

전신 진동 운동을 병행한 스쿼트 운동이 무릎넓다리 통증 증후군 환자의 넓다리네갈래근의 근 활성화도 및 피로도에 미치는 영향

강정일 · 문영준^{1†} · 정대근

세한대학교 물리치료학과, ¹정다운요양병원 물리치료사

Effect of Squat Exercise Combined with Whole Body Vibration Exercise on Muscle Activity and Muscle Fatigue of Quadriceps in Patients with Patellofemoral Pain Syndrome

Jeong-Il Kang, PT, PhD · Young-Jun Moon, PT, PhD^{1†} · Dae-Keun Jeong, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Sehan University,
¹Jeong Da-un nursing hospital, physical therapist

Received: August 26, 2020 / Revised: September 01, 2020 / Accepted: October 12, 2020

© 2021 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to provide fundamental clinical data to be used in therapeutic approach to patients with patellofemoral pain syndrome by administrating the squat exercise combined with whole body vibration exercise to them and investigating the effect of such exercise to leg muscle activity and muscle fatigue.

METHODS: The patients with patellofemoral pain syndrome were randomly assigned to experimental group I (n = 9) where only squat exercise was administered and experimental group II (n = 9) where the squat exercise combined with whole body vibration exercise was provided. The intervention program was administered for two weeks, four days a week, one session a day, three set a session, and 20 reps a set. The pre- and post-test were performed to measure

muscle activity and muscle fatigue of vastus medialis and vastus lateralis.

RESULTS: The muscle activity significantly changed in both group ($p < .05$, $p < .01$, respectively) and the muscle fatigue showed significant change only in group I ($p < .05$). In addition, there was significant difference between groups in change of muscle fatigue of both muscles ($p < .05$) but not in change of muscle activity.

CONCLUSION: The results showed that both exercise are effective in improving muscle activity, however, that the squat exercise combined with whole body vibration exercise is more effective in preventing muscle fatigue.

Key Words: Muscle activity, Muscle fatigue, Patellar femoral pain syndrome, Whole body vibration exercise

I. 서 론

무릎넓다리 통증 증후군(Patellar femoral Pain Syndrome)이란 무릎관절 통증의 가장 흔한 증상으로 무릎뼈의 전방이나 후방에서 통증이 나타나고[1], 이 통증은 무릎뼈의 비정상적인 정렬 상태에서 다리를 움직이기 때

†Corresponding Author : Young-Jun Moon

tkfkdg0328@naver.com, <https://orcid.org/0000-0003-1141-8704>

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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

문이며 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 근골격계 질환 중 하나이다[2]. 이 질환은 넵다리네갈래근의 정상적인 근 수축능력이 불충분하고, 정상적인 무릎과 비교하였을 때 무릎관절의 비정상적인 움직임은 야기시켜 무릎 주위 근육들의 근피로가 발생하게 된다[3]. 그리고 무릎관절의 주위 근육들은 특성상 엉덩관절과 발목관절을 가로지르고 있기 때문에 무릎관절 주위 근육들의 문제는 엉덩관절과 발목관절에도 영향을 미칠 수 있어 무릎관절 주위 근육 훈련은 매우 중요하다[4].

