

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.XIII 競歩のバイオメカニクス的研究(第2報)

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.XIII 競歩のバイオメカニクス的研究 (第2報)

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

金子 敬二 塚越 克己

雨宮 輝也 伊藤 静夫

1. 緒言

競歩は、古くからオリンピックの陸上競技公式種目として採用されており、'88ソウルオリンピック大会では男子20kmと50kmのロードレース2種目が実施された。現在(1988年)わが国では、男子においては5kmから50kmまでの距離において6種類の距離の競歩と2時間競歩、女子で5kmと10kmの2種類の競歩が公式競技として行われている。したがって競歩の一流選手は、体力的に一流長距離・マラソン選手と同様、高い有酸素的作業能を有していることが報告されている¹⁾²⁾。

一方競歩は、競技規則に

- (1)いずれかの足が常に地面から離れないように前進すること、
- (2)支持脚が垂直になったとき(膝が曲がっていないこと)たとえ一瞬でもまっすぐでなければならぬ、

と記載されており、競技中、審判員は違反歩行がなされていないか選手の歩行をチェックする。

このように競歩では、制限された動きの中で、50km競技に至っては4時間以上もの長時間スピードを競わなければならない。そのため、自然歩行とは違った独特の歩行技術が生み出されている。これは経験的に生み出されたものであろうが、競技規則を満たしつつ、より高いスピードを長時間持続させる歩行として、合理的かつ効率的な動きを包含しているものと思われる。

しかしながら、これまで競歩の歩行動作を分析した報告は少ない。本研究では、競歩の歩行動作をバイオメカニクスの手法を用いて分析し、運動学的(kinematic)データから競歩の歩行技術の特徴を検討することを目的とした。

2. 方法

(1)被験者

被験者は競歩選手8名(全日本レベル3名、社会人2名、大学生2名、高校生1名)で、いずれも競歩クラブや学校の運動部で競歩をトレーニングしているものである。平均年齢は22.6歳(16~38歳)、平均身長174.4cm(168.8~177.8cm)、平均体重62.6kg(53.7~75.3kg)であった。

(2)歩行条件

被験者には水平トレッドミル上での競歩を行わせた。歩行スピードは120m/minを最低スピードとし、オールアウトに至るまで1被験者につき5~9段階のスピードを行わせた。全条件を2日に分け、1日に4~5条件を実施した。

運動時間は最初に行うスピードのみウォーミングアップを兼ね10分間とし、それ以外のスピード条件では5分間とした。それぞれの条件の間には10分間の休息をはさんだ。

(3)ピッチ(歩数)の測定

被験者の肩にストレインゲージを貼付し、腕の振りに対応した歪変化をペンレコーダに記録した。この歪記録よりピッチを算出した。

(4)フィルム分析

被験者の左側方に16mm 高速度シネカメラを設置し、毎秒100コマのフィルムスピードで歩行動作を撮影した。フィルムはNAC社製フィルムモーション・アナライザGP-2000を用い、身体各部の座標を読み取った。

座標の読み取りは、左足接地-右足接地-左足接地の1サイクル(2歩)とその前後数コマの範囲を、カメラに面している体側(左側)についてのみ行った。反対側(右側)の座標については、歩行中両腕及び両脚は身体の矢状面において運動方向が反対で左右対象の運動を行っているものと仮定し、読み取った座標を2分の1サイクル時間的にずらすことによって推測した。座標値およびこれより求めた速度、角速度等の力学量は5点移動加重平均法により2次曲線に最小自乗近似し、平滑化した。

3. 結果および考察

(1)競歩動作のイメージ

図1は競歩動作をフィルムよりトレースし、接地足を基準に重ね合わせ描いたもので、ほぼフィルム分析を行った範囲を示している。図中に頭頂、肩峰点、大転子の移動軌跡を示した。

