大させたりするなど個人差があったと報告している。また、田村・久保田(2004)は一般的に良いと言われていた“大きく”、“速く振る”という指導に関して、競技レベルが高い競技者ほど動作範囲は狭くコンパクトで素早い切り替えを行える疾走動作になっていることを示唆した。しかし、疾走中の腕動作と協調的動作である脚動作との関連性を追求した先行研究は数が少なく科学的知見を充分得ているとは言い難い。ランニングにおける腕動作の役割については、[1]体のバランスを保つ、[2]地面反力を増大させる、[3]タイミングを図るなどがあるが、阿江ほか(1992)が示している身体における腕の重量比は 4.9%と小さいため、腕が果たす最も重要な役割はタイミングを図ることだと考えられる。

そこで、本研究では疾走中における腕と脚の屈曲、伸展動作に要するタイムに着目し、主観的努力度が異なる 2 条件の下で疾走速度の変化に伴う腕と脚の動きについて共通する動作タイムの変化の有無を明らかにすることで疾走速度が高まる際の動作ポイントに対する知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 実験方法

実験は大学グラウンドの全天候型直走路を利用し、対象者にはスタンディングスタートからの 50m 走を 2 本実施させた。実験プロトコルは図 1 の通りであり、スタートピストルの閃光から走者のトルソーが直走路上 10m ごとに付けたポイントとゴールラインを越えるまでの疾走動作を撮影した。撮影機器には比較的安価で高画質なハイスピード撮影が可能なデジタルカメラ(HD1280×720、120fps)を搭載したドローン 1 機(DJI 社製、Mavic Pro)を用いた。カメラ 1 台による撮影は必要台数を最小限にできるため機器に掛かる費用を抑えられるほか、撮影映像の時間軸を 1 台で処理できるため複数台の同期によるタイムラグが発生しないというメリットがある。また、ドローンは飛行姿勢を制御する各種センサとカメラ固定部には 3 方向の衝撃吸収を補助する 3 軸ジンバルを備えており、カメラに発生する振動を大幅に低減できるため安定した動作映像の取得が可能であった。ドローン飛行はコントロール操作に慣れた者が行い、走者からドローンまでの水平距離は約 10m、飛行高度は 1.5~2.0m を設定し、撮影中は上下移動させず撮影開始直後の高度を維持した。走者の全身の疾走動作が映像に映るように疾走速度に合わせ疾走方向に対して右側方から並行移動となるよう機体操作を行った。撮影映像はドローン本体内の microSD に MOV 形式にて保存して PC による映像分析に利用した。50m 走の測定に際して、疾走速度が異なる場合における動作タイム変化の有無について比較検証するため、走者の主観的努力度に基づいて 1 本目は最大努力度の 60-70% の中強度(以後:Mid effort)、2 本目は最大努力度の 80-90% の高強度(以後:High effort)で疾走速度をコントロールするよう指示した。

2. 対象者

対象者は大学陸上競技部に所属する男子短距離走者 6 名(年齢 20.7±0.8 歳、身長 1.75±0.04m、体重 67.9±4.7kg、100m 走自己記録 11.24±0.31s)とした。対象者には本実験の主旨と内容、また、その危険性について十分な説明を行った上で実験参加の同意を得た。尚、これらは中村学園大学の倫理審査委員会の承認のもと実施した。

3. 分析項目およびデータ処理

50m 走における疾走速度の分析区間は 30-40m とした。ピッチ、接地時間、滞空時間に関しては、30m 以降の連続する 2 サイクル間のうち右脚接地から左脚接地に至る動作を 2 動作分測定した。分析には、2 動作分の平均値を採用したが、その動作の再現性を検討する指標として対象者の 1 サイクル動作と 2 サイクル動作の測定値より変動係数(CV)と級内相関係数(ICC)を算出した。また、疾走動作の分析局面は、右脚接地以前の動作と左脚接地以後の動作を含めた第 1 局面から第 4 局面とし(図 2、[動画 1](#)、[動画 2](#))、連続する 2 サイクル間の動作タイムについてその平均値を採用した。分析における時間算出は右脚接地を基準(0.00s)として、右肩関節(以後:上腕)および右股関節(以後:大腿)が最大伸展位(以後:伸展位)から最大屈曲位(以後:屈曲位)に至る屈曲動作と、屈曲位から伸展位に至る伸展動作を分析動作とした。分析項目には、これら上腕動作および大腿動作が各局面に要した動作タイムを測定してその絶対値を採用した。詳細については表

1 に示した。なお、分析項目のデータ処理は Mid effort と High effort について対応のある t 検定を用いて有意差検定を行うと共に相関係数を求めた。有意性の判断水準はいずれも 5%未満とし、統計処理ソフトには SPSS 22.0 を用いた。

