한국운동역학회지, 2003, 제13권 3호, pp. 27-46
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 3, pp. 27-46

세단뛰기 지지국면 시 사지의 운동학적 변인과 전신 무게중심의 속도 변화와의 관계

류재균*(경희대학교) · 정철정**(성균관대학교) · 박 진*** (서울여자대학교)

ABSTRACT

The Relationship between Kinematics of the Limb motions and Changes in the Velocity of the Center of Gravity of the Whole Body during Support Phase in the Triple Jump

Ryu, Jae-Kyun* · Jung Chul-Jung** · Park Jin***

(Kyung Hee University* · Sungkyunkwan University** · Seoul Women's University***)

R. J. Ryu, C.J. Jung, J. Park, The Relationship between Kinematics of the Limb motions and Changes in the Velocity of the Center of Gravity of the Whole Body during Support Phase in the Triple Jump. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 13, No. 3, pp. 27-46, 2003. The purposes of this study were to determine the functions of actions of the limbs during each of the three support phases of the triple jump and their relationships with the performance of the triple jump. Four elite male triple jumpers were participated as subjects.

The statistical analyses used were the Pearson product moment correlation coefficient for establishing relationships and simple regression analyses to determine and compare the

2003년 10월 26일(일) 접수

* Corresponding author, 교수, 449-701, 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 체육대학
연락처 : ryu69kor@korea.com, Tel : 011-781-4165

** 교수, 440-746, 경기도 수원시 장안구 천천동 300번지 성균관대학교 스포츠과학과

*** 교수, 139-774, 서울시 노원구 공릉동 126 서울여자대학교 체육학과

relationships between the change of the horizontal velocity and the change of the vertical velocity during different support phases. A level of significance at $p < .05$ was set.

The actions of the arms were responsible for about 25%, 25%, and 30% of the decrease in the horizontal velocity of the whole body center of gravity during the support phases of the hop, step, and jump, respectively. The change in the velocities of the whole body center of gravity due to the actions of the free limbs were significantly related with the whole body center of gravity during each support phase. The action of the support leg was associated with the decrease in the horizontal velocity and the increase in the vertical velocity of the whole body center of gravity during each support phase.

KEY WORDS : KINEMATICS, HORIZONTAL VELOCITY, VERTICAL VELOCITY, LIMBS

I. 서론

세단뛰기를 성공적으로 수행했다는 것은 도움닫기 이용하여 홉, 스텝, 점프 세 국면의 연속적인 도약과 착지를 통해 최대 수평거리를 수립하는 것이다. 연속적인 세 국면에서 전신 무게중심의 속도와 각도 요인은 세단뛰기의 경기력과 관련하여 상당히 중요한 요인으로 간주되고 있으나 이 두요인의 변화에 영향을 미치는 것은 사지의 운동학적 변인들이다.

세단뛰기 운동학적 변인인 전신 무게중심의 속도는 수평·수직속도의 감소와 증가만을 설명할 수 있을 뿐 세단뛰기 운동수행에서 사지의 동작 변화로 인한 신체 자세와 전신 무게중심의 속도 변화를 설명하기에는 부적합하다. 이것은 홉, 스텝, 점프에서의 팔에 대한 기술 유형과 다리 동작 그리고 착지동작을 강조하는 것이다.

Knoedel(1984)는 Big 8 선수권에서 6명의 세단뛰기 선수를 대상으로 착지동작을 조사하였으며, 착지순간에 발의 수평속도를 증가시키면 전체 기록에 0.191m가 증가되고, 할퀴는 동작을 사용하여 발의 수평속도가 감소되면 0.191m가 감소된다고 보고하였다. Yu(1993)와 Yu와 Andrews(1998)는 1992년 미국 올림픽 예선 경기에 참가한 13명의 세단뛰기 선수들을 대상으로 자유로운 팔과 다리와 세단뛰기 운동수행과의 관계에서 자유로운 팔과 다리는 전신 무게중심의 수평속도를 감소시키고 수직속도를 증가시키는 것과 관계가 있다고 하였다. 세단뛰기 선수의 자유로운 사지의 각운동량은 운동을 수행하는 동안에 균형을 유지하기 위한 것으로 세단뛰기 선수의 능력에 큰 영향을 미치고 전후방향의 속도 유지와 수직속도를 일으켜 기록에 영향을 미친다(Hay, 1992; Donley, 1992; Hackett, 1995). 이러한 결과들이 지적하고 있는 것은 세 번을 도약하는 세단뛰기에서 지면을 발구름하는 다리의 동작은 운동방향과 반대이면서 신체를 운동방향으로 밀어내고 자유로운 사지의 동작은 운동진행 방향과

방향이 같기 때문에 전신의 무게중심 속도 변화에 기여한다. 따라서 지지국면동안에 사지동작의 역할이 세단뛰기 경기력에 영향을 미친다는 것이다. 그러나 세단뛰기 지지국면에서 전신 무게중심의 속도변화와 사지동작과의 관계를 세분화하여 기술한 연구는 미흡하며 이에 대한 연구가 필요하다.

세단뛰기 경기력 향상과 관련하여 수평·수직속도와 도약 각도 및 최적의 국면비가 기록에 영향을 미치는 효과는 80년대부터 현재까지 적지 않은 연구자들에 의해 구명되어 왔다(류재균, 1995; 류재균, 김창환과 김혜영, 2000; 류재균과 윤희중, 2001; 조필환과 김갑선, 2000; Fukushima, Imoto, Kobayashi & Miyashita, 1981; Hay, 1994, 1995, 1997, 1999; Larkins & Ramey 1994; Miller & Hay, 1986; Yu, 1999; Yu & Hay, 1996). 이 선행 연구자들의 공통적인 결과는 세단뛰기 각 지지국면시 수평속도의 손실과 수직속도의 이득이 선형 관계에 있다는 것이며, 수평속도 감소량을 줄이기 위해서는 발구름하는 다리가 할퀴는(pawing) 동작으로 지면을 차고 자유로운 사지가 운동방향으로 힘차게 스윙을 하여야 한다고 보고하고 있다.

