2011 대구세계육상선수권대회 여자 100m 허들 선수들의 운동학적 분석

류재균¹ · 박영진² · 류지선³ · 김태삼⁴ · 황원섭⁴ · 박상균⁴ · 윤석훈⁵

¹경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 · ²경희대학교 체육대학 골프경영학과 · ³한국체육대학교 생활체육대학 스포츠건강관리학과 · ⁴한국체육대학교 스포츠과학대학 체육학과 · ⁵한국체육대학교 생활체육대학 사회체육학과

Kinematic Analysis of 100-m Women's Hurdlers at IAAF World Championships, Daegu 2011

Jae-Kyun Ryu¹ · Young-Jin Park² · Ji-Seon Ryu³ · Tae-Sam Kim⁴ · Won-Seob Hwang⁴ · Sang-Kyoon Park⁴ · Sukhoon Yoon⁵

1Department of Coaching, College of Physical Education, Kyung Hee University, YoungIn, Korea

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

3Department of Health & Exercise Science, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea

4Department of Physical Education, College of Sport Science, Korea National Sport University, Seoul, Korea

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

Received 31 January 2010; Received in revised form 10 February 2010; Accepted 24 March 2010

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

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the kinematic characteristics of the 5th and 6th hurdle clearances during the final of the 100-m hurdles event at the IAAF World Championships, Daegu 2011. To this end, the hurdling motions of the top 4 ranked female hurdlers in the competition were analyzed. A total of 12 cameras were used to record their motions, with a sampling frequency of 120 Hz. The cameras were calibrated using 11 × 2 × 1 m control objects that covered all of the lanes (1st~ 8th lanes). After analyzing all the data, we arrived at the following results. For the take-off phase, a negative relationship between the take-off time (CT) and athlete's rank was found. In addition, the average distances from the hurdle to take-off (L1) were shown to be 2.23 m and 2.17 m for the 5th and 6th hurdles, respectively. For the distance from the hurdle to landing (L2), Pearson (1st rank) and Carruthers(2nd rank) showed inconsistent patterns whereas Harper (3rd rank) and Porter (4th rank) showed consistent patterns. All athletes revealed similar 3 steps patterns between hurdles, which consisted of a shorter 1st step, longer 2nd step and shorter 3rd step.

Keywords : IAAF World Championship, Hurdle Clearance, Kinematic, Touchdown Angle, Takeoff Angle

I. 서 론

허들 경기는 10개의 장애물을 넘고 달리는 궤적운동과 선형 운동이 동시에 일어나는 육상경기의 한 종목이다. 허들경기는 허들사이의 질주구간과 허들을 넘는 허들링 구간으로 나누어지며 이러한 허들경기의 기록단축을 위해서는 빠른 질주속도와

허들을 효율적으로 넘는 기술이 복합적으로 잘 결합되어야만 한다(Lee & Ryu, 2007; Coh, 2003; Coh, Kastelic & Pintaric, 1998; Salo, Grimshaw & Marar, 1997).

허들 경기에서 사용되는 총 10개의 허들은 직선주로에 일정한 간격으로 위치하여 있기 때문에 선수는 일반 단거리 경기와는 다르게 규칙적인 스트라이드 패턴과 일관성 있는 보폭을 사용하여 질주구간의 속도를 유지하여야만 하며 이러한 속도는 스트라이드 빈도와 보폭에 의해 결정된다(Ryu, Chang, Yeo & Lim, 2007; Coh & Dolenec, 1996; Hucklekemkes, 1992)

허들구간에서 허들링(hurdling) 기술은 허들 위에서 이루어지는 동작으로 허들을 넘기 위해 발 구름 하는 도약(Takeoff)구

Corresponding Author: Sukhoon Yoon
Department of Community Sport, Korea National Sport University.
88-15 Oryun-Dong, Songpa-Gu, Seoul, Korea.
Tel : +82-2-410-6850 / Fax : +82-2-418-1877
E-mail: sxy134@knsu.ac.kr

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

간, 허들을 넘어가는 비행(Clearance)구간, 그리고 허들을 넘은 후 발이 지면에 닿는 착지(Landing)구간으로 나누어진다(Hucklekemkes, 1992). 질주구간에서 선수들이 속도를 유지하기 위해서는 이 세 구간에서의 조화로운 동작이 요구되며 많은 선행연구들은 허들링 기술이 기록에 가장 큰 영향을 미친다고 보고하고 있다(Coh, Kastelic & Pintaric, 1998; Coh & Dolenec, 1996; Mann & Herman, 1985).

많은 연구자들은 허들구간의 경기력 결정요인으로 허들을 넘기 전 도약과 착지순간의 수평·수직속도, 허들링 자세, 신체 중심의 높이와 포물선 궤적의 이동 경로 그리고 허들간 수평속도 등을 기술적인 요인을 지적하고 있다(Kang & Lim, 2002; Kim, Lee & Kim, 2005; Ryu, Yeo & Chang, 2007; Salo, Grimshaw & Marar, 1997; Tsarouchas, Kalamaras, Papadopoulos & Giavroglou, 1993). 또한 이러한 허들구간의 기술적인 요인은 가능한 적은 속도 손실로 가장 낮게 허들을 넘는 최적의 발란스를 유지하는 동작이다(Dapena, 1991; Hucklekemkes, 1990; Taylor, 1992). 그러므로 허들의 기록향상을 위하여서는 출발선에서 빠르게 가속하여 첫 허들까지 높은 속도를 생성하고, 효율적인 허들링을 통하여 4th/5th 허들까지 가능한 가장 높은 스피드를 만들고 이후 마지막 허들까지 높은 속도 유지하며 결승점까지 달리는 속도를 증가시켜야만 한다(Ryu, 2007; Ryu, Yeo & Chang, 2007; Lee & Ryu, 2007; Coh & Dolenec, 1996; Coh, 2003; Hucklekemkes, 1990). 과거 선행연구들은 주로 허들링 등 기술적인 요인들에 연구의 초점을 맞추어 분석하였으나 현재의 연구들은 허들과 허들 사이의 연결동작에도 관심을 보이고 있다. 즉, 허들을 넘을 때 가능한 최고 스피드를 유지하면서 각각의 허들을 넘고 최대한 짧은 시간에 허들에 부딪치지 않고 넘는 것이 중요하며, 허들을 비행동안에 수평속도의 손실을 최소화하는 것이 경기력을 향상시킬 수 있는 중요한 과제라고 강조하고 있다(Ryu, 2007; Hucklekemkes, 1990, 1992; Coh, Kastelic & Pintaric, 1998; Stein, 2000).

