



한국운동역학회지, 2004, 제14권 1호, pp. 65-81
Korean Journal of Sport Biomechanics
2004, Vol. 14, No. 1, pp. 65-81

세단뛰기 지지국면 시 사지의 각운동량과 운동수행과의 관계

류재균* · 여홍철**(경희대학교)

ABSTRACT

The Relationship between the Angular Momentum of the Limbs and the Performance during Support Phase of the Triple Jump

Ryu, Jae-Kyun* · Yeo Hong-chul** (Kyung Hee University)

J. K. RYU, H. C. YEO. The Relationship between the Angular Momentum of the Limbs and the Performance during Support Phase of the Triple Jump. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 1, pp. 65-81, 2004. 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 Pearson product moment correlation coefficient were used to determine and compare the relationships between the change in each component of the normalized angular momentum of the whole body about center of gravity and the actions

투 고 일 : 2004년 2월 25일 접수

심 사 일 : 2004년 3월 8일

심사완료일 : 2004년 3월 28일

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

** 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 체육대학

of the extremities during different support phases. A level of significance at $\alpha=.05$ was set.

After analyzing the angular momentum and correlation during support phase of the hop, step, and jump, the following findings are obtained: The actions of the arms created a side-somersaulting angular momentum about the whole body center of gravity toward the side of the free leg during the support phase of the step, and a somersaulting angular momentum about the whole body center of gravity during each support phase. The action of the free leg created a somersaulting angular momentum about the whole body center of gravity during the support phases of the hop and step.

KEY WORDS : ANGULAR MOMENTUM, EXTREMITIES, SUPPORT PHASE

I. 서 론

세단뛰기는 빠른 스피드로 도움닫기 하여 홉, 스텝, 점프 세 번의 연속적인 도약과 착지를 수반하는 육상 종목으로 최대 수평거리를 겨루는 기록경기 중 하나이다.

세단뛰기는 홉과 스텝을 동일한 발로 발구름을 하고 점프는 홉과 스텝을 발구름한 반대 발로 발구름을 한다. 구름판을 도약하여 모래사장에 착지할 때 까지 운동수행을 연결시켜 주는 세 번의 지지국면은 세단뛰기의 성공과 실패를 좌우하는 중요한 국면으로 다양한 운동학적 및 운동역학적 변인이 내재되어 있다. 세단뛰기 홉, 스텝, 점프 지지국면시 사지 동작의 선운동량과 각운동량 합은 신체를 멀리 그리고 높게 비행시키는 역할을 한다. 전자는 신체를 운동방향으로 빠르고 멀리 이동시키는 역할을 한다면 후자는 지면으로부터 신체를 비행시키는 것을 돕고 비행 중 신체의 균형을 유지할 수 있도록 한다. 세단뛰기 홉, 스텝, 점프의 지지국면은 연속적인 달리기 동작의 지지국면과는 다르게 먼 거리를 비행한 후 한 발로 착지하기 때문에 발구름하는 다리, 양팔 그리고 자유로운 다리의 역할이 중요하다. 발구름하는 다리는 고관절을 축으로 운동방향의 반대쪽으로 스윙되면서 신체를 운동방향으로 밀어내고, 양팔(싱글 암 기술을 사용할 경우 한팔)과 자유로운 다리는 어깨와 고관절을 축으로 발구름하는 다리의 반대 방향으로 스윙된다. 이러한 동작은 각 지지국면 동안에 발구름하는 다리가 지면을 더 강하게 발구름할 수 있도록 도울 뿐아니라 추진력을 증가시켜 신체를 멀리 이동시킨다.

세단뛰기 경기력과 관련하여 가장 최근에 다루어지고 있는 운동역학적 변인으로 사지의 각운동량은 세단뛰기를 수행하는데 있어 신체자세의 변화와 도약순간에 속도 변화를 기술하는데 적합하다고

하였다(Yu & Andrews, 1998). 세단뛰기 선수의 자유로운 사지의 각운동량은 운동을 수행하는 동안에 균형을 유지하기 위한 것으로 세단뛰기 선수의 능력에 큰 영향을 미치고 운동방향의 속도 유지와 수직속도를 일으켜 기록에 영향을 미친다(Hay, 1992; Donley, 1992; Hackett, 1995). Yu & Hay(1995)는 스텝 도약순간에 점프국면의 거리와 기록이 전후축에 대해 전신이 측면으로 회전하는 각운동량(side-somersaulting)과 의미 있는 비선형 상관관계가 있고, 각 지지국면 동안에 각운동량의 변화와 각 국면에서 도약순간의 각운동량사이에는 의미 있는 상관이 있다고 하였다. 이러한 결과들이 지적하고 있는 것은 지지국면동안에 각운동량 성분들이 세단뛰기 운동수행에서 운동학적 변인들에 영향을 미친다는 것이다. 그러나 세단뛰기 지지국면에서 각운동량 성분들에 대해 세분화하여 기술한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

