KJSB
Korean Journal of Sport Biomechanics 2022; 32(2): 49-55
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2022.32.2.49
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Effect of Surface Environment on Front Squat of Crossfit Athletes

지면환경이 크로스핏 선수의 프론트 스쿼트에 미치는 영향

Yootae Jang[1], Sukhoon Yoon[2]

[1]R&D Lab, Preformance, Seoul, South Korea
[2]Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 31 May 2022
Revised : 15 June 2022
Accepted : 15 June 2022

Corresponding Author
Sukhoon Yoon
Department of Community Sport,
Korea National Sport University,
1239 Yangjae, Songpa-gu, Seoul,
05541, South Korea
Email : sxy134@knsu.ac.kr

Objective: This study aims to verify the front squat motions using by two different surfaces, thereby elucidating the grounds for effective training environment that can minimize the risk of injury.

Method: Total of 10 healthy male crossfit athletes were recruited for this study (age: 32.30 ± 3.05 yrs., height: 173.70 ± 5.12 cm, body mass: 82.40 ± 6.31 kg, 1RM: 160 ± 13.80 kg). All participants are those who know how to do front squats well with more than five years of crossfit athlete experience. All participants have sufficient experience in front squats on two types of surface which are soft surface (SS) and hard surface (HS). In each surface, participant perform 10reps of the front squat with 80% of the pre-measured 1RM. A 3-dimensional motion analysis with 8 infrared cameras and 2 channels of EMG was performed in this study. Paired sample *t*-test was used for statistical verification between two surfaces. The significant level was set at α=.05.

Results: The significantly decreased rectus femoris muscle activation was found in SS compared with that of HS on phase 1 (p<.05). Also, ROM of ankle joint was significantly increased in the SS compare with that of HS on phase 1 (p<.05). The muscle activity ratio of gluteus maximus/rectus femoris showed a significant difference only in SS compared with that of HS on phase 1 (p<.05).

Conclusion: In conclusion, Korean crossfit boxes should consider the use of hard surface, which has a relatively less risk of injury than soft surface, in selecting flooring materials. For the Crossfit athletes, they are also considered appropriate to train on a relatively hard surface.

Keywords: Front squat, Crossfit training, Soft surface, Hard surface

INTRODUCTION

인류는 오랜 역사 속에서 생존을 위해 부단히 많은 움직임이 요구되는 환경 속에서 살아왔다. 그러나 과학의 발달로 인해 생존을 위한 신체활동의 필요성은 점차 줄어들게 된 반면 현대인들의 식생활은 양적, 질적 모두 증가되었으며, 이러한 상황에서 나타나는 비대칭적인 생활양식의 변화는 각종 성인병 유발과 같은 현대인의 건강을 위협하는 새로운 사회 문제로 대두되었다(Lim, 2001). 규칙적인 운동은 건강을 위협받는 현대인에게 가장 효과적인 예방책으로 권고되고 있는데(Kang, 2003), 이중 저항성 운동(resistance training)은 남녀노소 관계없이 현대인들의 근력과 근육량을 증가시키고 근지구력과 균형능력을 향상시키며(Schoenfeld & Grgic, 2018; Ribeiro, Schoenfeld & Nunes, 2017; Kompf, 2016), 비만, 골다공증, 고혈압 같은 성인병도 예방한다고 알려져 있다(Winett & Carpinelli, 2001; Evans & Campbell, 1993; Milanovic, Sporiš & Weston, 2015). 특히, 고강도 인터벌 트레이닝(high-intensity interval training)은 단시간의 운동에도 불구하고 많은 에너지 소비량이 요구되는 과정을 통해 일반적인 저항성 운동보다 체중 감소 및 근육량과 심폐기능 향상에 매우 효과적인 트레이닝 방법으로 알려져 있다(Kim, 2020; Milanovic et al., 2015; Weston, Wisløff & Coombes, 2014).

위와 같은 현대인들의 건강 문제와 이에 대한 건강 증진 전략들을 도모하는 흐름 속에, 2000년 미국 캘리포니아에서는 고강도 인터벌 트레이닝을 목적으로 하는 '크로스핏(crossfit)'이란 새로운 피트니스 유형이 등장하였다. 크로스핏은 모든 운동 종목을 통합하여 신체기능을 향상시킨다는 'cross-displine fitness'라는 의미를 가지고 있으며, 유산소 운동, 체조, 역도, 전통적 중량훈련을 기본 토대로 하여, 상당히 광범위한 운동 종목들을 통합해 순환훈련 방식의 고강도 훈련을 제공하는데 목적을 두고 있다(Glassman, 2007). 크로스핏은 일반적인 근력 운동과 다르게 시간의 개념을 가지고 수행되며 똑같은 무게를 얼마나 빠른 시간에 더 많은 일을 하는 것이 주된 목적이 되어 훈련이 수행되고

Copyright © 2022 Korean Journal of Sport Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있다. 따라서 이때 자연스럽게 나타나는 속도 경쟁은 단기간에 빠른 운동 효과를 낼 수 있는 반면에 시간이 지남에 따라 부상발생 위험률을 높이는 주요 원인이라는 보고되고 있다(Diamond, 2015; Mark, 2014).