세단뛰기 운동수행과 관련하여 자유로운 사지의 각운동량과 전신의 각운동량과의 관계는 몇몇 연구자들(Yu & Andrews, 1998; Yu & Hay, 1995)에 의해 구명되었다. 이 선행 연구자들의 결과를 보면, 팔 동작은 홉, 스텝, 점프 지지국면에서 운동방향으로의 무게중심 수평속도를 각각 9%, 16%, 19% 감소시키고 수직속도를 약 9% 증가시킨다고 보고하고 있다. 그리고 자유다리의 동작은 스텝과 점프 지지국면에서 전신 무게중심의 수직속도를 약 3% 증가시키는데 공헌한다고 하였다.

앞에서 기술한 선행연구들을 살펴보면, 대다수의 선행연구들이 전신 무게중심에 대하여 속도, 각도, 국면비에 국한하여 연구가 이루어져 왔으며, 세단뛰기 사지동작과 관련하여서는 발구름하는 다리를 배제한 나머지 자유로운 사지에 대하여 운동학적, 운동역학적 변인들을 조사하여 이 변인들이 기록과 전신 무게중심의 속도 변화와 어떠한 관계가 있는지를 구명하였다. 많은 연구자들은 세 번의 지지국면에서 지지다리가 속도와 각운동량 변화에 크게 영향을 미치고, 자유로운 사지 역시 수평속도 유지와 수직속도 증가 그리고 전신의 회전을 조절하는 역할을 한다고 진술하고 있다. 따라서 세단뛰기 경기력 향상을 위하여 지지국면에서 일어나는 자유로운 사지와 발구름하는 다리의 운동학적 변인들과 전신 무게중심의 속도 변화사이의 관계를 구명할 필요가 있다.

이 연구의 목적은 홉, 스텝, 점프를 나누어 수행하여 선수가 각 국면의 운동수행 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 한 후 세단뛰기 세 번의 지지국면에서 자유로운 사지와 발구름하는 다리의 운동학적 변인들과 전신 무게중심의 속도 변화사이의 관계를 조사하고 개별적으로 수행된 국면을 서로 연결시킬 수 있도록 하여 세단뛰기 운동수행 능력을 향상시키는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

이 연구의 피험자는 남자 세단뛰기 선수 4명으로 그 성적과 기록이 상위에 랭크되어 있고 대표경력이 있는 선수를 연구대상으로 선정하였다. 이들의 신체적 특성은 <표1>과 같다.

표 1. 피험자의 신체적 특성

피험자	신장 (cm)	체중 (kg)	연령 (yrs)	2001~2002 기록(m)	최고기록(m)	경력 (yrs)
A	186	77	34	15.89	16.63	24
B	175	62	32	15.85	16.40	17
C	180	73	29	15.99	16.30	14
D	180	72	20	15.97	15.97	8
평균	180.25	71	28.75	15.93	16.33	15.75
표준편차	4.50	6.38	6.18	0.07	0.27	6.65

2. 실험장비 및 방법

피험자의 세단뛰기 동작 수행을 촬영하기 위해 Panasonic AG-456 S-VHS카메라 4대를 사용하였다. 그리고 60Hz의 샘플링 주파수로 피험자의 운동수행과 통제점 틀을 촬영하였다. 비디오카메라 동조를 위해 자체 개발한 램프 인디케이터를 사용하였다. 인체분절의 해부학적 경계점인 관절의 중심점을 명확하게 표시하기 위하여 각 관절에 benefact테이프(Nippon Sigmax Co., LTD.)를 부착하였다. 4대의 카메라 중 두 대의 카메라(#1, #2)는 조주로의 좌측에 비스듬하게 설치하였고, 나머지 두 카메라(#3, #4)는 이전 두 대의 카메라의 반대쪽에 비스듬하게 설치하여 운동수행 전 구간이 촬영되도록 하였다. 카메라 노출시간은 1/2000 sec로 설정하였으며 촬영 범위는 피험자가 지면에 착지하기 이전의 착지동작에서부터 지면을 완전히 도약하여 신체가 공중으로 비행하여 촬영구간을 벗어날 때까지로 설정하였다. 48개의 통제점은 가로 1m, 세로 1m 높이 3m의 통제점 틀 3개를 발구름이 이루어지는 지점을 중심으로 조주로 쪽으로 8m, 모래사장 쪽으로 2m, 총 10m구간에 통제점 틀을 설치하였다.

피험자의 운동수행은 스파이크를 착용 후 자신의 도움닫기 거리에서 출발하고 홉, 스텝, 점프를 나누어 실시하였으며 순차적으로 실시할 때마다 세단뛰기 전반의 운동수행을 요구하였다. 피험자는 매 국면마다 6번 실시하였으며 각 국면의 거리(홉, 스텝, 점프)를 줄자로 측정하여 분석에 사용하였다.

3. 자료처리방법

4대의 S-VHS비디오카메라 영상자료는 DLT방법을 이용한 3차원 좌표값을 산출하였고 kwon3d 3.0 프로그램을 사용하여 디지털이징 하였다. 48개의 통제점은 10번씩 디지털이징하여 파일로 저장하였다. 인체의 모델링은 21개의 관절점과 14개의 분절이 서로 연결되어 있는 강체계(linked rigid body system)로 정의하였다. 각 분절의 무게중심과 전신 무게중심의 위치를 구하기 위한 인체분절지수(body segment parameter)는 plagenhoeef(1983)의 자료를 이용하였다. 노이즈를 제거하기 위하여 버터워스(Butterworth) 4차 저역통과필터(low-pass filter)를 사용하였으며 이때 차단주파수는 Yu에 의해 제안된 식을 이용하였다(Yu & Andrew, 1998). 이 연구에서는 차단주파수를 7.4Hz로 설정하였다.