Ryu(2007)는 Brigita Bukovec과 이연경 여자 100m 허들 선수의 운동학적 변인들을 중심으로 허들 전 구간을 비교하였는데 국내 엘리트 선수들이 12 sec 대에 진입하기 위해서는 허들링 기술과 스피드 연결, 그리고 유연성과 리듬감을 향상시켜야 한다고 보고하였다. Ryu et al.(2007)은 국내의 우수 여자선수들의 허들동작을 조사하여 허들 전구간의 경기력 요인을 비교 분석하였으며 기술적인 분석에서는 5th/6th 허들의 넘는 동작을 분석하였다. Lee & Ryu(2007)은 엘리트 여자 허들선수들을 대상으로 스타트에서 피니쉬까지 경기력 변인을 분석하였고, 최고 속도에 도달하는 시점이 4th에서 6th 허들사이라고 하였다.

Coh & Dolenec(1996)는 Brigita Bukovec 선수를 대상으로 4th와 5th 허들에 대한 운동학적 변인들을 조사하여 기술적인 요인을 제시하였고, Hucklekemkes(1991)는 24회 서울올림픽

100 m 허들경기에서 우승한 Yordanka Donkova 선수와 독일 육상선수권대회에서 우승한 Claudia Zaczekiewicz 그리고 유럽 주니어 선수권대회에서 우승한 Birgit Wolf 선수를 대상으로 허들기술에 관한 기술적 모델과 분석표를 제시하였고 경기력 향상을 위해 허들 전반에 대한 목표치 속도와 시간의 운동학적 변인과 경기력에 대한 수준별 속도와 시간을 제시하였다.

국내의 선행연구들의 연구의 초점은 최고 속도에 도달하는 시점인 4th에서 6th 허들의 넘는 동작에 연구의 초점을 두고 있으며 경기력 향상을 위하여 허들 전 구간에 대해 허들 간 소요시간과 속도를 조사하여 제시하고 있다.

최근 5년간 국내 100 m 허들 경기의 성적은 2006년 도하 아시안경기대회에서 한국기록을 수립하면서 13 sec 23의 기록으로 3위에 입상하였고, 이후 제64회 전국육상경기선수권대회에서 또 다시 13 sec 00으로 한국 신기록을 수립하면서 2010년 아시안시즈 최고기록을 달성하였다. 그리고 광저우 아시안경기대회에서 이연경 선수가 13 sec 23의 기록으로 우승을 하였다. 그러나 2011년 세계육상선수권대회에서는 정혜림 선수가 예선 탈락이라는 경기 성적을 보였다.

100 m 허들 경기는 세계 엘리트 선수들과 경쟁할 수 있는 육상 종목으로써 경기력 향상을 위한 기술적 변인 연구가 국내에서는 아직 미비한 실정이며, 국제대회에서 내세울 수 있는 경기력 향상 지원으로서의 운동역학의 역할을 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 국내 허들 경기가 세계 수준급으로 도약하기 위해서는 경기력 향상을 위한 과학적인 분석과 기술 향상을 위한 많은 연구자들의 노력과 지원이 필요하다.

여자 100 m 허들 경기는 보통 4th에서 6th 허들구간에서 속도가 최고에 도달한다고 하였으며(Muller & Hommel, 1997), 5th에서 6th 허들을 넘는 시점이 마지막 허들까지 속도의 유지 흐름을 좌우하는 중간 매개체 역할을 한다고 하였다(Ryu & Chang, 2011). 이러한 이유로 이 연구에서도 선행연구와 동일한 분석구간을 선정하였으며 2011 대구세계육상선수권대회에서 100 m 허들 결승에 진출한 12초대 국외 우수선수 4명을 대상으로 5th와 6th 허들을 넘는 기술의 특성을 분석하여 국내 여자 허들선수들의 경기력 향상을 위한 정량적 자료와 기술적 개선 방향을 제시하는데 이 연구의 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

이 연구의 분석대상은 2011대구세계육상선수권대회 여자 결승 경기 중 1위부터 4위까지 총 4명의 선수를 분석대상으로 선정하였으며, 이들의 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Final Results

Rank	Name	Country	Result	Age (yrs.)	Height (m)	Weight (kg)
1	Sally Pearson	AUS	12.28	26	1.67	60.0
2	Danielle Carruthers	USA	12.47	32	1.65	59.9
3	Dawn Harper	USA	12.47	28	1.68	60.0
4	Tiffany Porter	GBR	12.63	25	.	.

2. 실험 절차 및 자료처리

이 연구는 세계육상연맹에서 승인하고 한국운동역학회주관으로 수행되어진 프로젝트로서 이 연구에서 사용된 실험절차 및 자료처리는 Park et al.(2011)의 남자 110m 허들에 대한 연구와 동일하게 수행되었다.

III. 결 과

1. 도약국면의 운동학적 특성

도약국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성은 <Table 2>와 <Figure 1>에 잘 나타나 있다. 5th와 6th 허들 구간에서 이륙국면의 운동학적 변인에 대한 특성을 보면, 이륙국면에 있어서 이륙시간은 Harper 선수가 0.10 sec로 두 허들에서 소요되는 시간이 같았고 Person, Carruthers, Porter 선수들은 두 허들 간에 0.02 sec의 시간 차이를 보였다.

허들로부터 이륙지점까지 거리(L1)는 Porter 선수가 2.24 m로 허들로부터 동일한 지점의 거리에서 이륙하는 것으로 나타났고 Pearson, Carruthers, Harper 선수는 일정하지 않은 것으로 나타났다. 특히 Harper 선수는 6th 허들을 1.90 m로 가장 가깝게 도약하는 것으로 나타났다.

