

전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동이 무릎 과 폼을 가진 만성 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각에 미치는 영향

이희진 · 이한숙[†]

SRC 재활병원 물리치료실, ¹을지대학교 물리치료학과

Effects of Squat Exercise with Whole-Body Vibration on Proprioception in Chronic Stroke Patients with Knee Hyperextension

Hee Jin Lee, PT, MS · Han Suk Lee, PT, PhD[†]

Department of Physical Therapy, SRC Rehabilitation Hospital

¹Department of Physical Therapy, Eulji university

Received: March 4, 2025 / Revised: March 24, 2025 / Accepted: May 6, 2025

© 2025 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the effects of the squat exercise combined with whole-body vibration (WBV) on proprioception in chronic stroke patients with knee hyperextension.

METHODS: A randomized controlled trial was conducted with 25 chronic stroke patients assigned to either the experimental group (n = 11), performing squat exercises with WBV, or the control group (n = 14), performing only squat exercises. Both groups exercised five times per week for six weeks. Proprioception was assessed using the joint position sense test. Statistical analyses included the Friedman test for

within-group comparisons, the Mann-Whitney U test for between-group differences, and the Wilcoxon signed-rank test for post-hoc analysis. Two-way ANOVA was used to assess the interaction effects of time and group.

RESULTS: Both groups showed significant improvements in proprioception over the 6 weeks ($p < .05$). A greater improvement was observed between 0 and 6 weeks in the experimental group compared to the control group ($p < .05$). The Mann-Whitney U test confirmed a **significant difference** in proprioception enhancement, favoring the experimental group.

CONCLUSION: The squat exercise combined with WBV effectively enhances proprioception in chronic stroke patients with knee hyperextension. This intervention demonstrates superior benefits compared to squat exercises alone and may serve as a valuable rehabilitation strategy for improving proprioceptive function.

Key Words: Knee joint, Proprioception, Stroke Rehabilitation, Whole body vibration

[†]Corresponding Author : Han Suk Lee
leehansuk21@hanmail.net, <https://orcid.org/0000-0002-9336-0894>
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.

I. 서론

뇌졸중 환자의 재활에 있어서 우선적으로 해결해야 할 과제는 장기간 동안 사용하지 않아서 생기는 전체적인 운동능력 수준의 저하 즉, 일반인과 비교하여 상대적으로 현저히 저하된 마비된 근력과 비정상적으로 증가되는 근육의 과 긴장도(hypertonicity)이다.[1] 뇌졸중 환자의 보행패턴에서 40~60%의 무릎과 발꿈치는 흔하게 볼 수 있는 운동학적 문제이다. 무릎과 발꿈치는 보행의 디딤기 구간에서 충격 흡수를 위한 무릎관절의 정상적인 굽힘이 아닌 해부학적인 중립적인 위치를 넘는 무릎 굽음을 의미한다.[2] 이는 지면 반발력이 무릎 앞을 통과함으로써, 넙다리 네갈래근이 약한 환자에게 무릎과 발꿈치를 유발한다. 무릎과 발꿈치는 보행속도를 저하시키고 보행의 효율을 감소시키며, 무릎 전방 부위 힘의 사용을 증가시켜 2차적인 문제로 무릎관절 통증을 유발한다.[3-5]

무릎과 발꿈치의 원인으로는 넙다리 네갈래근의 약화 또는 경련, 볼기근 군의 약화로 골반의 앞쪽 기울임으로 인한 허리 뼈의 과 굽음, 발목의 발바닥 굽힘근 경직, 고유수용성 장애 등이 있다. 이렇듯 무릎과 발꿈치는 한 가지만의 원인이 아닌 하지의 불균형한 근력저하와 고유수용성 장애 등의 복합적인 문제로 보인다.[6].

Guo 등(2015)[7]은 무릎과 발꿈치가 있는 뇌졸중 환자를 대상으로 8주간 전신진동자극과 무릎을 0-15도 이내로 굽힌 상태에서 한쪽 다리로 훈련을 실시한 결과, 10m 보행 시 무릎과 발꿈치 횡수가 감소하고 보행속도가 향상되었음을 보고하였다. Kang 등(2021)[8]은 슬개 대퇴 통증 증후군 환자를 대상으로 전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동을 2주간 적용한 결과 넙다리 네갈래근의 활성도가 증가하고 근 피로 감소에 유의한 효과를 보였다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 전신진동자극이 하지 근육의 효율적인 동원을 촉진하고, 근 기능 회복을 통해 균형 및 고유수용성 감각 개선에 기초적인 효과를 줄 수 있음을 시사한다.

