

정상 성인에서 착지 시 착지 높이가 근활성도와 지면반발력에 미치는 영향

장종성·이미영

대구한의대학교 보건치료대학 물리치료학과

Effect of Landing Heights on Muscle Activities and Ground Reaction Force during Drop Landing in Healthy Adults

Jong-sung Chang, PT, PhD, Mi-young Lee, PT, PhD

Department of Physical Therapy, College of Health & Therapy, Daegu Haany University

<Abstract>

Purpose : The study was designed to investigate the effects of landing heights on muscle activities and ground reaction force during drop landing.

Methods : Sixteen healthy adults were recruited along with their written informed consent. They performed a drop-landing task at the height of 20, 40, and 60cm. They completed three trials in each condition and biomechanical changes were measured. The data collected by each way of landing task and analyzed by One-way ANOVA. Ground reaction forces were measured by force plate, muscle activities measured by MP150 system.

Results : There were significant differences in ground reaction forces, and significant increases in muscle activities of tibialis anterior, medial gastrocnemius and biceps femoris with landing heights.

Conclusion : These findings revealed that heights of landing increases risk factors of body damage because of biomechanical mechanism and future studies should focus on prevention from damage of external conditions.

Key Words : Drop landing, Ground reaction force, Muscle activation

I. 서 론

인체의 작용하는 인체의 지면반발력은 수직 및

전·후·좌·우의 지면반발력, 그리고 발 밑의 압력 중심을 말한다. 착지 시 발과 무릎에 작용하는 과도한 부하는 발목 관절의 외반에 의해서 지면반발력

* 본 논문은 장종성의 박사학위 논문 일부를 출판하였음.

교신저자 : 이미영, E-mail: mykawai@hanmail.net

논문접수일 : 2011년 03월 14일 / 수정접수일 : 2011년 04월 02일 / 게재승인일 : 2011년 04월 29일

이 감소하게 되고, 높은 지면반발력은 발의 외반에 영향을 미치게 된다(Stacoff 등, 2000). 착지는 운동 또는 일상생활동작에서 흔히 접하게 되며, 발생하게 되는 부하는 지면과 접하고 있는 발로부터 하지를 통과하여 척추에 까지 영향을 미치게 된다(이세용 등, 2001). 착지에 관한 연구들은 중력에 의한 수동적인 활동에 의해 나타나는 지면반발력에 의해 발생하는 외력과 하지, 체간 및 상지의 근골격계에서 발생하는 내력에 운동학적 의미를 부여하는데 초점이 맞춰 있다.

다양한 수직 높이와 수평 거리를 이용한 착지 기법은 무릎을 편 상태, 무릎을 조금 구부린 상태, 완전히 구부린 상태로 구분을 할 수 있으며 이러한 상태의 변화에 따른 충격력의 크기를 조절할 수 있고, 착지를 하게 될 때 발에서의 움직임은 발목의 저측 골극을 통하여 바닥에 닿게 되며, 닿는 순서는 발의 전족부로부터 닿고 그 후에 뒤꿈치가 바닥 표면에 닿게 된다(Hargrave 등, 2003). 착지에서는 중력에 의해 낙하되는 수동적인 활동으로 높이에 따라 몸무게의 10배 이상의 과도한 압력이 하지에 과부하를 발생시킨다. 근육의 활성화와 근육 강화는 발목 관절의 과도한 외반을 감소시키고, 근육을 보호하게 된다(Kulas 등, 2008; Zhang 등, 2000).

그러나 정상적인 착지의 방법에서 벗어나게 되었을 때 발생할 수 있는 손상의 기전에 영향을 주는 요소를 알아보기 위해서 동작 분석을 통하여 다양한 높이, 성별, 몸무게, 연성(soft) 착지와 경성(stiff) 착지 사이의 관계 등을 통하여 알아보았다(이승민, 2000; Decker 등, 2003; Kernozek 등, 2005). 착지를 하는 높이는 지면반발력과 하지의 근육의 근활성에 영향을 미치게 되고, 발과 발목 등의 하지의 다양한 관절, 인대, 근육의 손상, 피로 골절, 연골 파괴 등의 손상을 일으킬 수 있다(Blackburn과 Padua, 2008; Yeow 등, 2009). 착지를 하는 동안 근육은 점프를 할 때에 수축하는 형태와 다르게 원심성 수축을 통하여 관절의 움직임을 조절하게 되고 이러한 원심성 수축은 근육의 구조적인 손상을 일으키며, 높은 강도의 원심성 수축은 해당 근섬유에 기계적인 스트레스를 준다. 이러한 기전이 정상적으로 발생하지 않으면 완전히 신전된 상태에서 착지를 하게 되어

