

The Effect of Diminished Plantar Cutaneous Sensation in Y-balance Test between Chronic Ankle Instability (CAI) Patients versus Healthy Individuals

발바닥 체성 감각 저하에 따른 만성 발목 불안정성 환자군과 정상인 군의 Y-balance Test 능력에 미치는 효과

Chang Young Kim¹, Tae Kyu Kang¹, Byong Hun Kim¹, Sae Yong Lee^{1,2}

¹Graduate School of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea

²Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea

Received : 22 November 2018

Revised : 03 January 2019

Accepted : 03 January 2019

Corresponding Author

Sae Yong Lee

Department of Physical Education, Yonsei University, Sports Complex building #310, Seoul, 03722, South Korea
Tel : +82-2-2123-6189
Fax : +82-2-2123-4729
Email : sylee1@yonsei.ac.kr

Objective: This study aimed to investigate the effect of diminished plantar sensation in Y-balance test between chronic ankle instability (CAI) patients versus Healthy individuals.

Method: A total of 90 subjects and CAI group (N=45) (age: 24.49±2.52 yrs, height: 173.53±8.20 cm, weight: 69.62±12.92 kg) and healthy group (N=45) (age: 24.85±2.70 yrs, height: 170.27±7.70 cm, weight: 66.04±11.60 kg) participated in this study. Participants were tested on the anterior (ANT), posterolateral (PL), and posteromedial (PM) reach directions of the Y-Balance Test before and after a 10-minute of plantar cutaneous sensation application using ice (2°C). Normalized reach distances were measured 3 times each direction.

Results: We observed a decrease in reach-distance scores for the reach directions after diminished plantar cutaneous sensation in all reach directions ($p<.01$). Also, we observed a decrease in reach-distance scores for the PL, and PM reach directions between groups ($p<.05$).

Conclusion: Our results indicated that dynamic postural control was adversely affected immediately after diminished plantar cutaneous sensation between CAI group and healthy group. Future research may suggest that determine the studies involving more realistic dynamic movement, such as walking or running, landing.

Keywords: Y-balance test, Chronic ankle instability, Plantar cutaneous sensation

INTRODUCTION

현대인에게 있어 스포츠는 더는 보기만을 위해 존재하는 것이 아니라 직접 몸으로 느끼고 즐기는 스포츠로 변화하고 있다. 이러한 스포츠의 대중화는 자연스레 생활 스포츠 인구의 증가로 이어졌고 이에 따른 스포츠 관련(sports-related) 부상의 증가 또한 피할 수 없는 부분이자 사회적 문제로 대두되고 있다(Marshall & Guskiewicz, 2003). 스포츠 관련 부상 중 외측발목 염좌(Lateral ankle sprain: LAS)는 전체 부상 발생 중 가

장 빈번히 발생하는 부위이다(Garrick, 1977). 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability)의 원인이 되는 발목 염좌(ankle sprain)는 근골격계(musculoskeletal) 관련 부상 중 가장 빈번히 발생한다고 알려져 있으며(Hertel, 2000; Fong, Hong, Chan, Yung, & Chan, 2007), 최초 부상 후 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability) 환자로 발전하는 경우는 약 31~40%가 된다고 하였다(Freeman, 1965). 발목 염좌의 발생은 발목 관절의 인대 조직 및 발목 관절 주위에 있는 관절 기계적 수용체(articular mechanoreceptor)와 같은 신경 조직의 손상을 유발한다고 알

