

# Thermotherapy and Dynamic Warm-up on the Kinetic Parameters during Drop-landing

## 드롭랜딩 시 국소부위 온열처치와 동적 준비운동이 하지의 운동역학적 변인에 미치는 영향

Sungmin Kim<sup>1</sup>, Jooho Song<sup>2</sup>, Sanghyuk Han<sup>1</sup>, Jeheon Moon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Korea National University of Education, Cheongju, South Korea

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Chungbuk National University, Cheongju, South Korea

Received : 14 November 2021

Revised : 03 December 2021

Accepted : 06 December 2021

### Corresponding Author

Jeheon Moon

Department of Physical Education,  
Korea National University of  
Education, 250 Taeseongtabyeon-ro,  
Gangnae-myeon, Heungdeok-gu,  
Cheongju-si, Chungbuk, 28173,  
South Korea

Email : jhmoon@knue.ac.kr

**Objective:** The aim of this study was to analyze kinetic variables between thermotherapy and dynamic warm-up during drop-landing.

**Method:** Twenty male healthy subjects (Age:  $21.85 \pm 1.90$  years, Height:  $1.81 \pm 0.06$  cm, Weight:  $68.5 \pm 7.06$  kg) underwent three treatments applied on the thermotherapy of femoral muscles and a dynamic warm-up. The thermotherapy was performed for 15 minutes while sitting in a chair using an electric heating pad equipped with a temperature control device. Dynamic warm-up performed 14 exercise, a non-treatment was sitting in a chair for 15 minutes. Core temperature measurements of all subjects were performed before landing at a height of 50 cm. During drop-landing, core temperature, joint angle, moment, work of the sagittal plane was collected and analyzed. All analyses were performed with SPSS 21.0 and for repeated measured ANOVA and Post-hoc was Bonferroni.

**Results:** Results indicated that Thermotherapy was increased temperature than other treatments ( $p = .000$ ). During drop-landing, hip joint of dynamic warm-up was slower for angular velocity ( $p < .005$ ), and left ankle joint was fastest than other treatments ( $p = .004$ ). Maximum joint moment of dynamic warm-up was smaller for three joints (hip extension:  $p = .000$ ; knee flexion/extension:  $p = .001/.000$ ; ankle plantarflexion:  $p = .000$ ). Negative work of dynamic warm-up was smaller than other treatments ( $p = .000$ ).

**Conclusion:** In conclusion, the thermotherapy in the local area doesn't affect the eccentric contraction of the thigh. The dynamic warm-up treatment minimized the joint moment and negative work of the lower joint during an eccentric contraction, it was confirmed that more active movement was performed than other treatment methods.

**Keywords:** Thermotherapy, Drop-landing, Core temperature, Dynamic warm-up, Eccentric contraction

## INTRODUCTION

스포츠 현장에서는 스트레칭, 마사지, 냉온찜질, 테이핑 등 다양한 처치방법들을 선수들에게 적용시켜 그들의 경기력 및 컨디션 향상 그리고 부상 회복을 위해 많은 노력이 이루어지고 있다. 그 중 온열처치(Thermotherapy)는 해당 관절과 근육에 열을 가하는 방식으로 온열처치에 따른 신체관절의 움직임과 근기능을 관찰한 연구가 많이 이루어져 왔다(Eston & Peters, 1999; Someh & Ghafarinejad, 2011; Maxwell, Castle & Spencer, 2008; Okada, Yamaguchi, Minowa & Inoue, 2005; Oh, Kang & Piao, 2016). 온열처치를 수행하게 되면 신체 내 신진대사를 활발하게 하고 근육 내 혈관확장 유도 및 혈액의 점도를 감소시킬 수 있으며 이에 따라 혈류의 흐름을 원활하게 하여 관절주변 연부조직에

혈액을 원활하게 공급시키는 역할을 한다(Kawabata & Tokura, 1993; Maxwell, Castle & Spencer, 2008). 이러한 기전을 근거로 운동 후 피로 회복 및 근경련 감소에 많은 도움을 준다(Kilduff, West, Williams & Cook, 2013). 하지만 장시간의 온열처치는 피부표면에 가해지는 열로 인하여 근육 내 근세사의 교차주기 속도가 증가하여 근피로가 증가하면서 근파위가 감소하였다(Falk et al., 1998; Lee, Toner, Mardle, Vrabas & Pandolf, 1997).

동적 준비운동(dynamic warm-up)은 격렬한 신체활동을 수행하기 전에 실시하여 근육의 유연성(flexibility)과 외부환경에 대한 적응성(adaptation)을 향상시켜 근원섬유(myofibril)의 과도한 신장을 억제시키고 관절인대의 염좌(strain) 등과 같은 부상이 예방되는 효과가 있다(Gray & Nimmo, 2001; Lee, 2002). 또한 동적 준비운동으로 인한 혈중 헤모글로

빈(hemoglobin) 수치가 증가함으로 인해 혈액 내 산소와의 결합/해리가 쉽게 이루어져 근육 내 산소 운반능력이 향상된다(Turki et al., 2011). 전형적인 준비운동 방법으로는 정적/동적 스트레칭과 가벼운 유산소 신체활동(조깅, 자전거타기, 줄넘기 등)을 실시하는 것으로 알려져 있고 (Chaouachi et al., 2010; Samson, Button, Chaouachi & Behm, 2012), 스포츠 특성에 따른 특이적인 준비운동 프로그램을 제작하여 현장에서 엘리트 스포츠 선수들에게 직접 적용되기도 한다. 예를 들면 García-Luna, Cortell-Tormo, García-Jaén, Ortega-Navarro & Tortosa-Martínez, (2020)의 연구에서는 ACL 부상을 예방하기 위해 축구 선수들에게 무릎 밴드 스쿼트(Knee-Band Squat), 사이드스텝 스쿼트(Side-Step Squat), 불가리안 스플릿 스쿼트(Bulgarian Split-Squat) 프로그램을 적용시켰고, Achenbach et al. (2018)의 연구에서는 청소년 핸드볼 선수들을 대상으로 뒤넙다리근 강화 운동(Strengthening of the hamstring muscles), 플라이오 메트릭 운동(Plyometric exercise), 랜딩점프 운동(Jump and landing exercise), 고유수용성 운동(Proprioceptive exercise)을 실시하게 하여 종목의 특성에 적합한 동적 준비운동이 부상예방에 대해 어떠한 영향을 미치는지를 연구하였다.

드롭랜딩(drop-landing) 동작은 내려올 때 넙다리네갈래근(quadriceps) 부위의 신장성 수축(eccentric contraction)을 통해 부하의 전이를 최소화하면서 충격을 흡수시키는 기전이 수행된다(Dufek & Bates, 1990; Lim, Hong, Oh & Lee, 2015). 신장성 수축은 근육활동에 동원되는 운동 단위가 적음에도 불구하고 장력을 크게 발휘하는 특징이 있고(Ebbeling & Clarkson, 1989; Enoka, 1996), 단축성 수축과의 부하를 상대적으로 동일하게 적용하였을 때 근단면적 및 근력의 향상 정도가 비교적 높은 것으로 보고되고 있다(Higbie, Cureton, Warren & Prior, 1996; Hortobágyi et al., 1996). 따라서 Sell et al. (2007) 연구에서는 랜딩 시 무릎관절의 안전성을 증가시키는데 뒤넙다리근(hamstring)이 넙다리네갈래근 보다 많은 역할을 수행하지만 넙다리네갈래근에 대한 최적의 신장성 수축 정도와 시간에 따라 랜딩 형태에 많은 영향을 미친다고 하였다. 하지만 신장성 수축은 근육의 길이를 증가시키는 수동적인 수축 형태이고 분절의 움직임과 힘이 작용하는 방향이 반대라는 특성이 있다(Byrne, Padua & Guskiewicz, 2004; Lindstedt, Lastayo & Reich, 2001). 따라서 해당부위에 대해 점프(jump), 달리기(running) 혹은 커팅(cutting) 동작 등과 같이 고강도로 신장성 수축 운동을 실시할 경우 근육 내 미세한 근섬유들의 손상 가능성이 높다(Byrne, Padua & Guskiewicz, 2004; Lindstedt, Lastayo & Reich, 2001).

