2011 대구세계육상선수권대회 100 m 여자 결승전의 운동학적 분석

류지선¹ · 류재균² · 김태삼³ · 박영진⁴ · 황원섭³ · 윤석훈⁵ · 박상균³

¹ 한국체육대학교 생활체육대학 스포츠건강관리학과 · ² 경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 ·

³ 한국체육대학교 스포츠과학대학 체육학과 · ⁴ 경희대학교 체육대학 골프경영학과 · ⁵ 한국체육대학교 생활체육대학 사회체육학과

Kinematic Analysis of Women's 100-m Final during IAAF World Championships, Daegu 2011

Ji-Seon Ryu¹ · Jae-Kyun Ryu² · Tae-Sam Kim³ · Young-Jin Park² ·

Won-Seob Hwang³ · Suk-Hoon Yoon⁴ · Sang-Kyoon Park³

¹ Department of Health & Exercise Science, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea

² Department of Coaching, College of Physical Education, Kyung Hee University, YoungIn, Korea

³ Department of Physical Education, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea

⁴ Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyung Hee University, YoungIn, Korea

⁵ Department of Community Sport, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea

Received 31 September 2011; Received in revised form 30 October 2011; Accepted 23 December 2011

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the kinematic characteristics of the finalists in the women's 100 m event to provide important information to coaches and athletes. Three different biomechanics techniques were applied for analyzing sprinter motion: LAVEG, a panning technique, and 12 video cameras for 3 dimensional analysis of the 40 m - 70 m portion of the race. Carmelita Jeter(USA) performed the maximum speed of 10.54 m/s at the distance of 58.2 m. There was a tendency to show a better performance time with a high number of steps ($p=.13$) and shorter stride length ($p=.14$) among the 8 sprints. Furthermore, the stride frequency and the performance time were negatively correlated as a higher stride frequency had a positive impact on the performance time ($p=.02$). Based on 3 dimensional analysis, the 4 top ranked sprinters used the different strategies to maintain a high COM (Center of Mass) velocity during the mid portion of the race (40 m - 70 m). Carmelita Jeter(USA) showed more flexed knee and hip motion at heel contact (HC) to maintain a high COM velocity while S.A. Fraser-Pryce (JAM) showed more extended knee and hip motion at HC. On the other hands, Veronica Campbell-Brown (JAM) and Kelly-Ann Baptiste (TRI) showed a tendency to have high knee lifts during the swing phase to maintain the high COM velocity during the race. These biomechanical analyses of the women's 100 m final event in the 2011 WC, Daegu, will provide important scientific information to coaches and athletes for understanding the sprinting mechanism of today's top-class sprinters.

Keywords : Steps, Stride length, Step frequency, COM Velocity, Sprint mechanism

I. 서 론

여자 100 m 세계기록은 1988년 서울올림픽에서 Florence Griffith-Joyner(USA)가 세운 10.49초의 기록이 20년 이상 경신

되지 않고 있다. 지난 2011년 대구대회에서는 시즌 최고기록을 기록(10.70초)하고 있고 예선 최고기록(11.02초) 보유자인 Carmelita Jeter(USA)의 우승이 예상되는 가운데 자메이카의 Veronica Campbell-Brown과의 각축이 예상되었다.

2011년 8월 28일에 7개조의 예선전을 통해서 선발된 선수들이 8월 29일 저녁에 3개조의 준결승전이 실시되어 8명의 선수가 결승전에 진출하게 되었다. 8월 29일 저녁 7시 27분에 진행된 결승결과는 4레인의 Carmelita Jeter (USA)가 10.90초의 기록으로 우승을 차지하였다. 2위와 3위에는 각각 Veronica

Corresponding Author: Sang-Kyoon Park,
Division of Sports Science, Korea National Sport University,
88-15 Oryun-dong Songpa-gu, Seoul, Korea, 138-763
Tel : +82-2-410-6952 / Fax : +82-2-410-6952
E-mail: spark@knsu.ac.kr

본 논문은 2011 대구세계육상선수권대회 운동역학 프로젝트로서 문화체육관광부와 대한육상경기연맹으로부터 지원을 받아 수행한 것임.