지지국면 동안에 팔 동작으로 인한 전신 무게중심의 속도 변화는 아래의 식에 의해 산출되었다(Yu,1993).

$$\Delta V_{CG} = (m_U \Delta V_{u,U} + m_F \Delta V_{f,A}) / m_G$$

여기서

ΔV_{CG} : 지지국면 동안에 팔 동작으로 인한 전신 무게중심의 속도변화

$\Delta V_{u,U}$: 상완에 대한 상완 분절 중심의 속도 변화

$\Delta V_{f,A}$: 팔 움직임으로 인한 전완의 분절 중심의 속도 변화

m_U, m_F, m_G : 각각 상완, 전완, 전신의 질량

지지국면 동안에 자유로운 다리의 동작으로 인한 전신 무게중심의 속도 변화는 팔 동작으로 인한 전신 무게중심의 속도변화 계산 방법과 동일한 방법으로 산출하였다.

지지국면에서의 세단뛰기 운동수행과 관련하여 사지에 의해 일어나는 운동학적 변인과 전신 무게중심의 속도 변화와의 관계를 구명하기 위하여 SPSS/PC+V10.0의 하위 프로그램인 피어슨의 적률상관과 단순회귀분석(simple regression analysis)을 실시하였다. 이 때 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과 및 논의

이 연구는 세단뛰기 지지국면 동안에 사지의 운동학적 변인이 운동수행 전반에 어떠한 변화를 주는지를 정량적으로 분석하기 위하여 실시하였다.

1. 각 국면별 거리와 국면비

각 국면별 최고와 최하 거리, 국면비 그리고 평균과 표준편차는 <표 2>와 같다.

표 2. 기록, 각 국면별 거리, 국면비

(단위: m, %)

	피험자			
	A	B	C	D
총거리	16.45	15.53	15.30	15.52
홉거리	6.38	6.22	6.25	6.30
스텝거리	4.48	4.80	4.17	4.18
점프거리	5.59	4.51	4.88	5.04
국면비(%)	39:27:34	40:31:29	41:27:32	41:27:32

세단뛰기 기록은 각 국면별 거리를 세 국면으로 나누어 실시하여 각 국면에서 가장 좋은 기록을 합하여 산출하였다. <표2>에 의하면 피험자 A가 가장 좋은 기록을 수립하였으며 피험자 C가 가장 저주한 기록을 수립하였다. 각 국면별 거리를 살펴보면 홉 거리는 피험자 모두 6.20m 이상을 뛰는 것으로 나타났고, 스텝에서는 피험자 B가 가장 멀리 뛰었다. 그리고 점프에서는 피험자 A와 D가 5m 이상을 뛰었다.

Susanka, Jurdik, Koukal, Kratky, & Velebil(1987)은 1987년 세계선수권에서 결승에 오른 12명의 선수를 대상으로 한 생체역학적 분석에서 18m를 뛰기 위해서는 다양한 몇몇 기술에 의해 이루어 질 수 있지만 국면비를 36%: 30.5%: 33.5%(6.50m + 5.50m + 6.00m)와 34.5%: 31%: 34.5%(6.20m + 5.60m + 6.20m)의 국면 퍼센티지로 뛰는 것이 가장 적합하다고 보고하였다.

Hay(1997)는 1996년 미국올림픽 참가 선수 선발 경기에서 남자 세단뛰기선수들의 기술과 국면비 그리고 국면거리에 대한 연구에서 참가한 선수들의 국면비가 평균 35.6%: 30.2%: 34.2%라고 보고하였다.

세단뛰기 기술 유형은 일반적으로 각 국면비를 조사하여 결정하는데 홉을 가장 길게 뛰는 홉 위주(hop-dominated)기술, 점프를 가장 멀리 뛰는 점프 위주(jump-dominated)기술 그리고 홉과 점프를 강조하는(balanced)기술의 3가지 유형으로 구분하고 있다(Hay, 1999).

네 명의 피험자 모두 홉 국면비가 39%이상으로 세 국면 중에서 가장 컸으며 이는 홉 위주의 기술을 사용하고 있다는 것을 의미한다. 세계 기록 보유자인 Jonathan Edward는 18.29m를 뛰었을 때 국면비가 홉에서 31.7~34.7%, 스텝에서 29.0~32.0% 그리고 점프에서 36.3%로 나타났으며 그 역시 점프 위주의 기술이나 홉과 점프를 강조하는 기술을 사용하고 있다(Hay, 1999). 세계 엘리트 선수들의

기술 유형이 점프나 발란스 형태로 바뀌어 가면서 기록이 향상되고 있지만 이 연구의 피험자들은 홑 위주의 기술을 사용하고 있었다.

2. 각 국면별 속도와 거리

각 지지국면에서 이벤트별 속도와 거리 및 마지막 1보 이륙순간의 속도의 평균치와 표준편차는 <표3>과 같다.

