

Comparison of Lower Extremity Muscle Activity during the Deep Squat Exercise Using Various Tools

Jun Hyeon Park¹, Jong Kyung Lee¹, Ji Won Park²

¹Department of Physical Therapy, Graduate school, Daegu Catholic University, Daegu, Republic of Korea; ²Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu, Daegu, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effect of assistance tools such as gym balls, wedges, and straps on lower extremity muscle activity and the increase in the range of motion made possible by the use of these tools. The subjects were divided into two groups: a group capable of deep-squatting (PS) and the second finding it impossible or having difficulty in performing such squats (IS).

Methods: Twenty-three subjects participated in this study. Surface electromyography was used to measure the muscle activation of the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), and tibialis anterior (TA) muscles during deep squats, normal squats (NS), gym ball squats (GS), wedge squats (WS), and strap squats (SS). A motion analysis system was used to measure the range of motion of the knee joint during each of these exercises.

Results: There was a significant difference in the RF muscle activity between the possible squat (PS) and the impossible squat (IS) groups in the GS, and there were significant differences in the RF and TA muscle activity between the groups in the WS. Both the PS group and the IS group showed a significant difference in the TA muscle activity depending on the tool used. There were also significant differences in the range of motion of the knee joints between the intervention methods using NS and those using the tools.

Conclusion: In both groups, the muscle activity of the TA muscles was lower when GS, WS, and SS were performed compared to NS. In addition, compared to NS, the range of motion of the knee joint increased when the three tools were used. This study shows that the activity of the RF, VM, and TA muscles decreased and the range of motion of the knee joint increased during deep squats for both the PS and IS groups when tools were used.

Keywords: Deep squat, EMG, Wedge squat, Strap squat, Ball squat

서론

스쿼트 운동은 다양한 웨이트 운동 방법 중 도구를 사용하지 않고도 쉽게 접근할 수 있기 때문에 가장 일반적으로 사용되는 운동이다.¹ 그리하여 무릎관절 손상 이후 재활 운동방법의 하나로도 흔히 사용되고 있다.² 스쿼트는 발목관절, 엉덩관절, 등척추관절의 운동성과 발, 무릎관절, 허리의 안정성을 필요로 하는 기본적인 운동이다.³ 하지의 근력 강화를 위한 단한 사슬 운동의 대표적 저항운동인 스쿼트 운동⁴은 볼기근, 넙다리네갈래근 그리고 몸통 근육을 강화시키는데 효과적인 운동방법이다.⁵ 특히, 하지의 근력을 증가시키는 데 사용되어 왔고 올바른 스쿼트 자세는 근육의 염좌를 최소화시키고 허리 및 무릎의 부상을 최소화시키기 위해 교육시키는 운동이다.⁶ 스쿼트 운동은 넙다리네갈래근 근육군 형성에 중요한 운동이며, 단한 사슬에서의 넙다리네갈래근 근력강화는 열린 사슬에서의 근력강화보다 많

은 관절의 움직임이 요구되므로 보다 효율적이라고 하였다.^{7,8}

스쿼트 동작을 수행할 때 보조도구를 사용하여 동작을 수행할 수 있는데 짐볼은 스쿼트 동작 시 볼기근의 강화된 근활성도를 이끌어 낼 수 있는 효율적인 도구라고 보고되고 있다.^{9,10}

또한 증가된 각도에서의 스쿼트 동작은 일반 스쿼트에 비해 넙다리네갈래근/넙다리근의 비율을 증가시키고, 감소된 각도에서의 스쿼트 동작은 일반 스쿼트보다 근비율을 감소시킨다는 선행논문처럼 다양한 각도의 경사대의 보조도구를 사용하여 목표로 하는 근육에 따라 운동을 수행할 수 있다.¹¹ Escamilla 등¹²은 무릎관절의 각도에 따라 굽힘 30°는 미니 스쿼트(mini-squat), 40°-60°는 세미 스쿼트(semi-squat), 70°-100°는 하프 스쿼트(half-squat), 100° 이상은 딥 스쿼트(deep-squat)로 분류했고, 최적의 스쿼트 방법은 엉덩이, 무릎, 발목이 평행하게 정렬되어 있으며, 안쪽-가쪽으로의 움직임이 없고 뒤꿈치가 항상 바닥에 붙어 있어야 한다.³ 이처럼 스쿼트 운동은 다양하게 응용