현재까지 진행된 연구들은 대부분 하지관절 근육의 신장성 수축과 뒤넙다리근 부상과 연계한 연구들이 대부분이었으며(Jonhagen, Nemeth & Eriksson, 1994; Rosado-Portillo, Chamorro-Moriana, Gonzalez-Medina & Perez-Cabezas, 2021; Severini, Holland, Drumgoole, Delahunt & Ditroilo, 2018; Shield & Bourne, 2018), 수동적인 온열처치와 동적 준비운동을 통해 드롭랜딩에 대한 운동역학적 변화를 분석한 연구는 미비한 실정이다. 하지만 이전 연구에서 온열처치와 동적 준비운동 시 하지관절의 파워가 증가되어 반동점프(countermovement jump) 능력을 향상시키는 결과가 나타나 드롭랜딩 시 두 처치방법 간 비교는 신장성 수축에 대한 새로운 연구로 의미가 있을 것으로 판단된다(Lee et al., 2019). 또한, 드롭랜딩은 무릎관절 내 넙다리네갈래근의 신장성 수축 정도에 따라 하지관절의 안정성 및 충격흡수와 높은 연관이 있을 것으로 사료되며, 하지관절의 안정성과 충격흡수를 위한 움직임을 파

악하기 위해서는 착지구간에서 발생하는 최대 관절각도(angle), 각속도(angular velocity), 최대 모멘트(moment), 최대 일량(work) 등의 변인들을 통해 구체적인 평가가 이루어져야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 드롭랜딩 시 외적인 온열처치(이하 온열처치)와 내적인 온열처치(이하 동적 준비운동)에 해당하는 동적 준비운동이 하지관절에 대해 운동역학적으로 어떠한 차이가 있는지 평가하는데 목적이 있다. 이에 본 연구의 가설은 드롭랜딩 착지구간에서 1) 동적 준비운동의 하지관절 각도는 외적인 온열처치 보다 증가될 것이고, 2) 관절모멘트의 양 방향 모두 다른 처치방법에 비해 감소될 것으로 예상한다. 또한 3) 동적 준비운동의 음적 일(negative work)은 온열처치에 비해 낮을 것이라는 가설을 검증하고자 한다.

## METHOD

### 1. 연구참여자

본 연구에서는 서울 소재 A대학의 20대 일반 남학생 20명을 대상으로 실험 6개월 전부터 하지에 정형외과적 부상이 없는 인원을 연구참여자로 선정하였다(Age: 21.85±1.90 years, Height: 1.81±0.06 m, Weight: 68.5±7.06 kg). 연구참여자들은 실험에 참여하기 전 24시간 동안 무리한 신체활동을 하지 않도록 안내하였고 실험 참여 당일 연구의 목적을 포함한 절차와 과정에 대한 자세한 설명을 듣고 동의서에 자발적으로 서명을 한 후 실험에 참여하였다.

### 2. 연구 장비

본 연구에서는 3차원 동작 분석을 위해 8대의 적외선 카메라(Oqus 7+; Qualisys, SWE)와 동역학적 자료를 획득하기 위해 2대의 지면반력 측정기(Type 9260AA6; Kistler, SWI)를 사용하였다. 선행연구를 참고하여 상·하지의 신체 주요 관절과 분절에 총 40개의 반사마커를 부착하였다(Cappozzo, Cappello, Croce & Pensalfini, 1997; Wu et al., 2002). 적외선 카메라의 전역좌표계를 형성하기 위해 캘리브레이션을 실시하였으며, 카메라의 sampling rate는 150 frames/sec, 지면반력 측정기는 1,500 Hz로 설정하였다. 또한 실험 전 연구참여자의 신체 평균온도를 계산하기 위해 열화상 카메라(Thermographic camera, T650SC; FLIR Systems, Boston, Mass., USA)를 사용하여 각 분절의 표면온도를 측정하였다.

### 3. 실험 절차

연구참여자들은 하루에 한번씩 6일에 걸쳐 격일로 실험을 실시하였으며, 무작위한 순서로 세 가지 처치방법을 적용시켰다. 연구참여자 들이 실험실을 방문하기 전 온도와 습도조절 센서가 장착되어 있는 향온향습기를 실험실 내에 설치하여 실험실의 온도와 습도를 각각 24.0±0.5°C, 40.0±1.0%로 유지하였다(Colson, Roffino, Mutin-Carnino, Carnino & Petit, 2016). 연구참여자 들이 실험실에 도착하면 준비된 실험복을 착용하였고 신체관절의 중심점과 하지 분절에 지름 1.2 cm인 반사마커를 부착하였다. 본 연구에서 세 번에 걸쳐 연구참여자들에게 적용시킨 처치방법으로, 첫 번째 온열처치(HOT)는 온도조절 장치가 탑

재된 전기 온열패드(TY-20; Swmedi, KOR)를 모든 연구참여자들의 넓적다리 위에 15분 동안 올려놓았다(Cochrane, Stannard, Sargeant & Rittweger, 2008). 두 번째 동적 준비운동(EXE)은 Dixon et al. (2010)이 제시한 14가지로 구성된 준비운동 프로그램을 15분 간 수행하였으며, 그 세부적인 내용은 다음과 같다. 1) Arm circles forward, 2) Arm circles backward, 3) High knee walk, 4) High knee skip, 5) High knee run, 6) Butt kicks, 7) Tin soldiers, 8) Single leg stiff legged walk forward, 9) One leg SLDL walk backward, 10) Backward skip, 11) Backward run, 12) Back peddle, 13) Overhead lunge walk, 14) Inchworm. 세 번째 무처치(CON)는 아무런 행동도 취하지 않고 15분 간 의자에 앉아서 대기하였다. 처치 직후 연구참여자들은 해부학적 자세를 취한 뒤 열화상 카메라를 이용하여 체온을 측정 한 후 본 실험을 실시하였다.

연구참여자들은 준비된 50 cm 박스 위에 올라간 상태에서 가슴에 손을 얹은 후 시작 신호에 맞춰 지면반력 측정기 위로 두발 착지를 실시하였다. 실험이 진행되면서 하지의 피로 발생과 온열처치 효과 감소로 인한 오류를 최소화하기 위해 각 시도 당 30초의 휴식시간을 제공하였다. 만약, 착지 시 허리에 손이 가슴에서 분리되거나 착지 후 몸의 중심을 잃을 경우를 제외하고 정확히 착지가 되었다고 판단되는 3회 동작에 대한 데이터를 수집하였다.

4. 신호처리

획득한 3차원 영상분석 원 자료는 차단주파수를 6 Hz로 설정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터(4th order Butterworth low-pass filter)를 적용하였으며(McErlain-Naylor, King & Pain, 2014), 지면반력 데이터는 차단주파수를 10 Hz로 정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터를 사용하여 필터링을 진행하였다(MacKenzie, Lavers & Wallace, 2014). 드롭랜딩 시 이벤트는 50 cm 박스 위에서 내려오면서 지면에 두발이 접촉하는 순간을 1시점(event 1, E1), 접촉 후 전후면으로 무릎이 최대 굴곡될 시 2 시점(event 2, E2)로 정의하였다(Figure 1).

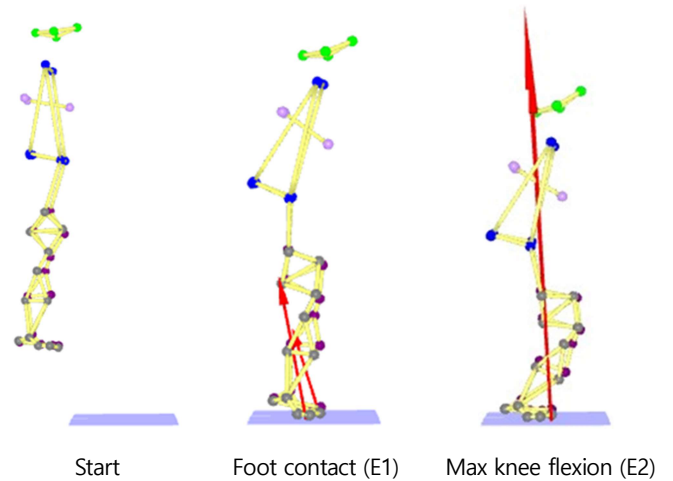


Figure 1. Events definition for drop landing

5. 자료분석

신체 평균온도는 처치 직후 열화상 카메라를 통해 상하지 분절 중심의 온도를 산출하였다. 측정된 분절 부위는 복장뼈(sternum), 아랫팔(forearm), 넓적다리(thigh), 정강이(shank) 중심 부위이며, 복장뼈를 제외한 부위들은 좌/우측 상하지 온도를 측정하였다. 신체 평균온도의 계산방법은 각 분절 중심 부위의 온도를 추출한 후 Duffield, Dawson, Bishop, Fitzsimons & Lawrence (2003)의 연구에서 사용된 공식을 통해 계산하였다(Figure 2).

$$T = (0.3 \times T_s) + (0.3 \times T_f) + (0.2 \times T_q) + (0.2 \times T_c)$$

여기에서  $T$ 는 신체 평균온도,  $T_s$ 는 복장뼈의 표면온도,  $T_f$ 는 아래팔의 표면온도,  $T_q$ 는 넓적다리의 표면온도,  $T_c$ 는 정강이의 표면온도를 의미한다.