표 3. 각 지지국면에서 속도와 거리 및 마지막 1보 이륙순간의 속도 (m/s)

국면		지지국면				
		1보이지	접지	최대무릎굴곡	이지	거리
홑	평균	9.06	8.83	8.34	8.48	6.17
	표준편차	0.27	0.32	0.28	0.32	0.13
스텝	평균		7.91	7.11	7.30	3.99
	표준편차		0.27	0.34	0.32	0.38
점프	평균		7.09	6.19	6.55	4.76
	표준편차		0.28	0.23	0.21	0.31

<표3>을 살펴보면 구름판 도약 순간에 속도가 홑, 스텝 점프에서 평균 8.48m/s, 7.30m/s, 6.55m/s로 각 국면을 수행하면서 점차적으로 감소하였다. 마지막 1보 이륙순간의 속도는 평균 9.06m/s로 나타났다.

Miller와 Hay(1986)는 세계 엘리트 세단뛰기 선수의 운동학적 분석이라는 연구에서 제시한 홑의 평균 9.59m/s보다 1m/s이상 작은 것으로 나타났다. 스텝과 점프에서도 각각 평균 1m/s와 0.5m/s이상의 차이를 보였다. 그리고 마지막 1보의 이륙순간의 속도는 평균 10.26m/s라고 보고하였다.

Hay(1985)는 1984년 LA올림픽 결승에 진출한 12명의 선수를 대상으로 세단뛰기에서 사용되는 기술이라는 연구에서 각 국면 이륙순간 속도가 홑, 스텝, 점프에서 각각 평균 9.65m/s, 8.26m/s, 7.35m/s라고 보고하였다.

운동을 수행하면서 전신 무게중심의 속도는 점진적으로 감소하지만 지지국면에서 최대 무릎굴곡 순간에 속도의 감소를 보이다가 이륙순간에는 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 지면에 접지하는 다리가 도움닫기로부터 얻은 속도와 공중 비행 후 전신의 질량을 지지하기 위해 굴곡하고 다시 다리 근력을 이용하여 전신을 운동방향으로 밀어내면서 신전되기 때문이며 발구름 발이 지면에 접지하고 있는 동안에 속도의 감소가 일어난다. 스텝 속도에 비해 뛸 거리가 평균 4m를 넘지 못하는 것

으로 나타났다. 여기에는 많은 이유가 있겠지만 주요한 요인은 발구름하는 다리의 동작, 자유로운 다리의 동작, 양팔의 스윙동작, 그리고 신체자세 등의 복합적인 문제에 의해 일어나는 결과라고 할 수 있다.

첫째, 발구름 다리가 추진력 있는 발구름을 하지 못하고 전신을 운동방향으로 밀어내지 못했기 때문이며, 둘째, 자유로운 다리의 스윙 폭이 작아서 발구름하는 다리가 신체를 밀어낼 수 있는 시간적 여유와 각각의 다리의 역할의 타이밍이 맞지 않았기 때문이다. 셋째, 양팔의 스윙동작에서 팔은 뒤에서 앞으로 스윙될 때 신체를 앞으로 이동시키면서 수직방향으로의 비행을 유도한다. 팔이 어깨 높이까지 스윙되면 상체의 전방회전을 막으면서 발구름하는 다리와 반대 방향으로 힘이 작용되어 신체를 멀리 비행시킬 수 있지만 그렇지 못할 경우 전신의 발관스를 잃게 하고 다음 국면으로의 운동수행을 방해한다. 마지막으로 신체자세는 세 국면을 수행하면서 항상 직립자세이면서 상체 전체를 앞으로 밀고 나아가야한다. 발구름 다리가 지면에 접지하는 순간 상체가 전경자세이면서 시선이 아래를 보고 있으면 전신의 전방회전을 증가시키고 이로 인해 팔과 다리는 지지국면에서의 궁극적인 운동수행 역할을 하지 못하고 신체자세를 바로 잡으려고 노력한다.

3. 속도 변인

1) 전신 무게중심의 수평·수직속도 변화

각 지지국면 동안에서 전신 무게중심의 수평속도 감소와 수직속도 증가에 대한 평균치와 표준편차는 <표4>과 같다.

표 4. 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도와 수직속도 변화 (m/s)

방향		지지국면		
		홉	스텝	점프
수평	평균	-0.93	-0.51	-0.86
	표준편차	0.27	0.35	0.22
좌우	평균	0.07	0.09	0.08
	표준편차	0.12	0.28	0.16
수직	평균	3.19	3.94	4.19
	표준편차	0.32	0.45	0.28

각 지지국면에서 전신 무게중심의 속도 변화는 이어지는 다음 국면의 거리와 운동수행의 성공과 실패에 대한 정보를 제공한다.

Hay와 Miller(1985)는 1984년 LA올림픽 결승에 진출한 12명의 선수를 대상으로 세단뛰기에서 사용되는 기술이라는 연구에서 각 국면에서 발구름 발이 지지하는 동안에 수평속도의 감소가 각각 -0.60m/s , -1.36m/s , -1.10m/s 라고 보고하였다.

Yu(1993)는 자유로운 사지의 동작과 세단뛰기 운동수행과의 관계라는 연구에서 평균 -0.96m/s , -1.08m/s , -1.61m/s 로 점프에서 가장 큰 감소를 보였다고 하였다.

<표4>을 살펴보면 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도의 감소의 폭이 줄어드는 경향을 나타냈다. 지지국면 동안에 수평속도의 감소는 홑 스텝 점프에서 각각 평균 -0.93m/s , -0.51m/s , -0.86m/s 로 세 번의 지지국면 중 홑에서 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 홑에서 발구름하는 다리의 발이 구름판을 앞에서 뒤로 할퀴면서 힘차게 지면을 박차고 나아가지 못하기 때문이라고 판단된다. 이후 다음 국면에서 작은 변화를 보인 것은 높은 비행 높이에서 착지하고 전신이 가지고 있는 속도와 상체의 전방회전으로 인해 지면에 접지함과 동시에 전신이 앞으로 밀려 나아갔기 때문이라고 판단된다. 그리고 점프에서의 변화는 이전의 스텝 동작으로 인해 점프 국면으로 도약할 준비를 하지 못했기 때문에 선행연구와는 다른 결과의 수평속도 변화 순서가 나타났다.

