



한국운동역학회지, 2005, 제15권 1호, pp. 127-142
Korean Journal of Sport Biomechanics
2005, Vol. 15, No. 1, pp. 127-142

Depth Jump 시 하지 관절 상해에 관한 운동역학적 분석

소재무* · 김윤지 · 이종희 · 서진희(건국대학교)
정연옥(동원대학) · 김광기(한림성심대학)

ABSTRACT

The analysis of lower extremities injury on depth jump

So, Jae-Moo* · Kim, Yoon-Ji · Lee, Jong-Hee · Seo, Jin-Hee(Konkuk University)
Chung, Yeon-Ok(Tongwon College) · Kim, Koang-Ki(Hanrim College)

J. M. SO, Y. J. KIM, J. H. LEE, H. J. SEO, Y. O. CHUNG · K. K. KIM. The analysis of lower extremities injury on depth jump. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 1, pp. 127-142, 2005. The purpose of this study was to analysis biomechanics of the lower extremities injury the heights(40cm, 60cm, 80cm) of jump box as performed depth jump motion by 6 females aerobic athletes and 6 non-experience females students. The event of depth jump were set to be drop, landing and jump.

The depth jump motions on the force plate were filmed using a digital video cameras, and data were collected through the cinematography and force plate. On the basis of the results analyzed, the conclusions were drawn as follows:

1. The landing time of skill group was shorter than unskill group at 40cm, 60cm drop height during drop-landing-jump phase especially. The landing time of 60cm drop height was significant between two group($p < .05$).

* human@konouk.ac.kr

2. The peak GRF of sagittal and frontal direction following drop height improve was variety pattern and the peak vertical force of 40cm drop height was significantly($p < .05$).
3. The magnitude of peak passive force was not increase to change the drop height.
4. The peak passive forces was significant at 40cm drop height between two groups($p < .05$)

KEY WORDS : DEPTH JUMP, ACTIVE FORCE, PASIVE FORCE , GROUND REACTION FORCE.

I. 서 론

Depth Jump는 높은 곳에서 낮은 곳으로 낙하할 때 순간적으로 근육의 이완이 이루어졌다가 착지 시에 중력 가속도에 의한 부하를 받아 근육축이 일어나게 하는 폭발적, 반동적 형태의 운동으로 각 근력과 순발력을 향상시키는 방법이라 할 수 있으며(김의수 등, 1988), 정상적인 근육의 최대장력보다 큰 장력을 부하하여 높은 수준의 근력과 스피드를 강화할 목적으로 근육내 저장에너지를 운동에너지로 발현시킬 때, 근육의 탄성적 특성을 활용해서 신전반사에 의한 수축력을 강화하는 트레이닝 방법이다(Steben et al, 1981). Depth Jump는 대항운동 점프로서 다른 수직점프 테스트보다 점핑 퍼포먼스와 파워출력, 힘 방출을 증가시키기 위한 보다 효과적인 방법으로 제시되어 왔다(Bobbert et al, 1987, Holcomb et al, 1996, Young et al, 1995). 그러나 이러한 운동과정에서 변화될 수 없는 구조는 직립자세이며, 이러한 구조는 인체의 모든 관절체계에 작용하는 부하로 인하여 관절계에 많은 상해발병 위험에 노출되어 있다. 특히 점프동작 후의 착지동작에서 충격이 필연적으로 수반되는데, 이때 하지의 골격과 근육에 의해서 우선적으로 충격을 흡수하지 않으면 안되며, 이러한 충격력을 근골격계가 수용하기에 너무 큰 경우에 상해가 발생된다(Dufek & Bates, 1990). 이러한 이유로 점프와 관련된 퍼포먼스는 하지관절 상해와 관련된 원인을 규명하기에 매우 유용한 동작이다. 그래서 지금까지 점프와 관련된 연구방향은 수직점프 시 착지구면에서 발생하는 충격력과 하지관절 상해요인 분석이 주된 내용이었으나 점프의 효율을 높이고 근육의 탄성력과 깊은 연관이 있는 Depth Jump의 낙하(drop)-접지(landing)-점프(jump)국면을 대상으로 충격력과 하지상해와 연관된 내용을 분석한 연구가 부족한 실정이다.

실제 Depth Jump에 관한 연구를 조사해 보면 외국의 연구는 주로 충격력에 의한 하지관절의 상해원인을 규명하는데 초점이 맞추어져 있으나(Bahr, Karlsen, Lian & Ovreb, 1994; NCAA, 1990; Watkins & Green, 1992; Lamb, 1984; Apell, Soares & Durant, 1992; McCaw & Bates, 1992; Schot, Bates & Dufek, 1994) 국내 연구들은 트레이닝 효과를 규명(강인섭, 1988; 전매희, 1991; 한주옥,

2002)한 연구와 역학적 변인을 규명(배영상, 1996; 윤희중, 1999; 조성초, 1999; 조희령, 2002)한 연구로서 연구방향의 상이한 차이를 보이고 있다.

일반적인 근육활동 형태는 활동근육이 수축하기 전에 신장되어지는 신장-수축주기(stretch-shortening cycle)로 알려져 있다(소재무 등, 2004). 신장-수축 주기의 장점은 수행력을 강화할 수 있다는 것이고 그와 같은 수행력을 증진시키는 요인은 힘을 발생시키는 시간, 탄성 에너지, 힘 상승작용, 반사 증가의 네 가지 기전을 밝히고 있다. 물론 네 가지의 주된 기전에 대해서 의견이 일치된 것은 아니지만 탄성 에너지 저장과 사용은 빠른 신장-수축 주기를 포함하고 있는 플라이오메트릭 운동에서 매우 중요하다(Ingen Schenau et al, 1997)고 한다.