전방십자인대 파열을 일으킬 수 있다(권오복, 2009). 착지 시 근육의 활성화는 무릎이나 발목의 손상을 예방하는 주요 요인으로 작용하게 되며, 특히 무릎의 굴곡근과 신전근의 효과적인 동원은 전십자인대의 손상을 감소시키고 비대칭적인 근육의 동원은 손상을 일으키게 되며, 남성보다 여성에서 손상의 위험이 높다(Yukio 등, 2005).

따라서 본 연구에서는 착지의 높이에 따라 지면반발력의 크기와 하지의 근활성도의 차이를 확인하여 착지 시의 신체의 반응을 확인하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에는 신경학적인 병력이 없고, 근골격계의 질환 병력이 없는 정상 성인 15명을 대상으로 선정하였다. 또한 연구에 참여하기 전 연구에 관한 충분한 설명을 듣고 동의한 자로 선정하였다.

2. 연구 방법

지면보다 높은 상자에서 바닥으로 내려오는 착지 과제를 수행하기 위해서 가로 100cm, 세로 50cm의 목재 발판을 임의로 제작하였고, 높이 20, 40, 60cm를 무작위로 조절하여 착지 시의 지면반발력과 근활성도 분석을 시행하였다. 착지를 위한 자세는 바르게 선 자세에서 양 발을 어깨 너비만큼 벌린 상태에서 시선은 정면을 바라보고 서 있을 후, 지시에 따라 2개의 힘판에 거의 동시에 한 발씩 딛도록 착지를 하였다. 자연스러운 착지를 위해서 연습을 충분히 시행한 후에 3회 측정하여 평균값을 분석하였다.

3. 측정 방법

1) 힘판

힘판(AMTI, Advanced mechanical technology, 미국) 2대를 이용하였으며 2대의 힘판은 착지 시의 지면반발력을 나타내 주는 장치이다. 힘판은 4대의

짧은 기둥위에 놓여 있는 약 1M3의 금속판으로 구성되어 있다. 각 기둥에 부착된 스트레인 게이지 (strain gauges)는 기둥에 가해지는 부하량의 변화를 감지한다. 이 힘판 측정기는 플랫폼의 4곳에 각각 스트레인 게이지를 배열, 부착하여 로드셀에 접촉시킨 후 로드셀의 길이에 변화가 발생하였을 때 게이지 안에 있는 선의 직경이 변화함으로써 그 선에 흐르는 전류의 저항값인 아날로그 출력값을 증폭기를 통한 후 아날로그-디지털 변환기를 통하여 디지털 값으로 변화도록 하여 지지면에 전달되는 힘의 크기 및 방향이 확인된다. 착지 시의 수직, 전후, 좌우 최대 지면반발력 및 토크에 대한 데이터를 컴퓨터에 저장한다. 신호는 Ultramet 시스템을 통하여 그 신호를 Vicon의 Nexus 소프트웨어를 통하여 데이터를 얻게 된다.

착지 시의 분석을 위해서 발판에 평행하도록 힘판을 설치하여 분석을 하였다. 연구 대상자가 힘판 위에 착지를 할 때 힘판 속의 변환기가 수직, 가로, 방향으로 발생하는 지면반발력 측정하여 Polygon 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

2) 근활성도

하지의 근활성도를 측정하기 위해 MP150(Biopac System, 미국)을 이용하며, 전극은 Ag-Ag/Cl(Biopac, diameter 2cm) 표면 전극을 사용하여 부착하였다. 측정하기 전 피부 저항을 최소화하기 위하여 전극 부착 부위를 면도 한 후 알코올로 닦아내고, 전극 부착 부위가 완전히 마른 후에 전해질 젤이 도포된 두 개의 활성전극과 접지전극을 피부에 부착한다. 부착하는 근육의 부위는 전경골근, 내측비복근, 내측광근, 대퇴이두근, 복직근, 요추신전근에 부착하였다.