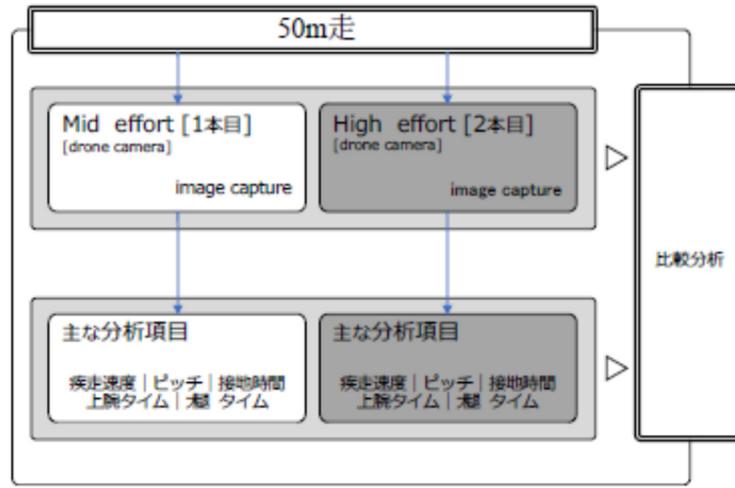


図 1. 実験プロトコル

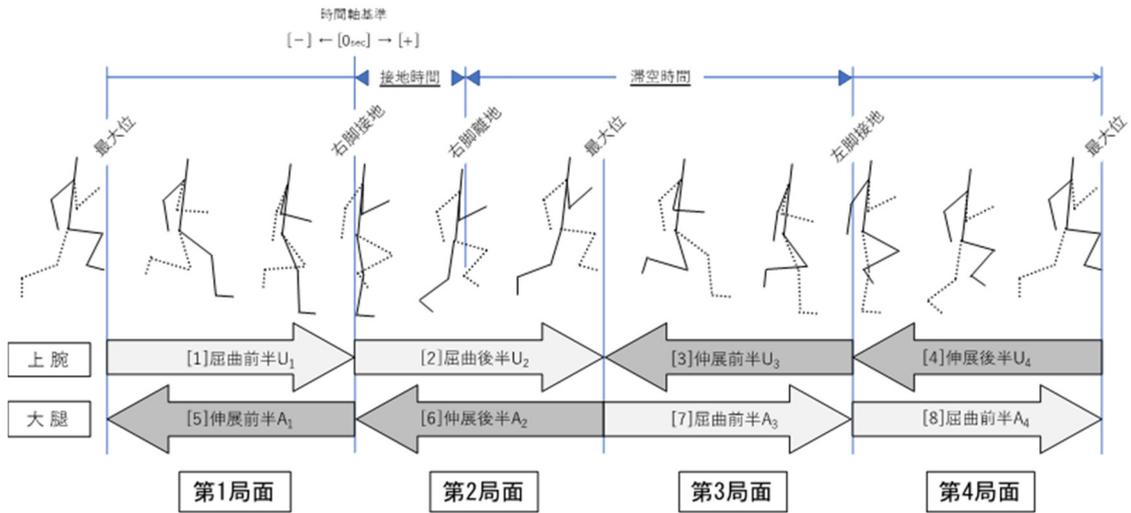


図 2. 分析動作の定義

表 1 分析項目詳細

50m走タイム [s]	スタートからゴールまでの50mに要した時間			
疾走速度 [m/s]	30-40m区間の10mに要した時間より算出			
ピッチ [Hz]	30-40m区間のうち右脚接地から左脚接地に要した時間の逆数より算出			
接地時間 [s]	右脚接地から右脚離地に要した時間			
滞空時間 [s]	右脚離地から左脚接地に要した時間			
上腕の動作タイム [s]	第1~4局面に至る上腕動作に要した時間を測定	第1局面	[1] 屈曲前半U ₁ [5] 伸展前半A ₁	最大伸展位 → 右脚接地 [腕動作] 最大屈曲位 → 右脚接地 [脚動作]
大腿の動作タイム [s]	第1~4局面に至る大腿動作に要した時間を測定	第2局面	[2] 屈曲後半U ₂ [6] 伸展後半A ₂	右脚接地 → 最大屈曲位 [腕動作] 右脚接地 → 最大伸展位 [脚動作]
		第3局面	[3] 伸展前半U ₃ [7] 屈曲前半A ₃	最大屈曲位 → 左脚接地 [腕動作] 最大伸展位 → 左脚接地 [脚動作]
		第4局面	[4] 伸展後半U ₄ [8] 屈曲後半A ₄	左脚接地 → 最大伸展位 [腕動作] 左脚接地 → 最大屈曲位 [脚動作]

Ⅲ.結果

1. 疾走速度、ピッチ、接地時間、滞空時間

各条件における50m走タイム、疾走速度、ピッチ、接地時間、滞空時間について表2に示した。Mid effortでは7.83±0.36s、7.53±0.63m/s、3.52±0.33Hz、0.13±0.02s、0.15±0.01sであった。High effortでは、7.16±0.10s、8.63±0.29m/s、4.15±0.25Hz、0.11±0.01s、0.13±0.01sであった。各条件を比較すると全項目においてHigh effortの方が有意に高値であった(p<0.01)。表3は測定対象とした各条件の1サイクル、2サイクルにおけるピッチ、接地時間、滞空時間の変動係数(CV)と級内相関係数(ICC)を示したもので、対象者間のバラつきを示す変動係数(CV)に関してMid effortは7.5%~11.3%、High effortは4.8%~10.1%であった。一方、対象者内の測定値を比較した級内相関係数(ICC)に関してはMid effortはICC=0.831~0.978、High effortはICC=0.735~0.878であった。

