

온도 자극에 의한 발의 감각 변화가 스쿼트 점프 시 최대 운동능력과 근 활성화도에 미치는 영향

류재진 · 이기광 · 공세진* (국민대학교)

이 연구는 발바닥 표면에 온도 변화를 통한 피부감각의 변화가 스쿼트 점프 시 최대 운동능력과 근 활성화도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 본 연구는 근신경학적 질환이 없는 20대 남녀 16명을 대상으로 진행하였으며 온도에 의한 발바닥 감각 저하를 파악하기 위하여 semmes-wensten 모노 필라멘트를 이용해 정상적인 환경과 차갑고 뜨거운 환경에서 발생하는 발바닥 감각을 비교하였다. 그 후 최대 운동 능력의 변화를 규명하기 위해 적외선 모션캡처 카메라 10대와 지면반력기 1대 그리고 스쿼트 점프 시 사용되는 주요 근육의 근 신호를 파악하기 위해 무선 근전도 6채널을 사용하였다. 피험자는 각각의 온도조건에서 일정한 높이의 스쿼트 자세로 최대 수직 점프를 3회 반복 실시하였으며 온도 처치의 순서는 무작위 배정하였다. 통계적 분석은 온도 조건에 따른 차이를 비교하기 위해 1 way repeated ANOVA를 실시하였고 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다. 차가운 조건과 뜨거운 조건에서 일반적인 조건 보다 압력을 느끼는 감각이 저하 되는 결과를 확인 할 수 있었다. 중족골 위치에서의 피부 감각을 측정한 결과 일반적인 조건 보다 차가운 조건과 뜨거운 조건에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 발뒤꿈치 에서도 뜨거운 조건과 차가운 조건에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 온도 변화에 따른 최대 점프 능력의 차이를 비교해 본 결과 온도 변화에 의해 발바닥 감각이 저하 되었을 경우 일반적인 조건보다 점프 능력이 저하 되는 현상을 알 수 있었다. 이 때 발생하는 하지 주요 관절의 각도, 각속도, 모멘트 및 파워에는 유의한 차이는 발생하지 않았고 수직 지면반력에서는 차가운 조건과 정상적인 조건 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 또한 근 활성화도의 경우 일부 근육에서 온도 조건에 따른 유의한 차이를 확인 할 수 있었다. 이러한 결과로 온도에 의한 피부 감각 저하가 최대 운동능력 및 근신경학적인 측면에 영향을 줄 수 있다는 사실을 확인 할 수 있었다.

주요어 : 발바닥 감각, 온도변화, 최대 점프 능력, 스쿼트 점프, 근 활성화도, 웨이블릿 변환

서 론

인간의 발바닥은 자세 유지와 같은 정적인 동작이나 걷기, 수직 점프와 같은 동적인 동작에서 외부환경에 대한 정보를 직접적으로 접하게 되는 매우 중요한 부분이다(Hohne et al., 2009; Nurse et al., 2005; Perry et al., 2001). 이때 지면으로부터 얻게 되는 정

보는 발바닥 진피에 존재하는 다양한 감각 수용체로부터 압력, 촉각, 진동과 같은 자극을 인지할 수 있게 된다. 또한 발바닥으로부터 얻어지는 감각의 정보는 자세 유지와 보행 중에 하지의 협응을 만들어 내는데 있어 매우 중요하다(Hohne et al., 2009; Nurse et al., 2005; Perry et al., 2001).

이러한 족저면 감각에 대한 역치 수준과 감각의 변화에 따른 다양한 변화를 보기 위한 선행 연구들이 많이 진행되어왔다. Dyck et al.(1990)과 Gruener & Dyck (1994) 그리고 shy et al.(2003) 는 감각을 느끼는 역치에 대한 정량화 방안을 연구해왔으며 이러한 연구 방법을 토대로 진동의 변화에 따른 감각 역치의 변화

논문 투고일 : 2014. 05. 16.

논문 수정일 : 2014. 09. 01.

게재 확정일 : 2014. 09. 15.

* 저자 연락처 : 공세진(sejinkong@gmail.com).

* 본 논문은 2011년 한국운동역학회 국제학술대회에 발표되었던 내용입니다.

(Halonen, 1986; Meier et al., 2001; Ushio et al., 2008), 온도의 변화에 따른 감각 역치의 변화(Hagander et al., 2000; Schlee et al., 2009), 촉각의 변화에 따른 감각 역치의 변화(Nurse et al., 2005) 및 발의 해부학적 위치에 대한 감각 역치의 수준(Hennig & Sterzing, 2009)을 정량화 하여 평가하였다. 뿐만 아니라 이러한 감각의 역치 수준에 따른 족저압의 변화에 대한 연구(Hohne et al., 2009; Nurse & Nigg, 1999, 2001) 및 발바닥 감각의 변화를 통한 보행 패턴의 변화(Nurse et al., 2005; Perry et al., 2000; Perry et al., 2001) 그리고 보행 시 야기 되는 족저면 자극의 변화를 통한 하지 근육의 근 활성도의 비교가 이뤄져 왔다(Nurse et al., 2005; Nurse & Nigg, 2001). 또한 미세한 진동을 이용해 발바닥 감각을 향상 시켜주었을 때 균형 감각 및 자세 유지 변화에 미치는 영향에 대한 연구들도 이뤄졌다(J. Collins et al., 2003; J. J. Collins et al., 1996; Khaodhiar et al., 2003; Liu et al., 2002; Priplata et al., 2006).