더불어, Moon과 Kim(2014)[9]은 뇌졸중 환자를 대상으로 단한 사슬 저항운동을 4주간 적용한 결과, 보행속도, 활보장, 분속수, TUG, FGA 점수뿐 아니라 체중중

심의 흔들림 각도까지 전반적인 보행 관련 지표에서 유의한 향상을 확인하였다. 특히 열린 사슬 운동과 비교했을 때, 단한 사슬 운동이 보행기능 개선에 더 효과적이었다고 보고하였다. 이러한 결과는 단한 사슬 운동이 근육 간 협응과 관절 정렬을 향상시키며, 기능적 관절 위치에서의 기계적 압력이 연부 조직의 활성화를 촉진하여 시간적 보행 변수를 개선한다는 선행연구들과도 일치한다.

또한, Van Nes 등(2004)[10]은 발병 6개월 이상의 뇌졸중 환자의 23명을 대상으로 스쿼트 자세를 유지하며 1분 간격으로 45초간 4회씩 주파수 30Hz 전신진동자극을 실시하였다. 자세 조절 변화를 평가하기 위해 중심압력(center of pressure)의 이동과 위치를 측정하였으며, 30초 동안 체중이동을 하는 과정을 눈을 뜨고 감고 반복 평가를 진행하였다. 그 결과, 눈을 감고 체중이동을 하는 과정에서 중심압력의 이동이 유의미하게 증가하여 시각 정보를 차단된 상태에서도 고유수용성 감각에 의존한 균형 유지 능력이 향상됨을 확인하였다. 이는 전신진동자극이 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각 조절 능력을 조절을 증진시키는 데 효과적임을 보여준다.

근골격계 및 신경계 손상 환자의 하지 근력 강화의 운동 방법으로 단한 사슬운동이 권장되고 있다. 이는 일상생활에서 흔히 사용되는 단한 사슬 동작을 통해 기능적인 과제를 보다 쉽게 수행할 수 있으며, 무릎관절의 손상이나 앞 십자인대의 손상을 예방할 수 있기 때문이다.[11] 특히, 스쿼트 운동은 단한 사슬 운동의 대표적인 운동법으로, 관절과 근육의 협응적 움직임을 촉진하고 고유수용성 감각을 자극하여 기능적인 근 동원을 유도하며[12] Dalal 등(2018)[13]은 편마비 환자를 대상으로 스쿼트 운동을 이용한 고유수용성 훈련과 무릎을 구부리는 보행 훈련을 실시한 결과, 무릎과 발꿈치는 감소하고 발바닥 굽힘 범위와 위스콘신 보행 등급(wisconsin gait scale, WGS) 점수가 향상됨을 보고하였다.

선행연구에 따르면, 뇌졸중 환자의 보행 문제는 고유수용성 감각 장애와 밀접한 관련이 있으며, 이를 해결하기 위한 방법으로, 스쿼트 운동과 전신진동자극이 효과적임이 확인되었다. 특히, 두 가지 운동 방법을 결

합할 경우 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각 향상에 시너지 효과를 기대할 수 있다. 그러나 기존 연구들은 주로 보행이나 균형 능력 평가에 집중되어 있으며, 고유수용성 감각 자체에 대한 연구는 부족하였다.

따라서 본 연구의 목적은 무릎과 발목이 있는 뇌졸중 환자에게 스쿼트 운동을 적용한 전신진동자극이 고유수용성 감각에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

II. 연구방법

본 연구는 무작위 대조군 시험(Randomized Controlled Trial, RCT)으로, 2023년 2월부터 7월까지 경기도 K시 소재 S 재활병원에 입원 중인 뇌졸중 진단을 받은 지 6개월 이상 경과한 환자 중 연구 참여에 자발적으로 동의한 환자를 대상으로 진행되었다. 연구 시작 전 E대학교 기관생명윤리 위원회로부터 연구 승인을 받았다(승인 번호: EUIRB2022-093).

1. 연구 대상자 선정 및 제외 기준

선정된 총 29명의 만성 뇌졸중 환자 대상자의 이름이 적힌 종이를 접어 섞고 단순 무작위 배정(simple randomization) 방식으로 실험군(WVS)과 대조군(NVS)에 배정하였다. 중재와 평가는 동일한 물리치료사가 담당하였으며, 실험 전(0주 차), 중간(3주 차), 실험 후(6주 차)의 총 세 차례 평가를 동일한 조건과 절차로 실시하였다. 모든 평가는 1:1로 진행되었으며, 검사 전후 대상자의 컨디션 및 안전 상태를 점검하고, 낙상 등 돌발 상황에 대비하여 실험 환경을 일정하게 유지하였다. 대상자 수 산출은 G*Power 3.1.9.7 프로그램을 사용하였으며, 효과 크기(effect size) .50, 유의수준(α) .05, 검정력(power) .80을 기준으로 필요한 최소 대상자 수는 34명으로 산출되었다. 연구 참여 희망자 모집 이후 선정 기준에 따라 최종 29명의 대상자가 연구에 포함되었다(Actual power = .81).

