



## 드롭랜딩 시 backpack 중량 변화에 따른 충격 흡수 기전 Shock Attenuation Mechanism in Drop Landing According to the Backpack Weight Changes

최치선\* · 남기정 · 신인식 · 서정석 · 은선덕 · 김석범(서울대학교)  
Choi, Chi-Sun\* · Nam, Ki-Jeong · Shin, In-Sik · Seo, Jung-Suk ·  
Eun, Seon-Deok · Kim, Suk-Bum(Seoul National University)

### ABSTRACT

C. S. CHOI, K. J. NAM, I. S. SHIN, J. S. SEO, S. D. EUN, S. B. KIM. Shock Attenuation Mechanism at the Backpack Weight Change in Drop Landings. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 16, No. 2, pp. 25-35, 2006. The purpose of this study was to investigate the shock attenuation mechanisms while varying the loads in a backpack during drop landing. Ten subjects (age:  $22.8 \pm 3.6$ , height:  $173.5 \pm 4.3$ , weight:  $70.4 \pm 5.2$ ) performed drop landing under five varying loads (0, 5kg, 10kg, 20kg, 30kg). By employing two cameras (Sony VX2100) the following kinematic variables (phase time, joint rotational angle and velocity of ankle, knee and hip) were calculated by applying 2D motion analysis. Additional data, i.e. max vertical ground force (VGRF) and acceleration, was acquired by using two AMTI Force plates and a Noraxon Inline Accelerometer Sensor. Through analysing the power spectrum density (PSD), drop landing patterns were classified into four groups and each group was discovered to have a different shock attenuation mechanism. The first pattern that appeared at landing was that the right leg absorbed most of the shock attenuation. The second pattern to appear was that subject quickly transferred the load from the right leg to the left leg as quickly as possible. Thus, this illustrated that two shock attenuation mechanisms occurred during drop landing under varying load conditions.

KEYWORDS: DROP LANDING, BACKPACK, SHOCK ATTENUATION

### I. 서론

농구, 배구, 체조 등의 스포츠에서는 인간의 동작들 가운데 점프와 착지 동작이 필수적으로 수반된다. 일정한 높이에서 떨어지거나 또는 점프 후 다시 지면으로

자유낙하 하는 것을 드롭랜딩(drop landing) 혹은 드롭 점프(drop jump)라고 하는데 드롭랜딩 시에는 반드시 착지동작을 하게 되며 착지 동안에 인체는 강한 충격을 받게 되고, 이러한 충격을 제대로 흡수하지 못하였을 경우 부상을 당할 수 있다. 충격의 크기는 수직지면반력(Vertical Ground Reaction Force)의 크기로 추정할

수 있는데, 수직점프 후 착지 시 수직지면반력은 체중의 3.5-7.1배이며(Valiant & Cavanagh, 1985), 착지 속도와 점프 높이에 비례하여 증가하고(Bobbert et al, 1987; Dufek & Bates, 1990; McNitt-Gray, 1991; Richard & Veatch, 1990; Zhang et al, 1992), 신체가 감당하기에 높은 충격은 부상이 발생할 수 있다(Dufek & Bates, 1990). 따라서 드롭랜딩 후 착지 시에는 충격을 흡수하기 위해 하지의 관절들을 보다 더 굴곡 시키거나(Dufek & Bates, 1990; Devita & Skelly, 1992; Zhang et al, 1996) 발바닥 전체가 아닌 발의 앞부분부터 착지하여야 한다(Gross & Nelson, 1988; Valiant & Cavanagh, 1985). 국내에서도 드롭랜딩 후 착지에 관한 논문들이 다수 있는데(김현경과 고영규, 1997; 조성초와 채정룡, 1998; 조성초, 1999; 이세용 등, 2001; 조성초, 2004) 이세용 등(2001)은 하지관절들을 굴곡시키면서 착지하는 부드러운 착지의 경우 신전시킨 채 하는 착지보다 발목을 더 굴곡시킴으로써 충격을 최소화 하려 했으며, 발목과 무릎관절에서의 최대 모멘트 값은 신전시킨 채 하는 착지가 보다 더 크고 발생 시점도 더 빨라 충격이 상위분절로 전이되어 상해의 원인이 될 수 있다고 하였다. 조성초(2004)는 드롭랜딩에서 시각의 방해는 착지 순간 무릎각을 적절히 조정하지 못해 효과적인 착지 동작이 이루어지지 못해 상해의 위험이 있다고 하였다.

그런데 등산이나 하이킹, 군대에서 행군이나 훈련, 짐을 운반하는 일, 지구력 향상을 위한 트레이닝 등에서와 같이 등짐(backpack)을 지고 신체활동을 하는 경우도 있다. 특히, 1박 이상의 장기간 산행에서는 배낭의 무게가 13kg~25kg 이상이며(<http://www.nepa.co.kr>), 군대의 완전군장의 경우도 30kg정도이다. 이러한 무거운 등짐을 지고 산행을 하거나 활동하는 동안에도 드롭랜딩이 일어나고, 이 때 인체가 받는 충격은 평상시 짐이 없는 경우보다 더 클 것이다.

Backpack의 부하는 생리학적으로 산소소비와 에너지 소비를 증가시키며 운동역학적 측면에 변화를 가져온다. 선행연구들을 살펴보면 중량 부하가 보행 시 생리적 변인에 미치는 효과의 연구(전종귀, 1994; 서국웅과 강영택, 2001; 김용규 등, 2002)와 운동역학적 분석(홍성표 등, 1991; 조성초, 2001)등으로 산소·에너지 소

비 증가, 보폭 감소, 상체 기울임 증가, 하지 관절에 무리 등의 결과가 보고되었다. 이렇듯 backpack의 중량 부하는 보행과 관련되어 연구되었지만 산행이나 산악 구보시에 발생하는 드롭랜딩에 대한 분석은 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 backpack의 부하를 증가시킴에 따라서 드롭랜딩 착지 시 충격 흡수 기전을 규명 하려고 하며 이를 위해 구간별 운동학 및 운동역학적 변인들을 분석하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구의 실험대상자는 하지의 병력이 없는 건강한 성인 남자 10명으로 신체적 특징은 다음 <표 1>과 같다.