려져 있다(Hertel, 2008). 이러한 신경 조직의 손상은 체성 감각의 기능 저하와 관련이 있다고 알려져 있으며(Kirby, Houston, Gabriner, & Hoch, 2016), 체성 감각 시스템은 말초 신경계(PNS)와 중추 신경계(CNS)의 요소로 구성되어 진동, 온도, 통증 및 운동 감각의 정보를 제공하는 부위이다. 만성 발목 불안정성은 급성(acute)의 발목 염좌 부상 이후 관리 소홀, 방치 및 재활운동의 부족 등의 이유로 반복적인 발목 염좌를 경험하게 되는 상태를 의미하며, 만성적인 발목의 불안정성과 비뚤거림 또는 휘청거림(giving-way)을 지속적으로 느끼며 통증과 부종이 발생하는 질환이라고 정의된다(Hubbard & Hertel, 2006). 발목 부상 후 또는 만성 발목 불안정성 환자들에게 발생하는 가장 큰 문제점은 관절 운동학적(arthro kinematic) 변화(Wikstrom & Hubbard, 2010), 병리학적인(pathological) 외측인대 느슨함(Wikstrom & Hubbard, 2010), 자세제어(postural control) 능력의 손실 등이라고 보고되고 있다(McKeon & Hertel, 2008). 관절 기계적 수용체(articular mechanoreceptor), 피부 기계 수용체(cutaneous mechanoreceptor)는 신체 감각정보의 중요한 원천으로 알려져 있으며, 특히 발바닥의 수용체는 인간의 보행과 서 있는 동작 등 사람과 주변 환경 간의 정보를 제공하는데 중요한 역할을 한다고 하였다(Nigg, Nurse, & Stefanyshyn, 1999). 여러 선행연구들에서 만성 발목 불안정성 환자들의 자세제어 능력 저하를 보고해 왔으며(McKeon & Hertel, 2008; Hertel, 2002), 자세제어 능력의 저하는 발목 염좌의 발생과 관련이 있다고 하였다(McGuine, Greene, Best, & Levenson, 2000). 이는 발목 염좌로 인해 체성 감각 능력의 저하로 인해 여러 능력들의 저하가 발생할 수 있다는 가능성이 있다는 것을 의미 한다. 자세제어 능력의 평가는 감각운동기능(sensorimotor function)을 평가하기 위한 가장 일반적인 방법으로(Song, Kang, Wikstrom, Jun, & Lee, 2017), 부상 위험의 평가, 부상으로 인한 결손(deficits) 그리고 필드로의 복귀 전 기능 평가의 방법으로 사용되고 있다(Gribble, Hertel, & Plisky, 2012). 지면 반력기(force platform)와 같은 힘 측정기에 피험자를 한발(single-leg stance)로 서 있게 한 후 발생하는 지면 반력과 모멘트를 정량화 하는 방법으로 측정 및 평가되어 왔으며(Hertel, Gay, & Denegar, 2002), 자세제어 능력은 서 있는 동안의 압력중심(center of pressure, COP) 이동을 확인하는 방법으로 사용되어 왔다(Guskiewicz & Perrin, 1996). 한발 서기와 같은 정적인(static) 자세제어 동작도 중요한 요인이지만 움직이는 동안의 동적 자세제어(dynamic) 또한 매우 중요한 요인이라고 할 수 있으며, 동적인 자세제어를 측정하기 위한 여러 가지 방법 중 가장 많이 사용되는 방법이 Star Excursion Balance Test (SEBT)와 SEBT를 변형하여 사용의 효율성을 높인 Y-Balance Test™ (YBT) (Functional Movement.com, Danville, VA) 테스트이다(Gribble, Hertel, & Plisky, 2012; Linens, Ross, Arnold, Gayle, & Pidcoe, 2014). SEBT와 Y-Balance Test와 같은 동적인 자세제어 능력 테

스트들은 근력, 유연성, 근 신경 조절 그리고 통합적인 시각(visual), 전정(vestibular), 체성 감각(somatosensory)의 능력 등을 요구한다고 하였다(Plisky, Rauh, Kaminski, & Underwood, 2006). Y-Balance Test (YBT)는 만성 발목 불안정성 환자들을 식별하는데 도움이 된다고 하였으며(Plisky et al., 2006), 전방(anterior, AN), 후 내측(postero-medial, PM) 및 후 외측(postero-lateral, PL) 3개의 방향에 있는 바를 한발로 서서 다른 한발로 최대한 멀리 밀어 그 거리를 측정하는 테스트이다. 하지(lower extremity)를 구성하는 관절부위 중 발은 신체 중앙에서 가장 멀리 위치한 부위이자 몸이 균형을 유지하도록 해주는 부위이며, 발은 신체가 서 있는 동안 지표면에 적응하고 충격을 흡수하는 것을 도와주며, 몸을 앞으로 추진하기 위한 견고한 지렛대로 작용하도록 움직인다(Tiberio, 1988). 감각 수용체(cutaneous receptor)는 인체의 근육과 함께 중추신경계(central nervous system: CNS)에 감각정보를 제공하는 주요 기관으로 인체의 자세조절 및 이동 그리고 발바닥 감각정보, 압력분포(plantar pressure), 관절의 부하 등의 정보를 제공한다(Nurse & Nigg, 2001). 발바닥 감각정보와 자세조절의 관계와 관련한 연구결과, 시각정보 제거 및 발바닥 피부 감각(plantar cutaneous sensation)의 저하 시 발바닥 감각 수용기의 감소된 정보는 자세조절에 부정적인 영향을 주며, 감소된 정보를 보상받기 위해 근건 수용기(musculo tendinous receptors)와 같은 기관의 정보에 더욱 의존하게 된다고 하였다(McKeon & Hertel, 2007). 고유 수용 감각 피드백(proprioceptive feedback)은 인대 및 관절낭과 같은 관절 수용기 뿐만 아니라 피부 및 근육에 위치하고 있는 기계 수용체들(mechanoreceptors)로부터 주어지는 광범위한 감각정보로 정의되며(Lentell et al., 1995), 발바닥 피부 기계 수용체는 지지 표면과의 직접적인 상호작용으로 인해 자세제어 유지와 관련하여 매우 중요하다고 하였다(Meyer, Oddsson, & De Luca, 2004). 많은 연구자들이 발목 상해 후 구심성 피드백 시스템에(afferent feedback system) 문제가 발생할 수 있음을 지적하였지만 이러한 문제가 기능적 활동에 실제로 어떻게 영향을 미치는지에 대해서는 잘 알려져 있지 않다(Lim, Oh, & Shim, 2008). CAI 환자들의 경우 발과 발목 주위의 기계 수용체들이 손상되어 발바닥 피부 수용체의 역할이 증가되어 자세제어에 부정적인 영향을 준다고 하였다(Powell, Powden, Houston, & Hoch, 2014; Freeman, 1965). 여러 선행연구들의 내용에 비추어 보아 반복적인 발목 염좌에 따른 만성 발목 불안정성 환자들과 자세제어 그리고 발바닥 감각의 관계는 매우 밀접한 관계가 있음은 물론이거니와 부상의 발생 및 원인의 연결고리에서 중요한 부분을 차지하고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 만성 발목 불안정성(CAI) 그룹과 건강한 그룹간 저체온 탈감각화 방법을 통한 발바닥 감각 저하유/무가 동적 자세제어(Y-balance test) 능력에 미치는 영향을 알고자 하는데 목적이 있다.