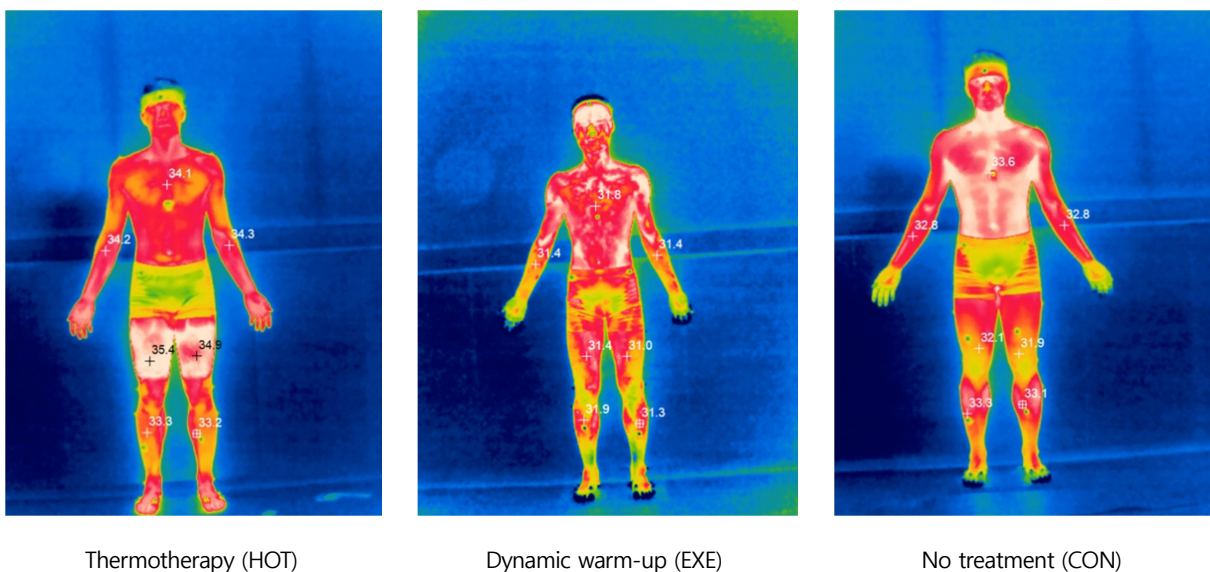


Figure 2. The measurement of core temperature for three different conditions

본 연구에서 드롭랜딩 시 분석된 운동학적 변인으로 전후면(sagittal plane)의 엉덩, 무릎, 발목관절 각도를 계산하였다. 세 가지 관절각도는 방향코사인(direction cosine)행렬에 의하여 표현되며, 전역좌표계에 대해 움직임 변화를 가진 한 지역좌표계를 축 회전 행렬의 계산 결과로 표현하였다. 분절각은 분절에 설정된 지역좌표계가 전역좌표계에 대한 이동행렬(displacement matrix)로 계산되며, 관절각은 근위부 분절의 지역좌표계를 기준으로 원위부 분절의 지역좌표계가 움직임 변위를 반영한 지역변환행렬(local transformation matrix)을 이용하여 Cardan 각도를 계산하였다. 또한 각도가 시계열에 따라 움직이는 속도의 변화량을 계산하여 두 이벤트 사이의 평균 각속도를 계산하였다.

운동역학적 변인은 Winter (2009)의 연구에서 사용된 방법을 사용하였다. 본 연구에서 분석한 엉덩, 무릎, 발목관절 모멘트는 운동역학 정보를 활용하여 역동역학적 방식(inverse dynamics)을 사용하여 데이터를 산출하였고 각 관절의 모멘트와 각속도를 이용하여 양적 일과 음적 일의 최대값을 계산하였다. 모든 자료분석에는 Visual 3D software (C-Motion Inc., Rockville, MD, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다.

6. 통계분석

통계처리에 앞서 모든 산출 변인에 대한 One sample Kolmogorov Smimov를 통해 정규성 검증을 실시하였다. 그 결과 모든 변인의 정규성이 확보되어 모수검정인 일원변량분석(One-way repeated measure ANOVA)을 통해 세 가지 처치방법에 대한 통계분석을 수행하였다. 사후검사는 Bonferroni correlation을 통해 처치방법 간 차이를 검증하였다. 모든 통계분석에는 SPSS 23.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA)을 활용하였으며, 유의 수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

1. 신체 평균온도 결과

세 가지 처치방법에 따른 신체 평균온도를 분석한 결과(Table 1), HOT 처치방법 후 신체 평균온도는 다른 처치방법에 비해 가장 높게

Table 1. The results of core temperature measurement for three groups during drop landing Unit: °C

	HOT	EXE	CON	F	p-value	$\eta^2$
Core temperature	34.66±0.34 <sup>!#</sup>	31.73±0.60 <sup>!§</sup>	33.53±0.39 <sup>!§</sup>	233.677	.000*	.925

! Significant difference between HOT and EXE at  $p < .05$   
 # Significant difference between HOT and CON at  $p < .05$   
 § Significant difference between EXE and CON at  $p < .05$

Table 2. The maximum joint angle of the sagittal plane for three therapies during drop landing Unit: deg

		HOT	EXE	CON	F	p-value	$\eta^2$
Hip							
Maximum flexion (deg)	L	66.81±16.08	62.01±15.37	64.57±15.97	1.617	.215	.078
	R	66.44±16.30	62.53±15.53	63.81±15.35	1.031	.354	.051
Angular velocity (deg/s)	L	125.52±65.82 <sup>§</sup>	99.26±77.55 <sup>!§</sup>	133.67±66.24 <sup>§</sup>	5.160	.015*	.214
	R	128.83±59.80 <sup>§</sup>	103.43±68.10 <sup>!§</sup>	134.88±66.42 <sup>§</sup>	5.060	.020*	.210
Knee							
Maximum flexion (deg)	L	-76.66±11.71	-75.81±12.80	-74.97±11.20	.301	.708	.016
	R	-80.25±12.24	-76.76±13.91	-78.28±12.25	1.154	.321	.057
Angular velocity (deg/s)	L	-285.32±35.61	-282.01±40.71	-304.90±48.47	2.979	.078	.136
	R	-294.76±33.55 <sup>#</sup>	-284.72±32.07 <sup>§</sup>	-314.84±40.73 <sup>!§</sup>	7.040	.004*	.270
Ankle							
Maximum dorsiflexion (deg)	L	17.73±4.48 <sup>!</sup>	23.1±5.87 <sup>!§</sup>	18.56±4.82 <sup>§</sup>	30.367	.000*	.615
	R	22.95±5.46	24.05±5.80	23.08±6.06	1.429	.252	.070
Angular velocity (deg/s)	L	189.4±65.45 <sup>!#</sup>	254.01±96.30 <sup>!</sup>	215.63±76.80 <sup>#</sup>	12.528	.000*	.397
	R	203.43±77.68	225.25±79.05	213.42±69.93	3.209	.054	.144

! Significant difference between HOT and EXE at  $p < .05$   
 # Significant difference between HOT and CON at  $p < .05$   
 § Significant difference between EXE and CON at  $p < .05$