図3、図4、図5は各条件における疾走速度とピッチ、接地時間、滞空時間の関連性を示したものであり、有意な相関があったのはMid effortの疾走速度とピッチ(r=0.988, p<0.01)、接地時間(r=-0.953, p<0.01)、High effortの疾走速度とピッチ(r=0.854, p<0.05)、疾走速度と接地時間(r=-0.936, p<0.01)であった。

表2.各条件における50m走タイムと30-40m区間の疾走速度

		Mid effort	High effort	t検定
50m走タイム	[s]	7.83±0.36	7.16±0.10	**
疾走速度	[m/s]	7.53±0.63	8.63±0.29	**
ピッチ	[Hz]	3.52±0.33	4.15±0.25	**
接地時間	[s]	0.13±0.02	0.11±0.01	**
滞空時間	[s]	0.15±0.01	0.13±0.01	**

[n=6] **p<0.01

表3. 各条件の1サイクル、2サイクルの測定データ(変動係数、級内相関係数)

		Mid effort	1サイクル	2サイクル	ICC
ピッチ	[Hz]	3.51±0.30	3.54±0.36	0.978	
			CV=8.5%	CV=10.1%	
接地時間	[s]	0.14±0.02	0.13±0.02	0.941	
			CV=7.8%	CV=11.3%	
滞空時間	[s]	0.16±0.01	0.15±0.01	0.831	
			CV=8.4%	CV=7.5%	

		High effort	1サイクル	2サイクル	ICC
ピッチ	[Hz]	4.16±0.20	4.14±0.32	0.735	
			CV=4.8%	CV=7.8%	
接地時間	[s]	0.11±0.01	0.12±0.01	0.878	
			CV=10.1%	CV=7.3%	
滞空時間	[s]	0.13±0.01	0.13±0.01	0.869	
			CV=6.6%	CV=7.2%	

[n=6]

