



• 특집 • 인간 복지와 건강을 위한 공학

진동자극 기반 도립기를 이용한 요추의 가동성 및 유연성에 미치는 영향

Effect on Mobility and Flexibility of Lumbar Spine Using the Vibration Stimulation-based Inversion Table

박정훈¹, 유미², 홍철운^{2,3,#}, 권대규^{2,3,#}
Jung Hun Park¹, Mi Yu², Chul Un Hong^{2,3,#}, and Tae Kyu Kwon^{2,3,#}

¹ 전북대학교 대학원 헬스케어공학과 (Department of Healthcare Engineering, Graduate School, Jeonbuk National University)
² 전북대학교 바이오메디컬공학부 (Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University)
³ 전북대학교 고령친화복지기기센터 (Research Center of Healthcare and Welfare Instrument for the Aged, Jeonbuk National University)
Corresponding Authors / E-mail: cuhong@jbnu.ac.kr, TEL: +82-36-270-4068, ORCID: 0000-0001-8717-1301
E-mail: kwon10@jbnu.ac.kr, TEL: +82-36-270-4066, ORCID: 0000-0002-2755-2062

KEYWORDS: Inversion table (도립기), Vibration (진동), Lumbar mobility (요추 가동성), Muscle strength (근력), Flexibility (유연성)

The purpose of the study was to evaluate the lumbar mobility and flexibility by the vertical vibration stimulation. The subjects were 21 young adults were divided into vibration group (n = 7) that applied 30 Hz vibration stimulation to the lumbar, foam roller group (n = 7) that relaxes the lumbar muscles with a foam roller, and good morning exercise group (n = 7) that stimulates the lumbar spine with the good morning exercise. The muscle strength, EMG and the sit & reach test were measured, to evaluate the lumbar mobility and flexibility before and after exercise intervention in each group. Results showed increasing in the vibrating group in muscle strength and EMG, and the good morning group and the vibrating group in the Sit & Reach test. This can be developed as a new alternative to exercise therapy for spine rehabilitation.

Manuscript received: July 8, 2022 / Revised: August 2, 2022 / Accepted: August 8, 2022

1. 서론

정보화 시대가 도래함에 따라 많은 현대인들이 IT 기기 사용 시간이 증가하며 잘못된 자세로 인한 척추질환자 수가 매년 증가하고 있다[1]. 하지만 척추질환의 치료는 약물 및 보존적 치료를 통한 통증 감소에 중점을 둔 경우가 많아 단순히 통증을 경감시키는 것이 아닌 운동 중재를 통해 주변 근육을 강화하고, 좌우 근육의 균형을 맞춰주려는 시도인 비수술적 치료가 증가하고 있고, 질환을 조기에 발견하고 예방하는 것에 대한 중요성이 커지고 있다.

척추질환의 치료법에는 수술적 방법과 비수술적 방법이 있다.

수술적 방법에는 신경성형술, 풍선확장술 등이 있고, 염증 유발 물질을 제거하여 통증을 빠르게 완화하거나 좁아진 척추관의 신경 통로를 넓히는 등의 치료 효과가 있다. 하지만 수술적 방법은 고도의 의료 기술을 필요로 하며 고가의 의료비용이 발생하게 되고, 마취에 대한 거부 반응 및 위험, 통증, 그리고 수술 후 합병증이 생길 수 있다[2,3]. 그리고 성장기의 청소년에게는 척추 성장에 영향을 줄 수 있다[4].

비수술적 방법으로 근육자극요법, 도수치료, 무중력 압박기, 견인, 운동 치료 등이 있다. 이중 견인은 효과적인 통증 감소 작용을 한다[5,6]. 운동 치료 중 저항운동은 허리의 신전 및 굴곡을 반복하여 유연성 및 근기능을 향상시켜 척추질환의 재발을 억제

할 수 있으며 손상된 부위의 회복을 촉진시키는 긍정적인 효과가 있다[7]. 또한 박정화 등[8]은 고령자 여성을 대상으로 폼롤러와 같은 소도구를 이용한 척추 운동이 효과가 있음을 제시하였다. 이처럼 비수술적 치료 방법은 조직 손상이 적고 자연 치유력을 높일 수 있어 장기적으로는 더 안전하고 효과적으로 고려된다.

보존적 치료를 통한 통증 감소와 다양한 운동 요법과 척추의 스트레칭을 도와주는 기구 등을 이용하여 주변 근육을 강화하거나 균형을 맞춰줄 수 있는 헬스케어 제품에 대한 요구가 증가하고 있다. 그 중 도립기는 사람의 몸을 거꾸로 매달린 상태에서 중력과 체중을 이용하여 신체를 이완시켜주는 기구로, 척추측만증의 치료 방법으로 많이 사용되고 있는 견인 요법의 시초라고 할 수 있다[9]. 즉, 중력에 의해 받는 허리 디스크의 압박을 천천히 줄여주며 통증을 완화하고 근육을 이완시켜주는 헬스케어 기구이다. 이와 관련한 선행연구로 Veltri [10]는 도립기를 이용한 견인 자극이 요추의 척추의 유연성을 향상시킨다고 발표하였다. 또한 청소년기의 척추질환에 대해 이해하고 척추 견인에 도움이 되는 스트레칭 운동 기구의 비교 분석 결과를 통하여 효과적인 스트레칭 운동 기구 디자인을 제시하기 위한 연구가 진행되었다. 척추질환을 예방하기 위한 운동 기구의 범위를 도립기로 한정하였으며, 기존의 스트레칭 기구에 대해 비교분석 후 평가를 종합하여 향후 스트레칭 운동 기구 디자인 방향을 제시하였다[11].