Depth Jump에서 접지국면의 충격량(impulse)은 지면반력의 곡선에서 수동 충격력(passive forces)과 능동 충격력(active forces)으로부터 유발되는 수동과 능동 충격량(active impulse)으로 구분된다(Jenqdong Lin et al, 2004). 인간 운동에 있어서 수동 충격력은 발이 지면에 접지되면서 작용되는 형태적인 힘으로 편심수축 국면의 초기단계에서 산출되어 신장속도(stretch velocity)와 관계가 있다(Rack & Westbury, 1974; Nigg, 1985). 또한 지면과 착지 시 발생하는 수직 충격력의 피크(peak)값 가운데 수동 충격력의 크기는 근골격계가 미처 대응하기 이전인 30ms이내에 나타나는 것으로 착지 시 충격과 관계하며 근골격계 상해의 원인이 된다. 그리고 피크 값의 크기가 클수록, 피크의 수가 많을수록 인체의 근골격계에 미치는 충격이 커서 상해 발병율이 높다(Nigg, 1986).

많은 스포츠 활동 가운데 에어로빅 경기는 격렬한 동작과 빠른 템포, 그리고 높고 빈번한 점프동작으로 상해 발병율이 높은 대표적인 스포츠이다. 그 가운데 대표적인 상해발병 요인은 점프에 이은 착지이며, 특히 착지시 지면과의 충격으로 인하여 하지관절부위의 상해가 매우 빈번하게 발생한다. 따라서 본 연구는 에어로빅 여자선수과 에어로빅 경험이 없는 여자대학생을 대상으로 Depth Jump의 낙하(drop)-접지(landing)-점프(jump)국면에서 지면반력 크기와 패턴을 수동 충격력과 능동 충격력으로 분류하여 정량적, 정성적 분석을 통하여 비교하고 또 낙하높이를 40cm, 60cm, 80cm로 증가하여 Depth Jump를 실시했을 때 동일국면에서 수동 충격력과 능동 충격력의 크기와 패턴의 변화를 비교하여 하지관절 상해발병에 관한 과학적 정보를 제공하는데 목적을 갖는다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 에어로빅tm 여자선수(숙련군) 6명과 에어로빅스 운동을 경험해 보지 않은 여자 대학생(비숙련군) 6명으로 총 12명을 대상으로 하였으며, 신체적 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 피험자의 신체적 특징

| Subject | 연령(yrs) | 신장(cm) | 체중(kg) | 운동경력(months) |
|---------|-----------|------------|-----------|--------------|
| 비숙련군 | 19.5±1.12 | 162.2±3.54 | 52.3±4.96 | 0 |
| 숙련군 | 17.8±0.37 | 161.3±3.53 | 56.7±2.12 | 20.7±5.25 |

Values are M±SD

2. 실험 분석 장비

연구대상자들의 Depth Jump 동작에 대한 정성적 분석을 촬영하기 위해 Sony사의 Digital Video Camera(Sony DCR-PC350) 카메라 1대를 사용하여 동작의 image와 시간적 요인을 파악하였고 지면 반력 측정기(force platform)는 Kistler(PCIM-DAS1602/16)사를 사용하였다.

3. 실험절차

- 1) Depth Jump를 하기 위한 Box는 지면 반력기와 20cm거리를 두고 설치하였으며 카메라는 측면 5m 거리에 설치하였다.
- 2) 운동화를 신지 않은 맨발로 하였고 피험자의 자연스러운 동작이 이루어지도록 세 번의 반복 연습 후에 본 실험에 들어갔다.
- 3) 한명의 피험자가 40cm, 60cm, 80cm 높이에서 각각 세 번씩 점프를 실시하여 동작 수행 중 가장 좋은 동작을 선정하여 분석하였다.
- 4) 분석 국면은 낙하(drop) - 접지(landing) - 점프(jump) 국면으로 구분하였으며 낙하국면은 box에서 이탈하여 발이 지면에 닿기 직전까지, 접지구면은 발이 지면에 닿는 순간부터 발이 떨어지는 순간까지, 점프국면은 지면에서 발이 떨어지는 순간부터 최대 점프 높이까지로 설정하였고 접지구면에서 발이 지면에 닿는 순간을 event 1, 발이 지면에서 완전히 떨어지려는 순간을 event 2로 설정하였다<그림 1>.

4. 자료처리 및 분석방법

Kistler 사의 지면반력 측정기(Type 9286AA)를 통해 양발이 동시에 접촉되었을 때 수집된 자료의 sampling rate은 1000Hz로 설정하였다. 이때 지면반력 측정기로부터 나온 미세한 신호는 증폭기(1785A10)를 통해 증폭되어 A/D Board(PCI-DAS 6402/16)를 거쳐 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿔주었다. 이와 같은 방법을 통해 얻어진 자료는 컴퓨터에 저장시켜 Kistler사의 지면반력 분석용 프로그램(Bioware 3.20)을 통해 분석하였다.

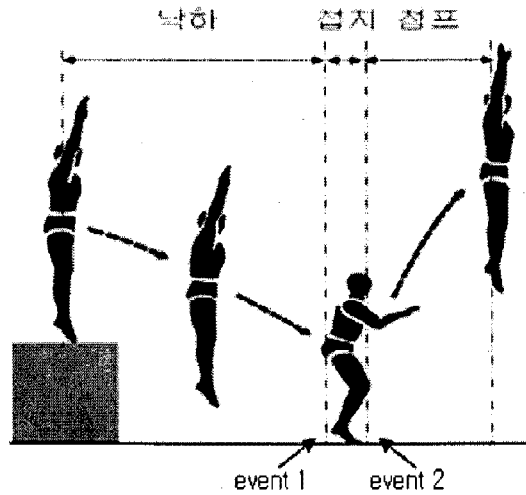


그림 1. 동작 국면 설정

5. 통계처리 방법

본 연구의 자료처리 방법은 SPSS/pc 12.0 프로그램을 사용하여 평균과 표준편차를 구하였고, 비숙련군과 숙련군의 집단별 유의한 차이는 independents t-test를 통하여 유의수준은 $p < .05$ 수준에서 검증하였다.