Smith, Sommer, Starkoff & Devor (2015)는 건강한 성인 남녀 54명을 대상으로 한 10주간의 크로스핏 고강도 훈련 효과를 검증하는 연구에서 피험자들 중 11명이 프로그램의 위험성(2명 부상)을 이유로 실험을 중도포기 했다는 결과를 보고하였으며, Alekseyev et al. (2020)은 크로스핏 부상에 대해 조사된 그들의 설문 연구에서 다른 스포츠나 피트니스 종목에 비해 높은 수준인 총 885명의 선수 중 33.3%에 달하는 295명의 선수들이 부상을 경험했다고 보고하였다. 특히, Rodríguez et al. (2021)은 총 12,079명의 크로스핏 수행자를 대상으로 수행된 25개의 체계적 문헌고찰 연구를 통하여 크로스핏 훈련 중 하지에서 일어나는 가장 흔한 부상부위는 무릎(18%)이라고 보고하였다.

현재 수행되는 크로스핏의 가장 권위있는 경기인 크로스핏 게임즈(crossfit games)에서 최근 10년간 가장 많이 수행되었던 동작은 프론트 스쿼트, 스쿼트 클린(squat clean), 쓰러스터(thruster) 이다(Morning Chalk Up, 2019). 이 동작들을 수행하기 위해서는 프론트 스쿼트의 사용이 동작의 기본 및 연결 동작으로 필수적이기 때문에 많은 크로스핏 수행자들은 크로스핏의 다양한 훈련들 중 프론트 스쿼트 동작을 집중적으로 훈련하고 있는 실정이다(Morning Chalk Up, 2019). 이러한 프론트 스쿼트 동작은 지면에 발을 딛고 무릎을 굽히는 동작을 포함하고 있는데 이러한 동작은 안정화된 정강뼈 위에서 넙다리뼈의 앞미끄러짐(anterior glide)과 뒤 구르기(posterior roll)가 유기적으로 행하여 져야만 한다. 그러나 동작을 빠르게 수행하려고 하면 적절한 수준으로 앞미끄러짐과 뒤 구르기를 통제하기 힘들며 이때 넙다리뼈를 정강뼈 위에서 안정화시키지 못하여 부상이 유발된다고 보고되고 있다(Levangie, & Norkin, 2011; Bojsen-Møller & Magnusson, 2000).

많은 선행연구들은 동일한 무게 훈련 시 프론트 스쿼트가 백 스쿼트에 비해 더 높은 대퇴사두근(quadriceps femoris)의 근활성도를 나타냈을 뿐만 아니라, 프론트 스쿼트가 백 스쿼트보다 무릎관절 움직임의 감속과 가속을 위해 7.5% 더 큰 힘을 사용하고 있다고 보고하고 있으며(Yavuz, Erdağ, Amca & Aritan, 2015; Braidot, Brusa, Lestussi & Parera, 2007), 스쿼트 시 하지의 감속단계에서 발목의 배측굴곡(dorsiflexion)은 종아리 근육의 신장성 수축(eccentric contraction)을 통해 하지에서 중요한 감속역할을 하며, 이 가동범위의 감소는 무릎에 무게부하를 증가시켜 무릎 부상 및 통증의 원인이 된다고 보고되고 있다(Malliaras, Cook & Kent, 2006). 또한, 엉덩이근육 무리들의 근신경조절 부족으로 인한 무릎의 동적 바깥굽이(dynamic knee valgus)는 전방십자인대(anterior cruciate ligament)의 전단력을 증가시키는 주요 부상 요소라고 알려져 있다(Ekegren, Miller, Celebrini, Eng & Macintyre, 2009).

닫힌사슬(closed-chain) 하지 운동에서 무릎 움직임을 만들어내기 위해 일정수준 이상의 엉덩이근육 무리 활성화는 중요한 요소이며, 이를 통해 대퇴사두근과 대퇴이두근(biceps femoris)의 출력을 향상시키고 무릎관절의 무게부하를 줄여줌으로써 하지 전체의 감속능력을 향상시킨다고 알려져 있다(Kibler & Livingston, 2001).

