

全力疾走中における疾走スピードの力学的制限要因 —— 中学生陸上競技者を対象として ——

岡 戸 文 一 (愛知教育大学大学院)

小木曾 一 之 (ユバスキラ大学、フィンランド)

合 屋 十四秋 (愛知教育大学体育教室)

Kinetic Limitations of Maximal Sprinting Speed during Sprint Running

—— The Subjects are Junior high school Track & Field Athletes ——

Fumikazu OKADO (Graduate Student of education)

Kazuyuki OGISO (University of Jyvaskyla, Finland)

Toshiaki GOYA (Department of Health and Physical Education)

I 緒 言

現在までに「疾走スピードはなぜ制限されるのか。」という疑問に対して、多くの研究がなされてきた。それらの研究の多くは、ピッチとストライドの関係^{1, 9-12, 20)}、下肢のkinematics^{8, 13-17, 21, 26, 27)}そして関節のパワーや仕事量などのkinetics^{1, 3, 5-7, 19, 23)}を分析するといったものであった。その中で、Chapman & Coldwell^{5, 6)}は、異なる5種類のスピードのトレッドミル走において、回復期における下肢の動きをその関節力パワー (Joint force power) と関節モーメントパワー (Joint moment power) から検討した。その結果、ランニングスピード増加の限界は、接地前の膝関節におけるエキセントリックな関節モーメントの最大値を上げられなくなることによって、接地に必要な脚の機械的エネルギーの減少が制限され、その時間的遅れが生じるために起きてくることを示唆した。また、阿江ら²⁾は3 m/sから全力までの与えられた5種類でのスピードの疾走において、疾走スピードの大きさと下肢関節まわりの筋群のパワーや仕事量等との関係を検討した。その結果、疾走スピードの増加には、膝関節におけるエキセントリックな最大パワーやその仕事量、あるいは支持期の腰におけるコンセントリックな最大パワーやその仕事量が大きく関係していることを示唆している。

しかし、これらの知見は、トレッドミル上での疾走や疾走スピードを意識的に変えて行った疾走から得られたものである。また、以上の知見に限らず、これまでに得られた疾走動作に関する知見の多くは、疾走能力の差による被験者間の比較であったり、スプリント走中の50m地点や100m地点といった単一局面を比較したもから得られたものである。ところが、実際の全力疾走では、その疾走スピードがスタート後6~8秒後に最大スピードに到達し^{9, 18)}、その後次第に低下していく傾向を示す。そのため、全力疾走は、その疾走スピードの変化から加速局面、最大スピード局面、速度維持(持久)局面という3局面に大別することが出来る。このような局面からなる全力疾走中の疾走スピードの変化が、上述した報告と同様に生じてくるかどうかは明確ではない。さらに、上述した報告も含め、これまでに報告されてきた疾走動作に関する知見の多くは、成人の熟練した短距離選手を対象としたものであり、短距離走を専門とする中学生を対象としたものはあまり見られない。

小木曾ら¹⁸⁾は、身体動作の最終的な結果である疾走スピードの変化特性が、年齢、性、疾走能力、トレーニングの有無の違いに関わらずほぼ一定であったという結果から、疾走スピードを生み出す身体動作の時間に対する変化パターンが、全ての人において一定である可能性があることを示唆し

ている。すなわち中学生の疾走スピードは、成人の短距離走選手に比べ、その大きさは異なるものの、その変化特性は等しく、その変化を生み出しているメカニズムや身体動作の時間に対する変化パターンにおいても同様である可能性もあると考えられる。

そこで本研究では、以下の2点について検討することを目的とした。

1. 中学生陸上競技者の全力疾走中における疾走スピードが、成人の短距離走選手と同様なメカニズムにより制限されるのかどうか。
2. 実際の全力疾走中にみられる最大疾走スピードを制限する要因が、どのような身体動作から生じてくるのか。

II 方 法

1. 被験者

被験者は、陸上競技部に所属し、短距離走を専門とする中学生男子10名、女子8名（男子：1年生3名、2年生5名、3年生2名、身長161.1±7.8cm、体重49.9±9.7kg。女子：1年生1名、2年生3名、3年生4名、身長155.3±2.8cm、体重45.5±4.4kg。）であった。

2. 実験試技

被験者には、クラウチングスタートからの全力疾走を4本行わせた。その際、被験者には「最初から出来る限り速く走ること」のみを指示し、疾走距離や疾走時間等の条件を事前に与えなかった。各試技間には、疲労による影響を避けるため、少なくとも約40分間の休息を挟んだ。