METHODS

1. 실험 참여자

본 연구의 참여자는 국제발목협회(International Ankle Consortium)에서 제안하는 CAI 환자의 표준 포함 기준에 만족하는 발목 불안정성을 가진 만18세~35세의 사람들로 구성하였고, 하지에 지난 3개월간 부상 경험이 있거나 수술 및 골절 경험이 있을 경우 대상자에서 제외시켰다. 대조군은 신체 건강한 사람들을 무작위로 표집하였다. CAI 그룹 45명, Healthy 그룹 45명 총 90명으로 선정하여 실험을 진행하였으며(Table 1), CAI 그룹을 선별 기준으로 과거에 최소 1번 이상의 발목 염좌 부상을 당한 경험이 있고 최근 3개월 안에 발목이 흔들리는 증상을 최소 2번 이상 경험하였을 뿐만 아니라, Foot and Ankle Ability Measure Activities of Daily Living (FAAM-ADL) Subscale 설문지에서 90% 이하, 또는 FAAM -Sports Subscale 설문지에서 85% 이하의 점수를 기록하며(Martin, Irrgang, Burdett, Conti, & Van Swearingen, 2005), 수정된 Ankle Instability Instrument (AII)의 설문에 최소 3개 이상 해당되는 인원을 피험자로 모집하였다(Docherty, Gansneder, Arnold, & Hurwitz, 2006). 건강한 피험자 군의 경우 하지 수술이력을 갖고 있거나 최근 6개월 안에 하지 부상을 당한 적이 없는 사람을 선정하였다(Table 3). 모든 피험자들은 실험에 참여하기 전 실험과정에 대한 설명을 하고 참여의사와 동의를 받았다.

Table 1. Characteristics of participants M ± SD

Item	Group	
	CAI	Healthy
Age (year)	24.49±2.52	24.85±2.70
Mass (kg)	69.62±12.92	66.04±11.60
Height (cm)	173.53±8.20	170.27±7.70

CAI: Chronic ankle instability, Healthy: No ankle injured

2. 연구 측정

본 연구에 사용될 연구 분석 방법 및 장비는 (Table 2)와 같다.

3. 데이터 분석

본 연구의 목적을 달성하기 위해 발바닥 피부 감각 감퇴 및 Y-balance test를 사용하였으며, 구체적인 사항은 다음과 같다.

Table 2. Research equipment

Item	Equipment	Unit
Y-balance test	M Tape® Athletic Tape, White, Muller (One Quench Dr., Prairie du Sac, WI 53578)	1
Sensation tester	Semmes-Westin monofilaments (North Coast Medical, San Jose, California, US)	1
etc	Ruler, Caliper, Bath, Ice	1

Table 3. Inclusion criteria (CAI)

Criteria	
A history of at least 1 significant ankle sprain	
- The initial sprain must have occurred at least 12 months prior to study enrollment	
- Was associated with inflammatory symptoms (pain, swelling, etc)	
- Created at least 1 interrupted day of desired physical activity	
- The most recent injury must have occurred more than 3 months prior to study enrollment.	
Ankle Instability Instrument	≥3
Foot and Ankle Ability Measure -Sports subscale	≤85
Foot and Ankle Ability Measure -Activities of Daily Living subscale	≤87

1) 저체온 탈감각화

저체온 탈감각화 방법은 피부의 기계적 수용기에(mechanoreceptor) 직접적인 영향을 통해 발바닥 감각 감소 및 감각 이상에 영향을 주는 방법으로 많은 연구에서 사용되어 왔다 (Eils et al., 2002; Nurse & Nigg, 2001; Perry, Santos, & Patla, 2001). 발바닥 피부 감각 저하를 유발하기 위해 피험자의 발을 차가운 물(2°C)에 10분간 담그는 방법을 통해 진행하였으며, 탈감각화 과정은 CAI를 가진 발 및 건강한 피험자의 경우 주발(dominant foot)에 적용시켰다(Eils et al., 2002; Eils et al., 2004). 발을 차가운 물에 담그기 전후, 감각이 어느 정도 없어졌는지 확인하기 위해 중족골 첫 번째 부위의 발바닥 표면을 Semmes-Westin mono filaments (North Coast Medical, San Jose, California, US)를 이용해 측정하였다. Semmes-Weinstein Mono Films (SWMs)는 피부 감각을 측정하는 평가 도구로 비 침습적(non-invasive) 방법으로 일정한 역치 값이 적용된 얇은 나일론 섬유를 이용하여 환자의 감지 임계값(detection threshold)을 결정하기 위해 전략적인 순서로 피부 표면에 적용하여 발바닥

감각의 정도를 확인하는 방법이다(Berquin, Lijesevic, Blond, & Plaghki, 2010). 선행연구의 감각평가 단계를 이용해 평균값을 계산하였으며, 이를 통해 감각 수준을 평가하였다(Dyck, O'Brien, Kosanke, Gillen, & Karnes, 1993; Nurse & Nigg, 1999). 하지만 이런 과정을 통해 얻은 탈 감각 효과는 5~10분 안에 점차적으로 감소한다는 선행연구의 결과에 따라(Eils et al., 2002), 피험자가 3분 안에 실험을 수행하지 못하면 1분간 다시 차가운 물에 발을 담그도록 한 후 다시 실험을 진행하였다.