위와 같이 발바닥 감각의 변화에 대한 정량화와 이러한 감각 역치의 변화가 미치는 다양한 영향들에 대해서는 많은 연구들이 이뤄져 왔다. 하지만 발바닥 온도 변화에 따른 감각 수준에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 논쟁의 여지가 많고 미흡한 실정이다. Thyagarajan & Dyck(1994) 은 발등에서 느껴지는 진동의 역치는 매우 넓은 온도 범위(12°C - 38°C)에서 변화가 없었다고 보고 하였고 이와 대조적으로 Meh & Denislic (1994)의 연구에서는 발등의 온도 변화에 따라 진동을 느끼는 역치 수준의 변화가 있다고 보고 하였다. 또한 Nurse & Nigg(2001), Perry et al.(2000)의 경우는 발바닥 온도가 기준치 보다 각각 6~10°C 정도 내려 갈 경우 발바닥의 감각이 상당히 줄어든다고 보고 하였다. 또한, Schlee et al.(2009)는 발바닥의 온도 변화에 따른 기계적 감각의 변화를 밝히는 것은 감각에 대한 평가를 하는데 있어서 매우 중요한 부분이고 그 뿐만 아니라 동적인 움직임의 인지와 협응에 있어서도 영향을 미친다고 이야기 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 온도 자극을 통해 발바닥의 감각이 저하될 때 최대 운동능력과 이 때 발생하는 하지의 운동학, 운동역학적 변인 및 근 활성도에 미치는 영향을 분석하고 이를 통해 피부 감각의 변화가 최대 운동능력에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

연구방법

연구 참여자

본 실험에는 근신경계 질환이 없고 실험 동작을 하는데 적합한 20대 초반 남성 10명 (나이: 21.4±2.4세; 신장: 174.7±5.3cm; 체중: 70.6±5.2kg)과 여성 6명 (나이: 20.5±0.6세; 신장: 163.2±3.1cm; 체중: 55.6±4.8kg)을 대상으로 진행하였으며, 이에 앞서 온도 조건에 따른 발의 감각 변화를 파악하기 위해 6명의 대상자를 우선 선별하여 감각 평가를 실시하였다. 또한 모든 피험자는 실험에 앞서 관련된 사항을 충분히 숙지한 뒤 실험 동의를 작성 후 실험에 참여하였다.

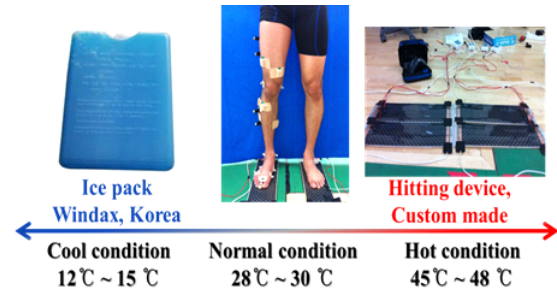


그림 1. 온도 조절을 위한 아이스팩과 발열장치의 구성 및 실험을 위한 온도 설정(Dyck, Zimmerman, et al., 1993).

실험 장비

온도에 의한 발바닥 감각의 수준에 변화를 주기 위해 얼음 팩과 발열 장치를 사용하였고, 온도 변화에 따른 발바닥 감각 역치 변화를 파악하기 위해 Semmes-Weinstein monofilaments(North Coast Medical, San Jose, CA, USA)를 사용하였다. 각각의 필라멘트는 구부러지는 힘을 발생시키며 그 힘의 크기는 필라멘트 별로 각각 차이가 있게 구성 되어있다. 본 연구에서는 모노 필라멘트 중 힘의 구분이 1.65, 2.36, 2.44, 2.83, 3.22, 3.61, 3.84, 4.08, 4.17, 4.31, 4.60, 4.74로 되어 있는 총 12개의 모노 필라멘트를 사용하였다(표 1). 정량적인 감각 평가를 위해 시각 및 청각을 통제된 상황에서 4,2,1 스테핑 알고리즘을 사용하였다. 최초 3.61 모노 필라멘트를 통해 감각을 느끼는지 평가하였으며 반응이 있을 경우 4단계 아래의 필라멘트를, 반응이 없을 경우 4단계 위의 필라멘트를 사용하여 감각

평가를 수행하였다. 그 이후 반응의 유무에 따라 2단계, 1단계의 차이를 주며 감각 평가를 하고 10회 평가 후 반응을 나타낸 값의 평균 값을 계산하여 감각 수준을 평가하였다. 일반적인 환경에서의 감각 평가를 우선 실시하고 약 10분간의 온도 처치 후 차가운 조건과 뜨거운 조건의 감각 평가를 실시 하였다(Dyck, O'Brien, et al., 1993; Nurse & Nigg, 1999) <그림 1>.

표 1. 모노 필라멘트의 구성 및 각 레벨에 해당하는 힘의 크기

넘버	레벨	g force[mg]	넘버	레벨	g force[mg]
1	1.65	0.008	7	3.84	0.600
2	2.36	0.020	8	4.08	1.000
3	2.44	0.040	9	4.17	1.400
4	2.83	0.070	10	4.31	2.000
5	3.22	0.160	11	4.60	4.000
6	3.61	0.400	12	4.74	6.000

운동 능력, 하지의 움직임 및 하지 주요 관절에서 발생하는 모멘트를 분석하기 위하여 10대의 3차원 적외선 카메라(Vicon T-series, Vicon Ltd, UK) 및 1대의 지면반력기(AMTI MSA-6, AMTI, USA)를 사용하였다. 동작 분석의 측정 정도는 120Hz로 설정하였고 지면 반력기의 경우는 2400Hz로 설정하였다. 근 활성도를 분석하기 위해서 무선 근전도 시스템(Delsys wireless EMG, Delsys Inc, USA)을 사용하였고 측정 속도는 지면 반력기와 동일하게 2400Hz로 설정하였다.

데이터 분석을 위해 Vicon Nexus software를 이용하여 모든 데이터 정보를 디지털화 하였으며 영상데이터와 지면반력 데이터 그리고 근전도 데이터를 동조하였다.

실험 절차

실험실 내부 온도를 유지한 뒤 소음이 없는 매우 조용한 상태에서 진행 하였고 실험실 바닥의 온도는 전측부 온도와 같게 맞춘 뒤 시작하였다. 실험에 앞서 피험자들은 실험의 목적과 동작에 대한 설명을 충분히 숙지하였으며 스트레칭과 점프를 통해서 간단한 준비운동을 실시하였다.