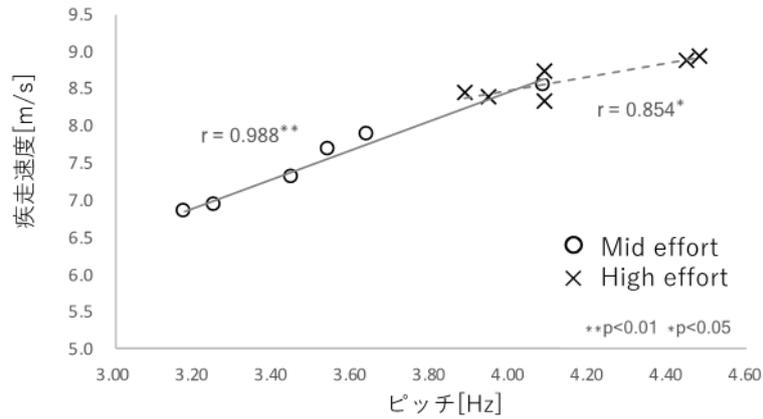


図 3. 疾走速度とピッチ

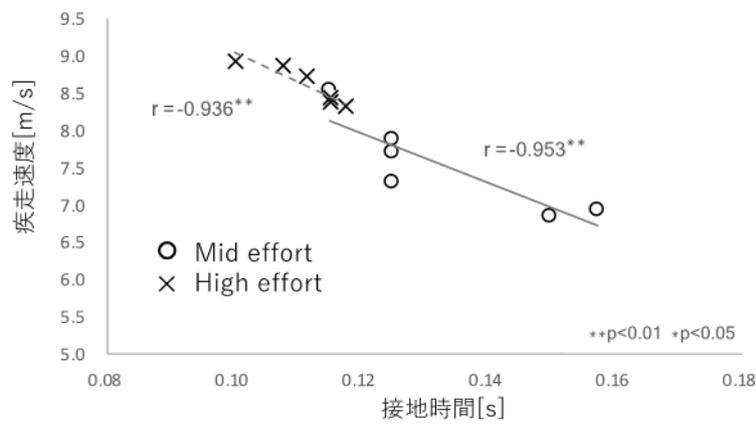


図 4. 疾走速度と接地時間

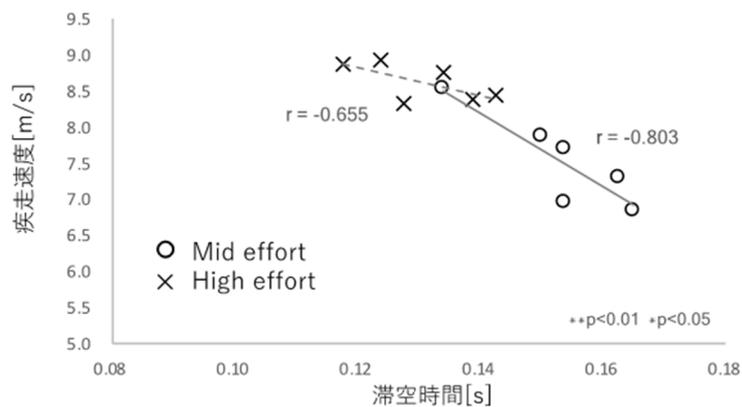


図 5. 疾走速度と滞空時間

2. 上腕、大腿の動作タイム

図 6 は各条件における第 1 局面から第 4 局面までの上腕、大腿の動作タイムを比較したものである。上腕の[1]屈曲前半 U_1 、[2]屈曲後半 U_2 、[3]伸展前半 U_3 、[4]伸展後半 U_4 の動作タイムについて Mid effort では $0.12 \pm 0.02s$ 、 $0.18 \pm 0.03s$ 、 $0.11 \pm 0.01s$ 、 $0.15 \pm 0.02s$ であり、High effort では $0.10 \pm 0.02s$ 、 $0.14 \pm 0.02s$ 、 $0.10 \pm 0.01s$ 、 $0.15 \pm 0.02s$ であった。一方、大腿の[5]伸展前半 A_1 、

[6]伸展後半 A₂、[7]屈曲前半 A₃、[8]屈曲後半 A₄ の動作タイムについて Mid effort では 0.13±0.01s、0.17±0.02s、0.12±0.01s、0.15±0.02s であり、High effort では 0.11±0.01s、0.14±0.01s、0.11±0.01s、0.14±0.01s であった。各条件における上腕、大腿の動作タイムの差を比較した結果、第 1 局面の[1]屈曲前半 U₁、[5]伸展前半 A₁、第 2 局面の[2]屈曲後半 U₂、[6]伸展後半 A₂ において High effort の方が有意に低値であり(p<0.05)、上腕の屈曲動作、大腿の伸展動作に要したタイムが短縮されていた。第 3 局面の[7]屈曲前半 A₃ の動作タイムも High effort の方が有意に低値であったが(p<0.01)、これら大腿の動作に伴う上腕の[3]伸展前半 U₃ の動作タイムや、第 4 局面の[4]伸展後半 U₄、[8]屈曲後半 A₄ の動作タイムに有意差はなかった。表 4 は各条件における第 1 局面から第 4 局面の上腕と大腿の動作タイムについての相関係数を示したものである。Mid effort および High effort において共通して有意な相関があったのは第 2 局面のみであり、上腕の動作タイムが短いと大腿の動作タイムも同様に短い傾向にあった。

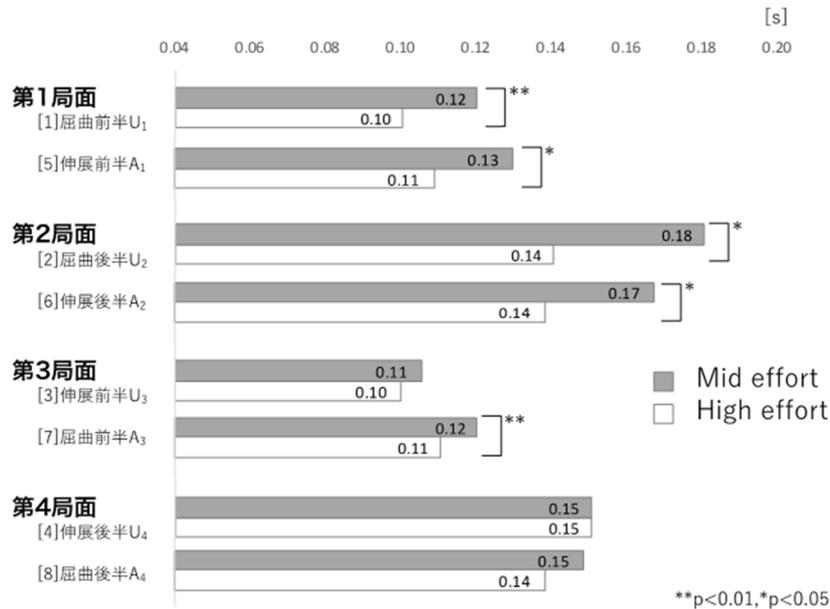


図 6. 各局面の動作タイム比較

表 4. 各条件の上腕と大腿の動作タイムに関する相関係数

	Mid effort 上腕-大腿	High effort 上腕-大腿
第1局面	0.364	0.944 **
第2局面	0.955 *	0.896 *
第3局面	0.378	-0.293
第4局面	0.987 **	0.568

**p<0.01, *p<0.05

表 5、表 6 は各条件の上腕動作と大腿動作における動作タイムと疾走速度、ピッチ、接地時間の違いとの関連性について、第 1 局面から第 4 局面までの上腕[1]~[4]、大腿[5]~[8]の各動作タイムと疾走速度、ピッチ、接地時間の相関係数を算出し、共通局面を示したものである。Mid effort および High effort に共通して有意な相関にあったのは第 2 局面の上腕動作、大腿動作である[2]屈曲後半 U₂、[6]伸展後半 A₂と疾走速度、接地時間であり、接地以後の上腕の屈曲動作、大腿の伸展動作に要したタイムが短い場合に疾走速度が高く、接地時間が短縮される傾向にあった。一方、その他の第 1 局面、第 3 局面、第 4 局面においては、Mid effort の第 4 局面の[4]伸展後半 U₄、[8]屈曲後半 A₄において疾走速度、ピッチ、接地時間の全 3 項目と有意な相関があり(p<0.01)、また High effort の第 4 局面の[4]伸展後半 U₄においてピッチと有意な相関があったが(p<0.05)、これら以外には有意な相関は確認されず疾走速度の高まりや接地時間の短縮と動作タイムの短縮の関連性について一定の傾向を見出すことはできなかった。