프론트 스쿼트는 백 스쿼트와 다르게 바벨을 빗장뼈 부근 앞쪽 어깨에 견착시켜야 하기 때문에 상당한 수준의 상지 가동성을 요구하고 초보자들에게는 어려운 동작으로 간주된다. 또한 견착시킨 바벨을 떨어뜨리지 않기 위해서는 바벨이 앞쪽으로 흘러내리지 않도록 상체가 항상 곧게 세워진 상태로 유지되어야 하고, 이를 위해서 여러 분절의 가동성이 아주 중요한 요소로 작용한다(Haley, 2020). 또한 프론트 스쿼트 동작 시 상체를 세우기 위해 엉덩관절 굽힘은 백 스쿼트에 비해 어느 정도 제한되어야 하며, 발목관절의 배측굴곡과 무릎관절의 굽힘은 백 스쿼트에 비해 더 많은 양의 관절 가동범위가 필요하게 된다(Diggin et al., 2011). 이러한 요소들을 봤을 때, 발목 가동성과 상지 가동성이 좋지 않은 현대인들에게 프론트 스쿼트는 백 스쿼트에 비해 훨씬 어려운 동작인 것으로 생각된다.

크로스핏의 창시국가인 미국 내 크로스핏 체육관들은 박스(box)라고 불리는데, 대부분 단독(독립적인)건물로 지어져 있다(Lindsay, 2015). 이러한 박스는 실제 시합환경과 유사한 딱딱한 바닥으로 지어지며, 운동 중 무거운 중량 장비들이 바닥에 떨어질 때 발생되는 소음과 진동에 대한 제약이 없다. 그러나 최근 크로스핏을 도입한 한국 크로스핏 박스는 전혀 다른 환경 속에 있다. 즉, 대부분의 박스가 대부분 집합건물이나 빌딩 지하에 위치하고 있기 때문에 방음과 방진에 매우 민감할 수밖에 없다. 또한 한국은 소음 진동관리법 시행규칙이 개정되어 법으로 규제되고 있기 때문에 체육시설 소음으로 인한 민원은 매년 증가하고 있는 실정이며(Korea ministry of environment, 2021), 이에 따라서 한국에서 박스가 만들어질 때 훈련환경이나 효율성보다는 방진과 방음을 완벽하게 하는 것이 중요한 사안이 된다. 결론적으로 한국의 생활환경에 따라 한국 박스의 바닥은 다양한 완충제들의 활용을 통해 두꺼워지고 부드러울 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 불안정한 지면에서의 수행되고 있는 한국의 크로스핏 중량훈련은 안정한 지면에서의 훈련에 비해 운동 수행자들의 최대근력 감소와, 움직임패턴을 변경시키며 이것은 선수들의 실제 경기환경과도 상충되는 패턴이다(Pohl, Brauner, Wearing & Horstmann, 2020; Hubbard, 2010). 또한 불안정한 지면을 이용한 앉는 동작의 연구에서는 안정된 지면에 비해 전체 하지근력을 20.2% 감소시켰고, 주동근인 대퇴사두근의 근력은 11.3% 감소되고, 길항근인 뒤넙다리근의 근력은 29.1% 증가시켜 주동근과 길항근의 근력비를 변경시켰다고 보고되고 있다(Behm, Anderson & Curnew, 2002).

이처럼 한국 박스가 가지고 있는 불안정한 지면환경은 움직임과 근활성을 감소시켜 자신의 건강을 위해 수행하는 크로스핏 선수들의 부상 위험을 증가시킬 수 있다고 생각되어진다. 따라서 본 연구의 목적은, 지면환경이 크로스핏 선수들의 훈련에 미치는 운동학 및 운동역학적 차이를 검증하고 규명하여 부상발생 위험 요소를 권고하고, 상해 위험률을 낮출 수 있는 환경 제시하는데 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구에서는 크로스핏 선수경력이 5년 이상이며 6개월 이내에 근골격계 상해나 외과적 수술한 경험 없고, 크로스핏 오픈 아시아 100위권 이내의 20-30대 선수 10명(age: 32.30±3.05 yrs., height: 173.70±5.12 cm, body mass: 82.40±6.31 kg, 1RM: 160±13.80 kg)으로 선정하였다. 본 연구는 K대학교 생명윤리위원회의 승인 후(20211208-163) 실험에 참여하기 위해서 동의서에 동의한 피험자에 한하여 실험을 진행하였다.