근전도 신호는 생체 신호에 대한 아날로그 신호를 디지털화 하여 1000Hz의 신호획득률(sampling rate)로 수집한 후, 완파정류(full-wave rectification)로 처리를 하고, 실효치값(root mean square: RMS)을 컴퓨터 파일로 저장하여 자료 처리에 이용한다. 자료 처리는 Acqknowledge 3.8.1(Biopac System, 미국) 소프트웨어를 사용하여 30-500Hz에서 구간 필터링을 하고 잡음제거를 위해 60Hz로 notch 필터링

하여 기타처리를 한다. 수의적 최대 등척성근수축 (MVIC)값으로 나누어 백분율로 환산한 값인 %MVC 값을 사용하는 방법을 이용하여 착지 시 근전도 신호를 표준화 한다.

4. 통계 처리

수집된 자료는 평균 및 표준 오차로 제시하였고, SPSS 15.0을 이용하여 통계 처리하였다. 측정된 자료의 정규분포 여부를 알아보기 위한 검정 결과 정규분포 함을 확인하였다. 착지 시 높이에 따른 지면반발력의 크기와 근활성도를 비교하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 사용하였고 사후검정으로 LSD를 이용하였으며, 통계학적 유의성을 검정하기 위해 유의수준 α 는 .05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 대상자들은 남자 8명, 여자 7명 모두 15명이 참여하였고, 나이가 23.47세, 키는 168.47cm, 몸무게 60.40Kg이다.

Table 1. General characteristics of subjects

Subject group(n=15)	
Sex	Male(8), Female(7)
Age(yrs)	23.47±3.29
Height(cm)	168.47±8.81
Weight(Kg)	60.40±9.12
Foot length(mm)	251.67±16.76

2. 높이에 따른 지면반발력의 크기 비교

지면반발력은 지면에 의해 반작용한 힘으로 내외(Fx), 상하(Fz) 방향으로 착지에 의한 지면반발력의 측정 결과, 내외 방향에서 지면반발력은 높이에 따라 내측 방향으로 유의하게 증가하였고(p<.05), 상하 방향에서 높이에 따라 위쪽 방향으로 지면반발력의

Table 2. Comparison of ground reaction force with different landing heights

	20cm	40cm	60cm	F	p
Inner-outer (Fx)	-17.00±7.19	8.46±5.54	22.05±6.85	9.11	.00*
Vertical (Fz)	303.40±15.54	379.67±15.88	437.80±20.85	14.68	.00*

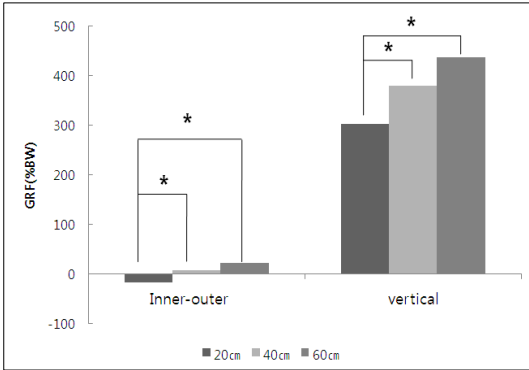


Fig. 1. The comparison of GRF with different heights

유의한 증가가 나타났다(Table 2)($p < .05$). 사후 검정 결과, 내외, 수직 방향에서 20cm와 40cm, 20cm와 60cm에서 유의한 차이를 보였다(Figure 1).