세단뛰기 경기력 향상과 관련하여 수평·수직속도와 도약 각도 및 최적의 국면비가 기록에 영향을 미치는 효과는 80년대부터 현재까지 적지 않은 연구자들에 의해 구명되어 왔다(류재균, 김창환과 김혜영, 2000; 류재균, 윤희중과 류지선 2001; 류재균과 윤희중, 2001; Fukashiro, 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, 스텝 도약순간에 전신의 무게중심에 대하여 전후축을 중심으로 회전하는 각운동량은 실제거리와 밀접한 관계가 있다고 하였다. 또한 팔 동작은 홉, 스텝, 점프 지지국면 동안에 수평속도를 각각 9%, 16%, 19% 감소시키고 각 지지국면에서 전신 무게중심의 수직속도를 약 9% 증가시킨다고 하였다. 자유로운 다리 동작은 스텝과 점프 지지국면 동안에 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 사지의 각운동량과 관련하여서는 발구름하는 다리를 배제한 나머지 자유로운 사지에 대하여 각운동량을 조사하여 이 각운동량 변화와 기록 및 전신 무게중심의 수평속도와의 관계를 구명하였다. 많은 연구자들은 세 번의 지지국면에서 지지 다리가 속도와 각운동량 변화에 크게 영향을 미치고, 자유로운 사지 역시 수평속도 유지와 수직속도 증가 그리고 전신의 회전을 조절하는 역할을 한다고 진술하고 있다. 그리고 팔과 자유로운 다리의 동작이 수평속도를 감소시키고 수직속도의 증가에 작게 공헌한다는 것은 스윙되는 초기의 속도가 크고 나중 속도가 작기 때문이다 결과적으로는 전신의 무게중심의 속도 변화에 영향을 미친다는 것이다. 그러나 최근 연구에서는 이와 같은 사실을 뒷받침 할만한 과학적 증거의 제시가 미흡한 실정

이다. 따라서 세단뛰기 경기력과 관련하여 운동수행 전반에 대한 운동학적, 운동역학적 분석을 위해서는 각 지지국면에서 사지의 각운동량을 조사하여 세단뛰기 지지국면에서의 일어나는 자유로운 사지와 발구름 하는 다리의 운동역학적 변화를 구명할 필요가 있다.

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 <표 1>과 같다.

표 1. 피험자의 신체적 특성

피험자	신장 (cm)	체중 (kg)	연령 (yrs)	2001~2002기록 (m)	최고기록 (m)	발구름발
A	186	77	34	15.89	16.63	왼발
B	175	62	32	15.85	16.40	오른발
C	180	73	29	15.99	16.30	오른발
D	180	72	20	15.97	15.97	왼발
M	180.25	71	28.75	15.93	16.33	
SD	4.50	6.38	6.18	0.07	0.27	

2. 실험장비 및 방법

이 연구에 사용된 S-VHS 비디오카메라인 Panasonic AG-456 카메라 4대는 60Hz의 샘플링 주파수로 피험자의 운동수행과 통제점 틀을 촬영하였다. 램프 인디케이터는 비디오카메라 동조를 위해 사용하였다. 인체분절의 해부학적 경계점인 관절의 중심점을 명확하게 표시하기 위하여 각 관절에 benefact테이프(Nippon Sigmax Co., LTD.)를 부착하였다. 각 카메라의 위치는 <그림1>에 도해되어 있으며, 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 10m의 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 실시하였다. 총 24번의 시기가 분석에 사용되었다. 피험자간 휴식시간은 실제 경기 상황에서 2~4명만이 경기할 경우 시기개시까지 시간여유가 3분이기 때문에 3분으로 설정하였다.

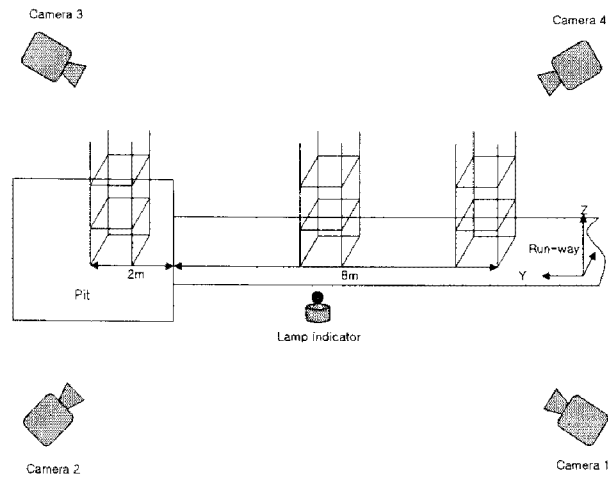


그림 1. 실험장비의 배치도.