III. 결과 및 논의

1. 국면별 소요시간

Depth Jump 수행에 따른 집단별 각 국면의 소요시간은 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보면 각각의 높이에서 낙하-접지-점프국면의 소요시간은 숙련군과 비숙련군 모두 낙하국면과 점프국면에서는 높이 변화와 관계없이 유사한 소요시간을 나타내었다. 그러나 40cm 높이의 접지국면에서는 숙련군은 0.38 ± 0.059 초였고, 비숙련군은 0.43 ± 0.083 초로 숙련군이 빠른 접지를 하고 있었으며 60cm 높이에서는 숙련군이 0.42 ± 0.038 초였고 비숙련군은 0.50 ± 0.063 초가 소요되었으며 80cm 높이에서 숙련군은 0.49 ± 0.056 초였고 비숙련군은 0.49 ± 0.138 초가 소요되었다. 낙하높이 80cm를 제외한 40, 60cm에서 숙련군의 접지국면 소요시간이 짧게 나타나 빠른 접지에 이어서 점프동작으로 이어지고 있다. 특히 낙하높이 60cm의 접지국면에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p < .05$).

표 2. 높이변화에 따른 국면(낙하-접지-점프) 소요시간의 집단내·집단간 비교 (단위: sec)

| 높이 | 국면 | 비속련군 | 속련군 | t | p |
|------|----|------------|------------|-------|--------|
| 40cm | 낙하 | 0.32±0.038 | 0.31±0.032 | 0.397 | 0.700 |
| | 접지 | 0.43±0.083 | 0.38±0.059 | 1.081 | 0.305 |
| | 점프 | 0.23±0.040 | 0.24±0.010 | 0.150 | 0.886 |
| 60cm | 낙하 | 0.34±0.037 | 0.33±0.017 | 0.350 | 0.736 |
| | 접지 | 0.50±0.063 | 0.42±0.038 | 2.351 | 0.041* |
| | 점프 | 0.23±0.038 | 0.24±0.009 | 0.225 | 0.808 |
| 80cm | 낙하 | 0.35±0.026 | 0.36±0.024 | 0.694 | 0.504 |
| | 접지 | 0.49±0.138 | 0.49±0.056 | 0.875 | 0.416 |
| | 점프 | 0.23±0.040 | 0.23±0.013 | 0.137 | 0.895 |

Values are M±SD, * p<.05

점프 동작과 관련된 대부분의 연구들이 착지국면에서의 퍼포먼스 변인을 나타낸 것 이어서 상호 비교가 어렵고, 각각의 낙하높이에서 접지국면의 소요시간이 얼마나 적절한지는 명확하게 규명할 수 없으나 플라이오메트릭 Depth Jump의 국면 소요시간, 특히 접지국면(landing)의 지속시간이 짧아야 하고 그것은 최대 근과위를 생성하기 위한 신전 수축주기 중 가장 중요한 단계이다(Cavagna, 1977; 윤성원 외, 2002). 접지국면에서의 시간이 짧을수록 낙하높이로부터 작용되는 충격력을 하지관절의 결합조직이 흡수할 수 있기 때문에 신전반사를 효율적으로 동원할 수 있을 것으로 보여 진다.

따라서 높이변화에 따른 국면 소요시간은 80cm 높이를 제외한 40cm, 60cm 높이에서 속련군의 소요시간이 짧게 소요되어서 Depth Jump에 의한 트레이닝효율이 높을 것으로 사료된다.

2. 높이변화에 따른 최대 지면반력

속련군과 비속련군의 낙하높이 변화에 따른 전후, 좌우, 수직방향으로 작용된 최대 지면반력의 결과는 <표 3>와 같다.

<표 3>에서 좌우방향(x축), 전후방향(y축), 수직방향(z축)의 최대 지면반력과 발생시간을 보면 우선 낙하높이 40cm에서 좌우방향의 최대값은 속련군이 2.05±14.45kg·중이었고 비속련군은 -3.22±15.91kg·중 이었고, 최대값 발생시간은 0.046초로 동일한 시간에 발생하였다. 낙하높이 60cm에서 좌우방향 최대값은 속련군이 -0.31±19.41kg·중이었고 비속련군은 7.53±34.74kg·중이고, 최대값 발생시간은 속련군이 0.056초, 비속련군이 0.33초로 상대적으로 일찍 최대값이 발생되었다. 또 낙하높이 80cm에서 좌우방향 최대값은 속련군이 12.51±32.05kg·중이었고 비속련군은 -5.12±12.96kg·

표 3. 높이변화에 따른 최대 지면반력(x,y,z축) 집단내 · 집단간 비교 (단위:kg · 중)

| 높이 | 운동면 | 비속련군 | 발생시간 | 속련군 | 발생시간 | t | p |
|--------|-----|--------------|-------|--------------|-------|-------|--------|
| 40(cm) | X | -3.22±15.91 | 0.046 | 2.05±14.45 | 0.046 | 0.607 | 0.557 |
| | Y | 3.81±55.07 | 0.046 | 15.61±40.71 | 0.018 | 0.422 | 0.682 |
| | Z | 295.93±22.51 | 0.090 | 321.33±15.20 | 0.047 | 2.291 | 0.045* |
| 60(cm) | X | 7.53±34.74 | 0.033 | -0.31±19.41 | 0.056 | 0.482 | 0.640 |
| | Y | 12.39±42.97 | 0.034 | 26.04±56.39 | 0.025 | 0.472 | 0.647 |
| | Z | 302.68±19.49 | 0.076 | 320.34± 7.85 | 0.056 | 2.059 | 0.081 |
| 80(cm) | X | -5.12±12.96 | 0.028 | 12.51±32.05 | 0.071 | 1.249 | 0.240 |
| | Y | -6.46±52.85 | 0.026 | -3.39±58.04 | 0.035 | 0.080 | 0.938 |
| | Z | 308.47±10.80 | 0.051 | 322.10± 6.44 | 0.037 | 2.656 | 0.240 |

Values are M±SD, *p<.05

중이고, 최대값 발생시간은 속련군은 0.071초, 비속련군은 0.028초였다. 좌우방향에서 두 집단간 최대값은 서로 상반된 방향으로 작용되었으며 일정한 패턴은 나타나지 않았다. 그러나 최대값 발생시간은 낙하높이가 증가하면서 속련군은 늦어지는 반면, 비속련군은 빨라지는 현상을 보였다. 좌우방향으로 작용된 최대값과 시간은 <그림 3>에서 보듯이 최대 수직반력과 같은 시간대에 나타나고 있어서 그것은 낙하에 이은 접지 시 지면에 작용한 충격으로 인하여 하지관절 결합조직의 불안정한 상태를 나타내고 있는 것으로 사료된다.