2. 실험절차

실험 일주일 전 연구대상자들의 프론트 스쿼트 1-RM을 측정하였으며 측정 방법은 NSCA에서 제시한 방법을 사용하였다(Haff & Triplett, 2015). 실험 당일 프론트 스쿼트 동작을 분석하기 위하여 8대의 적외선카메라와 2채널 무선 근전도 장비를 사용한 3차원 동작분석을 실시하였고, 이때 자료취득율(sampling rate)은 각각 100 Hz와 1,000 Hz로 설정하였다. 8대의 카메라는 기계적 시간 동조를 이루며 촬영하였으며, 영상데이터와 EMG 데이터는 Qualisys Track Manager (Qualisys, Sweden, [QTM])를 사용하여 시간적 동조를 이루며 수집되었다. 실험 전 근육 활성도를 표준화시키기 위하여 최대 자발적 수의적 수축(maximum voluntary isometric contraction [MVIC])을 측정하였으며 측정의 오류를 줄이기 위하여 피부 표면의 털을 제거한 뒤, 알코올로 닦아 소독하여 주동측의 큰볼기근과 대퇴사두근에 표면전극을 부착하였다. 또한 MVIC 측정 시, 신체를 고정하고 대상자가 최대근력을 발휘할 수 있는 자세로 진행하였으며, 측정 후에는 충분한 휴식이 제공되었다. 프론트 스쿼트 동작이 이루어지는 장소는 NLT (non-linear transformation) 방법을 사용하여 전역좌표를 설정하였다(x 축: 좌/우, y 축: 전/후, z 축: 상/하). 동작 중 신체의 분절을 규명하기 위해서 각 대상자는 총 20개의 반사마커와 클러스터(Figure 1)를 주동측 하지와 상지에 부착하였다.

각각의 연구대상자들은 가벼운 무게의 프론트 스쿼트를 통하여 충분한 준비 운동을 실시하였고, 스탠딩 캘리브레이션(standing calibration)을 촬영한 후에 동작 수행에 영향을 최소화하기 위해 무릎과 발목의 안쪽 반사마커를 제거하였다. 이후 저항성 트레이닝의 고강도 무게인 80%의 무게로 각 10회씩 2세트로 프론트 스쿼트를 진행하였다. 각 세트간 5분 이내의 충분한 휴식시간을 주어 근피로를 최소화하였으며, 무작위로 딱딱한 지면(역도플랫폼; hard surface [HS])과 부드러운 지면(고무탄성바닥; soft surface [SS])에서 프론트 스쿼트를 실시하였다.

Figure 1. The position of markers & EMG electrodes

3. 자료처리 및 분석 방법

실험 중 취득한 위치좌표 원자료는 운동학적 변인 산출 시 발생하는 random error를 줄이기 위하여 차단주파수 6 Hz인 2차 저역 통과 필터(butterworth 2nd order low-pass filter)를 사용하여 필터링 하였다. 또한 EMG 자료의 경우 대역 통과 필터(band-pass filter) 20~450 Hz로 처리하였으며, 다시 RMS (root mean square)를 통하여 변환된 값을 사용하였다. 프론트 스쿼트 동작은 3개의 이벤트와 2개의 국면을 설정하여 분석하였다. 바벨의 양 끝에 반사마커를 부착하고, 바벨이 최고점일 때의 순간을 E1, 바벨이 최저점인 순간을 E2, 다시 바벨이 최고점인 순간을 E3으로 설정하였으며, E1과 E2 사이의 국면을 P1, E2과 E3 사이의 국면을 P2로 설정하였다. 각 분절의 움직임은 Visual3D (C-motion, USA) 프로그램을 사용하여 산출하였으며, 주동측 하지의 좌표계에 대한 방향은 x 축은 flexion(+)/extension(–), y 축은 abduction(+)/adduction(–), z 축은 internal rotation(+)/external rotation(–), 그리고 발 분절은 x 축 dorsiflexion(+)/plantarflexion(–), y 축 eversion(+)/inversion(–), z 축 abduction(+)/adduction(–)으로 설정하였다. 또한 분절의 움직임의 결과인 관절각도는 분절 간의 상대 각도를 산출하였다. 본 연구에서는 운동시작 전 측정근육들의 MVIC (Maximum Voluntray Isometric Contraction)를 측정하였으며 1-RM의 80%의 강도에서 수행된 프론트 스쿼트 동작 시 사전에 측정된 MVIC의 근활성도 값을 사용하여 다음과 같은 방법으로 평준화(normalize) 하였다.

$$Muscle\ activation = \frac{EMG_{raw}}{EMG_{MVIC}} \times 100(\%)$$

단, EMG_{raw}: 동작 시 근활성도의 RMS 값

EMG_{MVIC}: 최대 수의적 등척성 수축 시 근활성도의 RMS 평균값

또한 표준화된 데이터를 이용하여 큰볼기근에 대한 대퇴사두근의 상대적인 근활성도의 비는 다음의 공식을 이용하여 산출하였다(Ng, Zhang & Li, 2008).

$$Muscle\ activation\ ratio = \frac{EMG_{\text{Gluteus Maximus}}}{EMG_{\text{Quadriceps}}}$$

근활성비가 1보다 크면 큰볼기근 우세, 1보다 작으면 협력근인 대퇴사두근이 우세로 사용하고 있음을 의미한다.