연구 대상자의 선정 기준은 다음과 같다.

1) 뇌졸중 진단을 받은 지 6개월 이상인 자 2) 한국형 간이 정신상태 검사(Korean Mini-Mental State Exam-

ination, K-MMSE) 24점 이상으로 의사소통과 이해가 가능한 자 3) 보행 시 디딤기 구간에서의 무릎과 발목을 보이는 자(선 자세에서 무릎 펴는 각도가 5도 이상, 10도 미만 인자) 4) 발목 발바닥 굽힘 근 긴장도 등급이 2이하인 자 5) 기능적 보행 지수(Functional Ambulatory Category, FAC)가 2점 이상으로 협응, 균형을 돕기 위해 1인의 간헐적인 도움이 필요한 자 7) 혼자서 스쿼트 동작이 가능한 자 8) 최근 6개월간 정형외과적 질환이 없는 자 9) 30세 이상 80세 이하인 자 10) 실험 내용에 대해 충분히 이해하고 자발적 동의 의사를 밝힌 자.

제외기준은 1) 과거력으로 전정기관에 문제가 있는 자 2) 혼자서 스쿼트 동작 시 엉덩이 관절, 무릎 관절, 허리에 통증을 호소하는 자 3) 실험기간 동안 신체 상태의 악화로 실험을 진행할 수 없는 자이다.

2. 연구 절차

연구 초기(0주 차)부터 3주 차 사이에 무릎관절의 간헐적 통증, 중도 퇴원, COVID-19 감염으로 인한 컨디션 저하로 실험군 3명, 대조군 1명 중도 탈락하여, 최종적으로 실험군(WVS) 11명, 대조군(NVS) 14명의 자료를 분석하였다. 두집단은 각각 주 5회, 1회당 30분간 총 6주간 물리치료를 받았으며, 평가는 0주, 3주, 6주





Fig. 1. Galileo Med L, Novotec-Germany, 2018.

차로 설정하여 각 시점마다 고유수용성 감각 평가를 진행하였다. 실험 군(WVS)은 전신진동자극과 스쿼트 운동을 병행하였고, 대조군(NVS)은 스쿼트 운동만을 수행하였다. 전신진동자극의 경우 실험 군은 전신 진동기(Galileo Med L, Novotec-Germany, 2018) 위에 발뒤꿈치 간 거리를 골반 너비보다 넓게 두고 독립적으로 선 자세에서 스쿼트 동작을 병행하여 수행하였다(Fig. 1). 전신진동 세기의 설정은 정적 자세에서 진동 주파수 26hz의 세기를 적용했을 때 근 활성도가 가장 높았다는 선행 연구와[14] 뇌졸중 환자를 대상으로 진동 주파수 20hz의 세기를 적용 했을 때 무릎 신전 토크가 증가했다

는 선행연구[15], 최대 30hz 이상을 사용하였을 때에는 정상인도 근 피로를 일으킬 수도 있다는 선행연구[16]를 토대로 21~29hz로 범위를 설정하였으며 근력 강화 훈련에 맞는 규약을 기준으로 1단계 21~23hz, 2단계 24~26hz, 3단계 27~29hz로 나누어 대상자의 수준에 맞게 진행하며 진폭은 4mm로 설정한다.[10] 발뒤꿈치 간 거리를 골반 넓이보다 넓게 두고 독립적으로 선 자세에서 실시하였다. 운동 시 엄지발가락의 외반 각도를 9도로 유지하고, 발바닥 전체가 지면에 고르게 접히도록 하였으며, 가슴을 편 상태에서 허리를 안으로 말리지 않게 긴장을 유지하면서 무릎을 60도까지 굽혔다

Table 1. Whole body vibration stimulation with squat exercise

5min	Warm up Exercise: Lower extremity stretching exercise Core stability exercise	
20min	Starting position	Ending position
		
5min	Cool down Exercise: Relax breathing exercise Whole body stretching exercise	

Maintain squat 15second, Total 10 times x 3set

Vibration setting:

Amplitude 4mm, frequency 21~29Hz

Posture and movement: Squat

1 set, 1 minute rest



[17,18,8]. 이때 무릎 관절이 발목 관절보다 앞으로 나가 지 않도록 주의하였으며, 상체를 곧게 세운 상태를 유지하였다. 각 세트는 총 10회의 스쿼트 동작으로 구성 되었고, 1회당 15초 이내에 완료하였으며, 두 집단 모두 3세트를 진행하고 세트 간 1분간 휴식을 취하였다 (Table 1,2).