전후방향으로 작용한 최대 지면반력과 작용시간을 보면, 낙하높이 40cm에서의 최대값은 속련군이 15.61±40.71kg · 중이었고 비속련군은 3.81±55.07 kg · 중이었으며 최대값 발생시간은 속련군이 0.018초, 비속련군이 0.046초에 나타나서 속련군의 전후방향으로 최대값 발생이 일찍 나타나고 있다. 또 낙하높이 60cm에서 최대값은 속련군이 26.04±56.39kg · 중이었고 비속련군은 12.39± 42.97kg · 중이었으며, 최대값 발생시간은 속련군이 0.025초, 비속련군이 0.034초로 역시 속련군의 최대 값 발생이 일찍 나타나고 있다. 그러나 낙하높이 80cm에서 최대값은 속련군이 -3.39±58.04kg · 중이었고 비속련군은 -6.46±52.85 kg · 중이었으며, 최대값 발생시간은 속련군이 0.035초, 비속련군이 0.026초였다. 그런데 최대 값 발생시간은 낙하높이가 증가함에 따라서 속련군의 발생시간은 늦어지고 있는데 반해서 비속련군은 점차로 빨라지는 상반된 현상이 나타나고 있었다.

또한 <그림 2>에서 보면 두 집단 모두 낙하높이에 관계없이 전후방향에서 두 개의 양(+)의 최대값을 모두 나타내고 있다. 첫 번째의 최대값은 발의 전방부분이 지면과 접지하면서 무릎관절이 전방으로 굴곡되면서 발생하는 힘으로 사료되고, 다음에 음(-)으로의 최대값을 거친 후에 다시 두 번째 양(+)의 최대값을 나타내는데 두 번째 최대값의 발생시점이 수직 지면반력의 수동충격량 국면

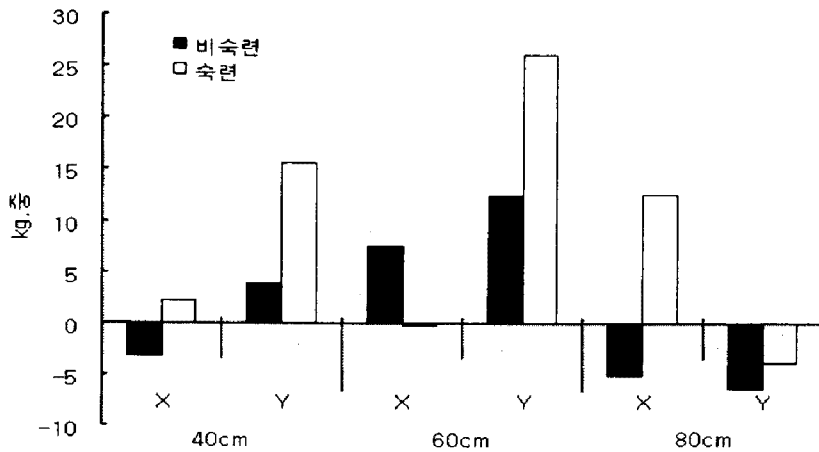


그림 2. 높이에 따른 그룹별 최대 지면반력(X,Y축)

(passive impulse phase)에서 능동충격량 국면(active impulse phase)으로 전환되는 시점에서 나타나는 것으로 보아 접지이후 점프를 하기위한 근 수축작용으로 생각되어서 80cm를 제외한 40cm, 60cm에서 숙련군의 지면위에서 전후방향으로 힘 전환기능이 상대적으로 원활한 패턴을 나타내고 있다.

그리고 수직방향에서 작용한 지면반력은 낙하높이 40cm에서 두 집단간 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 한편, 모든 낙하 높이의 수직력에서는 두 개의 충격력이 나타나는데 이는 수동 충격력과 능동 충격력으로 하지관절의 상해의 기전을 이해하는데 매우 중요한 정보이기 때문에 별도 변인으로 분석하려 한다.

3. 수동 충격력과 능동 충격력의 정성적 비교

Depth Jump의 접지구면에서 숙련군과 비숙련군의 수직방향(z축)에서 작용한 수동 충격력과 능동 충격력의 패턴은 <그림 3>와 같다.