표 8. 실험대상자의 특성 (n=10)

subjects	age	height(cm)	weight(kg)
A	24	177	74
B	24	173	66
C	30	167	80
D	28	177	70
E	20	175	71
F	21	180	72
G	21	170	65
H	20	170	62
I	20	177	74
J	20	169	70
M±SD	22.8±3.6	173.5±4.3	70.4±5.2

### 2. 실험도구

본 연구는 오른쪽과 왼쪽을 구분하여 2차원 분석을 실시하였다. 따라서 운동학적(kinematic) 자료를 얻기 위해 양쪽에 각각 한 대, 총 두 대의 디지털 비디오 카메라(SONY VX-2100)를 사용하였고 샘플링 빈도는 60

Hz, 셔터스피드는 1/250로 설정하였다. 또한 운동역학적(kinetic) 자료를 얻기 위해 두 대의 AMTI사 지면반력기를 사용하였고 샘플링 빈도는 1000Hz로 설정하였다. 영상 정보와 지면반력 정보 간의 동조를 위하여 manual trigger를 이용 LED 불빛 신호를 영상 정보에, TTL 전기 신호를 지면반력과 가속도 정보에 기록하였다. 한편 backpack은 O사의 등산용 배낭을 사용하였고, 신발은 T사의 중경등화 산악종주용 등산화(270mm)를 사용하였다. 또한 backpack 부하를 증가시키기 위해 7.5kg 2개, 5kg 1개, 2.5kg 2개, 총 5개의 디스크를 사용하였다. 가속도 측정은 Noraxon inline accelerometer sensor를 사용하였고 이 센서는 2축이며 10G까지 측정이 가능하며, bandwidth는 5Hz~6kHz이다.

### 3. 실험절차

드롭랜드링을 실시하기 위해 착지점이 되는 첫 번째 지면반력기에서 운동방향의 반대 방향으로 80cm 떨어진 곳에 높이 40cm 상자를 설치하였다. 그 다음 2차원 공간 좌표를 설정하기 위해 모든 운동범위를 포함하는 통제점 틀을 세우고 양쪽에 각각 한 대의 카메라를 설치하였다. 먼저 통제점 틀을 양쪽에서 각각 촬영하였고 본 실험인 드롭랜드링 촬영을 시작하였다. 실험대상자는 반타이즈만 착용하였고, 오토 디지털이징을 위해 인체 관절에 한쪽에 8개씩 16개, 등산화의 한쪽에 3개씩 6개, backpack에 2개씩 4개, 총 26개의 반사마커를 부착하였다. 또한 가속도 측정을 위해 가속도계를 경골의 앞쪽 튀어나온 부분(tibial tuberosity)에 하퇴의 장축과 가속도계의 x축을 일치하게 부착하였다(Mizrahi et al., 2000). 부하조건은 0, 5, 10, 20, 30kg의 다섯 조건으로 실험대상자는 난수표를 이용하여 무작위로 드롭랜드링을 실시하였는데, 제한을 두지 않고 실험대상자가 가장 편하게 생각하는 방식으로 뛰어내리도록 하였다. Backpack의 중량을 증가시키기 위해 10kg 조건부터는 디스크를 사용했으며 일반적인 등산용 배낭꾸리기 지침에 의거하여 backpack 안에 가벼운 이불을 채워 놓고 제일 윗부분에 디스크를 삽입하였다. 디스크의 움직임 최대한 제한하고 배낭이 늘어지지 않도록 배낭끈을 단단히 조여 실험대상자의 허리와 등에 밀착시켰다.

실험대상자는 실험에 들어가기 전에 충분한 준비운동과 드롭랜드링을 연습하였다. 지면반력기에서 체중을 측정한 후, 상자 위에 올라가서 자연스러운 동작으로 오른발 착지 드롭랜드링을 하고 왼발이 두 번째 지면반력기를 접촉하여 양 발이 모두 지면반력기를 벗어날 때까지를 실험구간으로 설정하였다.

### 4. 변인 및 자료처리

Kwon 3D V.3.1, Kwon GRF V.2.0, MS Office Excel 2003, Noraxon MR XP V.1.06 프로그램들을 이용하여 kinematic 및 kinetic 변인들을 산출하였다. 산출된 종속변인들을 power spectral density(PSD) 유형에 따라 나누고 재분류하여 충격 흡수 기전을 기술하는데 사용하였다.

#### 1) 이벤트 및 구간 설정

##### (1) 이벤트(events)

- ① Start(Start): 드롭랜드링을 시작한 시점
- ② RFC(Right Foot Contact): 첫 번째 지면반력기에 오른발이 착지되는 시점
- ③ LFC(Left Foot Contact): 두 번째 지면반력기에 왼발이 착지되는 시점
- ④ RFR(Right Foot Release): 오른발이 지면에서 떨어지는 시점
- ⑤ LFR(Left Foot Release): 왼발이 지면에서 떨어지는 시점

##### (2) 구간(phases)

- ① RS(Right Stance): RFC에서 RFR까지
- ② LS(Left Stance): LFC에서 LFR까지
- ③ DS(Double Stance): LFC에서 RFR까지로 두발이 지면에 닿아있는 구간

#### 2) 운동학적(kinematic) 변인

본 연구에 사용된 운동학적 변인으로는 각 구간별 시간, 발목관절각도, 무릎관절각도, 엉덩관절각도, 질량 중심의 높이변화, 각 관절의 신전-굴곡 차이 등이 있다. 각도의 단위는 degree이다.

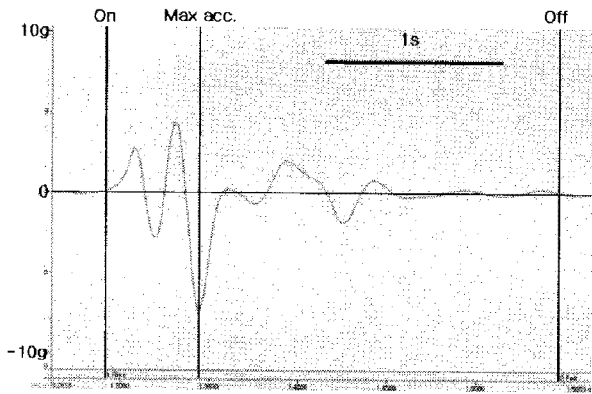


그림 1. 30kg backpack 실험대상자 1인의 오른발 착지 시 가속도의 감쇄진동 그래프

3) 운동역학적(kinetic) 변인

경골의 앞쪽 튀어나온 부분에 하퇴의 장축과 가속도계의 x축을 일치하게 부착하여, 경골의 장축을 통해 전해오는 충격 가속을 1500Hz로 sampling 하였다(40Hz Butterworth - lowpass filter). 역치 수준 0.1g에서 0.01s 동안 움직임이 없는 시점을 on 시점으로, 오른발 착지 시 발생한 최대가속도 발생 이후 같은 기준으로 off되는 시점을 정의하였다(그림 1). 최대가속도의 절대값(Max. acc.)과 on, off 구간의 median frequency(MDF), Fast Fourier Transformation(FFT)를 사용하여 구한 PSD에서 각 시행의 impact peak과 active peak에서의 주파수를 조사하였다. Impact peak은 지면에 땅에 닿는 충격으로 발생하는 높은 주파수와 관련 있으며, active peak은 착지하고 있는 동안 혹은 밀어내는 동작과 연관된 낮은 주파수에 기여한다. MDF는 지면으로부터 받은 충격을 신체 각 분절이 상위 분절로 가면서 얼마나 흡수하는가 알아보는 지표로 사용되는데, 본 연구에서는 하나의 가속도계만을 사용하였기 때문에 해당 분절의 MDF와 선행연구의 데이터를 비교하여 참고자료로 활용하였다.