인체 진동자극은 적절한 세기로 수동적인 운동 자극을 부과하면 근 신경계, 골격계, 면역계 등 인체 시스템에 긍정적인 변화를 가져올 수 있다. 인체 진동자극은 주파수와 진폭에 따라 인체에 미치는 효과가 다르고, 헬스케어 분야에서 다양하게 이용되고 있다. Dong, et al. [12]은 전신진동자극이 만성 요통 환자의 요추-복부 근육 활동에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구를 진행하였다. 20세 이상 21명의 만성 요통 환자들에게 실험을 진행하였으며, 실험 결과 전신진동이 없는 동일한 운동에 비해 전신진동이 추가되었을 때 요추-복부 근육의 다열근, 척추기립근, 복부 경사 외근 및 복직근의 근활성도가 증가하였다. 강승록 등[13]은 전신진동과 유연성 운동의 시너지 효과를 이용하여 요추 재활 훈련의 효율성을 검증하는 연구를 진행하였다. 피험자는 요추재활훈련의 경험이 없는 남성과 여성 각각 15명으로 구성되었으며, 실험 결과 전신진동운동과 유연성 운동을 받은 그룹에서 그렇지 않은 그룹보다 체간굴곡과 신전 변화가 더 크게 나타났고, 요추관절 토크와 기초체력평가에서 또한 유사한 경향이 도출되었다. 박진환 등[14]은 전신진동운동이 노인의 균형, 보행속도, 근력 및 낙상 효능감에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구를 진행하였다. 65세 이상의 건강한 노인 28명을 대상으로 진행하였고, 실험 결과 전신진동운동은 노인의 균형 능력의 개선과 보행속도, 근력향상에 효과적이며, 낙상 예방을 위한 중재방법으로도 효과적이었다. 또한 Kim [15]은 진동 운동 휴식이 정적 휴식보다 근피로 회복에서 높은 젓산 제거율을 보이며, Wheeler, et al. [16]은 전신진동자극이 유연성과 관련된 근육들의 활성화를 분석하였다. 이 연구들은 수직 진동자극이 젓산 분해로 인한 빠른 근피로의 회복과 효율적인 유연성 운동

효과에 관한 것이지만, 주로 전신에 진동자극을 인가하는 것으로 요추의 가동성 및 유연성 위한 효과적인 진동자극을 인가하는 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 진동장치가 결합된 도립기를 개발하고 이를 위한 본 임상시험의 설계를 위해 수직 진동자극 기반 도립기를 이용한 허리 운동 중재가 허리의 가동성 및 유연성에 미치는 영향을 평가하고자 기초 실험을 수행하였다.

2. 수직 진동자극을 위한 전동도립기 개발

Fig. 1은 본 실험을 위해 개발한 진동도립기이다. 도립기에 진동 모터를 결합하여 도립기와 진동 운동의 시너지 효과를 목적으로 제작되었다. 크기와 무게는 $820 \times 1,200 \times 21,600$ mm, 48 kg이며, 120 kg의 무게와 2 m의 신장인 사람까지 사용을 가능하도록 하고, 발목 조임과 운동 시 미끄러짐을 방지하는 손잡이가 설계되는 등 안정성을 확보하였다. 하단부에는 편심 모터를 이용한 진동을 발생시키는 진동모터(WGT-25000, VitaGRAM Co., Ltd., Korea, 정격전압: AC 220 V, 60 Hz, 55 W)를 부착하며 진동운동을 가능하게 하였다. 또한 사용자 상태에 맞도록 진동의 세기 조절이 가능하도록 제작되었다. DC 모터(Sam Jung Auto Co., Korea, 정격소비전력: 25 W, DC 24 V)로 체간 지지부의 기울임 각도 조절을 리모컨으로 조절이 가능하게 하여 편리성을 추가하였다.

3. 실험 방법 및 내용

3.1 피험자 선정

본 연구의 대상은 전라북도 J 대학교에 재학 중인 건강한 20대 성인 남성들로 모집하였으며, 실험 전 연구 담당자 또는 책임자로부터 본 실험에 대한 자세한 설명을 들은 후 서면 동의 절차를 거쳐 총 21명의 피험자를 선정하였다. 요통을 호소하는 자, 최근 3개월 동안 척추질환 치료 경험이 있는 자, 척추 수술 병력이 있는 자는 연구 대상에서 제외하였다. 모든 피험자들은 연구의 목적과 절차에 대해 설명을 듣고 참여 동의를 작성하였다. 피험자의 일반적인 정보는 아래 Table 1과 같이 나타났다.

피험자는 Fig. 2와 같이 반전 기립 자세에서 요추 부위에 진동자극을 인가받는 진동자극 도립기 운동 그룹(7명, Vibration Group, Vib_G), 소도구를 이용한 척추 스트레칭 요법 중 하나인 폼롤러를 이용하여 요추근육을 이완시키는 폼롤러 그룹(7명, Form Roller Group, Fr_G), 허리의 신전과 굴곡을 위한 저항운동 중 대표적인 굿모닝운동 자세로 요추를 자극하는 굿모닝운동 그룹(7명, Good Morning Exercise Group, GeM_G)으로 나누었다. 요추 부위의 유연성을 평가하기 위해 체간굴곡(Sit-and-Reach), 가동성을 평가하기 위해 근력부하평가 및 근전도 총 3가지 항목을 측정하여 그룹별로 운동 중재 전후 차이를 분석하였다.