준비 운동이 끝난 후 무릎 관절이 약 90도 정도 굴곡되어 있는 스쿼트 자세에서 뿔 수 있도록 무릎 관절이 90도 굴곡된 상태를 유지하기 위한 컨트롤 바의 높이를 설정하였다 <그림 2>. 컨트롤 바의 높이 설정이 완료된

후 동작 분석을 위해 총 23개의 마커를 골반 및 오른쪽 하지의 해부학적 위치에 부착하였다. 각 분절에 적어도 3개 이상의 마커를 부착하여 분절 간 이루는 각을 3개의 해부학적 면에서 분석을 할 수 있게 하였으며 하지의 무릎 관절, 발목 관절, 발허리발가락관절로 구분지를 수 있게 마커를 부착 하였고, 지면 반력기 위에는 온도를 상승 시킬 수 있는 히팅 디바이스를 부착하였다 <그림 2>. 그리고 근신경학적 변화를 보기 위해서 최대 스쿼트 점프 시 사용되는 주동근 및 협력근 6곳(내측광근, 대퇴이두근, 전경골근, 장비골근, 비복근 내측, 가자미근)에 근전도 채널을 오른쪽 하지에 부착하였다. 센서 부착이 완료 된 후 피험자는 무릎 관절이 90도 정도 굴곡된 상태에서 3회 최대 수직 점프를 실시하였으며 무릎을 더 굽히는 반동 동작이 동작 분석 시스템에 의해 나타날 경우 스쿼트 점프 동작을 다시 실시하였다. 온도 조건의 순서는 모든 연구 대상자를 대상으로 무작위 배정하였고 실험의 시작과 각 피험자 별 모든 실험이 전체적으로 완료 된 후 실험실 전체의 온도를 측정하여 기록하였다.

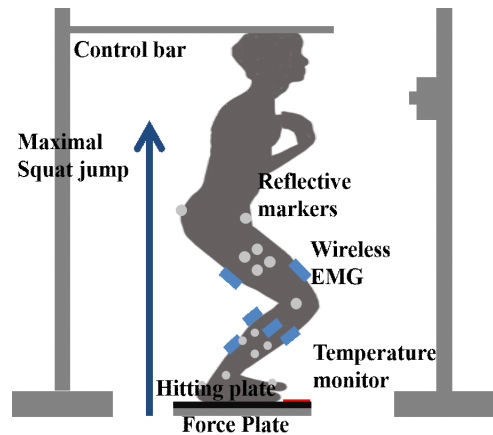


그림 2. 스쿼트 최대 점프 및 하지 관절의 운동역학적 변인과 근전도 분석을 위한 실험 세팅

자료 분석 및 통계 검증

Visual 3D(C-motion Inc, USA)를 이용하여 하지 분절이 이루는 3차원 각도 및 관절 모멘트를 계산하였고 모든 동작 분석 자료에 대한 분석, 지면반력 및 근전도 신호의 분석은 Matlab 2009a(Mathworks inc, USA)를 사용하여 처리하였다. 분석 구간은 스쿼트 자세에서 점프 동작이 시작되는 시점부터 발이 지면에서

떨어지는 시점으로 설정하였다.

최대 스퀴트 점프 시 발생하는 운동학, 운동역학적인 자료는 실험 장비 및 환경으로 인해 발생하는 노이즈를 없애주기 위해 Butterworth 4차 저역통과필터를 사용하였고 차단 주파수는 영상 분석의 경우 11Hz, 지면 반력값의 경우 100Hz로 설정하였다. 최대 운동 능력을 평가하기 위하여 스퀴트 최대 수직 높이에 대한 값을 골반에 부착한 마커 정보를 통해 계산하였고 시상면 및 관상면에서 발생하는 무릎관절과 발목관절 그리고 발허리 발가락 관절에서의 각도 및 각속도를 측정하였다. 운동역학적인 변인은 발목관절과 무릎관절의 시상면과 관상면에서 발생하는 관절 모멘트를 산출하였다. 그리고 각각의 온도 조건에 나타나는 수직 지면반력의 최대 값을 산출하였다.

근전도 신호 역시 실험 환경에서 발생하는 잡음을 없애고 확실한 근전도 신호를 수집하기 위해서 밴드패스 필터(10Hz - 1kHz)를 사용하여 필터링 한 뒤 분석하였다. 시간영역과 주파수 영역에 대한 분석을 같이 하기 위해서 웨이블릿 기술을 이용하여 분석하였다. 6.90Hz - 395.49Hz에 해당하는 주파수를 중심으로 가지는 11개의 웨이블릿 함수를 이용하였으며 각각의 웨이블릿 함수의 중심 주파수는 다음 함수를 통해 정의하였다.

$$f_c(k) = (k + c_1)^{c_2} / c_3$$

c_1 , c_2 , c_3 는 스케일링을 맞춰 주기 위해 1.45, 1.959, 0.3으로 각각 설정하였고 k 는 웨이블릿 함수의 숫자이다. 본 연구에서 사용한 11개의 웨이블릿 함수 중 37.71Hz와 62.09Hz를 중앙 주파수로 가지는 2,3번 웨이블릿 함수의 합을 낮은 주파수 영역으로 정의하였고 170.39Hz와 271.48Hz를 중앙 주파수로 가지는 6-8번 웨이블릿 함수의 합을 높은 주파수 영역으로 정의하였다(Nurse et al., 2005; von Tschärner, 2000).

통계적 분석을 위해 spss 18.0을 사용하였고 최대 스퀴트 점프 시 최대 수직 높이와 하지 주요 관절에서의 운동학, 운동역학적 데이터는 일원량 반복측정 분산분석을 실시하였다. 사후 검정은 LSD를 통해 조건 간의 차이를 검증 하였으며 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다. 근전도 신호의 경우 비모수 검증인 fiedman 검증을 실시하였고 $\alpha=0.10$ 으로 설정하였다. 근전도 신호의 사후검정은 wilcoxon 검증을 통해 조건 간의 차이를 확인하였다.

결 과

감각 수준의 변화

10분간의 차갑고 뜨거운 온도 자극 시 발바닥 감각의 변화되는 수준에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 중족골 영역에서의 감각 평가 결과를 보면 차가운 조건과 뜨거운 조건 그리고 일반적인 조건 사이에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 발 뒤꿈치 영역에서는 일반적인 조건과 차가운 조건 그리고 일반적인 조건과 뜨거운 조건에서 감각 수준에 유의한 차이가 나타났다 <그림 3>. 중족골 영역에서의 온도 변화에 따른 감각 수준의 변화를 살펴보면 차가운 조건에서는 3.54 ± 0.36 의 모노 필라멘트가 사용되었고 뜨거운 조건에서는 3.28 ± 0.34 , 일반적인 조건에서는 2.83 ± 0.27 로 차가운 조건과 뜨거운 조건에서 감각이 저하 됨을 확인할 수 있었다. 또한 발 뒤꿈치 영역에서의 감각 변화를 보면 차가운 조건에서는 4.32 ± 0.25 , 뜨거운 조건에서는 4.14 ± 0.07 그리고 일반적인 조건에서는 3.79 ± 0.30 으로 중족골 영역과 동일하게 차가운 조건과 뜨거운 조건에서 감각이 저하 됨을 확인할 수 있었다 <그림 3>.