이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)는 5th 허들보다 6th 허들에서 Porter 선수가 0.09 m로 동일하였고 나머지 선수들은 0.01 m씩 낮아졌다. 이 높이의 변화는 평균 0.08 m로 나타났다.

C.G.의 이동거리(KSP)와 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각 그리고 동심순간의 수직속도는 서로 연계성을 가지고 있는 것으로 나타났다. C.G.의 이동거리(KSP)는 Pearson과 Carruthers 선수가 5th에서 각각 0.73 m, 0.74 m를 나타냈고 Harper 선수가 6th에서 0.75 m로 짧은 이동거리의 변화를 보였다. 그리고 이 시점에서 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자

세각 변화는 각각 12.5°, 2.3°, 7.3°로 C.G.의 이동거리(KSP)가 발구름 다리의 자세각의 변화와 관계가 있는 것으로 나타났다. 다만 동심순간에서의 수직속도는 Pearson 선수의 경우 1.19 m/s인 반면에 Carruthers 선수의 경우 1.32 m/s로 발구름 다리의 자세각 변화가 클수록 수직속도가 낮아지는 것으로 나타났다. 동심순간 C.G.와 허들과의 수평거리(X1)는 Carruthers 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 20.2 m, 1.87 m로 가장 멀리서 도약하는 것으로 조사되었고 이 거리는 이심순간에 C.G.와 허들과의 수평거리(X0)가 멀수록 멀리서 도약하는 것으로 나타났다. 그리고 이륙지점에서 C.G.까지 수평거리(W1)는 Carruthers 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 0.44 m, 0.41 m로 거의 일정한 C.G.의 이동거리로 허들을 향해 도약하는 것으로 나타났다.

이륙국면에서 C.G.의 속도 성분을 보면, 이심순간에서 C.G.의 수평속도는 Harper 선수가 5th 허들에서 9.45 m/s로 가장 빨랐으며 이 시점에서의 수직속도도 -0.55 m/s로 가장 크게 나타났다. 이심순간에서 C.G.의 합성속도는 Harper 선수가 9.46 m/s로 가장 높았고 Carruthers 선수가 5th에서 8.57 m/s로 가장 작았다. 그러나 동심순간에서 C.G.의 합성속도는 Carruthers 선수가 9.16 m/s로 속도가 증가되었고 나머지 모든 선수들은 감속되는 것으로 나타났다. 허들링을 위해 스윙 다리의 무릎과 발목의 속도를 보면, 이심순간은 Porter 선수가 5th 허들에서 14.10 m/s와 15.44 m/s로 가장 빠르게 무릎과 발목을 끌어당기는 것으로 나타났고 동심순간은 Pearson과 Harper 선수가 각각 4.34 m/s와 4.07 m/s로 무릎의 감속을 가장 크게 하였으며 특히 Harper 선수는 동심순간에 발목의 속도가 17.78 m/s로 무릎 보다 발목의 속도를 증가시켜 리드하는 다리를 빠르게 뺀 것으로 나타났다.

2. 비행국면의 운동학적 특성

<Table 3>은 비행국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성을 나타낸 것이다.

C.G.의 비행시간은 Pearson과 Harper 선수가 5th와 6th 허들에서 0.28 sec로 동일한 비행시간을 보였고, Carruthers 선수는 5th 허들에서 0.32 sec, 6th 허들에서 0.30 sec로 긴 비행시간을 보였다. Porter는 5th 허들보다 6th 허들이 0.30 sec로 일정하지 않은 비행시간을 보였다. 비행국면에서 서 각각 2.83 m와 2.62 m로 가장 긴 비행을 하였고 두 허들 간에 비행거리의 차이도 0.21 m로 가장 크게 나타났다. 허들 위의 C.G. 높이(H3)에 있어서는 Pearson 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 0.26 m, 0.23 m로 가장 낮은 높이로 허들을 넘는 것으로 나타났다. 반면에 Porter 선수는 6th 허들을 0.40 m로 허들을 높게 넘는 것으로 나타났다.

Table 2. Kinematics parameters of takeoff phase

Factors	Subject Hurdle	Pearson		Carruthers		Harper		Porter		M	
		5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Time Factor(sec.)											
Duration of takeoff(CT)		0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10	0.10
Linear Distance Factors(m)											
Distance of the takeoff point from the hurdle(L1)		2.12	2.27	2.44	2.28	2.11	1.90	2.24	2.24	2.23	2.17
Height of C.G. in the excentric event(H1)		0.90	0.90	0.89	0.95	0.95	0.99	0.97	1.05	0.93	0.97
Height of C.G. in the concentric event(H2)		0.99	0.98	0.97	1.02	1.03	1.06	1.06	1.14	1.01	1.05
Horizontal distance of C.G. in the knee swing phase(KSP)		0.73	0.88	0.74	0.88	0.92	0.75	1.01	1.02	0.85	0.88
Horizontal distance of C.G. in the excentric event from hurdle(X0)		2.41	2.48	2.76	2.75	2.41	2.10	2.70	2.56	2.57	2.47
Horizontal distance of C.G. in the concentric event from hurdle(X1)		1.68	1.60	2.02	1.87	1.49	1.35	1.69	1.54	1.72	1.59
Horizontal distance of C.G. at the takeoff(W1)		0.44	0.67	0.42	0.41	0.62	0.55	0.55	0.72	0.51	0.59
Linear Velocity Factors(m/s)											
Horizontal velocity of C.G. in the excentric event		8.90	8.99	8.56	9.17	9.45	9.11	9.21	9.08	9.03	9.09
Vertical velocity of C.G. in the excentric event		-0.36	-0.29	-0.37	-0.06	-0.55	-0.32	-0.22	-0.44	-0.38	-0.28
Resultant velocity of C.G. in the excentric event of takeoff		8.93	9.00	8.57	9.17	9.46	9.12	9.21	9.09	9.04	9.10
Horizontal velocity of C.G. in the concentric event		8.78	8.71	9.07	8.68	9.25	8.74	8.49	8.69	8.90	8.71
Vertical velocity of C.G. in the concentric event		1.19	1.06	1.32	1.46	1.01	0.99	1.14	1.24	1.17	1.19
Resultant velocity of C.G. in the concentric event of takeoff		8.86	8.78	9.16	8.80	9.30	8.80	8.56	8.77	8.97	8.79
Knee swing velocity in the excentric event		13.40	14.04	12.35	13.70	12.99	12.90	14.10	13.91	13.21	13.64
Ankle swing velocity in the excentric event		14.11	13.98	15.21	13.65	14.66	11.87	15.44	15.21	14.86	13.68
Knee swing velocity in the concentric event		9.84	9.70	10.64	9.83	9.95	8.83	11.39	12.28	10.46	10.16
Ankle swing velocity in the concentric event		15.01	15.96	15.02	15.92	16.13	17.78	16.45	16.93	15.65	16.65
Angle Factors(°)											
Angle of takeoff leg in the excentric event		76.9	71.9	69.9	64.7	75.5	67.7	62.9	71.9	71.3	69.1
Angle of takeoff leg in the concentric event		64.4	54.3	67.6	60.4	57.4	60.4	62.2	63.8	62.9	59.7