Campbell-Brown(JAM)과 Kelly-Ann Baptiste(TRI)가 10.97초와 10.98초의 기록으로 입상하였다. 결승전 당일의 날씨는 경기장의 기온이 31도와 55 %의 습도 그리고 -1.3 m/sec의 풍속을 나타내었다.

지난 1987년 로마세계선수권대회와 1988년 하계서울올림픽을 계기로 육상종목의 운동역학적 분석활동(www.iaaf.org)이 시작되었으며 금번 2011년 대구세계육상선수권 대회에서도 한국운동역학회를 중심으로 운동역학 연구팀이 운영되어 100 m 남녀 경기의 운동역학 분석이 이루어졌다. 영상기법을 이용하여 세계 상위 단거리 선수들의 경기력에 영향을 미치는 움직임의 과학적인 분석을 통해서 국내 육상선수의 육성에 귀중한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 2011년 대구세계육상선수권 대회 여자 100 m 결승전에 출전한 8명의 선수들의 주법에 관련된 운동학적 변인들과 상위 4명의 선수들을 대상으로 중간 질주구간(40 m-70 m)의 3차원 동작기법을 통해서 신체중심의 속도를 유지하기 위한 각각 선수들의 전략을 운동학적인 관점에서 분석하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자들은 여자 100 m 결승전에 참가한 8명의 선수를 대상으로 운동학적 분석이 이루어졌다. 그중 상위 4명의 선수를 대상으로 3차원동작분석이 이루어져 경기력과 움직임의 관계를 규명하고자 하였다<Table 1>.

2. 실험 장비와 절차

1) 레이저빔을 이용한 질주 속도측정

2011년 대구세계육상선수권대회에서는 다양한 운동역학적 기법을 이용하여 선수들의 주행동작을 분석하였다. 첫째로 레이저 속도측정기(LAVEG Sport, JENOPTIK, Germany)를 이용

Figure 1. LAVEG (JENOPTIK, Germany) and calibration process

하여 주행 속도를 측정하였다. 100m 거리에 대한 캘리브레이션을 기초로 초당 100 frame의 자료수집 속도를 통해서 각 프레임에서의 스프린터의 위치를 통해서 순간속도(이동거리/소요시간)가 계산되었다(Harrison, Jensen & Donoghue, 2004). 레이저빔은 출발선에서 스프린터의 등을 겨냥하여 주로 상에서 스프린터의 등 높이를 따라 이동하도록 하였다<Figure 1>. 획득된 자료는 저역필터방법(cutoff frequency: 0.5 Hz)을 통해서 자료가 처리되었다. LAVEG의 설치는 경기당일 예선기록을 토대로 우승 예상선수와 경쟁선수를 대상으로 자체 토의 후 3명의 선수를 결정하여 3대의 빔을 해당 레인에 배치하였다.

2) 고속카메라를 이용한 질주 주법의 주요요인 분석

두번째로 패닝(Panning) 기법을 이용하여 스프린터의 운동학적인 변인들을 산출하였다. 패닝기법은 고속촬영이 가능한 카메라를 통해서 빠른 움직임의 물체를 효과적으로 촬영할 수 있는 방법으로 100 m 구간의 동작을 확보하기 위해서 5대의 휴대용 고속촬영 카메라(Casio EX-F1, Japan)가 활용되었다. 카메라의 위치는 우측 상단 관중석에서 5명의 촬영인원이 위치하여 각 카메라 간에 중첩구간을 고려하여 13 m, 30 m, 47 m, 64 m, 81 m 측면 선상에 위치하여 이동하는 스프린터들의 질주동작을 촬영하였다<Figure 2>. 이때 촬영속도는 초당 300프레임으로 설정하였다. 각 카메라에서 수집된 영상은 영상편집 프로그램 (Vegas pro, Sony, Japan)을 통해서 선정된 구간에서의 영상 프레임수를 통해 계산된 소요시간과 속도, 보수, 보폭(stride length) 및 빈도(stride frequency) 등을 산출하였다.