<그림 3>에서 보면, 낙하높이 40cm에서 작용한 분석국면의 수직 충격력인데 두 집단 모두 수동

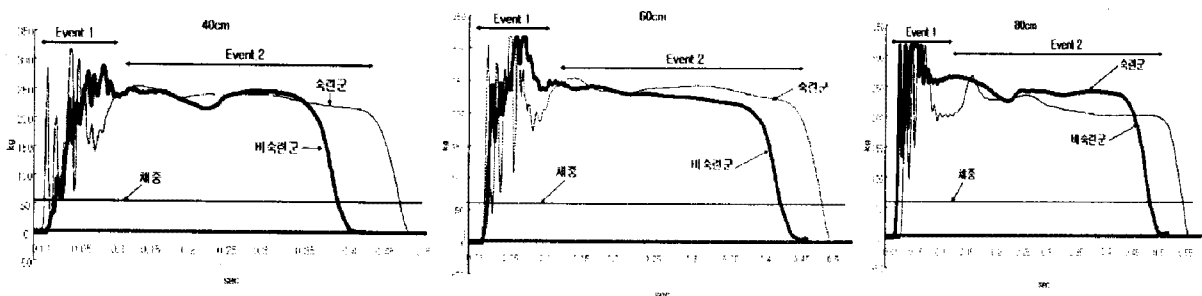


그림 3. 높이에 따른 최대 지면반력 수직방향(z축)에 작용한 수동 충격력과 능동 충격력의 그룹간 패턴

충격량 국면(passive impulse phase)과 능동충격량 국면(active impulse phase)을 나타내고 있다. 수동충격량 국면에서 숙련군은 약6개의 최대값 정점을 나타낸 반면, 비숙련군은 약7개의 최대값 정점을 나타내고 있다. 이 국면의 최대값 정점에서 특징은 숙련군은 양(+)과 음(-)의 부하율 구분이 명확하게 나타나고 있으며, 비숙련군은 양(+)의 부하율에 비해서 음(-)의 부하율은 명확하게 나타나지 않고 있다. 이것은 숙련군은 착지 시 무릎의 굴신을 이용하고 있는 결과라고 사료된다. 또한 능동충격력 국면에서 나타난 최대값 정점의 특징은 숙련군은 두 국면의 경계구분이 명확한 한 개의 최대값을 나타내고 있는데 비해서 비숙련군은 두 국면의 경계구분이 명확하지 않은 두 개의 최대값을 나타내고 있다. 일반적인 수동 충격력의 크기는 비숙련군에 비해서 숙련군이 큰 값을 나타내고 있다.

낙하높이 60cm에서 작용한 분석국면의 수직 충격력 역시, 수동 및 능동충격량 국면을 나타내고 있으며, 수동 충격력의 최대값 정점은 숙련군은 6개, 비숙련군은 5개로 나타나서 낙하높이 40cm보다 비숙련군은 최대값 정점의 수가 감소하였다. 또한 양(+)과 음(-)의 부하율 구분도 40cm 낙하높이와 유사하게 숙련군에서는 명확하게 구분되었지만 비숙련군에서는 음(-)의 부하율의 구분이 명확하지 않았다. 이 또한 착지 시 무릎의 신전과 관련된 원활한 기능의 부족함으로 사료된다. 수동충격량 국면과 능동충격량 국면의 경계구분이 숙련군에서는 명확하게 구분되어지는데 반하여, 비숙련군에서는 명확하지 않고 있다. 수동 충격력의 크기는 두 집단 모두 유사한 크기를 나타냈으며 능동충격량 국면에서 숙련군은 한 개의 최대값을 나타내고 있는데 비해서 비숙련군은 최대값을 나타내지 못하고 있다. 이 국면에서 나타난 최대값의 의미는 양(+)의 부하율로서, 숙련군은 점프를 하기위한 무릎관절의 굴곡에 의한 근수축을 수행하고 있으나 비숙련군은 그렇지 못하는 퍼포먼스 차이를 나타내고 있다.

낙하높이 80cm에서 작용한 분석국면의 수직 충격력은 낙하높이 40, 60cm와는 매우 상이한 패턴을 나타내고 있다. 두 집단 모두 수동 충격력 정점의 수는 5개로 동일하였고, 최대 충격력의 크기 또한 비슷한 크기를 나타내었다. 그러나 수동충격량 국면과 능동충격량 국면의 경계를 나타내는 시점에서는 매우 상이한 모습을 나타내고 있다. 즉, 숙련군은 두 국면간에 명확한 경계를 구분하는데 반해서 비숙련군은 구분을 나타내지 못하고 있다. 하지만 숙련군은 수동과 능동을 구분짓는 시점에서 낙하높이에 의한 충격으로 상대적인 긴 시간을 소요한 것으로 나타났는데, 이것은 지면에 접지와 함께 순간 정지했다가 점프를 위한 무릎관절의 능동적 수축을 하고 있다. 따라서 두 집단 모두 낙하높이 80cm에서는 낙하높이에 의한 충격으로 원활한 Depth Jump를 수행하지 못하는 것으로 사료된다. 근력 트레이닝이 목적일 때, 낙하높이는 40cm이하가 좋다는 보고(Bobert et al, 1987)와 비교해보면 숙련군은 낙하높이 60cm 이하, 비숙련군은 40cm 이하에서 실시하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4. 수동 충격력 및 능동 충격력 비교

낙하-접지-점프 국면에서 나타난 숙련군과 비숙련군의 수직 충격력을 수동 충격력과 능동 충격력으로 구분하여 나타낸 결과는 <표 4>과 같다.

표 4. 높이변화에 따른 수동 및 능동 충격력 비교

(단위:kg·중)

| 낙하높이 | | 비숙련군 | 숙련군(kg·중) | t | p | | |
|------|----|-----------|--------------|-----------|--------------|-------|--------|
| 40cm | 수동 | 충격력(kg·중) | 295.93±22.51 | 충격력(kg·중) | 321.33±15.20 | 2.291 | 0.045* |
| | | 체중비(BW) | 5.65 | 체중비(BW) | 5.66 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.07 | 발생시간(s) | 0.06 | | |
| | 능동 | 충격력(kg·중) | 272.56±17.53 | 충격력(kg·중) | 268.07±15.04 | 0.476 | 0.644 |
| | | 체중비(BW) | 5.21 | 체중비(BW) | 4.72 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.19 | 발생시간(s) | 0.16 | | |
| 60cm | 수동 | 충격력(kg·중) | 302.68±19.49 | 충격력(kg·중) | 320.34± 7.85 | 2.059 | 0.640 |
| | | 체중비(BW) | 5.78 | 체중비(BW) | 5.64 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.07 | 발생시간(s) | 0.04 | | |
| | 능동 | 충격력(kg·중) | 254.06±11.73 | 충격력(kg·중) | 266.02±17.86 | 0.156 | 0.200 |
| | | 체중비(BW) | 4.85 | 체중비(BW) | 4.69 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.14 | 발생시간(s) | 0.13 | | |
| 80cm | 수동 | 충격력(kg·중) | 308.47±10.80 | 충격력(kg·중) | 322.10± 6.44 | 2.656 | 0.240 |
| | | 체중비(BW) | 5.89 | 체중비(BW) | 5.00 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.04 | 발생시간(s) | 0.05 | | |
| | 능동 | 충격력(kg·중) | 260.98±29.72 | 충격력(kg·중) | 248.15± 8.76 | 1.014 | 0.351 |
| | | 체중비(BW) | 4.99 | 체중비(BW) | 4.37 | | |
| | | 발생시간(s) | 0.14 | 발생시간(s) | 0.14 | | |