2) 자세제어측정

Y-balance test는 유연성, 근력, 균형능력 등을 요구하는 동적 자세제어 능력을 테스트하는 방법으로 전방(anterior, AN), 후 내측(postero-medial, PM) 및 후 외측(postero-lateral, PL) 3개의 방향에 위치한 선의 중앙에 한발로 서서 다른 한발로 최대한 멀리 지면을 터치하여 그 평균 도달거리(reaching distance)를 측정하는 테스트이다. 피험자들은 공식 측정을 실시하기 전에 세 가지 방향에서 양 다리로 각각 6회의 연습을 진행하도록 하였으며, 연습 종료 후 전방 방향, 후 내측 방향, 후 외측 방향 순으로 각각 3번의 테스트를 진행하였다(Figure 1).

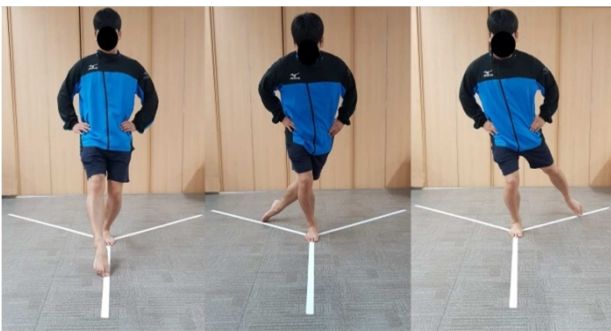


Figure 1. Y-balance-test

4. 통계 분석

본 연구의 통계처리는 SPSS 21.0 (IBM, USA)을 이용하였고, 발목 불안정성 여부에 따른 두 집단(CAI, healthy)과 발바닥 감각 저하 전/후의 Y-balance test 평균 도달거리 결과를 분석하기 위해 two-way repeated measure ANOVA를 사용하였다. 유의차이에 따른 상호작용은 단순사후검증을 실시하였으며, 발목 불안정성 여부에 따라 independent t-test와 발바닥 감각 저하 전/후 paired t-test를 실시하였다. 모든 통계치의 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

본 연구는 저체온 탈감각화를 통해 감소된 발바닥 감각의 유/무에 따른 만성 발목 불안정성(CAI) 환자군과 건강한 집단 간의 동적 자세제어 능력에(Y-balance test) 미치는 영향을 알고자 하는데 그 목적이 있으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 저체온 탈감각화 결과

저체온 탈감각화 방법을 사용하여 주어진 절차에 기본하여 감각 수준을 측정한 결과 감각 저하 전과 후에 유의한 차이가 있었다(Nurse & Nigg, 1999) (Table 4).

Table 4. Plantar cutaneous sensation level

Item	N	Mean	SD
pre-ice	90	.40	.53
ice 10 min	90	1.65*	2.18
ice 10 min + 1 min	90	1.70*	2.00

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

2. 자세제어 평가 결과

발바닥 감각 저하 유/무에 따른 자세제어 평가(Y-balance test) 분석결과는 (Table 5)와 같다. 도달거리에 대한 데이터 코딩은 도달거리/신장으로 정규화(normalize) 작업을 통해 진행하였다(Cote, Brunet, Gansnedter, & Shultz, 2005).

1) 전방 방향의 변화(단위: cm)

CAI 그룹의 감각 저하 전 평균은 0.349 ± 0.02 으로 나타났으며, 감각 저하 후 평균은 0.335 ± 0.02 으로 감소하였다. Healthy 그룹의 감각 저하 전 평균은 0.361 ± 0.03 으로 나타났으며, 감각 저하 후 평균은 0.345 ± 0.02 로 감소하는 것으로 나타났다. 집단과 상호작용에 있어서는 유의한 차이를 보이지 않았지만 시기($F = 93.683, p < .001$)에서 유의한 차이가 나타났다.