C.G.: Center of gravity

Table 3. Kinematics parameters of flight phase

Factors	Subject Hurdle										
		Pearson		Carruthers		Harper		Porter		M	
		5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Time Factor(sec.)											
Duration of flight phase(FT)		0.28	0.28	0.32	0.30	0.28	0.28	0.28	0.30	0.29	0.29
Linear Distance Factors(m)											
Horizontal distance of C.G. in the flight phase(W2)		2.56	2.52	2.83	2.62	2.53	2.53	2.49	2.46	2.60	2.53
Height of C.G. above the hurdle(H3)		0.26	0.23	0.28	0.31	0.27	0.30	0.30	0.40	0.28	0.31

3. 착지국면의 운동학적 특성

<Table 4>는 착지국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성을 나타낸 것이다. C.G.의 수평거리(W2)는 Carruthers 선수가 5th와 6th허들에허들과 착지지점과의 거리(L2)는 Porter 선수가 0.91 m로 5th와 6th에서 동일한 거리를 보였고 Pearson 선수는 6th 허들에서 0.95 m를 보여 두 선수만이 1.00 m내의 짧은 착지거리를 보였다. Pearson 선수는 5th 허들과 나머지 선수들은 1.00 m이상의 착지거리를 나타냈다. 착지 시 C.G.의 높이(H4)는 Pearson 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 1.03 m, 1.07 m로 C.G.의 높이 변화가 작은 것으로 나타났고 나머지 선수들은 큰 변화를 보였다.

착지국면에서 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)는 Porter 선수가 0.11 m로 두 허들에서 정확히 일치하는 것으로 나타났고 나머지 선수들은 착지하는 발보다 C.G가 뒤에 있거나 혹은 앞에 있는 것으로 나타났다. 그리고 Pearson(0.95 m) 선수처럼 허들과 착지지점의 거리가 가까워지거나 Pearson(6th: 1.07 m), Carruthers(6th: 1.15 m), Harper(6th: 1.14 m), Porter(6th: 1.24 m) 선수들처럼 C.G.의 높이가 높으면서 이심순간에 착지 다리의 각도가 6th 허들에서 Pearson(80.1°), Carruthers(76.2°), Harper(83.5°), Porter(76.4°) 선수들처럼 클수록 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)가 가까워지는 것으로 조사되었다.

착지순간 C.G.의 수평속도는 Pearson 선수가 5th와 6th 허들에서 8.61 m/s와 8.52 m/s로 수평속도의 감속의 폭이 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고 모든 선수들이 5th 허들보다 6th 허들에서 수평속도가 감속된 상태에서 착지되는 특성을 보였다. 허들링을 수행하는 스윙다리의 무릎과 발목의 속도는 Carruthers 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 10.86 m/s, 11.52 m/s와 14.92 m/s, 14.27 m/s로 무릎을 당기는 속도가 다른 선수들에 비해 빨랐지만 발목의 속도는 Harper선수의 6th허들을

제외하면 전반적으로 느린 것으로 나타났다. 그리고 Pearson 선수는 무릎과 발목에서 각각 10.22 m/s에서 10.86 m/s로, 15.11 m/s에서 16.13 m/s로 속도가 증가된 특성을 보였다. 이 심순간에 착지 다리의 자세각은 모든 선수들이 5th 허들보다 6th 허들에서 자세각이 커진 특성을 보였다.

4. 5번 허들과 6번 허들간의 스텝 길이

<Table 5>는 허들 간 스텝의 보폭과 총 보폭 거리를 나타낸 것이다.

Table 5. Step length between 5th and 6th hurdle

Subj Step	Pearson	Carruthers	Harper	Porter	M
1 step length m	1.60 (30.9%)	1.39 (27.0%)	1.66 (30.6%)	1.49 (27.4%)	1.54 (29.0%)
2 step length m	1.88 (36.4%)	2.08 (40.5%)	2.12 (39.0%)	2.18 (40.1%)	2.07 (39.0%)
3 step length m	1.69 (32.7%)	1.67 (32.5%)	1.65 (30.4%)	1.77 (32.5%)	1.70 (32.0%)
Total length m	5.17	5.14	5.43	5.44	5.30

허들과 허들 사이의 보폭 변화는 모든 선수들이 1 스텝에 가장 짧았고 이후 2 스텝이 가장 길었으며 3 스텝은 다시 짧아지는 스텝 변화를 보였다. 5th와 6th 허들 사이의 세 보폭의 총 거리는 Pearson 선수가 5.17 m로 1 스텝은 1.60 m(30.9 %), 2 스텝은 1.88 m(36.4 %), 3 스텝은 1.69 m(32.7 %), Carruthers 선수가 5.14 m로 1 스텝은 1.39 m(27.0 %), 2 스텝은 2.08 m(40.5 %), 3 스텝은 1.67 m(32.5 %), Harper 선수가 5.43 m로 1 스텝은 1.66 m(30.6 %), 2 스텝은 2.12 m(39.0 %), 3 스텝은 1.65 m(30.4 %), Porter 선수가 5.44 m로 1 스텝은 1.49 m(27.4 %), 2 스텝은 2.18 m(40.1 %), 3 스텝은 1.77 m(32.5 %)로 Harper와 Porter 선수가 가장 길었고, Pearson과 Carruthers 선수가 상대적으로 짧았다.