Fig. 1 The vibration stimulation-based inversion table

Table 1 Physical characteristic of subject (n = 21)

Category	Mean	Std.
Age [years]	23.5	2.5
Height [cm]	173.0	7.7
Weight [kg]	79.3	9.3

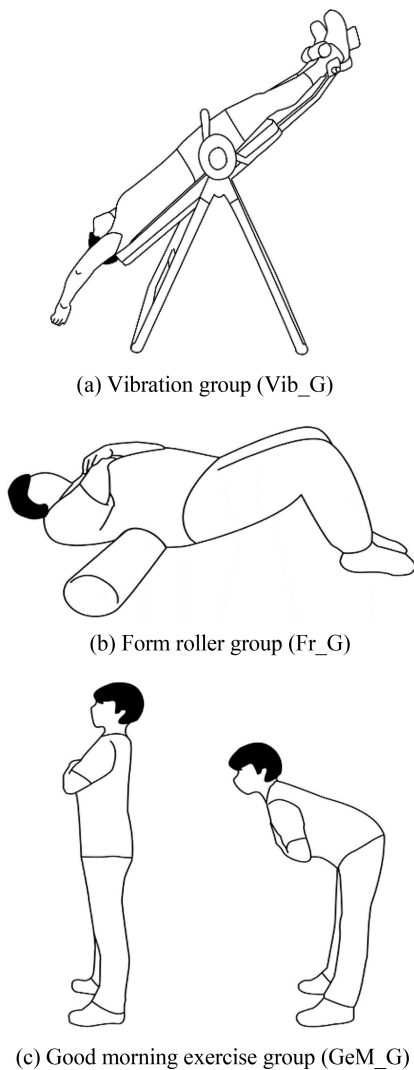


Fig. 2 Three groups for mobility and flexibility of lumbar spine

Table 2 Experimental protocol

Adaptation time during inversion position	Vibration stimulation during inversion position	Adaptation time during standing position
45° (10s)	[110° (30s) → 90° rest (10s) → 130° (30s) → 90° rest (10s) → 150° (30s) → 90° rest (10s)]	90° (20s)
→ 90° (30s)	X 3 times	→ 45° (20s)

3.2 실험 방법

3.2.1 실험 구성

수직 진동자극 기반 도립기를 이용한 허리 운동 가동성 및 유연성의 효과에 대한 실험의 구성은 Table 1과 같다. 요추 부위의 유연성을 평가하기 위해 체간굴곡 평가(Helmas III-Sitting Trunk Flexion, O2RUN, Korea)를 실시하였다. 측정 자세는 앉아서 발바닥을 측정 발판에 밀착시킨 후 측정동안 무릎이 굴곡되지 않도록 주의하여 양측 하지를 편 후 몸을 구부려 측정 기구를 손끝으로 최대한 밀도록 하고 2회 반복 측정하여 최댓값을 기록하였다[17].

요추 부위의 가동성을 측정하기 위해 근력부하평가 및 근전도를 측정하였는데, 이중 근력부하평가는 근력부하 측정시스템(Biodex System 3, Biodex Medical System Inc., USA)을 사용하여 허리 근력의 전체 일률(Total Work [FT-LBS]), 평균 파워(Average Power [W]), 체중에 대한 최대 우력(Peak Torque/Body Weight [%])을 측정하였다. 피험자들은 기계에 몸을 고정된 후 시작 신호에 맞추어 등속성(Isokinetic) 모드로 60° 내에서 허리의 최대 힘만을 이용하여 신전/굴곡 동작을 5번 반복하였다. 이후 둘째 날 각 그룹당 배정된 일련의 운동프로그램을 약 15분간 진행한 직후 첫날 측정된 항목들을 다시 측정하였다. 근전도(TeleMyo Desktop DT, Noraxon Inc., USA) 측정 시스템을 사용하여 1,024 Hz의 샘플링주파수로 요추(Lumbar) 및 상복근(Rectus Abdominis)의 오른쪽 왼쪽 총 4개의 채널을 사용하였다.

진동자극 도립기 운동 그룹은 요추에 진동자극을 인가하기 위해 도립기의 중앙 판에 몸을 눕힌 후 양팔을 머리 위로 올린 상태(반전 기립 자세)에서 중앙 판의 각도를 Table 1에서처럼 반전 자세에 대한 적응 후, 30 Hz 진동자극을 인가하였다. 폼롤러 그룹은 척추 기립근 주변근(15회/1 set, 총 3 set), 광배근, 하후거근 중심(15회/1 set, 총 3 set)으로 근막 이완운동을 진행하였으며, 굿모닝운동 그룹은 굿모닝운동 자세를 65 bpm에 맞추어 (15회/1 set, 총 4 set) 반복하였다.

3.2.2 분석 방법

세 그룹의 운동 중재 전후 근력부하평가 수치 변화를 확인하였다. 본 실험에서 진행한 요추 등속성 운동은 요추근 및

상복직근에서 신전(Extension)과 굴곡(Flexion)을 반복하게 한다. 본 실험에서 고려하는 근력부하평가의 항목은 전체 일률(FT-LBS), 체중에 대한 최대 우력(%), 평균 파워(W)로 이 항목들이 나타내는 의미는 다음과 같다. 전체 일률은 총 일량으로 근력부하평가의 반복운동 중 발휘된 힘의 총량을 의미한다. 체중에 대한 최대우력은 근력부하평가의 반복운동 중 하나의 근육군이 전체 가동범위(ROM)에서 발휘된 Torque 곡선의 가장 높은 지점인 절대적 최대 근력을 피험자의 체중으로 나눈 값이다. 이 값의 결과로 근기능의 상대적이고 객관적인 평가를 하게 된다. 평균 파워는 총 일량을 실제 수축시간으로 나눈 값으로, 근육군의 시간당 평균 파워를 의미한다. 따라서 근력부하평가 중에 신장하고 수축하는 구간들 각각의 전체 일률, 체중에 대한 최대 우력, 평균 파워값을 각 그룹별로 평균 비교하였다.