Received Mar 17, 2022 Revised Apr 10, 2022

Accepted Apr 12, 2022

Corresponding author Ji Won Park

E-mail mylovept@hanmail.net

Copyright ©2022 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 가능한 방법으로 실시할 수 있는 장점이 있는 반면 운동 시 자세가 어렵다는 단점이 있다.¹³ 일반인의 경우 스쿼트 동작을 수행하기 위한 주동근 및 협동근들이 단련되어 있지 않은 상태이며, 앞·뒤 방향의 무게중심 이동이 정확하게 이루어지지 못하는 불안정한 상태가 많으므로 잘못된 자세로 스쿼트 동작을 할 가능성이 높다. 그리하여 앞·뒤쪽으로는 무게중심을 잡아줄 수 있도록 도구를 사용해 스쿼트 동작을 수행하는 것이 좋다.¹⁴ 또한 정적균형능력이 감소되어 있는 사람은 딥 스쿼트 자세를 취할 때 바닥에서 뒤꿈치가 떨어지는 경향을 보이기 때문에,¹⁵ 동작을 수행할 때 발목의 발바닥 굽힘을 만들어 주면 앞·뒤 무게 중심 이동의 폭을 최대한 줄일 수 있다.¹⁶

현재까지 딥 스쿼트 시 엉덩관절과 무릎관절 사이에서 운동학적 변화를 살펴보는 연구는 많았지만,¹⁷⁻¹⁹ 도구를 사용하여 딥 스쿼트 동작의 효율성을 알아본 연구는 미비한 실정이다. 그리하여 본 연구에서 딥 스쿼트를 수행함에 있어 어려움이 없는 대상과 딥 스쿼트를 수행하는 데 어려움이 있는 대상에게 무게중심 이동을 제한할 수 있는 도구를 사용해 각 도구 별 근활성도를 비교하고자 하며, 수행함에 있어 어려움이 있는 대상에게 더욱 효과적인 스쿼트 방법을 제시하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 D학교에 재학 중인 성인 남녀 재학 중인 총 23명(남 14명, 여 9명)을 대상으로 연구의 목적을 설명하고 자발적인 동의를 사전 실시하였다. 실험 전 대상자에게 딥 스쿼트 자세를 3회에 걸쳐 시행하였으며, 신체에 어떠한 지지도 허용하지 않은 채로 대상자의 뒤꿈치가 완전히 바닥에 닿은 채로 100° 이상의 딥 스쿼트가 가능한지 여부를 통해

실험 그룹을 나누었다. 딥 스쿼트가 가능한 집단(남 11명, 여 1명), 딥 스쿼트에 어려움이 있는 집단(남 3명, 여 8명)이었다. 연구에 참여한 대상자 선정기준은 다음과 같다. 1) 최근 6개월간 발목관절, 무릎관절에 이상이 없는 자, 2) 최근 6개월간 정형외과적 수술 병력이 없는 자(Table 1).

2. 실험방법

본 연구는 자료수집 전 연구자의 소속대학 연구윤리위원회의 승인(승인번호: CUIRB-2018-0051)을 받았으며, 대상자들은 실험을 수행하기 전 실험에 대한 내용을 충분히 들은 후, 본 실험을 동의한 자들로 진행하였다. 각 대상자를 딥 스쿼트가 가능한 집단(possible deep squat, PS)과 딥 스쿼트 동작에 어려움이 있는 집단(impossible deep squat, IS)으로 나누어 실험을 진행하여 각 집단의 대상자 최대수의적 등척성수축값(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하고 일반 스쿼트(normal squat, NS), 짐볼 스쿼트(gym ball squat, GS), 내림경사대 스쿼트(wedge squat, WS), Strap 스쿼트(strap squat, SS)를 각각 3회씩 실시하였다(Figure 1). 도구는 65cm 지름의 짐볼(gym ball), 20°의 경사대(wedge), 발을 고정하기 위한 스트랩 보드(strap board)를 사용했다. 각각의 스쿼트는 순서효과를 배제하기 위해 제비뽑기를 이용하여 무작위로 배정되었으며 스쿼트 중재 사이의 휴식시간은 5분으로 부여하였다.