Values are M±SD, *p<.05

<표 4>에서 보면 낙하높이 40cm에서 최대 수동 충격력의 크기는 숙련군이 321.33±15.20kg·중이었고 비숙련군은 295.93±22.51kg·중이었다. 또 같은 높이에서 최대 능동 충격력의 크기는 숙련군이 268.07±15.04kg·중이었고 비숙련군은 272.56±17.53kg·중으로 나타났다. 이 최대값을 체중비로 환산해서 비교해보면, 최대 수동 충격력에서 숙련군은 5.66배, 비숙련군은 5.65배로 비슷한 체중비를 나타내고 있고, 최대 능동 충격력은 숙련군이 4.72배, 비숙련군이 5.21배로 나타나 최대 능동 충격력에서는 비숙련군이 큰 힘을 작용하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Jenqdong Lin et al(2004)의 동일높이(drop jump; 40cm)에서의 최대 수동 충격력은 2.9±0.1배이고, 최대 능동 충격력은 2.69±14의 결과보다 매우 큰 값을 나타내고 있는 것으로 비교되었다. 이러한 최대값의 차이는 실험상황에서 본 실험에서는 피험자에게 맨발로 착지할 것을 요구하였으나 선행연구에서는 정확히 서술하지 않았으나 신발을 착용하고 실험을 실시한 차이 때문인 것으로 사료된다. 그러나 정현주 외(1997)는 착지기

에서 parallel jump의 수동적 최대값은 5.67배였으며, 능동적 최대값은 2.9, 2.3, 2.57배의 결과에서 수동적 최대값의 체중비는 매우 유사한 결과를 나타내고 있다. 정현주 외의 결과에서 능동적 최대값의 차이는 선행연구에서는 단순 착지동작이었으나 본 연구의 접지는 다음 점프를 하기 위한 순간 접지로서 퍼포먼스의 차이가 있는 것으로 사료된다. 또 두 집단 모두 최대 수동 충격력이 최대 능동 충격력보다 큰 값을 나타내고 있으며, 낙하높이 40cm에서 최대 수동 충격력의 크기는 숙련군과 비숙련군간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .05$).

또한 낙하높이 60cm에서 최대 수동 충격력의 크기는 숙련군이 320.34 ± 7.85 kg.중이었고 비숙련군은 302.68 ± 19.49 kg.중이었다. 또 동일높이에서 최대 능동 충격력은 숙련군이 266.02 ± 17.86 kg.중이었고 비숙련군은 254.06 ± 11.73 kg.중으로 나타났다. 이러한 최대값의 체중 비는 최대 수동 충격력에서 숙련군은 5.64배, 비숙련군은 5.78배로 나타나 최대값의 크기는 숙련군이 크게 나타났으나 체중비에서는 비숙련군이 크게 나타났다. 또 최대 능동 충격력에서 숙련군은 4.69배, 비숙련군은 4.85배로 나타나 최대 수동 충격력에서처럼 최대 값의 크기는 숙련군이 크지만 체중비는 비숙련군에서 크게 나타났다. 이러한 결과는 이승민(1999)의 낙하높이 0.63m에서 연성착지 시 3.27 ± 0.95 배의 체중비와 Jenqdong Lin et al(2004)의 최대 수동 충격력이 3.4 ± 0.2 배, 최대 능동 충격력이 2.6±14배의 결과보다 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 차이가 나타난 배경은 실험상황에서 신발착용 유·무와 연관이 있는 것으로 생각된다. 낙하높이 60cm에서도 40cm의 낙하높이에서처럼 두 집단 모두 최대 수동 충격력이 최대 능동 충격력보다 큰 값을 나타내고 있으나, 각각의 충격력에서 집단간 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

그리고 낙하높이 80cm에서 최대 수동 충격력의 크기는 숙련군이 322.10 ± 6.44 kg.중이었고 비숙련군은 308.47 ± 10.80 kg.중이었다. 또 동일높이의 최대 능동 충격력의 크기는 숙련군이 248.15 ± 8.76 kg.중이었고 비숙련군은 260.98 ± 29.72 kg.중으로 나타났다. 이러한 최대 값의 체중비는 최대 수동 충격력에서 숙련군이 5배, 비숙련군이 5.89배로 최대 수동 충격력의 크기는 숙련군이 크게 작용하고 있었고 체중비는 비숙련군이 크게 나타났다. 그리고 최대 능동 충격력의 체중비는 숙련군이 4.37배, 비숙련군이 4.99배로 나타나 능동 충격력의 최대 값은 비숙련군이 크게 작용하였으며 체중비 또한 비숙련군에서 크게 나타났다.

에어로빅스 여자선수 숙련군과 에어로빅 경험이 없는 여자대학생 비숙련군의 낙하높이 증가(40cm, 60cm, 80cm)에 따른 수직방향(z축)의 지면반력에서 하지관절의 상해와 연관 있는 수동 충격력과 능동 충격력은 모든 높이에서 숙련군의 수동 충격력의 최대값이 크게 나타나서, Nigg(1986)의 이론인 “수동 충격력의 피크 값이 클수록, 피크 수가 많을수록 상해 발병율이 높다”에 의거해서 숙련군의 하지관절 상해발병이 높을 수 있음을 제안할 수 있으며, <그림 4>에서처럼 모든 높이의 수동 충격력에서 많은 피크 수의 발생으로 두 집단 모두 하지관절 상해의 위험에 노출되고 있음을 알 수 있었다.