무릎넵다리 통증 증후군의 운동방법으로는 넵다리네갈래근 근력 강화 운동이 중요시되어야 하며[3], 근력 운동 방법 중 단한 사슬 유형인 스쿼트 운동은 발목관절과 무릎관절 및 엉덩관절의 움직임을 동시에 일으켜 관절 주변의 협력 수축, 압박력, 구심성 수축과 원심성 수축의 동시 발생 및 고유수용감각 자극과 같은 기능적 훈련 운동 방법 중 가장 효과적이다[5]. 스쿼트 운동은 넵다리네갈래근과 넵다리두갈래근의 협력 수축으로 인해 높은 안정성과 기능적인 범위 내에서 무릎넵다리 관절에 최소한의 스트레스를 제공하기 때문에 효과적이고 안전한 운동방법이지만[6], 운동 과정에서 중력과 체중에 대항하여 운동을 하기 때문에 다리에 많은 부하가 적용되어 근피로를 유발시킬 수 있는 단점을 가지고 있다[7]. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근 운동 치료 영역에서 근력 증진을 위한 운동방법으로 전신 진동 자극 운동이 있으며, 이는 인체에 무해한 수준의 진동수와 진폭을 활용하여 근육과 신경을 자극하는 방법이며[8], 근 피로 예방함으로써 근 지구력을 증진시키는 방법이기도 한다[9]. 전신 진동 운동은 자극을 받은 동안 골격근의 근육길이의 변화가 나타나 척수 반사 흥분 능력을 촉진시키고[10], 직접적으로 자극 받은 부위 뿐만 아니라 주변 근육에도 긍정적인 효과가 나타나며[11], 혈액량과 혈류속도를 증가시켜 말초 혈액 순환을 증진시켜 근피로 감소에 효과적이기 때문에 전신 진동운동과 결합한 운동방법들이 제시되고 있다[12]. 전신 진동 운동에 관한 많은 관심과 연구들이 진행 중에 있으며, 전신 진동 운동을 결합하여 여러 운동 프로그램을 접목시키는 다양한 연구들도 진행되고 있으나[13], 근활성도는 근피로와 밀접한 관계를 가지고

있음에도 불구하고, 근활성도에 변화에 대한 단편적인 연구들이 대부분이다. 따라서 본 연구는 전신 진동 운동을 결합한 스쿼트 운동을 무릎넵다리 통증 증후군 환자에게 적용하여 무릎 주위 근육들의 근활성도와 근피로도에 미치는 영향을 규명하여, 향 후 임상에서 무릎넵다리 통증 증후군 환자들의 치료적 접근 방법에서 있어서 임상적 기초자료를 제공하기 위해 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 2019년 3월부터 2019년 8월까지 전라남도에 소재한 J 병원에 근무하고 있는 직원 137명을 대상으로 사전 설문지인 Kujala patellofemoral score (KPS)을 통해 80점 이상 90점 미만인 무릎관절의 기능부전[15]을 가지고 있는 18명을 최종 표본 추출하였으며, 무릎관절을 포함한 다리 모든 관절에 정형외과적 수술이나 치료를 받지 않은 자, 엉덩관절과 무릎관절, 발목관절에 변형과 주위 근육들의 구축이 없는 자, 최근 헬스 등의 근력 강화 운동을 하지 않는 대상으로 본 연구의 목적을 이해하고 연구에 자발적으로 참여한 자를 연구대상자로 선정하였으며, 일반적 특성은 다음과 같다 (Table 1).

2. 실험방법

1) 연구 설계

본 연구는 무릎관절의 기능부전을 가지고 있는 18명을 표본 추출하여, 스쿼트 운동만 하는 집단을 실험군 I로, 전신 진동 운동을 병행한 스쿼트 운동을 하는 집단을 실험군 II로 무작위 배치하여, 중재 전 사전 검사로 표면근전도(Surface Electromyography; sEMG)를 활용하여 안쪽넓은근(vastus medialis), 가쪽넓은근(vastus lateralis)의 근활성도와 근피로도를 측정하고, 각 집단의 중재는 총 2주간, 주 4회, 1일 1회, 1회 3세트, 세트당 20회 중재 프로그램을 시행한 후, 사후 검사는 사전 검사와 동일하게 재측정하였다.