(2)ピッチとストライド

表1に各スピードにおけるピッチとストライドを示した。ストライドは、歩行スピードをピッチで除して求めた値である。

前報でも述べたように、ピッチ、ストライドともスピードの上昇に伴って増大する傾向にある⁴⁾。各被験者の最大スピードにおけるピッチとストライドに着目してみると、ピッチは毎分194~220歩にも達し、平均で毎分208歩であった。ストライドは1.11~1.24mの範囲にあり、平均で1.17mであった。国際的な国内外のマラソン選手のピッチとストライドと比較してみると⁵⁾、マラソンの場合(2時間9分-平均スピード327m/min)ピッチはおよそ毎分180~200歩、ストライドはおおよそ1.6~1.8mである。これに比べると競歩のピッチはマ

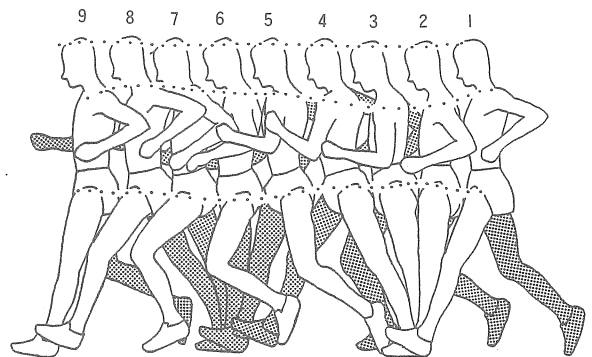


図1 競歩動作図

表1 ピッチとストライドの変化

被験者名		スピード (m / m i n)										
		120	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260
A	ピッチ(strides/min)	157		174		186			202		210	
	ストライド(m)	0.76		0.86		0.91			0.99		1.14	
B	ピッチ(strides/min)	147	162		172	179	186	190	192	200	201	210
	ストライド(m)	0.82	0.86		0.93	0.95	0.97	1.00	1.04	1.10	1.19	1.24
C	ピッチ(strides/min)	145	164	170	180	180	180		200	210	215	220
	ストライド(m)	0.83	0.85	0.88	0.89	0.94	1.00		1.00	1.05	1.12	1.18
D	ピッチ(strides/min)	150	170	165	178	180	190		195	210	215	
	ストライド(m)	0.80	0.82	0.91	0.90	0.94	0.95		1.03	1.05	1.12	
被験者名		122	134	145	157	168	180	191	214	225	237	259
E	ピッチ(strides/min)	156	164	167	174	180		189	198	200		
	ストライド(m)	0.78	0.82	0.87	0.90	0.93		1.01	1.08	1.10		
F	ピッチ(strides/min)	172		189		182	202	202	204		214	212
	ストライド(m)	0.71		0.77		0.92	0.89	0.95	1.05		1.11	1.22
G	ピッチ(strides/min)	154		165		172	178	182	192		202	
	ストライド(m)	0.79		0.88		0.98	1.01	1.05	1.11		1.17	
H	ピッチ(strides/min)	154	151		163	168		180	188	194		
	ストライド(m)	0.79	0.89		0.96	1.00		1.06	1.14	1.16		

ラソンの約1.1倍、ストライドで約0.7倍であり、ストライドの差がスピードの決定的な差になっているのがわかる。

(3)頭頂, 肩峰点, 大転子及び身体重心の変化

競歩において最も特徴的な動きは頭頂, 肩, 腰の動きであろう。肩, 腰はお互いにバランスをとりながら前後上下に大きく振られるが, 頭頂はほとんど変化がわからないくらいその変動は小さい。これらは自然歩行にはみられない競歩独特の動きである。

図2に, 頭頂, 肩峰点, 大転子それに身体重心の垂直方向の変化を示した。この例は, 全日本レベルの選手の歩行スピード220m/minのときの歩行である。

身体重心は, 脚が接地する直前に最も高くなり(図1-No.1, 8), 支持脚が身体の下を通る付近で最も低くなっている(図1-No.2, 6)。

大転子は, 接地期において支持脚を伸展させなければならないために, 支持脚が身体の下を通る付近で最も高くなっている。一方, 支持脚が地面を離れ, 前方に振り出される回復期においては接地期と反対に脚が身体の下を通る付近で最も低い位置をとっている。