Table 4. Kinematics parameters of landing phase

Subject Hurdle Factors	Pearson		Carruthers		Harper		Porter		M	
	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Linear Distance Factors(m)										
Distance of landing point from the hurdle(L2)	1.11	0.95	1.12	1.00	1.07	1.07	0.91	0.91	1.05	0.98
Height of C.G. at landing after the hurdle(H4)	1.03	1.07	1.03	1.15	1.03	1.14	1.02	1.24	1.03	1.15
Horizontal distance of C.G. and the point of landing(W3)	0.23	0.03	0.31	0.25	0.03	-0.11	0.11	0.11	0.17	0.07
Linear Velocity Factors(m/s)										
Horizontal velocity of C.G. in the landing phase	8.61	8.52	8.70	8.45	8.85	8.40	8.96	8.35	8.78	8.43
Vertical velocity of C.G. in the landing phase	-0.71	-0.65	-0.73	-0.72	-0.66	-0.64	-0.79	-0.99	-0.72	-0.75
Resultant velocity of C.G. in the landing phase	8.64	8.55	8.74	8.48	8.87	8.43	8.99	8.41	8.81	8.47
Velocity of knee swing	10.22	10.86	11.52	10.87	10.57	9.27	10.73	10.56	10.76	10.39
Velocity of ankle swing	15.11	16.13	14.92	14.27	15.38	12.96	17.54	16.01	15.74	14.84
Angle Factors(°)										
Angle of landing leg in the excentric phase	76.7	80.1	72.4	76.2	80.3	83.5	74.8	76.4	76.1	79.1

Figure 1. Top 4 rank athletes; kinematic data of 5th and 6th hurdling. (From top to down: Pearson(Rank 1), Carruthers(Rank 2), Harper(Rank 3) and Porter(Rank 4))

IV. 논 의

이륙국면에 있어서 이륙시간은 Harper 선수가 0.10 sec로 두 허들에서 소요되는 시간이 같고 Pearson과 Carruthers 선수는 0.08 sec와 0.10 sec로 이륙시간이 짧게 나타났다.

Ryu(2007)은 Lee와 Bukovec 선수의 이륙시간이 0.10 sec에서 0.12 sec라고 보고 하였다. Ryu와 Chang(2011)은 2010년 대구국제육상경기대회에서 여자 100 m 허들 결승 출전자 6명의 선수들의 이륙시간이 0.10 sec에서 0.12 sec라고 보고 하였다. 이 연구에서 이륙시간의 소요시간은 선행연구의 결과보다 다소 짧게 나타났다. 이륙시간이 짧은 것은 발이 지면에 닿는 시간이 짧다는 것으로 경기력을 단축시킬 수 있다 판단된다.

허들로부터 이륙지점까지 거리(L1)는 Porter 선수가 2.24 m로 허들로부터 동일한 지점의 거리에서 이륙하는 것으로 나타났다. Peason, Carruthers, Harper 선수는 일정하지 않은 것으로 나타났다. 특히 Harper 선수는 6th 허들을 1.90 m로 가장 가깝게 도착하는 것으로 나타났다. 동심순간 C.G.와 허들과의 수평거리(X1)는 Carruthers 선수가 5th와 6th 허들에서 가장 멀리서 도착하는 것으로 조사되었고 이 거리는 이심순간에 C.G.와 허들과의 수평거리(X0)가 멀수록 멀리서 도착하는 것으로 나타났다.

Salo et al.(1997)는 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 평균 2.09 m라고 보고하였고, Hucklekemes(1990, 1991)는 1.90 m에서 2.00 m내에 있다고 하였다. 이 연구에서 Harper 선수만이 6th 허들에서 선행연구의 결과와 유사한 결과를 나타났다. 허들로부터 이륙지점까지 거리는 신체가 허들 위로 비행하여 넘을 갈 때 높이에 영향을 미치는데 이 거리가 허들로부터 멀수록 허들을 낮게 넘을 수 있다는 이점과 더불어 허들에 부딪치지 않기 위해 높게 넘을 수도 있다는 단점을 가지고 있다. Coh & Dolenec(1996)는 멀리서 이륙하여 허들을 넘을 때는 허들 간 보폭의 리듬과 스피드, 이륙순간의 파워(power)를 조화롭게 잘 발휘할 수 있는 수준이 되어야 하고 특히 선수의 형태학적인 특성이 잘 고려해야 한다고 하였다(Ryu & Chang, 2011). 따라서 이 연구의 선수들은 이륙거리를 조정할 필요하다고 판단된다.

이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)는 Porter 선수가 5th와 6th 허들에서 C.G.의 높이 차이는 있었지만 변화는 0.09 m로 동일하였고 나머지 선수들은 0.01 m씩 낮아졌다. 이 높이의 변화는 평균 0.08 m로 나타났다.

Ryu와 Chang(2011)은 이심순간과 동심순간에서 C.G.의 높이가 0.04~0.08 m로 평균 0.06 m의 높이 변화가 있다고 보고하였다. Ryu(2007)는 Bukovec과 이연경 선수를 대상으로 연구한 결과에서 Bukovec 선수는 0.09 m(Coh et al., 1998), 이연경 선

수는 0.09 m~0.11 m의 높이 변화가 있다고 보고하였다. 이 연구의 결과는 선행연구와 0.01~0.02 m의 차이는 있었지만 두 허들 간에 높이 변화가 거의 일정하게 나타난 것으로 일관성 있는 동작을 수행하고 있다고 할 수 있다.