Table 1. General Characteristics

| Items | Experimental Group I (n = 9) | Experimental Group II (n = 9) | P' |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------|
| Age | 35.60 ± 3.78 | 36.24 ± 3.03 | .888 |
| Height (cm) | 169.92 ± 4.21 | 167.32 ± 4.87 | .761 |
| Weight (kg) | 69.20 ± 12.99 | 66.4 ± 5.55 | .135 |
| Measuring Area (right / left) | 8 / 1 | 8 / 1 | |
| KPS (score) | 84.83 ± 3.35 | 85.62 ± 3.36 | .888 |

'Levene's test

KPS: Kujala patellofemoral score

2) 전신 진동 운동(Whole-body vibration exercise)

전신 진동 운동(WellengangGmb Otisheim, Germany)은 다양한 진폭과 진동수 자극을 통해 근방추와 같은 감각수용기에 기계적인 자극을 줌으로써 고유수용성 감각을 강화시키며, 근방추의 일차종말 신경을 자극하여 Ia 들신경원들의 활동을 증가시켜 더 강한 알파운동 신경의 출력을 유발하고, 운동단위의 동원률을 증가하여 근 활성화에 긍정적인 변화를 주기도 하며, 근-신경계의 반응과 적응을 이끌어 근피로도에도 영향을 줄 수 있는 방법이다[14].

3) 근활성도 및 근피로도 측정

다리 근활성도 및 근피로도 측정을 하기 위해 표면 근전도 MP100(Biopac system, USA) 2채널을 사용하였으며, 근전도 신호 수집을 위한 표본 추출율(sampling rate)은 1,000 Hz로 하였고, 주파수 대역 필터는 30-450 Hz 설정하였다. 근전도 신호의 피부저항을 최소화하기 위해 대상자들의 피부에서 털을 제거하고 가는 사포를 이용하여 각질을 제거한 뒤 알코올 솜으로 문질러 피부를 청결히 한 후, 2개의 Ag/AgCl 표면 전극을 사용하여 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근복(muscle belly)에 근섬유와 평행한 방향으로 2 cm 간격으로 부착하였다. 먼저 근활성도 측정방법은 김기철[15]연구 방법을 본 연구에 맞게 수정하였고, 각 집단의 대상자들은 편안하게 선 자세에서 10초 동안 근전도 신호를 채취하였으며, 시작과 끝 2초를 뺀 6초 구간을 3회 측정하여 평균값을 구하여 이를 기준 동작 시 실효치 진폭 값으로 설정하였다. 특정 동작 시 실효치 진폭 값은 팔 겹이기가 없는

대상자들의 앉기-일어서기 동작을 측정하기 위해 우선 팔겹이기가 없는 등받이만 있는 의자를 활용하여 대상자들의 허리는 똑바로 편 상태를 취하고 고개는 정면을 향하여 시선이 전방을 주시하도록 하였고, 양 손은 허리에 두고 치료사의 “시작”이라는 구두 지시에 따라 대상자들은 앉은 자세에서 일어서기 동작을 시행하였다. 동작 시 객관적인 평가를 위해 메트로놈(metronome)을 활용하여 10초 동안 반복적으로 앉기-일어서기 동작을 3회 측정하여 평균값을 특정 동작 시 실효치 진폭 값으로 설정하였다. 이들의 근활성도를 정규화하기 위해 기준 동작 시 실효치 진폭 평균 값을 특정 동작 시 실효치 진폭 평균값으로 나눈 후 백분율(%)하여 정규화하였으며, 측정 간 2분의 휴식시간을 동일하게 적용하였다. 근피로도 측정은 30초 동안 약 60° 스쿼트 동작을 유지한 상태에서 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 처음과 끝 10초를 뺀 10초 구간을 3회 측정하여 중앙주파수 값을 측정하였다.