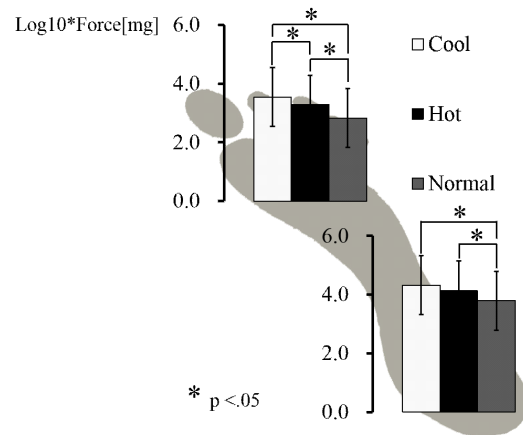


그림 3. 10분간 차가운 조건과 뜨거운 조건의 온도 처치 후 발생하는 발바닥의 중족골과 뒤꿈치 영역에서의 감각 변화

최대 운동 능력의 변화

최대 스퀴트 점프 능력의 변화를 분석한 결과 발바닥 온도 변화에 의해 감각이 저하 되었을 경우 일반적인 감

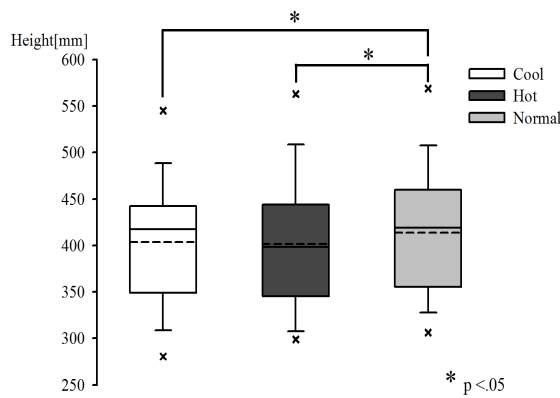


그림 4. 온도에 의한 발의 감각 변화에 따라 나타나는 최대 운동 능력의 변화. 각각의 온도조건에서의 중앙값(실선), 평균값(점선), 사분편차 그리고 최대 최소치를 제외한 데이터 범위를 나타내었다. x표시의 경우 각각의 온도조건에서 나타난 최대, 최소값이다. * p < .05.

각 수준에 비해 점프 능력이 저하 되는 현상을 확인 할 수 있었다.

차가운 조건에서의 최대 점프 높이는 403.44 ± 64.33 mm이고 일반적인 조건에서는 413.64 ± 66.71 mm로 차가운 조건에서 정상적인 조건보다 약 2.5%의 최대 운동능력 저하를 보이는 것으로 나타났으며, 뜨거운 조건에서는 401.39 ± 70.35 mm로 일반적인 조건보다 약 3% 정도 최대 운동능력이 저하를 가져옴을 확인 할 수 있었다 (그림4).

하지의 운동학, 운동역학적 변화

온도가 변화에 따른 감각의 저하 시 하지 주요 관절의 운동학, 운동역학적 변화를 분석한 결과 최대 스쿼트 점

프 동작 시 발생하는 시상면과 관상면에서의 발허리발가락관절과 발목관절 그리고 무릎관절에서 나타나는 각도 및 각속도 그리고 관절 모멘트의 통계적인 차이는 나타나지 않았다 (표 2). 하지만 시상면에서의 발목 관절과 발허리발가락관절에서의 움직임 결과를 살펴보면 통계적으로 유의한 차이는 발생하지 않았지만 정상적인 조건에서 상대적으로 큰 각속도가 발생함을 확인 할 수 있었다. 또한 관상면에서의 발목 관절 모멘트 역시 통계적으로 유의한 차이는 발생하지 않았지만 정상적인 조건에서 더 큰 내번 모멘트가 발생함을 확인 할 수 있었다.

지면 반력의 변화

스쿼트 점프 동작 시 발생하는 지면 반력의 최대 값의 경우 온도 조건에 따라 통계적으로 유의한 차이가 발생하였다. 지면반력의 최대 값을 비교한 결과 정상적인 조건에서 1.23 ± 0.16 BW로 가장 큰 지면반력을 나타냈으며 차가운 조건에서 발생한 1.19 ± 0.13 BW 보다 통계적으로 유의하게 큰 값을 보였다. 뜨거운 조건에서는 1.21 ± 0.15 BW로 정상적인 조건 사이에서는 통계적인 차이를 확인 할 수 없었지만 차가운 조건과 마찬가지로 정상적인 조건에서 더 큰 지면 반력의 최대값이 나타났다 (그림 5).

근전도 신호의 변화

웨이블릿 변환을 통해 근전도 신호의 높은 주파수 영역대의 크기 그리고 낮은 주파수 영역대의 크기를 비교하였다. 최대 운동능력의 평가를 위해 최대 스쿼트 점프 시 발생하는 하지의 6개 근육의 신호를 분석한 결과 전체 주파수 영역에서는 전경골근과 가자미근에서 온도변

표 2. 하지 관절에서 발생하는 시상면과 관상면의 각도, 각속도 및 모멘트의 값 평균(표준편차)

	Joint angle(deg)			Joint angular velocity(deg/s)			Joint moment(Nm/kg)		
	MTP joint dorsi flexion	Ankle joint plantar flexion	Knee joint flexion	MTP joint dorsi flexion	Ankle joint plantar flexion	Ankle joint plantar flexion	Ankle joint inversion	Knee joint flexion	
Cool	13.56 (3.49)	63.03 (6.86)	71.90 (4.35)	70.81 (25.12)	452.38 (100.69)	1.66 (0.27)	0.66 (0.25)	0.58 (0.18)	
Hot	13.03 (3.85)	64.16 (7.77)	70.29 (5.01)	70.84 (28.92)	462.01 (90.39)	1.66 (0.31)	0.69 (0.26)	0.58 (0.19)	
Normal	13.28 (4.38)	63.78 (7.13)	71.64 (5.52)	72.08 (29.46)	471.29 (119.43)	1.67 (0.31)	0.73 (0.25)	0.59 (1.90)	
p value	.659	.397	.171	.890	.486	.853	.064	.965	

화에 따른 차이가 나타나는 경향을 보였다.