3. 평가도구

본 연구에서 사용한 관절 위치 감각 측정은 특정 위치를 재현하는 능력의 정확도를 평가하는 것으로 미리 설정한 위치를 피험자가 능동적으로 재현하고 그

정확도를 평가하는 방법이다. 관절 위치 감각 검사는 고유수용성 감각기능의 저하 여부와 치료 전후의 비교 하는 척도로서 평가하는 데 있어 사용되고 있으며(ICC = 0.54)[19], 고유수용성 감각은 관절 위치 감각을 통해 의식적으로 인식할 수 있으므로, 본 연구에서는 전자 관절 각도 측정기(Plastic digital goniometer, IM-1397, WING)를 사용하여(Fig. 2) 무릎관절의 위치 감각 을 평가하였다. 측정 방법으로 대상자는 앉은 자세에서 보상에 대한 움직임을 최소화하기 위해 골반과 몸통은 고정된 상태를 유지하고 시각적 정보 또한 차단 하였다. 검사자는 대상자의 무릎 관절을 굽힘 시켜 10

Table 2. Squat exercise

5min	Warm up Exercise: Lower extremity stretching exercise Core stability exercise	
20min	Starting position	Ending position
		
5min	Cool down Exercise: Relax breathing exercise Whole body stretching exercise	

Maintain squat 15second, Total 10 times x 3set
 Posture and movement: Squat
 1 set, 1 minute rest



Fig. 2. Plastic digital goniometer, IM-1397, WING

초간 관절 위치를 기억하게 하고, 대상자는 5초간 정지한 상태에서 무릎 관절을 능동적으로 움직여 특정 위치를 유지하도록 하였다. 이후 3번에 걸쳐 반복 측정을 시행하여 평균값을 기록하였고 반복 측정 간에는 10초의 간격을 두어 정확도를 높였다. 최종적으로 측정된 각도와 임의로 설정된 기준 각도 간의 차이를 절대 오차 값으로 계산하였다. 이 절대 오차 값이 클수록 관절 위치 인식 정확도가 낮음을 의미한다. 이와 같은 평가 방법을 통해 고유수용성 감각의 정확성을 정량적으로 분석하였다.

4. 분석방법

본 연구는 수집된 자료 분석을 위해 통계분석 프로그램인 SPSS (version 29.0.1.0; IBM, Armonk, NY, USA)를 사용하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 평균과 표준편차로 기술하였으며 정규성 검정 결과 정규분포를 충족한 연속형 변수에 대해서는 독립 표본 t-검정 (independent t-test)을, 범주형 변수(성별)에 대해서는

카이제곱 검정(Chi-square test)을 사용하여 두 집단 간의 동질성을 분석하였다. 고유수용성 감각은 정규성을 만족하지 않으므로 비모수 통계 방법을 사용하였다. 고유수용성 감각의 변화량의 집단 간의 분석을 위해 맨휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)을 실시하였다. 고유수용성 감각의 변화량에 대해 0주, 3주, 6주에 걸친 치료기간에 따른 변화와 두 집단간의 상호작용 효과를 분석하기 위해 프리드만 검정(Friedman test) 실시하였으며, 사후 검정을 위해 윌콕슨 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test) 실시하였다. 또한, 정규성 충족 여부와 무관하게 반복 측정 설계 하에서 시간과 집단 간 상호작용을 파악하기 위해 이원 배치 반복 측정 분산분석(Two-Way Repeated Measures ANOVA)을 추가적으로 실시하였다. 모든 분석에서 통계적 유의수준 (α)은 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적인 특성은 평균과 표준편차로 기술하였다. 그 결과, 연령, 신장, 체중, MMSE-K, MAS (Modified Ashworth Scale), FAC 점수는 실험 군과 대조군 간에 유의한 차이가 없었다($p > .05$).

Table 3. General characteristics of the subjects

Category	Experimental group(n = 11)	Control group(n = 14)	p
Gender(Male/Female)	9/2	6/8	.014*
Age(yr)	66.55 ± 14.35	56.64 ± 11.40	.432
Weight(kg)	71.18 ± 12.95	71.14 ± 9.16	.254
Height(cm)	166.09 ± 9.35	165.14 ± 11.37	.137
MMSE-K	28.64 ± 1.29	28.36 ± .93	.091
MAS	2.09 ± .30	2.43 ± .76	.132
FAC	3.00 ± 0.89	2.50 ± .65	.304

Values are mean ± standard deviation

MMSE-K: Mini-Mental Status Examination-Korean version

MAS: Modified Ashworth Scale

FAC: Functional Ambulation Category

* $p < .05$

한편, 성별 분포에서는 실험 군 9명(남), 2명(여), 대조군 6명(남), 8명(여)로, 카이제곱 검정 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타났(p = .014)(Table 3).

2. 고유수용성 감각의 변화

고유수용성 감각의 변화량에 대한 분석 결과 전신진동자극을 병행한 실험군은 평균 변화량 6.20°±2.17°로, 스쿼트 운동만 수행한 대조군의 변화량 3.40°±1.18°보다 더 큰 개선 폭을 보였으며, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Mann-Whitney U test, p = .001).