3. 중재 방법

각 집단의 대상자들의 중재 프로그램을 적용하기 전에 스쿼트 동작의 무릎 각도를 항상 일정하게 유지하기 위해 각도계(goniometer)를 활용하여, 무릎관절 60° 굽힘시 골반 높이를 벽에 표시한 후, 실험군 I의 중재 프로그램은 벽에 기대어 무릎굽힘 60° 스쿼트 동작을 적용하였으며, 실험군 II의 중재프로그램은 전신 진동 운동기를 활용하여 25-45 Hz 주파수로 설정하여 진동 기구 위에서 벽에 기대어 무릎굽힘 60° 스쿼트 동작을 총 2주 간 주 4회 1일 1회, 1회 3세트, 세트당 20회를

Table 2. Comparisons of Changes in Muscle Activity and Muscle Fatigue for Experimental Group I

| Items | Experimental Group I (n = 9) | | t | P' | |
|---------|------------------------------|---------------------|---------------|--------|-------|
| | Pre-test M ± SD | Post-test M ± SD | | | |
| %RVC | Vastus Medialis | 98.08 ± 0.34 | 100.58 ± 1.40 | -4.134 | .014* |
| | Vastus Lateralis | 93.22 ± 0.75 | 95.94 ± 1.16 | -4.340 | .012* |
| MF (Hz) | Vastus Medialis | 97.22 ± 1.45 | 94.03 ± 1.86 | -4.545 | .013* |
| | Vastus Lateralis | 95.71 ± 3.17 | 92.02 ± 4.05 | -3.681 | .021* |

*Paired t-test

*p < .05

%RVC: %Reference voluntary contraction

MF: Median frequency

시행하였다. 이때 각 집단의 스쿼트 동작 시 양 발을 어깨 넓이만큼 벌리고 무릎이 발끝의 나오지 않도록 치료사의 지도 의해 중재프로그램을 적용하였으며, 중재 프로그램 적용 후 통증을 조절하기 위해 아이스 팩 (Icing) 10분을 모든 집단에 적용하였다.

4. 자료분석

본 연구의 자료 처리는 Window용 SPSS 20.0을 이용하여 측정항목에 대한 평균과 표준편차를 산출하였으며, 연구대상자의 일반적 특성에 대한 동질성을 Levene의 등분산 검정(Levene's test)을 실시하였다. 그리고 각 집단 내 근활성도와 근피로도 변화를 알아보기 위해 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 사용하였고, 각 집단 간의 근활성도와 근피로도 변화를 비교하기 위해 공분산 분석(ANCOVA)을 사용하였으며, 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 실험군 I의 넙다리네갈래근의 근활성도 및 근피로도 변화 비교.

실험군 I의 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도 및 근피로도를 분석한 결과, 근활성도에서는 모든 근육에서 유의한 차이가 있었으며($p < .05$)(Table 2), 근피로도에서도 모든 근육에서 유의한 차이가 있었다($p < .05$)(Table 2).

2. 실험군 II의 넙다리네갈래근의 근활성도 및 근피로도 변화 비교.

실험군 II의 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도 및 근피로도를 분석한 결과, 근활성도에서는 모든 근육에서 유의한 차이가 있었으나($p < .01$)(Table 3), 근피로도에서도 모든 근육에서 유의한 차이가 없었다.

3. 각 집단 간 넙다리네갈래근의 근활성도 및 근피로도 변화 비교.

집단 간 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도 및 근피로도를 분석한결과, 근활성도는 모든 근육에서 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 근피로도에서는 모든 근육에서 집단 간 유의한 차이가 나타났다($p < .05$)(Table 4).

IV. 고 찰

스쿼트 운동은 다리 근력 강화를 위한 닫힌 사슬 운동 방법 중 하나로써 열린 사슬 운동의 비해 효과적으로 근활성도 변화를 나타낼 수 있다[16]. 넙다리 통증 증후군이 있는 환자들을 대상으로 열린 사슬운동과 닫힌 사슬 운동을 적용한 결과 두 집단 보다 효과적으로 관절의 안정성과 근력 증진에 효과적이지만, 닫힌 사슬 운동이 조금 더 관절의 안정성과 근력향상에 기여한다고 하였다[17]. 또한 닫힌 사슬 운동인 스쿼트 운동을 환자에게 적용은 고유수용성감각에 긍정적인 영향을