表 5. Mid effort の動作タイムと疾走速度、ピッチ、接地時間との相関係数

Mid	動作	疾走速度	ピッチ	接地時間
第1局面	[1]屈曲前半U ₁	-0.477	-0.517	0.334
	[5]伸展前半A ₁	-0.620	-0.561	0.566
第2局面	[2]屈曲後半U ₂	-0.941**	-0.947**	0.976**
	[6]伸展後半A ₂	-0.926*	-0.926**	0.891*
第3局面	[3]伸展前半U ₃	-0.030	0.026	-0.159
	[7]屈曲前半A ₃	-0.576	-0.627	0.630
第4局面	[4]伸展後半U ₄	-0.972**	-0.939**	0.934**
	[8]屈曲後半A ₄	-0.990**	-0.963**	0.930**

**p<0.01, *p<0.05

表 6. High effort の動作タイムと疾走速度、ピッチ、接地時間との相関係数

High	動作	疾走速度	ピッチ	接地時間
第1局面	[1]屈曲前半U ₁	-0.207	-0.177	0.055
	[5]伸展前半A ₁	-0.355	-0.298	0.166
第2局面	[2]屈曲後半U ₂	-0.897*	-0.941**	0.968**
	[6]伸展後半A ₂	-0.918**	-0.832*	0.908*
第3局面	[3]伸展前半U ₃	0.587	0.639	-0.800
	[7]屈曲前半A ₃	-0.512	-0.709	0.586
第4局面	[4]伸展後半U ₄	-0.800	-0.854*	0.721
	[8]屈曲後半A ₄	-0.316	-0.293	0.137

**p<0.01, *p<0.05

表 7 は両条件に共通して疾走速度との関連性が示された第 2 局面における離地後から最大位に至るまでの動作タイムを比較したものであり、第 2 局面の[2]屈曲後半 U₂、大腿[6]伸展後半 A₂の各動作タイムより接地時間を減じて離地-最大位の動作タイムを算出した。離地後の上腕の屈曲動作においては疾走速度が高い High effort の方が動作タイムは短かったが High effort と Mid effort のタイムに有意差はなかった。また、離地後の動作タイムと疾走速度、ピッチとの相関係数を算出した結果、High effort の上腕動作と疾走速度、ピッチには有意な相関があり(p<0.01)、疾走速度が高いほど離地後の上腕動作に要したタイムが短かった。一方、離地後の大腿の伸展動作においても両条件の動作タイムに有意差はなかった。離地後の動作タイムと疾走速度、ピッチとの相関係数に関しては High effort とピッチに有意な相関があり(p<0.05)、主観的努力度の異なる疾走速度においても離地後の大腿動作タイムの影響はなかった。

表 7. 第 2 局面における離地後の動作タイム比較

	条件	離地-最大位 動作タイム [s]	相関係数	
			疾走速度	ピッチ
上腕動作	Mid	0.05 ± 0.01	-0.807	-0.778
	High	0.03 ± 0.01	-0.948 **	-0.938 **
大腿動作	Mid	0.04 ± 0.01	-0.452	-0.417
	High	0.03 ± 0.01	-0.650	-0.853 *

**p<0.01, *p<0.05

IV. 考察

1. 疾走速度の変化に対するピッチ、接地時間の変化

本研究では、主観的努力度が異なる Mid effort と High effort の 2 条件の下で 50m 走を実施し、疾走速度の変化に伴う腕と脚の動きについて動作タイムの変化の有無を明らかにすることで疾走速度が高まった際の動作ポイントに対する知見を得ることを目的とした。Mid effort と High effort を比較した結果、タイム(7.83 ± 0.36s → 7.16 ± 0.10s)、疾走速度(7.53 ± 0.63m/s → 8.63 ± 0.29m/s)、ピッチ(3.52 ± 0.33Hz → 4.15 ± 0.25Hz)、接地時間(0.13 ± 0.02s → 0.11 ± 0.01s)、滞空時間(0.15 ± 0.01s → 0.13 ± 0.01s)の項目間で有意差があったことから異なる条件下で疾走していた。また、これらピッチ、接地時間、滞空時間については、動作の再現性の指標として対象者間の変動係数(CV)と対象者内における級内相関係数(ICC)を算出した。その結果、Mid effort : CV=7.5%~11.3%、ICC=0.831~0.978、High effort : CV=4.8%~10.1%、ICC=0.735~0.878 であった。変動係数の差は、Mid effort で最大 2.6%、High effort で最大 3.0%であり、また、Fleiss(1986)による ICC の判断基準は ICC>0.75 であることから、High effort におけるピッチの再現性が若干低かったことが示唆されたが、それ以外の数値において大きな差はなく、再現性は確保できていると考えられる。