또한, 실험 군과 대조군 모두에서 치료 기간에 따른 유의미한 변화가 관찰되었다. 프리드만 검정(Friedman test) 결과, 실험 군은 $\chi^2 = 19.62$, p = .000으로 유의미한 차이를 보였으며, 대조군 역시 $\chi^2 = 23.59$, p = 0.000으로 유의미한 변화를 나타냈다. 즉, 전신진동자극을 병행한 스쿼트 집단은 운동 전에는 12.46° ± 5.08°, 운동 3주 후에는 11.35° ± 4.44°, 운동 6주 후에는 6.26° ± 3.10°으로 치료 기간이 길어 집에 따라 통계적으로 유의하게 감소하였다(p < .05). 또한, 스쿼트 운동만 실시한 집단은 운동 전에는 10.21° ± 2.30°, 운동 3주 후에는 9.23°

± 2.33°, 운동 6주 후에는 6.57°±2.43°으로 치료 기간이 길어 집에 따라 통계적으로 유의하게 감소하였다(p < .05).

사후 분석으로 실시한 윌콕슨 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test) 결과, 실험 군에서는 0주 차에 대비 3주 차와 6주 차 모두에서 고유수용성 감각의 유의한 개선이 확인되었으며, 특히 6주 차(c)가 0주 차(a)보다 유의하게 낮은 값을 보여 개선 효과가 뚜렷했다(a > c, p < .001). 실험 군의 평균 변화량은 6.20°±2.17°로 나타났으며, 이는 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p < .001).

대조군에서도 0주 차에 비해 3주 차와 6주 차 모두에서 고유수용성 감각의 유의미한 개선이 확인되었으며 (a > c, b, p < .001), 평균 변화량은 3.40°±1.18°로 나타났(Table 4).

3. 시간과 집단간의 상호작용 효과

시간에 따른 고유수용성 감각의 변화는 통계적으로 유의미하였다(F = 137.764, p = .001). 시간 요인의 제곱합(Sum of Squares, SS)은 313.862, 자유도(df)는 2, 평균

Table 4. Intra- and inter-group comparison of proprioception changes using friedman and mann-whitney U tests

Group	0 week(a)	3 week(b)	6 week(c)	χ^2	p	Post-hoc	Change (pre-post)	Mann-Whitney U test (p)
Experimental Group (n = 11)	12.46° ± 5.08°	11.35° ± 4.44°	6.26° ± 3.10°	19.62	.000*	c > a b,c > a	6.20° ± 2.17°	19.500 (.001*)
Control Group (n = 14)	10.21° ± 2.30°	9.23° ± 2.33°	6.57° ± 2.43°	23.59	.000*	c > a b,c > a	3.40° ± 1.18°	

Values: mean ± standard deviation

χ^2 , p: Friedman test

a,b,c: Post-hoc (Wilcoxon Signed-Rank test): Comparison between time points

Mann-Whitney U test: Inter-group comparison of pre-post changes

*p < .05

Table 5. Change of proprioception according to group and time (Two-Way Repeated Measures ANOVA)

		SS	df	MS	F	P
proprioception	Time	313.862	2	156.931	137.764	.001*
	Time*Group	30.671	2	15.335	13.462	.081
	Error	52.400	46	1.139		

SS: Sum of Squares, df: degree of freedom, MS: Mean Square.

*p < .05

제공(Mean Square, MS)은 156.931로 나타났다. 그러나 시간과 집단 간의 상호작용(Time*Group) 효과에 대한 분석에서는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($F = 13.462, p = .081$). 상호작용의 제곱합은 30.671, 자유도는 2, 평균제곱은 15.335로 확인되었다. 오차항(Error)의 제곱합은 52.400이며, 자유도는 46, 평균제곱은 1.139로 계산되었다(Table 5).

IV. 고찰

본 연구에서는 전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동이 무릎과 발목이 있는 만성 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위해 무릎 관절의 위치 감각을 재현하는 검사를 실시하였고 고유수용성 감각을 평가하였다. 연구 결과, 스쿼트 운동과 전신진동자극을 병행한 집단과 스쿼트 운동만 수행한 집단 모두 치료 후 무릎관절의 고유수용성 감각에서 유의한 개선을 보였다. 또한, 전신진동자극을 병행한 집단에서 더 큰 개선 폭이 나타났으며, 두 집단 간의 유의한 차이가 있었다.