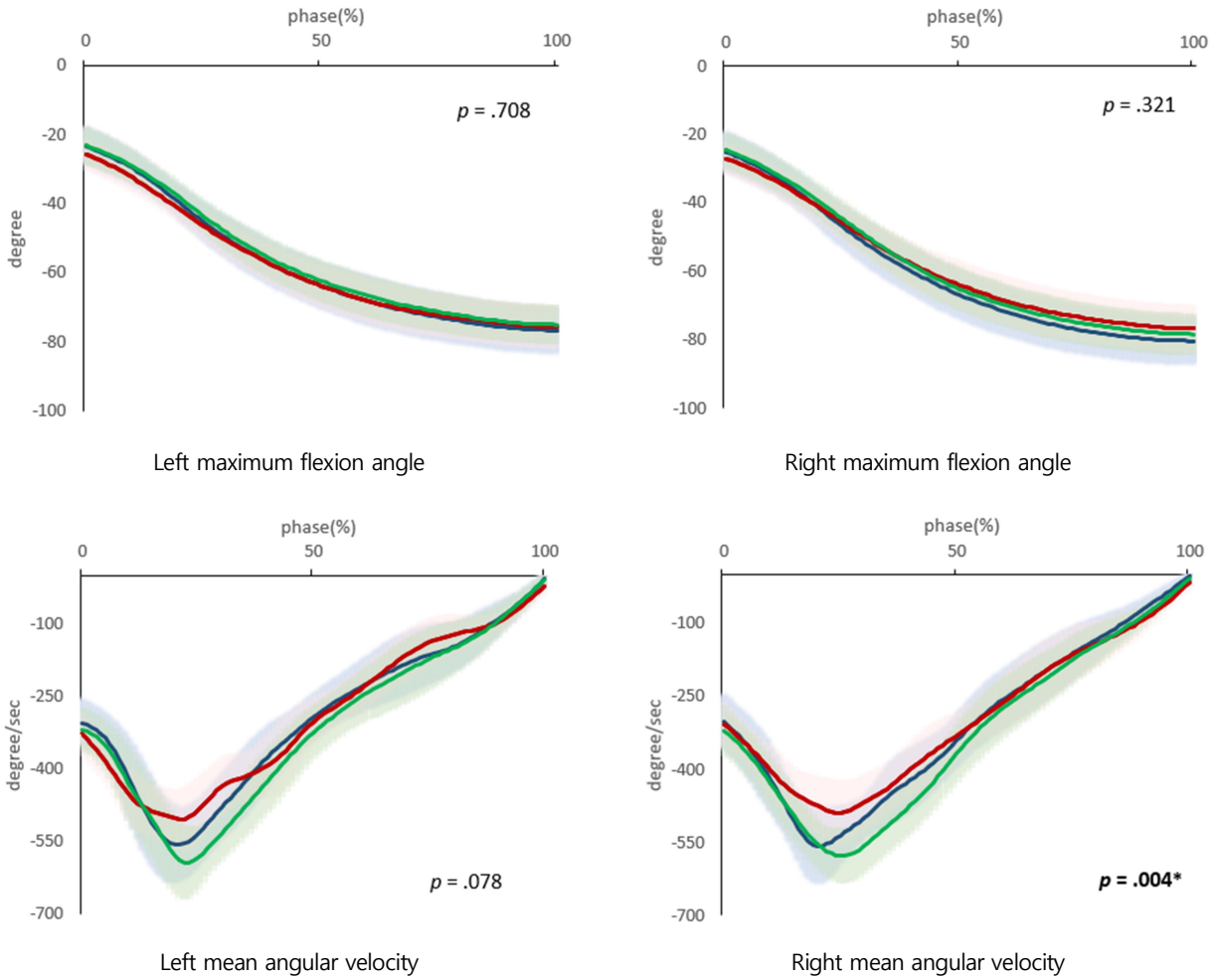


Figure 3. Graphical representation of acquired kinematic traces for knee joint during drop-landing (blue line - HOT, red line - EXE, green line - CON)

나타났으며, EXE 처치방법은 세 가지 처치 중 가장 낮게 나타났다( $p = .000$ ; HOT:  $34.66 \pm 0.34^\circ\text{C}$ , EXE:  $31.73 \pm 0.60^\circ\text{C}$ , CON:  $33.53 \pm 0.39^\circ\text{C}$ ). 사후 분석 결과 HOT과 EXE ( $p = .000$ ), EXE와 CON ( $p = .000$ ), HOT과 CON ( $p = .000$ ) 처치방법 간 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

2. 운동학적 변인 결과

드롭랜딩 시 처치방법에 따른 하지의 전후면 최대 관절각도 및 각속도를 분석한 결과(Table 2), 좌우 엉덩관절의 각속도 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(좌:  $p = .015$ , 우:  $p = .020$ ), 사후분석 결과 EXE 처치방법(좌 -  $99.26 \pm 77.55 \text{ deg/s}$ , 우 -  $103.43 \pm 68.10 \text{ deg/s}$ )은 다른 처치방법(HOT: 좌 -  $125.52 \pm 65.82 \text{ deg/s}$ , 우 -  $128.83 \pm 59.80 \text{ deg/s}$ ; CON: 좌 -  $133.67 \pm 66.24 \text{ deg/s}$ , 우 -  $134.88 \pm 66.42 \text{ deg/s}$ )에 비해 느린 각속도가 나타났다. 무릎관절의 경우 오직 우측 다리의 각속도에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p = .004$ ), 사후분석 결과 EXE ( $-284.72 \pm 32.07 \text{ deg/s}$ )는 다른 처치방법(HOT:  $-294.76 \pm 33.55 \text{ deg/s}$ , CON:  $-314.84 \pm 40.73 \text{ deg/s}$ )과 비교 시 느린 각속도가 나타났다(Figure 3). 발목관절은 좌측 배측굴곡 각도( $p = .000$ )와 각속도( $p = .000$ )에서 세 가지 처치방법 간 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 사후분석 결과 최대 배

측굴곡 각도는 EXE가 가장 크게 나타났으며( $23.1 \pm 5.87 \text{ deg}$ ), 각속도 ( $254.01 \pm 96.30 \text{ deg/s}$ ) 역시 다른 처치방법(HOT:  $189.4 \pm 65.45 \text{ deg/s}$ , EXE:  $215.63 \pm 76.80 \text{ deg/s}$ )에 비해 가장 빠르게 나타났다.

3. 운동역학적 변인 결과

세 가지 처치방법에 따라 드롭랜딩 시 하지관절 별 운동역학적 변인을 분석한 결과(Table 3), 엉덩관절의 경우 굴곡모멘트를 제외한 나머지 변인에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(신전모멘트 - 좌:  $p = .000$ , 우:  $p = .000$ ; 양적 일 - 좌:  $p = .029$ , 우:  $p = .011$ ; 음적 일 - 좌:  $p = .000$ , 우:  $p = .000$ ). 신전모멘트에서 좌우 모두 EXE(좌:  $-0.33 \pm 0.36 \text{ Nm/(BW*ht)}$ , 우:  $-0.43 \pm 0.41 \text{ Nm/(BW*ht)}$ )가 다른 처치방법(HOT - 좌:  $-3.30 \pm 1.24 \text{ Nm/(BW*ht)}$  우:  $-3.84 \pm 1.49 \text{ Nm/(BW*ht)}$ ; CON - 좌:  $-3.47 \pm 1.62 \text{ Nm/(BW*ht)}$ , 우:  $-3.61 \pm 1.86 \text{ Nm/(BW*ht)}$ )에 비해 수치가 더 낮게 나타났고, 또한 EXE의 최대 양적 일(HOT - 좌:  $325.97 \pm 202.86 \text{ j}$ , 우:  $525.80 \pm 222.30 \text{ j}$ ; EXE - 좌:  $198.95 \pm 209.56 \text{ j}$ , 우:  $222.30 \pm 194.70 \text{ j}$ ; CON - 좌:  $371.67 \pm 251.28 \text{ j}$ , 우:  $432.89 \pm 302.51 \text{ j}$ )과 음적 일(HOT - 좌:  $-819.43 \pm 471.28 \text{ j}$ , 우:  $-903.49 \pm 475.98 \text{ j}$ ; EXE - 좌:  $-89.50 \pm 151.39 \text{ j}$ , 우:  $-108.56 \pm 190.72 \text{ j}$ ; CON - 좌:  $-870.25 \pm 552.09 \text{ j}$ , 우:  $-875.32 \pm 569.64 \text{ j}$ ) 모두 작게