지면반력기를 이용해 수직지면반력을 측정하여 최대값을 최대충격력(Max. Fz)으로 사용하였고, 그 절대적(absolute) 값뿐만 아니라, 각 부하 조건에서 backpack 부하를 포함한 실험대상자 개인의 체중으로 나눠 상대적(relative)인 최대 충격력(normalized Max. Fz)도 구해 서로 비교하였다. 또한 이 수직지면반력을 통해 나

타난 힘-시간 곡선에서의 기울기를 구하여 그 최대값을 최대 부하율(Max. loading rate)로 나타냈으며 그 단위는 N/s이다.

### III. 결과 및 논의

본 연구의 실험 결과 각 실험대상자들은 backpack 부하 증가에 따른 드롭랜딩 시 각기 다른 착지 유형을 보였다. 그 유형은 같은 실험대상자 내 부하별로 달랐으며, 실험대상자 간에도 다르게 나타났다. 이 같은 착지 유형의 변화는 backpack 부하의 변화에 따라 각 실험대상자별로 다른 착지 전략을 사용하기 때문이라고 사료된다. 착지 유형의 변화를 제일 잘 설명해주는 변인은 가속도계 data의 PSD였으므로 이후 모든 데이터는 PSD의 유형에 따라 분류하였다.

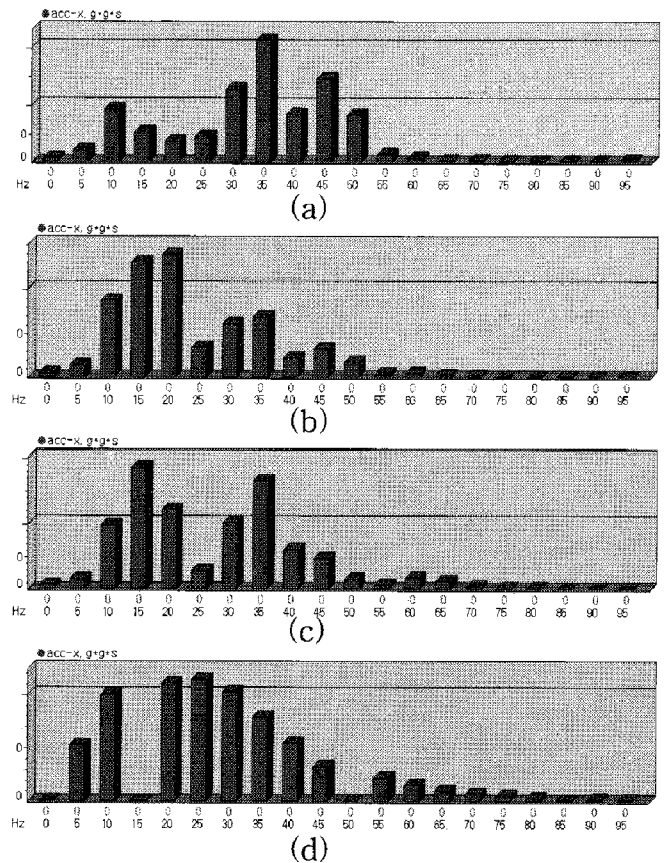


그림 2. 가속도계 데이터의 PSD. (a) 유형 1, (b) 유형 2, (c) 유형 3, (d) 유형 4

1. PSD 유형

PSD는 <그림 2>와 같이 네 가지의 유형으로 나타났다. 유형 1은 impact peak에서의 주파수 크기가 active peak보다 상대적으로 큰 유형이고, 유형 2는 active peak에서의 주파수 크기가 impact peak에서보다 상대적으로 큰 경우를 말하며, 유형 3은 impact peak과 active peak에서의 주파수 크기가 비슷한 경우이다. 유형 4는 impact peak, active peak의 구분 없이 MDF 근처에서 peak 주파수를 가지는데, 이 유형은 촬영된 영상을 통한 정성적 분석 결과, 출발 자세에서 박스로부터 이지 후 착지할 때 지면반력기를 밟는 발과 박스를 밟는 발 모두가 접촉해 있는 double stance 구간이 있는 경우 발생했다.

<표 2>는 backpack 중량의 변화에 따라 각 실험대상자들의 착지 유형이 어떻게 달라지는지를 제시한 것이고, <표 3>은 그 빈도의 분포를 정리한 것이다. 전체적으로 보았을 때 유형 1과 유형 2가 30%와 36%로 가장 많이 발생했으나, 중량별로 환산한 빈도 분포에선 0kg에서의 1유형이 50%, 2유형이 40%로 나타나 부하가 가벼운 상황에선 유형 1 혹은 유형 2 착지를 사용한다고 예측할 수 있다. 이러한 분포는 중량이 변화함에 따라 다른 양상을 보이는데, C, F, J 실험대상자는 중량 변화와 상관없이 각각 유형 1, 유형 4, 유형 2가 지속되는 PSD를 보였고, D, G 실험대상자의 경우 유형 2를 중간 부하까지 유지하다가 유형 4 내지는 유형 2로 변화하는 모습을 보였다. 이로 미루어 볼 때, 각 실험대상자들이 중량의 변화에 대하여 매우 다양한 착지 전략을 사용하였음을 추정할 수 있는데, 중량의 변화와 더불어 평소 착지할 때의 습관이 각 시행마다 적용되어 이러한 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 분석에 사용된 총 시행 횟수가 50회인 바, 추후 연구에서는 실험대상자들을 더 많이 늘려서 결과를 확인해 볼 필요가 있다.