Depth Jump 착지 시 무릎관절이 가장 많은 부하를 받는다(Dufek & Bates, 1990)는 보고와 정현

주 등(1997)은 수동 충격력 국면동안 충격흡수를 위한 무릎굴신의 정도를 평가하기 위하여 피크에서 양(+)과 음(-)의 부하율 분석에 의거해서 수동 충격력 국면에서 무릎관절 굴신기능은 숙련군은 낙하높이 80cm를 제외한 40cm와 60cm에서 매우 효율적이었으나, 비숙련군은 모든 높이에서 음(-)의 부하율의 효율이 매우 떨어져서 무릎굴신 기능의 퍼포먼스가 원활하지 못함으로 인해서 충격흡수에 효과적이지 못하고 그로인해 무릎관절의 상해위험이 높음을 알 수 있었다. 그리고 이승민(1999)은 “수직 지면반력 곡선패턴이 낙하높이와 관계없이 제각각 다른 양상을 보였다”는 보고와는 다른 결과 즉, 두 집단 모두 낙하높이 80cm를 제외한 40cm, 60cm에서는 각기 집단별로 동일한 패턴을 나타내고 있었다. 또 낙하높이가 증가할수록 더 큰 충격력이 빠른 시간내에 발생한다(McNitt-Gray, 1991)는 내용에서는 낙하높이가 증가할수록 수동 충격력의 증가는 숙련군에서는 나타나지 않았으나 비숙련군에서는 약간씩 증가하였다. 그리고 최대 수동 충격력 발생시간은 높이증가에 따라서 빨라지지 않았다. 그러나 두 집단 모두 통계적인 유의차는 나타나지 않았다.

IV. 결 론

본 연구는 에어로빅 여자선수와 에어로빅에 전혀 경험이 없는 여자 대학생 6명을 대상으로 낙하높이 40cm, 60cm, 80cm에서 Depth Jump할 때, 낙하-접지-점프국면에서 발생하는 지면반력 중에서 하지관절 상해와 연관있는 수동 충격력과 능동 충격력을 중심으로 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 낙하-접지-점프국면에서 접지 시 소요시간은 숙련군이 낙하높이 80cm를 제외한 40cm, 60cm에서 짧은 소요시간을 나타내어 효과적이었으며, 낙하높이 60cm의 접지 시 소요시간은 두 집단간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < .05$).
2. 낙하높이 변화에 따른 전후, 좌우방향의 최대 지면반력은 일정한 패턴이 없이 다양하게 나타났으며, 숙련군이 낙하높이 80cm를 제외한 40cm, 60cm의 전후방향에서 양(+)의 방향으로 효과적이었으며, 낙하높이 40cm의 수직방향의 최대 값은 집단간 통계적으로 유의차가 있었다($p < .05$).
3. 수동 충격력과 능동 충격력의 정성적 비교에서는 두 집단 모두 큰 수동 충격력과 빈도가 모든 낙하높이에서 나타나는 것으로 볼 때, 모든 높이에서 하지관절 상해에 노출되어 있다.
5. 낙하높이 증가에 따라서 최대 수동 충격력의 크기는 증가하지 않았다.
4. 낙하높이 80cm를 제외한 40cm, 60cm에서 숙련군은 무릎관절 굴신기능으로 충격을 흡수하고 있으나 비숙련군은 모든 높이에서 무릎 굴신기능을 실시하지 못하고 있었다.
6. 낙하높이 증가에 따라서 수동 충격력의 최대값의 발생시간은 빨라지지 않았다.
7. 낙하높이 40cm의 최대 수동 충격력에서는 두 집단간 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < .05$).

이상의 결론을 토대로 Depth Jump 또는 수직 점프 등 공중기에 이어서 지면과 착지가 이루어지는 모든 점프관련 동작에서는 하지관절 상해위험에 노출되어 있음을 알 수 있었으며, 추후 운동학적(kinematics) 변인과 연계하여 특히, 무릎관절 각도와 지면반력과의 관계, 또 EMG를 이용한 하지관절 결합조직의 근전도와 수동 및 능동 충격력과의 관계규명 등을 추후과제로 실시하여 하지관절 상해예방을 위한 실질적인 정보제공이 보완되어야 한다고 생각한다.

참고문헌

- 강인섭(1988). **Plyometric Training** 방법이 근 파워에 미치는 영향. 미간행 박사학위논문. 한양대학교대학원.
- 곽창수(2000). 에어로빅댄스의 역학적 운동 강도와 상해위험. **한국유산소운동과학회지**, 제4권 제2호, 13-24.
- 김의수, 김동진, 신인식, 강신욱, 신승윤, 최대혁, 정영수(1988). 플라이오메트릭 트레이닝이 각근력에 미치는 영향. **대한 체육회 스포츠과학 연구소 논문집**.
- 김차남(2002). 스포츠 에어로빅스 Straddle Jump to Push up 동작의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 제12권, 2호, 77-90.
- 김태형, 이기청(1996). 에어로빅스 하이킥 시 운동화 중저의 경도에 따른 지면반력의 변화 및 발의 안정성에 관한 연구. **한국운동역학회지**, 제6권, 제1호, 93-106.
- 박중구(2002). 수직점프시 연령에 따른 남녀 초등학생의 지면반력에 대한 연구. 미간행 석사학위논문 인제대학교 교육대학원.
- 배영상(1996). 고령자의 드롭점프 발구름 동작에 있어 하지관절의 역학적 파워. **한국체육학회지** 제35권, 제1호, 325-334.
- 소재무, 임영태, 류지선, 채원식, 최중환, 임비오(2004). **인간 동작의 생체·신경역학적 이해**. 서울: 대한미디어.
- 우병훈 외 2인(2000). 스포츠 에어로빅 시 High Kick 동작의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 11(2).
- 유실(2000). 스포츠 에어로빅스의 팔착지 기술이 관절모멘트의 변화에 미치는 영향. 미간행 박사학위논문 한국체육대학교 대학원.
- 윤남식, 이경옥, 송인아(1999) A Dance Biomechanics Analysis of Turn-Out Vertical Jump in Ballet. **대한무용학회, 무용학회논문집**, Vol, 25, 29-142.