3. 자료처리방법

통제점 틀의 3차원 공간좌표와 21개의 관절점의 3차원 좌표값은 DLT 방법(Abdel-aziz & Karara, 1971)을 이용하여 산출하였다. 비디오카메라로부터 촬영된 통제점 틀과 선정된 시기는 Kwon3d 3.0 프로그램을 이용하여 디지털화(digitizing) 하였다. 인체의 모델링은 20개의 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 Plagenhoef(1983)의 자료를 이용하였다. 노이즈를 제거하기 위하여 스무딩(smoothing)은 버터워스(Butterworth) 4차 저역통과 필터(low-pass filter)를 사용하였으며 이때 차단주파수는 7.4Hz로 설정하였다. 인체 분절을 모델링하는 과정의 구체적인 내용은 Yu(1993)의 연구에 상세히 기술되어 있으며, 전신의 무게중심에 대한 각 분절의 회전운동을 조사하기 위하여 각 분절에 지역좌표계를 설정하였다. 피험자의 발구름하는 발이 서로 다르기 때문에 2명의 피험자(오른발 발구름)를 나머지 2명의 피험자와 동일한 발구름으로 수행한 것처럼 하기위하여 분석된 자료의 부호를 변환시켰다.

지지국면 동안에 양 팔의 스윙 동작이 전신의 속도 변화를 가져오고, 회전운동의 각속도를 변화시켜 결국 각운동량을 변화시키게 된다. 양 팔 동작에 의한 전신의 속도 변화는 아래의 식에 의해 산출되었다.

$$\Delta V_{CG} = (m_U \Delta V_{u,U} + m_F \Delta V_{f,A}) / m_G \quad [1]$$

여기서

ΔV_{CG} : 지지국면 동안에 팔 동작으로 인한 전신의 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 전신의 속도 변화는 팔 동작으로 인한 전신의 속도변화 계산 방법과 동일한 방법으로 산출하였다.

사지분절에 의한 전신의 각운동량 변화는 지지국면에서 사지분절의 스윙 동작으로 인해 전신이 전역좌표계의 세 축에 대하여 회전하는데 공헌하는 것을 나타낸다. 각운동량 변화량은 지지국면 동안에 각 축에 대하여 전신이 회전하는 크기와 방향을 나타내며, 각각의 사지분절 동작은 전체 동작에 영향을 미치기 때문에 경기력의 한 분석 변인이다.

분절의 각운동량은 분절 무게중심에서 일어나는 회전에 의한 각운동량(local term: L)과 전신 무게중심에 대한 분절의 선운동에 의해 일어나는 각운동량(remote term: R)의 두 개의 성분으로 나눌 수 있다.

L은 분절의 각속도와 관성 텐서의 벡터 곱으로 계산된다.

$$\vec{L}_s = \vec{I}_s \cdot \vec{\omega}_s \quad [2]$$

여기서

\vec{I}_s : s 분절 무게중심에 대한 s 분절의 관성 텐서

$\vec{\omega}_s$: i번째 프레임에서 s 분절의 각속도

반면에 R은 다음과 같이 계산된다.

$$\vec{R}_s = m_s \cdot \vec{v}_s \times \vec{r}_s \quad [3]$$

여기서

m_s : s 분절의 질량

\vec{v}_s : 전신 무게중심에 대한 s 분절 무게중심의 속도

\vec{r}_s : 전신 무게중심에 대한 s 분절 무게중심의 위치 벡터

전신에 대한 총 각운동량(H)은 각 분절의 L과 R 운동량의 합과 같다.
다음과 같은 식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} H &= \sum_{s=1}^n (L_s + R_s) \\ &= \sum_{s=1}^n L_s + \sum_{s=1}^n R_s \\ &= L + R \end{aligned} \quad [4]$$

각운동량 자료는 기술적 통계 분석을 하기 위하여 종속 변인인 체중과 신장의 영향을 제거하기 위하여 표준화 하였다. 각운동량 자료는 아래의 식을 이용하여 체중과 신장에 대하여 표준화 하였다.

$$H' = H/m_G h_G^2 \quad [5]$$

여기서

H' , H : 각각 표준화된 각운동량과 비표준화된 각운동량

m_G , h_G : 각각 피험자의 체중(kg)과 신장(m)

III. 연구결과 및 논의

1. 각운동량 변인

1) 전신의 각운동량 변화

각 지지국면에서 전신의 각운동량 변화에 대한 평균치와 표준편차는 <표 2>와 <그림 2>과 같다.