전경골근의 경우 차가운 조건과 뜨거운 조건에서 차이가 발생하였고 뜨거운 조건에서 더 큰 근 활성도가 발생하였다. 가자미근의 경우에는 뜨거운 조건과 차가운 조건, 뜨거운 조건과 정상적인 조건에서 차이를 확인 할 수 있었다.

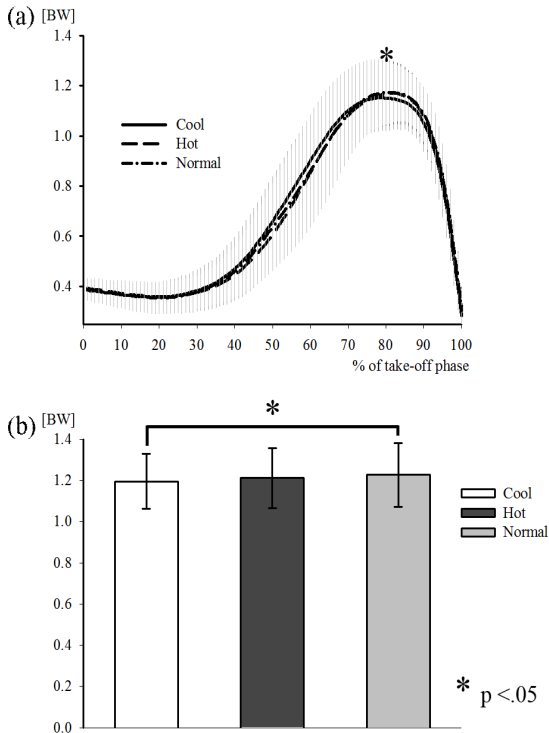


그림 5. (a) 각각의 온도 조건에서 발생하는 시간에 따른 지면반력의 변화. (b) 각각의 온도 조건에서 발생하는 최대 지면 반력값의 평균과 표준편차.

뜨거운 조건에서 가장 적은 근 활성도가 일어났으며 차가운 조건과 정상적인 조건에서는 그 차이를 확인 할 수 없었다. 높은 주파수 영역대에서는 대퇴 이두근의 근육 활성도에서 차이가 발생하였는데 뜨거운 조건과 차가운 조건에서 통계적으로 유의한 차이를 확인 할 수 있었다. 뜨거운 조건에서 더 큰 대퇴 이두근의 높은 주파수 영역대 근 활성도가 나타났다. 마지막으로 낮은 주파수 영역대에서는 장비골근의 근 활성도에서 차이가 발생하였는데 뜨거운 조건과 정상적인 조건에서 그 차이를 확인 할 수 있었다. 정상적인 조건에서 뜨거운 조건보다 더 큰 근 활성도를 보였다 (그림 6).

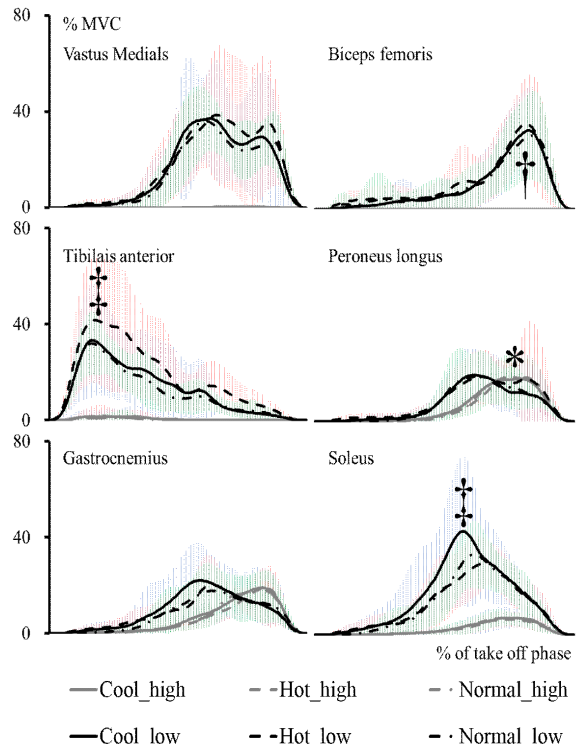


그림 6. 웨이블릿 변환을 통해 알아본 하지 주요 근육의 높은 주파수 영역대 신호와 낮은 주파수 영역대 신호.
* . p<.01(낮은 주파수 영역), † . p<.01(높은 주파수 영역), ‡ . p<.01(전체 주파수 영역)

논 의

본 연구의 목적은 발바닥 온도 변화에 따른 감각 수준의 변화가 최대 스쿼트 점프 동작 시 발생하는 운동 능력과 그 때 발생하는 하지의 운동학, 운동역학적인 변인 및 지면반력 그리고 하지의 주요 근육의 활성도와 동적인 동작과 정적인 동작에서의 고유 수용감각에 미치는 영향을 확인 하고자 하였다. 발바닥 표면에 아이스팩과 적외선 열판을 직접적으로 접촉하게 하여 발바닥 감각을 변화시키고자 하였으며 본 연구를 통해 온도 변화에 따라 기계적 감각 수준이 변화 함을 확인 할 수 있었고 이러한 감각 변화는 스쿼트 점프 시 최대 운동능력의 변화를 보였으며 그 원인으로서는 지면 반력의 크기와 근 활성도의 차이에서 발생하는 것으로 확인 할 수 있었다. 하지만 이와 반대로 하지의 관절의 가동 범위와 각속도 그리고 관절의 모멘트에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