Table 1. General characteristics of subjects (n=23)

	PS (n=12)	IS (n=11)	p
Gender (male/female)	11/1	3/8	
Age (yr)	23.4±2.4	22.7±1.4	0.64
Height (cm)	173.7±6.9	166.5±8.8	0.12
Weight (kg)	75.9±9.8	66.0±13.8	0.36

Values are mean±SD.

PS: Possible squat, IS: Impossible squat.

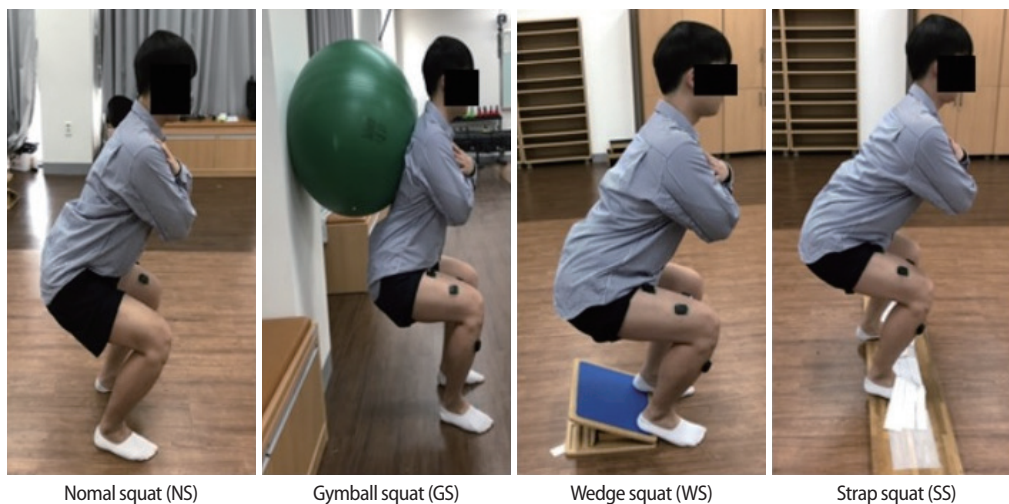


Figure 1. The picture of squat method for each tool.

근육의 활성도와 관절의 각도를 분석하기 위해 무선 방식의 근전도 및 3차원 동작분석 측정 장비(Delsys wireless EMG, Delsys Inc., USA)로 대상자의 근활성도와 관절각도를 측정하였다. 도구별 모든 스쿼트 동작에서 발의 위치는 발꿈치뼈의 중심과 두 번째 발가락이 일직선으로 지나가도록 정의하였고 7초 동안 처음과 끝의 1초를 제외한 5초씩 5회 측정하여 평균값을 사용하였다. 근피로도 방지를 위해 측정 간 1분의 휴식 시간을 주었다. 측정부위는 딥 스쿼트 시 발목관절의 발등 굽힘에 많은 기여를 하는 앞정강근(tibialis anterior, TA)과 무릎관절의 굽힘과 펴는 많은 기여를 하는 넙다리곧은근(rectus femoris, RF), 안쪽넓은근(vastus medialis, VM)으로 하였다. 피부 저항을 최소화 하기 위해 전극 접촉부위를 알코올 솜으로 닦고 건조시킨 후, 기록전극을 바깥쪽 무릎관절 강과 가쪽복사(lateral malleolus) 사이 근위 1/3부위의 앞정강근 힘살(belly), 위앞엉덩뼈가시(ASIS)와 무릎뼈 꼭지(apex of patella) 사이 1/2부위의 넙다리곧은근 힘살, 무릎뼈의 위쪽 중앙선을 기준으로 3-5cm 위치에서 안쪽으로 약 2cm 부위에 55°의 사선의 안쪽넓은근에 부착하였다.¹⁶ 자료 수집은 DELSYS EMG-Works 4.3 (Delsys Inc., USA) 소프트웨어로 하였고 자료 분석은 EMG Works Analysis Version 4 (Delsys Inc, USA) 소프트웨어를 통해 표본수집율(sampling rate) 2,000Hz로 분석하였다. 소프트웨어를 통해 평균 제거(Remove mean)과정을 거친 후 Window Length 0.125(s), Window Overlap 0.0625(s)로 평균제곱근(root mean square, RMS) 후 진폭 해석(amplitude analysis)으로 %MVIC 값을 구하였다. 모든 근전도 측정 단위는 μ V로 기록되었다. 근전도를 이용하여 수집한 근활성도를 정량화(normalization)하기 위해 MVIC를 측정하였다. 안쪽넓은근, 넙다리곧은근의 측정은 대상자에게 테이블에 앉은 상태에서 무릎관절 90° 굽힘을 유지하도록 지시하면서 실험자는 굽힘에 반대되는 힘을 주며 대상자의 최대 펴 힘 유도하였다. 앞정강근은 의자에 앉은 자세에서 무릎을 90°로 하여 발목을 발바닥 쪽 굽힘 방향으로 저항을 주고 대상자는 발등 굽힘을 시도하도록 지시하고 측정하였다.²⁰ 모든 근육은 약 5초간 5회 반복 실시하였고, 처음과 마지막 1초를 제외한 3초의 평균값을 사용하였다.