2. PSD 분석

Mizrahi 등(2000)은 경사진 지면을 뛰어 올라가는 경우와 뛰어 내려오는 경우, 하퇴에 부착한 가속도계가 나타내는 impact peak(12~20Hz 구간)의 주파수가 activ

표 2. 실험대상자별 중량 변화에 따른 PSD 유형 변화

subjects \ load	0kg	5kg	10kg	20kg	30kg
A	1	3	2	2	3
B	1	4	1	3	3
C	1	1	1	1	1
D	2	2	2	4	2
E	1	1	3	1	2
F	4	4	4	4	4
G	2	2	2	4	4
H	2	3	1	2	2
I	1	3	3	1	1
J	2	2	2	2	2

표 3. 유형별, backpack 중량별 시행 빈도 분포 (괄호 안은 중량별 빈도 분포)

load \ pattern	1	2	3	4	total
0kg	10(50)%	8(40)%	-	2(10)%	20(100)%
5kg	4(20)%	6(30)%	6(30)%	4(20)%	20(100)%
10kg	6(30)%	8(30)%	4(20)%	2(10)%	20(100)%
20kg	6(30)%	6(30)%	2(10)%	6(30)%	20(100)%
30kg	4(20)%	8(40)%	4(20)%	4(20)%	20(100)%
total	30%	36%	16%	18%	100%

표 4. 드롭랜딩 시 유형별, backpack 중량별 하퇴의 active peak, impact peak 주파수와 median 주파수 (단위 : Hz)

variables \ pattern load	1	2	3	4	
Active peak frequency	0kg	11.8(2.7)	<b>18.5(1.7)</b>	-	26.0(0.0)
	5kg	13.5(0.5)	<b>18.0(1.6)</b>	21.3(6.2)	20.0(4.0)
	10kg	11.7(1.2)	<b>19.0(1.7)</b>	16.0(4.0)	14.0(0.0)
	20kg	13.0(0.8)	<b>18.0(1.6)</b>	10.0(0.0)	20.0(0.0)
	30kg	16.5(3.5)	<b>18.0(2.4)</b>	14.5(1.5)	17.0(3.0)
Impact peak frequency	0kg	<b>40.2(6.0)</b>	40.3(3.0)	-	-
	5kg	<b>37.0(1.0)</b>	39.3(3.4)	35.7(4.5)	-
	10kg	<b>36.3(4.5)</b>	34.5(8.7)	37.0(1.0)	-
	20kg	<b>38.7(4.7)</b>	28.7(6.6)	30.0(0.0)	-
	30kg	<b>38.5(0.5)</b>	42.5(3.6)	39.0(3.0)	-
Median frequency	0kg	25.6(5.5)	18.3(1.5)	-	21.0(0.0)
	5kg	25.0(5.0)	17.7(1.2)	20.0(1.6)	19.5(3.5)
	10kg	27.3(0.5)	18.8(0.8)	18.5(0.5)	17.0(0.0)
	20kg	24.0(5.4)	17.7(0.9)	21.0(0.0)	19.3(1.2)
	30kg	24.0(7.0)	19.3(0.8)	21.0(1.0)	19.0(1.0)
average	25.2	18.4	20.1	19.2	

e peak(4~9Hz)보다 높았다고 보고하였고, 피로에 의해서 25~35Hz 구간까지 증가한다고 보고하였다. 본 드롭 랜딩 실험에서는 <표 4>의 결과와 같이 유형 1의 active peak은 12~17Hz, 유형 2는 18~19Hz, 유형 3은 10~21Hz의 주파수를 보였으며, 전반적으로 10~21Hz의 분포대를 가졌다. 유형 1보다 유형 2의 경우 active peak이 크다는 것은 유형 2가 착지 후 충격을 이겨내기 위해 적극적으로 하지 내에서 어떤 작용이 일어났다는 증거이고, 유형 3은 매우 다양하게 반응하였다는 것을 보여준다. 한편, impact peak에 있어서 유형 1은 36~40Hz, 유형 2는 29~43Hz, 유형 3은 30~39Hz를 보이면서, 전체적으로 29~43Hz의 분포대를 가졌다. 유형 4의 경우 박스 위와 지면반력기 위 모두에 발이 닿아있는 상태이므로 두 impact peak, active peak 변인과는 관계 없이 하나의 peak을 가지며, 수치상으로 active peak에 가까운 14~26Hz를 보였다. 유형 1과 유형 2에서 두 변인들의 수치가 선행연구의 달리기 peak 수치보다 큰 이유는 보다 높고, 먼 거리에서 착지했기 때문에 그만큼 충격이 크고 이를 흡수하기 위한 기전이 작용됐기 때문이라고 사료된다.

MDF는 지면으로부터 받은 충격 흡수의 지표로 사용된다. 달리기 시 천추(sacrum)의 MDF가 7~9Hz인데 반해, 하퇴는 11~13Hz, 머리는 3~4Hz를 보이는데, 이는 상위 분절로 가면서 높은 주파수 성분을 제거하는 역할을 하기 때문인 것으로 풀이되고 있다(Mizrahi et al., 2000). 하퇴에 부착된 가속도계가 보이는 전체 MDF의 범위는 17~27Hz로서 선행연구의 11~13Hz보다 큰 값을 보이는데, 선행연구의 실험상황이 달리기였던 반면 본 연구의 실험상황은 드롭랜딩이었기 때문인 것으로 풀이된다. MDF의 평균값은 유형 1(25.2Hz), 유형 3(20.1Hz), 유형 4(19.2Hz), 유형 2(18.4Hz)의 순이었는데, 순서대로 하퇴에 작용한 충격이 컸을 것이라 유추할 수 있다. 유형 2, 유형 3, 유형 4의 경우 18.4~20.1Hz로 각 유형 간 매우 작은 편차를 보였는데, 이는 세 유형에서 같은 기전이 작용되었지만 착지 후 실험대상자의 반응에 따라서 유형 2, 유형 3, 유형 4의 형태로 분화되어 나타난 것이 아닐지 충분히 검토할 필요가 있다.

또한 각 유형들의 MDF가 모두 backpack의 부하 간 편차가 심하지 않고 서로 모여 있어, PSD 유형 분석으

로 분류한 그룹과 맥을 같이 하므로 충격 흡수 및 전달 과정에서 가속도계를 이용한 주파수 PSD 유형 분석이 충격 흡수기전을 설명하는데 있어 어느 정도 설득력을 가짐을 시사한다.