4. 통계처리

프론트 스쿼트 동작 수행 시 2가지 지면에 따른 운동학적 변인과 운동역학적 변인의 차이를 검증하기 위해 대응 표본 t 검정(Paired t-test)을 실시하였다. 본 연구에서 통계적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

Table 1. Lower extremity Joints ROM at each phase during front squat unit: °

Joints			Sagittal plane	Frontal plane	Horizontal plane
Hip	Phase 1	HS	86.39±10.96	35.99±7.78	38.99±7.44
		SS	87.82±11.88	36.67±7.50	40.63±9.25
		t(*p*)	-1.77 (0.11)	-1.99 (0.08)	-1.3 6(0.21)
	Phase 2	HS	86.11±11.50	35.60±8.34	39.27±7.81
		SS	87.37±12.09	36.10±8.16	40.85±9.90
		t(*p*)	-1.36 (0.21)	-1.40 (0.20)	-1.32 (0.22)
Knee	Phase 1	HS	122.99±8.49	12.31±6.23	20.49±11.35
		SS	123.97±7.35	12.07±5.86	20.84±11.29
		t(*p*)	-1.39 (0.20)	0.68 (0.52)	-0.88 (0.40)
	Phase 2	HS	123.10±8.85	11.57±6.64	19.85±10.65
		SS	123.95±8.73	11.71±6.18	20.46±10.38
		t(*p*)	-1.87 (0.10)	-0.39 (0.70)	-1.17 (0.27)
Ankle	Phase 1	HS	33.58±2.59	10.43±3.91	7.42±2.68
		SS	33.33±2.58	10.03±4.46	7.98±3.04
		t(*p*)	-0.76 (0.47)	-0.85 (0.42)	**-2.44 (0.04)***
	Phase 2	HS	32.64±2.51	10.47±3.62	9.05±1.84
		SS	31.85±3.06	10.41±3.98	8.91±1.85
		t(*p*)	0.95 (0.37)	-0.17 (0.87)	0.71 (0.50)

HS.: hard surface, SS.: soft surface, *Indicates significant difference between HS and SS (p<.05)

RESULTS

1. 지면환경에 따른 3차원 관절 가동범위(range of motion [ROM])

프론트 스쿼트 시 지면환경에 따른 3차원 관절 가동범위는 (Table 1)과 같다. 본 연구 결과 phase 1의 수평면 발목관절 가동범위에서 부드러운 지면이 딱딱한 지면에 비하여 통계적으로 유의하게 증가된 외전을 나타내었다(p<.05).

2. 지면환경에 따른 근활성도

프론트 스쿼트 시 지면환경에 따른 근 활성도의 결과는 (Table 2)와 같다. 본 연구 결과 대퇴사두근의 phase 1에서 딱딱한 지면이 부드러운 지면에 비하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다(p<.05).

3. 지면환경에 따른 근활성비

프론트 스쿼트 시 지면환경에 따른 근활성비의 결과는 (Table 3)와 같다. 본 연구 결과 대둔근/대퇴사두근의 phase 1에서 부드러운 지면이 딱딱한 지면에 비하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다 (p<.05).

Table 2. Agonist and synergist muscle activation during front squat unit: MVIC%

Mean ± SD			Muscle activation
Gluteus maximus	Phase 1	HS	28.37±10.40
		SS	28.42±10.77
		t(*p*)	-0.71 (0.95)
	Phase 2	HS	55.90±18.11
		SS	56.83±20.33
		t(*p*)	-1.03 (0.33)
Quadriceps	Phase 1	HS	46.09±38.16
		SS	42.16±37.35
		t(*p*)	**3.91 (0.00)***
	Phase 2	HS	96.00±53.87
		SS	96.12±57.27
		t(*p*)	-0.42 (0.97)

HS.: hard surface, SS.: soft surface, *Indicates significant difference between HS and SS (p<.05)

Table 3. Muscle activation ratio during front squat

unit: %

Mean ± SD			Muscle activation ratio
Gluteus maximus/ quadricps	Phase 1	HS	0.83±0.45
		SS	0.92±0.49
		t(*p*)	**2.34 (0.04)***
	Phase 2	HS	0.73±0.46
		SS	0.75±0.48
		t(*p*)	0.95 (0.37)

HS.: hard surface, SS.: soft surface, *Indicates significant difference between HS and SS (p<.05)