Table 3. Comparisons of Changes in Muscle Activity and Muscle Fatigue for Experimental Group II

| Items | Experimental group II (n = 9) | | t | P' | |
|---------|-------------------------------|---------------------|---------------|--------|-------|
| | Pre-test M ± SD | Post-test M ± SD | | | |
| %RVC | Vastus Medialis | 99.02 ± 1.15 | 102.87 ± 1.39 | -6.398 | .003* |
| | Vastus Lateralis | 95.12 ± 1.82 | 97.33 ± 1.91 | -5.435 | .006* |
| MF (Hz) | Vastus Medialis | 92.55 ± 2.70 | 91.62 ± 2.92 | -1.492 | .208 |
| | Vastus Lateralis | 92.34 ± 5.92 | 91.95 ± 4.82 | -.463 | .668 |

*Paired t-test

*p < .01

%RVC: %Reference voluntary contraction

MF: Median frequency

Table 4. Comparison of Changes in Muscle Activity and Muscle Fatigue for between Groups

| Items | Groups | Pre-test M ± SD | Post-test M ± SD | F | P' | |
|---------|------------------|--------------------|---------------------|---------------|-------|-------|
| %RVC | Vastus Medialis | E-group I | 98.08 ± 0.34 | 100.58 ± 1.40 | 2.802 | .138 |
| | | E-group II | 99.02 ± 1.15 | 102.87 ± 1.39 | | |
| | Vastus Lateralis | E-group I | 93.22 ± 0.75 | 95.94 ± 1.16 | .011 | .920 |
| | | E-group II | 95.12 ± 1.82 | 97.33 ± 1.91 | | |
| MF (Hz) | Vastus Medialis | E-group I | 97.22 ± 1.45 | 94.03 ± 1.86 | 7.259 | .031* |
| | | E-group II | 92.55 ± 2.70 | 91.62 ± 2.92 | | |
| | Vastus Lateralis | E-group I | 95.71 ± 3.17 | 92.02 ± 4.05 | 5.627 | .049* |
| | | E-group II | 92.34 ± 5.92 | 91.95 ± 4.82 | | |

*ANCOVA

*p < .05

E-group I: Experimental group I, E-group II: Experimental group II

%RVC: %Reference voluntary contraction

MF: Median frequency

준다고 하였다[18]. 본 연구에서도 두 집단 모두 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도에 유의한 차이가 나타나 선행연구를 지지한 결과를 도출할 수 있었다. 그러나 스쿼트 운동은 동적인 움직임과 관절의 하중 부하로 인해 다른 다리 운동에 비해 많은 근피로가 누적되기 때문에, 이를 보완하기 위해 다양한 연구방법들이 진행되고 있다.

근피로는 근전도 상에서 주파수 값이 높아지면 속근 섬유유의 근비대가 원인이 되어 주파수 스펙트럼이 고주

파 대역에서 저주파 대역으로 이동은 근 피로 증가 또는 근 지구력 감소 현상이라고 하였으며[19], 고주파에서 저주파 이동하는 원인은 운동단위의 활동 빈도, 전도 속도, 근막의 흥분성 감소 등의 변화로 보고 있어, 운동 시 이를 보완할 수 있는 방법들이 필요하다[19,20]. Kim 등[21]은 스쿼트 운동의 단점을 보완하기 위해 수중에서 스쿼트 운동을 시킨 결과, 다리의 근활성도 증가뿐만 아니라 체중부하의 부담감을 줄여 근피로를 예방할 수 있었다고 하였고, 또 다른 방법으로는 전신 진동