각 지지국면에서 전후축과 좌우축에 대한 전신의 각운동량 변화는 점프 지지국면에서 신체 무게 중심을 회전축으로 하여 side-somersaulting과 somersaulting 성분의 각운동량이 평균 -0.0074/s와 0.0402/s로 크게 나타났으며 수직축에 대한 각운동량은 홑과 점프지지 국면에서 신체 무게중심을

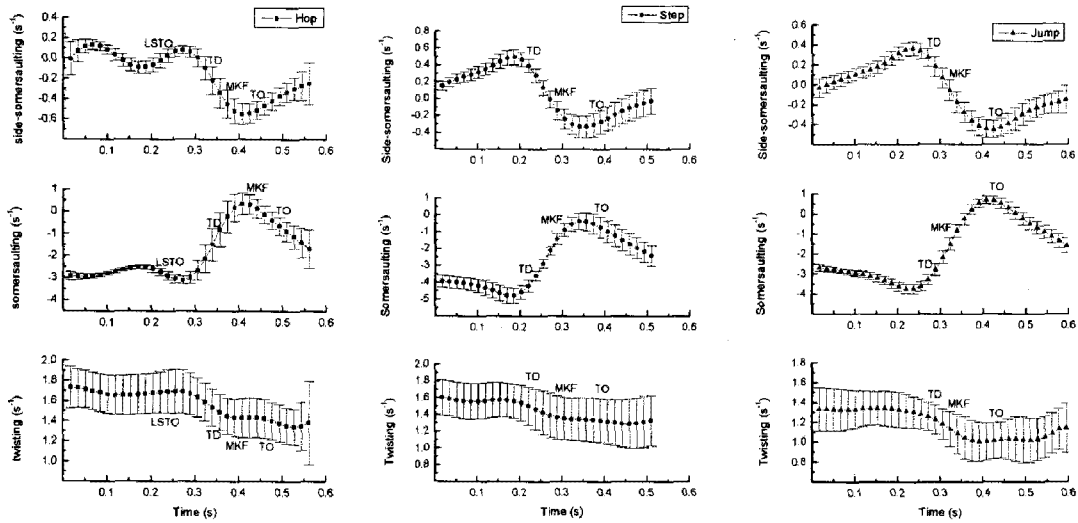


그림 2. 홉, 스텝, 점프 지지국면에서 전신의 각운동량 평균과 표준편차.

회전축으로 하여 twisting 성분의 각운동량이 각각 평균 $-0.0023/s$ 와 $-0.0024/s$ 로 나타났다.

이 연구의 피험자들은 홉, 스텝, 점프에서 전신의 각운동량이 전후축에 대해 우측으로, 수직축에 대해 우측으로, 좌우축에 대해서는 후방으로 회전하고 있었다. 이와 같은 결과는 지면에 착지하는 쪽의 팔 각운동량이 반대쪽의 자유로운 다리와 팔의 각운동량에 큰 차이를 보이기 때문에 신체가 좌우로 기울거나 뒤틀리는 운동현상이 일어난다. 또한 지면에 착지할 때 신체자세나 발구름 하는 다리의 동작이 다른 분절들의 운동과 타이밍이 맞지 않아 제동이 걸리면 신체가 전방으로 회전하게 되고 이를 막기 위해 지면에서 도약하는 순간에 신체를 운동방향의 반대쪽으로 짓히는 동작을 초래한다.

Yu(1993)는 자유로운 사지의 동작과 세단뛰기 운동수행과의 관계라는 연구에서 전신의 각운동량 평균치는 전후축에 대하여 신체 무게중심을 회전축으로 한 side-somersaulting 성분의 각운동량이 각각 $-0.0147/s$, $-0.0138/s$, $0.0166/s$, 좌우축에 대한 somersaulting 성분의 각운동량이 $0.0074/s$, $-0.0242/s$, $0.0137/s$, 수직축에 대한 twisting 성분의 각운동량이 $-0.0005/s$, $-0.0008/s$, $-0.0023/s$ 이라고 보고하였다. 이 연구에서 전후축에 대한 전신의 각운동량은 홉과 스텝에서 Yu의 연구 결과에 2배 이상의 차이를 보였고, 점프에서는 반대 방향의 각운동량을 보였다. 이와 같은 결과는 홉과 스텝에서 전신을 운동방향으로 밀고 나아가지 못하기 때문이며 점프에서는 점프의 공중동작인 hang 스타일을 하지 않고 지지국면에서 바로 착지 동작으로 들어가기 때문에 나타나는 결과라고 생각된다. 그리고 지지국면에서 신체의 측면으로 스윙되는 양팔의 스윙속도나 각운동량 그리고 자유로운 다리의 각운동량의 차이가 전후축에 대한 전신의 각운동량 변화에 영향을 미치기 때문이다. 각 지지국면에서 전후축에 대한 전신의 각운동량은 이어지는 비행국면에서 요구되는 기술 유형에 따라 변화가 일

어난다(Yu & Hay, 1995). Yu(1993)는 엘리트 세단뛰기 선수들은 각 지지국면에서 자유다리의 측면으로 전신의 전후축에 대한 각운동량이 증가되는 경향이 있다고 보고하였다. 이 연구에서도 동일한 결과가 나타났다.