ピッチと接地時間については疾走速度と有意な相関にあったことから疾走速度向上の重要なポ

イントであると言える。伊藤・村木(2005)によると、主観的努力度を高めた場合、疾走速度が高まるほど接地時間は減少傾向にあったと報告している。また、福田・伊藤(2004)も疾走速度が高いほど短い接地時間で大きな地面反力を発揮する傾向を報告しており、短い接地時間は高い疾走速度で走るためのひとつの目安であり疾走動作の工夫によって目指す改善ポイントだと考えられる。ただし、疾走速度の高まりはピッチと接地時間に全て依存する訳ではなくストライドの関与を考慮する必要がある。内藤ら(2013)によると、全力疾走時のデータをもとに走者の特徴をピッチ型、ストライド型、中間型と分類して、疾走速度への貢献にパターンが違うことを指摘している。本研究では疾走動作の撮影にドローンを用いたため固定カメラの場合とは異なり走者と一定距離を維持できたかは不明確である。そのため映像からストライドを算出するには至らず、疾走速度の増大に対するストライドへの関与が明らかにできなかったことから Mid effort と High effort の動作タイムの比較によってピッチを改善するポイントを検討するに留まった。本研究で用いたドローンによる撮影方法は、対象者と並行飛行によって安定的な映像となると同時にカメラ 1 台で高画質なハイスピード映像が確保できるというメリットがある。その一方で、走運動パフォーマンスの分析項目であるストライドの測定が困難となるデメリットがあり再考を含めて今後の課題と考える。

2. ピッチの高まり、接地時間の短縮に関わる上腕動作と大腿動作の局面

ランニング中の腕動作に関して、速く走るため大きく速く振るという指導を明記した文献は丸山(1978)によるものがあり、疾走速度を高めるために必要な大きなストライド＝大きな脚動作＝大きな腕動作という技術的な構図をイメージしやすいためか、インターネット検索の結果や学校の陸上運動の指導の中では根強い共感を得ていることを実感する。本研究では、各条件における上腕動作 4 局面に要した動作タイムを比較した結果、上腕の屈曲動作である [1]屈曲前半 U_1 、[2]屈曲後半 U_2 は High effort の方が有意に低値で早く振っていたことが明らかとなった。特に[2]屈曲後半 U_2 の動作タイムは Mid effort、High effort において疾走速度と有意な相関があり、接地以後の上腕の屈曲に要した動作タイムが短いほど疾走速度が高かったことから腕の屈曲動作の素早さとパフォーマンスの間接的な関連性が明らかになったと言える。また、疾走動作に関して[2]屈曲後半 U_2 の動作タイムはピッチ、接地時間とも有意な相関があり、接地以後の上腕の屈曲に要した動作タイムが短いほどピッチが高く、接地時間が短い傾向を示した。腕動作のコーチングに関して、豊田(2012)は、腕は肩を起点にコンパクトにリズムよく振ることが重要だと述べているが、この結果より上腕動作をコンパクトにする具体的ポイントとして特に接地以後の前方への屈曲動作が挙げられた。

一方、各条件における大腿動作 4 局面に要した動作タイムを比較した結果、大腿の伸展動作である[5]伸展前半 A_1 、[6]伸展後半 A_2 と屈曲動作である[7]屈曲前半 A_3 の 3 局面において High effort の方が有意に低値であり、全体的に早く動かすことで疾走速度を高めていたと推察できた。これら 3 局面の中でも特に接地以後の大腿の伸展動作である[6]伸展後半 A_2 の動作タイムは疾走速度と有意な相関があり、伊藤ほか(1998)によるとこのスウィング速度の速さが疾走速度と関連していると報告している。本研究ではスウィング速度は測定していないが動作タイムの短縮と疾走速度の高まりの関連性は、この先行研究の結果を支持するものと考えられた。また、疾走動作に関して[6]伸展後半 A_2 はピッチ、接地時間と有意な相関があり、接地以後の大腿の伸展に要した動作

タイムが長いほどピッチが低く、接地時間も長い傾向を示した。疾走中における大腿の伸展動作タイムが長くなることは過度な伸展によって脚の流れを引き起こす一つの要因になると推察できる。脚の流れとは陸上競技のコーチングで使用される脚動作に関する一般概念であり定義化が困難ではあるが、大腿が身体後方に伸展しすぎて屈曲への切り返しが遅れる悪い動作のことを指す。川本(2010)は、この脚の流れの改善がパフォーマンス向上に必要だとしている。また、土江(2011)は、これを改善する手立てについて地面を後ろに蹴り過ぎないことをポイントに挙げて意識的に脚動作に気を付けるよう述べている。しかし、現実的には脚の意識のみに着目して改善を試みることは容易ではないと考えられ、具体的な改善を進めるための動作ポイントが確立されていないという課題が指摘できる。