- 윤성원 외(2002). **근력 트레이닝과 컨디션닝**. 서울: 대한미디어.
- 윤희중, 문동안(1999). Depth Jump 시 도약 방향 및 연령차이가 역학적 요인에 미치는 영향. **한국운동역학회지** 제9권, 제1호, 115-126.
- 이세용(2000). 높이 변화에 따른 착지 시 하지 관절의 기계적 분석. **한국운동역학회 정기학술대회**, 1, 1-15.
- 이승민(1999). **높이 변화에 따른 하지 관절의 기계적 분석**. 미간행 석사학위논문 연세대학교.
- 전매희, 박춘기(1991). 다양한 Plyometric training 방법이 sudent jump와 제자리 멀리뛰기 기록에 미치는 영향. **경기대학교 스포츠과학 논문집**.
- 정철수의 5명(1995). 에어로빅스 운동시 부상 유발 동작의 운동 역학적 분석. **한국운동역학회지**, 제5권, 제1호, 31-40.
- 정현주, 송인아(1997). Turn-out과 Parallel 수직점프의 무용역학적 분석. **대한무용학회, 무용학회논문집**, Vol. 20, 267~288.
- 조성초(1999). Drop Jump에 있어서 맨발착지와 신발착지의 생체역학적 분석. **한국체육학회지**. 제38권, 제3호, 715-725.
- 조희령(2002). **텡스 점프시 점프높이의 변화가 발의 안정성과 수평지면반력에 미치는 영향**. 울산대학교 체육대학원 석사학위 논문.
- 한주욱(2002). **Plyometric Training의 박스 높이가 남자 중·고 핸드볼 선수의 점프력에 미치는 영향**. 선문대학교 석사학위 논문.
- Adrian, M.J and Cooper, J.M.(1989). *The biomechanics of human movement*. Indiana: Benchmark Press.
- Apell, H. J., Soares, J. M, & Duarte, J. A.(1992). Exercise, muscle damage and fatigue. *Sports Med*, 13(2), 108~115.
- Bahr, B., Karlsen, R., Lian, O., & Ovreb, R. V.(1994). Incidence and mechanism of acute ankle inversion injuries in volleyball. A retrospective cohort study. *America Journal of Sports Medicine*, 22(5), 595~600.
- Barrier, B., Kovacs, I., Racz, L., Tkhan, J., DeVita, P., & Hortobagyi, T.(1997). Differential effects of toe versus heel landing on lower extremity joint kinetics. *Med. Sci. Sports Exercise*, 29(5), s233.
- Bedi, J.F(1987). Increase in jumping hight associated with maximal effort vertical depth jumps. *Reseach Quartely*, 58, 11-15.
- Benno M. Nigg, Brian R. MacIntosh, Joachim Mester.(2000). *Biomechanics and Biology of Movement*. Human Kinetic.
- Bobbert, M. F., Huijing. P. A., & Van Ingen Schenau, G. J.(1987). Drop Jumping. I. The influence

- of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 4, 332~338.
- Bobbert, M. F., Huijling, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J.(1987). Drop Jumping. II. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 4, 339~346.
- Cavagna, G. A.(1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. In : *Exercise and Sports Science Reviews*, vol. 5. pp. 80 - 129.
- Dufek, J. S. and Bates, B. T.(1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Med. Sci. Sports Exercise*, 22(2), 370-377.
- Holcomb, W.R., Lander, J.E., Rutlad, R.M. & Wilson, G.D.(1996). A biomechanical analysis of the vertical jump and three modified plyometric depth jump. *J Strength Cond. Res.* 10, 83-88
- Hudson, J.L.(1986). Coordination of segment in the vertical jump. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 18(2), 242-251.
- Ingen Schenau, G.j.van, Bobbert, M.F. & Haan, A. de.(1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*. 13, 389-415
- Jenqdong Lin, Feng-Jen Tsai, Yu Liu.(2004). The Effect of Passive and Active Impulse on The Performances of Drop Jumps. *ISBS, Ottawa, Canada*. pp 23~26.
- Lamb, D. R.(1984). *Physiology of exercise(2nd)*. New York : Macmillan Publishing Co., 322.
- M. Michael Read and Craig Cisar.(2001). The Influence of Varied Rest Interval Lengths on Depth Jump Performance. *Journal of Strength and conditioning Research*, 15(3), 279-283.
- McCaw, S. T. and Bates, B. T.(1922). Biomechanical implications of mild leg length inequality. *British Journal of Sport Medicine*, 25, 10-13.
- McNitt-Gray, J, L.(1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landing from three heights. *International Journal of sport Biomechanics*, 7, 201-224.
- Miller, D. I. and East D. J.(1976). Kinematic and Kinetic correlates of vertical humping in women, *Biomechanics V-B*(pp.65-72). Baltimore : University park Press.
- NCAA(1990). *National Athletic Injury/Illness Reporting system*. The Pennsylvania State University.
- Newham, D. J., McPhail, G., Mills, K. R., & Edwards, R. H.(1983). Ultra structural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *Journal of Neurol Sci*, 61(1), 109~122.
- Nigg B. M.(1985). Biomechanics, load analysis and sports injuries in the lower extremities, *Sports*

Medicine, 2, 367~379.

- Nigg Benno M.(1986). *Biomechanics of running shoes*. Illinois : Human Kinetics Publishers. Inc
- Rack, P. M. H., & Westbury, D. R.(1974). The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. *Journal of Physiology*, 240, 331~350.
- Schot, P. K., Bates, B. T., & Dufek, J. S.(1994). Bilateral performance symmetry during drop landing: a kinematic analysis. *Med. Sci. Sports Exercise*, 26, 1153-1159.
- Watkins, J. & Green, B. N.(1992). Volleyball injuries:a survey of injuries of Scottish National League male players. *British Sports Medicine*, 26(2).
- Young, W.B., Pryor, J.E. & Wilson, G.J.(1995). Effect of instruction on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond. Res.* 9, 232-236
- Zhang, S., Bates, B. S., & Dufek, J. T.(1996). Selected knee joint forces during landing activities. *Proceedings of the 20th annual meeting of American Society of Biomechanics*, Atlanta, Georgia.

투 고 일 : 2005. 02. 15

심 사 일 : 2005. 02. 23

심사완료일 : 2005. 02. 28