3. 実験方法

被験者の疾走は、試技1本目ではスタート後50～60m、70～80m、試技2本目ではスタート後20～30m、40～50m、3本目はスタート後90～100m、110～120m、4本目はスタート後10～20mといった計7区間において、その左側方50mの地点から高速度ビデオカメラ(Nac社製MEMRECAM C2S)を用いて露出時間1/2000秒、毎秒200コマでパンニング撮影した。なお、これらの区間の設定は、小木曾ら¹⁸⁾による先行研究のデータに基づいて行った。また、4試技の撮影区間が全て直線路になるように、各試技毎にスタート位置を変更し、撮

影区間に当たる走路の両端には、実長換算を行うための較正点を1m間隔で設置した。さらに、8mmビデオカメラ(Sony社製CCD-TR75)を用いて、スタート時におけるピストルの煙と全力疾走している被験者、そして撮影区間の入口および出口とカメラを結んだ延長線上に設置したマーカーを撮影することにより、被験者のスタートから撮影区間までの通過時間を算出した。この算出された通過時間から、被験者が全力疾走できたか否か、すなわち実験の試技が有効であるか否かを判断した。

4. 分析対象区間

撮影した7区間毎に算出した疾走スピードから、各被験者毎に最大スピードの90%もしくはそれ以下のスピードを持つ加速区間(以下Section1)、最大スピードの95%のスピードを持つ加速区間(以下Section2)、最大スピード区間(以下Section3)、最大スピードの95%のスピードを持つ速度維持区間(以下Section4)、最大スピードの90%もしくはそれ以下のスピードを持つ速度維持区間(以下Section5)の計5つのSectionを抽出し、それらを分析の対象とした。これは、疾走能力の差による被験者間の比較ではなく、全力疾走という一連の運動を、加速局面、最大スピード局面、速度維持局面という運動局面間で比較をするためである。さらに、同じ疾走スピードを持つ異なる運動局面を比較、分析することにより、疾走スピードを制限している要因がより検討しやすくなると考えたためである。

5. 画像解析

撮影したVTR画像をコンピューター画面と合成し、ビデオ撮影時にあらかじめ張り付けておいた身体各部23点のリファレンスマークおよび4つの較正点を毎秒100コマでデジタイズした。デジタイズを行った23点は、左右の手掌部、手関節中心、肘関節中心、肩峰点、つま先、母指球、踵、足関節中心、膝関節中心、大転子および頭頂点、耳珠点、胸骨上縁であった。デジタイズを行った範囲は、各Sectionにおけるランニング1サイクル(左足接地から次の左足接地まで)とその前後10フレームであった。その後、デジタイズしたCRT上のXY座標を4つの較正点をもとに実座標

に換算し、14個のセグメント（左右の手、上腕、前腕、大腿、下腿、足および頭部、胴体）からなる身体リンクモデルを作成した。実長換算したデータは、3点移動平均デジタルフィルターにより10Hzで平滑化を行った。なお、これらの身体部分係数は、子どもの身体部分係数をカウプス係数により18群に分類した横井ら²⁵⁾のものをを用いた。

6. 分析項目

本研究では、実長換算データをもとに、以下に示す力学的諸量を分析項目として算出した。なお、これらの下肢動作に関する項目およびその定義は伊藤ら⁸⁾のものを参考とし、分析対象とした脚は全て左脚であった。

(1) 通過時間：

抽出された各Sectionにおけるスタートからの入口通過時間と出口通過時間。

(2) 平均疾走スピード：

各Sectionのランニング1サイクルにおける重心の平均水平移動速度。

(3) 平均歩幅の身長比：

各Sectionのランニング1サイクルにおける重心の平均移動距離を各被験者の身長で除した値。

(4) 平均歩数：

各Sectionのランニング1サイクルにおける平均疾走スピードから平均歩幅を除した値。

(5) 回復期の下肢動作（図1）

各Sectionの下肢関節角度について。

- (a) 最大腿上げ角度：腰関節の最大屈曲角度。
- (b) 最大膝関節角度：膝関節の回復期後半における最大角度。

各Sectionの下肢関節角速度について。

- (c) 最大腿上げ速度：腰関節の最大屈曲速度。
- (d) 最大腰関節伸展速度：腰関節の回復期後半における最大伸展速度。
- (e) 最大膝関節伸展速度：膝関節の回復期後半における最大伸展速度。