**Table 3.** The results of kinetic data for three therapies during drop landing

		HOT	EXE	CON	F	p-value	$\eta^2$
Hip joint							
Flexion moment (Nm/BW*ht)	L	0.39±0.76	0.70±0.39	0.55±0.68	1.795	.184	.086
	R	0.88±1.22	0.78±0.37	0.81±0.84	.097	.859	.005
Extension moment (Nm/BW*ht)	L	-3.30±1.24 <sup>!</sup>	-0.33±0.36 <sup>!§</sup>	-3.47±1.62 <sup>§</sup>	60.940	<b>.000*</b>	.762
	R	-3.84±1.49 <sup>!</sup>	-0.43±0.41 <sup>!§</sup>	-3.61±1.86 <sup>§</sup>	52.778	<b>.000*</b>	.735
Positive work (j)	L	325.97±202.86	198.95±209.56 <sup>§</sup>	371.67±251.28 <sup>§</sup>	4.685	<b>.029*</b>	.198
	R	525.80±222.30 <sup>!</sup>	222.30±194.70 <sup>!§</sup>	432.89±302.51 <sup>§</sup>	6.791	<b>.011*</b>	.263
Negative work (j)	L	-819.43±471.28 <sup>!</sup>	-89.50±151.39 <sup>!§</sup>	-870.25±552.09 <sup>§</sup>	34.310	<b>.000*</b>	.644
	R	-903.49±475.98 <sup>!</sup>	-108.56±190.72 <sup>!§</sup>	-875.32±569.64 <sup>§</sup>	32.905	<b>.000*</b>	.634
Knee joint							
Flexion moment (Nm/BW*ht)	L	-0.62±0.22 <sup>!</sup>	-0.26±0.14 <sup>!§</sup>	-0.63±0.45 <sup>§</sup>	11.590	<b>.001*</b>	.379
	R	-0.52±0.28 <sup>!</sup>	-0.26±0.14 <sup>!§</sup>	-0.48±0.21 <sup>§</sup>	9.079	<b>.001*</b>	.323
Extension moment (Nm/BW*ht)	L	2.58±0.95 <sup>!</sup>	0.09±0.22 <sup>!§</sup>	2.81±0.94 <sup>§</sup>	112.700	<b>.000*</b>	.856
	R	2.90±1.03 <sup>!</sup>	0.06±0.17 <sup>!§</sup>	3.21±1.23 <sup>§</sup>	106.866	<b>.000*</b>	.849
Positive Work (j)	L	321.19±145.63 <sup>!</sup>	117.74±97.55 <sup>!§</sup>	332.10±234.84 <sup>§</sup>	14.631	<b>.000*</b>	.435
	R	226.30±136.72 <sup>!</sup>	122.09±105.66 <sup>!§</sup>	222.64±123.19 <sup>§</sup>	6.310	<b>.007*</b>	.249
Negative work (j)	L	-1039.29±499.69 <sup>!</sup>	-52.99±106.93 <sup>!§</sup>	-1225.37±526.24 <sup>§</sup>	73.939	<b>.000*</b>	.796
	R	-1239.57±533.46 <sup>!#</sup>	-44.93±94.86 <sup>!§</sup>	-1503.52±651.64 <sup>!§#</sup>	87.109	<b>.000*</b>	.821
Ankle joint							
Dorsiflexion moment (Nm/BW*ht)	L	0.06±0.12	0.06±0.05	0.03±0.03	.800	.394	.040
	R	0.06±0.21	0.05±0.02	0.07±0.22	.131	.867	.007
Plantarflexion moment (Nm/BW*ht)	L	-2.37±0.65 <sup>!</sup>	-0.01±0.02 <sup>!§</sup>	-2.49±0.66 <sup>§</sup>	203.583	<b>.000*</b>	.915
	R	-2.56±0.71 <sup>!</sup>	-0.00±0.01 <sup>!§</sup>	-2.58±0.68 <sup>§</sup>	209.297	<b>.000*</b>	.917
Positive work (j)	L	68.10±52.78	51.48±51.56	77.07±72.38	1.067	<b>.347</b>	.053
	R	88.40±65.69 <sup>!</sup>	50.75±12.28 <sup>!§</sup>	86.84±87.61 <sup>§</sup>	1.424	<b>.422</b>	.044
Negative work (j)	L	-970.12±330.82 <sup>!</sup>	-9.15±18.29 <sup>!§</sup>	-940.01±332.26 <sup>§</sup>	121.282	<b>.000*</b>	.865
	R	-992.47±86.71 <sup>!</sup>	-2.89±8.31 <sup>!§</sup>	-1076.55±380.60 <sup>§</sup>	98.495	<b>.000*</b>	.838

! Significant difference between HOT and EXE at  $p < .05$ # Significant difference between HOT and CON at  $p < .05$ § Significant difference between EXE and CON at  $p < .05$ 

나타났다.

무릎관절은 네 가지 변인 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Figure 4, 굴곡모멘트 - 좌:  $p=.001$ , 우:  $p=.001$ ; 신전모멘트 - 좌:  $p=.000$ , 우:  $p=.000$ ; 양적 일 - 좌:  $p=.000$ , 우:  $p=.007$ ; 음적 일 - 좌:  $p=.000$ , 우:  $p=.000$ ). 사후분석 결과 굴곡/신전 모멘트에서는 모두 EXE(굴곡모멘트 - 좌:  $-0.26 \pm 0.14$  Nm/(BW\*ht), 우:  $-0.26 \pm 0.14$  Nm/(BW\*ht); 신전모멘트 - 좌:  $0.09 \pm 0.22$ , 우:  $0.06 \pm 0.17$  Nm/(BW\*ht))는 다른 처치방법(굴곡모멘트 HOT - 좌:  $-0.62 \pm 0.22$  Nm/(BW\*ht), 우:  $-0.52 \pm 0.28$  Nm/(BW\*ht); CON - 좌:  $-0.63 \pm 0.45$  Nm/(BW\*ht), 우:  $-0.48 \pm 0.21$  Nm/(BW\*ht)

/ 신전모멘트 HOT - 좌:  $2.81 \pm 0.94$  Nm/(BW\*ht), 우:  $2.90 \pm 1.03$  Nm/(BW\*ht); CON - 좌:  $2.81 \pm 0.94$  Nm/(BW\*ht), 우:  $3.21 \pm 1.23$  Nm/(BW\*ht))에 비해 낮게 나타났고, 양/음적 일 또한 동적 EXE가 더 작게 나타났다(양적 일 HOT - 좌:  $321.19 \pm 145.63$  j, 우:  $226.30 \pm 136.72$  j; EXE - 좌:  $117.74 \pm 97.55$ , 우:  $122.09 \pm 105.66$  j; CON - 좌:  $332.10 \pm 234.84$  j, 우:  $222.64 \pm 123.19$  j / 음적 일 HOT - 좌:  $-1039.29 \pm 499.69$  j, 우:  $-1239.57 \pm 533.46$  j; EXE - 좌:  $-52.99 \pm 106.93$  j, 우:  $-44.93 \pm 94.86$  j; CON - 좌:  $-1225.37 \pm 526.24$  j, 우:  $-1503.52 \pm 651.64$  j).