고유수용성 감각은 단일 또는 다중 관절 수동 및 능동 운동, 체성 감각 자극 및 균형 훈련을 통하였을 때 개입되며 결합된 치료를 하였을 때 가장 효과가 있음을 제안하였다.[20] Ilgin 등(2020)은 뇌졸중 환자를 대상으로 3주간 전신진동자극을 실시한 결과, 균형과 보행 능력이 개선되었다고 보고하였다.[21] 이는 발목의 고유수용성 감각장애가 있는 뇌졸중 환자에게 전신진동자극을 제공함으로써 근력 증가와 함께 고유수용성 감각이 개선되었기 때문이라고 해석할 수 있다. 또한, Xu P 등(2024)은 뇌졸중 환자를 대상으로 4주간 10-20Hz의 전신진동자극을 일반재활치료와 동시 적용하였을 때 균형감각은 기존의 일반 재활치료와 비교하여 크게 효과적이진 못하였지만 발목의 고유수용성 감각의 능력은 전신진동자극을 받은 집단에서 향상되었다고 보고하였다.[22]

본 연구 결과는 이러한 선행연구와 일치하며, 두 집단 모두에서 스쿼트 운동이 고유수용성 감각 개선에

긍정적인 영향을 미쳤음을 의미한다. 닫힌 사슬운동은 체중 지지 자세에서 이루어지기 때문에 관절 접근으로 관절 적합성을 증가시켜 안정성에 기여한다. 또한 고유 감각 및 운동감각 피드백을 제공하며, 근육 내의 기계 수용기와 관절 인쪽 및 관절 주위에 있는 기계적 수용기를 자극하고 작용근과 대항근의 동시 수축을 촉진하여 안정성을 향상시킨다.[23] 스쿼트 운동은 닫힌 사슬 운동으로, 근육의 동시 수축을 통해 관절의 압박력을 증가시키고 전단력(shear force)을 감소시켜 관절의 안정성을 증가시킨다. 이러한 과정에서 관절 주머니의 수용기가 자극되어 고유수용성 감각이 향상되었을 가능성이 있다.[24] Milan Dhungana 등(2025)은 고유수용성 감각과 근력이 스쿼트 동작을 수행하는 데 미치는 영향을 연구하였으며 고유수용성 감각이 높으면 스쿼트 동작을 수행하는 성능 또한 높다는 것을 연구하였고 이는 스쿼트와 고유수용성 감각은 서로 상관관계가 있음을 보고하였다[25]. 따라서, 스쿼트 운동을 적용한 전신진동자극 집단뿐만 아니라 스쿼트 운동 집단에서도 고유수용성 감각의 유의한 변화를 나타낸 것으로 생각된다.

전신진동자극은 구심성 수축(concentric contraction)과 원심성 수축(eccentric contraction)을 반복함으로써 [26] 감각 신경 섬유 종말의 흥분성을 증가시키고, 근육과 힘줄 방추 형태의 고유감각수용체를 자극하며, 골격근이 반사적으로 증가하게 된다.[27] 그 결과, 근육 활성화 수준과 잠재적 운동 단위 활성화가 증가하여 근육은 더 많은 운동 단위를 동원한다.[28] Lee, Se-Won 등(2013)은 뇌졸중 환자를 대상으로 전신진동자극을 동반한 훈련이 자세 조절과 보행능력을 미치는 내용을 연구하였으며 고유수용성 감각을 자극해 자세 조절의 능력이 향상되었다고 보고하였다.[29] 본 연구에서도 전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동 집단이 스쿼트 운동 단독 집단보다 고유수용성 감각이 더 큰 개선을 보였다. 이는 스쿼트 운동과 전신진동자극의 복합적 효과가 고유수용성 감각의 변화를 극대화한 것으로 보인다. 또한, 스쿼트 운동은 닫힌 사슬 안에 있는 모든 관절과 근육의 움직임을 포함하고, 비체중 지지 운동보다 더 많은 관절의 움직임을 요구하여 기능적인 근 동원을 촉진하고 고유수용성 감각을 자극한다.[11]

In 등(2010)[17]은 뇌졸중 환자를 대상으로 6주간 전신진동자극을 적용한 연구에서 무릎 펌 근력과 일어나 걸어가기 검사(Timed up and go test, TUG), 버그 균형 척도(Berg's balance scale, BBS)에서의 유의한 개선을 확인하였다. 그러나 무릎 펌 근력의 경우, 두 집단 모두 개선이 있었지만 집단 간 유의한 차이는 없었다. 또한, Verschueren 등(2004)[30]은 폐경기 여성을 대상으로 24주간 전신진동자극과 저항 운동을 적용하여 무릎 펌 근력을 비교한 결과, 두 집단 모두 유의한 근력 증가를 보였으나 두 집단 간 차이는 보이지 않았다고 보고하였으며, 한편 전신진동자극을 장기간 적용할 경우, 진폭과 주파수에 대한 신경근의 적응으로 인해 근력 향상 효과가 감소할 수 있다는 보고도 있다.[31]

전신진동자극을 치료로 이용한 선행 연구의 치료 기간은 최소 4주에서 최대 24주까지 찾아볼 수 있었다. 본 연구에서도 3주간 짧은 치료 기간에서는 뚜렷한 변화가 없었으나, 6주간의 치료 후에는 유의미한 효과가 확인되었다. 이는 전신진동자극의 효과를 극대화하기 위해 최소 4주 이상의 중재 기간이 필요함을 시사한다.