2) 후 내측 방향의 변화(단위: cm)

CAI 그룹의 감각 저하 전 평균은 0.358 ± 0.05 으로 나타났으며, 감각 저하 후 평균은 0.344 ± 0.05 으로 감소하였다. Healthy 그룹의 감각 저하 전 평균은 0.413 ± 0.07 으로 나타났으며, 감각 저하 후 평균은 0.396 ± 0.06 로 나타났다. 상호작용의 경우 유의

Table 5. Y-balance test reach distance between two group

	CAI		Healthy		SS	df	MS	F	Effect sizes (95% CI)	
	Pre	Post	Pre	Post					Group effect	Intervention effect
Anterior AN	Mean				Time	.010	1	.010	93.683***	
	0.349	0.335	0.361	0.345	Time*group	.000	1	.000	1.587	
	SD				Error	.009	88	.000		-0.50 (-0.92 ~ -0.08)
					Group	.003	1	.003	3.885	-0.70 (-1.13 ~ -0.27)
	0.02	0.02	0.03	0.02	Error	.062	88	.001		
Posteromedial PM	Mean				Time	.009	1	.009	11.860**	
	0.358	0.344	0.413	0.396	Time*group	.000	1	.000	.001	
	SD				Error	.066	88	.001		-0.96 (-1.40 ~ -0.52)
					Group	.064	1	.064	17.542***	-0.33 (-0.75 ~ 0.08)
	0.05	0.05	0.07	0.06	Error	.322	88	.004		
Posterolateral PL	Mean				Time	.035	1	.035	84.595***	
	0.391	0.364	0.426	0.397	Time*group	.000	1	.000	.048	
	SD				Error	.037	88	.000		-0.65 (-1.07 ~ -0.22)
					Group	.026	1	.026	11.146**	-0.68 (-1.10 ~ -0.25)
	0.04	0.04	0.05	0.06	Error	.203	88	.002		

Group effect sizes were calculated from post-submersion scores
 Intervention effect sizes were calculated from the pre-submersion and post-submersion of CAI group
 CI: confidence interval. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

한 차이를 보이지 않았지만 시기와($F=11.860, p < .01$) 그룹에서($F=17.542, p < .001$) 유의한 차이가 나타났다. 두 그룹에서 모두 감각 저하 후에 거리가 감소하는 것으로 나타났고 CAI 그룹이 더 짧은 거리를 보이는 것으로 나타났다.

3) 후 외측 방향의 변화(단위: cm)

CAI 그룹의 감각 저하 전 평균 도달거리는 0.391 ± 0.04 으로 나타났으며, 감각 저하 후 평균 도달거리는 0.364 ± 0.04 로 나타났으며, Healthy 그룹의 경우 감각 저하 전 평균은 0.426 ± 0.05 , 감각 저하 후 평균은 0.397 ± 0.06 로 두 그룹에서 모두 감각 저하 후에 거리가 감소하는 것으로 나타났고 CAI 그룹이 더 짧은 거리를 보이는 것으로 나타났다. 상호작용에서는 유의한

차이를 보이지 않았지만 시기와($F=84.595, p < .001$) 그룹에서($F=11.146, p < .01$) 유의한 차이가 나타났다.

DISCUSSION

본 연구는 저체온 탈감각화 방법을 통한 만성 발목 불안정성(CAI) 환자군과 건강한 집단(healthy)간 발바닥 감각 감소 전 / 후에 따른 효과가 동적 자세제어 능력에(Y-balance test) 미치는 영향을 알아보기 위해 진행된 연구이며, 본 연구의 논의는 다음과 같다.

이 연구의 주요 결과는 저체온 탈감각화를 통해 감소된 발바닥 감각의 저하에 따른 두 그룹 간의 상호작용은 나타나지 않았으나 시기(time)와 집단(group)에서 효과가 나타났다. 비

록 상호작용에서 유의한 결과를 얻지 못했지만 이는 발바닥 감각의 저하와 그룹 간의 특성이 동적 자세제어에 있어 유의미한 영향을 준다는 것을 의미한다고 생각된다. 이러한 연구 결과는 유사한 선행연구의 결과와도 동일한 것으로 나타났다(Fullam, Caulfield, Coughlan, McGroarty, & Delahunt, 2015).

1. 발바닥 감각 저하에 따른 SEBT

얼음을 이용한 저체온 감각 저하 방법은 발바닥 표면의 피부 수용기에 영향을 주어 감각 역치(sensory threshold)에 변화를 유발하여 압력 및 진동 감각에 심각한 제한을 유발한다고 하였다(Nurse & Nigg, 2001). 저체온 탈감각화의 적용으로 인한 급성의 감각운동기능(sensorimotor) 변화 및 기능 저하는 동적 자세제어 측정 시 각 방향의 도달거리 감소를 유발한다고 하였다(Fullam, Caulfield, Coughlan, McGroarty, & Delahunt, 2015). 발바닥 감각 저하에 따른 도달거리 및 자세제어 능력의 저하의 원인은 감소된 감각정보로 인한 압력중심점(center of pressure)의 이동의 양과 속도의 증가로 인해 발생한다고 알려져 있다(Nurse & Nigg, 2001). 도달거리(reach distance)의 감소는 자세제어 능력의 저하를 의미한다고 할 수 있으며, 관련 선행연구에서도 자세제어 능력의 저하는 하지 부상과 관련한 첫 번째 위험 요인이라고 보고하였다(McGuine et al., 2000; Hrysmallis, 2007). 이처럼 발바닥 감각의 저하와 관련된 자세제어 능력의 저하는 스포츠 관련 부상의 예방에 있어 매우 중요한 요인이라고 할 수 있으며, 운동선수들의 정적(static) 및 동적(dynamic) 제어능력이 저조할 경우 하지 부상의 발생 가능성이 2.5~6.5배 더 높을 수 있다고 하였다(Fullam, Caulfield, Coughlan, McGroarty, & Delahunt, 2015). 앞서 언급한 여러 선행연구결과로 보아 운동선수에 비해 신체의 수준이나 운동수행능력이 떨어지는 생활 스포츠 참여자의 경우 부상 발생의 위험에 보다 더 쉽게 노출될 수 있다고 볼 수 있으며, 발목 불안정성을 가진 일반인들의 경우 더욱 부상 위험에 노출되기 쉽다고 생각할 수 있다. 본 연구의 Y-balance test 결과를 보면 CAI 그룹이 세 방향의 도달거리(reach distance)가 더 짧았으며, 발바닥 감각 제거 전에 비해 제거 후 세 방향에서 모두 거리가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 보아 발바닥 감각의 저하가 발목 움직임에 영향을 줄 수 있다고 생각할 수 있으며, 이는 발바닥 감각이 자세제어 능력에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 연구의 결과에서 나타난 감각 저하에 따른 동적 자세제어 능력의 저하는 감소한 발바닥 감각정보가 자세제어를 유지하는데 요구되는 감각정보의 정도를 채우지 못하는 상황이 반복되어 발생한다고 생각된다. Nurse & Nigg (2001)의 연구에 따르면 보행 시 감각정보의 저하는 이동에 제한을 줄 수 있으며, 지속적인 이동 시 감소한 감각정보의 누적으로 인해 더 큰 제한을 유발한다고 하였다(Nurse & Nigg,