각 지지국면에서 전신 무게중심의 수직속도 증가는 크게 증가하는 경향을 나타냈다. 수직속도 증가에 있어서는 선행연구와 같이 운동이 진행됨에 따라 증가의 폭이 커지는 것으로 나타났다.

Yu(1993)의 연구결과와 비교해 보면 홑, 스텝, 점프에서 각각 평균 2.98m/s , 4.65m/s , 5.18m/s 로 점프에서 가장 높게 나타났지만 이 연구에서는 홑이 Yu의 결과 보다 높게 나타났고 스텝과 점프에서는 약 1m/s 의 차이가 나타났다. 홑에서 높게 나타난 것은 도움닫기 스피드를 홑 착지까지 연결시키지 못하고 단순히 홑 거리를 멀리 뛰기 위해서 신체자세를 낮추고 발구름 발을 구름판에 밀어 넣기 때문이라고 생각된다. 또한 스텝과 점프에서 수평속도의 감소와 수직속도의 증가가 서로 상반되게 나타난 것은 세 국면을 나누어 실시하였기 때문이라고 판단된다.

2) 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

각 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화의 평균치와 표준편차는 <표5>와 같다.

각 지지국면동안에 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화의 평균치는 홑과 스텝에서 0보다 작은 의미 있는 관계가 나타났다. 이 결과는 Yu(1993)의 연구 결과와 일치하며 Yu는 팔 동작이 각 지지국면 동안에 전신 무게중심의 수평속도를 감소시키는 것과 관계가 있고, 팔 동작이 수평속도를 일으킨다는 견해를 뒷받침하지 않는다고 보고하였다. 그러나 세단뛰기에서 팔 동작은 착지하는 다리가 지면에 닿기 이전에 이미 앞으로 스윙되고 착지와 동시에 빠르고 힘차게 전상방향으로 움직이다가 어깨 높이에서 멈추어 선다. 이러한 동작은 팔의 수평속도가 감소되는 결과를 낳게 하고 결과적으로는 전신 무게중심의 수평속도를 감소시킨다고 잘못 해석할 수 있는 오류를 범할 수 있게 한다고 생각된다.

표 5. 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

(m/s)

방향		지지국면		
		홑	스텝	점프
수평	평균	-0.24**	-0.13*	-0.26
	표준편차	0.07	0.10	0.09
좌우	평균	0	0.03**	-0.02*
	표준편차	0.08	0.21	0.14
수직	평균	0.64**	0.81**	0.96**
	표준편차	0.08	0.18	0.17

 $p < .05^*$, $p < .01^{**}$

각 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도의 변화는 -0.24m/s, -0.13m/s, -0.26m/s로 점프 지지국면에서 크게 나타났으며 수직속도의 변화는 0.64m/s, 0.81m/s, 0.96m/s로 나타났다. 세 번의 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도 변화에 대한 팔 동작의 공헌도는 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화에 지지국면 동안의 전신 무게중심의 속도 변화를 나누어줌으로써 산출할 수 있으며 각각 25%, 25%, 30%로 나타났다.

Yu(1993)의 연구 결과에서는 수평속도에 대한 팔의 공헌도가 각각 9%, 16%, 19%, 수직속도에 대해서는 8%, 9%, 9% 라고 보고하였다. 이와 같은 차이를 보이는 것은 세 번을 지지하는 하는 동안에 감소된 전신 무게중심의 수평속도와 증가된 수직속도의 변화가 선행 연구 결과 보다 적었기 때문으로 판단된다.

Yu와 Andrews(1998)는 전신 무게중심의 수평 수직속도에 대한 팔 동작의 공헌도는 운동방향으로의 전신 무게중심의 속도를 감소시키고 수직방향으로 속도를 증가시킨다고 하였다. 그리고 스텝 지지국면 동안에 자유로운 다리 측면 쪽으로 전신 무게중심의 좌우 속도에 영향을 미친다고 하였다. 세단뛰기 운동수행에서 팔 동작은 신체를 전상방향으로 이끄는 역할을 하면서 지지하는 다리가 지면으로부터 신체를 밀어 낼 수 있도록 도움을 제공한다. 또한 팔이 신체 앞쪽으로 스윙되어 어깨 높이에서 멈춰 서 있기 때문에 전신의 운동량이 시계방향으로 회전하려고 하는 성분을 방해함으로써 신체가 다음 국면으로의 비행을 할 수 있게 한다.

3) 자유로운 다리에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

각 지지국면 동안에 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화의 평균치와 표준편차는 <표6>와 같다.

표 6. 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

(m/s)

방향		지지국면		
		홉	스텝	점프
수평	평균	-0.39	-0.19**	-0.34
	표준편차	0.06	0.10	0.08
좌우	평균	0.01	0	0.01
	표준편차	0.17	0.10	0.09
수직	평균	0.44**	0.89**	0.78**
	표준편차	0.09	0.11	0.06

 $p < .05^*$, $p < .01^{**}$

<표6>을 살펴보면 홉과 스텝 지지국면 동안에 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평 속도 변화의 평균치는 0보다 작은 의미 있는 관계가 나타났다. 전신 무게중심의 수직속도 변화의 평균치는 세 국면에서 0보다 큰 의미 있는 관계가 나타났다. 각 지지국면에서 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도의 변화는 -0.39m/s, -0.19m/s, -0.34m/s로 홉 지지국면에서 크게 나타났다으며, 수직속도의 변화는 0.44m/s, 0.89m/s, 0.78m/s로 스텝 지지국면에서 크게 나타났다. 이 결과 또한 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도변화에서처럼 수평속도 감소와 수직속도 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Yu(1993)는 자유로운 사지의 동작과 세단뛰기 운동수행과의 관계라는 연구에서 홉, 스텝, 점프의 지지국면 동안에 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화의 평균치 -0.07m/s, -0.11m/s, -0.11m/s는 통계적으로 의미 있는 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 자유다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수직속도 변화의 평균치는 스텝(0.15m/s)과 점프(0.14m/s) 지지국면에서 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났다고 보고하였다. 세 번의 지지국면에서 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도는 감소하고 수직속도는 스텝과 점프에서 약 3% 증가시킨다고 보고하였다 (Yu, 1993; Yu & Andrews, 1998).