뇌졸중 환자에게 고유수용성 감각을 자극함으로써 비정상적인 강직을 완화시키고 근경련을 조절할 수 있으며[32] 이들의 균형, 비정상적인 협응 운동 및 일상생활 활기능이 개선되었다.[33] 추후 잠재적인 이점으로 감각이 손상된 뇌졸중 환자의 동적 및 정적 균형, 비정상적인 시너지 운동 및 옷 입기, 씻기와 같은 일상생활이 향상된다고 보고하였다.[34] 선행 연구를 근거로 본 연구에서는 무릎관절의 고유수용성 감각 향상에 초점을 두었으나, 전신진동자극이 기타 감각기관의 고유수용성 감각을 향상시킬 가능성이 있으며, 이는 감각-운동 통합 및 자세 제어기능의 전반적인 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 6주간의 스쿼트 운동과 전신진동자극이 무릎과 곱이 있는 만성 뇌졸중 환자의 고유수용성 운동 감각 향상에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. Guo 등(2015), Kang 등(2021)의[7,8] 선행 연구들과 본 연구 결과를 종합하면, 전신진동자극은 하지 근육의 효율적 동원을 촉진하고, 근 기능 회복을 통해 균형 및 고유수용성 감각개선에 긍정적인 영향을 미칠

가능성이 높다. 특히, 뇌졸중 환자와 같은 신경학적 손상이나 근 기능 저하를 동반하는 환자군에서, 단순 근력 강화만을 목표로 하는 접근보다 감각과 운동의 통합 기능을 활성화하는 중재 전략으로 활용될 수 있는 점에 임상적 의의가 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 신경계 환자의 신체적 특성과 임상 증상의 다양성으로 인해 정확한 자세의 스쿼트 동작을 수행하는 데 충분한 설명이 필요하였으며, 둘째, 연구 참여자의 수가 적어 결과의 일반화에 제한이 있다.

추후 연구에서는 다양한 진동 주파수와 진동 강도를 적용한 치료를 통해 전신진동자극의 최적 조건을 확인하고 무릎 관절 뿐 아니라 엉덩 관절과 발목 관절 등 다른 주요 관절의 고유수용성 감각 변화도 함께 평가하여 보다 포괄적인 치료 효과를 검증할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동이 무릎과 곱이 있는 만성 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과, 전신진동자극을 병행한 실험군은 스쿼트 운동만 수행한 대조군보다 더 큰 개선 폭을 보였으며, 이는 전신진동자극이 스쿼트 운동의 효과를 증진시켜 고유수용성 감각 향상에 긍정적인 영향을 미쳤음을 시사한다. 또한, 두 집단 모두 치료 기간(0주, 3주, 6주)에 따라 고유수용성 감각이 유의미하게 개선되었으며($p < .05$), 특히 0주와 6주 사이에서 뚜렷한 개선이 나타났다($p < .05$). 그러나 집단 내 시간 경과에 따른 개선 정도는 차이를 보였다. 치료 기간과 집단 간 상호작용 분석에서는 상호작용 효과가 통계적으로 유의하지 않았으나($p > .05$), 전신진동자극을 병행한 집단에서 보다 뚜렷한 개선 효과가 확인되었다. 이는 전신진동자극이 스쿼트 운동과 결합될 때, 고유수용성 감각 개선에 추가적인 이점을 제공할 수 있음을 의미한다. 따라서, 6주간의 전신진동자극을 병행한 스쿼트 운동은 무릎과 곱이 있는 만성 뇌졸중 환자의 고유수용성 감각 향상에 효과적인 중재법으