2001). 이처럼 감각정보의 감소는 단순히 정보의 감소로 여길 것이 아니라 그로 인해 파생되는 문제점이 중요하다고 할 수 있다.

2. 만성 발목 불안정성에 따른 SEBT

CAI (Chronic Ankle Instability)는 반복적인 발목 염좌로 인해 급성의 발목 염좌가 만성 질환으로 발전된 상황을 의미하며, 급성(acute)의 발목 염좌 부상 이후 관리 소홀 등 여러 이유로 반복적인 발목 염좌를 경험하게 되어 만성적인 발목의 불안정성과 비뚤거림 또는 휘청거림을(giving-way) 느낌과 동시에 통증 및 부종이 발생하는 상태이다(Hubbard & Hertel, 2006). 발목 염좌(ankle sprain)는 코트나 필드에서 이루어지는 종목에 관계없이 가장 빈번히 발생하는 하지 관련 스포츠 부상이라고 알려져 있으며(Doherty et al., 2014), 발목 염좌는 감각운동기능의 저하에 따른 동적 자세제어 능력의 저하와 관련이 있다고 하였다(Hiller et al., 2011). 본 연구결과 Healthy 그룹에 비해 CAI 그룹에서 발바닥 감각의 저하 전/후에 상관없이 자세제어 능력의 저하, 즉 도달거리(reach distance)의 감소가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 불안정한 발목 상태로 인한 자세제어 능력의 저하가 그 원인이라 생각되며, CAI 환자군은 부상 발생과 관련하여 더 큰 위험요소를 가지고 있다고 생각된다. Olmsted et al. (2002)의 동적 자세제어 연구에서도 CAI 그룹에서 더 감소된 도달거리가 발생했다고 하였다. 전방(AN) 방향의 도달거리는 지지하는 쪽(standing-limb) 발목 관절의 저측(plantar)/ 배측(dorsi) 굴곡 움직임과 관계가 있다고 하였으며, 기능적 발목 움직임의 손실로 인해 밸런스 기능에 영향을 줄 수 있다고 하였다(Basnett et al., 2013). 또한 정적자세(single-limb stance) 관련 연구를 살펴보면 CAI 그룹에서 감소한 자세제어 능력을 보인다고 하였다(Powell, Powden, Houston, & Hoch, 2014; Freeman, 1965). 본 연구의 결과를 보면 전방 방향은 물론 후 내측(PM), 후 외측(PL) 움직임 동안 도달거리가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 선행연구내용에 비추면 해당 방향으로의 움직임의 제한 또는 자세제어 능력의 저하로 인해 나타난 결과라고 할 수 있다. Healthy 그룹에 비해 CAI 그룹의 후 내측(PM), 후 외측(PL) 방향의 짧은 도달거리의 원인은 반복적인 발목 부상으로 인한 내/외측으로의 발목 움직임 기능의 제한으로 인한 결과라고 생각되며, 발바닥 감각 감소 후 나타나는 자세제어 기능 저하로 인한 효과까지 나타난 결과라고 생각된다. 동적 자세제어뿐만 아니라 정적 자세제어 능력에서도 CAI 그룹의 기능 저하가 나타난다는 것은 CAI 그룹이 자세제어와 관련하여 더 취약한 능력을 보인다고 생각된다. 만성 발목 불안정성 환자들과 관련된 동적 자세제어 능력과 관련된 여러 연구들에서 공통적으로 나온 결론은 거리의 감소는 자세제어 조절 능력의 저하와 깊은 관련이 있

으며, 이는 일상생활이나 스포츠 활동 동안 부상의 발생과 깊은 관련이 있다는 것이었다(Gribble, Hertel, & Plisky, 2012). 게다가 노인들과 연관된 발바닥 감각 연구들에서는 발바닥 감각의 감소가 노화가 진행과 관련이 있다고 하였다(Perry, McIlroy, & Maki, 2000; Luchies, Alexander, Schultz, & Ashton-Miller, 1994; McIlroy & Maki, 1996). 노화는 인간에게 있어 피할 수 없는 부분이며, 노화로 인한 감각능력의 감소는 CAI 환자 군은 물론 건강한 집단 군에게도 매우 중요한 부분이라고 할 수 있다.