肩峰点は大転子とほぼ逆位相の変化パターンを示しており, 接地期では大転子の変化に呼応して最も低くなり, 回復期においては反対に高くなっている。下肢の運動とバランスをとる動きをしていることがうかがえる。

頭頂は身体重心とまったく同じ変化パターンを

示しており, 身体重心の変動を反映しているが, その変位は身体重心よりわずかに小さくなっている。

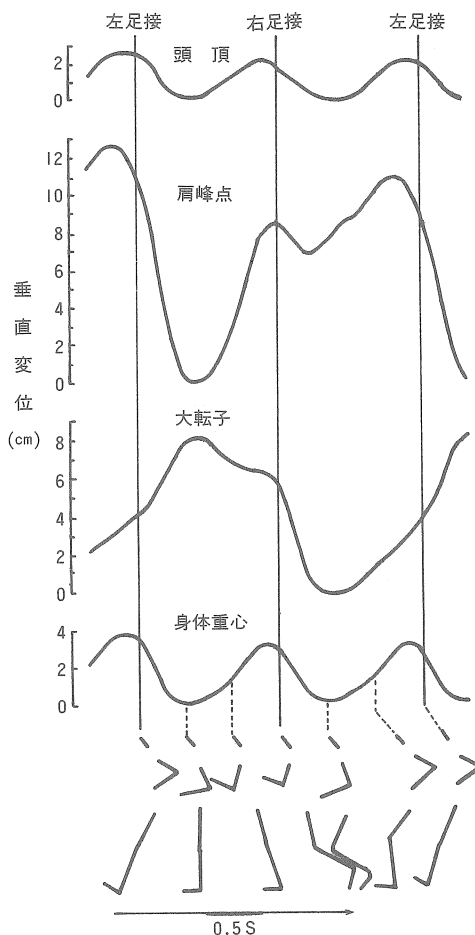


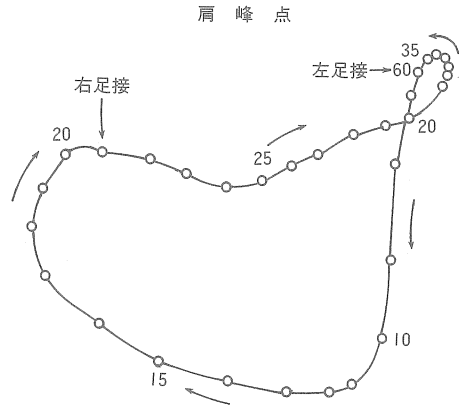
図2 頭頂, 肩峰点, 大転子, 身体重心の垂直変位
スピード 220m/min

表2 頭頂の変位(cm)

被験者	スピード (m / m i n)								
	120	140	150	160	170	180	200	220	240
A	2.2		1.5		1.6		2.4	2.9	
B	1.4	1.6		1.1		1.3	1.9	2.2	
C	2.2	2.3	1.5	1.6	1.9	1.7	2.0	2.4	2.7
D	1.6		1.7	1.9	2.1	2.1	3.2	2.8	
被験者	スピード (m / m i n)								
	122	134	145	157	168	191	214	225	237
E	2.1		2.2		3.2	3.6	3.1	3.2	
F	1.1		1.7		2.0	2.2	3.0		3.1
G	3.0				2.4	2.8	3.5		4.0
H	2.3	2.5		2.1	2.4	2.2	2.6	3.3	

(4) 頭頂変位

表2には、各スピードにおける頭頂の変位を示した。頭頂の変位はスピードが上昇するにしたがってわずかつ増大する傾向にある。120m/min および122m/min における変位を合わせた平均は2.0cmであったが、各被験者の最大スピードにおける変位の平均は3.0cmであり、1.0cmの増加がみられた。実際の競歩競技中の頭頂の変位は、選手の身長の高低による差もあろうが、おおむね3cm程度であろうと推察される。