로 활용될 수 있다. 이러한 중재는 환자의 보행 안정성과 기능적 움직임 개선에도 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Damiano DL, Abel MF. Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(2):119-25.
- [2] Hogue R, McCandless S. Genu recurvatum: auditory biofeedback treatment for adult patients with stroke or head injuries. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983;64(8):368-70.
- [3] Olney SJ, Monga TN, Costigan PA. Mechanical energy of walking of stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986;67(2):92-8.
- [4] Loudon JK, Goist HL, Loudon KL. Genu recurvatum syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(5):361-7.
- [5] Appasamy M, De Witt ME, Patel N, et al. Treatment strategies for genu recurvatum in adult patients with hemiparesis: a case series. *PM&R.* 2015;7(2):105-12.
- [6] Bleyenheuft C, Bleyenheuft Y, Hanson P, et al. Treatment of genu recurvatum in hemiparetic adult patients: a systematic literature review. *Ann Phys Rehabil Med.* 2010;53(3):189-99.
- [7] Guo C, Mi X, Liu S, et al. Whole body vibration training improves walking performance of stroke patients with knee hyperextension: a randomized controlled pilot study. *CNS Neurol Disord Drug Targets.* 2015;14(9):1110-5.
- [8] Kang J-I, Moon Y-J, Jeong D-K. Effect of squat exercise combined with whole body vibration exercise on muscle activity and muscle fatigue of quadriceps in patients with patellofemoral pain syndrome. *J Korean Soc Phys Med.* 2021;16(1):41-8.
- [9] Moon S-H, Kim Y-M. Effects of close kinetic chain resistant exercise of lower extremity on the gait with stroke. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(4):475-83.
- [10] van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, et al. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil.* 2004;83(11):867-73.
- [11] Steinkamp LA, Dillingham MF, Markel MD, et al. Biomechanical considerations in patellofemoral joint rehabilitation. *Am J Sports Med.* 1993;21(3):438-44.
- [12] Lee P, Yang B. The effects of theratainmental squat exercise on balance in the patients with chronic hemiplegia. *JKEIA.* 2017;11(8):317-25.
- [13] Dalal KK, Joshua AM, Nayak A, et al. Effectiveness of prowling with proprioceptive training on knee hyperextension among stroke subjects using videographic observation-a randomised controlled trial. *Gait posture.* 2018;61:232-7.
- [14] Siu PM, Tam BT, Chow DH, et al. Immediate effects of 2 different whole-body vibration frequencies on muscle peak torque and stiffness. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(10):1608-15.
- [15] Tihanyi TK, Horváth M, Fazekas G, et al. One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clinical rehabilitation.* 2007;21(9):782-93.
- [16] van Nes IJ, Latour H, Schils F, et al. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke.* 2006;37(9):2331-5.
- [17] In T-s, Song C-h. The effects of whole body vibration on knee extensor strength, and balance and walking ability with chronic stroke. *J Korean Soc Phys Med.* 2010; 5(4):675-83.
- [18] Oh S, Kim DK. Development of squat posture guidance system using kinect and wii balance board. *JICCE.* 2019;17(1).
- [19] Kim SH, Seo KM, Kim DK, et al. Reliability of passive knee joint position sense test. *J ARM.* 2010;34(5):560-4.
- [20] Aman JE, Elangovan N, Yeh I-L, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Front Hum Neurosci.* 2015;8:1075.

- [21] Ilgin S, Çekmece Ç, Inanir M, et al. The effect of whole body vibration treatment on balance and gait in patients with stroke. *Noro Psikiyatr Ars.* 2020;57(4):308.
- [22] Xu P, Song J, Fan W, et al. Impact of whole-body vibration training on ankle joint proprioception and balance in stroke patients: a prospective cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2024;25(1):768.
- [23] Cho S-H, Bae C-H, Gak H-B. Effects of closed kinetic chain exercises on proprioception and functional scores of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction. *JKPTS.* 2013;25(10):1239-41.
- [24] Palmitier RA, An K-N, Scott SG, et al. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med.* 1991;11:402-13.
- [25] Milan Dhungana HSK, Varshal Banger. Correlation study of knee and ankle proprioception and strength with squat performance. *IJFMR.* 2025.
- [26] Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, et al. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait posture.* 2007;26(2):309-16.
- [27] Fallon JB, Macefield VG. Vibration sensitivity of human muscle spindles and Golgi tendon organs. *Muscle Nerve.* 2007;36(1):21-9.
- [28] Miyara K, Etoh S, Kawamura K, et al. Effects of lower limb segmental muscle vibration on primary motor cortex short-latency intracortical inhibition and spinal excitability in healthy humans. *Exp Brain Res.* 2022;1-10.
- [29] Lee S-W, Cho K-H, Lee W-H. Effect of a local vibration stimulus training programme on postural sway and gait in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation.* 2013;27(10):921-31.
- [30] Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, et al. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research.* 2004;19(3):352-9.
- [31] Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *J Bone Miner Res.* 2002;22(2):145-52.
- [32] Jammes Y, Ferrand E, Fraud C, et al. Adding body load modifies the vibratory sensation of the foot sole and affects the postural control. *Mil Med Res.* 2018;5:1-7.
- [33] Gu S-Y, Hwangbo K. Effects of horizontal-and vertical-vibration exercises using a blade on the balance ability of patient with hemiplegic. *JKPTS.* 2016;28(3):896-9.
- [34] Yoon H, Park C. Effectiveness of proprioceptive body vibration rehabilitation on motor function and activities of daily living in stroke patients with impaired sensory function. *Healthcare. MDPI.* 2023. pp.35.