세 그룹의 운동 중재 전과 후에 근력부하평가 중인 피험자들의 근전도를 측정하였다. 등속성 운동 시 일어나는 근육의 신장 및 수축 특성에 따라 신장, 수축 구간을 나누어 구간별로 근 활성도를 확인하였다. 우측 상복직근(RT_Rectus Abdominis)과 좌측 상복직근(LT_Rectus Abdominis)는 상체를 하체 쪽으로 굽히는 구간에서 크게 사용되고 우측 요추근(RT_Lumbar) 및 좌측 요추근(LT_Lumbar)은 상체를 펴는 구간에서 크게 사용되므로 이를 고려하여 구간을 나누었다. 이를 기반으로 값을 각 그룹별로 비교하였다.

수집한 데이터는 SPSS 12.0 Version을 사용하였으며, 근력부하평가의 전체 일률, 체중에 대한 최대 우력, 평균 파워의 값에 대한 데이터는 정규성 검정을 통해 정규분포를 따르는 것을 확인 후 모수적 통계 방법인 독립표본 t 검정으로 분석하였다. 근전도에 대한 데이터는 주파수를 20-500 Hz구간으로 설정하여, 정류(Rectification)를 한 후에 RMS 방식을 채택하여 Window 크기가 500 ms인 필터로 평활화(Smoothing) 과정을 수행하였다. 근전도 정규화를 위하여 측정된 MVC 값은 표준 진폭(Standard Amplitude) 분석 방법을 이용해 최대 근력의 평균값을 구한 뒤 근력부하평가 중의 근전도 값을 정규화하여 MVC (%) 단위로 표현하였다. EMG 데이터는 SPSS 12.0 Version을 사용하였으며, 정규성을 검정한 후 비모수적 통계 방법인 윌콕슨 순위합 검정을 수행하였다.

4. 결과

4.1 근력부하평가

Fig. 3은 요추의 신전과 굴곡 동작 시 세 그룹의 전체 일률의 평균 결과값을 비교한 것이다. 신전 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹에서 값이 59.4% 증가하여 통계적으로 유의한 향상이 나타났다. 폼롤러 그룹의 경우 증가율이 약 3.3%로 미세하게 증가하였고, 굶모닝운동 그룹은 조금 더 높은 21.6%의 증가율을 보였다. 요추의 굴곡 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹과

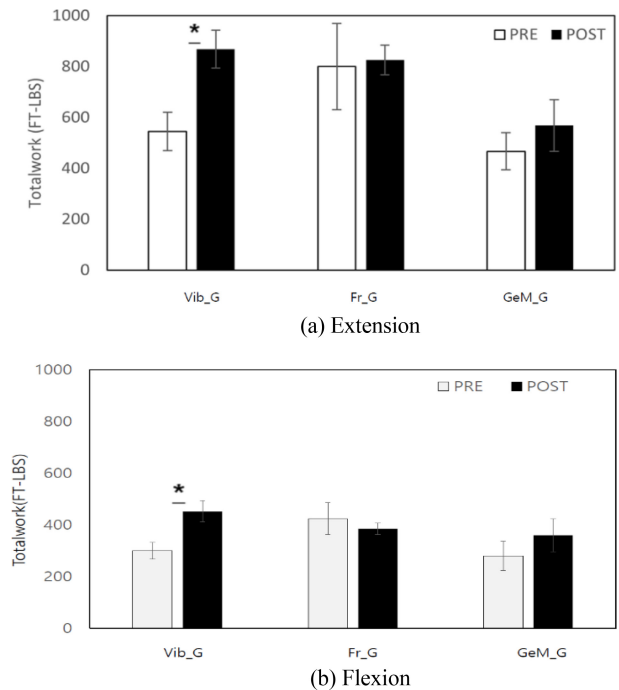


Fig. 3 The results of total work (FT-LBS) before and after lumbar exercise intervention

굿모닝운동 그룹에서 증가율이 각각 50.7, 28.7%로 통계적으로 유의한 증가율을 보였다. 이에 반해 폼롤러 그룹은 9.4% 감소하였다. 따라서 신전과 굴곡 시 대부분의 그룹에서 전체 일률 값의 향상을 보였고, 진동자극 도립기 운동 그룹에서만 통계적으로 유의한 향상을 나타냈다.

Fig. 4는 요추의 신전과 굴곡 동작 시 세 그룹의 체중에 대한 최대 우력의 평균 결과값을 비교한 것이다. 요추의 신전 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹은 운동 중재 전후 값이 50.2% 증가하였고, 이는 통계적으로 유의한 수치이다. 폼롤러 그룹은 14.4% 증가하였고, 굶모닝운동 그룹은 9.8% 증가하였다. 요추의 굴곡 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹과 굶모닝운동 그룹의 증가율은 각각 61.5, 26.9%로 모두 통계적으로 유의한 향상을 보여주었다. 폼롤러 그룹은 13.3% 증가하였다. 따라서 신전과 굴곡 동작 구간에서 모든 그룹의 체중에 대한 최대 우력 값이 증가하였고, 진동자극 도립기 운동 그룹에서만 각 구간 모두 통계적으로 유의하였다.

Fig. 5는 요추의 신전과 굴곡 동작 시 세 그룹의 평균 파워를 비교한 것이다. 요추의 신전 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹의 값이 운동 중재 전과 비교하여 중재 후의 값이 76.5% 증가하였고 이는 통계적으로 유의하였다. 폼롤러 그룹의 경우 43.8, 굶모닝운동 그룹의 경우 166.9%의 증가율을 보였다. 굴곡 동작에서 진동자극 도립기 운동 그룹의 증가율이 59.2로 유의한 증가를 보였고, 폼롤러 그룹은 6.9, 굶모닝운동 그룹은 31.6% 증가하였다. 따라서 요추의 신전과 굴곡 동작 구간 모두에서 전 그룹이 증가하는 경향성을 보였으며, 진동자극 도립기 운동 그룹에서만 통계적으로 유의한 향상이 나타났다.