Table 1. Finalists of Women's 100 m

Place	Name	Country	Date of Birth	Lane	Result(sec)	Reaction time(sec)
1	Carmelita Jeter	USA	24 NOV 79	4	10.90	0.167
2	Veronica Campbell-Brown	JAM	15 MAY 82	8	10.97	0.234
3	Kelly-Ann Baptiste	TRI	14 OCT 86	5	10.98	0.151
4	S.A. Fraser-Pryce	JAM	27 DEC 86	3	10.99	0.194

Figure 2. High speed camera (Casio, Japan) and locations of each camera

3) 질주구간 (40 m-70 m)의 3 차원 영상분석

세 번째는 12대의 비디오 카메라를 이용하여 상위 4명의 40 m에서 70 m 구간에서 3차원 동작분석을 실시하였다. 각 4대의 카메라는 경기장 관중석 최상단에 위치하여 총 3곳의 위치에서 질주구간을 포함하도록 중첩되게 설치하였다(Figure 3).

Figure 3. Camera set up on the stadium and the locations of each camera set

경기 전 8개의 레인을 포함하는 통제점 틀을 구성하여 캘리브레이션을 실시하고 질주구간을 좌표화를 통한 3차원 각도를 산출하였다(Figure 4). 가로 10 m, 세로 2 m, 폭 1 m로 제작된 통제점틀을 35 m 지점부터 5 m 간격으로 이동시키며 분석구간의 좌표화를 위한 작업이 이루어졌다. 이때 영상은 60 frames/sec로 촬영되고 각 카메라의 영상을 분석 프로그램(Kwon 3D, Visol, Korea)을 이용한 디지털라이징 과정을 통해서 각관절점의 위치를 좌표화 하고 신체의 굴곡신전각도를 산출하였다. 분석 변인들로는 오른 발목, 무릎, 고관절과 몸통의 굴곡, 신전각 및 신체중심의 속도를 산출하였다.

Figure 4. Calibrated area (35 m-70 m) and set up for DLT structure

산출변인들의 각 정의를 아래의 그림(Figure 5)에서 나타내었다. 발목과 정강이가 이루는 각을 발목의 굴곡신전으로 나타내었다. 무릎관절의 굴곡신전은 대퇴와 정강이가 이루는 각도를 나타내었고 고관절의 각도는 몸통과 대퇴골이 이루는 각도, 몸통각은 상체와 수평선이 이루는 각도를 통해서 각도가 산출되었다.

Figure 5. Definition of angles

4) 분석방법 및 통계적 기법

먼저 각각의 선수의 보폭과 빈도의 평균값과 공식 기록과 반응시간을 산출하여 공식기록과 보폭, 빈도, 반응시간간의 상관관계를 분석하였다. 이어서 상위 4명의 선수를 대상으로 3차원 동작분석을 실시하여 질주구간인 40 m-70 m구간에서의 오른쪽 발목, 무릎, 고관절각과 몸통의 굴곡 신전각을 산출하고 신체중심의 속도와의 관계를 분석하였다. 상관관계분석을 통해서 신체중심의 속도와 운동학적 변인들과의 관계를 통해서 질주구간에서 질주속도와 움직임의 관계를 규명하고자 하였다. 통계분석을 위해서 Matlab R2009a(MathWorks, USA)을 활용하였고 이때 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 수준으로 설정하였다.

III. 결 과

1. LAVEG을 이용한 질주속도 결과

여자 100 m 결승전에서 우승이 예상되었던 미국의 Carmelita Jeter 선수를 대상으로 LAVEG을 이용한 질주속도 분석이 이루어졌다. Jeter 선수는 출발신호에 대한 반응시간은

0.167초로 8명의 선수 중 5번째이었으나 속도측정결과 58.2 m에서 10.54 m/sec의 최고속도를 나타내었다(Figure 6). 출발신호와 함께 30 m까지 급격한 가속구간을 유지하면서 레이스의 중반이후 58.4 m지점에서 최고속도를 나타내고 이후 속도가 서서히 낮아지는 경향을 볼 수 있었다.

Figure 6. Speed curve of Carmelita Jeter(USA) during 100 meter sprinting

2. 100 m 구간의 주법(보수, 보폭, 빈도) 분석결과

<Table 2>는 결승전 8명의 최종 기록과 반응시간 및 질주구간 중 40 m - 70 m의 보수, 보폭, 빈도의 결과를 나타내고 있다. 8명의 평균 100 m 기록은 11.09(±0.15)초로 나타났으며 반응시간의 평균은 0.178(±0.032)초를 나타내었다. 또한 평균보수는 49.01(±1.42)회와 평균 보폭은 2.04(±0.06) m 및 4.42(±0.17)의 평균 빈도(횟수/초)를 나타내었다.