운동을 병행하여 스쿼트 운동을 적용한 연구에서는 전신진동 운동이 스쿼트 운동시 다리 근육의 평균 파워 빈도를 감소시켜 근피로가 개선할 수 있다고 하였다 [14]. 스쿼트 운동과 같은 다리의 체중 부하가 있는 운동을 전신 진동운동을 병행함으로써 근육의 피로물질 농도인 젖산과 젖산탈수소효소에 긍정적인 영향을 주어 근피로를 예방할 수 있다고 하였다[22]. 본 연구에서도 스쿼트 운동만 적용한 집단에서는 근피로가 유의한 차이를 보여 근피로가 발생되고 있음을 알 수 있었지만, 전신 진동 운동을 결합한 스쿼트 운동을 적용한 집단에서는 근피로의 유의한 차이가 나타나지 않아 근피로를 예방할 수 있어 선행연구들을 결과를 뒷받침할 수 있었다.

본 연구는 넓다리 통증 증후군을 대상으로 더 효과적인 운동방법을 제시하기 위해 스쿼트 운동만 적용한 집단과 전신 진동운동을 병행한 스쿼트 운동을 적용한 집단의 집단 간 다리 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도와 근피로도를 비교한 결과, 근활성도에서는 두 집단 간 유의한 차이가 없었다. 이는 선행연구와 다르게 중재 기간이 매우 짧기 때문에 차이가 나타나지 않는 것으로 사료되며, 앞으로 지속적인 중재가 이루어진다면 차이가 나타날 것으로 생각된다. 그러나 근피로도에서는 유의한 차이가 나타났으며, 전신 진동운동을 병행한 스쿼트 운동이 스쿼트 운동을 적용한 집단보다 근피로도 발생을 더 효과적으로 예방할 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 전신진동 운동이 직접 자극받은 부위 뿐만 아니라 무릎 주위 근육들에게도 근육의 탄성 특성과 펌 반사 수축이 더 효과적으로 자극을 줄 수 있으며[23], 근활성도 변화에 있어서 효과적인 운동방법임을 제시할 수 있다. 그리고 근피로도에서는 스쿼트 운동이 고강도 운동으로 근육 혈관의 탄력성이 저하되어 혈류 내 산소공급을 저하시켜 근피로도가 발생시키는 반면[24], 전신 진동운동 병행은 신경근 작용을 촉진시키고, 산소 소비와 근육의 온도 및 탄력을 증가시켜 말초 및 중추 신경계를 자극되어 혈류 내 산소 공급이 더 효과적으로 나타난다[25]. 즉, 전신 진동은 단일 근육에만 효과가 나타날게 아니라 주위 근육들에게도 근활성화를 시키고 많은 근육들의 운동 단위를 활성화 시킴으로써, 움직임에 있어서 다른 근육들이 보상작용 역할

을 해주기 때문에[9] 근 피로 예방에 효과적인 운동방법임을 알 수 있었다.

본 연구의 제한점은 1개의 의료기관에서 대상자 선정 기준에 적합한 대상자들만 실험을 진행하였기에 일반화에 있어서 한계점과 연구대상자의 성별, 유병기간, 복용약물 및 일상생활을 통제하지 못하였기에 각각의 변수가 나타날 수 있어 연구결과에 영향을 미칠 수 있다.

V. 결 론

무릎넓다리 통증 증후군으로 무릎 기능 부전이 있는 대상으로 전신 진동 운동을 병행한 스쿼트 운동 적용은 더 효과적으로 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도를 효과적으로 증진시킬 뿐만 아니라, 근피로도 발생을 효과적으로 예방할 수 있는 운동 방법임을 제시할 수 있으며, 향 후 무릎 통증이 있는 환자들을 대상으로 전신 진동 운동을 병행하여 그 효과를 알아보는 다양한 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgment

본 논문은 2021년 세한대학교의 학술연구비에 의하여 지원되었다.