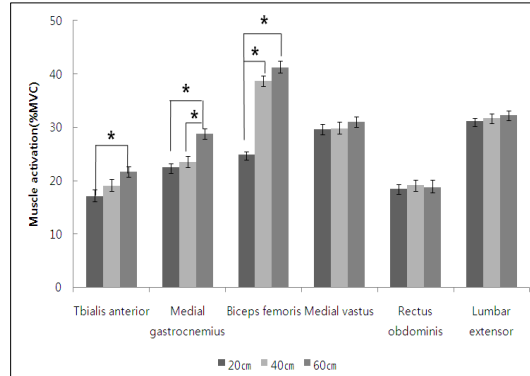


Fig. 2. Comparison of muscle activation with different heights

근은 40cm와 60cm에서 대퇴이두근은 20cm와 40cm 사이에서 유의한 차이가 나타났다(Figure 2).

2. 높이에 따른 체간과 하지의 근활성도 비교

착지를 하는 동안 자세를 바로 잡을 때까지 나타나는 각 근육의 근활성도는 전경골근, 내측가자미근, 대퇴이두근에서 높이에 따라 유의하게 증가하였고(Table 3)($p < .05$), 내측광근, 복직근, 요추신전근은 높이에 따라 근활성도는 약간 증가하였으나 통계학적으로 유의하지는 않았다(Table 3)($p > .05$). 사후 검정 결과 전경골근, 내측가자미근, 대퇴이두근은 20cm와 60cm에서 유의한 차이가 있었고, 내측가자미

3. 높이에 따른 지면반발력과 근활성도의 상관관계

각 높이에 측정된 근육의 근활성도와 지면반발력의 상관관계를 살펴보면 다음과 같다(Table 4). 20cm의 높이에서 내외 방향과 수직 방향의 지면반발력 사이에는 양의 상관관계가 나타났고, 요추신전근과 대퇴이두근은 음의 상관관계가 나타났다($p < .05$). 40cm의 높이에서 내외 방향 지면반발력과 수직방향 지면반발력, 요추신전근은 양의 상관관계, 전경골근과 수직 지면반발력, 내측광근과 내측비복

Table 3. Comparison of muscle activation with different landing heights

	20cm	40cm	60cm	F	p
Tibialis anterior	17.08±1.26	19.00±1.35	21.73±.90	3.88	.03*
Medial gastrocnemius	22.47±.79	23.47±1.15	28.77±.95	12.17	.00*
Biceps femoris	24.91±.55	38.67±.95	41.27±1.16	90.39	.00*
Medial vastus	29.64±.97	29.80±1.30	31.07±.91	.53	.59
Rectus abdominis	18.47±.87	19.13±.99	18.72±1.38	.09	.91
Lumbar extensor	31.13±.58	31.73±.78	32.33±.78	.70	.51

Table 4. Correlation of ground reaction force and muscle activation with different landing heights

	conditions	F(x)	F(z)	TA	GCM	BF	MV	ROb	LE
20cm	F(x)	1							
	F(z)	.73*	1						
	TA	.19	.21	1					
	GCM	.28	.10	-.16	1				
	BF	.20	.12	.12	.32	1			
	MV	.25	.13	.32	.18	-.12	1		
	ROb	.27	-.10	-.30	.08	-.23	.03	1	
	LE	-.25	-.36	-.23	-.28	-.71*	.06	.18	1
40cm	F(x)	1							
	F(z)	.65*	1						
	TA	-.28	-.59*	1					
	GCM	-.15	-.28	.08	1				
	BF	.38	.19	.07	-.06	1			
	MV	.18	.25	.09	-.68*	-.06	1		
	ROb	-.23	-.16	.38	.11	.34	-.25	1	
	LE	.61*	.44	-.20	.21	-.00	-.17	.05	1
60cm	F(x)	1							
	F(z)	.64*	1						
	TA	-.03	.10	1					
	GCM	-.11	-.19	.60*	1				
	BF	-.20	-.05	-.38	-.60*	1			
	MV	-.04	-.23	-.02	.60*	-.55*	1		
	ROb	.74*	.41	-.43	-.46	.05	-.21	1	
	LE	.28	-.19	-.15	-.24	.13	-.35	.46	1

근은 음의 상관관계가 나타났다($p < .05$). 60cm의 높이에서 내외 방향과 수직 방향의 지면반발력 사이에는 양의 상관관계가 나타났고, 내측비복근은 전경골근과 내측광근과 양의 상관관계, 대퇴이두근과는 음의 상관관계 보였으며, 내측광근과 대퇴이두근은 음의 상관관계가 나타났고 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 그 외의 다른 조건들 사이에는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다($p > .05$).