<Figure 7>은 경기기록과 주법과 관련된 변인들과의 상관관계를 나타낸다. 먼저 보수와 경기기록의 상관관계분석 결과 통계적으로 유의하지는 않았지만 보수가 높을수록 기록이 좋은 경향을 나타내었다($p=0.13$). 상위 4명의 선수들의 경우 약 50회의 보수를 보이는 반면 하위 4명의 선수의 경우 3명이 47회를 보수를 나타내고 1명은 50회의 보수를 나타내었다. 한편 보폭이 짧을수록 경기기록에 긍정적인 상관관계를 나타내었으나 통

Table 2. Descriptive data of 8 sprinters during Women's 100 m final

Rank	Time (sec)	Reaction Time (sec)	# of Steps	Step Length (m)	Stride Frequency (# of steps/sec)
1	10.90	0.167	50.50	1.98	4.63
2	10.97	0.234	49.60	2.02	4.52
3	10.98	0.151	50.00	2.00	4.55
4	10.99	0.194	50.00	2.00	4.55
5	11.12	0.147	47.40	2.11	4.26
6	11.15	0.212	47.00	2.13	4.22
7	11.27	0.156	50.00	2.00	4.44
8	11.33	0.164	47.60	2.10	4.20
Mean	11.09	0.178	49.01	2.04	4.42
±SD	±0.15	±0.032	±1.42	±0.06	±0.17

계적으로 유의하지 않았다($p=0.14$). 하지만 빈도의 경우 경기기록과 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다. 초당 보수가 높을수록 경기기록이 좋은 결과를 나타내었다($p=0.02$).

Figure 7. Correlations between performance time and descriptive variables (steps, stride length, reaction time and stride frequency)

3. 질주구간 (40 m-70 m)에서의 신체 굴곡신전각도와 신체중심속도

100 m 결승전의 상위 4명을 대상으로 질주구간(40 m-70 m)에서 3차원 영상분석을 실시하여 신체의 굴곡신전각도와 신체중심의 속도를 산출하였다. <Figure 8>은 10.90초의 기록으로 1위를 한 미국의 Carmelita Jeter의 질주구간(40 m-70 m)에서의 신체의 각도(몸통과 오른쪽 하지각도)변화를 나타내는 그래프이다.

발목은 지지기 동안에는 발목의 족저굴곡(plantar flexion)이 일어나고 채공기 후반에서 배측굴곡(dorsi-flexion)이 일어났다. 무릎에서는 지지기 동안에는 최고 신전각도에서 약간의 굴곡이 일어나고 채공기에 걸쳐 굴곡되어 채공기의 중간시기에서는 최대굴곡이 일어났다. 고관절은 지지기에는 최대신전이 일어나고 채공기에 걸쳐 굴곡에 이은 착지를 위한 신전의 연속동작이 이루어졌다. 몸통각은 지지기에 걸쳐 상체가 약간 진행방향 쪽으로 기울어지고 채공기에서는 약간 상체가 세워지는 동작을 보였다.

<Table 3>은 상위 4명의 질주구간(40 m-70 m)에서의 하지관절의 굴곡 신전각도의 변화와 몸통각 및 신체중심속도의 변화를 나타내고 있다. 발목관절은 90°를 기준으로 지지기와 채공기에 걸쳐 족저굴곡(90°이상)이 일어났다. 2위인 Veronica Campbell-Brown(JAM)과 3위인 Kelly-Ann Baptiste(TRI)의 경

Figure 8. Changes in Carmelita Jeter's joint angles of the right leg and trunk over time during 40 m- 70 m race(HC: Heel Contact, TO: Toe Off)