발목관절은 좌/우 저측굴곡 모멘트(좌:  $p=.000$ , 우:  $p=.000$ )와 음적

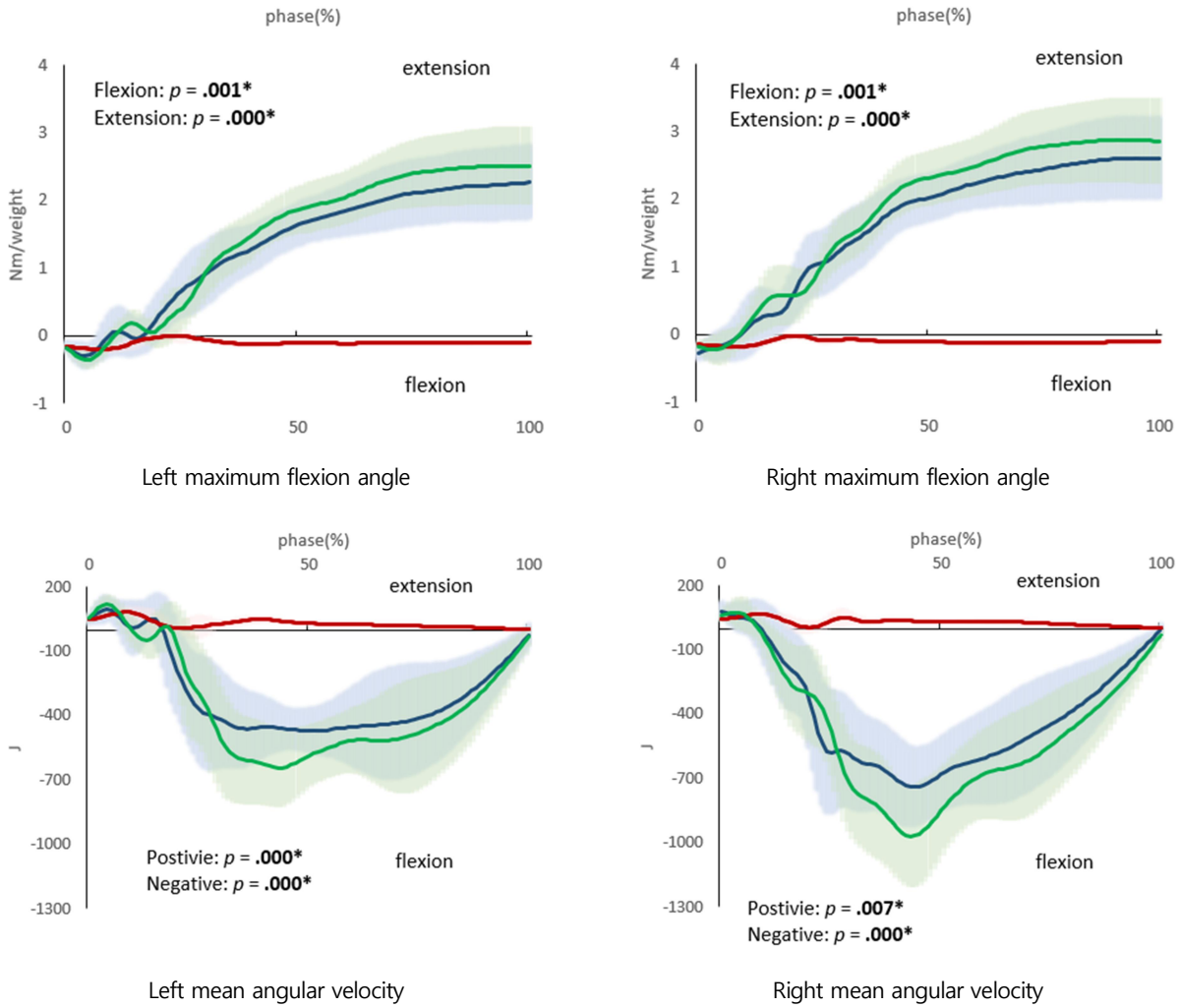


Figure 4. Graphical representation of acquired kinetic traces for knee joint during drop-landing (blue line - HOT, red line - EXE, green line - CON)

일(좌:  $p=.000$ , 우:  $p=.000$ )에서 차이가 나타났고, 사후분석 결과 EXE의 저측굴곡 모멘트(좌:  $-0.01 \pm 0.02$  Nm/(BW\*ht); 우:  $-0.01 \pm 0.01$  Nm/(BW\*ht))는 다른 처치방법(HOT - 좌:  $-2.37 \pm 0.65$  Nm/(BW\*ht), 우:  $-2.56 \pm 0.71$  Nm/(BW\*ht); CON - 좌:  $-2.49 \pm 0.66$  Nm/(BW\*ht), 우:  $-2.58 \pm 0.68$  Nm/(BW\*ht))에 비해 낮게 나타났고, 음적 일 역시 가장 낮게 나타났다 (HOT - 좌:  $-970.12 \pm 330.82$  j, 우:  $-992.47 \pm 386.71$  j; EXE - 좌:  $-9.15 \pm 18.29$  j, 우:  $-2.89 \pm 8.31$  j; CON - 좌:  $-940.01 \pm 332.26$  j, 우:  $-1076.55 \pm 380.60$  j).

DISCUSSION

본 연구는 드롭랜딩 시 온열처치와 동적 준비운동이 하지관절 운동 역학에 어떠한 차이가 있는지 확인하는데 목적이 있다. 모든 연구참여자들은 6일에 걸쳐 온열처치, 동적 준비운동, 무처치를 실시한 후 각 분절 중심 부위의 온도 측정과 50 cm 박스에서 드롭랜딩을 수행하였다. 이때, 전후면에서의 하지관절에 대한 운동역학적 정보를 수집하여 분석하였다.

처치 후 연구참여자들의 신체 평균온도는 온열처치, 무처치, 동적 준비운동 순으로 높았다. 온열처치 시 나타나는 특징은 신체 내 처치

부위의 혈류량을 증가시켜 나머지 부위와의 온도차를 최소화하기 위해 자발적으로 신체 평균온도를 증가시키려는 생리적인 조절 반응이 일어난다(Cornwall, 2007). 하지만 이러한 반응은 운동수행력에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. Maxwell et al. (2008)의 연구에서는 온열처치 후 스프린트 사이클을 수행한 결과 하지관절들의 최대 근 파워는 오히려 감소하였고, Lee et al. (2019) 연구에서는 온열처치 후 서던트 점프 시 무릎관절의 움직임에 대한 변화를 관찰할 수 없었다. 이전 연구에서 치료방법으로 온열처치를 사용할 경우 근피로 회복, 근경련 및 통증 감소, 혈액순환 촉진 등의 결과가 나타난다고 보고되었다(Lewis, Holmes, Woby, Hindle & Fowler, 2012; Derryl, 2004; Prentice, 1999). 따라서 온열처치를 통해 운동역학적 움직임 변화를 유도하기 보다는 해당부위의 치료 및 부상예방을 목적으로 사용하는 경우가 많은 것으로 사료된다(Castle et al., 2006).

온열처치 형태에 따른 운동학적 변인분석 결과 동적 준비운동의 발목관절 배측굴곡 각도는 온열처치와 무처치 보다 높았다. 드롭랜딩과 같이 신체가 수직방향으로 내려오는 경우 하지관절에 충격이 가해지게 되는데 이때 발목관절의 배측굴곡 가동범위를 증가시켜 무게 중심의 하강 및 무릎과 엉덩관절의 모멘트가 감소된다(Hertel, 2002). 이

러한 기전은 지면으로부터 신체로 전해지는 충격을 흡수하는 효과가 있다(Hertel, 2002; McNitt-Gray, 1993; Huston, Vibert, Ashton-Miller & Wojtyś, 2001). 따라서 동적 준비운동은 드롭랜딩 시 발목관절은 충격을 흡수시키기 위해 배측굴곡을 증가시킨 것으로 판단된다(Hertel, 2002). 하지관절의 각속도는 우측 무릎관절에서 아무런 처치를 하지 않았을 때 가장 빠른 속도가 나타났다. Decker, Torry, Wyland, Sterett, & Steadman (2003)의 연구에서는 랜딩 시 무릎관절의 각속도가 증가할 경우 무릎관절의 외부 충격력을 분산시켜 상해 위험을 줄일 수 있다고 주장하였다. 그러나 무릎 관절의 전후면 각도는 차이가 없고 오직 각속도만이 빠른 속도로 수행된 부분은 고정된 경골에 대해 회전축(무릎관절)을 기준으로 넓적다리의 수직 하강속도가 빠르다는 것을 의미한다(Lee & Hong, 2014). 즉, 단일 관절의 움직임을 통해 하지를 제어하기 때문에 엉덩 혹은 무릎관절의 과부하가 발생하여 상해가 발생할 가능성이 크다(Li, Rudy & Sakane, 1999). 본 연구에서는 무처치 시 무릎의 최대 굴곡각도 차이 없이 각속도만이 증가하였고 이로 인해 무릎관절의 부하가 증가되었다고 판단되며 무릎관절의 안정성 역시 감소한 것으로 사료된다. 또한 무릎관절의 움직임 영향으로 인해 이에 대한 보상작용으로 엉덩관절에서도 빠른 각속도가 나타난 것으로 판단된다.