DISCUSSION

본 연구는 프론트 스쿼트 시 국내환경에 따른 부드러운 바닥이 딱딱한 바닥에 비해 운동학 및 운동역학적 차이를 발생시키고 더 나아가 부상발생 위험 요소를 포함하고 있다고 생각되어 이를 검증하고 규명하는데 그 목적이 있었다. 본 연구 결과 프론트 스쿼트 동작 수행 시 phase 1의 수평면 발목관절 가동범위를 살펴보면 부드러운 지면에서 유의하게 증가된 차이를 나타내었다(p<.05, Table 1). 선행연구를 살펴보면 18명의 건강한 대학생을 대상으로 다양한 지면에서 한발 서기를 실시한 결과 발목관절 움직임은 모든 지면에서 압력 중심과 높은 상관관계를 보이며, 부드러운 지면에서 발목각도의 움직임이 다른 분절보다 증가하였다고 보고하였다(Riemann, Myers & Lephart, 2003).

프론트 스쿼트는 발이 지면에 고정되어 동작을 수행하는 닫힌 사슬 운동(closed kinetic chain)형식의 운동으로 발이 지면에 고정되어 있어, 하퇴의 움직임으로 발목관절각도를 결정한다. 본 연구 결과 나타난 수평면 발목관절의 벌림은 무릎 부상에서 상해 위험 요소로 여겨지는 동적 무릎 바깥굽이(dynamic knee valgus) 동작으로 볼 수 있다. 따라서 동작 수행에 있어 운동 수행능력뿐만 아니라 부상발생에 있어서도 매우 밀접한 관계가 있다고 알려져 있는 감속구간(phase 1; LaStayo et al., 2003)에서 나타난 부드러운 지면에서 증가된 발 분절에서의 벌림증가는 상해발생 위험 요소로서 고려되어져야 한다고 판단된다.

그러나, 발목을 제외한 무릎관절과 엉덩관절의 가동범위에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05, Table 1). 본 연구의 이러한 결과는 연구에 참여한 대상자들의 운동수준에 기인한다고 생각되어진다. 즉, Takano (2013)는 계획된 장기간의 근력훈련이 선수들의 신체 인지력을 향상시켜 부상발생을 저하시키는 효과가 있다고 보고하고 있는데 본 연구에 참여한 대상자들은 크로스핏 경력 5년 이상의 아시아 랭킹 100위권 이내 상위권 선수들로 이미 충분한 근력훈련이 수행되어 있는 집단이었다. 따라서 본 연구에 참여한 대상자들은 지면과 직접적으로 닿아 있어 큰 영향을 받을 수 있는 발목관절을 제외한 무릎관절과 엉덩관절은 충분히 동작을 조절할 수 있었다고 판단된다.

본 연구 결과 phase 1에서 딱딱한 지면에 비하여 부드러운 지면에서 통계적으로 유의하게 9.1% 감소된 대퇴사두근(rectus femoris) 근활성도가 나타났다(p<.05, Table 2). 스쿼트 동작 수행 시 부드러운 지면은 딱딱한 지면에 비하여 발목의 안정성을 확보할 수 없어 발목관절의 불안정성을 높임과 동시에 동작 수행 시 지지력을 약화시킨다고 알려져 있으며(Croft, Tscharner & Zernicke, 2008), 이러한 이유로 본 연구에서 수행된 부드러운 지면에서 프론트 스쿼트 동작 수행 시 대퇴사두근의 약화가 나타났다고 판단된다. 프론트 스쿼트는 대퇴사두근을 주동근으로 사용하는 동작이며, 이를 통해 하지근육들을 훈련시킬 수 있는 효과적인 운동으로 알려져 있다. 하지만 부드러운 지면에서 대퇴사두근의 활성도가 감소된 본 연구의 결과는 고중량의 프론트 스쿼트 수행 시 프론트 협력근들의 보상작용 및 관절의 압박력을 예상시키며 이러한 조건의 동작 수행은 프론트 스쿼트 동작 수행 시 상해를 유발시킬 수 있다고 판단된다.