우 다른 두 선수에 비해 발목을 보다 굴곡신전 시키는 경향을 나타내었다. 무릎각도의 경우 HC을 위해서 무릎이 신전(180° 에 가까운 경우)되고 지지기에 걸쳐서 약간 굴곡이 이루어짐을 알 수 있으며 이후 무릎관절이 최소각을 나타내었다. 1위인 Carmelita Jeter(USA)와 4위인 S.A. Fraser Pryce(JAM)의 경우 HC에서의 무릎관절을 2위인 Veronica Campbell-Brown(JAM)과 3위인 Kelly-Ann Baptiste(TRI)에 비해 보다 신전시킴을 알 수 있었다. 따라서 고관절의 경우에도 1위인 Carmelita Jeter(USA)와 4위인 S.A. Fraser Pryce(JAM)의 경우 HC에서의 고관절을 2위인 Veronica Campbell-Brown(JAM)과 3위인 Kelly-Ann Baptiste(TRI)에 비해 보다 신전시킴을 알 수 있었다. 몸통각의 움직임에서는 4위의 S.A. Fraser Pryce(JAM)의 경우 다른 선수들에 비해서 주행 중 몸통을 전후의 기울임 동작이

큰 것을 알 수 있었다. 40 m에서 70 m구간에서 신체중심의 속도가 평균적으로 10.41 m/sec에서 10.51 m/sec로 나타났으며 Carmelita Jeter(USA), Veronica Campbell-Brown(JAM), S.A. Fraser Pryce(JAM), Kelly-Ann Baptiste(TRI)순으로 나타났다.

<Table 4>는 신체중심의 속도와 신체분절각도의 상관관계를 나타내는 상관계수들이다. 양적인 상관계수는 관절각도가 커질 수록 신체중심의 속도가 큰 관계를 나타내고 부적인 상관계수는 관절각도가 작아질수록 신체중심의 속도가 큰 관계를 나타내고 있다. 3위의 Kelly-Ann Baptiste(TRI)는 다른 선수들에 비해 발목의 굴곡신전과 신체중심속도와 관계가 있는 것으로 나타났다. 무릎의 굴곡신전각과 신체중심속도와 관계에서는 Carmelita Jeter(USA)는 HC에서 무릎이 굴곡 될 수록 신체중심속도가 높게 나오는 반면에 S.A. Fraser Pryce(JAM)는

Table 3. Joint angles (maximum, minimum, at HC, at TO and Range of Motion) of top 4 sprinters during 40 m to 70 m sprinting

Angle		Carmelita Jeter(USA)	Veronica Campbell-Brown(JAM)	Kelly-Ann Baptiste(TRI)	S.A. Fraser Pryce(JAM)	Mean	SD
ankle ($^\circ$)	max	152.05	160.47	154.52	153.20	155.06	3.75
	min	110.19	111.39	106.08	112.82	110.12	2.90
	HC	123.27	118.18	111.70	123.69	119.21	5.60
	TO	147.64	146.17	141.33	145.30	145.11	2.70
	ROM	41.85	49.09	48.44	40.38	44.94	4.47
knee ($^\circ$)	max	156.28	149.45	146.82	158.90	152.86	5.67
	min	40.23	37.29	42.33	41.53	40.35	2.21
	HC	153.33	142.13	141.88	151.84	147.30	6.14
	TO	140.14	140.10	135.18	147.02	140.61	4.87
	ROM	116.1	112.2	104.5	117.4	112.55	5.80
hip ($^\circ$)	max	173.62	173.77	175.13	171.03	173.39	1.71
	min	105.66	92.55	100.21	109.30	101.93	7.28
	HC	151.92	121.67	126.62	144.74	136.24	14.41
	TO	172.24	172.36	173.50	167.56	171.42	2.63
	ROM	67.97	81.22	74.92	61.73	71.46	8.45
trunk ($^\circ$)	max	87.64	76.42	81.72	85.08	82.72	4.85
	min	79.24	69.66	74.97	72.20	74.02	4.10
	HC	83.45	74.69	79.44	81.59	79.79	3.78
	TO	79.66	70.61	75.76	73.66	74.92	3.80
	ROM	8.40	6.76	6.75	12.88	8.70	2.89
Avg.COM Velocity (m/sec)		10.51 ± 0.17	10.48 ± 0.16	10.41 ± 0.16	10.45 ± 0.20		