3. 자료분석

본 연구를 통해 수집된 자료는 통계프로그램 IBM SPSS Statistics Ver 19.0을 이용하여 근활성도 비교를 위해 반복 측정 분산분석(repeated ANOVA)을 실시하였으며, 각 중재 간 유의확률을 보기위해 대비검정으로 Least Square Difference (LSD)를 사용하였고, 통계적 유의수준은 $\alpha < 0.05$ 으로 설정하였다. 그리고 무릎관절가동범위의 비교와 PS 집단과 IS 집단의 60°-90°에서의 근활성도를 비교하기 위해 독립표본 t 검정(Independent t-test)를 사용하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha < 0.05$ 으로 설정하였다.

Table 2. Comparison of muscle activity between PS and IS (Unit: %MVIC)

	NS	GS	WS	SS
RF				
IS	37.48±23.82	34.08±23.99	37.62±22.88	34.70±16.44
PS	22.03±17.03	13.38±0.78	16.90±10.71	24.33±24.21
t	1.80	2.71	2.83	1.19
p	0.09	0.01*	0.01*	0.25
TA				
IS	50.09±29.52	15.43±15.22	28.40±8.63	38.04±21.25
PS	47.32±17.18	13.36±13.14	34.11±12.32	33.20±16.78
t	0.28	0.35	2.90	0.61
p	0.78	0.73	0.01*	0.55
VM				
IS	48.66±29.02	46.46±27.14	51.07±26.84	47.52±17.72
PS	36.71±11.88	34.11±12.35	34.32±13.18	32.09±10.94
t	1.32	1.43	1.93	2.53
p	0.20	0.17	0.07	0.02*

Values are mean±SD.
 NS: normal squat, GS: gym ball squat, WS: wedge squat, SS: strap squat, RF: rectus femoris, TA: tibialis anterior, VM: vastus medialis, IS: impossible squat, PS: possible squat.
 *p<0.05.

결 과

1. 60°-90°에서 PS와 IS 그룹 간 도구별 근활성도 차이

GS에서 넙다리곧은근의 PS와 IS 그룹 간의 유의한 차이가 있었고 (p<0.05), WS에서는 넙다리곧은근, 앞정강근의 그룹 간 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 또한 SS에서는 안쪽넓은근의 그룹 간 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(Table 2).

2. 60°-90°에서 PS와 IS 그룹 내의 근활성도 차이

PS 그룹에서는 앞정강근에서 유의한 차이를 보였고(p<0.05), 넙다리곧은근과 안쪽넓은근에서는 유의한 차이는 보이지 않았다(p>0.05). 앞정강근 내에서는 NS와 GS, NS와 WS, NS와 SS 간의 유의한 차이가 있었다(p<0.05). IS 그룹에서는 앞정강근에서 유의한 차이를 보였고 (p<0.05), 넙다리곧은근과 안쪽넓은근에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 앞정강근 내에서는 NS와 GS, NS와 WS 간의 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(Table 3).

3. IS 그룹 내에서 도구별 무릎관절가동범위 비교

NS와 모든 중재방법에서 각각 무릎관절가동범위의 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(Table 4).