3. 上腕動作の切り返し制御と大腿動作の流れ

腕と脚の時間変化を4局面に区分して分析した結果、Mid effort、High effort に共通して疾走速度、接地時間と有意な相関があったのは第2局面の[2]屈曲後半 U_2 、[6]伸展後半 A_2 であり、疾走速度の向上に最も影響を与える動作局面であることが考えられる。疾走中の腕と脚は協調的動作であることから一方の動作修正が他方の動作改善を導くことは容易に推察できる。また、一般的な感覚では上腕動作は大腿動作よりも制御しやすいため上腕動作を意図的に変化させて大腿動作の改善を図ることは充分可能であると言える。特に、本研究において第2局面の上腕と大腿の動作タイムには有意な相関が明らかになったことから、接地以後の上腕の[2]屈曲後半 U_2 の動作タイムについて短縮を試みることは、大腿の[6]伸展後半 A_2 の動作タイム短縮に有効であり脚の流れに上腕動作が寄与する可能性が示されたと考えられる。この[6]伸展後半 A_2 の大腿動作についてさらに詳細に分析すると接地-離地、離地-伸展位に整理することができ、このうち離地以後の脚の流れである大腿の過度な伸展動作は走る際の身体重心移動には直接作用しないとされる動作局面である。この離地後の大腿動作の局面について湯・豊島(1998)は、膝関節を素早く畳んで脚のスウィング速度を高めることが重要であると報告しており、脚が流れず屈曲動作への素早い切り返しを可能にすることも疾走速度を高めるポイントだと言える。ただし、この大腿動作に関して本研究では、離地から伸展位に至る動作タイムには疾走速度の違いによる有意差がなかったことから離地後の伸展動作の重要性よりも接地から離地に至るまでの伸展動作タイム(接地時間)の短縮を最も重視すべきだと考えられる。

この大腿動作の改善に向けた上腕動作について、コーチングで腕を大きく振る内容のアドバイスをすることは大腿の伸展動作タイムの短縮に結び付きにくいことが予想でき、反対に増大を引き起こす可能性も考えられる。その理由は、腕の大きな動きが脚の素早い切り返しのきっかけを奪うだけでなく、接地時間や伸展動作を助長して脚の流れを発生させる要因になると考えられるためである。本研究では、疾走速度に応じて上腕の屈曲動作のタイムが変化しており、High effort における接地から上腕の屈曲動作の終わりまでの平均値が 0.14s 程度と短時間であることを鑑みると、競技者の感覚として腕を必要以上に前方へ振りすぎないことがポイントだと言える。そのために例えば、接地瞬間を“上腕動作を終える目安”と捉え屈曲動作から伸展動作へと素早く切り替えると、協調する脚動作の動作タイムも短縮し効率的な疾走動作につながると推察できる。朝原(2015)や為末

(2007)は著書の中で腕と脚のタイミングを合わせることの重要性を共通して述べており、本研究ではトップアスリートの身体感覚を解明するためのひとつの手掛かりを示すことができたのではないかと考える。しかしながら、これらの結果は疾走速度を主観的努力度によって制御した2条件下における30-40m区間の動作タイムを分析したものであり、全力疾走やランニング中の全局面には当てはまらない可能性も考えられる。朝原(2015)は、著書の中で腕動作の制御について加速局面では最高速度局面より大きく振るといふことに触れており、疾走局面に合わせて腕動作を自在に制御している様子が窺える。そのため疾走速度やピッチ、ストライドが異なる局面ごとによって腕動作の役割が異なることも視野に含め、今後さらなる検討が必要だといえる。

4. 疾走局面の動作イメージ

図7はランニング中の上腕と大腿の動作をイメージ化したものであり、実際の動作比較は[動画3](#)に示した。一連の疾走動作の中で疾走速度の高まりと共に明らかな変化があったのは、第2局面の接地以後における上腕と大腿の動作タイムの短縮であった。この短縮には屈曲-伸展の動作を素早く切り返すことが重要となるため、疾走速度を高める接地以後による疾走動作の具体的なイメージは、上腕動作を前方に大きく振りすぎないこと、大腿動作を後方に大きく開きすぎないことが提案できる。特に、大腿動作はパフォーマンス向上につながる脚の流れの改善、接地時間の短縮を引き起こすことが本研究においても示唆されており、これらは位相が揃う上腕の屈曲動作によって制御できる可能性がある。