(5) 肩の動き

図1に示されているように、競歩における腕振りにはランニングの場合と異なり上体を捻るようにして肩も一緒に振る。しかもその方向は前後だけではなく、上下にも振られる。

図3は肩峰点と大転子の移動軌跡を示したものである。肩峰点は緩やかなカーブを辿りながら楕円状の運動している。

表3は、各スピードにおける肩峰点の水平及び垂直方向の変位を示したものである。肩峰点の変位は最大スピードにおいて最も大きくなり、水平方向で12cm~19cm、平均14cmの変位を示した。

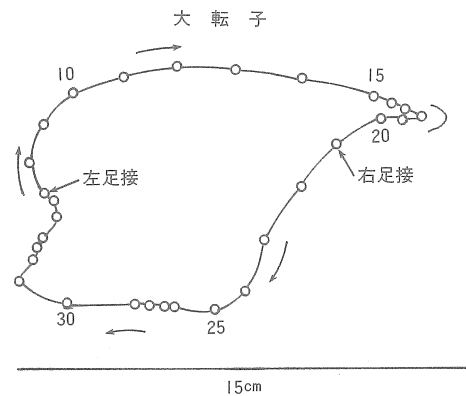


図3 肩峰点と大転子の移動軌跡

表3 肩峰点の水平・垂直変位(cm)

被験者	変位	スピード (m/min)									
		120	140	150	160	170	180	200	220	240	
A	水平	9		11		10		14		12	
	垂直	6		7		8		8		11	
B	水平	5	7		10		12	12	14		
	垂直	3	5		10		10	12	11		
C	水平	5	5	6	8	7	11	11	11	14	
	垂直	5	6	6	7	10	8	8	11	9	
D	水平		8	9	11	12	13	12	12		
	垂直		7	7	10	9	9	10	10		
被験者	変位	スピード (m/min)									
		122	134	145	157	168	191	214	225	237	
E	水平	5		7		8	10	11	14		
	垂直	10		10		13	12	12	14		
F	水平	10		12		12	13	15		19	
	垂直	8		9		10	9	10		13	
G	水平	10				11	12	14		12	
	垂直	8				9	9	12		10	
H	水平	11	11		11	11	13	15	15		
	垂直	6	6		6	6	8	12	14		

一方、垂直方向の変位は、9 cm～14cm の範囲にあり、平均で11.5cm、水平変位の約82%であった。

競歩における上体の捻りを伴った腕振りは、上体部分の質量を加わるため、角運動量も大きく、腕だけの振り比べ腰の回転に与える効果もかなり大きいと考えられる反面、ピッチを高めるためには不利であるといえる。

その点、競歩では肩を楕円上に運動させ、肩の移動経路に急激な変化ができないようにしている。仮に肩を水平面上に往復運動させると、運動経路の両端において急激な方向転換を強いられるため、大きな力が必要になり、毎分200回以上もの速いピッチを長時間継続しなければならない競歩にとっては、エネルギー消耗の面からみてもかなり不利である。したがって、変位の大きい、ピッチの速い腕振りを効率的に行うには、図3のような楕円状の腕振りは極めて合理的であるといえる。

(6)大転子の動き

図3の下段に大転子の移動軌跡を示した。大転子も肩同様水平面上の往復運動ではなく楕円状の回転運動を行っており、腰の回転が極めて効率的に行われていることがわかる。

表4に大転子の水平変位と垂直変位を示した。水平変位はスピードが上昇しても増減の傾向は示さずほぼ一定の値を示したが、垂直変位はわずかに増加する傾向が見られた。最大スピードにおける水平変位は10cm～14cmの範囲にあり、平均で11.9cmであった。また、垂直変位は6 cm～10 cmの範囲にあり、平均で8.5cmで、水平変位の約71%であった。

大転子の水平変位は腰の回転の度合を表わし、ストライドを構成する要因になっている。大転子の水平変位がどの程度ストライドの長さに貢献しているかを最大スピードでみてみると、その範囲は9%から12%の範囲にあり、平均11%で、かなり腰の回転がストライドの伸長にとって重要であることが示唆される。