Table 3. Comparison of muscle activity within the PS group and the IS group

(Unit: %MVIC)

	NS	GS	WS	SS	F	p
PS						
TA	47.32±17.18 ^{1,3}	13.36±13.14	34.11±12.32	33.2±16.78	13.9	0.01*
RF	22.03±17.03	13.38±0.78	16.90±10.71	24.33±24.21	1.05	0.37
VM	36.71±11.88	34.11±12.35	34.32±13.18	32.09±10.94	0.29	0.83
IS						
TA	50.09±29.52 ^{1,†}	15.43±15.22	28.40±8.63	38.04±21.25	5.83	0.01*
RF	37.48±23.82	34.08±23.99	37.62±22.88	34.70±16.44	0.08	0.97
VM	48.66±29.02	46.46±27.14	51.07±26.84	47.52±17.72	0.07	0.98

Values are mean±SD.

NS: normal squat, GS: gym ball squat, WS: wedge squat, SS: strap squat, RF: rectus femoris, TA: tibialis anterior, VM: vastus medialis, IS: impossible squat, PS: possible squat.

¹Significant difference between NS and GS, [†]Significant difference between NS and WS, ³Significant difference between NS and SS.

*p<0.05.

Table 4. Comparison of range of motion of knee joint according to normal squat and squat using each tool

(Unit: degree)

	NS	t	p	
GS	128.16	106.17	-4.38	0.01*
WS	126.31	106.17	-2.80	0.01*
SS	119.74	106.17	-3.65	0.01*

NS: normal squat, GS: gym ball squat, WS: wedge squat, SS: strap squat.

*p<0.05.

고찰

딥 스쿼트 자세는 엉덩, 무릎, 발목관절의 충분한 가동범위와 체간의 안정성이 요구되는 동작으로써^{8,17} 평소 임상에서도 무릎관절이나 엉덩관절의 기능을 간편하게 평가하기 위해, 또는 보행과 더불어 무릎을 평가하기 위한 운동과제로 가장 흔하게 사용되고 있는 운동방법이다.¹⁸ 나아가 하지 관절가동범위를 각각 관찰하기보다 한 번에 기능 평가할 수 있는 좋은 평가 방법이다.

본 연구는 딥 스쿼트가 가능한 집단(PS)과 어려움이 있는 집단(IS)으로 나누어 정상 딥 스쿼트(NS)와 도구를 사용한 딥 스쿼트(GS, WS, SS) 동작 간의 근활성도를 확인하고, IS 그룹 내에서 NS에 비해 도구를 사용했을 때의 무릎관절의 가동범위가 얼마나 증가했는가에 대해 측정하였다. 연구결과 두 그룹 모두 정상 딥 스쿼트(NS)에 비해 짐볼(GS), 내림경사대(WS), 스트랩(SS) 딥 스쿼트를 실시하였을 때 앞정강근의 근활성도가 낮게 나타났으며 유의한 차이가 있었다. Cannell 등²¹은 경사진 보드 위에서 스쿼트 운동은 통증 감소에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고했으며, 외부 하중이 필요하지 않아 별도의 훈련 기구가 필요하지 않으므로 집에서 쉽게 적용할 수 있다고 보고했다. 또 다른 선행연구에서는 20대 건강한 성인 26명을 대상으로 정상적인 스쿼트와 경사진 보드 위에서 각도 별 스쿼트 시 근활성도를 측정한 결과 무릎관절의 각도가 45°, 60°, 90°일 때 넵다리곧은근의 근활성도가 유의하게 높았고 앞정강근의 근활성도는 편평한 바닥보다

경사진 보드에서의 스쿼트 운동에서 유의하게 낮았다고 보고하였다.²² Lee 등²³은 정상 스쿼트에 비해 짐볼을 이용한 스쿼트와 스트랩을 이용한 스쿼트 시 안쪽넓은근의 근활성도가 낮았다고 보고하였다. 본 연구에서도 두 그룹 모두에서 도구를 사용했을 때 앞정강근에서 근활성도가 낮아졌다는 점이 동일하게 나타나고 있다. 이를 토대로 IS를 대상으로 딥 스쿼트 동작을 수행시킬 때 좀 더 쉬운 방법으로 동작을 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