표 2. 전신의 각운동량 변화 ($10^{-2} S^{-1}$)

Axis		Support phase(n=24)		
		Hop	Step	Jump
Side-somersaulting	Mean	-0.57	-0.72	-0.74
	SD	0.10	0.14	0.11
	Max.	-0.40	-0.36	-0.46
	Min.	-0.83	-0.94	-0.93
Somersaulting	Mean	3.11	3.80	4.02
	SD	0.45	0.67	0.31
	Max.	4.10	5.69	4.67
	Min.	2.49	2.76	3.32
Twisting	Mean	-0.23	-0.17	-0.24
	SD	0.12	0.31	0.14
	Max.	0.13	0.66	0.04
	Min.	-0.41	-0.70	-0.59

좌우축에 대한 전신의 각운동량은 Yu의 연구 결과 보다 크게 나타났으며, 특히 스텝에서는 반대 방향의 각운동량이 나타났다. 이 연구에서 좌우축에 대한 전신의 각운동량은 세 번의 지지국면에서 모두 후방으로 회전하고 있었다. 이러한 결과는 자유로운 사지의 각운동량과 지면에 접지하고 있는 다리가 신체를 수직방향으로 밀어올리고 높게 비행하기 위하여 상체를 뒤쪽으로 젖히는 동작을 행하기 때문이다. 각 비행국면에서 발구름 하는 다리는 지면에 접지하면서 굴곡시키고 자유다리는 뒤쪽에서 앞쪽으로 높게 들어올리면서 상체를 직립자세로 유지하면 각 지지국면에서 최적의 자세로 지면에 착지할 수 있다.

2) 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화

각 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화에 대한 평균치와 표준편차는 <표 3>과 같다.

<표 3>에 의하면 전후축에 대하여 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화는 홉, 스텝에서 신체 무게중심을 회전축으로 하여 side-somersaulting 성분의 각운동량이 각각 평균 -0.0013/s, -0.0011/s로 0 보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다. 좌우축에 대한 전신의 각운동량의 변화는 홉, 스텝, 점프 지

지지국면동안에 신체 무게중심을 회전축으로 하여 somersaulting 성분의 각운동량이 각각 평균 0.0061/s, 0.0078/s, 0.0101/s로 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났다.

Yu(1993)는 자유로운 사지의 동작과 세단뛰기 운동수행과의 관계라는 연구에서 전후축에 대하여 팔 동작에 의한 전신의 각운동량은 흡과 점프에서 신체 무게중심을 회전축으로 side-somersaulting 성분의 각운동량이 각각 평균 -0.0052/s, 0.0071/s로 의미 있는 차이가 나타나지 않았지만 팔 동작이 흡과 점프 지지국면에서 전후축에 대한 전신의 각운동량 변화에 조금 영향을 미친다고 보고하였다.

표 3. 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화 ($10^{-2} S^{-1}$)

Axis		Support phase(n=24)		
		Hop	Step	Jump
Side-somersaulting	Mean	-0.13**	-0.11*	-0.22
	SD	0.05	0.06	0.04
	Max.	-0.09	-0.03	-0.16
	Min.	-0.22	-0.25	-0.30
Somersaulting	Mean	0.61**	0.78**	1.01*
	SD	0.12	0.15	0.15
	Max.	0.85	1.09	1.31
	Min.	0.46	0.58	0.76
Twisting	Mean	0.02	-0.16**	-0.02*
	SD	0.10	0.15	0.08
	Max.	0.21	0.11	0.14
	Min.	-0.12	-0.32	-0.14

$p < .05$ *, $p < .01$ **

그리고 좌우축에 대한 전신의 각운동량 변화는 흡과 점프에서 신체 무게중심을 회전축으로 하여 somersaulting 성분의 각운동량이 각각 평균 -0.0180/s, -0.0138/s로 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다고 보고하였다.

Yu와 Andrews(1998)는 세단뛰기 운동수행과 자유로운 사지 사이의 관계라는 연구에서 스텝 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신의 표준화된 전후축의 각운동량 변화의 평균치는 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다고 보고하였다. 또한 흡과 점프 지지국면에서 팔 동작에 의한 전신의 좌우축 각운동량 변화의 평균치는 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다고 보고하였다. 팔 동작이 흡, 스텝, 점프의 지지국면에서 신체를 전후축에 대하여 우측으로 회전시키고 있고, 좌우축에 대하여 전방으로 회전시키는 각운동량에 공헌한다는 것을 의미한다. 이 연구의 결과는 Yu와 Andrews(1998)의 결과인 흡과 점프 지지국면 동안에 팔 동작이 좌우축에 대하여 신체를 후방으로 회전시키는 각운동량에 공

현한다는 결과와 반대되는 결과를 보였다. 이런 상이한 결과는 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화를 전역좌표계에서 보느냐 혹은 지역좌표계에서 보느냐에 따라 발생하는 원인이라고 생각한다. 그리고 연구에 선발된 피험자들이 사용하는 기술이 홉, 스텝, 점프에서 개개인마다 조금씩 다르게 수행되기 때문에 나타난 결과라고 생각한다.