### 3. 가속도 분석

가속도계 부착 시 각 분절의 장축에 설치하게 되는데 이는 장축을 통해 전해오는 충격을 측정하기 위해서이다. 지면과 가까운 분절일수록 가속도의 크기가 크게 나타나며, 멀어질수록 그 크기가 작아지는데 그 이유는 원위분절로 갈수록 신체가 충격을 흡수하기 때문이다. 보통 한 분절에 하나씩 두 개 이상의 가속도계를 달아 각각의 최대 가속도를 가지고 충격 transmission ratio (TR)을 계산하는데, TR은 속도가 증가함에 따라 유의하게 증가하고, 발목과 머리의 TR보다는 무릎과 머리의 TR이 통계적으로 유의하다고 보고하고 있다(Kenneth, G. H 등, 2005). 본 실험에서는 1개의 가속도계로 가속도를 측정해 선행논문과의 비교를 목적으로 하였다. 최대가속도의 범위는 <표 5>에 보이는 것과 같이 3.7~6.0g로 선행연구의 7~11g(Mizrahi et al., 2000)보다는 작은 값을 보였다. 유형 1의 경우 가장 큰 가속도를 나타냈고, 유형 2, 유형 3, 유형 4의 경우 4.8~5.0g를 보여 매우 작은 편차를 나타냈다. 이는 MDF 분석과 마찬가지로 같은 기전 작용이 다른 형태로 나타난 것이라는 또 하나의 중요 증거라고 할 수 있다. 즉, 차후 분석에서는 각 유형별 분석과 더불어 유형 2, 유형 3, 유형 4를 하나의 그룹으로 묶어서 결과를 해석할 필요가 있다고 사료된다.

또한 중량 변화에 따른 가속도 변화에 주목할 필요가 있다. Backpack의 중량이 5kg일 때가 10~30kg일 때보다 더 큰 값을 나타냈는데, 이는 5kg backpack까지의 충격은 신체에 무리가 없다고 생각하여 드롭랜딩을 하지만, 10kg 이후에는 착지 이전에 충격이 클 것을 대비해 발의 앞부분을 먼저 닿는다거나, 무릎의 굴곡을 크게 하는 등의 충격 흡수 기전을 발휘하여 충격 시의 가속도를 감소시켰기 때문일 것으로 사료되는데 이는 차후 영상자료의 분석을 통해 확인할 것이다.

표 5. 드롭랜딩 시 오른발 하퇴에 가해지는 최대 가속도 (단위 : g)

load \ pattern	1	2	3	4	average
0kg	4.9	5.5	-	4.7	3.8
5kg	6.3	5.0	5.3	5.3	5.5
10kg	4.8	5.4	5.1	3.8	4.8
20kg	5.8	3.7	4.6	5.5	4.9
30kg	6.0	4.9	4.8	4.8	5.1
average	5.6	4.9	5.0	4.8	5.1

4. 지면반력 분석

오른발 착지 시 수직지면반력의 최대값을 최대충격력(max\_Fz)이라 하고, 각 값을 backpack의 증량을 포함한 실험대상자의 체중으로 표준화(relative max\_Fz)하여 나타내었을 때, 전체 실험대상자에 대한 비교는 <그림 3>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 최대충격력에서 backpack 부하의 증가에 따라 같이 증가하는 경향을 보였고, 10kg 부하에서 잠시 줄어들었다가 증가하는 모습을 보였다. 이는 5kg 부하까지는 무부하와 같이 생각하고 착지하다가 10kg 부하에서부터 backpack의 무게를 인지하고 상해 방지를 위한 신체 충격 흡수 기전을 발휘한 것이라고 사료되는데, 위와 같은 예는 <표 5>의 5kg backpack 부하 시 유형 1에서 제일 큰 가속도가 나온 것과 맥을 같이 한다. 이는 <그림 3>의 점으로 표시한 그래프의 상대적 최대충격력의 변화에서 보다 확실하게 확인할 수 있는데, backpack을 포함한 전

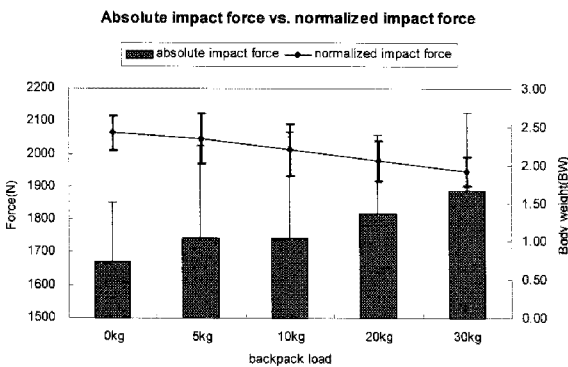


그림 3. 실험대상자 10명에 대한 최대충격력(max\_Fz)과 체중과 backpack의 증량으로 표준화한 상대적 최대충격력의 비교(normalized max\_Fz)

체 몸무게로 나누었을 시 같은 값을 유지해야 정상이었지만, 점점 줄어드는 유형을 보인다는 것은 부하에 따라 신체에 오는 충격을 흡수하기 위한 기전이 발휘시켰다는 것을 증명한다.

<그림 4>와 <표 6>은 오른발과 왼발의 최대충격력을 backpack 증량 변화와 착지 유형의 변화에 따라 표현하였다. 각 유형의 오른발 착지 최대충격력 평균값을 비교해 보면, 유형 1은 약 1900N, 유형 2와 유형 3은 약 1700~1750N, 유형 4는 약 1600N을 보였는데, MDF와 가속도 결과와 마찬가지로 유형 1에 비해 유형 2~4의 최대충격력이 작았다. 오른발 착지 후 바로 내딛는 왼발의 착지 최대충격력 평균값을 비교해 보면, 유형 4

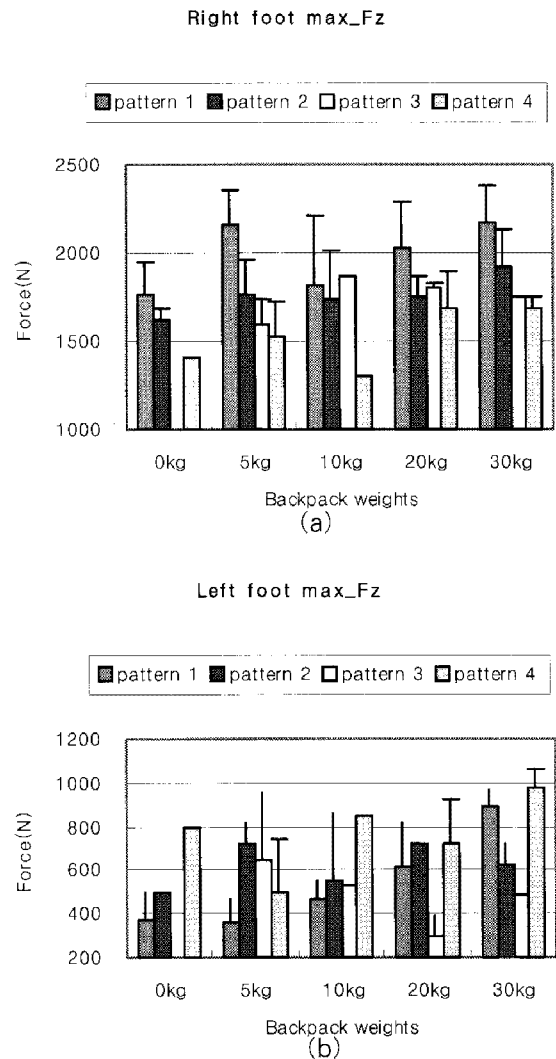


그림 4. 드롭랜딩 시 최대충격력. (a) 오른발 착지 시 최대충격력, (b) 오른발 착지 후 바로 내딛는 왼발의 최대충격력

표 6. 드롭랜딩 시 오른발의 최대충격력(max\_Fz)과 회복을 위해 디딘 왼발의 최대충격력(max\_Fz) (단위 : N)

