

전신진동자극이 중증의 만성폐쇄폐질환 환자의 폐기능과 보행능력 및 삶의 질에 미치는 영향

강정일 · 정대근 · 박준수^{1†}
세한대학교 물리치료학과, ¹진도군 보건소

Effects of Whole Body Vibration Exercise on the Pulmonary Function, Gait Ability and Quality of Life of Patients with Severe Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Jeong-Il Kang, PT, PhD · Dae-Keun Jeong, PT, PhD · Jun-Su Park, PT, PhD^{1†}
Department of Physical Therapy, Sehan University,
¹Department of Physical Therapy, Jin-Do Public Health Center

Received: June 2, 2021 / Revised: June 21, 2021 / Accepted: June 18, 2021

© 2021 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to provide supporting data for the clinical use of breathing exercise with a WBV stimulation as a sustained and safe intervention program, by examining the effect of breathing exercise with WBV stimulation on the pulmonary function, gait ability, and life quality in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD), who have difficulty performing exercise.

METHODS: For this study, after collecting the samples from 20 patients with severe COPD, they were placed randomly in an experimental group to perform breathing exercises with a WBV stimulation (n = 10) and a control group to perform breathing exercises only (n=10). Before the intervention, pulmonary function, six-minute gait distance,

and health-related life quality were measured as pre-tests. After applying the intervention program to the patients for 30 minutes once a day, for four days a week, for six weeks, the post-test items were remeasured in the same way as the pre-tests, and the results were analyzed.

RESULTS: In the within-group comparison, both the experimental and control groups showed significant differences in the forced expiratory volume in one second, six-minute gait distance, and health-related life quality ($p < .01$) ($p < .05$). In the intergroup comparison, there were significant differences in the forced expiratory volume in one second and the six-minute gait distance ($p < .05$).

CONCLUSION: WBV stimulation was more effective for the patients by improving the muscular strength and muscular endurance through the reflexive contraction of muscles, and increasing the exercise tolerance. This result could serve as an alternative means to clinically improve the physical function of patients with severe COPD, who have difficulty performing breathing exercises in the future.

Key Words: WBV(Whole-body vibration), Chronic obstructive pulmonary disease(COPD), Pulmonary function.

†Corresponding Author : Jun-Su Park

ppjss4456@naver.com, <http://orcid.org/0000-0003-3946-9335>

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

만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease; COPD)은 폐에 발생하는 비정상적인 염증반응과 이와 동반되는 비가역적인 기류제한을 특징으로 하는 폐질환으로서, 인구 고령화로 인해 유병률과 사망률이 계속 증가하고 있는 추세이다[1]. 주요 증상으로는 폐기능, 삶의 질 및 운동 능력 등의 감소이고 특히 근육의 위축은 폐의 폐색으로 인한 전신의 산화능력 저하이며, 근력과 지구력의 골격근 기능과 섬유질, 모세혈관 밀도 및 대사 용량의 구조가 변형되어 근육의 산화능력이 감소되는 것으로 잘 알려져 있다[2]. 특히 근육의 동화-이화 작용 비율 즉 근합성과 근손실의 균형이 허혈과 관련된 세포 자멸상태로 인해 항상성이 파괴됨으로 근육이 이화상태로 이동하여 근 위축을 동반하게 된다[3]. 이처럼 만성폐쇄성폐질환은 폐 뿐만 아니라 근육 약화와 같은 근골격계를 포함하여 합병증으로 신체에 많은 시스템에 영향을 미칠 수 있는 질병이다[4]. 운동능력을 향상시키고 증상을 완화하기 위해 고강도 부하 운동이 필요하지만, 중증의 만성폐쇄성폐질환 환자는 근육 약화가 뚜렷하게 나타나서 충분한 시간 동안 높은 운동 강도를 유지할 수 없는 환기제한이 나타난다[5]. 이러한 위험을 방지하기 위해서는 호흡곤란과 연계된 저산소혈증을 예방하기 위한 폐 재활 프로그램의 적합성을 향상시키기 위한 노력이 꾸준히 제시되고 있으며, 운동 내성을 증진시킬 수 있는 치료적인 중재가 필요하다.