수직축에 대하여 팔 동작에 의한 전신의 각운동량 변화는 홉에서 좌측으로 회전하고 있고 이후 스텝과 점프에서는 우측으로 회전하고 있었다. 홉에서 좌측으로의 회전은 발구름 하는 다리 쪽의 운동량이 자유다리 쪽보다 크거나 자유다리의 선운동량이 작았기 때문에 일어나는 현상이라고 할 수 있다. 그리고 점프에서는 발구름 하는 다리와 신체자세가 착지하는데 적합하지 않거나 스텝에서의 불안한 발구름 자세가 점프까지 연장되어 일어나는 운동현상이라고 생각된다.

3) 자유로운 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 변화

각 지지국면에서 자유로운 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 변화에 대한 평균치와 표준편차는 <표 4>과 같다.

표 4. 자유로운 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 변화 (10⁻² S⁻¹)

Axis		Support phase(n=24)		
		Hop	Step	Jump
Side-somersaulting	Mean	-0.08	-0.16	-0.14
	SD	0.06	0.07	0.04
	Max.	-0.01	0.02	-0.08
	Min.	-0.19	-0.27	-0.21
Somersaulting	Mean	0.47**	0.86**	0.74
	SD	0.10	0.11	0.07
	Max.	0.66	1.15	0.89
	Min.	0.31	0.62	0.59
Twisting	Mean	-0.08	-0.04	-0.07
	SD	0.14	0.09	0.07
	Max.	0.20	0.12	0.10
	Min.	-0.26	-0.20	-0.15

p < .05 *, p < .01 **

<표 4>에 보면 좌우축에 대하여 자유로운 다리 동작에 의한 각운동량 변화는 홉과 스텝 지지국면 동안에 신체 무게중심을 회전축으로 하여 somersaulting 성분의 각운동량이 각각 평균 0.0047/s, 0.0086/s로 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났다. 이러한 결과는 자유로운 다리의 동작이 홉과 스텝의

지지국면에서 신체를 좌우측에 대하여 후방으로 회전시키는 각운동량에 공헌한다는 것을 의미한다.

Yu(1993)는 세 지지국면에서 자유다리 동작에 의한 전신의 전후축 각운동량 변화의 평균치 0.0029/s, 0.0014/s, -0.0007/s와 홉과 스텝 지지국면에서 좌우축 각운동량 변화의 평균치 -0.0115/s, 0.0070/s는 0으로부터 의미 있는 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 그러나 점프 지지국면에서 좌우축 각운동량 변화의 평균치는 0.0370/s로 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났다. 이와 같은 결과는 점프 지지국면에서 전신 무게중심에 관하여 전방으로의 좌우축 각운동량을 발생시킨다고 보고하였다. 그리고 자유로운 다리 동작에 의해 발생하는 전신의 좌우축 각운동량은 점프 지지국면에서 수직속도를 발생시키기 위해 발구름 다리의 고관절과 발목 관절의 신전을 돕고 고관절과 발목 관절의 근육을 신전시켜 발구름 하는 다리에 전신의 부하를 줄이는데 도움을 준다고 보고하였다.

홉, 스텝, 점프 지지국면 동안에 자유로운 다리의 동작에 의한 각운동량은 전후축에 대해 좌측으로, 수직축에 대해 우측으로 신체를 회전시키는데 공헌하고 있었다. 이 연구의 결과는 Yu와 Andrews(1998)의 결과인 점프 지지국면 동안에 자유로운 다리 동작이 좌우축에 대하여 신체를 전방으로 회전시키는 각운동량에 공헌한다는 결과와 다르게 홉과 스텝에서 공헌하는 결과를 보였다. 이런 상이한 결과는 발구름 하는 다리와 스윙되는 자유로운 다리 사이의 관절 가동 범위와 자유다리의 스윙 폭 그리고 상체가 직립자세에 있을 때 두 다리의 교차시점이 어느 시점에서 일어나느냐에 따라 일어나는 운동현상이라 판단된다.

4) 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량

각 지지국면 동안에 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 변화의 평균치와 표준편차는 <표 5>과 같다.