(7)接地時の大腿及び下腿角度

どちらかの脚が接地した瞬間における接地脚の大腿角度と下腿角度及び反対脚(離地脚)の大腿角度、下腿角度を求め、表5、6に示した。大腿角度は大転子を通る垂直線と大腿(大転子-膝関節を結ぶ線分)がなす角度、下腿角度は膝関節中点を通る垂直線と下腿(膝関節中点-足関節中点を結ぶ線分)

表4 大転子の水平・垂直変位(cm)

被験者	変位	スピード (m / m i n)								
		120	140	150	160	170	180	200	220	240
A	水平	14		14		13		13		14
	垂直	6		7		7		9		10
B	水平	12	13		13		14	18	13	
	垂直	7	7		7		7	9	8	
C	水平	12	13	13	12	14	13	13	15	12
	垂直	6	7	8	7	8	8	8	8	9
D	水平		11	13	14	11	12	11	10	
	垂直		7	7	7	7	8	8	6	
被験者	変位	スピード (m / m i n)								
		122	134	145	157	168	191	214	225	237
E	水平	12		11		11	8	12	12	
	垂直	6		6		6	8	7	8	
F	水平	7		9		11	8	12		10
	垂直	5		6		6	7	8		9
G	水平	10				13	14	13		14
	垂直	9				10	10	10		10
H	水平	13	11		15	15	14	14	10	
	垂直	8	8		8	9	9	9	8	

がなす角度で、いずれも垂直線を基準のゼロ度とし反時計回りをマイナス、時計回りをプラスとした。

大腿角度をみると、接地脚はスピードが上昇してもほとんど変化せず20度前後の値を示している。一方、離地脚はスピードが上昇するにしたがって

大腿角がわずかではあるが（4ないし5度）増大する傾向が見られた。

下腿角度についてみると、接地脚の角度はスピードが上昇してもほとんど変化していないが、離地脚の角度はスピードの上昇にしたがってマイナス方向に大きく変化している。

表5 接地時の大腿角度(deg.)

被験者		スピード (m/min)								
		120	140	150	160	170	180	200	220	240
A	接地脚	17		21		18		18		20
	離地脚	-9		-9		-8		-3		-9
B	接地脚	23	27		24		22	22	27	
	離地脚	-15	-15		-14		-11	-10	-9	
C	接地脚	21	18	21	18	21	17	18	17	13
	離地脚	-17	-17	-19	-18	-18	-17	-13	-13	-15
D	接地脚		19	23	18	22	18	21	19	
	離地脚		-19	-18	-16	-9	-12	-13	-14	
被験者		スピード (m/min)								
		122	134	145	157	168	191	214	225	237
E	接地脚	14		14		12		16	17	
	離地脚	-14		-17		-14		-12	-13	
F	接地脚	18		19		20	14	22		20
	離地脚	-16		-9		-7	-8	-11		-10
G	接地脚	19				18	21	19		17
	離地脚	-17				-16	-16	-16		-17
H	接地脚	19	23		22	20	21	22	20	
	離地脚	-21	-20		-21	-23	-18	-19	-18	

表6 接地時の下腿角度(deg.)

被験者		スピード (m/min)								
		120	140	150	160	170	180	200	220	240
A	接地脚	17		18		17		18		16
	離地脚	-35		-40		-48		-54		-54
B	接地脚	18	21		18		18	18	18	
	離地脚	-36	-31		-37		-47	-57	-57	
C	接地脚	21	21	21	21	22	20	19	21	14
	離地脚	-33	-40	-39	-38	-43	-45	-56	-55	-55
D	接地脚		19	20	19	17	16	21	17	
	離地脚		-39	-45	-50	-55	-56	-60	-63	
被験者		スピード (m/min)								
		122	134	145	157	168	191	214	225	237
E	接地脚	20		18		18		20	20	
	離地脚	-38		-38		-47		-57	-55	
F	接地脚	17		16		16	11	15		16
	離地脚	-35		-42		-53	-54	-61		-60
G	接地脚	18				17	20	19		18
	離地脚	-33				-53	-52	-55		-50
H	接地脚	20	24		22	23	20	20	17	
	離地脚	-38	-35		-38	-40	-48	-54	-52	