각 도구별 증재 방법에 대한 두 그룹의 근활성도를 비교해 보았을 때 두 그룹 간의 정상 스쿼트 시 모든 근육에서 유의한 차이를 나타내지 않았지만, GS 시 PS에 비해 IS에서 넵다리곧은근이 유의한 증가를 나타내었다. 또한 SS에서는 PS에 비해 IS에서 안쪽넓은근이 유의한 증가를 나타내었다. 이는 벽에 기댄 상태에서와 스트랩으로 발목을 고정했을 경우 발목관절의 각도가 뒤꿈치가 붙은 상태로 유지 가능했고, 이로 인해 먼족 관절의 안정성이 IS의 넵다리곧은근과 안쪽넓은근을 더욱 활성화했을 것으로 생각된다.

마지막으로 PS 집단에 비해 IS 집단의 60°-90° NS, GS, WS, SS에서 WS 시 앞정강근을 제외한 모든 근육의 근활성도가 높게 나온 결과를 볼 수 있었다. 이러한 결과는 균형능력에도 연관관계가 있을 것으로 사료되는데 이는 균형능력과 관절가동범위가 감소되어 있을 것으로 예상되는 IS 집단이 각각의 딥 스쿼트 동작 중 모자란 균형능력의 보상작용으로 인한 근육의 과사용에 따른 근활성도 값 증가라고 여겨진다.²⁴ 선행연구에서는 딥 스쿼트가 어려운 사람의 경우 앞·뒤 방향의 무게중심 이동이 정확하게 이루어지지 못하는 불안정한 상태인데 이것을 토대로 짐볼과 내림경사대는 발목, 무릎, 몸통, 머리를 무게 중심선 뒤로 이동시키며 뒤쪽의 무게중심을 뒤에서 잡아주고,⁴ 스트랩은 무게중심이 뒤쪽의 무게중심을 앞쪽 발등으로 잡아 줌으로써 무게중심을 유지할 수 있기 때문에 무릎관절의 범위가 늘어난 것으로 보고하고 있다.¹¹ 본 연구에서도 정상적인 스쿼트에 비해 세 가지 도구를 사용했을 때의 관절가동범위가 유의하게 증가한

값을 보였다. 그중 NS에 비해 GS에서 21.98°, WS에서 20.14°, SS에서 13.57°의 무릎관절가동범위가 모두 유의한 수치로 증가했다. Son 등¹⁵은 발목관절의 정적균형능력과 관절가동범위가 떨어져 있을 경우 딥 스쿼트 시 발뒤꿈치가 바닥에서 떨어지는 경우가 많다고 보고했는데 이러한 선행논문의 결과를 볼 때 발목관절의 정적균형능력과 관절가동범위는 딥 스쿼트 동작을 수행하기 위한 중요한 역할을 하며 IS 그룹의 발목관절 움직임의 제한에 따른 무릎관절가동범위의 증가라고 사료된다. 또한 짐볼의 사용을 통해 대상자의 엉덩관절이 몸통에 비해 상대적으로 뒤쪽으로 이동하며 몸통의 굽힘에 의해 무릎 굽힘으로 움직일 때 대상자들이 더욱 중립적인 자세를 유지할 수 있는 도움 역할을 하였다고 볼 수 있다.²⁵