variables	pattern load	1	2	3	4	average
right foot max_Fz	0kg	1768.62 (185.18)	1614.90 (70.57)	-	1409.79 (0.00)	1671.25
	5kg	2160.19 (194.59)	1760.12 (197.36)	1597.08 (65.49)	1525.48 (202.14)	1744.29
	10kg	1814.98 (400.34)	1738.68 (275.14)	1863.15 (142.69)	1300.68 (0.00)	1742.66
	20kg	2024.61 (267.00)	1751.20 (115.25)	1800.20 (0.00)	1689.98 (209.12)	1819.76
	30kg	2168.56 (217.59)	1915.47 (220.11)	1748.61 (23.81)	1686.80 (61.73)	1886.98
	average	1934.62	1756.12	1726.87	1578.33	1772.99
left foot max_Fz	0kg	365.75 (126.91)	493.31 (157.00)	-	790.75 (0.00)	459.28
	5kg	358.18 (106.47)	718.53 (101.09)	646.77 (97.48)	493.21 (245.88)	579.87
	10kg	470.75 (83.28)	547.89 (43.68)	525.78 (306.82)	853.29 (0.00)	550.87
	20kg	616.83 (205.23)	717.69 (89.82)	295.97 (0.00)	721.21 (198.92)	646.32
	30kg	894.06 (69.81)	625.93 (97.79)	482.95 (94.02)	980.49 (82.03)	721.87
	average	506.40	609.85	531.72	750.56	591.64

가 약 750N, 유형 2가 약 600N, 유형 1과 유형 3이 약 500N의 충격력을 보였다. 전반적으로 오른발 착지 시 충격력이 컸을 때는 왼발의 충격력이 작게 나타났고, 오른발 충격력이 상대적으로 작게 나타난 유형의 경우에는 왼발의 충격력이 상대적으로 크게 나타났는데, 이는 부하의 변화에 따라 다른 충격을 감지한 신체 고유 수용기가 왼발을 디디기 전에 충격을 흡수할 수 있는 기전을 작용시킴으로써 나타난 결과로 추측되어진다.

유형 1의 경우, 5kg 부하 조건을 제외하고 부하의 증가에 따라 오른발 최대충격력이 증가하는 양상을 보였으며, 이는 부하 증가에 따른 당연히 예상되는 결과이다. 하지만 5kg 조건에서의 돌출은 backpack의 조건이 학습되지 않은 상황에서 뛰어내림으로써 신체가 미처 방어 기전을 펴지 못했던 것으로 사료되며, 이후 10kg 이후부터는 인체의 고유 감각적인 기관들이 동원되어 신체를 충격으로부터 보호하기 위한 기전을 실행했을 것이라 사료된다. 유형 1의 왼발 착지 자료를 보면, 큰 충격으로부터의 회복을 위해 부하가 커질수록

표 7. 오른발 착지(RFC) 후 왼발 착지(LFC)까지 시간 (단위 : s)

pattern load	1	2	3	4	average
0kg	0.44	0.51		0.59	0.48
5kg	0.40	0.53	0.48	0.47	0.48
10kg	0.49	0.48	0.49	0.54	0.49
20kg	0.48	0.53	0.45	0.49	0.50
30kg	0.59	0.49	0.48	0.63	0.53
average	0.47	0.51	0.48	0.53	0.50

더욱 세계 왼발을 닫는 것으로 나타났다.

유형 2의 경우 오른발 최대충격력이 유형 1보다 작은 값을 나타냈으며, 그 크기는 부하 조건에 관계없이 고른 편이다. 왼발의 최대충격력에 있어서 부하 증가에 따른 일정한 경향은 없지만, 30kg 조건을 제외하고는 유형 1보다 큰 값을 보여 오른발 착지 시에 작았던 크기를 보상하고 있음을 알 수 있다.

유형 3은 빈도수가 적어 어떠한 경향을 나타낸다고 말하기는 어렵지만, 유형 2와 전반적으로 비슷한 양상을 보이고 오른발, 왼발의 충격력 차이가 조금 있을 뿐이다.

유형 4는 오른발의 최대충격력을 각 유형 중에서 최소한으로 하며 왼발로 충격력을 전이시킨 것으로 보인다. 이는 <표 7>에 나타난 오른발 착지에서 왼발 착지까지의 시간이 제일 긴 것으로 확연하게 알 수 있다. 이는 접촉시간을 늘려 충격량을 늘림으로써 충격력을 줄이기 위한 당연한 결과이다. 하지만 유형 4의 경우 점프 시 왼발이 떨어지지 않았으므로 진정한 드롭랜딩으로는 생각할 수 없으므로 유형 2의 예외적 성격으로 한정짓는 것이 바람직하다고 사료된다.

### 5. 관절각 분석

촬영된 정보를 토대로 정성적 분석을 해보면 각 실험대상자들은 착지 이전 발목, 무릎, 엉덩각을 최대한 신전시켜 지면에 닿을 준비를 하고, RFC가 있는 후 최대한 굴곡시켜 충격을 흡수한다. 이 때 굴곡을 많이 시킬 수록 충격량은 동일하지만 접촉 시간을 길게 해 충격력을 줄일 수 있다. <표 8>과 <표 9>는 각각 RFC 전 최대 신전각과 RFC 후 최대 굴곡각 간의 차이와 RFC



이후 각 관절의 최대 굴곡속도를 나타내는 것으로서, 각 착지 유형들의 운동학적 정보를 나타낸다.

발목각 편차와 각속도는 유형 1과 유형 2가 비슷하지만, 유형 3과 유형 4는 상이하다. 특히 유형 4의 발목 각속도가 상대적으로 크게 작은 이유는 오른발 점프 시 왼발이 박스에 걸쳐서 힘을 작용했기 때문인 것으로 사료된다. Backpack 부하 증가와 관련해서는 각도 차이 평균값들 사이에 일정한 관계가 보이지 않지만, 대체로 유형 1, 유형 2, 유형 3이 유형 4에 비해 크고 각속도 또한 크게 나타난다.