Yu와 Andrews(1998)는 세단뛰기 운동수행과 자유로운 사지 사이의 관계라는 연구에서 자유로운 다리는 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도를 감소시키고 수직속도를 증가시키는데 공헌한다고 보고하였다. 이 연구에서는 홉과 스텝 수평속도와 세 국면에서 수직속도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 홉과 스텝에서 자유다리 동작이 전신 무게중심의 수평속도 변화에 미치는 공헌도는 각각 42%와 37%로 나타났다. 그리고 수직속도에 미치는 영향은 세 국면에서 각각 14%, 23%, 19%로 나타났다. 이와 같은 차이를 보이는 것은 세 번을 지지하는 하는 동안에 감소된 전신 무게중심의 수평속도와 증가된 수직속도의 변화가 선행 연구 결과 보다 크게 나타났기 때문으로 판단된다. 또한 이 연

구의 피험자들의 운동수행 유형이 Yu의 연구 피험자와는 달리 세 국면을 지지하고 있는 동안에 자유로운 다리가 수직 방향으로 보다는 운동방향으로 차는 형태의 동작을 행하고 있기 때문이라고 생각된다. 자유로운 다리를 운동방향으로 차게 되는 원인은 구름발이 지면에 착지하는 순간에 상체가 앞으로 기울어져 있기 때문이며 자유로운 다리의 본래의 역할인 신체를 전상방향으로 이끌어 나아가는 운동을 하지 못했기 때문이다. 이러한 동작은 팔 동작과 함께 지면으로부터 신체를 밀어 낼 수 있도록 도움을 제공하지 못하게 하고 상체의 전방회전을 방해하지 못해 다음 국면을 급하게 수행하게 하여 결과적으로 기록에 영향을 미치게 된다.

4) 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도변화

각 지지국면 동안에 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화의 평균치와 표준편차는 <표7>과 같다.

표 7. 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화 (m/s)

방향		지지국면		
		홉	스텝	점프
수평	평균	-0.14**	-0.04**	-0.11**
	표준편차	0.11	0.09	0.08
좌우	평균	0	0.02**	-0.01**
	표준편차	0.07	0.06	0.04
수직	평균	0.59	0.62**	0.60
	표준편차	0.05	0.07	0.07

$p<.05^*$, $p<.01^{**}$

각 지지국면에서 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도의 변화는 홉과 점프에서 -0.14m/s와 -0.11m/s로 스텝에 비해 크게 나타났으며 수직속도 변화는 홉, 스텝, 점프에서 평균 0.60m/s로 나타났다. 이와 같은 결과는 지지하는 다리 동작이 전신 무게중심의 수직속도를 증가시키고 수평속도를 감소시킨다는 것을 의미한다.

지지하는 다리의 역할은 지면에 착지하였을 때 전신 무게중심을 지지하고 신체를 운동방향과 수직 방향으로 이동시키면서 다음 국면의 거리를 멀리 뛸 수 있도록 하는 것이다. 이러한 역할을 하기 위해서 지지하는 다리의 동작은 지면에 착지하는 순간 발바닥 전체로 앞에서 뒤쪽으로 지면을 할퀴는 동작을 하고 양팔(혹은 한팔)과 자유로운 다리는 지지하는 다리와 반대방향으로 스윙하여 지지하는 다리의 신체적 부하를 줄여 줌으로써 더욱 폭발적인 발구름을 할 수 있도록 지지하는 다리를 돕는다.

이 연구의 피험자들이 수행하는 지지하는 다리의 동작은 세 국면에서 신체를 운동방향으로 추진하기 보다는 수직방향으로 비행시키려는데 더 많은 역할을 한다고 판단된다. 지지하는 다리의 동작이 착지 전에 앞에서 뒤로 스윙되는 것이 아니라 위에서 아래로 스윙되는 피스톤의 동작과 동일하기 때문에 팔과 자유로운 다리의 동작에 의존하게 됨으로써 팔과 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도변화가 크게 나타날 수 있다고 판단된다. 또한 지지하는 다리의 동작에 의한 전신 무게중심의 속도변화 폭이 팔과 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도변화 보다 적었기 때문에 상대적으로 지지하는 다리에 의한 전신 무게중심의 속도변화가 적게 나타날 수 있다고 생각된다.

3. 상관관계 및 단순회귀분석

1) 전신 무게중심의 수평·수직속도 변화

각 지지국면에서 수평속도와 수직속도 사이의 관계는 <그림1>에 제시되어 있다.

그림 1. 각 지지국면 동안에 수평속도와 수직속도 사이의 회귀식.

홉 지지국면에서 수평속도 감소와 수직속도 증가사이의 상관은 .87로 정적상관을 보였고, 이 두변 인간의 관계는 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 스텝 지지국면에서 수평속도 감소와 수직속도 증가사이의 상관은 .65로 정적상관을 보였고, 이 두변인간의 관계는 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 점프 지지국면에서 수평속도 감소와 수직속도 증가사이의 상관은 .10으로 정적상관이 나타났고, 이 두변인간의 관계는 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타나지 않았다.