(f) 最大振り出し速度：脚全体と鉛直線がなす角の回復期後半における前方への最大角速度。

(g) 最大振り戻し速度：脚全体と鉛直線がなす角の回復期後半における後方への最大角

速度。

(h) 足に対する大転子の速度：接地瞬間における大転子と足関節中心の水平速度の差（乗り込み動作）。

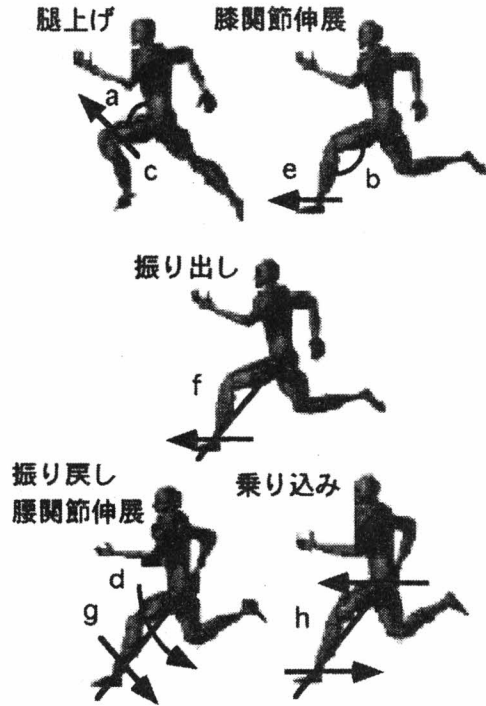


図1 回復期の疾走動作

*定義は伊藤ら⁸⁾を参考

(6) ランニング1サイクル中における身体各セグメントの機械的エネルギー。

$$E_i = \sum (1/2 m_i v_i^2 + 1/2 I G_i \omega_i^2 + m_i g h_i)$$

(7) ランニング1サイクル中における下肢関節モーメント。

(8) ランニング1サイクル中における下肢関節パワー。

$$PM_{0i} = \{ (I G_i + m_i r_i^2) \dot{\theta}_i + m_i r_i x_{0i} \cos \theta_i + m_i r_i (y_{0i} + g) \sin \theta_i - (F x_{0i} \cos \theta_i + F x_{0i} \sin \theta_i) l_i - C o_2 \} \omega_i$$

機械的エネルギー、関節モーメントおよびパワーはChapman & Coldwell⁵⁾が示した方法により算出した。体重による影響を除くため、各セグメントのエネルギー、下肢関節モーメントおよび関節パワーは全て体重で除した。また、機械的エネ

ルギーおよび下肢関節パワーのランニング1サイクル中における変化はランニング1サイクルに要した時間により規格化した。

Ⅲ 結果

1. 各Sectionにおけるストライド・パラメーターについて

本研究では、同じ疾走スピードを持つ異なる運動局面を比較、分析することにより、最大疾走スピードの制限要因を検討した。そのため、各被験者毎に最大スピードの90%もしくはそれ以下のスピードを持つ加速区間、最大スピードの95%のスピードを持つ加速区間、最大スピード区間、最大スピードの95%のスピードを持つ速度維持区間、最大スピードの90%もしくはそれ以下のスピードを持つ速度維持区間といった5つのSectionを抽出し、それらを分析の対象とした。その結果、Section 3 時の疾走スピードに対する各Sectionの疾走スピードの割合は、男女ともSection 2 おいてわずかに設定条件よりも大きいスピード（男子：96.84±1.94%、女子：97.37±1.58%：図2上段）を示した。また、表1に示したように、Section 3 として設定した最大スピード局面は、スタート後、男子で7.47±0.61~8.73±0.70sec、女子で7.18±0.67~8.50±0.66secの間で現れた。

平均歩幅の身長比は疾走スピードと同様に、男女とも、Section 3 で最大となり、その後頭打ちの状態となった（図2中段）。これに対して平均歩数は、Section 1 からSection 3 まではほぼ一定の値を示した後、疾走スピード同様に低下した（図2下段）。

2. 機械的エネルギーの経時的変化について

本研究では、関節力パワーの算出は行っていないが、図3に示したように、回復期前半（左脚が離地して間もない局面）で胴体の機械的エネルギーが減少し、それに代わって大腿、下腿そして足の機械的エネルギーが順に増加した。逆に回復期後半（左脚が振り出され振り戻される局面）において、大腿、下腿および足の機械的エネルギーが減少していた。また、胴体以外の脚の機械的エネルギーが、接地に先立ち全てのSectionで減少した。