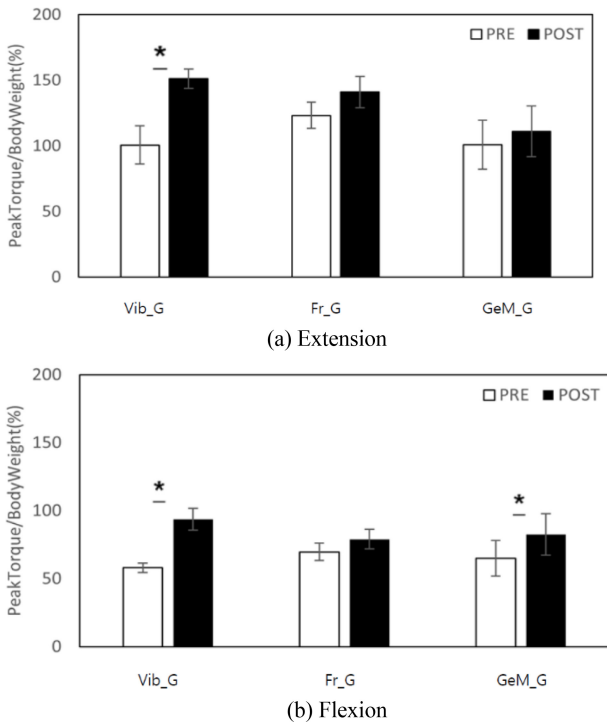


Fig. 4 The results of peak torque/body weight (%) before and after lumbar exercise intervention

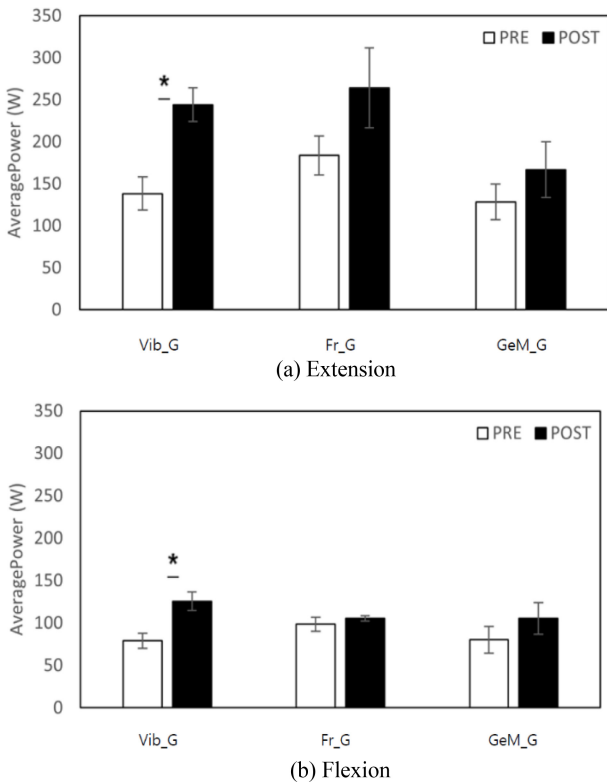


Fig. 5 The results of average power (W) before and after lumbar exercise intervention