C.G.의 이동거리(KSP)는 5th와 6th 허들에서 각각 평균 0.85 m와 0.88 m로 나타났고 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각은 각각 평균 71.3°와 62.9°, 69.1°와 59.7°로 동심순간에 자세각이 작아지는 것으로 나타났다. Peason과 Carruthers, Harper 선수들은 5th와 6th에서 1.00 m이내로 짧은 이동거리의 변화를 보였고 Porter 선수만이 1.00 m이상의 거리 변화를 보였다. 동심순간에서의 수직속도는 Peason 선수의 경우 1.19 m/s인 반면에 Carruthers 선수의 경우 1.32 m/s로 발구름 다리의 자세각 변화가 클수록 수직속도가 낮아지는 것으로 나타났다.

Ryu와 Chang(2011)은 이심과 동심순간에 발구름 다리의 자세각이 각각 평균 64.12°와 77.76°라고 보고하였으며 동심순간에 발구름 다리의 자세각이 이심순간보다 작아야 허들을 향해 신체를 공격적으로 던질 수 있고 C.G.의 이동거리(KSP)와 이륙지점에서 C.G.의 수평거리(W1)를 길게 하여야 이륙순간 도착각을 작게 하고 허들을 낮게 넘을 수 있다고 하였다. 그리고 Coh & Dolenec(1996)는 이심순간에서 발구름 다리의 자세각이 67.1°에서 68.7°이고 동심순간에서는 77.5°에서 74.8°라고 보고하였고 이심순간에서 발구름 다리의 자세각도가 67° 전후이면서 가장 추진력 있는 발구름을 할 수 있다고 하였다. 이 연구에서는 선행연구의 이심과 동심순간에 발구름 다리의 자세각 변화와는 상반된 결과를 보였고 선행연구자들이 지적한 것처럼 동심순간에 발구름 다리의 자세각이 작아야 C.G.의 이동거리(KSP)와 이륙지점에서 C.G.의 수평거리(W1)가 길어지고 수직속도를 작게 할 수 있다는 것과 일치하였다. Carruthers 선수는 발구름 다리의 자세각의 변화가 작았기 때문에 수직속도가 높게 나타난 것으로 판단되며 Harper 선수는 허들과 이륙지점이 가까움에도 불구하고 수직속도가 낮은 것은 발구름 다리의 자세각의 변화가 크고 이륙지점에서 C.G.의 수평거리(W1)가 길었기 때문이라고 판단된다. 따라서 국내 엘리트 선수들은 C.G.의 이동거리(KSP)와 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각, 동심순간의 수직속도 그리고 허들 위 C.G.의 높이와 상호 관련성이 있기 때문에 이 변인들에 대한 기술적인 훈련이 필요하다.

이륙국면에서 이심순간에서 동심순간으로 전환될 때 C.G.의 수평속도는 Carruthers 선수가 5th에서 8.56 m/s에서 9.07 m/s로 증가하였고 나머지 선수들은 감소되었다.

Coh et al.(1998)은 Bukovec 선수의 경우 이심순간에 8.39 m/s에서 동심순간에 8.66 m/s로 수평속도를 이륙순간에 증가시키는 것이 이상적이라고 하였다. Ryu와 Chang(2011)은 허들을 넘는 도약 준비단계에서 수평속도의 감속을 최소화하고 속

도를 유지하는 것이 더 중요하다고 하였다. 이 연구에서는 Carruthers 선수의 5th 허들을 제외하고 선행연구의 결과와 상반되게 모든 선수들이 감속되었다. Carruthers 선수의 5th 허들에서 수평속도가 증가된 것은 허들을 넘기 위해 차는 다리와 상체의 전방 기울임이 빠르게 수행하였기 때문이라 판단된다.

이심순간에 무릎과 발목의 속도는 Porter 선수가 5th 허들에서 14.10 m/s와 15.44 m/s로 가장 빠르게 무릎과 발목을 끌어당기는 것으로 나타났고 동심순간은 Pearson과 Harper 선수가 각각 4.34 m/s와 4.07 m/s로 무릎의 감속을 가장 크게 하였으며 특히 Harper 선수는 동심순간에 발목의 속도가 17.78 m/s로 무릎 보다 발목의 속도를 증가시켜 리드하는 다리를 빠르게 뺄는 것으로 나타났다.

Coh & Dolenec(1996)는 허들을 향해 차는 다리의 발목의 속도가 17.90 m/s로 허들을 넘는 동안에 C.G.의 속도보다 2배 이상 빠르다고 하였다. 그리고 Coh et al.(1998)은 동심순간에 허들을 향해 차는 다리의 무릎 속도가 13.4 m/s이고 발목의 속도가 16.3 m/s로 C.G.의 수평속도의 약 2배라고 하였으며 허들을 넘는데 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

이 연구에서는 모든 선수들이 선행연구의 결과보다 무릎과 발목의 속도가 작게 나타났다. 이는 허들을 향해 차는 다리를 힘차게 뺄지 못하기 때문에 추진력을 더 얻기 위해서는 하퇴를 더 빠르게 차면서 상체를 전방으로 던지면서 기울여야 할 것으로 판단된다.

C.G.의 비행시간은 Pearson과 Harper 선수가 5th와 6th 허들에서 0.28 sec로 동일한 비행시간을 보였고, Carruthers 선수는 5th 허들에서 0.32 sec, 6th 허들에서 0.30 sec로 긴 비행시간을 보였다.

Coh & Dolenec(1996)는 4th와 5th허들에서 비행시간이 각각 0.32 sec와 0.30 sec라고 보고하였고 세계 정상급 선수들의 경우 0.29 sec에서 0.33 sec범위 내에 있다고 보고하였다. Ryu et al.(2007)은 5th허들에서 Lee 선수의 비행시간이 0.32 sec라고 보고하였다. Ryu와 Chang(2011)은 5th와 6th 허들에서 비행시간이 0.28 sec에서 0.33 sec범위 내에 있다고 보고하였다.

이 연구에서 비행시간은 선행연구의 결과와 유사하게 나타났다. Pearson과 Harper 선수처럼 비행시간이 짧으면 허들을 넘는 동안 수평속도를 줄일 수 있어 경기력을 향상시킬 수 있을 것이다.