호흡곤란의 증상 부담을 줄이려는 시도에 대해서는 꾸준히 필요로 하는 지속성이 중요한 요소로 장려되고 있으며, 최근에는 만성폐쇄성폐질환 환자를 위한 운동 방법의 일환으로 전신진동훈련에 대한 관심이 증가하고 있다[6]. 전신진동훈련(Whole body vibration training)은 플랫폼에서 있는 동안 사람의 전신이 기계적 진동을 받는 치료적 양상으로 사지의 혈류를 증가시키고, 근육의 성능과 균형을 향상시킨다[7]. 전신진동운동은 기계적인 상하 진동이 반사적으로 근방추(muscle spindle)에 작용하여 근육 운동을 일으키는 α 운동 신경 세포를 활성화시킴으로써 근력 및 신체 기능 향상을 위한 치료 방법 중 하나이다[8]. 전신진동의 주요 효과는 하지 근

육의 반사 수축을 유발하는 ‘긴장성 진동 반사’에 의해 생성되고, 이 반사는 골격근 운동 장치의 동원률을 증가시키는 근육 수용체를 자극한다[9]. 전신진동은 주로 전방 십자인대 수술환자[10], 섬유근통 증후군[11], 비만[12], 뇌성마비[13], 뇌졸중[14] 및 만성허리통증 환자[15] 등을 대상으로 여러 임상 실험에서 성공적으로 수행되고 있다. 전신진동운동은 만성폐쇄성폐질환 환자의 운동 내성을 향상시킬 수 있는 방안으로 대두되고 있으며, 질병의 악화를 예방하기 위한 수단으로 모색되고 있기에 본 연구는 전신진동자극을 병행한 호흡운동을 증대하여 폐기능과 보행능력 및 삶의 질에 미치는 영향을 규명하여 임상에서 중증 만성폐쇄성폐질환 환자를 지속적이고 안전하게 증재하기 위한 프로그램으로 활용할 수 있는 근거자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 2020년 11월부터 2021년 2월까지 전라남도 소재한 H병원에서 입원 치료중인 60-80세 연령범위의 남성 중증 만성폐쇄성폐질환 환자 20명을 대상으로 하였다. COPD의 진단은 Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 지침에 따라 1초간 노력성 날숨량이 50% 미만인 중증 만성폐쇄성폐질환 진단을 받은 자로써, 12주 동안 고혈압 등 복용약물상의 변동이 없는 자, 뇌혈관 질환, 암, 정형외과적 질환, 신경외과적 질환이 없는 자, 최근 3개월 이상 규칙적인 운동을 하지 않은 자, 급진적 만성폐쇄성폐질환 증상이 없는 자로 본 연구의 목적을 이해하고 연구에 참여하기로 동의한 자를 대상으로 선정하였으며, 연구대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 실험방법

1) 연구설계

중증 만성폐쇄성폐질환 환자 20명을 표본 추출하여, 전신진동운동을 병행한 호흡운동을 증재한 집단을 실험군으로, 호흡운동만을 증재한 집단을 대조군으로 설

Table 1. General Characteristics

Items	Experimental group (n = 10)	Control group (n = 10)	P
	M ± SD	M ± SD	
Age	69.66 ± 4.21	70.41 ± 4.14	.990
Height (cm)	167.91 ± 6.16	166.83 ± 4.76	.428.
Weight (kg)	61.66 ± 6.24	65.25 ± 7.42	.583
Disease (years)	6.75 ± 2.09	6.91 ± 1.56	.282

정하여, 대상자들을 각각 10명씩 무작위 배치하였다. 중재 전 사전 검사로 폐활량 측정기를 활용하여 1초당 노력성 날숨량(forced expiratory volume in 1 second; FEV1)과 노력성 폐활량(forced vital capacity; FVC), 1초간 노력성 날숨량(FEV1)/노력성폐활량(FVC)을 측정하였고, 6분보행검사(6-minute walk test, 6MWT)로 6분 동안의 이동거리를 측정하였으며, 세인트조지 호흡기 설문(St. George's Respiratory Questionnaire; SGRQ) 평가지를 사용하여 건강관련 삶의 질 평가를 측정하고, 각 집단의 중재를 , 6주 간, 주 4일, 1일 1회, 1회 30분씩 중재 프로그램을 시행한 후, 사후검사를 사전검사와 동일하게 재측정하여 분석하였다.