4.2 근전도 평가

Fig. 6은 세 그룹의 운동 중재 방법에 따라 운동 전후 근전도를

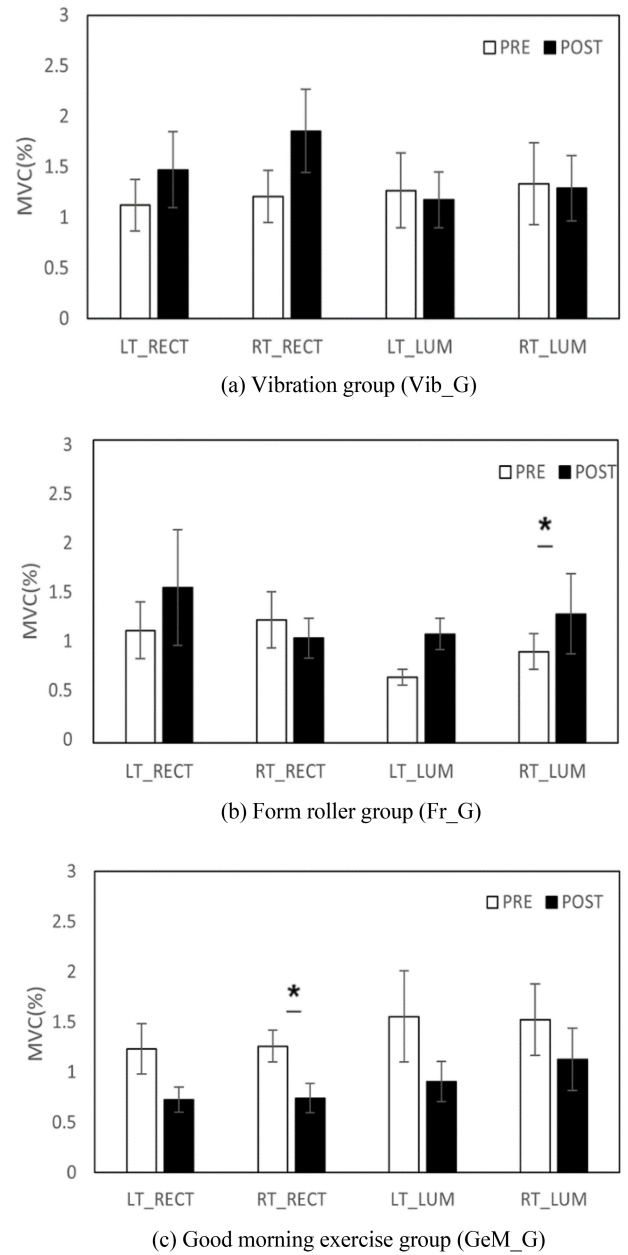


Fig. 6 The results of MVC before and after lumbar exercise intervention

비교한 것이다. Fig. 6(a)는 진동자극 도립기 운동 그룹의 운동 중재 전후의 근전도 MVC (%)를 비교한 그래프이다. 좌측 요추근(LT_LUM)은 운동 중재 후 증가율이 65.1로 통계적으로 유의한 향상을 나타내었고, 좌측 상복직근(LT_RECT)은 37.9% 증가하였다. 반면, 우측 상복직근(RT_RECT)과 우측 요추근(RT_LUM)에서는 각각 14.8 감소, 41.1% 증가하였다. 따라서 진동자극 도립기 운동 그룹은 우측 상복직근을 제외한 나머지 부위에서 근활성도가 모두 증가하는 경향을 보였고, 특히 좌측 요추근(LT-LUM)에 유의한 근활성도 향상을 나타냈다.

Fig. 6(b)는 폼롤러 그룹의 운동 중재 전후의 근전도 MVC (%)를 비교한 그래프이다. 순서대로, 좌측 상복직근과 우측 상복직근에서

증가율이 각각 31.1, 53.6%로 나타났다. 또한 좌측 요추근과 우측 요추근에서 각각 7.4, 3.3% 감소하였다. 따라서 폼롤러 그룹은 운동 중재 후 근활성도가 양측 상복직근에서는 증가, 양측 요추근에서는 감소하는 경향성을 보였다.

Fig. 6(c)는 굶모닝운동 그룹의 운동 중재 전후의 근전도 MVC (%)의 수치를 비교한 그래프이다. 좌측 상복직근은 26.3 감소하였으며, 우측 상복직근에서는 통계적으로 유의한 41.2%의 감소율이 나타났다. 좌측 요추근과 우측 요추근은 각각 41.7, 26.1%의 감소율을 보였다. 따라서 굶모닝운동 그룹은 운동 중재 후 모든 부위에서 근활성도가 감소하는 경향을 보였다.

4.3 체간굴곡(Sit & Reach) 평가

Fig. 7은 요추 가동성에 관한 실험의 결과로 세 가지 운동 중재 전후의 체간굴곡 평가의 차이를 비교한 그래프이다. 굶모닝운동 그룹은 5.68의 가장 큰 증가를 보였으며 진동자극 그룹 또한 4.84 cm의 큰 증가를 보였다. 폼롤러 그룹은 2.59 cm의 증가를 보이기는 했지만 굶모닝운동 그룹이나 진동자극 그룹의 향상에 비교해서는 그 수치가 작았다.

5. 고찰

도립기와 진동운동을 결합한 진동도립기의 요추 가동성 및 유연성 인체영향평가를 확인하기 위해 근력부하평가의 3가지 항목인 전체 일률, 체중에 대한 최대 우력, 평균 파워 및 근전도의 MVC, 체간굴곡 평가를 수행하였다. 중재 운동은 진동도립기를 이용한 운동, 폼롤러를 이용한 운동, 굶모닝운동 총 3가지이고, 각각의 그룹에 배정하여 중재 운동 전후의 근력부하평가 항목, 근전도, 유연성 항목을 측정하고 결과값을 비교하였다. 이를 통해 진동도립기를 이용한 척추 운동 중재의 긍정적인 효과를 평가하였다.

근력부하평가 분석 결과, 세 그룹 중에 진동자극 도립기 운동 그룹만 근수축 및 이완 모든 구간에서 항목인 전체 일률, 체중에 대한 최대 우력, 평균 파워값이 크게 향상하였으며 이는 통계적으로 유의했다. 이는 진동자극 도립기 운동 중재 후 근력부하평가의 반복운동 중 발휘되는 힘의 총량과 최대 근력 및 시간당 평균 근파워가 향상되었다는 것을 의미한다. 따라서 진동도립기를 이용한 운동 중재가 요추근과 상복직근의 등속성 운동에 효과적인 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 하지만 세 그룹 간의 상호 비교 시 특정 그룹에서 유의한 향상을 보이지는 않았다. 이는 운동 프로그램이 15분으로 다소 짧았고, 1회의 운동 후 급성 반응을 본 것이기 때문이라고 사료된다. 전반적으로 결과를 보자면 근력부하평가의 첫 번째 항목인 전체 일률 값이 폼롤러 그룹의 경우 요추의 신전 동작에서 증가하였고, 굴곡 동작에서 감소하였고, 굶모닝운동 그룹은 두 동작에서 증가하였으며 굴곡 동작에서 유의미한 증가가 나타났다. 따라서 세 그룹의 운동 중재를 통해 전체 일률 증가에 대부분 영향을 미치는 결과를 나타내었다.

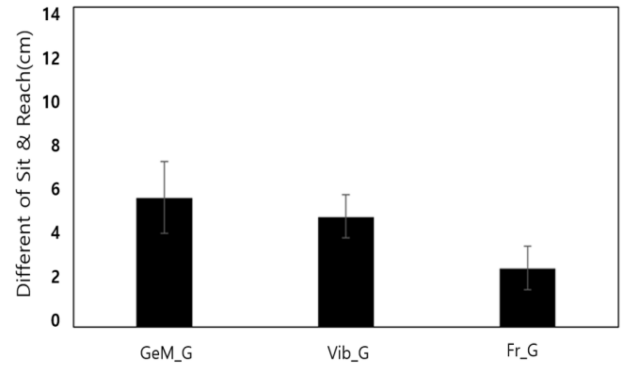


Fig 7 The different of sit & reach test before and after lumbar exercise intervention