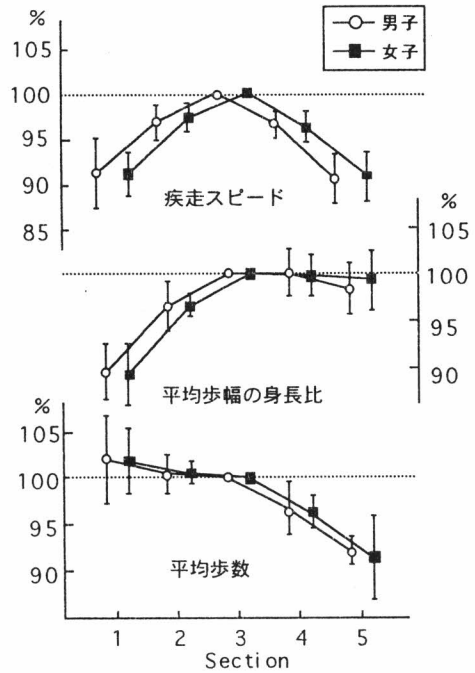


図2 各Sectionのストライド・パラメーターの変化
値はSection 3 時を100%とした時の相対値

表1 各Sectionの通過時間および
ストライド・パラメーターの実数値
値は平均値とその標準偏差（各値の下段）

<男子>

	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5
入口通過時間 (sec)	2.43	3.83	7.47	11.78	15.87
	±0.08	±0.18	±0.61	±1.06	±1.29
出口通過時間 (sec)	3.81	5.14	8.73	13.10	17.28
	±0.14	±0.27	±0.70	±1.02	±1.44
疾走スピード (m/s)	7.22	7.67	7.93	7.66	7.20
	±0.36	±0.55	±0.68	±0.60	±0.78
平均歩幅の身長比	1.10	1.18	1.22	1.22	1.20
	±0.04	±0.04	±0.03	±0.05	±0.05
平均歩数 (Hz)	4.10	4.04	4.02	3.89	3.71
	±0.21	±0.24	±0.18	±0.19	±0.17

<女子>

	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5
入口通過時間 (sec)	2.47	3.93	7.18	10.93	16.23
	±0.05	±0.06	±0.67	±1.69	±0.72
出口通過時間 (sec)	3.88	5.27	8.50	12.30	17.59
	±0.08	±0.09	±0.66	±1.68	±0.73
疾走スピード (m/s)	6.92	7.39	7.59	7.31	6.90
	±0.13	±0.17	±0.20	±0.17	±0.30
平均歩幅の身長比	1.04	1.12	1.19	1.16	1.15
	±0.05	±0.05	±0.05	±0.04	±0.04
平均歩数 (Hz)	4.31	4.26	4.24	4.08	3.87
	±0.26	±0.28	±0.27	±0.20	±0.26

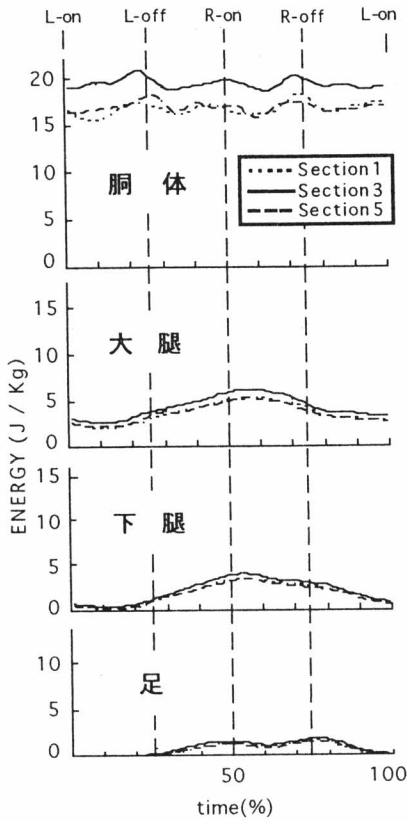


図3 ランニング1サイクル中の各セグメントの機械的エネルギーの経時的変化(男子)

*対象は左脚

**Lは左脚、Rは右脚、onは接地、offは離地を示す

なお、図3は男子のみの掲載とした。これは、女子が男子とほぼ同様の变化傾向を示したためである。しかしながら、各Sectionにおける相対値ではない実際に得られた疾走スピードの差により、女子の胴体の機械的エネルギー値は、男子に比べて低いものとなった。

3. 下肢関節パワーの経時的変化と各Sectionにおける回復期後半の下肢関節最大パワーの変化について

図4に示したように、R-offからL-onにかけて左脚の回復期後半において、過度の下腿の振り出しを防ぐ能力を示すエキセントリックな膝関節パワー(以下、膝関節パワー)および脚全体を接地に先立ち後方へ振り戻す能力を示すコンセントリックな腰関節パワー(以下、腰関節パワー)が大きく働いていた。その中で、膝関節パワーが腰関