2) 측정도구 및 방법

본 연구에 사용된 측정 도구로는 신장과 체중은 Body Mass Index HW-600(Korea)을 사용하였고, 폐기능은 Chestgraph HI-701(Chest, Japan)을 이용하여 1초당 노력성 날숨량, 1초당 노력성 날숨량/노력성 폐활량, 노력성 폐활량을 측정하였다. 그리고 운동능력은 6분 보행검사(6-minute walk-test)로 이동거리를 측정하였으며, 건강관련 삶의 질을 측정하기 위해 세인트 호흡기 설문지(St.Go-erge's Respiratory Questionnaire, SGRQ)로 측정하였다.

(1) 폐기능 측정

폐기능 측정은 폐기능 측정기를 활용하여 대상자에게 앉은 자세에서 호흡기계를 입에 물고 최대한 숨을 들이신 후, 힘껏 내뿜게 하여 측정된 수치를 기록하여 1초당 노력성 날숨량(FEV1)과 1초당 노력성날숨량/노력성 폐활량(FEV1/FVC), 노력성폐활량(FVC)을 측정

하였다. 폐활량 측정은 최소 3회 이상 실시하였고, 검사치 중에서 가장 큰 수치와 그 다음 큰 수치 사이의 차이가 5% 이내 또는 200 mL 이내인 수치를 측정하였다.

(2) 보행능력 측정

일반적으로 만성폐쇄성폐질환 환자의 보행능력을 평가하기 위해 사용되고 있는 6분보행검사(6MWT)를 실시하였다. 6MWT는 미국흉부학회(American thoracic society)에서 제시한 6분보행검사에 대한 가이드라인을 참고하여 30 m 트랙을 6분 간 걸게 한 후 보행한 거리 (m)를 측정하였다[16].

(3) 건강관련 삶의 질 측정

SGRQ는 만성폐쇄성폐질환 환자의 건강관련 삶의 질을 측정하기 위해 고안된 자가보고 도구이며 총 50문항의 3가지 영역으로 이루어져 있는데, 지난 한달 동안의 호흡기 증상의 빈도와 중증도를 반영하는 증상(symptom) 8문항, 호흡곤란을 유발하거나 호흡곤란에 의해 제한받는 활동 정도를 반영하는 활동력(activity) 16문항, 사회적 기능, 정서적 기능에 대한 질병의 영향, 전반적인 장애 정도를 측정하는 영향력(impact) 26문항으로 구성되어 있고, 영역별 점수와 총 점수를 각각 계산하여 0에서 100까지 점수로 표시되는데 점수가 낮을수록 호흡기 증상과 관련된 삶의 질은 좋으며 점수가 높을수록 삶의 질은 떨어진다. 측정은 1:1 직접 면담으로 시행하였으며 피검자가 직접 문항을 읽고 표기하기가 불가능할 경우 검사자가 피검자에게 각 문항을 읽어 주고 자신의 상태를 가장 잘 나타내는 항목을 고르도록 하여 검사자가 기록하였다.

Table 2. Comparison of the Change in the Experimental Group

	Experimental group (n = 10)		t	p'
	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)		
FEV1	.85 ± .04	.93 ± .07	-4.818	.001*
FEV1/FVC	40.26 ± 2.65	41.45 ± 1.68	-1.872	.088
FVC	2.07 ± .06	2.09 ± .05	-1.722	.113
6MWT	245.25 ± 32.87	279.1 ± 28.29	-3.411	.006*
SGRQ	55.75 ± 4.59	47.66 ± 5.74	4.133	.002*

*Paired t-test

*p < .01

3. 중재방법

1) 전신진동운동

진동 운동을 위해 30WG은 진동 장비(SONIX, SW-VH16 KOREA)를 이용하여 30 Hz의 주파수와 중간 강도인 30 mm를 이용하였다. 운동 자세로는 기기 위에 손잡이를 잡고 무릎 관절 35° 굽힘을 하고 허리와 머리는 일직선에 있게 하여 운동을 하였다. 준비운동으로 트레드밀에서 4 km 속도로 5분간 가벼운 걷기를 적용하였고 본 운동은 4분씩 진동 운동을 적용 후 운동 사이에 1분씩 휴식 시간이 주어졌으며 총 4회 20분간 하였으며 마무리 운동으로 5분간 스트레칭을 적용하였다.