본 연구에서는 딥 스쿼트에 어려움이 있는 사람들(IS)에게 쉽게 딥 스쿼트 동작이 가능하도록 하기 위해 다양한 도구를 사용한 딥 스쿼트 시 하지의 근활성도와 무릎관절가동범위에 대해 알아보았다. 그 결과, 딥 스쿼트에 어려움이 있는 대상자에게 도구 사용 시 하지의 근활성도는 감소하나 무릎관절가동범위는 증가하는 양상을 보였다. 따라서 딥 스쿼트가 가능하지 않은 대상자에게 하지 근력운동의 대표적인 동작인 딥 스쿼트를 무리하게 훈련하기보다 도구를 사용하여 무릎관절가동범위를 증가시키는 것에 초점을 맞추어야 할 것이다. 하지만 본 연구에서는 대상자의 수가 한정적이고 대부분이 20대 이었다는 점과 성별의 비율이 맞지 않아 자료를 객관화시키기에는 부족하다는 한계를 지니고 있다고 사료된다. 따라서 추후 연구 시 IS 그룹과 PS 그룹의 균형능력에 관한 상관관계와 발목의 관절가동범위를 측정해서 비교해본다면 딥 스쿼트의 제한 이유에 대해 더 명확하게 나타날 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Han HR, Yi CH, You SH et al. Comparative effects of 4 single-leg squat exercises in subjects with gluteus medius weakness. *J Sport Rehabil.* 2018;27(6):513-9.
- Speirs DE, Bennett MA, Finn CV et al. Unilateral vs bilateral squat training for strength, sprints, and agility in academy rugby players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):386-92.
- McKean MR, Dunn PK, Burkett BJ. The lumbar and sacrum movement pattern during the back squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2731-41.
- Yasuhiro E, Masashi M, Masaaki S. The relationship between the deep squat movement and the hip, knee and ankle range of motion and muscle strength. *J Phys Ther Sci.* 2020;32(6):391-4.
- Escamilla RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(1):127-41.
- Kim SH, Kwon OY, Park KN et al. Lower extremity strength and the range of motion in relation to squat depth. *J Hum Kinet.* 2015;45(7):59-69.
- Brask B, Lueke RH, Soderberg GL. Electromyographic analysis of selected muscles during the lateral step-up exercise. *Phys Ther.* 1984;64(3):324-9.
- Jeong HJ, Park CB, Kim YN. Effect of visual feedback squat motion on core muscles thickness of young people with lower back pain. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(4):216-21.
- Barton CJ, Kennedy A, Twycross-Lewis R et al. Gluteal muscle activation during the isometric phase of squatting exercises with and without a swiss ball. *Phys Ther Sport.* 2014;15(1):39-46.
- Muaidi QI. Rehabilitation of patellar tendinopathy. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2020;20(4):535-40.
- Yoo WG. Comparison of the hamstring/quadriceps ratio in females during squat exercise using various foot wedges. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(8):2379-80.
- Escamilla RF, Zheng N, Macleod TD et al. Patellofemoral joint force and stress during the wall squat and one-leg squat. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(4):879-88.
- Sriwarno AB, Shimomura Y, Iwanaga K et al. Study for squat scoring scale. *J Kor Phys Ther.* 2004;16(4):235-45.
- Lorenzetti S, Gulay T, Stoop M et al. Comparison of the angles and corresponding moments in the knee and hip during restricted and unrestricted squats. *J Strength Cond Res.* 2012;26(10):2829-36.
- Son HH. Analysis of ankle Joint dorsiflexion ROM and static balance in persons with and without heel off during a deep squat task. *J Kor So Neurotherapy.* 2016;20(3):13-7.
- Mynark RG, Koceja DM. Down training of the elderly soleus H reflex with the use of a spinally induced balance perturbation. *J Appl Physiol.* 2002;93(1):127-33.
- Hartmann H, Wirth K, Klusemann M. Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Med.* 2013;43(10):993-1008.
- Fukagawa S, Leardini A, Callewaert B et al. Age-related changes in kinematics of the knee joint during deep squat. *Knee.* 2012;19(3):208-12.
- Kim MJ, Lee HC, Park JW. The effect of additional haptic supplementation on postural control during squat in normal adult. *J Kor Phys Ther.* 2012;24(2):134-42.
- Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. Changes in the tibialis anterior tendon moment arm from rest to maximum isometric dorsiflexion: In vivo observations in man. *Clin Biomech.* 1999;14(9):661-6.
- Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB et al. A randomised clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study. *Br J Sports Med.* 2001;35(1):60-4.
- Lee DH, Lee SY, Park JS. Impact of decline-board squat exercises and knee joint angles on the muscle activity of the lower limbs. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(8):2617-9.
- Lee TK, Park SM, Yun SB et al. Analysis of vastus lateralis and vastus medialis oblique muscle activation during squat exercise with and without a variety of tools in normal adults. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):1071-3.
- Fong CM, Blackburn JT, Norcross MF et al. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *J Athl Train.* 2011;46(1):5-10.
- Boling MC, Bolgla LA, Mattacola CG et al. Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(11):1428-35.