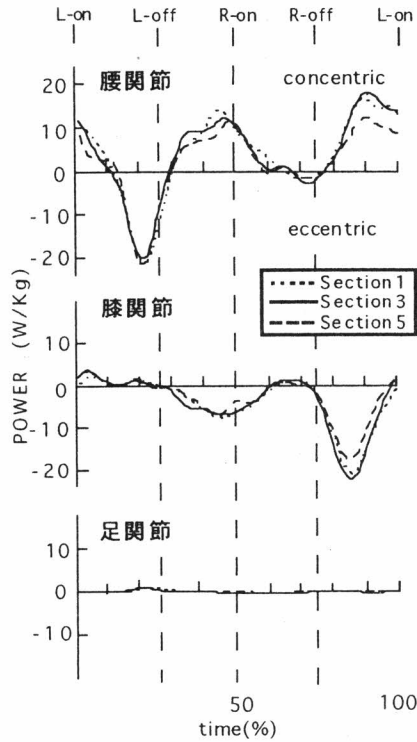


図4 ランニング1サイクル中の下肢関節パワーの経時的変化(男子)

*対象は左脚で、支持期の値は参考値L

**Lは左脚、Rは右脚、onは接地、offは離地を示す

***各パワーの正の値はコンセントリックなパワーを負のパワーはエキセントリックなパワーを示す

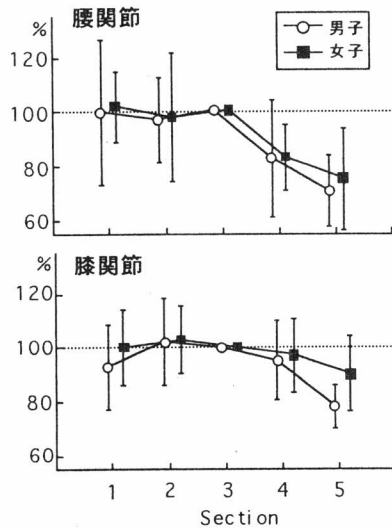


図5 回復期後半の下肢各関節最大パワーの変化値はSection3時を100%とした時の値

節パワーよりも時間的に早く働いていた。加えて、回復期後半におけるエキセントリックな膝関節パワーの最大値（以下、膝関節最大パワー）とコンセントリックな腰関節パワーの最大値（以下、腰関節最大パワー）が、疾走後半となるSection 3以降、大きく低下した（図5）。双方の関節最大パワーとも、加速局面と速度維持局面とでは、同じ疾走スピードを持っているにもかかわらず明らかに大きさが異なった。

4. 各Sectionにおける回復期後半の下肢動作の変化について

回復期後半における最大膝関節伸展速度および最大振り出し速度が疾走スピードと同様にSection 3以降低下したにも関わらず（図6-1上段および中段）、最大振り出し角度は疾走時間の経過とともに増加した（図6-1下段）。また、接地瞬間の足に対する大転子の速度は、疾走スピード同様にSection 3で最大値を示し、その後、低下した（図6-2下段）。これに対して、最大腰関節伸展速度および最大振り戻し速度は、加速局面であるSection 2以降、頭打ちの状態となった（図6-2上および中段）。