表1にも見られるように、ストライドはスピードに比例して増大している。ストライドを増大させる要因には、接地時点での前後開脚角度の増大及び腰の回転角度の増大が考えられるが、腰の回転の大きさを示す大転子の水平変位、接地時の大腿角度には歩行スピードの上昇に伴う変化がほとんど認められていない。したがって、ストライドの増大は離地脚の下腿角度のマイナス方向への角度の増大によるものであるといえる。

(8)大転子の速度と大腿、下腿角速度の変化

図4に大転子の水平及び垂直速度と大腿及び下腿の角速度の変化を示した。図の下段に示した6~35の番号は、図3の軌跡図のポイントの番号と一致している。大腿、下腿の角速度の方向は反時計回りをマイナス、時計回りをプラスとしている。

大腿と下腿の角速度の関係をみると、下腿は左脚が接地し再び接地を迎えるまでの1サイクルの間に、大きな2つの角速度のピークがあるが、い

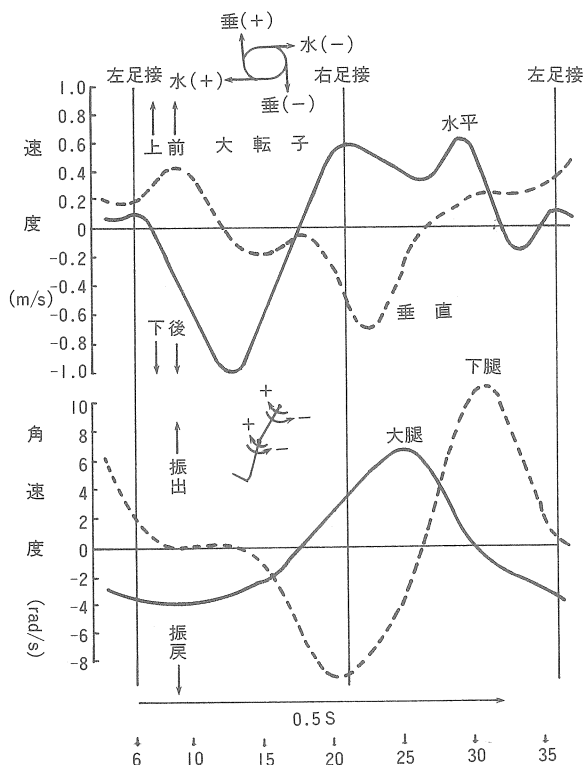


図4 大転子の速度と大腿、下腿角速度の変化
スピード 220m/min

ずれもそのピークの直前には大腿角速度がゼロになっているのが観察される。これは大腿がマイナス方向からプラス方向へあるいはプラスからマイナス方向へ回転の向きを転じたときである。また大腿を下腿の角速度の変化が逆位相になっていることから、下腿部の運動は、大腿部からの運動量の転移によって行われていることを示すものである。つまり、下腿は大腿からの運動量を受け、受動的な運動行っていると推察される。同時にこのことは大腿を下腿を繋ぐ膝関節は、運動量の転移を妨げないよう十分なりラックスが必要であることを意味するものであるといえよう。

一方、大転子と大腿の関係をもてみると、大転子の水平方向の速度と大腿の角速度はほぼ同位相にあり、ゼロを迎える時刻もほとんど同じである。したがって大腿部と大転子の間には、大転子の水平方向運動量、つまり腰の水平方向の運動量が大腿の回転の運動量に転移するメカニズムはほとんど働いていないものと考えられる。大腿部の振り出し、振り戻しは大腿部の能動的な運動で行われていると考えられる。

また、接地期の大腿部の角速度のピークはおよそ -4rad/s であるが、離地後の大腿の振り出しにおける角速度は約 6.6rad/s に達している。振り戻し期と振り出し期の各速度の絶対値を比較すると離地後の振り出し期のピーク値は接地期の振り戻しの1.7倍になっている。これはいずれの被験者にもい