Yu와 Hay(1996)는 세단뛰기 최적의 국면비라는 연구에서 홉은 분리하고 스텝과 점프를 합쳐서 분석한 결과 $r = .83$ 의 상관관계가 나타났다고 보고하였다. 이 연구는 홉, 스텝, 점프를 구분하여 분석하였기 때문에 세단뛰기 점프 국면에서 수평속도의 감소와 수직속도의 증가가 기록에 영향을 미친다는 선행연구 결과와 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 점프에서 피험자들 간에 수평·수직속도 간의 차가 크게 나타나지 않았기 때문에 수평속도 감소와 수직속도 증가의 관계가 통계적으로 의미 있게 나타나지 않았다. 이와 같은 현상을 세단뛰기 운동수행과 관련하여 해석하면, 점프 발구름 국면에서는 이미 수평속도가 많이 감소되어 선수가 지면을 차올 수 있을 정도의 속도라 사료되고 모든 동작이 신체를 수직방향으로 비행시키려고 움직이기 때문이라고 생각된다. 점프에서 약 4.2m/s 의 수직속도 증가시점에서 수평속도의 감소가 가장 크게 나타난 것은 점프 발구름 동작이 앞에서 뒤로 스윙되면서 지면을 추진력 있게 차지 못하고 피스톤과 같이 위에서 아래로 누르기 때문에 일어나는 현상이라고 판단된다.

2) 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

각 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수직속도 변화와 전신 무게중심의 수평·수직속도 사이의 상관관계 및 단순회귀분석은 <그림2>에 제시되어 있다.

홉 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수평·수직속도 변화의 상관은 .91과 .91로 정적상관이 확인되었고 이 두변인간의 관계는 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다.

스텝 지지국면에서는 좌우와 수직속도에서의 상관은 .73과 .72로 정적상관이 확인되었고 두 변인간의 관계는 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 그리고 수평속도에서의 상관은 .49로 $p < .05$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계를 보였다. 점프 지지국면에서 좌우와 수직속도에서의 상관은 .51과 .62로 정적상관을 보였고 두 변인간의 관계는 각각 $p < .05$ 와 $p < .01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화에서 팔 동작이 홉, 스텝, 점프 지지국면에서 전신 무게중심의 속도 변화에 상관이 있는 것을 알 수 있었고 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화가 클수록 전신 무게중심의 속도 변화가 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 팔 동작을 뒤에서 전상방향으로 크고 힘차게 각 지지국면에서 수행할 필요가 있다.

그림 2. 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수직속도 변화와 전신 무게중심의 수직속도 변화와의 관계.

3) 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

각 지지국면에서 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화와 전신 무게중심의 수평속도 사이의 상관관계 및 단순회귀분석은 <그림3>와 같다.

홉 지지국면에서 자유로운 다리에 의한 전신 무게중심의 수직속도 변화와 전신 무게중심의 수직속도 변화 사이의 상관은 .78로 정적상관이 확인되었고 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 스텝 지지국면에서는 수평과 수직속도에서 .73과 .68로 정적상관이 확인되었고 두 변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 점프 지지국면에서는 수직속도에서 .61로 정적상관을 보였고 두 변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 자유로운 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화에서 자유로운 다리 동작은 홉과 스텝에서 수직속도에 크게 기여하는 알 수 있다. 특히 홉에서 높은 상관은 신체를 운동방향 보다는 공중으로 비행하는데 더 공헌한다고 예측할 수 있다. 스텝에서는 수평과 수직속도에 높은 상관을 보였는데 이는 세단뛰기의 두 번째 단계로 홉과 점프의 교량적 역할을 함과 동시에

스텝의 거리를 최대화하기 위한 동작이라고 할 수 있다. 따라서 스텝단계에서의 자유로운 다리는 흡을 수행한 이후 신체 뒤쪽에서 완전히 신전되어 신체의 앞쪽으로 그리고 수직방향으로 크고 힘차게 스윙되어야 한다는 것이다.

그림 3. 자유로운 다리동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화와 전신 무게중심의 수평속도 변화와의 관계.

4) 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화

각 지지국면 동안에 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 속도 변화와 전신 무게중심의 속도 변화 사이의 상관관계 및 단순회귀분석은 <그림4>와 같다.

흡 지지국면에서 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화와 전신 무게중심의 수평속도 변화 사이의 상관은 .76으로 정적상관이 확인되었고, 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 수직속도는 .56으로 정적상관이 확인되었고, 이 두변인간의

관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다.

스텝 지지국면에서는 수평속도에서 .83으로 정적상관이 확인되었고, 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 좌우와 수직속도에서 .59와 .56으로 정적상관이 확인되었고, 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다.

그림 4. 지지하는 다리 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도 변화와 전신 무게중심의 수평속도 변화와의 관계.

점프 지지국면에서는 수평속도에서 .67로 정적상관을 보였고, 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다. 좌우속도에서는 .64로 정적상관을 보였고 이 두변인간의 관계는 $p<.01$ 수준에서 통계적으로 의미 있는 관계가 나타났다.

지지하는 다리는 홉, 스텝, 점프의 지지국면에서 수직속도보다는 수평속도에 높은 상관이 있다는 것을 알 수 있으며 스텝과 점프에서는 좌우속도에도 상관이 있는 것을 알 수 있다. 결국 지지하는 다리의 역할은 신체를 운동방향으로 밀어내는데 공헌한다는 것이다.

IV. 결 론

세단뛰기 홉, 스텝, 점프 지지국면에서 자유로운 사지의 동작은 전신의 회전과 좌우측으로 동작을 조절하고 전신 무게중심의 수직속도 증가와 수평속도 감소를 최소화 시키는 역할을 한다. 그리고 지지하는 다리는 자유로운 사지와 함께 속도 변화에 중요한 역할을 한다.