근력부하평가의 두 번째 항목인 체중에 대한 최대 우력의 경우 폼롤러 그룹과 굶모닝운동 그룹 모두 신전 및 굴곡 동작 모두 증가하는 경향성을 띄었고, 굶모닝운동 그룹의 경우 굴곡 동작에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 따라서 모든 그룹의 운동 중재는 체중에 대한 최대 우력의 값의 증가에 영향을 주었고, 최대 근력 증가에 긍정적으로 작용하였다고 볼 수 있다. 근력부하평가의 평균 파워(W) 항목에서 폼롤러 그룹과 굶모닝운동 그룹 모두 신전 및 굴곡 동작 모두 증가하는 경향을 보였다. 따라서 평균 파워는 요추의 신전, 굴곡 구간 모두에서 전 그룹의 운동 중재가 긍정적인 영향을 미쳐 반복운동에 사용되는 근육의 시간당 평균 파워가 증가하는 데에 영향을 준다고 볼 수 있다.

근전도의 MVC (%) 값의 운동 중재 전후 비교를 해본 결과, 진동자극 도립기 운동 그룹에서는 근활성도의 변화가 우측 상복직근을 제외하고 모두 증가하는 경향성이 나타났다. 이러한 이유로는 전신진동을 가했을 때, 요추 및 근육의 근활성도가 증가한다는 이전의 연구 결과를 근거로 들 수 있다[5]. 또한 진동도립기 사용으로 중력에 의한 신체 전반 및 요추의 견인 효과를 기대할 수 있기 때문에 신체의 가동성이 증가하여 근활성도 증가에 기여한 것으로 판단된다.

폼롤러 그룹의 경우 근활성도의 변화를 보면, 양측 상복직근 채널은 향상하였고, 양측 요추근 채널은 모두 하락하는 경향성이 나타났다. 이러한 이유로는 두 가지를 들 수 있다. 첫 번째 이유는 폼롤러가 복근의 경직도 감소에 좋은 영향을 준다는 연구 결과를 바탕으로 폼롤러 운동을 실시했기 때문에 양측 상복직근의 근활성도가 증가한 결과가 나타난 것이다[18]. 반면 양측 요추근의 근활성도가 하락한 이유는 본 실험에서 시행된 폼롤러 운동이 요추의 유연성이 부족한 피험자들에게는 난이도가 있는 자세일 수 있기 때문에 이것이 실험 결과에 영향을 미친 것으로 보인다. 실험 중 요추의 유연성이 부족한 피험자들은 폼롤러 운동을 할 때, 고통을 호소하며 힘을 빼고 요추 부위를 스트레칭 하기보다는 복근을 더 많이 사용하는 방향으로 수행하는 경향이 있었다. 따라서 요추의 스트레칭보다는 복근의 사용이 더 많이 개입했기 때문에 위와 같은 결과가 나온 것으로 예상된다.

굿모닝운동 그룹의 경우 근활성도가 모두 하락하는 경향성을 나타냈는데, 이는 굿모닝운동이 고관절의 굴곡을 통해 움직이는 운동이기 때문이다. 이와 같은 자세는 둔근과 햄스트링 부위에 높은 부하를 주게 되고, 그 부위의 근육에 더욱 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 반복운동 중 하체근육의 개입으로 인하여 본 실험에서 측정된 요추근 및 상복직근의 활성이 증가하지 않은 것으로 보인다.

또한 유연성을 판단하기 위해 측정된 체간굴곡 평가의 결과는 세 그룹 모두 운동 전후로 향상세를 보였다. 그러나 굿모닝운동 그룹과 진동자극 도립기 운동 그룹에서 큰 향상을 보였는데, 이는 굿모닝운동 그룹의 경우 전신적인 스트레칭과 하체의 전반적인 신장과 요추의 신장으로 인해 큰 향상이 이루어졌다고 판단되며[19], 진동자극 그룹의 경우도 전신적인 이완 및 신장으로 인해 큰 향상을 보인 것으로 생각된다. 폼롤러 그룹의 경우 요추 주변 근육(광배근, 하후거근, 척추 기립근)으로 한정적인 부위만을 타겟으로 운동을 진행했기에 향상 폭이 작게 측정된 것으로 보인다. 이는 굿모닝운동 그룹의 경우 요추와 하체의 전반적인 신장과 이완, 진동자극 그룹은 전신적인 이완이 이루어지는데 반해 폼롤러 그룹의 경우 요추 주변 근육(광배근, 하후거근, 척추 기립근)만을 타겟으로 운동을 진행했기에 요추 부위의 길이만을 측정하는 이 테스트에서 다른 그룹보다 더 큰 향상을 보인 것으로 생각된다. 이는 체간굴곡의 수치 비교에서 폼롤러 그룹의 향상이 가장 작은 이유와 동일한 것으로 생각된다. 또한 폼롤러 그룹의 경우 운동 시 큰 유연성과 근력을 필요로 한다. 대부분의 피험자들이 고통을 호소하였고 고통자의 경우에는 정확한 자세 수행에 굉장히 큰 어려움이 있었다. 따라서 폼롤러 운동은 연령, 유연성에 따라 한정적으로 사용이 가능하다. 전신 진동도립기의 경우 이와 다르게 피험자들에게 고통 없이, 힘든 운동은 하지 않고도 전신 및 요추 가동성, 유연성 증대에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

6. 결론

본 연구는 수직 진동자극 기반 도립기를 개발하고, 이의 효용성을 입증하기 위한 본 임상시험의 설계를 위해 실시한 파일럿 테스트로서, 허리 운동과 관련한 저항운동 및 스트레칭 운동과 비교하여 수직 진동자극 기반 도립기를 이용한 운동 증재가 요추 유연성과 가동성에 대한 효과를 입증하기 위해 수행하였다.