온열처치 형태에 따른 운동역학적 분석 결과 드롭랜딩 시 발목관절의 저축굴곡 모멘트, 무릎관절의 굴곡/신전 모멘트, 엉덩관절의 신전 모멘트에서 처치방법에 따라 통계적인 차이가 발생하였다. 특히, 동적 준비운동의 발목 저축굴곡과 무릎 굴곡/신전 모멘트 모두 온열처치와 무처치 보다 낮게 나타났다. 연구참여자들은 부드러운 랜딩을 위해 발목관절의 배측굴곡이 증가시켰지만 만약 저축굴곡의 최대 모멘트가 높게 나타날 경우 발목관절에 높은 부하가 발생할 수 있다. 따라서 Pandy & Shelburne (1997)와 Decker et al. (2003) 연구에서 랜딩 시 관절에서 발생하는 모멘트가 최소화될 경우 근육의 피로를 감소시킬 수 있고 점프, 달리기 등과 같은 다음 단계 동작을 수행할 때 폭발적인 힘을 발휘할 수 있도록 도와준다고 보고하였다(Dill, Begalle, Frank & Zinder et al., 2014). 이렇게 될 경우 발목관절의 영향에 따라 무릎의 최대 신전모멘트는 랜딩기간 동안 비교적 감소하게 되고 시간적으로도 늦게 나타나면서 무릎 신전근의 장력 길이를 감소시켜 무릎의 부하가 감소될 가능성이 크다. 반대로 본 연구의 국소부위 온열처치와 같이 신체의 평균온도가 증가한 상태에서는 전체적인 근력과 근파위가 감소하는 경향이 있다(Castle et al., 2006; Duffield, Rob & Marino, 2007). 이러한 원인은 온열처치 후 근육 내 심층 근막, 근육 경직도를 초음파로 관찰한 결과 처치 전의 혈관확장과 근섬유 크기와 차이가 나타나지 않기 때문이다(Ichikawa, Takei, Usa, Mitomo & Ogawa, 2015). 따라서 점프, 달리기 등의 동작을 수행할 때 온열처치는 기록을 증가시키는데 큰 도움이 되지 않는 선행연구와 유사한 경향을 보였다(Holt & Lambourne, 2008; Kilduff et al., 2013; Manoel, Harris-Love, Danoff & Miller, 2008; Mohr, Krusturup, Nybo, Nielsen & Bangsbo, 2004).

본 연구에서는 드롭랜딩 시 각 관절에 대한 최대 양적 일 및 음적 일을 분석한 결과 동적 준비운동 시 모든 관절은 온열처치와 무처치 보다 음적 일이 낮게 나타났다. 드롭랜딩 동작의 특성 상 하지관절에서는 대부분 음적 일이 양적 일 보다 크게 나타나 관절의 신근군(예: 넓다리네갈래근)들이 신장성 수축을 수행하지 않으면 정상적인 동작을 수행하기 어렵다(Winter, 2009). 따라서 Skinner, Zelik & Kuo (2015)

연구에서도 드롭랜딩 시 일반적으로 음적 일의 크기가 양적 일 보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 본 연구 결과에서 동적 준비운동의 음적 일이 감소된 부분은 드롭랜딩 시 신장성 수축을 감소시켜 하지관절들의 수동적인 움직임을 최소화하고 능동적인 움직임을 수행한 것으로 평가된다. 그렇기 때문에 랜딩 시 음적 일이 감소할 경우 관절의 굴곡에 사용되는 근육의 활동량을 감소시킬 수 있다(Skinner, Zelik & Kuo, 2015). 반대로 온열처치와 무처치는 높은 음적 일이 나타났다. 이는 Lee et al. (2019) 연구에서도 처치 전후 수행력 차이에서 점프 높이를 증가시키지 못한 결과가 나타나 본 연구 결과로 보아 국소부위의 온열처치를 통해서만은 모멘트 크기에 대한 운동역학적인 움직임과 근육의 수축 형태 모두 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되고 이에 따라 신장성 수축이 수행될 경우 근육 내 다수의 근섬유 및 다양한 조직들이 단축성 수축 때 보다 높은 스트레스를 받게 되어 근육의 특성 상 부상이 발생할 확률이 증가할 가능성이 있다(Hewett, Myer & Ford, 2005; Solomonow et al., 1987). 또한 향후 추가적인 연구를 통해 온열처치 시 수행능력의 변화가 일어나지 않는 구체적인 기전에 대해서 밝혀져야 할 필요성이 있다. 이와는 반대로 동적 준비운동은 음의 일이 감소된 것으로 보아 온열처치와 무처치 보다 신장성 수축을 최소화하여 보다 능동적으로 움직임을 수행한 것으로 판단되고 처치방법 간 다른 기전을 통해 드롭랜딩을 수행하는 것으로 사료된다. 이는 하지관절과 근육 상해에 예방에 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

## CONCLUSION

본 연구에서는 드롭랜딩 시 세 가지 처치방법(온열처치, 동적 준비운동, 무처치)에 따른 하지관절의 운동역학적 변인에 어떠한 차이가 있는지를 평가하는데 목적이 있으며, 다음과 같은 결론을 제시한다. 처치방법에 따른 신체 평균온도 차이는 온열처치가 높게 나타났고 동적 준비운동은 다른 처치방법보다 낮게 나타났다. 드롭랜딩 시 동적 준비운동은 온열처치와 무처치에 비해 발목의 배측굴곡 각도가 증가하였으며, 발목의 저축굴곡 모멘트, 무릎의 굴곡신전 모멘트, 엉덩관절의 신전모멘트에서는 감소하였다. 음의 일 또한 가장 감소된 것을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 외적인 국소부위 온열처치는 드롭랜딩 시 큰 영향을 주지 않은 것으로 사료되고, 반면에 내적인 온열처치인 동적 준비운동은 짧은 시간에도 불구하고 넓다리네갈래근의 신장성 수축 시 하지관절의 모멘트와 음적 일을 최소화하여 다른 처치방법보다 오히려 능동적인 움직임을 수행한 부분을 확인할 수 있었다. 또한 무처치의 경우 주로 신장성 수축을 수행하여 부상 확률이 증가할 가능성이 큰 것으로 판단된다.

본 연구에서는 연구참여자에게 직접적으로 온열처치와 동적 준비운동을 수행하게 하여 드롭랜딩 시 동작의 차이를 분석하는데 그쳤으나, 향후 연구에서는 랜딩 후 점프(혹은 컷팅), 근육의 활성화, 실험실 온도와 처치방법 간의 상관관계, 더 나아가 부상 가능성 예측 및 회복 등의 연구들도 추가적으로 진행하여 생활스포츠 동호인들의 부상예방 및 전문 운동선수들이 최고의 경기 수행능력을 발휘할 수 있도록 다양한 연구가 진행되길 기대한다.