2) 호흡운동

호흡은 총 6주 간, 주 4회, 1회 30분동안 각 집단에 가로막 호흡운동과 입술 오므리기 호흡을 복합하여 중재하였다. 호흡운동을 실시하기 위해 환자를 편안한 자세로 준비시키고 들숨성 가로막 호흡운동이 끝나면 곧바로 날숨성 입술 오므리기 호흡운동을 시행하였다. 총 4 session으로 구성되며 1 session이 끝난 후 1분 간의 휴식시간을 제공하였으며, 1 session은 총 5 set로 이루어지며, 1 set당 분당 4-5회의 호흡운동을 시행하고 30초의 휴식시간을 제공하였다. 들숨성 가로막 호흡운동의 방법은 치료사의 손은 전방 갈비연골 바로 아래 위치한 배곧은근에 올려놓은 다음 환자에게 느리고 깊게 코로 숨을 들이마시도록 들숨성 가로막 호흡을 유도한다. 이때 치료사는 배곧은근이 상승될 때 적절한 저항

을 가하며 환자의 깊은 들숨을 유도하며, 환자는 깊은 들숨을 하는 동안 어깨를 이완시켜 유지하게 하고 위쪽 가슴부는 움직이지 않게 하며 복부의 상승만 허용한다. 날숨성 입술 오므리기 호흡운동 방법은 환자의 깊은 들숨을 이용하여 입술을 오므리고 일정한 시간동안 공기를 밖으로 내쉬도록 한다.

4. 자료분석

본 연구의 자료처리 방법은 Window용 SPSS 19.0을 이용하여 측정항목에 대한 평균값과 표준편차값을 산출하였고, Shapiro-wilk로 정규성 검정 하였으며, 연구 대상자의 일반적 특성에 대한 동질성 검정을 Levene의 등분산 검정(Levene's test)으로 하였다. 그리고 집단 내 변화 비교는 대응표본 t-검정(Paired t-test)을, 집단 간 변화 비교는 공분산분석(ANCOVA)을 하였으며, 유의수준 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 실험군의 집단 내 변화 비교

실험군의 1초간 노력성 날숨량($p < .01$), 6분보행거리($p < .01$), 건강관련 삶의 질($p < .01$)에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나(Table 2), 1초간 노력성 날숨량/노력성 폐활량, 노력성 폐활량은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

Table 3. Comparison of the Change in the Control Group

	Control group (n = 10)		t	p'
	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)		
FEV1	.88 ± .04	.91 ± .04	-2.442	.033*
FEV1/FVC	39.67 ± 2.01	40.88 ± 1.71	-1.802	.099
FVC	2.07 ± .08	2.09 ± .07	-1.423	.183
6MWT	260.71 ± 33.53	268.195 ± 31.28	-2.537	.028*
SGRQ	53.16 ± 5.09	49.08 ± 3.06	3.023	.012*

*Paired t-test

*p < .05,

Table 4. Comparison of the Change between the Groups

	Experimental group (n = 10)		Control group (n = 10)		F	p'
	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)		
FEV1	.85 ± .04	.93 ± .07	.88 ± .04	.91 ± .04	4.582	.044*
FEV1/FVC	40.26 ± 2.65	41.45 ± 1.68	39.67 ± 2.01	40.88 ± 1.71	.363	.553
FVC	2.07 ± .06	2.09 ± .05	2.07 ± .08	2.09 ± .07	.078	.783
6MWT	245.25 ± 32.87	279.1 ± 28.29	260.71 ± 33.53	268.195 ± 31.28	4.687	.042*
SGRQ	55.75 ± 4.59	47.66 ± 5.74	53.16 ± 5.09	49.08 ± 3.06	1.077	.311

*ANCOVA

*p < .05

2. 대조군의 집단 내 변화 비교

대조군의 1초간 노력성 날숨량($p < .05$), 6분보행거리($p < .05$), 건강관련 삶의 질($p < .05$)에서 통계학적으로 유의한 가 있었으나(Table 3), 1초간 노력성 날숨량/노력성 폐활량, 노력성 폐활량은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

3. 집단 간 변화 비교

1초간 노력성 날숨량, 6분보행거리에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p < .05$)(Table 4).