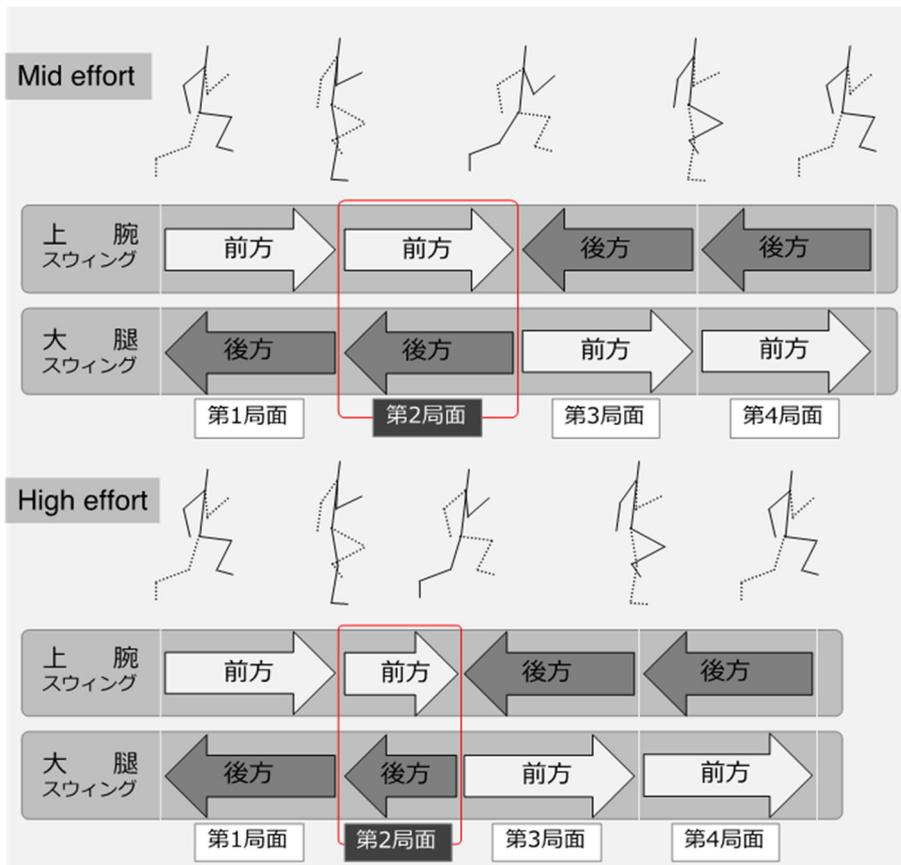


図7. 疾走局面の動作イメージ

V.まとめ

本研究では腕と脚の協調的動作に着目して腕動作のタイミング改善によるパフォーマンス向上の可能性について考察した。対象者 6 名の主観的努力度を変えて疾走速度を意図的に高めた際のデータ比較によって以下のことが明らかとなった。

- [1] 疾走速度の増大につれ、接地時間の短縮がみられた。
- [2] 接地時間は接地以後の上腕の屈曲動作タイム、大腿の伸展動作タイムと有意な相関があった。
- [3] 接地以後の上腕の屈曲動作タイムは大腿の伸展動作タイムと有意な相関があった。

これらのことからパフォーマンス向上には、短い接地時間を実現するために接地以後の上腕動作タイムの短縮、つまり前方へと振られる上腕を素早く切り返すことによって大腿動作をうまく制御することが改善ポイントだと考えられる。

付記

本研究は科研費 [課題番号:26870780] 及び電気通信普及財団の研究支援を受けた成果の一部である。

参考文献

- ・ 阿江通良, 鈴木美佐緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの 100m レースパターン分析. 世界一流陸上競技者の技術: 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. ベースボール・マガジン社. pp14-26.
- ・ 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム Vol.11:23-33.
- ・ 朝原宣治 監修 (2015) ダッシュ博士のスプリント教室. ベースボール・マガジン社.
- ・ 馬場崇豪, 和田幸洋, 伊藤章 (2000) 短距離走の筋活動様式. 体育学研究 45:186-200.
- ・ 福田厚治, 伊藤章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. 体育学研究 49:29-39.
- ・ Fleiss, J. L. (1986) The Design and Analysis of Clinical Experiments. pp.1-5. John Wiley and Sons, New York
- ・ 伊藤章, 斎藤昌久, 佐川和則, 加藤謙一, 森田正利, 小木曾一之 (1994) 世界一流スプリンターの技術分析. 世界一流陸上競技者の技術: 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. ベースボール・マガジン社. pp31-49.
- ・ 伊藤浩志, 村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度、ピッチ・ストライド、下肢動作に及ぼす影響. スポーツ方法学研究 18(1):61-73.
- ・ 川本和久 (2010) 足が速くなるポンピュン走法 DVD ブック. マキノ出版.
- ・ 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):13-19.
- ・ 丸山吉五郎 (1978) 陸上競技. ベースボール・マガジン社. pp31-49.

- ・ 松尾彰文(2008)最大下スピード練習の効果を高めるための提案—ランニングパフォーマンスへの応用—. 体育の科学 58(11):756-764.
- ・ 内藤景, 荻山靖, 宮代賢治, 山元康平, 尾縣貢, 谷川聡(2013)短距離走者のステップタイプに応じた100mレース中の加速局面の疾走動態. 体育学研究 58:523-538.
- ・ Rolf Graubner, Eberhard Nixdorf (2011) Biomechanical Analysis of the Sprint and Hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. IAAF New Studies in Athletics no26(1/2):19-53.
- ・ 為末大(2007)走りの極意. ベースボール・マガジン社.
- ・ 田村孝洋, 久保田康毅(2004)100mの最高速度局面における腕動作機能. 陸上競技研究(59):13-19.
- ・ 湯海鵬, 豊島新太郎(1998)慣性モーメントから見たランニングのフォーム. バイオメカニクス研究 2(2):92-98.
- ・ 土江寛裕(2011)陸上競技入門ブック短距離・リレー. ベースボール・マガジン社.
- ・ 豊田裕浩 監修(2012)DVDで記録を伸ばす陸上スプリント必勝のコツ 50. メイツ出版.
- ・ 矢田恵大, 阿江通良, 谷川聡, 伊藤章, 福田厚治, 貴嶋孝太(2011)標準動作モデルによる世界一流および学生短距離選手の疾走動作の比較. 陸上競技研究 87(4):10-16.