또한 본 연구에서는 프론트 스쿼트 동작 수행 시 큰볼기근에 대한 대퇴사두근의 역할에 대해서도 살펴보았다. 본 연구에서는 프론트 스쿼트 동작 수행 중 큰볼기근에 대한 대퇴사두근의 근활성비를 산출하였으며, 근활성비 값이 1과 가깝거나 크면 큰볼기근 우세, 근활성비의 값이 1과 멀어지거나 작아지면 대퇴사두근 우세로 해석되었다. 본 연구 결과 프론트 스쿼트 동작 수행 시 대둔근/대퇴사두근의 phase 1에서 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다(p<.05, Table 3). 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 부드러운 지면이 발의 지지력 및 안정성을 감소시키고, 주동근인 대퇴사두근의 활성을 감소시키면서 프론트 스쿼트 감속구간에서 몸통의 앞쪽기울기를 유발시켰기 때문이라고 생각된다. 선행 연구를 살펴보면 백 스쿼트와 프론트 스쿼트 경험이 있는 12명의 건강한 남성을 대상으로 스쿼트 동작 수행 시 엉덩근육군의 활성도 증가는 몸통이 앞쪽으로 기울일 때 균형유지를 위한 보상이라고 보고되고 있다(Yavuz et al., 2017). 또한 프론트 스쿼트 동작 시 감속구간에서 몸통을 앞쪽으로 기울이게 되면 중력중심이 요추관절로 옮겨지게 되고 요추관절의 전단력을 증가시킨다고 알려져 있다(Comfort & Kasim, 2007; Diggin et al., 2011; Gullett, Tillman, Gutierrez & Chow, 2009). 이러한 몸통의 앞쪽 기울기 증가는 무게에 대한 압력을 요추관절로 이동시켜 추간판 탈출증까지 유발할 수 있다고 보고되고 있다(Matsumoto et al., 2001). 따라서 프론트 스쿼트 동작 수행 시 주동근인 대퇴사두근보다 증가된 큰볼기근의 근활성은 허리근육군들의 보상작용을 유발할 수 있다고 판단된다.

CONCLUSION

본 연구는 부드러운 지면과 딱딱한 지면이 프론트 스쿼트 동작에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다. 본 연구 결과 부드러운 지면이 딱딱한 지면에서 보다 수평면의 발목관절 가동범위를 증가시켰다. 또한 부드러운 지면에서 프론트 스쿼트 동작 수행 시 대퇴사두근 활성도에서 통계적으로 유의하게 감소된 차이를 나타내었으며, 근활성비의 경우 부드러운 지면에서 큰볼기근이 높은 결과를 나타내었다. 이러한 결과에 기인해 국내 크로스핏 박스들은 바닥재 선택에 있어 부드러운 지면보다는 비교적 상해의 위험성이 적은 딱딱한 지면을 사용하고, 시합수준에 준하는 강도 높은 훈련을 하는 선수들 또한 부드러운 지면보다는 딱딱한 지면에서 훈련하는 것이 적절하다고 판단된다.

REFERENCES

Achauer H. (2014, March 27). 209,585: Rise of the Open. Crossfit.com. https://games.crossfit.com/article/209585-rise-open?_ga=2.180262183.223897210.1653306044-270431790.1653306044

Alekseyev, K., John, A., Malek, A., Lakdawala, M., Verma, N., Southall, C., Nikolaidis, A., Akella, S., Erosa, S., Islam, R., Perez-Bravo, E. & Ross, M. (2020). Identifying the most common crossfit injuries in a variety of athletes. *Rehabilitation Process and Outcome*, *9*, 1179572719897069.

Behm, D. G., Anderson, K. & Curnew, R. S. (2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *16*(3), 416-422.

Braidot, A. A., Brusa, M. H., Lestussi, F. E. & Parera, G. P. (2007, November). Biomechanics of front and back squat exercises. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 90, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

Bojsen-Møller, F. & Magnusson, S. P. (2000). Basic science of knee joint injury mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *10*(2), 57-57.

Comfort, P. & Kasim, P. (2007). Optimizing squat technique. *Strength and Conditioning Journal*, *29*(6), 10.

Croft, J. L., von Tscharner, V. & Zernicke, R. F. (2008). Movement variability and muscle activity relative to center of pressure during unipedal stance on solid and compliant surfaces. *Motor Control*, *12*(4), 283-295.

Diamond D, (2015, May 11). Is CrossFit Safe? What '60 Minutes' Didn't Tell You. *Forbes*. http://www. forbes. com/sites/dandiamond/2015/05/11/is-crossfit-good-for-you-what-60-minutes-didnt-say.

Diggin, D., O'Regan, C., Whelan, N., Daly, S., McLoughlin, V., McNamara, L. & Reilly, A. (2011). A biomechanical analysis of front versus back squat: injury implications. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.

Ekegren, C. L., Miller, W. C., Celebrini, R. G., Eng, J. J. & Macintyre, D. L. (2009). Reliability and validity of observational risk screening in evaluating dynamic knee valgus. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *39*(9), 665-674.

Evans, W. J. & Campbell, W. W. (1993). Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *The Journal of Nutrition*, *123*(2 Suppl), 465-468.

Glassman G. (2007, April). Understanding Crossfit. *Crossfit Journal Issue*. http://library.crossfit.com/free/pdf/CFJ_56-07_Understanding.pdf

Gullett, J. C., Tillman, M. D., Gutierrez, G. M. & Chow, J. W. (2009). A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(1), 284-292.