온도에 의한 감각 피드백 변화와 연구방법에 대한 고찰

온도 변화에 따라 감각을 느끼는 수준에서는 본 연구의 가설과 맞게 정상적인 조건 보다 뜨겁거나 차가운 조건에서 상당히 둔해지는 것을 확인 하였다. 본 연구 결과는 기존에 선행 된 연구와는 차이를 보이는데 기존의 선행 연구는 차가운 차가운 조건에서는 감각이 둔화되고 따뜻한 상황에서는 감각이 상승한다고 이야기 하였다(G Schlee et al., 2009; G. Schlee et al., 2010). 본 연구와의 차이점은 기존 온도에 비해 어느 정도 온도가 상승하고 저하되는지에 대한 부분인데 본 연구에서는 10도 이상의 온도 차이를 발생 시켰으며 뜨거운 조건의 경우 20도 가까이 차이가 발생하였고 온도를 느끼는 감각 수용체가 따뜻한 감각을 느끼는 수준에서 고통을 느끼는 감각으로 변하며 감각이 둔화되어 진 것으로 사료 된다(Hensel & Iggo, 1971; F Konietzny, 1983; Frithjof Konietzny & Hensel, 1975). Meier et al.(2001) 의 연구 결과를 보면 온도에 의해 통증을 느끼게 되는 온도는 약 41.7. 정도라고 보고 하였다. 본 실험에서 사용한 온도 수준을 감안하면 본 연구에서 뜨거운 온도 조건에서 기계적 감각이 저하 된 결과가 기존 선행연구와 차이를 보인 이유를 설명 할 수 있다고 생각 된다.

차가운 온도 조건에서도 정상적인 온도에 비해 발의 감각이 상당히 둔화되는 현상을 보였으며 2분간격으로 1분간 온도 처치 시에도 지속적으로 감각이 저하되어 있는 상태를 확인 할 수 있었다. 피부 표면이 차가워지면 압력과 진동을 느끼는 역치 수준에 변화가 발생한다고 기존 연구들에서는 설명되어왔다(Meh & Denislic, 1994; G Schlee et al., 2009; G. Schlee et al., 2010). 차가운 온도 조건에서는 지속적인 온도 처치가 힘들었고 최초 10분 온도 처치 이후 모든 동작을 2분 실시 후 1분 온도처치와 같은 방식으로 유지 하였기에 차가운 상황에서의 지속적인 온도 통제에 대한 문제점을 보완 하였으리라 생각된다. 또한 온도에 의해 감각 수준이 변화하는 원인은 상당히 복합적인데 그 기전은 A-delta 섬유와 C섬유의 자극에 의해 통증감각이 활성화되며 발생하는 결과이고 차갑거나 뜨거운 수준을 인지하는 감각 수용기와 온도감각을 통합하는 영역에서 복잡한 메커니즘이 발생하며 얻어지는 결과라고 할 수 있다(Meier et al., 2001).

하지만 본 연구에서는 어떻게 감각이 온도 변화에 따라 저하되는지에 대한 부분은 규명하지 못하였다. 본 연구에서는 감각의 저하되는 수준을 피부가 느끼는 압력에 대한 역치 변화로 해석하였을 뿐 그 내부에서 일어나는 메커니즘을 파악 할 수는 없었다. 또한 온도 변화로 인해 발생하는 감각 저하 외에 발바닥에 존재하는 근육들과 심리적인 요소들에 대한 부분은 전혀 고려하지 못하였다. 근육의 수축하는 성질은 온도의 영향을 받게 되는데 온도 변화에 따라 근육에서 발현되는 힘과 속도 그리고 파워 역시 차이가 발생한다고 이야기 하고 있다(Lieber, 2009). 하지만 본 연구에서는 발바닥 표면의 감각 변화를 통해 이야기 하였고 발바닥에 존재하는 수많은 근육들에 미치는 영향에 대해서는 스쿼트 점프를 하는 동적인 동작에서 수행하였기에 이러한 부분을 고려하지 못하였다.

정리하면 본 연구에서는 온도에 의해 발생하는 감각 저하의 정확한 메커니즘은 규명하지 못하였지만 10도 이상의 온도 차이가 발바닥에서 발생할 경우 발바닥의 감각이 차갑거나 뜨거운 조건에서 상당 부분 저하 된다는 사실을 밝혀냈다. 실제로 이전 선행연구에서는 이러한 온도 차이에 따른 감각 수준의 변화에 많은 논란의 여지가 있었다. 온도 범위에 따라 감각 수준이 상승할 수도 있고 저하 될 수도 있다는 사실을 본 실험과 선행연구를 통해 확인 할 수 있었다.

근 활성화도

웨이블릿 변환을 통해 알아 본 근 신호에 대한 결과에서는 발바닥 감각의 저하, 즉 감각 피드백이 저하 되면서 중추 신경계로 들어가는 입력 신호가 약해지면 근육으로 전달되는 운동 제어 신호에도 영향을 미칠 수 있다는 사실을 확인 할 수 있었다. 최대 스쿼트 점프 시 사용되는 주동근인 전경골근과 가자미근에서 그 차이를 확인 할 수 있었는데 이러한 결과는 정적인 환경과 동적인 환경에서 온도의 변화로 인해 발바닥 신경을 통한 감각의 변화 정보가 전경골근에 위치하는 신경과 전경골근에 위치하는 신경들에 전달되는 명령 신호가 영향을 줄 수 있다는 사실을 보여줬다.

이러한 결과를 통해 하지 근육이 가지는 특징을 간접적으로 확인 할 수 있었다. 가자미근과 전경골근의 경우 근신호의 전체 크기에서 차이가 발생하였는데 최대 수직

점프를 하는데 있어 가자미근의 기능은 속도 보다는 힘의 크기에 영향을 미치는 근육적 특징을 가지고 있기에 나타난 결과로 파악 된다(Lieber, 2009). 햄스트링의 경우는 최대 스쿼트 점프 시 높은 주파수 영역대의 근 활성화에서 온도에 따른 차이가 발생했는데 햄스트링 근육이 가지는 생리학적 특징은 근육의 발현되는 힘보다는 속도에 관여하기 때문이라고 판단된다(Wickiewicz et al., 1983). 장비골근에서는 낮은 주파수 영역의 근 신호에서 차이가 발생하였고 장비골근의 근 생리학적 특징인 느린 근 수축 속도를 반영한 결과라고 판단된다.