이 연구에서 각 국면별 운동학적 변인들과 전신 무게중심 속도 변인 간에 대한 기술 통계치의 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 홉 위주의 기술을 사용하고 있었고 구름판에서의 도약 순간에 속도도 1m/s 이상의 차이를 보였다.
2. 팔 동작은 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도 감소에 각각 25%, 25%, 30% 공헌하는 것으로 나타났다. 각 지지국면에서 수직속도 증가는 약 21%로 팔 동작에 의하여 발생되었다. 그러나 팔 중심의 초기 속도가 나중속도보다 빠르기 때문에 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도를 감소시키는 것으로 나타났지만 팔 동작의 역할은 신체를 운동방향으로 이동시키면서 공중으로 비행시키는데 도움을 제공한다.
3. 자유로운 다리 동작은 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수평속도 변화에 영향을 미쳤으며 특히 홉과 스텝에서 수평속도에 미치는 공헌도는 42%와 37%로 크게 나타났다. 각 지지국면에서 수직속도 증가는 약 19%는 자유로운 다리에 의하여 발생되었다. 자유로운 다리 역시 팔 동작과 함께 신체를 운동방향으로 이끄는 역할과 동시에 비행에 공헌한다.
4. 사지 동작에 의한 전신 무게중심의 수평속도와 수직속도는 각 지지국면에서 전신 무게중심의 속도 변화와 대부분 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 높은 상관관계 있음에도 불구하고 경기력이 저조한 것은 팔 동작과 자유로운 다리의 조화 그리고 이 두 동작과 지면을 발 구름하는 다리와의 조화가 서로 연계되어 이루어지지 않았기 때문이다.

이상을 종합하면 이 연구의 피험자들은 세단뛰기 각 국면을 조화롭게 수행하기 위해서는 각 국면 지지순간에 지면을 힘차게 박차 오를 수 있는 사지의 협응 능력이 부족하다고 판단되며 이러한 단점은 운동 현장에서 기술 보조 운동인 박스(box drill)훈련이나 플라이오메트릭 훈련을 이용하여 전신의 협응동작과 민첩성 향상을 위한 기술 개선 프로그램이 필요하다.

참 고 문 헌

- 류재균(1995). 세단뛰기 동작의 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문. 한국체육대학교대학원.
- 류재균, 김창환, 김혜영(2000). 세단뛰기 홉 구간에 관한 운동학적 분석. 한국운동역학회지, 9 (2), 67-80.

- 류재균, 윤희중(2001). 세단뛰기 기록간 운동학적 특성들의 비교. *한국체육학회지*, 40(2), 833-841.
- 류재균, 류지선, 윤희중(2001). 세단뛰기 각 국면의 착지에 대한 운동학적 분석. 2001 서울 국제스포츠 과학회, (II), 296-304.
- 조필환, 김갑선(2000). 세단뛰기 동작에 대한 숙련자와 미숙련자간의 운동학적 비교 분석. *한국운동역학회지*, 10(1), 115-132.
- Donley, M.(1992). Speed, technique and statistics in the women's triple jump. *Track Technique*, fall. 3861-3865.
- Fukashiro, S., Imoto, Y., Kobayashi, H., Miyashita, M.(1981). A biomechanical study of the triple jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13(4). 233-237.
- Hackett, B.(1995). Triple jump basics. *Track Technique*, winter. 4138-4141.
- Hay, J. G.(1992). The biomechanics of the triple jump: A review. *Journal of Sports Science*, 10. 343-378.
- Hay, J. G., & Miller, J. A.(1985). Techniques used in the triple jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1. 185-196.
- Hay, J. G.(1997). Phase distances, percentages, and techniques in the men's triple jump at the 1996 U.S. olympic trials. *Track Coach*, spring. 4435-4442.
- Hay, J. G.(1999). Effort distribution and performance of olympic triple jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 15. 36-51.
- Knoedel J.(1984). Active landing in the triple jump. *Track Technique*. spring, 2795-2816.
- Koh T. J. & Hay, J. G.(1990). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps, II: The triple jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6. 361-373.
- Larkins, C.(1993). A biomechanical analysis of novice triple jump technique. *Track Technique*, winter. 3882-3907.
- Larkins, C., Ramey, M. R.(1994). Can triple jumpers really use an equal phase ratios strategy?. *Track Technique*, summer. 4081-4086.
- Miller, J. A., & Hay, J. G.(1986). Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 2. 272-288.
- Miller, S. & Bennett, S.(1991). Triple jump. *Track and Field Quarterly Review*. winter. 11-13.
- Masters, A.(1986). A coach's view-arms in the triple jump takeoff. *Modern Athlete and Coach*, 24. 33-35.
- Plagenhoef, S.(1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2). 169-178.
- Susanka, P., Jurdik, M., Koukal, J., Kratky, P., & Velebil, V.(1987). Biomechanical analysis of the second IAAF world championships in athletics, Rome, 1987-Biomechanical analysis of

- the triple jump. International Athletics Foundation Scientific Project.
- Yu, B.(1993). *The functions of the free limbs and their relationship with the performance in the triple jump*. Unpublished doctoral dissertation, The University of Iowa, Iowa City.
- Yu, B., & Hay, J. G.(1995). Angular momentum and performance in the triple jump: A cross-sectional analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11. 81-102.
- Yu, B., & Hay, J. G.(1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29. 1283-1289.
- Yu, B., & Andrews, J. G.(1998). The relationship between free limb motions and performance in the triple jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 4. 223-237.
- Yu, B.(1999). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 17. 221-229.