Haff, G. G. & Triplett, N. T. (Eds.). (2015). *Essentials of strength training and conditioning 4th edition*. Illinois: Human kinetics.

Haley A. (2020, November 6). Front Squat 101: How to Master the Move in 5 Minutes. *Stack*. https://www.stack.com/a/front-squat

Hubbard, D. (2010). Is unstable surface training advisable for healthy adults? *Strength & Conditioning Journal*, *32*(3), 64-66.

Kang, J. (2003). Medical essay: The exercise and health of modern people. *Monthly Korea Journal*, *166*(0), 145-148.

Kibler, W. B. & Livingston, B. (2001). Closed-chain rehabilitation for upper and lower extremities. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *9*(6), 412-421.

Kim, K. (2020). Scientific Analysis of High-Intensity Interval Training for Health Promotion. *The Korean Journal of Coaching Development*, *22*(2), 90-99.

Kompf, J. (2016). Enhancing Skill and Performance in Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, *38*(4), 28-35.

Korea ministry of environment. (2021). Noise and vibration control act, Act No. 942, Sep.16, 2021.

LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T. & Lindstedt, S. L. (2003). Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *33*(10), 557-571.

Lim, K. (2001). Exercise and Nutrition for the Health of Modern People. *Proceedings of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 47-59.

Lindsay. (2015, February). What is Crossfit?. Theleangreenbean.com. https://www.theleangreenbean.com/what-is-crossfit/

Levangie, P. K. & Norkin, C. C. (2011). Joint structure and function: a comprehensive analysis. Philadelphia: F.A. Davis Company.

Malliaras, P., Cook, J. L. & Kent, P. (2006). Reduced ankle dorsiflexion range may increase the risk of patellar tendon injury among volleyball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *9*(4), 304-309.

Mark, F. A. (2014, July 25). CrossFit's big growth fuels concerns. ESPN. https://www.espn.com/espn/otl/story/_/id/11262964/crossf-explosive-growth-fuels-safety-concerns

Matsumoto, H., Suda, Y., Otani, T., Niki, Y., Seedhom, B. B. & Fujikawa, K. (2001). Roles of the anterior cruciate ligament and the medial collateral ligament in preventing valgus instability. *Journal of Orthopaedic Science*, *6*(1), 28-32.

Milanović, Z., Sporiš, G. & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO 2max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Medicine*, *45*(10), 1469-1481.

Morning Chalkup. (2019, October 6). 2020 Crossfit Open Movement Tracker. MORNING CHALK UP. https://morningchalkup.com/2019/10/06/2020-crossfit-open-movement-tracker/

Ng, G. Y. F., Zhang, A. Q. & Li, C. K. (2008). Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *18*(1), 128-133.

Pohl, T., Brauner, T., Wearing, S. & Horstmann, T. (2020). Limb movement,

coordination and muscle activity during a cross-coordination movement on a stable and unstable surface. *Gait & Posture*, *81,* 131-137.

Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J. & Nunes, J. P. (2017). Large and small muscles in resistance training: Is it time for a better definition? *Strength & Conditioning Journal*, *39*(5), 33-35.

Riemann, B. L., Myers, J. B. & Lephart, S. M. (2003). Comparison of the ankle, knee, hip, and, trunk corrective action shown during single-leg stance on firm, foam, and multiaxial, surfaces. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *84*(1), 90-95.

Rodríguez, M. Á., García-Calleja, P., Terrados, N., Crespo, I., Del Valle, M. & Olmedillas, H. (2021). Injury in CrossFit®: a systematic review of epidemiology and risk factors. *The Physician and Sports Medicine*, 1-8.

Schoenfeld, B. & Grgic, J. (2018). Evidence-based guidelines for resistance training volume to maximize muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, *40*(4), 107-112.

Smith, M. M., Sommer, A. J., Starkoff, B. E. & Devor, S. T. (2015). Crossfit-based high-intensity power training improves maximal aerobic fitness and body composition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(11), 3159-3172.

Stone, M. H., Stone, M. & Sands, W. A. (2007). Principles and practice of resistance training. Illinois: Human kinetics.

Takano, R. K. (2013). Weightlifting in the development of the high school athlete. *Strength & Conditioning Journal*, *35*(6), 66-72.

Weston, K. S., Wisløff, U. & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(16), 1227-1234.

Winett, R. A. & Carpinelli, R. N. (2001). Potential health-related benefits of resistance training. *Preventive Medicine*, *33*(5), 503-513.

Yavuz, H. U., Erdağ, D., Amca, A. M. & Aritan, S. (2015). Kinematic and EMG activities during front and back squat variations in maximum loads. *Journal of Sports Sciences*, *33*(10), 1058-1066.