Table 4. Correlation coefficients(R) between velocity of center of mass (VCOM) and the angles of sprinters during 40 m-70 m (max: maximum, min: minimum, HC: Heel contact, TO: Toe off, FE: flexion and extension)

Angle		Jeter	Campbell	Baptiste	Fraser
ankle FE	max	0.6158	-0.4165	-0.7952*	-0.2513
	min	-0.1446	-0.3602	0.8916*	0.6864
	HC	0.3111	0.2407	0.5135	-0.2277
	TO	-0.167	0.6663	0.6353	-0.5226
knee FE	max	0.7025	-0.7105	-0.0125	0.501
	min	0.5767	-0.4525	0.1327	0.5708
	HC	-0.8763*	-0.4094	-0.3373	0.8079*
	TO	-0.4436	-0.7276	-0.2317	-0.3711
hip FE	max	-0.6796	0.5347	0.0956	-0.2301
	min	0.2324	-0.8608*	-0.8916*	0.5407
	HC	-0.7883*	-0.5204	-0.8260*	0.9030*
	TO	0.6887	-0.4014	0.7666*	-0.585
trunk FE	max	0.5186	-0.3558	-0.1382	0.5679
	min	0.6365	0.1528	0.3341	0.6416
	HC	-0.4927	-0.3363	-0.6621	0.4241
	TO	-0.6032	-0.7689*	-0.4808	0.6951

* $p < .05$

반대로 HC에서 무릎을 신전시킴으로써 신체중심속도를 높게 유지하는 것으로 나타났다. 또한 고관절의 각도와 신체중심의 속도와의 관계에서는 Carmelita Jeter(USA)와 Veronica Campbell-Brown(JAM)은 HC에서 고관절을 굴곡시킴으로써 신체중심속도를 높게 유지하는 반면 S.A. Fraser Pryce(JAM)는 HC에서 고관절을 보다 신전시킬 때 신체중심의 속도가 높게 유지되는 것으로 나타났다. 몸통각도의 경우 Veronica Campbell-Brown(JAM)은 TO에서 몸통을 숙이는 형태가 신체중심속도와 관련된 것으로 나타났다.

IV. 논의

2011년 대국국제육상선수권대회 여자 100 m 결승전에서 미국의 Carmelita Jeter가 10.90초의 기록으로 우승을 차지하였다. 지난 2007년 오사카 대회에서 자메이카의 Veronica Campbell-Brown이 11.01초로 우승한 기록하였고 2009년 베를린 대회의 자메이카의 Fraser Shelly-Ann이 10.73초의 기록으로 우승을 차지하였다.

반응속도를 비교해보면 2007년 오사카 대회에서 1위인 Veronica Campbell-Brown(JAM)이 0.167초와 2위인 L. Williams(USA)가 0.145초의 반응시간을 보였고 2009년 베를린 대회에서는 1위인 Fraser Shelly-Ann(JAM)가 0.146초, 그리고 2위인 Stewart Kerron(JAM)가 0.170초와 3위인 Carmelita Jeter(USA)가 0.160초의 반응시간을 나타내었다.

2011년 대구대회에서는 1위에서 3위선수가 각각 0.167초, 0.234초, 0.151초의 반응시간을 나타내었다. 특히 Carmelita Jeter(USA)의 0.167초는 2009년 베를린대회의 본인의 반응시간인 0.160초보다 약간 늦은 반응시간을 나타내었다(GAF, 2009). 일반적으로 짧은 반응시간을 통해서 최상의 경기결과를 유발할 수 있겠지만, 본 연구에서도 반응시간과 최종 경기기록과는 직접적인 상관관계를 나타내지는 않았다. 실제 출발 시 반응시간 보다는 주법에 관련된 보수나 보폭과 빈도가 보다 밀접한 상관관계가 있을 것으로 예상되면 이러한 주법의 특성에 관련된 신체의 분절각도와 주행속도와의 관계를 통해서 인과관계를 이해할 수 있을 것이다.