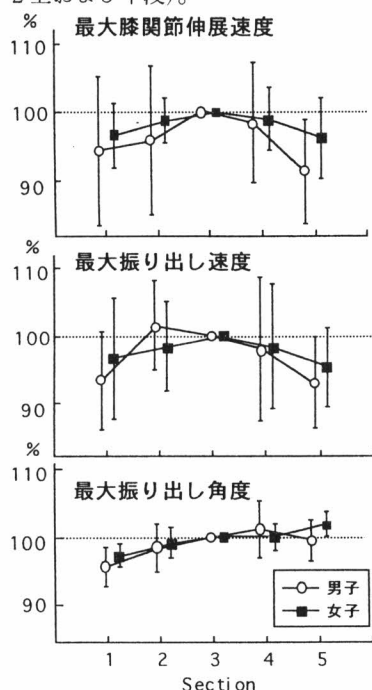


図6-1 回復期後半にある下肢動作の変化値はSection 3時を100%とした時の相対値

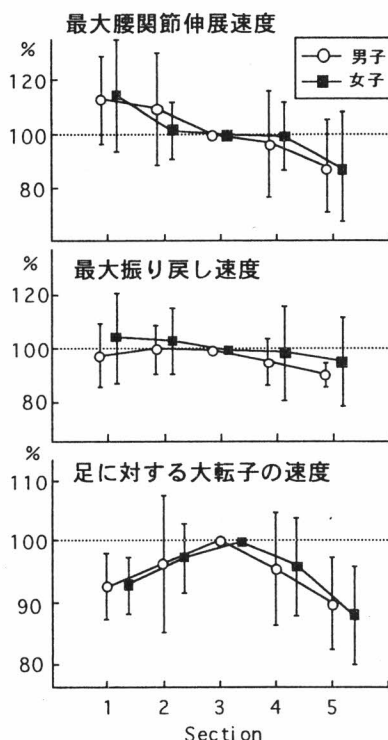


図6-2 回復期後半にある下肢動作の変化値はSection 3時を100%とした時の相対値

IV 考察

1. 実験設定の妥当性について

Section 3時の疾走スピードに対するSection 2の疾走スピードの割合は、設定よりもわずかに大きいものであったが、本研究での設定を十分に満たしているものと考えた。また、Section 3として設定した最大スピード局面は、スタート後、男子で $7.47 \pm 0.61 \sim 8.73 \pm 0.70 \text{sec}$ 、女子で $7.18 \pm 0.67 \sim 8.50 \pm 0.66 \text{sec}$ の間で現れたことは、スタート後、6～8秒で現れるといったこれまでの報告^{9, 18)}とほぼ同様なものであった。このことは、本研究における被験者が、全力を發揮したスプリント走を行えたことを示しており、「できる限り速く走る」という試技条件も満たしていると考えられることができる。

各Sectionにおける平均歩数と平均歩幅の身長比の変化から、疾走スピードの増大が、主に平均歩幅の増加によって生じ、疾走スピードの低下が、主に平均歩数の低下によって生じることが考えら

れた。これは、これまでの報告^{4, 15, 20, 27)}を支持するものである。また、表1に示したストライド・パラメーターの実数値においても、これまでの報告^{9, 18, 20)}とほぼ同様な値が得られた。このことは、本研究で得られた様々な結果は、特別な例に対してではなく、一般的な全力疾走に対して得られた結果であると考えてよいと言えよう。

2. 最大疾走スピードを制限するメカニズムについて

Chapman & Coldwell⁵⁾は、回復期後半の機械的エネルギーは足と下腿により失われ、大腿において大きく減少されずに最も近い腰関節に伝達されると報告している。阿江ら¹⁾は、機械的エネルギーが関節力パワーによって、回復期前半では身体中心部から足へ、後半では足から身体中心部へと伝達されることを報告している。さらにChapman & Coldwell⁶⁾は、接地前に脚から機械的エネルギーを流出させること、すなわち脚の機械的エネルギーを減少させることが、疾走中のランニングスピードに対して重要であることを示唆している。加えて、脚の機械的エネルギーを減少させることが素早く行えなくなることによって、その素早く行えない時間的な遅れがランニングスピードの増大を制限していると述べている。

本研究においても、図3に示したように、回復期前半と後半において、各セグメントの機械的エネルギーが変化したこと、セグメント間において機械的エネルギーの伝達がなされることが考えられた。また、胴体以外の脚の機械的エネルギーが接地に先立ち、全てのSectionで減少したことは、接地には脚の機械的エネルギーを減少させることが必要であることが考えられた。

このような結果は、成人の熟練した陸上競技者を対象としたトレッドミル上での疾走において検討された報告^{5, 6)}とほぼ同様であり、それらを支持するものであった。すなわち全力疾走中においても、接地前に脚の機械的エネルギーを素早く減少させることが、疾走スピードの増大に対して非常に大きな影響を及ぼしていることが示唆された。さらに本研究の被験者が中学生陸上競技者であったことから、発育途上にある中学生においても、接地に必要な脚の機械的エネルギーの減少が

適切に行われなくなるという成人と同様のメカニズムによって、最大疾走スピードが制限されることが示唆された。

3. 最大疾走スピードの制限要因について

最大疾走スピードは、接地に必要な脚の機械的エネルギーの減少が適切に行われなくなることによって制限されると考えられる。その要因として、Chapman & Coldwell^{5, 6)}は、回復期後半のエキセントリックな膝関節モーメントの最大値を上げられなくなるためであると報告し、エキセントリックな膝関節パワーが脚のエネルギーを減少させて、コンセントリックな腰関節パワーが脚のエネルギー全体のコントロール源になっていることを示唆した。阿江ら²⁾は、疾走スピードの増加には、回復期後半のコンセントリックな腰関節最大パワーとエキセントリックな膝関節最大パワーおよびそれによる仕事量が大きく関係していると報告した。100mを加速局面(0-30m)、最大速度局面(30-60m)そして持久(速度維持)局面(60-100m)の3局面に分け、その全力疾走中の筋活動のメカニズムを確認したSimonsen.E.B.ら²³⁾は、持久局面において、腰関節モーメントが膝関節モーメントに比べ、大きく低下したこと、全ての局面における回復期後半では、二関節筋群であるハムストリングス(大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋)がエキセントリックな活動をしていることを報告した。