비행국면에서 C.G.의 수평거리(W2)는 Carruthers 선수가 5th와 6th허들에서 각각 2.83 m와 2.62 m로 가장 긴 비행을 하였고 두 허들 간에 비행거리의 차이도 0.21 m로 가장 크게 나타났다. 허들 위의 C.G. 높이(H3)에 있어서는 Pearson 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 0.26 m, 0.23 m로 가장 낮은 높이로 허들을 넘는 것으로 나타났다. 반면에 Porter 선수는 6th 허들을 0.40 m로 허들을 높게 넘는 것으로 나타났다.

Hucklekemkes(1990, 1991)는 C.G.의 수평거리(W2)가 2.80 m에서 3.05 m범위 내에 있다고 보고하였다. Ryu와 Chang(2011)은 2.60 m에서 2.89 m범위 내에 있다고 보고하였다. 그리고 Ryu(2007)는 Bukovec 선수가 3.12 m, Lee 선수가 3.13 m라고 보고하였다.

이 연구에서는 선행연구의 결과보다 짧은 C.G.의 수평거리를 보였는데 이는 동심순간에 허들로부터 C.G.까지의 거리가 길었기 때문이라 판단된다. 그리고 허들 위의 C.G.의 높이도 낮았기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

허들과 착지지점과의 거리(L2)는 5th와 6th에서 Porter와 Pearson 선수가 각각 0.91 m와 0.95 m로 두 선수만이 1.00 m 내의 짧은 착지거리를 보였다. 나머지 선수들은 1.00 m이상의 착지거리를 나타냈다. 착지시 C.G.의 높이(H4) 변화는 Pearson 선수가 가장 작은 것으로 나타났고 나머지 선수들은 큰 변화를 보였다.

Salo et al.(1997)는 허들로부터 착지지점까지의 거리가 평균 1.10 m내에 있다고 보고하였고, Hucklekemkes(1990, 1991)는 0.90 m에서 1.05 m내에 있다고 하였다. Ryu와 Chang(2011)은 허들과 착지지점과의 거리(L2)가 0.86 m에서 1.19 m로 선수들 간에 편차가 크게 나타난다고 보고하였다.

이 연구에서는 선행연구들이 제시한 착지거리의 범위 내에 모든 선수들이 포함되어 있지만 Harper와 Porter 선수처럼 착지거리가 일정하게 나타나면 허들간 보폭의 변화를 일정한 패턴으로 유지할 수 있다고 판단된다. 그러나 이 거리가 너무 짧거나 길게 되면 3 스텝의 보폭에 변화가 크게 되는데 짧은 경우 피치 빈도를 떨어뜨릴 수 있고 반면에 길 경우에는 제동을 거는 달리기가 되어 속도의 감속을 초래할 수 있다.

착지국면에서 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)는 Porter 선수가 0.11 m로 두 허들에서 정확히 일치하는 것으로 나타났고 Harper 선수는 착지하는 발보다 C.G.가 앞에 있는 것으로 나타났다. 그리고 허들과 착지지점의 거리가 가깝거나 C.G.의 높이가 높으면서 이심순간에 착지 다리의 각도가 클수록 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)가 가까워지는 것으로 조사되었다.

McDonald와 Dapena(1991)는 착지지점과 C.G.의 수평거리가 짧을수록 착지 후 달리기 동작으로의 전환을 빠르게 할 수 있고 추진력을 발휘할 수 있어 감속된 속도를 증가시킬 수 있다고 보고하였다.

이 연구에서 Harper 선수는 착지하는 발보다 C.G.가 앞에 있었는데 그 이유는 착지하는 발을 너무 빨리 끌어당기거나 혹은 허들에 부딪쳐 일어나는 현상이라고 판단되며 이를 뒷받침 해주는 근거는 수평속도 8.40 m/s로 큰 감속을 보인 것이다.

착지국면에서 허들링을 수행하는 스윙다리의 무릎과 발목의 속도는 Carruthers 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 10.86 m/s,

11.52 m/s와 14.92 m/s, 14.27 m/s로 무릎을 당기는 속도가 다른 선수들에 비해 빨랐지만 발목의 속도는 Harper 선수의 6th 허들을 제외하면 전반적으로 느린 것으로 나타났다. 그리고 Pearson 선수는 무릎과 발목에서 각각 10.22 m/s에서 10.86 m/s로, 15.11 m/s에서 16.13 m/s로 속도가 증가된 특성을 보였다. Ryu와 Chang(2011)은 허들링을 수행하는 스윙다리의 무릎과 발목의 속도가 각각 7.89 m/s에서 8.43 m/s, 10.30 m/s에서 15.01 m/s라고 보고하였다.

이 연구에서는 선행연구보다 무릎과 발목의 속도가 더 빠르게 나타났으며 특히 Pearson과 Porter 선수가 발목의 속도가 16.00 m/s이상으로 나타났는데 이는 2 스텝으로의 빠른 질주 동작을 수행할 수 있게 하는 좋은 동작이라고 판단된다.

허들과 허들 사이의 보폭 변화는 모든 선수들이 1 스텝이 짧고 이후 2 스텝이 길고 3 스텝은 다시 짧아지는 변화를 보였다. 세 보폭의 총 거리는 Pearson 선수가 5.17 m, Carruthers 선수가 5.14 m, Harper 선수가 5.43 m, Porter 선수가 5.44 m로 Harper와 Porter 선수가 가장 길었고, Pearson과 Carruthers 선수가 상대적으로 짧았다. Ryu(2007)는 Bukovec과 이연경 선수를 대상으로 연구한 결과에서 이연경 선수 총 거리가 5.42 m로 1 스텝 1.58 m(29.2 %), 2 스텝 2.07 m(38.2 %), 3 스텝 1.77 m(32.7 %)로 Bukovec 선수는 총 거리가 5.31 m로 각각의 스텝 거리가 1.62 m(30.5 %), 1.92 m(36.2 %), 1.77 m(33.3 %)라고 보고하였다. Hucklekemkes(1991)는 여자 100m 허들의 기술적 모델이라는 연구에서 총 거리가 5.45 m로 1 스텝 1.65 m, 2 스텝 1.95 m, 3 스텝 1.85 m라고 보고하였다.