대구대회 우승자인 Carmelita Jeter(USA)는 S.A. Fraser Pryce(JAM)와 약 50 m부근부터 80 m부근까지 경합을 벌이다가 마지막 90 m이후 마지막 10 m구간에서 가장 빠른 구간속도(9.52 m/sec)를 나타내며 우승을 차지하게 되었다. LAVEG을 이용한 최고속도측정을 통한 각 대회간의 최고속도 비교를 해 보면 2007년 오사카대회 우승자인 Veronica Campbell-Brown(JAM)은 55 m 지점에서 10.56 m/sec의 최고속도를 나타낸 반면 2011년 대구대회 우승자인 Carmelita Jeter는 58.4 m 지점에서 10.54 m/sec의 최고속도를 나타내었다(JAAF, 2007). Mackala (2007)의 연구에서는 100 m 구간을 7개의 국면으로 나누었을 때 70 m-80 m의 구간(Phase 6: Maximum velocity)을 최고의 속도를 나타내는 구간으로 정의하였지만 일반적으로 60 m근방 (Phase 4: 50 m-60 m)에서 최고속도가 발생하는 것으로 나타났다. 대구육상선수권대회에 참가한 대부분의 남자 100 m 선수들의 경우도 55 m-60 m근방에서 자신의 최고속도를 나타내는 것으로 나타났다.

흥미로운 사실은 여자 100 m 결승경기의 경우 남자 100 m 결승경기와는 달리 기록과 보폭 수(number of steps)간의 부적의 상관관계의 경향을 나타내었다. 통계적으로는 유의하지는 않았지만 기록이 좋을수록 많은 보폭을 나타내고 순위가 낮은 선수일수록 적은 보폭수를 나타내는 경향을 나타내었다($R = -0.58$, $p = .13$). 따라서 경기기록과 보폭의 상관관계(짧은 보폭과 경기기록) 또한 양적인 상관관계의 경향을 나타내었다($p = .14$). 뿐만 아니라, 경기기록과 빈도(Stride frequency)는 통계적으로 유의한 양적 상관관계를 나타냄으로 여자 100 m 선수들의 경우 보폭을 짧고 빠르게 하는 전략이 경기력에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 예상되었다. 본 연구의 대상자들의 기록평균(11.09 ± 0.15 초)과 비슷한 11.18초의 평균기록을 가진 8명의 남자선수들을 분석한 Mackala(2007)의 분석에서는 남자선수들의 경우 최고의 경기력을 발휘하기 위해서는 최초 10 m-20 m지점의 가속구간에서 스텝 빈도를 조절하며 보폭을 증가시키는 것이 중요하다고 하였다. 따라서 가속구간, 질주구간, 피니쉬 구간이 구분된 구간별 경기기록과 주법의 형태와의 관계에

대한 분석도 유용할 것이다. 금번 대구세계선수권대회에서는 패닝기법을 통해서 분석된 주법에 관련된 요인들(보수, 보폭, 빈도)와 경기기록과의 관계들을 통해서 세계적인 엘리트 여자 100 m 선수들의 특성을 파악할 수 있었다.

운동역학적인 관점에서 단거리 선수들이 주행속도를 가속시키기 위해서는 추진력을 발생시켜야한다. 그러한 추진력은 주행방향에 대해서 하지의 지지기 동안 신체를 전방방향으로 밀어주는 힘이 발생하게 된다(Hunter, Marshall & McNair, 2006). 신체의 질량에 저항하는 수직 지면반력과 추진하기 위한 전후방향의 지면반력이 발휘되어 신체는 전진하고 가속하게 된다. 그러한 측면에서 추진력 혹은 수직 및 전후 지면반력의 크기와 방향에 의해서 주행속도와 관련된 보수와 보폭에 밀접한 영향을 주게 된다(Schiffer, 2006). 따라서 지지기에서 이루어지는 신체의 움직임이 신체를 전방방향으로 추진하기 위한 주요한 경기력 결정요인으로 작용할 수 있을 것이다. 전통적인 주법에서는 지지기에서 하지관절들을 보다 신전시킴으로써 신체의 중심이 앞쪽에 위치하였을 때 하지의 추진시킨다고 하였다(Schiffer, 2006). 하지만 Vonstein(1996)의 연구에서 현대적인 주법에서는 착지가 이루어지는 제동기(braking phase)에서 신체의 중심이 뒤쪽에 위치한 시기가 더욱 중요할 것이라고 제안하였다.