CONCLUSION

본 연구는 저체온 탈감각화 방법을 통해 발바닥 감각의 감소 전/후에 따른 효과가 만성 발목 불안정성(CAI) 환자군과 건강한 집단 간의 동적 자세제어 능력에(Y-balance test) 미치는 영향을 알아보기 위해 진행된 연구이다. 자세제어 능력에 영향을 미치는 발바닥 감각 감소 전/후, 및 CAI, Healthy 그룹 간에서 세 방향의 도달거리에서 모두 유의한 차이가 발생되었다($p < .01$). 발바닥 감각 감소 후 그리고 CAI 그룹에서 모두 거리의 감소가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 보아 발바닥 감각은 신체의 동적인 자세제어에 중요한 역할을 담당하는 것은 물론 스포츠 상황에서 발생하는 걷기, 달리기, 착지 동작 등 실제적인 움직임에도 영향을 줄 수 있다고 판단되며, 이러한 변화는 스포츠 관련 부상 발생과도 관련이 있다고 생각된다. 특히 만성 불안정성 환자군의 경우 상대적으로 발목 부상에 더 취약한 상태라고 볼 수 있으므로 발목 테이핑이나 보호대 착용 등 발목 관절의 안정성을 높여 줄 수 있는 방법에 초점을 두고 스포츠 활동을 즐겨야 하며, 그 외에도 운동 시작하기 전 몸 전체의 온도를 올려 줄 수 있는 워밍업에도 신경을 써줘야 한다고 생각된다. 발의 온도가 낮을 가능성이 높은 겨울과 같은 계절의 경우에도 체온을 더욱 높인 후 실제 스포츠를 수행하는 것이 바람직 하다고 생각된다. 마지막으로 만성 발목 불안정성 환자들의 경우 감각제거 유/무에 상관없이 건강한 집단군에 비해 더 높은 부상의 위험에 노출되어 있다고 볼 수 있으므로 발목 관련 주변 근육 강화를 위한 트레이닝이 필요하다고 생각된다. 본 연구에 이은 추후연구에서는 발바닥 감각 전/후에 따른 효과가 걷기, 달리기, 착지 동작(Landing maneuver) 등 실제적인 움직임 동안 미치는 영향을 알아보는 연구가 필요하다고 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENT

I'm so thankful to our colleagues who provided expertise that greatly assisted the research, with all of the interpretations provided in this paper.

REFERENCES

- Lim, S. G., & Oh, D. W. & Shim, J. H. (2008). The Effect of 4-Week Proprioceptive Exercise Program in Patients with Ankle Sprain and Chronic Ankle Instability. *Journal of Korean Physical Therapy Science*, 15(3), 19-29.
- Basnett, C. R., Hanish, M. J., Wheeler, T. J., Miriovsky, D. J., Danielson, E. L., Barr, J. B. & Grindstaff, T. L. (2013). Ankle dorsiflexion range of motion influences dynamic balance in individuals with chronic ankle instability. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(2), 121-128.
- Berquin, A. D., Lijesevic, V., Blond, S. & Plaghki, L. (2010). An adaptive procedure for routine measurement of light-touch sensitivity threshold. *Muscle & Nerve*, 42(3), 328-338.
- Cote, K. P., Brunet, M. E., Gansneder, B. M. & Shultz, S. J. (2005). Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. *Journal of Athletic Training*, 40(1), 41-46.
- Croy, T., Saliba, S. A., Saliba, E., Anderson, M. W. & Hertel, J. (2012). Differences in lateral ankle laxity measured via stress ultrasonography in individuals with chronic ankle instability, ankle sprain copers, and healthy individuals. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(7), 593-600.
- Docherty, C. L., Gansneder, B. M., Arnold, B. L. & Hurwitz, S. R. (2006). Development and reliability of the ankle instability instrument. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 154-158.
- Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J. & Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*, 44(1), 123-140.
- Dyck, P. J., O'Brien, P. C., Kosanke, J. L., Gillen, D. A. & Karnes, J. L. (1993). A 4, 2, and 1 stepping algorithm for quick and accurate estimation of cutaneous sensation threshold. *Neurology*, 43(8), 1508-1512.
- Eils, E., Behrens, S., Mers, O., Thorwesten, L., Volker, K. & Rosenbaum, D. (2004). Reduced plantar sensation causes a cautious walking pattern. *Gait & Posture*, 20(1), 54-60.
- Eils, E., Nolte, S., Tewes, M., Thorwesten, L., Volker, K. & Rosenbaum, D. (2002). Modified pressure distribution patterns in walking following reduction of plantar sensation. *Journal of Biomechanics*, 35(10), 1307-1313.
- Fong, D. T., Hong, Y., Chan, L. K., Yung, P. S. & Chan, K. M. (2007). A systematic review of ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Medicine*, 37(1), 73-94.