References

- [1] Crossley KM, Callaghan MJ, van Linschoten R. Patellofemoral pain. *Br J Sports Med.* 2016;50(4):247-50.
- [2] Esculier JF, Roy JS, Bouyer LJ. Lower limb control and strength in runners with and without patellofemoral pain syndrome. *Gait Posture.* 2015;41(3):813-9.
- [3] dos Anjos Rabelo ND, Costa LOP, de Lima BM, et al. Adding motor control training to muscle strengthening did not substantially improve the effects on clinical or kinematic outcomes in women with patellofemoral pain: A randomised controlled trial. *Gait Posture.* 2017;58: 280-6.

- [4] Hu H, Zheng Y, Liu X, et al. Effects of neuromuscular training on pain intensity and self-reported functionality for patellofemoral pain syndrome in runners: study protocol for a randomized controlled clinical trial. *Trials*. 2019;20(1);409.
- [5] 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.
- [6] Loturco I, Pereira LA, Abad, et al. Using bar velocity to predict maximum dynamic strength in the half-squat exercise. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(5); 697-700.
- [7] Raeder C, Wiewelhove T, Westphal-Martinez MP, et al. Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *J Strength Cond Res*. 2016;30(4);953-65.
- [8] Yang X, Wang P, Liu C, et al. The effect of whole body vibration on balance, gait performance and mobility in people with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2015;29(7);627-38.
- [9] Jo YR. The Effect of Frequency to Whole body Vibration Exercise on Ankle Joint Spasticity and Gait Performance in Patients with Chronic Stroke. Master's Degree. Honam University. 2018.
- [10] Yule CE, Stoner L, Hodges LD, et al. Does short-term whole-body vibration training affect arterial stiffness in chronic stroke? A preliminary study. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(3);996-1002.
- [11] Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol*. 2000;20(2);134-42.
- [12] Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*. 2001;21(3);377-82.
- [13] Veerbeek JM, van Wegen E, van Peppen R, et al. What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLoS one*. 2014;9(2); 1-33.
- [14] Torvinen S, Kannus P, SievaEnen H, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002;22(2);145-52.
- [15] Kim GC. Effect of visual feedback squat on lower extremity alignment and muscular function of young adults with patellofemoral pain syndrome. Doctor's Degree. Daegu University. 2013
- [16] Ebert JR, Edwards PK, Fick DP, et al. A systematic review of rehabilitation exercises to progressively load the gluteus medius. *J Sport Rehabil*. 2017;26(5);418-36.
- [17] Nobre T. Comparison of exercise open kinetic chain and closed kinetic chain in the rehabilitation of patellofemoral dysfunction: an updated revision. *Clin Med Diagn*. 2012;2;7-11.
- [18] Van der Heijden RA, Lankhorst NE, Van Linschoten R, et al. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome: an abridged version of Cochrane systematic review. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(1);110-33.
- [19] Portero P, Bigard AX, Gamet D, et al. Effects of resistance training in humans on neck muscle performance, and electromyogram power spectrum changes. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84(6);540-46.
- [20] Park HY. The effect of the BRCS(body roller core stabilization) Exercise on the strength and activity of lumbar muscle, muscle fatigue and visual analogue of woman patients with low back pain. Doctor's Degree. Changwon National University. 2018.
- [21] Kim KH, Koo GH, Yang CH. Effects of Water Depth on Lower-limb EMG and RPP in Aquatic Squat. *Indian J Public Health Res Dev*. 2018;9(12);2144-50.
- [22] Lee SW. The effect of whole body vibration exercise on lower-limb strength, fitness variables and fatigue stuff in male adolescents. Doctor's Degree. KyungHee University. 2017.
- [23] Lage VK, Lacerda ACR, Neves CD, et al. Cardiorespiratory responses in different types of squats and frequencies

- of whole body vibration in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol.* 2018; 126(1);23-9.
- [24] Sanudo B, Cesar-Castillo M, Tejero S, et al. Cardiac autonomic response during recovery from a maximal exercise using whole body vibration. *Complement Ther Med.* 2013;21(4);294-9.
- [25] Cochrane D. The sports performance application of vibration exercise for warm-up, flexibility and sprint speed. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(3);256-71.