IV. 고 찰

본 연구에서는 전신진동자극을 병행한 호흡운동이 중증의 만성폐쇄성폐질환 환자의 폐기능과 보행능력, 건강관련 삶의 질에 미치는 영향을 알아봄으로써 전신

진동 자극을 통한 훈련 효과가 어떠한 차이를 보이는지 알아보하고자 다음과 같은 논의를 하고자 한다.

최근 몇 년 동안의 연구들에 의하면 전신진동 운동은 다양한 임상분야에서 통증의 완화 및 신체적 성능에 대한 효과가 검증된 연구가 진행되고 있고, 주로 근력의 향상과 신경근 성능, 통증 및 골 밀도의 일부 측면을 개선하는 것을 목표로 하고 있다[17]. Roelants 등[18]은 24주 동안의 전신진동훈련으로 노인 여성의 근력이 일반 저항훈련과 비슷한 정도의 수준으로 증가했다고 보고하였고, Spruit 등[19]은 이러한 결과를 통해 전신진동 운동이 만성폐쇄성폐질환 환자에게 유망한 훈련 방식이라는 것을 시사하였다. 전신진동훈련은 제한된 시간 동안 특정 관절 각도를 사용하여 다양한 주파수를 통해 신체에 의도적으로 적용할 수 있는 치료 방법으로 생체 역학적 변수로는 주파수와 진폭이 있다. 만성폐쇄성폐질환 환자에게 전신진동을 적용할 때 가장 이상적인

주파수는 연구들마다 조금씩 차이가 있는데 Rittweger 등[20]은 산소 소비가 26 Hz에서 가장 높았다고 하였고, Moran 등[21]은 근육 파괴가 65 Hz에서 관찰되어 근 피로를 유발한다고 하였다. Tsukahara 등[22]의 연구에서는 진동의 크기와 15~30 Hz 주파수 사이의 진동에 따른 결과에 약간의 불일치가 있었으며, 이러한 원인은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았다. Ye 등[23]은 전신 진동의 효과가 사용되는 주파수에 따라 다르기 때문에 각 부위에 대한 최적의 주파수를 결정해야 한다고 하였다. Pleguezuelos[24]의 연구에서는 만성폐쇄성폐질환 환자들을 대상으로 전신진동훈련을 할 때 진동 주파수에 따라 진동이 없을 때, 25 Hz, 35 Hz에서 각각 심장, 대사 및 환기 평가를 실시한 결과 35 Hz의 진동 주파수가 다른 주파수 집단에 비해 더 높은 심폐호흡 적응을 제공하였고, 기능 용량의 개선과 관련될 수 있음을 입증하였다. Nasrallah 등[25]은 만성폐쇄성폐질환 환자 50명을 대상으로 18주 동안 25~30 Hz의 전신진동을 증재한 결과 1초간 노력성 날숨량과 노력성 폐활량이 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 전신진동의 주파수를 35 Hz로 설정하여 6주 동안 증재한 결과 1초간 노력성 날숨량이 유의한 차이를 보여 선행연구를 지지하였다. 이러한 결과는 전신진동자극이 근육 내 운동신경의 동시 활성화로 인해 근신경계를 활성화 시키고 협력근의 동시 수축을 증가시켜 호흡근의 발달로 이어져 폐기능 향상에도 영향을 미친 것으로 보인다. 그러나 집단 간 비교에서는 유의성이 나타나지 않았는데 선행연구의 증재기간이 18주에 비해 본 연구의 증재기간은 6주로 짧았기 때문에 장기간의 연구가 필요할 것으로 보인다.