웨이블렛 변환을 통해 얻은 근전도 신호의 측정 결과는 근육의 부분별 특징을 반영한 결과로 해석할 수 있고 이러한 측정 방법은 근육의 구조적 특징과 보다 정확한 해석을 하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다. 또한 본 연구에서 나타난 결과에서 알 수 있듯이 온도에 의한 감각 수준의 변화가 근육의 부분적 활성화 되는 패턴에 영향을 줄 수 있다는 사실을 확인 하였다.

운동학, 운동역학적인 변인의 해석

본 연구의 가설단계에서는 발바닥 감각의 변화를 통해 운동학 및 운동역학적인 변인들에 차이를 가져 올 수 있다고 판단했었다. 하지만 연구 결과 스쿼트 점프 시 가장 중요한 시상면에서의 움직임에서는 통계적으로 유의한 차이를 전혀 확인 할 수 없었으며 이는 감각 피드백의 변화가 근 수축에는 영향을 주었지만 그 차이가 매우 미세하고 관절의 각도 및 각속도에 영향을 주지 않는다는 사실을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 피부감각의 변화에 따른 운동 감각의 변화는 단순 기계적인 측면으로는 설명하는데 제한적이라는 내용을 다시 확인 할 수 있었다(Nigg, 2010).

운동역학적인 변인들의 경우 지면반력에서는 최대 운동능력 발현 시 그 크기에 영향을 줄 수 있음을 확인 할 수 있었는데 발바닥 감각이 정상적 일 때 더 큰 지면반력을 사용하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 보행 시 감각이 저하 됨에 따라 발바닥에 발생하는 압력에는 차이가 없다고 한 연구와는 상반된 결과를 보였으며 이러한 차이는 운동 강도에서 온다고 생각된다(Hohne et al., 2009). 피부감각과 최대로 발현할 수 있는 힘의 크기에 대한 연구를 보면손가락의 감각을 마비 시켰을 때 최대로 구현 할 수 있는 힘의 경우 저하 되는 현상이

나타난다고 이야기 하고 있다(Shim et al., 2012).

이러한 결과로 볼 때 최대 스쿼트 점프에서 발생한 지면 반력의 크기는 감각의 변화가 최대로 발현 할 수 있는 힘의 크기에 영향을 줄 수 있다는 결과로 설명 할 수 있다. 하지만 평균력에 있어서는 그 차이를 확인 할 수 없었는데 그 이유는 평균력을 측정하는 구간에 있어 점프 전략의 개인차로 인해 정확한 구간을 설정하지 못했기 때문이라고 생각된다.

온도에 의한 발의 감각 변화가 인간이 운동동작을 수행하는데 어떠한 영향을 줄 수 있는가에 대한 생각으로 진행된 본 연구는 작은 차이지만 인간의 근 신경학적인 측면에 변화를 가져오는 것으로 나타났고 고유수용감각 역시 부분적으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 온도 처치 방식과 피부의 감각 수용기만의 기능을 제한하는 실험 설계가 필요하다고 생각되고 본 실험에서 통제하지 못한 온도에 의한 근육의 속성 변화, 근 피로도의 문제를 해결 할 수 있는 방안을 모색하여 추후 보다 나은 연구를 수행 할 필요가 있다고 판단된다.

결론

본 연구에서는 한 여름 인조잔디에서 경험하게 되는 매우 뜨거운 지면과 추운 겨울 발바닥이 차가워지는 경우에서 발바닥 감각의 수준이 어떻게 변화하고 이러한 변화가 최대 운동능력과 고유수용감각과 같은 인간의 운동 능력에 어떠한 영향을 줄 수 있는지 확인하고자 하였다.

10. C 이상 또는 이하의 온도 차이에서 발바닥의 압력을 느끼는 감각 수준에 저하가 나타남을 확인 할 수 있었고 이러한 온도 변화에 따라 발생하는 발바닥 감각의 변화는 스쿼트 점프 동작에서의 최대 운동능력에 변화를 가져왔으며 정상적인 조건에서 최대 운동능력을 보임을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 감각 피드백의 유지는 최대 운동능력을 발현하는데 있어 중요하다고 볼 수 있으며 정적인 변화에서 보여진 고유 수용감각 능력의 변화 역시 감각 수준의 유지가 매우 중요하다고 이야기 할 수 있다. 본 연구의 결과를 통해 그 정확한 원인은 파악 할 수 없었지만 감각 정보의 피드백 변화에 따라 중추신경의 운동 제어 능력에 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