6. 정성적 분석

유형 1과 2의 차이점은 정성적으로 확인할 수 있는데, 드롭랜딩이 시작되고 오른발이 지면에 접촉할 때 유형 2는 유형 1보다 상체가 더 기울어져 있는 것을 볼 수 있다 (<그림 9>). 이 시점에서의 무게중심(CM; Center of Mass)과 압력중심(COP; Center of Pressure)을 비교해보면, 드롭랜딩 착지 시 유형 1은 진행 방향에서 확인했을 때 COP 위치보다 CM의 위치가 뒤쪽에 자리하고 있으며, 유형 2는 유형 1보다 상대적으로 CM이 COP 보다 더 앞쪽에 위치하는 것을 알 수 있었다. 이 사실은 유형 1의 착지 시 충격력이 더 크게 나오는 원인으로 유추할 수 있다. 즉, 드롭랜딩 시 하지 관절을 굴곡하여 충격을 흡수한다고 한다면, 유형 1은 허리를 펴고 하지 관절들이 신전된 상태에서 지면을 접촉하기 때문에 지면에 접촉 시 충격력이 더 큰 반면에, 유형 2는 착지 전에 미리 하지 관절들을 굴곡하여 충격을 최대한 줄이고 또 착지 후에는 지면을 박차고 신체를 추진하기 위한 준비 동작을 취하는 것으로

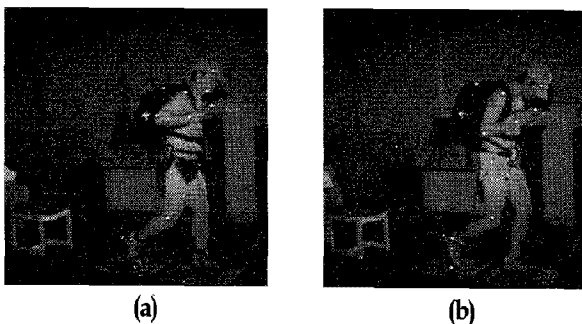


그림 5. 드롭랜딩의 유형에 따른 정성적 분석 (a) 유형 1, (b) 유형 2

사료된다.

또한 하지 관절들의 착지 전 후의 최대 신전각과 최

표 8. 오른발 착지(RFC) 전 최대 신전각과 RFC 후 최대 굴곡각 간의 차이 (단위 : deg)

	pattern load	1	2	3	4	average
ankle joint angle dev.	0kg	41.4	33.5	-	23.0	36.4
	5kg	41.5	31.7	37.4	31.8	35.4
	10kg	57.2	38.9	12.9	15.4	36.8
	20kg	39.7	49.8	52.8	26.9	40.2
	30kg	39.8	39.4	55.9	23.8	39.7
	average	44.0	38.5	37.8	25.6	37.7
knee joint angle dev.	0kg	42.1	37.3	-	26.4	38.6
	5kg	31.9	32.1	34.5	35.4	33.4
	10kg	49.5	35.2	29.5	28.8	37.7
	20kg	40.6	37.8	41.6	28.1	36.1
	30kg	41.4	34.8	46.3	21.6	35.8
	average	41.8	35.5	37.1	28.2	36.3
hip joint angle dev.	0kg	13.6	13.6	-	10.7	13.3
	5kg	7.4	6.4	10.9	8.4	8.3
	10kg	9.9	8.1	9.8	11.6	9.3
	20kg	6.5	7.9	6.1	7.7	7.3
	30kg	11.9	7.7	15.2	10.1	10.6
	average	10.4	8.9	11.1	9.2	9.8

표 9. RFC 후 각 관절의 최대 굴곡속도 (단위 : deg/s)

	pattern load	1	2	3	4	average
ankle joint angular vel.	0kg	-187.6	-240.7	-	-85.8	-198.6
	5kg	-230.8	-216.5	-139.2	-90.3	-170.9
	10kg	-329.1	-235.5	-93.3	141.1	-197.5
	20kg	-233.8	-279.4	-296.5	-72.5	-205.3
	30kg	-199.2	-228.5	-277.4	-83.0	-203.3
	average	-232.4	-239.2	-181.9	-56.5	-195.1
knee joint angular vel.	0kg	-177.0	-230.1	-	-153.9	-196.0
	5kg	-45.2	-204.5	-134.8	-229.3	-156.7
	10kg	-270.5	-209.2	-219.2	-172.5	-225.9
	20kg	-228.5	-219.7	-261.5	-174.7	-213.0
	30kg	-224.9	-205.9	-243.9	-131.5	-202.4
	average	-194.8	-214.1	-199.0	-174.7	-198.8
hip joint angular vel.	0kg	-48.8	-89.8	-	-70.5	-67.4
	5kg	36.2	-48.9	-67.8	-70.5	-41.9
	10kg	-74.6	-4.6	-88.6	-82.9	-50.2
	20kg	-4.3	-55.1	-53.7	-56.8	-40.2
	30kg	-77.9	-59.6	-89.6	-64.9	-70.3
	average	-37.6	-51.6	-76.7	-66.1	-54.0

대 굴곡간의 차이인 운동범위 자료를 분석해보면 유형 1이 유형 2보다 더 많은 운동범위를 보이고 있는데, 이는 유형 1이 착지 전에 하지의 관절들을 신전시켰기 때문으로 사료된다.

유형 3, 유형 4는 유형 4가 이지하는 발과 착지하는 발이 동시에 닿는 것을 제외하고는 유형 2와 비슷한 동작을 취했다.

#### IV. 결론

본 연구는 backpack의 부하를 증가시킴에 따라서 드롭랜딩 착지 시 충격의 흡수 기전을 규명하기 위해 구간별 운동학 및 운동역학적 변인들을 분석하였다. 그 결과 착지유형을 네 가지로 분류하였고 유형에 따라 충격 흡수 기전이 다르다는 것을 확인하였는데, 유형 2, 유형 3과 유형 4는 오른발 착지 시 발생하는 충격에 있어서 MDF, 최대가속도, 최대충격력이 비슷한 양상을 나타내 유형 1에 비해 상대적으로 비슷한 기전을 발휘해 충격을 흡수한다는 것을 확인하였다. <표 3> 빈도 분포가 유형 1~4로 나뉜 것에 착안하면, 유형 1에 대응하는 유형 2의 빈도는 중량의 부하가 커짐에 따라서 증가한다고 할 수 있다.