본 연구에서의 질주구간에서 각 선수의 지지기의 최초 시점(HC)과 발이 떨어지는 시점(TO)에서의 관절의 각도와 신체중심의 속도의 상관관계를 분석한 결과에서도 지지기의 최초시점에서 신체중심의 속도와 높은 상관관계를 나타내고 있었다. 일반적으로 엘리트 단거리 종목에서 질주구간에서 100 ms(0.1초) 이하의 짧은 시간에서 지지기가 이루어지는데 이때 제동구간(braking phase)은 지지기의 40 %와 추진구간(propulsive phase)은 지지기의 60 %내외의 비중을 보여주게 된다(Ciacci, Michele & Merni, 2010).

따라서 매우 짧은 시간인 40 ms이내의 지지기의 제동기에서의 움직임이 매우 중요할 수 있다. 1위를 한 Carmelita Jeter(USA)는 신체중심의 속도를 높이기 위한 전략으로 착지시(HC)에는 무릎과 고관절을 굴곡 시키려는 전략과 반대로 S.A. Fraser-Pryce(JAM)의 경우는 오히려 무릎과 고관절을 신전시킴으로써 신체중심의 속도를 높이려는 전략을 보여주고 있다. 그 외에 Veronica Campbell-Brown (JAM)의 경우에는 신체중심의 속도를 높게 유지하기 위해서 이지 시(TO)에 몸통을 숙이는 형태가 유리한 것으로 나타났다. 그밖에 Veronica Campbell-Brown(JAM)과 Kelly-Ann Baptiste (TRI)는 체공기에서 무릎을 몸통에 가깝게 높게 올리는 주법을 통해서 신체중심 속도를 높게 유지하려고 하였다.

V. 결론

수학적인 모델을 통해서 인간이 도전할 수 있는 100 m 기록에 대한 예측 모델이 제시되었다(Peronnet & Thibault, 1989). 남자의 경우 9.37초와 여자는 10.15초가 인간의 한계(Ultimate performance)가 될 것이라고 예측되어지고 여자 100 m 기록은 2000년도에 10.66초의 기록과 2028년도에는 10.46초가 예상되어졌다. 한편, 남자 100 m의 기록은 이미 Usain Bolt(JAM)의 9.58초의 기록으로 약 20년가량 앞당겨지고 있는 반면에 여자 100 m 기록은 아직 절대강자가 나타나지 않고 1988년의 Florence Griffith-Joyner(USA)의 기록이 유지되고 있다. 본 연구를 통해서 세계정상급 여자 100 m 엘리트 선수들의 질주구간(40 m-70 m)의 신체분절각도의 분석을 통해서 최적의 경기력 혹은 경기기록을 발휘하기 위한 고유의 전략을 파악할 수 있었다. 이를 토대로 한국 여자 단거리 육상종목의 육성에 필요한 전략적 자료로 뿐만 아니라 세계 엘리트 여자 단거리 선수들의 경기력의 결정요인에 대한 자료가 널리 활용되기를 기대해본다.

참고문헌

- Ciacci, S., Michele, R. D. & Merni, F.(2010). Kinematic analysis of the braking and propulsion phase during the support time in sprint running. *Gait & Posture*, 31, 209-212.
- GAF(2009). *Scientific research report at the 2009 Berlin WC*, German Athletics Federation.
- Harrison A. J., Jensen, R. L. & Donoghue, O.(2004). *Reliability and Validation of Laser Distance and Velocity Determination during Running*. Proceeding of International Society of Biomechanics in Sports, 39-42, Ottawa, Canada.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N. & McNair, P. J.(2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21, 31-43.
- IAAF(2007). *Biomechanics report of Japan biomechanics research project in IAAF World Championships in athletes for the 2007 Osaka WC*(edited by Ae, M.), Japan Association of Athletes Federations.
- Mackala, K.(2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletes*, 22(2), 7-16.
- Peronnet, F. & Thibault, G.(1989). Mathematical analysis of

running performance and world running records. *Journal of Applied Physiology*, 67(1), 453-465.

Schiffer, J. (2009). The sprinters. *New Studies in Athletes*, 24(1), 7-17.

Vonstein, W.(1996). Some reflections on maximum speed sprinting technique. *New Studies in Athletes*, 11(2/3), 161-165.