本研究においても、図4および5に示したように、膝関節および腰関節パワーが回復期後半で大きく働いたこと、膝関節および腰関節最大パワーが疾走後半となるSection 3以降、大きく低下したことは、これまで報告^{1, 5, 6, 23)}とほぼ同様であり、それらを支持するものであった。すなわち接地に必要な脚の機械的エネルギーの減少が適切に行われなくなるのは、回復期後半における膝関節および腰関節の最大パワーが低下してしまうためであり、その結果、最大疾走スピードが制限されると考えられる。とりわけ、腰関節最大パワーが、膝関節のそれに比べて、速度維持局面において大きく低下したことは、この腰関節最大パワーが全力疾走中における最大疾走スピードの主な制限要因であることを示唆している。

3. 各Sectionにおける回復期後半の下肢動作の変化について

回復期後半における下腿の振り出しおよび脚全体の振り出しを示す最大膝関節伸展速度および最大振り出し速度が低下したにもかかわらず、最大振り出し角度が時間の経過とともに増大した。これは、脚の振り出される速度が低下しても、それ以上に接地に必要な脚の機械的エネルギーを減少させる能力、すなわち過度の下腿の振り出しを防ぐ膝関節最大パワーが低下するためであり、そのために膝関節の角度がより大きくなってしまふと理解できる。その最大振り出し角度の増加は、脚の慣性モーメントの増加を導き、疾走スピードの増大と密接な関係を持つ腰関節の伸展動作および脚の振り戻し動作^{8, 16, 17)}に対して悪影響を与えていると言える。これは、腰関節最大パワーがSection 3以降大きく低下したこと(図5上段)、接地に先立って脚全体を振り戻すために重要である最大腰関節伸速度および疾走スピードの増大に対して大きな影響をもつ最大振り戻し速度^{8, 16, 17)}(図6-2上および中段)が疾走後半となるSection 3以降、わずかではあるが低下する傾向を示したことから裏付けられる。

疾走スピードと密接な関係をもち、接地瞬間の大転子(腰)の水平移動速度を示す^{26, 27)}接地瞬間の足に対する大転子の速度は、疾走スピードと同様の变化傾向を示した。これに対して、疾走スピードの増大に直接的な影響を与える最大腰関節伸速度および最大振り戻し速度が、加速局面であるSection 2以降、頭打ちの状態になった。これは、Section 3時にみられる最大疾走スピードは、腰関節の伸展動作と脚の振り戻し動作による積極的な身体重心の前方への速度ではなく、スタート時から蓄積された胴体の大きな機械的エネルギー¹⁾の勢いによって生み出されていると考えられた。すなわち最大疾走スピードは、胴体に蓄積された機械的エネルギーの勢いによって、結果として現れるものと考えられ、さらに最大疾走スピードを持つSection 3時における下肢動作は、既にその疾走スピードの大きさに対応したものでなく、逆にその増大を制限してしまうものであるとも考えられた。

V まとめ

本研究では、中学生陸上競技者を対象として加速局面、最大スピード局面、速度維持局面の3局面からなる5つのSectionにおける疾走動作を画像解析することにより、全力疾走中における疾走スピードが、成人の短距離走選手と同様なメカニズムにより制限されるのかどうか、また、その最大疾走スピードの制限要因が、どのような身体動作から生じてくるのか検討した。その結果、以下のようにまとめられた。

1. 実際の全力疾走においても、トレッドミル走と同様に、接地前で脚のエネルギーを素早く減少させることが、その疾走スピードに対して非常に大きな影響をもつことが示唆された。加えて、発育途上にある中学生男女においても、成人と同様のメカニズムによって、疾走スピードが制限されてくると示唆された。
4. 最大疾走スピードが制限されるのは、最大スピード局面であるSection 3以降、エキセントリックな膝関節最大パワーが低下してしまうことに加え、コンセントリックな腰関節最大パワーが大きく低下してしまうためであると考えられた。さらに、これらの最大パワーの低下の影響を受けることによって、脚全体を後方へ振り戻すために重要である腰関節伸速度および疾走スピードの増大に重要な振り戻し速度が低下したと考えられた。
3. 最大スピード局面であるSection 3時に見られる最大疾走スピードは、スタートから蓄積される機械的エネルギーによって、結果として出現するものであり、最大疾走スピードが出現した時点での下肢各関節の働きは、既にその疾走スピードに対応できなくなっていると考えられた。
4. 本研究で得られたストライド・パラメーター、下肢の動作、機械的エネルギー、下肢関節モーメントおよびパワー等の変化の仕方は、男女に大きな違いは見られず、ほぼ同様の变化の傾向を示した。