유형 1과 유형 2는 오른발 착지 시에 충격을 흡수할 것인가, 아니면 오른발의 충격을 어떤 식으로든 전이시켜 왼발 착지 시에 큰 충격을 나뉘므로써 충격을 흡수할 것인가 하는 식으로 서로 상대적인 관계에 있다고 할 수 있다. 이는 처음 PSD 유형을 나눌 때 유형 1과 유형 2를 나눈 이유로서 오른발 충격이 많을 것인가 (impact peak), 아니면 오른발로 추진시켜(active peak) 전이시킬 것인가 하는 것에 대한 분류와 맥을 같이 한다. 즉, 착지 시 충격을 줄이는 기전에는 오른발 자체로 충격을 흡수하는 방법, 그리고 오른발이 닿는 시간을 최대화해 왼발로 전이시키는 방법 두 가지가 있다고 할 수 있다.

또한 backpack의 부하를 증가시킴에 따라 5kg 부하까지는 가속도, 지면반력 등 충격을 나타내는 변인에서 큰 값을 나타내었지만, 10kg 부하 이후 30kg 부하까지 오히려 감소된 결과를 보였다. 이는 신체가 5kg 부하까

지는 무부하 상태와 마찬가지로 인식을 하는 반면, 10kg 부하 이후부터 상해 방지를 위한 기전을 발휘해 충격을 감소시키게 된다.

위와 같은 결과들을 바탕으로 본 연구의 결론을 기술하면 다음과 같다.

1. 드롭랜딩 시 신체는 크게 본 연구에서 사용한 두 가지의 기전을 구사하여 착지하는 것으로 나타났다.
2. 유형 1은 하지의 관절이 신전된 상태로 착지하고, 그 후 하지 관절들을 굴곡시킴으로써 충격을 오른발로 흡수하는 형태이다. 오른발이 지면을 밀지 못하고 왼발로 전이함으로써 착지 시 큰 충격을 받는 것으로 나타났다.
3. 유형 2는 하지의 관절을 미리 굴곡시키고, 상체를 앞으로 숙인 상태에서 착지하고, 착지 후 오른발로 지면을 밀어 바로 왼발로 전이시키는 유형으로써 착지하는 발은 상대적으로 낮은 충격을 받는 것으로 나타났다. 유형 3과 유형 4는 유형 2와 같은 기전을 사용하는 다른 형태로 나타났다.
4. 부하가 증가할수록 유형 1에서 유형 2의 전략을 사용하여 착지하는 사례가 증가하였다.
5. 5kg의 부하까지는 무부하와 같이 인식하여 큰 충격을 받는 것으로 보이지만, 그 보다 큰 부하에 대해서는 신체 상해를 막고자 하는 방어 기전을 발휘한다.

따라서 착지하는 발의 충격을 줄임으로써 상해를 막기 위해서는 유형 2 전략과 같이 착지 전 미리 엉덩이·무릎·발목관절을 미리 굴곡시킨 후 착지하며, 착지 한 이후에는 다른 쪽 발을 빨리 디더 그 충격을 전이시키는 방법을 사용해야 한다. 또 뛰어내리는 처음 위치와 착지하는 위치가 양 발이 충분히 닿는 높이라고 한다면 유형 4와 같이 드롭랜딩 시 양 발이 같이 닿아 있도록 해 착지하는 발의 충격을 분산시킬 필요가 있다.

## 참고 문헌

- 김현경, 고영규(1997). 낙하동작의 협응과 제어에 대한 시각의 역할. 한국체육학회지36(3), 77-96.
- 김용규, 권양기, 장용우(2002). 인위적인 중량부하 후 Treadmill 걷기 운동시 생리적 반응. 대한스포츠의학회지20(1), 72-81.
- 서국웅, 강영택(2001). 중량별 부하가 호흡순환기능에 미치는 생체역학적 연구. 한국운동역학회지11(1), 125-137.
- 이세용, 이승민, 최지영(2001). 착지방법이 하지 관절의 충격 흡수 기전에 미치는 영향. 한국운동역학회지 10(2), 77-97.
- 전종귀(1994). 체간부에 부착시킨 중량이 걷기운동 중 호흡순환계 반응에 미치는 효과. 한국체육학회지 33(1), 331-328.
- 조성초(1999). Drop Jump에 있어서 맨발착지와 신발착지의 생체역학적 분석. 한국체육학회지38(3), 715-725.
- 조성초(2001). 책가방의 무게가 초등학생의 보행에 미치는 영향. 대한스포츠의학회지19(2), 303-310.
- 조성초(2004). 눈가림이 드롭랜딩의 착지동작에 미치는 영향. 한국체육학회지43(3), 851-860.
- 조성초, 채정룡(1998). Drop Landing의 운동학 및 운동역학적 분석. 대한스포츠의학회지16(2), 330-340.
- 홍성표, 권영옥, 이순호(1991). 상체의 중량변화가 보행에 미치는 영향. 한국체육학회지30(1), 377-387.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J.(1987). Drop jumping II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. Med. Sci. Sports Exercise19(2), 339-346.
- Devita, P. & Skelly, W. A.(1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. Med. Sci. Sports Exercise24(1), 108-115.
- Dufek, J. S. & Bates, B. T.(1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. Med. Sci. Sports Exercise22(2), 370-377.
- Gross, T. s. & Nelson, R. C.(1998). The shock attenuation role of the ankle during landing from a vertical jump. Med. Sci. Sports Exercise20(5), 506-514.
- Kenneth G. Holt, Robert C. Wagenaar, Masayoshi Kubo, Michael E. LaFiandra and John P. Obusek. (2005). Modulation of force transmission to the head while carrying a backpack load at different walking speeds. Journal of Biomechanics38(8), 1621-1628.
- Mahar, A. T., Derrick T. R., Hamill, J. and Caldwell, G. E.(1997). Impact shock and attenuation during in-line skating. Med Sci Sports Exerc. 29, 1069-1075.
- McNitt-Gray, J. L.(1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landing from three height. International Journal of Sport Biomechanics7, 201-224.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O. and Isakov, E.(2000). Shock accelerations and attenuation in downhill and level running. Clinical Biomechanics, Volume 15, Issue 1, 15-20.
- Richard, M. D. & Veatch, S.(1990). Comparison of impact forces in high and low impact aerobic dance movement. International Journal of Sport Biomechanics6, 67-77.
- Valiant, G. A. & Cavanagh, P. R.(1985). A study of landing from a jump: implications for the design of a basketball shoe. In Biomechanics IX-B, D. Winter et al.(Eds.), Champaign, IL: Human Kinetics, 117-120.
- Zhang S., Bates, B. S., & Dufek, J. T.(1992). Selected knee joint forces during landing activities. Proceeding of the 20th annual meeting of American Society of Biomechanics, Atlanta, Georgia.

투 고 일 : 04월 30일  
 심 사 일 : 05월 15일  
 심사완료일 : 05월 30일