- Freeman, M. A. (1965). Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *Journal of Bone and Joint Surgery-British*, 47(4), 669-677.
- Fullam, K., Caulfield, B., Coughlan, G. F., McGroarty, M. & Delahunt, E. (2015). Dynamic Postural-Stability Deficits After Cryotherapy to the Ankle Joint. *Journal of Athletic Training*, 50(9), 893-904.
- Garrick, J. G. (1977). The frequency of injury, mechanism of injury, and epidemiology of ankle sprains. *American Journal of Sports Medicine*, 5(6), 241-242.
- Gribble, P. A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 339-357.
- Guskiewicz, K. M. & Perrin, D. H. (1996). Research and Clinical Applications of Assessing Balance. *Journal of Sport Rehabilitation*, 5(1), 45-63.
- Hertel, J. (2000). Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*, 29(5), 361-371.
- Hertel, J. (2002). Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 364-375.
- Hertel, J. (2008). Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. *Clinics in Sports Medicine*, 27(3), 353-370.
- Hertel, J., Gay, M. R. & Denegar, C. R. (2002). Differences in Postural Control During Single-Leg Stance Among Healthy Individuals With Different Foot Types. *Journal of Athletic Training*, 37(2), 129-132.
- Hiller, C. E., Nightingale, E. J., Lin, C. W., Coughlan, G. F., Caulfield, B. & Delahunt, E. (2011). Characteristics of people with recurrent ankle sprains: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 45(8), 660-672.
- Hrysomallis, C. (2007). Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Medicine*, 37(6), 547-556.
- Hubbard, T. J. & Hertel, J. (2006). Mechanical contributions to chronic lateral ankle instability. *Sports Medicine*, 36(3), 263-277.
- Kirby, J. L., Houston, M. N., Gabriner, M. L. & Hoch, M. C. (2016). Relationships between mechanical joint stability and somatosensory function in individuals with chronic ankle instability. *The Foot (Edinb)*, 28, 1-6.
- Lentell, G., Baas, B., Lopez, D., McGuire, L., Sarrels, M. & Snyder, P. (1995). The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity to functional instability of the ankle. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21, 206-215.
- Linens, S. W., Ross, S. E., Arnold, B. L., Gayle, R. & Pidcoe, P. (2014). Postural-stability tests that identify individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 49(1), 15-23.
- Luchies, C. W., Alexander, N. B., Schultz, A. B. & Ashton-Miller, J. (1994). Stepping responses of young and old adults to postural disturbances: kinematics. *Journal of the American Geriatrics Society*, 42(5), 506-512.
- Marshall, S. W. & Guskiewicz, K. M. (2003). Sports and recreational injury: the hidden cost of a healthy lifestyle. *Injury Prevention*, 9(2), 100-102.
- Martin, R. L., Irrgang, J. J., Burdett, R. G., Conti, S. F. & Van Swearingen, J. M. (2005). Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot & Ankle International*, 26(11), 968-983.
- McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T. & Levenson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(4), 239-244.
- McIlroy, W. E. & Maki, B. E. (1996). Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 51(6), M289-296.
- McKeon, P. O. & Hertel, J. (2007). Plantar hypoesthesia alters time-to-boundary measures of postural control. *Somatosensory and Motor Research*, 24(4), 171-177.
- McKeon, P. O. & Hertel, J. (2008). Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part I: can deficits be detected with instrumented testing. *Journal of Athletic Training*, 43(3), 293-304.
- Meyer, P. F., Oddsson, L. I. & De Luca, C. J. (2004). The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Experimental Brain Research*, 156(4), 505-512.
- Nigg, B. M., Nurse, M. A. & Stefanyshyn, D. J. (1999). Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(7 Suppl), S421-428.
- Nurse, M. A. & Nigg, B. M. (1999). Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 14(9), 667-672.
- Nurse, M. A. & Nigg, B. M. (2001). The effect of changes in foot

- sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(9), 719-727.
- Olmsted, L. C., Carcia, C. R., Hertel, J. & Shultz, S. J. (2002). Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in Detecting Reach Deficits in Subjects With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 501-506.
- 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.
- Perry, S. D., Mclroy, 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. *Brain Research*, 877(2), 401-406.
- Plisky, P. J., Rauh, M. J., Kaminski, T. W. & Underwood, F. B. (2006). Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 911-919.
- Powell, M. R., Powden, C. J., Houston, M. N. & Hoch, M. C. (2014). Plantar cutaneous sensitivity and balance in individuals with and without chronic ankle instability. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(6), 490-496.
- Song, K., Kang, T. K., Wikstrom, E. A., Jun, H. P. & Lee, S. Y. (2017). Effects of reduced plantar cutaneous sensation on static postural control in individuals with and without chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(10), 910-914.
- Tiberio, D. (1988). Pathomechanics of structural foot deformities. *Physical Therapy*, 68(12), 1840-1849.
- Wikstrom, E. A. & Hubbard, T. J. (2010). Talar positional fault in persons with chronic ankle instability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(8), 1267-1271.