<표 5>에 보면 전후축에 대하여 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 평균치 변화는 점프 지지국면동안에 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다. 이러한 결과는 지지하는 다리의 동작이 점프 지지국면에서 신체를 전후축에 대하여 우측으로 회전시키는 각운동량에 공헌한다는 것을 의미한다. 이 결과는 점프 지지다리에 의해 비행구간에서 신체가 기울어져 공중동작을 수행하게 하고 비행적도 직선의 운동방향에서 이탈하게 되어 기록에 저해요인이 된다고 할 수 있다. 좌우축에 대하여 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 평균치 변화는 스텝 지지국면 동안에 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났다. 지지하는 다리 동작에 의한 좌우축의 각운동량은 후방으로 신체를 회전시키는데 공헌하고 있었다. 이러한 결과는 지지하는 다리의 발구름 동작이 지면을 할퀴면서 신체를 운동방향으로 밀어내지 못하고 피스톤의 역할처럼 수직방향으로 양팔과 자유로운 다리 동작과 함께 신체를 비행시키는데 주로 작용하기 때문이라고 판단된다.

수직축에 대하여 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량의 평균치 변화는 홉, 스텝, 점프 지지국면 동안에 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다. 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 수직축

각운동량은 홉에서 우측으로 신체를 회전하는데 공헌하고 있었지만, 스텝에서의 수직축 각운동량 평균치의 실제 수치는 0.002/s로 거의 신체의 비틀림이 없다고 할 수 있다. 스텝에서의 각운동량 변화가 거의 없었다는 것은 두 가지측면에서 해석할 수 있다. 첫째는 스텝 착지순간의 사지의 동작이 발구름과 동시에 운동방향에 대하여 한 동작으로 조화롭게 일치되어 신체의 뒤틀림이 없이 잘 수행되었다는 것이고 둘째는 홉 비행동안 스텝 착지를 위한 준비를 하지 못하고 착지와 동시에 상체가 앞으로 기울어져 팔과 자유로운 다리의 동작과 함께 점프국면으로 바로 넘어 가버리는 현상 때문이라고 판단된다.

표 5. 지지하는 다리 동작에 의한 전신의 각운동량 변화 (10⁻² S⁻¹)

Axis		Support phase(n=24)		
		Hop	Step	Jump
Side-somersaulting	Mean	-0.11	-0.09	-0.11**
	SD	0.02	0.12	0.02
	Max.	-0.07	0.44	-0.06
	Min.	-0.15	-0.15	-0.15
Somersaulting	Mean	0.58	0.60**	0.59
	SD	0.07	0.08	0.06
	Max.	0.73	0.79	0.74
	Min.	0.46	0.41	0.50
Twisting	Mean	-0.03**	-0**	-0.02**
	SD	0.07	0.17	0.04
	Max.	0.11	0.79	0.07
	Min.	-0.16	-0.19	-0.11

p < .05 *, p < .01 **

5) 지지하는 다리의 선운동량 변화

각 지지국면 동안에 지지하는 다리의 선운동량 변화의 평균치와 표준편차는 <표 6>과 같다

<표 6>을 보면 전신의 전후방향의 속도변화에 대하여 지지하는 다리의 선운동량의 평균치 변화는 홉, 스텝, 점프 지지국면동안에 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다. 이와 같은 결과는 각 지지국면에서 지지하는 다리가 지면에 접지하여 있는 동안에 전신의 수평속도 감소와 관계가 있다는 것을 의미한다.

Miller와 Bennett(1991)은 홉에서 발구름 하는 발이 둔부의 조금 앞쪽에서 구름판에 접지해야하고 만약 둔부와 상체가 발구름 발 바로 위나 너무 뒤쪽에 있을 경우 큰 전방회전이나 속도 손실의 결과를 낳는다고 보고하였다. 그리고 지면에 접지하는 발이 뒤쪽으로 움직일 때 전신의 수평속도보다

더 빠른 속도로 움직여야 충격을 줄이고 전방으로의 운동량을 유지할 수 있다고 보고하였다. 스텝에서는 지면에 접촉하는 순간 둔부가 착지하는 발의 앞쪽에 있어야하고 발구름 하는 다리는 지면을 할퀴는 동작을 하면서 팔과 자유로운 다리의 스윙에 의해 발생하는 힘과 결합하여 속도와 운동량의 손실 없이 다음 국면으로의 추진력 있는 착지를 할 수 있다고 하였다.

표 6. 지지하는 다리의 선운동량 변화량

(kg m/s)