IV. 고 찰

일상생활이나 산업체에서 신체에 반복적인 고강도의 힘은 조직의 손상을 일으키고, 스트레스 부하

가 증가되며, 수행능력을 감소시키게 된다(이기성 등, 2005). 역동적이고 기능적인 활동을 하는 동안에 부하를 조절하고 충분히 압력을 분산시키는 능력은 손상을 예방한다. 다양한 수직 높이와 수평 거리를 이용한 착지 기법은 무릎을 편 상태, 무릎을 조금 구부린 상태, 완전히 구부린 상태로 구분을 할 수 있으며 이러한 상태의 변화에 따른 충격력의 크기를 조절할 수 있고, 착지를 하게 될 때 발에서의 움직임은 발목의 저축 굴곡을 통하여 바닥에 닿게 되며, 닿는 순서는 발의 전족부로부터 닿고 그 후에 뒤꿈치가 바닥 표면에 닿게 된다(Hargrave 등, 2003). 본 연구에서는 착지의 높이에 따라 지면반발력의 크기와 하지의 근활성도를 분석하여 신체에 가해지

는 충격을 흡수하는 전략에 영향을 미치는 요인에 대해서 알아보았다.

착지에 따른 지면반발력의 측정은 힘판을 통해서 할 수 있으며 보행이나 점핑, 착지에 있어서 인체에 미치는 힘을 평가하는데 중요한 역할을 한다(Decker 등, 2003). 본 연구의 결과 착지 시에 나타나는 지면반발력은 x축에서 내측으로 증가, z축에서 위쪽 방향으로 증가하였으며 높이가 증가함에 따라 크게 증가되는 것으로 보였다. 충격량을 감소시키기 위해서 다리를 모아서 지면반발력이 내측으로 이동된 것으로 생각된다. 이는 지면반발력이 신체 무게의 2~11배 정도가 된다는 다른 연구들과 같은 결과를 보였으며 신체의 손상 위험이 커질 수 있다.

착지를 할 때 하지의 근육의 적절한 조절을 통하여 신체의 충격 흡수를 하게 된다(Arampatzis 등, 2003). 착지의 높이에 따라서 전경골근, 내측비복근, 대퇴이두근의 근활성도가 크게 증가되어서 일차적으로 발목의 조절에 의해서 충격을 흡수하고, 발의 안정성을 제공해 주어 발의 충격흡수 기전에 도움이 되는 것으로 생각되며, 내측광근이나 체간의 근육들은 통계적으로 유의하지는 않았지만 근활성도의 증가가 약간 나타났으며 본 연구의 결과로써 완전하게 알 수 없지만 체간의 움직임이 크게 나타나지 않고서 자세 조절이 되어 큰 변화가 나타나지 않은 것이며, 약간 증가된 근활성도는 체간의 안정성에 조금 도움이 된 것으로 생각된다.

지면반발력과 근활성도의 상관관계를 비교를 통하여 각 높이에서 근육의 활성과 충격의 방향에 영향을 확인한 결과 지면반발력이 내측과 위쪽으로 증가되는 양의 상관관계를 확인하였고, 이는 높이의 증가에 따라 무릎의 내측으로 이동하여 무릎을 모으면서 충격 흡수를 하며 발을 충분히 벌려서 기저면을 넓히는 것을 알 수 있다. 또한 높이의 증가에 따라서 전경골근, 내측비복근, 내측광근은 양의 상관관계를 나타냈으며 대퇴이두근은 음의 상관관계를 보였다. 이는 착지에서 충격 흡수에 관여하는 근육들의 동시 수축의 증가와 원심성 수축을 통하여 무릎과 발목의 굴곡 속도를 제어하여 전십자 인대나 발목과 발의 손상을 보호하는 신체의 보호 기전으로 작용되는 것으로 생각된다.