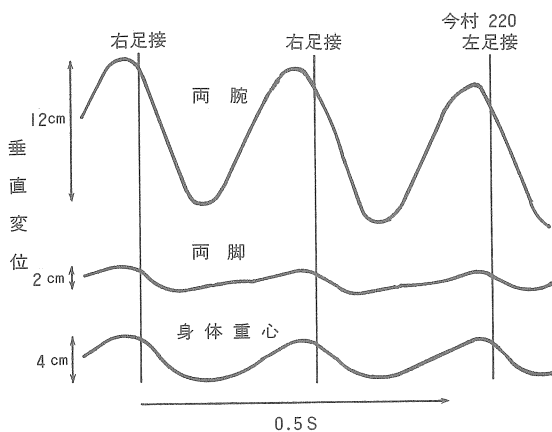


図5 両腕、両脚及び全身の重心変位
スピード 220m/min

えることで、最大スピードにおける全被験者平均では1.6倍の角速度が得られた。

したがって、競歩におけるスピードを限定する要因は、接地期に脚をいかに速く後方に移動させるかよりも、離地後いかにすばやく前方に振り出せるかによっているといえよう。

(9) 身体重心に影響する要因

小野は、競歩ではエネルギー効率の面からも身体重心の変動を小さくする競歩動作が重要であることを指摘している³⁾。

図5は、両腕、両足それに全身の重心の変化を同一時間軸上に示したものである。図を見ても明らかなように、両脚の重心変動は約2 cmと想像以上に小さい。それに比べ、両腕の重心変位は約12 cmと大きい。このように比較してみると、身体重心の変動に大きく影響を与える身体部位は、腕を

中心とする上肢であると思われる。したがって、肩の上下動を必要以上に大きくとって腕を振ることは、身体重心の変動を大きくし、体力消耗また頭頂の変動に増大といったマイナス要因につながるのではないかと思われる。

参考文献

- 1) 雨宮輝也, 黒田善雄, 塚越克己, 伊藤静夫, 金子敬二: 競歩におけるスピードと酸素摂取量, 昭和53年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1978.
- 2) 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 金子敬二: スポーツ選手のATに関する研究—競歩選手のLT—, 昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1987.
- 3) 小野勝治: 陸上競技の力学, 109-113, 同文書院, 東京, 1957.
- 4) 金子敬二, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫: 競歩のバイオメカニクス的研究, 昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1987.
- 5) 佐々木秀幸編: スポーツなるほど辞典—陸上競技一, 88-89, 東京堂出版, 東京, 1984.

昭和63年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学委員会

委員長	黒田 善雄 (順天堂大学体育学部)	委員	小林 修平 (国立栄養研究所)
委員	青木純一郎 (順天堂大学体育学部)	"	高石 昌弘 (国立公衆衛生院)
"	浅見 俊雄 (東京大学教養学部)	"	高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院)
"	井川 幸雄 (東京慈恵会医科大学)	"	塚脇 伸作 (早稲田大学教育学部)
"	石井 喜八 (日本体育大学)	"	中嶋 寛之 (東京大学教養学部)
"	石河 利寛 (中京大学体育学部)	"	藤田 厚 (日本大学文理学部)
"	馬詰 良樹 (東京慈恵会医科大学)	"	松井 秀治 (スポーツ医・科学研究所)
"	小野 三嗣 (東京慈恵会医科大学)	"	松田 岩男 (中京大学体育学部)
"	勝田 茂 (筑波大学体育科学系)	"	宮下 充正 (東京大学教育学部)
"	川原 貴 (東京大学教養学部)	"	村山 正博 (聖マリアンナ医科大学)
"	糸野 豊 (筑波大学体育科学系)	"	山川 純 (日本女子体育大学)

財団法人 日本体育協会 スポーツ科学研究所

塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 加藤 守
伊藤 静夫 浅野 友里

昭和63年度 財団法人 日本体育協会スポーツ科学研究報告集

編集代表者 黒田 善雄
発行者 鈴木 祐一
平成元年 3月31日 発行

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育館
TEL (03) 481-2240