以上のことから、疾走スピードの増大に対して、

より大きなエキセントリックな膝関節パワーとコンセントリックな腰関節パワーを生み出すハムストリングスの強化と加速局面から最大スピード局面に着目した疾走動作の習得が重要であることが考えられた。

VI 引用参考文献

- 1) 阿江通良・飯干 明 (1986) 疾走中の下肢における機械的エネルギーの流れ。バイオメカニズム 9: 105-113.
- 2) 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・洪川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度。筑波大学体育科学紀要 9: 229-239.
- 3) 阿江通良 (1991) 陸上競技におけるトップアスリートの技術—一流短距離選手の疾走フォーム—。体育の科学41: 279-284.
- 4) 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レースパターンの分析—男子を中心に—。世界一流の競技者の技術。ベースボール・マガジン社: 31-49.
- 5) Chapman, A. E. and Coldwell, G. E. (1983) Factors determining changes in lower limb energy during swing in treadmill running. J. Biomechanics Vol.16, No1: 69-77.
- 6) Chapman, A. E. and Coldwell, G. E. (1983) Kinetic limitations of maximal sprinting speed. J. Biomechanics Vol.16, No1: 79-83.
- 7) 福永哲夫・松尾彰文・浅見俊雄 (1984) 地面反力からみた発育期男女の走能力特性。第7回日本バイオメカニクス学会大会論集: 46-49.
- 8) 伊藤 章・斉藤昌久・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。世界一流の競技者の技術。ベースボール・マガジン社: 31-49.
- 9) 加藤謙一・川本和久・関岡康雄 (1985) 中学生の疾走能力に関する縦断的研究。体育の科学 35: 858-862.
- 10) 加藤謙一・宮丸凱史・宮下 憲・阿江通良・中村和彦・麻場一徳 (1987) 一般学生の疾走能力に関する研究。大学体育研究 9: 59-70.
- 11) 加藤謙一・山中任広・宮丸凱史・阿江通良 (1992) 男子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達。体育学研究37: 291-304.
- 12) 加藤謙一・宮丸凱史・阿江通良 (1994) 女子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達。体育学研究39: 13-27.
- 13) 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・肩原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析。J.J.Sports Sci.5: 892-899.
- 14) 宮丸凱史・横井孝志・阿江通良・加藤謙一・中村和彦・久野譜也 (1987) 身体重心および脚の重心の軌跡から見た幼児の走動作の発達。筑波大学体育科学紀要10: 299-310.
- 15) 森丘保典・阿江通良・岡田英孝・高松潤次・宮下 憲 (1997) 100m疾走における下肢動作の変化の分析—下肢動作検出装置の開発と応用—。J.J.SPORTS SCI.16-1: 111-118.
- 16) 村瀬 豊・亀井貞次・星川 保・宮下充正・松井秀治 (1971) 陸上競技者而非鍛錬者に見られる走行中の足の動きの速さの違いについて。体育学研究16: 273-279.
- 17) 尾懸 貢・中野正英 (1991) 疾走能力に影響を及ぼす要因。奈良教育大学紀要40-2: 21-28.
- 18) 小木曾一之・串間敦郎・安井年文・青山清英 (1997) 全力疾走時にみられる疾走スピードの変化特性。体育学研究41: 449-462.
- 19) 小木曾一之 (1992) 全力疾走中の回復期後半の動きに関する実験的研究—下肢の動きとその特性に注目して—。陸上競技者研究会研究集録第2巻: 25-28.
- 20) 斉藤昌久・伊藤 章 (1995) 2歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化。体育学研究40: 104-111.
- 21) 斉藤昌久・宮丸凱史・湯浅影元・三宅一郎・浅川正一 (1987) 2-11歳児の走運動における脚の動作様式の発達。体育の科学31: 357-361.
- 22) 斉藤 満・星川 保・宮下充正・松井秀治 (1971) 走速度に対する下肢動作の動きについて。体育学研究16: 265-271.
- 23) Simonsen, E.B., Thomsen, L., and Klausen, K. (1985) Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running. Eur J Appl

- Physiol 54:524-532.
- 24) 鈴木秀次・渡部士郎・鈴木正隆ほか (1984) ランニングスピード増大に伴って変化する下肢の動きとEMG活動。第7回日本バイオメカニクス学会大会論集：55-61.
- 25) 横井孝志ほか (1986) 日本人幼少年の身体部分慣性係数。体育学研究31：53-66.
- 26) 渡辺健二 (1996) 全力疾走中における走速度の変化に伴う動作の変化。1995年度愛知教育大学保健体育科体育教室卒業論文。
- 27) 渡辺健二・小木曾一之・合屋十四秋 (1997) 全力疾走中の疾走スピードと下肢動作の関係。愛知教育大学体育教室研究紀要第21号：31-37.