Direction		support phase(n=24)		
		Hop	Step	Jump
Forward momentum	Mean	-9.63**	-2.89**	-7.72**
	SD	7.55	6.40	5.95
	Max.	2.68	11.05	1.46
	Min.	-29.06	-12.20	-21.74
Lateral momentum	Mean	0.47	1.34**	-0.40**
	SD	4.82	4.35	3.16
	Max.	9.49	13.93	6.45
	Min.	-7.55	-6.16	-5.72
Vertical momentum	Mean	41.88	43.90	42.56
	SD	3.98	7.17	6.67
	Max.	48.55	60.11	54.79
	Min.	31.33	32.27	30.26

p < .05 *, p < .01 **

전신의 좌우방향 속도변화에 대하여 지지하는 다리의 선운동량 평균치 변화는 스텝 지지국면동안에 0보다 큰 의미 있는 차이가 나타났고 점프에서는 0보다 작은 의미 있는 차이가 나타났다. 지지하는 다리의 좌우방향의 선운동량은 발구름 하는 다리가 지면에 착지하여 다음 국면으로 신체를 이동시킬 때 전신 무게중심이 좌우로 움직이는 것으로 이 선운동량이 크면 전신 무게중심이 운동방향에 대하여 직선으로 이동되지 않고 좌우의 이동 범위가 커져 속도에 저해요인이 되고 결과적으로 기록에 영향을 미치게 된다.

전신의 수직방향 속도변화에 대하여 지지하는 다리의 선운동량 평균치 변화는 세 지지국면에서 의미 있는 차이가 나타나지 않았지만 지지하는 다리가 전신 무게중심을 지지하면서 수직방향으로 신체를 밀어내고 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서 각 국면별 운동역학적 변인들과 이 변인들 간에 대한 기술 통계치의 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

자유로운 다리 반대쪽으로 회전하는 전신의 전후축 각운동량은 각 지지국면에서 나타났다. 전신의 좌우축 각운동량은 각 지지국면에서 후방으로 회전시키는 각운동량이 나타났다. 전신 무게중심의 수직축 각운동량은 각 지지국면에서 아주 작은 변화를 보였지만, 팔 동작에 의한 전신의 수직축 각운동량은 스텝 지지국면에서 우측으로 회전시키는 각운동량이 나타났다. 팔 동작은 점프 지지국면에서 자유다리 쪽으로 회전하는 전신의 전후축 각운동량을 발생시키고, 각 지지국면에서 후방의 좌우축 각운동량을 발생시키는 것으로 나타났다. 자유 다리 동작은 홑과 스텝 지지국면에서 후방의 좌우축 각운동량을 발생시키는 것으로 나타났다. 지지하는 다리의 좌우축 각운동량은 스텝 지지국면에 전신의 각운동량 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

자유로운 사지 동작은 각 지지국면에서 전신의 각운동량 변화에 관계가 있는 것으로 나타났다. 각 지지국면에서 전신과 상체에 대하여 지지하는 발의 위치와 다리 동작은 전신의 각운동량 변화와 자유로운 사지의 각운동량 변화를 결정하는 중요한 역할을 할 것이다. 지지하는 다리의 전후방향의 선운동량은 각 지지국면에서 전신의 수평속도 감소와 관계가 있는 것으로 나타났다.

이상을 종합하면 이 연구의 피험자들은 세단뛰기 각 국면을 수행하면서 자유로운 사지의 주 기능을 활용하지 못하고 있으며 지면에 착지하는 발이 전신의 바로 아래 있거나 전신 무게중심이 착지하는 발보다 뒤쪽으로 멀리 위치하고 있음을 관찰할 수 있었다. 그리고 발구름 하는 다리의 동작이 지면을 할퀴는 동작과 함께 자유로운 사지와 조화를 이루지 못하였고 단순히 피스톤과 같이 위에서 아래로 움직였기 때문에 각 지지국면에서 추진력 있는 발구름을 할 수 없었다. 따라서 국내 세단뛰기 선수들은 자유로운 사지의 주 기능의 이해와 발구름 다리 동작의 기술을 개선할 필요가 있으며 이를 위한 기술보조 운동 프로그램개발이 필요하다.

참고문헌

- 류재균, 김창환, 김혜영(2000). 세단뛰기 홑 구간에 관한 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 9(2), 67-80.
- 류재균, 윤희중(2001). 세단뛰기 기록간 운동학적 특성들의 비교. **한국체육학회지**, 40(2), 833-841.
- 류재균, 윤희중, 류지선(2001). 세단뛰기 각 국면의 착지에 대한 운동학적 분석. **2001 서울 국제스포츠**

츠 과학회, (II), 296-304.

- 한희창(2001). 세단뛰기 기록과 운동학적 변인과의 관계. 미간행 석사학위논문. 한국체육대학교 대학원.
- Cheng, P.L., Nicol, A.C., Paul, J.P.(2000). Determination of axial rotation angles of limb segments-a new method. *Journal of Biomechanics*, 33. 837-843.
- Donley, M.(1992). Speed, technique and statistics in the women's triple jump. *Track Technique*, fall.
- Fukashiro, S., Iimoto, 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.(1994). Effort distribution in the triple jump. *Track Technique*, spring. 4042-4048.
- Hay, J. G.(1995). The case for a jump-dominated technique in the triple jump. *Track Coach*, summer. 4214-4219.
- 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.
- 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., 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.
- Plagenhoef, S.(1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2). 169-178.
- 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.