착지 시의 운동역학적 연구에서는 여성이 남성보다 더 큰 수직 반발력을 보였으며, 남성보다 더 큰 수직반발력을 보상하기 위해서 무릎의 굴곡 각도가 더욱 커지는 것을 확인하였다(Kernozek 등, 2005; Nagano 등, 2007). 여성 착지와 경성 착지를 비교한 연구들에서 높이가 증가할수록 증가되는 충격을 흡수하기 위해서 고관절의 굴곡 정도와 발목 관절의 저축 굴곡에 의해 조절되고, 여성 착지에서 고관절의 굴곡 각도가 증가하게 되어 충격 흡수에 영향을 주게 되고 이를 조절하는 것은 근육의 원심성 수축이다(이세용 등, 2000; 조영재, 2008). 이러한 내용은 통하여 고유수용성 신경근 촉진법이나 운동 프로그램 등을 이용하여 충격을 흡수하고 신체의 손상을 감소시킬 수 있는 운동을 적용하게 된다면 신체 손상을 최소화시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 정상인을 대상으로 착지의 높이에 따라 신체에 가해지는 충격의 크기가 증가하는 것과 이를 보호하기 위한 반응이 나타나는 것을 알 수 있었으며 외적 부하에 의한 신체 손상을 보호하기 위한 다양한 전략에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 착지의 높이에 따른 근활성도와 지면반발력의 크기를 분석한 결과 높이에 따라 지면반발력의 크기가 위쪽과 내측으로 증가되는 것을 알 수 있었으며, 전경골근, 내측비복근, 대퇴이두근의 근활성도가 증가되는 것으로 확인되었다. 충분한 근력의 증가를 통하여 신체를 보호할 수 있을 것으로 생각되며 앞으로 외적 부하에 의한 신체 손상을 보호하기 위한 다양한 전략에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 권오복. jump-landing-cutting 시 하지관절의 생체역학적 분석. 성균관대학교 대학원 박사학위 논문. 2009.
- 이기성, 홍기학, 최지영. 산업재해원인 통계조사를

- 위한 표본설계. 한국자료분석학회지. 2005;7(3): 785-95.
- 이세용, 이승민, 최지영. 착지 방법이 하지 관절의 충격흡수 기전에 미치는 영향. 한국운동역학회지. 2001;10(2):77-97.
- 이승민. 높이 변화에 따른 착지 시 하지 관절의 기계적 분석. 연세대학교 대학원 석사학위 논문. 2000.
- 조영재. 발목의 과도한 회내가 착지 동작 시 하지 분절에 미치는 영향, 연세대학교 대학원 박사학위 논문. 2008.
- Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Bruggemann GP. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(6):533-44.
- Blackburn JT, Padua DA. Influence of trunk flexion on hip and knee joint kinematics during a controlled drop landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(3):313-9.
- Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ et al. Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(7):662-9.
- Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM et al. Subtalar Pronation Does Not Influence Impact Forces or Rate of Loading During a Single-Leg Landing. *J Athl Train.* 2003;38(1):18-23.
- Kernozek TW, Torry MR, H VANH et al. Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(6):1003-12.
- Kulas A, Zalewski P, Hortobagyi T et al. Effects of added trunk load and corresponding trunk position adaptations on lower extremity biomechanics during drop-landings. *J Biomech.* 2008;41(1):180-5.
- Nagano Y, Ida H, Akai M et al. Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee.* 2007;14(3):218-23.
- Stacoff A, Nigg BM, Reinschmidt C et al. Tibio-calcaneal kinematics of barefoot versus shod running. *J Biomech.* 2000;33(11):1387-95.
- Yeow CH, Lee PV, Goh JC. Regression relationships of landing height with ground reaction forces, knee flexion angles, angular velocities and joint powers during double-leg landing. *Knee.* 2009;16(5):381-6.
- Yukio U, Risa K, Sachiko S et al. Electromyographic analysis of the knee during jump landing in male and female athletes. *Knee.* 2005;12(2): 129-34.
- Zhang SN, Bates BT, Dufek JS. Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(4):812-9.