요추 유연성에 대한 체간굴곡 평가에서는 굿모닝운동 그룹과 진동자극 도립기 운동 그룹에서 증가하는 경향을 보였다. 요추 가동성에 대한 근력부하평가와 근전도 평가에서 세 그룹 모두 요추 가동성에 도움을 준다는 결과를 보이기는 했지만 굿모닝운동과 폼롤러 운동의 경우 운동 중 많은 피험자들이 힘들어하는 모습을 보였으며 특히 폼롤러 운동의 경우 고통을 호소하는 경우도 잦았다. 또한 고통자나 일부 유연성이 떨어지는 피험자들은 정확한 자세 수행 자체에 어려움이 있었다.

따라서 수직 진동 장치를 적용한 진동도립기의 경우 피험자들에게 고통 없이, 힘든 운동을 하지 않고도 전신 및 요추 가동성 증대에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 이는 남녀노소 쉽고 편하게 척추질환 예방 및 재활에 도움을 줄 수 있는 운동 치료법의 새로운 대안으로 발전이 가능하다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1F1A1076549).

REFERENCES

1. Culture Journal 21, Smartphone influence: Spinal disease patients increase by 1.12 million in 5 years. <http://www.mhj21.com/127974>
2. Guay, J., Haig, M., Lortie, L., Guertin, M.-C., Poitras, B., (1994), Predicting blood loss in surgery for idiopathic scoliosis, *Canadian Journal of Anaesthesia*, 41(9), 775-781.
3. Ryu, D.-S., Yoon, S.-H., (2021), Surgical treatment of senile spinal diseases, *Journal of the Korean Medical Association/Taehan Uisa Hyophoe Chi*, 64(3), 191-199.
4. Upadhyay, S. S., Sell, P., Saji, M., Sell, B., Hsu, L., (1994), Surgical management of spinal tuberculosis in adults. Hong Kong operation compared with debridement surgery for short and long term outcome of deformity, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 302, 173-182.
5. Im, J. H., (2013), Understanding of non-surgical treatment for spinal disorders, *Korean Association of Occupational Health Nurses*, 20(4), 17-23.
6. Shin, C., Seo, D., Park, G., (2013), The effects of sling exercise and lumbar stabilization exercise for 8 weeks on spine shape lumbar muscular strength in middle-aged women by chronic lumbar back pain, *The Korean Journal of Growth and Development*, 21(4), 279-285.
7. Park, J., An, S., (2017), The effects of exercise on lumbar stabilization and a complex exercise in muscle, pains and index of disabilities in activities of chronic low back pain, *The Korea Journal of Sports Science*, 26(3), 1019-1031.
8. Park, C. H., Kim, J. H., (2019), Effects of the lumbar stabilization exercise on the body shape, pain index and longevity fitness age in elderly women with chronic low back pain, *The Korean Journal of Physical Education*, 58(2), 445-456.
9. Krause, M., Refshauge, K., Dessen, M., Boland, R., (2000), Lumbar spine traction: Evaluation of effects and recommended application for treatment, *Manual Therapy*, 5(2), 72-81.
10. Veltri, D., (2017), The effects of an inversion table on lower

- spine flexibility, M.Sc. Thesis, The William Paterson University of New Jersey.
11. So, R., (2013), A study on design of stretching exercise equipment, M.Sc. Thesis, Seoul National University of Science.
 12. Dong, Y., Wang, H., Zhu, Y., Chen, B., Zheng, Y., Liu, X., Qiao, J., Wang, X., (2020), Effects of whole body vibration exercise on lumbar-abdominal muscles activation for patients with chronic low back pain, BMC Sports Science & Medicine and Rehabilitation, 12(1), 1-10.
 13. Kang, S. R., Kim, J. J., Kim, K., Jeong, G. Y., Kim, J. J., Kwon, T. K., (2010), Study on efficiency of rehabilitation training of lumbar in synergy effect both of whole body vibration and flexibility exercise, Proceedings of the Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Society of Korea Technical Conference, 193-194.
 14. Park, J.-H., Kim, Y.-M., (2020), Effect of exercise with vertical vibration on the balance, walking speed, muscle strength and falls efficacy in the elderly, Journal of the Korean Society of Physical Medicine, 15(4), 131-143.
 15. Kim, H. R., (2009), Effects of whole-body vibration exercise recovery on muscle fatigue between repetitious anaerobic exercises, M.Sc. Thesis, Kookmin University.
 16. Wheeler, A. A., Jacobson, B. H., (2013), Effect of whole-body vibration on delayed onset muscular soreness, flexibility and power, Journal of Strength and Conditioning Research, 27(9), 2527-2532.
 17. Rhi, S. Y., Lim, K. I., (2014), The effect of complex lower extremity stretching on rom, functional fitness and isokinetic strength in youth basketball players, Journal of Coaching Development, 16(2), 129-137.
 18. Yun, S., Kim, J., (2020), Effect of shoulder abduction angles on EMG activity of the abdominal muscles during single leg holding on the foam roller, The Journal of Korean Physical Therapy, 32(4), 228-232.
 19. Vigotsky, A. D., Harper, E. N., Ryan, D. R., Contreras, B., (2015), Effects of load on good morning kinematics and EMG activity, PeerJ, 3, e708.



Jung Hun Park

MS candidate in the Department of Healthcare Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is healthcare engineering.
E-mail: junghoon_park2@kolon.com



Mi Yu

Research Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. Her research interest is rehabilitation, biomechanics and healthcare engineering.
E-mail: yumi@jbnu.ac.kr



Chul Un Hong

Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is rehabilitation, biophysics, sensor engineering.
E-mail: cuhong@jbnu.ac.kr



Tae Kyu Kwon

Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is biomechanics, rehabilitation, sports science.
E-mail: kwon10@jbnu.ac.kr