이 연구에서 총 거리는 Harper와 Porter 선수가 선행연구의 결과와 유사하게 나타났고 Pearson과 Carruthers 선수는 상당히 짧게 나타났다. 특히 Pearson 선수는 보폭의 변화 비율이 다른 선수와 다르게 나타났는데 이는 허들 중간 질주에서 2 스텝의 체공시간을 줄이기 위해 보폭을 조절한 것으로 판단되며 이와 같은 동작은 허들간 달리기 속도를 증가시킬 수 있는 달리기 주법이라고 판단된다.

V. 결 론

이 연구는 2011 대구세계육상선수권대회에서 100 m 허들 결승에 진출한 12초대 국외 우수선수 4명을 대상으로 5th와 6th 허들을 넘는 기술의 특성을 분석하여 국내 여자 허들선수들의 경기력 향상을 위한 정량적 자료와 기술적 개선 방향을 제시하기 위하여 수행되었고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 5th와 6th 허들 구간에서 이륙국면에서 이륙시간은 경기력이 우수한 선수일수록 소요되는 시간이 짧은 것으로 나타났

다. 또한 Harper 선수의 6th 허들을 제외하고 모든 선수들의 허들로부터 이륙지점까지의 거리(L1)은 평균 2.23 m와 2.17 m로 Hucklekemkes(1991)가 제시한 1.90 m에서 2.00 m와 Salo et al.(1997)이 제시한 평균 2.09 m 거리보다 더 멀리에서 이륙한 것으로 나타났다.

2. C.G.의 비행시간은 허들 위의 C.G.의 높이가 낮고 C.G.의 수평거리(W2)가 짧을수록 소요되는 시간이 짧게 나타났다. 짧은 C.G.의 수평거리는 이륙국면에서 동심순간에 허들로부터 C.G.까지의 거리가 길었기 때문으로 생각된다.

3. 허들과 착지점과의 거리(L2)는 선수들 마다 차이는 있었지만 Pearson(Rank 1), Carruthers(Rank 2)에 비하여 Harper(Rank 3) and Porter(Rank 4) 선수가 일정한 착지거리를 나타내었다.

4. 허들과 허들 사이의 보폭 변화는 모든 선수들이 1 스텝이 짧고 이후 2 스텝이 길고 3 스텝은 다시 짧아지는 변화를 보였다. 접지순간에서 착지다리의 각도가 클수록 착지점과 C.G.의 수평거리가 작았다. Pearson 선수는 보폭의 변화 비율이 2 스텝에서 작게 나타났다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., Karara, H. M.(1971). *Direct linear transformation: From comparator coordinates into object coordinates in close-range photogrammetry*. Proceeding of ASPUI symposium on Cross-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois(1-19).
- Coh, M. & Dolenec, A.(1996). Three-dimensional kinematic analysis of the hurdles technique used by Brigita Bukovec. *New Studies Athletics. IAAF*. 11. 1. 63-69.
- Coh, M., Kastelic, J., Pintaric, S.(1998). A Biomechanical model of the 100m-hurdles of Brigita Bukovec. *USA Track and Field Track Coach*. Winter. 142. 4521-4529.
- Coh, M.(2003). Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New Studies Athletics. IAAF*. 18. 1. 37-45.
- Dapena, J.(1991). Hurdle clearance technique. *Track and Field Quarterly Review*. 116(3). 710-712.
- Hucklekemkes, J.(1990). Model technique analysis sheets for the hurdles. PART VI: The Women's 100 meters Hurdles. *New Studies Athletics. IAAF*. 4. 33-58.
- Hucklekemkes, J.(1991). Model technique for the women's 100-meter hurdles. *Track Technique*, Winter. 3759-3766.

- Hucklekemkes, J.(1992). Model technique for the women's 100m-hurdles. *USA Track and Field*. Winter. 118, 5759-5766.
- Kwon, Y. H.(2005). Kwon3D Motion Analysis Package. Version 3.1 Seoul, Korea: Visol Corp.
- Lee, J. H. & Ryu, J. K.(2007). The kinematic analysis of horizontal velocity and records from start to finish of the elite women 100m hurdler. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 31-39.
- McDonald, C. & Dapena, J.(1991). Linear kinematics of the men's 110m and women's 110m hurdles races. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1382-1391.
- Muller, H., & Hommel, H.(1997). Biomechanical Research Project at the VI World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report. *New Studies Athletics. IAAF*. 12(2-3), 43-73.
- Park, Y., Ryu, J., Ryu, J., Kim, T., Hwang, W., Park, S., & Yoon, S.(2011). Kinematic Analysis of the Hurdle Clearance Technique of 110m Men's Hurdlers in 2011 IAAF World Championships Dague, *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21, under review.
- Plagenhoef, S.(1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.
- Ryu, J. K.(2007). Comparison of biomechanical model of the Brigita Bukovec and Lee Yeon-Kyoung's 100m hurdles. *Korean Society of Sport and Leisure Studies*, 30, 493-506.
- Ryu, J. K., Chang, J. K., Yeo, H. C., & Lim, J. W.(2007). Comparison of kinematic variables of the elite woman's 100m hurdler. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 149-156.
- Ryu, J. K., Yeo, H. C., & Chang, J. K.(2007). The kinematic analysis and comparison of foreign and domestic 100m elite woman's hurdling techniques. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 157-167.
- Ryu, J. K. & Chang, J. K.(2011). Kinematic analysis of the hurdle clearance technique used by world top class woman's hurdler. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(2), 131-140.
- Salo, A., Grimshaw, P. N. & Marar, L.(1997). 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 231-237.
- Stein, N.(2000). Reflections on a change in the height of the hurdles in the women's sprint hurdles event. *New Studies Athletics. IAAF*. 15. 2. 15-19.
- Taylor T.(1992). Lead-leg snap down. *Track Technique*, summer. 3822-3843.
- Tsarouchas, L., Kalamaras, K., Papadopoulos, C. & Giavroglou, G.(1993). Approach phase for the clearance of the hurdle in the 110m high hurdles run. *Track and Field Quarterly Review*. 93(1). 40-45.
- Yu, B. & Hay, J. G.(1995). Angular momentum and performance in the triple jump: Across-sectional analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11. 81-102.