본 연구의 결과를 통해 발바닥 감각 수준의 중요성과 유지의 필요성에 대해 확인 할 수 있었으며 추후에 이러

한 발바닥 감각의 유지 또는 향상을 다양한 환경을 통해 만들었을 때 과연 최대 운동능력과 고유수용감각과 같은 운동능력의 향상을 가져 올 수 있는가에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- Collins, J., Priplata, A., Gravelle, D., Niemi, J., Harry, J., & Lipsitz, L. (2003). Noise-enhanced human sensorimotor function. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE, 22*(2), 76-83.
- Collins, J. J., Imhoff, T. T., & Grigg, P. (1996). Noise-enhanced tactile sensation. *Nature, 383*(6603), 770.
- Dyck, P., Karnes, J., Gillen, D., O'Brien, P., Zimmerman, I., & Johnson, D. (1990). Comparison of algorithms of testing for use in automated evaluation of sensation. *Neurology, 40*(10), 1607-1613.
- Gruener, G., & Dyck, P. J. (1994). Quantitative sensory testing: methodology, applications, and future directions. *Journal of Clinical Neurophysiology, 11*(6), 568-583.
- Hagander, L. G., Midani, H. A., Kuskowski, M. A., & Parry, G. J. G. (2000). Quantitative sensory testing: effect of site and skin temperature on thermal thresholds. *Clinical neurophysiology, 111*(1), 17-22.
- Halonen, P. (1986). Quantitative vibration perception thresholds in healthy subjects of working age. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 54*(6), 647-655.
- Hennig, E. M., & Sterzing, T. (2009). Sensitivity mapping of the human foot: thresholds at 30 skin locations. *Foot & ankle international Society, 30*(10), 986.
- Hensel, H., & Iggo, A. (1971). Analysis of cutaneous warm and cold fibres in primates. *European Journal of Physiology, 329*(1), 1-8.
- Hohne, A., Stark, C., & Bruggemann, G. (2009). Plantar pressure distribution in gait is not affected by targeted reduced plantar cutaneous sensation. *Clinical Biomechanics, 24*(3), 308-313.
- Khaodhiar, L., Niemi, J. B., Earnest, R., Lima, C., Harry, J. D., & Veves, A. (2003). Enhancing sensation in diabetic neuropathic foot with mechanical noise. *Diabetes Care, 26*(12), 3280.
- Konietzny, F. (1984). Peripheral neural correlates of temperature sensations in man. *Human neurobiology, 3*(1), 21.
- Konietzny, F., & Hensel, H. (1975). Warm fiber activity in human skin nerves. *European Journal of Physiology, 359*(3), 265-267.
- Lieber, R. L. (2002). *Skeletal muscle structure, function & plasticity: The physiological basis of rehabilitation*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Liu, W., Lipsitz, L. A., Montero-Odasso, M., Bean, J., Kerrigan, D. C., & Collins, J. J. (2002). Noise-enhanced vibrotactile sensitivity in older adults, patients with stroke, and patients with diabetic neuropathy. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 83*(2), 171-176.
- Meh, D., & Denislic, M. (1994). Quantitative assessment of thermal and pain sensitivity. *Journal of the neurological sciences, 127*(2), 164-169.
- Meier, P. M., Berde, C. B., DiCanzio, J., Zurakowski, D., & Sethna, N. F. (2001). Quantitative assessment of cutaneous thermal and vibration sensation and thermal pain detection thresholds in healthy children and adolescents. *Muscle & nerve, 24*(10), 1339-1345.
- Nigg, B. M. (2010). *Biomechanics of Sport Shoes*: University of Calgary.
- Nurse, M., Hulliger, M., Wakeling, J., Nigg, B., & Stefanyshyn, D. (2005). Changing the texture of footwear can alter gait patterns. *Journal of electromyography and kinesiology, 15*(5), 496-506.
- Nurse, M., & Nigg, B. (1999). Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. *Clinical Biomechanics, 14*(9), 667-672.
- Nurse, M., & Nigg, B. (2001). The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical Biomechanics, 16*(9), 719.
- Perry, S. D., McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (2000). The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation* 1. *Brain research, 877*(2), 401-406.
- Perry, S. D., Santos, L. C., & Patla, A. E. (2001). Contribution of vision and cutaneous sensation to the control of centre of mass (COM) during gait termination. *Brain research, 913*(1), 27-34.
- Priplata, A. A., Patritti, B. L., Niemi, J. B., Hughes, R., Gravelle, D. C., Lipsitz, L. A., . . . Collins, J. J. (2006). Noise-enhanced balance control in patients with diabetes and patients with stroke. *Annals of Neurology, 59*(1), 4-12.

- Schlee, G. (2010). *Quantitative assessment of foot sensitivity: The effects of foot sole skin temperature, blood flow at the foot area and footwear*. Doctoral Thesis: Chemnitz University of Technology.
- Schlee, G., Sterzing, T., & Milani, T. (2009). Foot sole skin temperature affects plantar foot sensitivity. *Clinical neurophysiology*, 120(8), 1548-1551.
- Shim, J. K., Karol, S., Kim, Y. S., Seo, N. J., Kim, Y. H., & Yoon, B. C. (2012). Tactile feedback plays a critical role in maximum finger force production. *Journal of Biomechanics*, 45, 415-420.
- Shy, M., Frohman, E., So, Y., Arezzo, J., Cornblath, D., Giuliani, M., . . . Weimer, L. (2003). Quantitative sensory testing. *Neurology*, 60(6), 898.
- Thyagarajan, D., & Dyck, P. J. (1994). Influence of local tissue temperature on vibration detection threshold. *Journal of the neurological sciences*, 126(2), 149-152.
- Ushio, M., Murofushi, T., Chihara, Y., Iwasaki, S., Yamaguchi, T., & Kaga, K. (2008). Testing of vibratory thresholds as a clinical examination for patients with unsteadiness due to somatosensory disorders. *Gait & posture*, 28(4), 552-558.
- Von Tschamer, V. (2000). Intensity analysis in time-frequency space of surface myoelectric signals by wavelets of specified resolution. *Journal of electromyography and kinesiology*, 10(6), 433-445.
- Wickiewicz, T. L., Roy, R. R., Powell, P. L., & Edgerton, V. R. (1983). Muscle architecture of the human lower limb. *Clinical orthopaedics and related research*, 179, 275.

Effect of Changes in Cutaneous Sensory by Temperature Stimulus during Squat Jump on Maximal Performance and Muscle Activation

Jaejin Ryue¹, Ki-Kwang Lee¹, & Sejin Kong¹

¹*Department of physical education, Kookmin University*

The human foot is only part that directly contact between the body and the external environment, and is ideally positioned to provide sensory information to the Central Nervous System (CNS) during static and dynamic tasks. Through cutaneous mechanoreceptors located in the dermis, the foot is able to recognize touch pressure and vibration stimuli, which provide important feedback information used for the fine coordination of movements.

The purpose of this study is to quantitatively examine the effect of changing the foot cutaneous sensory by temperature stimulus on maximal performance and muscle activation using wavelet technique.

Sixteen healthy subjects volunteered to participate in this study (Male: Age 21.4 ± 2.4 years; Height 174.7 ± 5.3 cm; Weight 70.6 ± 5.2 kg; Female: Age 20.5 ± 0.6 years; Height 163.2 ± 3.1 cm; Weight 55.6 ± 4.8 kg). Sensory pressure thresholds were determined for the plantar surface of the foot using monofilament. Kinematic, kinetic and EMG data which relative to maximal performance were collected while squat jumping in each temperature condition (cool $12-15^\circ\text{C}$ normal $28-30^\circ\text{C}$ hot $45-48^\circ\text{C}$).

Maximal jump height was significant higher in normal condition. Vertical GRF in normal condition showed higher peak value the other conditions. And then EMG signal were significant different between temperature conditions during maximal performance.

By changed sensory feedback on temperature, one can alter maximal performance and muscle activation pattern. Cutaneous feedback is important in performance and neuromuscular control, and temperature changes significantly influence on lower extremity during maximal squat jump performance of healthy subjects.

Key Words: Squat Jump, Maximal Jump Height, EMG, Foot Sensory, Wavelet Analysis 