## REFERENCES

- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O. ... & Krutsch, W. (2018). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(7), 1901-1908.
- Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. (2004). Neuromuscular Function after Exercise-Induced Muscle Damage: Theoretical and Applied Implications. *In Sports Medicine*, 34(1), 49-69.
- Cappozzo, A., Cappello, A., Croce, U. D. & Pensalfini, F. (1997). Surface-marker cluster design criteria for 3-d bone movement reconstruction. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 44(12), 1165-1174.
- Castle, P. C., Macdonald, A. L., Philp, A., Webborn, A., Watt, P. W. & Maxwell, N. S. (2006). Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1377-1384.
- Chaouachi, A., Castagna, C., Chtara, M., Brughelli, M., Turki, O., Galy, O., Chamari, K. & Behm, D. G. (2010). Effect of warm-ups involving static or dynamic stretching on agility, sprinting, and jumping performance in trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2001-2011.
- Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Sargeant, A. J. & Rittweger, J. (2008). The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 103(4), 441-448.
- Colson, S. S., Roffino, S., Mutin-Carnino, M., Carnino, A. & Petit, P. D. (2016). The effect of dynamic whole-body vibration warm-up on lower extremity performance. *Science and Sports*, 31(1), 19-26.
- Cornwall, M. W. (2007). *Electrotherapy Explained: Principles and Practice*, ed 4. *Physical Therapy*, 87(8), 1088-1088.
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I. & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18(7), 662-669.
- Dill, K. E., Begalle, R. L., Frank, B. S., Zinder, S. M. & Padua, D. A. (2014). Altered knee and ankle kinematics during squatting in those with limited weight-bearing-lunge ankle-dorsiflexion range of motion. *Journal of Athletic Training*, 49(6), 723-732.
- Dixon, P. G., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Howard, R. L., Gomez, A. L., Comstock, B. A., Dunn-Lewis, C., Fragala, M. S., Hooper, D. R., Häkkinen, K. & Maresh, C. M. (2010). The impact of cold-water immersion on power production in the vertical jump and the benefits of a dynamic exercise warm-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3313-3317.
- Dufek, J. S. & Bates, B. T. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 370-377.
- Duffield, R., Dawson, B., Bishop, D., Fitzsimons, M. & Lawrence, S. (2003). Effect of wearing an ice cooling jacket on repeat sprint performance in warm/humid conditions. *British Journal of Sports Medicine*, 37(2), 164-169.
- Duffield, R. & Marino, F. E. (2007). Effects of pre-cooling procedures on intermittent-sprint exercise performance in warm conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 100(6), 727-735.
- Ebbeling, C. B. & Clarkson, P. M. (1989). Exercise-Induced Muscle Damage and Adaptation. *In Sports Medicine*, 7(4), 207-234.
- Enoka, R. M. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *In Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2339-2346.
- Eston, R. & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 231-238.
- Falk, B., Radom-Isaac, S., Hoffmann, J. R., Wang, Y., Yarom, Y., Magazanik, A. & Weinstein, Y. (1998). The effect of heat exposure on performance of and recovery from high-intensity, intermittent exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19(1), 1-6.
- García-Luna, M. A., Cortell-Tormo, J. M., García-Jaén, M., Ortega-Navarro, M. & Tortosa-Martínez, J. (2020). Acute effects of ACL injury-prevention warm-up and soccer-specific fatigue protocol on dynamic knee valgus in youth male soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5608.
- Gray, S. & Nimmo, M. (2001). Effects of active, passive or no warm-up on metabolism and performance during high-intensity exercise. *Journal of Sports Sciences*, 19(9), 693-700.
- Hertel, J. (2002). Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 364.
- Hewett, T. E., Myer, G. D. & Ford, K. R. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *JBJS*, 86(8), 1601-1608.
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L. & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173-2181.
- Holt, B. W. & Lambourne, K. (2008). The impact of different warm-up protocols on vertical jump performance in male collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 226-229.
- Hortobágyi, T., Hill, J. P., Houmard, J. A., Fraser, D. D., Lambert, N. J. & Israel, R. G. (1996). Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 765-772.
- Huston, L. J., Vibert, B., Ashton-Miller, J. A. & Wojtys, E. M. (2001). Gender differences in knee angle when landing from a drop-jump. *The American Journal of Knee Surgery*, 14(4), 215-219.
- Ichikawa, K., Takei, H., Usa, H., Mitomo, S. & Ogawa, D. (2015). Comparative analysis of ultrasound changes in the vastus lateralis muscle following myofascial release and thermotherapy: A pilot

- study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(2), 327-336.
- Jonhagen, S., Nemeth, G. & Eriksson, E. (1994). Hamstring injuries in sprinters: the role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *The American Journal of Sports Medicine*, 22(2), 262-266.
- Kawabata, A. & Tokura, H. (1993). Effects of two kinds of sports shoes with different structure on thermoregulatory responses. *The Annals of Physiological Anthropology*, 12(3), 165-171.
- Kilduff, L. P., West, D. J., Williams, N. & Cook, C. J. (2013). The influence of passive heat maintenance on lower body power output and repeated sprint performance in professional rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 482-486.
- Lee, D. T., Toner, M. M., Mcardle, W. D., Vrabas, I. S. & Pandolf, K. B. (1997). Thermal and metabolic responses to cold-water immersion at knee, hip, and shoulder levels. *Journal of Applied Physiology*, 82(5), 1523-1530.
- Lee, K. I. & Hong, W. K. (2014). Analysis of kinetic differences according to ankle taping types in drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(1), 51-57.
- Lee, J., Panday, S. B., Byun, K., Lee, J., Hwang, J. & Moon, J. (2019). Effect of Passive Temperature Therapy of the Femoral Muscles on the Countermovement Jump Performance. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 29(4), 227-235.
- Lee, J. S. (2002). Sports Biomechanical Analysis of Physical Movements on the Basis of the Patterns of the Ready Poses. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 12(2), 179-195.
- Lewis, S., Holmes, P., Woby, S., Hindle, J. & Fowler, N. (2012). The relationships between measures of stature recovery, muscle activity and psychological factors in patients with chronic low back pain. *Manual Therapy*, 17(1), 27-33.
- Li, G., Rudy, T. W., Sakane, M., Kanamori, A., Ma, C. B. & Woo, S. Y. (1999). The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *Journal of Biomechanics*, 32(4), 395-400.
- Lim, S. H., Hong, B. Y., Oh, J. H. & Lee, J. I. (2015). Relationship between knee alignment and the electromyographic activity of quadriceps muscles in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(4), 1261-1265.
- Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C. & Reich, T. E. (2001). When active muscles lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences*, 16(6), 256-261.
- MacKenzie, S. J., Lavers, R. J. & Wallace, B. B. (2014). A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1576-1585.
- Manoel, M. E., Harris-Love, M. O., Danoff, J. V. & Miller, T. A. (2008). Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1528-1534.
- Maxwell, N. S., Castle, P. C. & Spencer, M. (2008). Effect of recovery intensity on peak power output and the development of heat strain during intermittent sprint exercise while under heat stress. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(5), 491-499.
- McErlain-Naylor, S., King, M. & Pain, M. T. G. (2014). Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 32(19), 1805-1812.
- McNitt-Gray, J. L. (1993). Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *Journal of Biomechanics*, 26(9), 1037-1046.
- Mohr, M., Krustup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J. & Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches - Beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(3), 156-162.
- Oh, J. K., Kang, S. W. & Piao, S. Z. (2016). Differences in knee joint proprioceptive capabilities according to hot and cold stimulation. *Sport Science*, 33(2), 125-135.
- Okada, K., Yamaguchi, T., Minowa, K. & Inoue, N. (2005). The influence of hot pack therapy on the blood flow in masseter muscles. *Journal of Oral Rehabilitation*, 32(7), 480-486.
- Pandy, M. G. & Shelburne, K. B. (1997). Dependence of cruciate-ligament loading on muscle forces and external load. *Journal of Biomechanics*, 30(10), 1015-1024.
- Rosado-Portillo, A., Chamorro-Moriana, G., Gonzalez-Medina, G. & Perez-Cabezas, V. (2021). Acute hamstring injury prevention programs in eleven-a-side football players based on physical exercises: systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(9), 2029.
- Samson, M., Button, D. C., Chaouachi, A. & Behm, D. G. (2012). Effects of dynamic and static stretching within general and activity specific warm-up protocols. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 279-285.
- Sell, T. C., Ferris, C. M., Abt, J. P., Tsai, Y. S., Myers, J. B., Fu, F. H. & Lephart, S. M. (2007). Predictors of proximal tibia anterior shear force during a vertical stop-jump. *Journal of Orthopaedic Research*, 25(12), 1589-1597.
- Severini, G., Holland, D., Drumgoole, A., Delahunt, E. & Ditroilo, M. (2018). Kinematic and electromyographic analysis of the Askling L-Protocol for hamstring training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(12), 2536-2546.
- Shield, A. J. & Bourne, M. N. (2018). Hamstring injury prevention practices in elite sport: evidence for eccentric strength vs. lumbo-pelvic training. *Sports Medicine*, 48(3), 513-524.
- Skinner, N. E., Zelik, K. E. & Kuo, A. D. (2015). Subjective valuation of cushioning in a human drop landing task as quantified by trade-offs in mechanical work. *Journal of Biomechanics*, 48(10), 1887-1892.
- Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B. H., Shoji, H., Bose, W., Beck, C. & D'ambrosia, R. (1987). The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *The*

- American Journal of Sports Medicine*, 15(3), 207-213.
- Someh, M. & Ghafarnejad, F. (2011). The effect of cryotherapy on the normal ankle joint position sense. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(2), 91.
- Turki, O., Chaouachi, A., Drinkwater, E. J., Chtara, M., Chamari, K., Amri, M. & Behm, D. G. (2011). Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2453-2463.
- Winter, D. A. (2009). Biomechanics and Motor Control of Human Movement: Fourth Edition. In *Biomechanics and Motor Control of Human Movement: Fourth Edition*.
- Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O. & Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion - Part I: Ankle, hip, and spine. *In Journal of Biomechanics*, 35(4), 543-548.