Pleguezuelos 등[24]은 26명의 만성폐쇄성폐질환 환자들에게 6주 동안의 전신운동이 근력의 변화는 없었지만 6분보행거리에서 유의한 증가를 보였고, Fischer 등[26]은 전신진동훈련이 노인들의 균형과 걸음걸이 속도를 향상시키는데 효과적이라고 하였으며, 소아마비가 있는 환자들을 대상으로 한 Telford 등[27]의 연구에서도 전신진동운동이 6분보행거리에 큰 개선을 보였다. 본 연구에서도 실험군을 대상으로 전신진동자극을 병행한 호흡운동을 증재한 결과 6분보행거리가 유의한 증가를 보였고, 집단 간 비교에서도 유의한 차이를 보

여 전신진동자극의 효과를 입증하였다. 그 이유는 자세를 유지하기 위해 가해지는 근 긴장에 의해 근력이 강화되는 효과가 있었을 것으로 보여지며, 근력 강화와 함께 균형까지 증진시켜 보행거리에도 영향을 미쳤을 것이다. 이러한 결과는 반사활동을 증가시켜 근육을 강화시키고[7], 근육 방추 시스템의 자극과 증가된 피질운동세포 흥분으로 인한 반사활동을 증가시켜 근육 기능을 향상시킨다는 Pamukoff 등[28]의 선행연구를 지지하였다.

만성폐쇄성폐질환은 복잡한 폐 염증 과정에서 사이토 카인 종양괴사인자 TNF- α , IL-6, IL-8, IFN- γ , TNF- α 와 같은 염증성 세포 및 매개체가 있는데[29], 전신진동이 이러한 염증성 세포들을 감소시켜 삶의 질을 향상시킨다고 하였다[30]. 본 연구에서도 6주 동안의 전신운동을 증재한 결과 집단 내 건강관련 삶의 질 비교에서는 유의한 증가를 보여 선행연구를 지지하였다. 집단 간 비교에서는 유의한 차이가 나타나지 않았는데 그 이유는 삶의 질 증상 점수는 6주 동안의 증재만으로 통계적인 집단 간 차이를 나타내기에는 무리일 수 있다. 따라서 향후 건강관련 삶의 질을 목표로 하는 장기간의 연구가 필요할 것으로 보인다.

V. 결론

결론적으로 6주 동안의 전신진동자극을 병행한 호흡운동이 중증 만성폐쇄성폐질환 환자들의 폐기능, 6분보행거리, 건강관련 삶의 질에 긍정적인 영향을 미쳤고, 특히 전신진동자극이 근육의 반사적인 수축을 통한 근력과 근지구력 향상으로 인해 운동내성을 증가시킴으로써 더욱 효과적이었다. 이러한 결과는 향후 임상에서 호흡운동을 하기 힘든 중증의 만성폐쇄성폐질환 환자들의 신체기능의 측면을 개선하기 위한 대체수단이 될 수 있을 것이라고 생각된다.

Acknowledgements

본 논문은 2021년 세한대학교의 학술연구비에 의하여 지원되었다.

References

- [1] Choudhury G, Rabinovich R, MacNee W. Comorbidities and Systemic Effects of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Clin Chest Med.* 2014;35(1):101-30.
- [2] Ciancio N, Sanguinetti CM, Falcone F, et al. Most Italians attending a congress on health of elderly people do not know and do not recognize respiratory diseases. *Multidiscip Respir Med.* 2016;11:26.
- [3] Jaitovich A, Barreiro E. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. What we know and can do for our patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;198(2):175-86.
- [4] Taivassalo T, Hussain SN. Contribution of the mitochondria to locomotor muscle dysfunction in patients with COPD. *Chest.* 2016;149(5):1302-12.
- [5] Lee A, Holland A. Time to adapt exercise training regimens in pulmonary rehabilitation - a review of the literature. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2014;9[1]:1275-88.
- [6] Cardim AB, Marinho PE, Nascimento JF, et al. Does whole-body vibration improve the functional exercise capacity of subjects with COPD? A meta-analysis. *Respir Care.* 2016;61(11): 1552-9.
- [7] Gloeckl R, Marinov B, Pitta F. Practical recommendations for exercise training in patients with COPD. *Eur Respir Rev.* 2013;22(128):178-86.
- [8] Jackson AS, Shrikrishna D, Kelly JL, et al. Vitamin D and skeletal muscle strength and endurance in COPD. *Eur Respir J.* 2013;41(2):309-16.
- [9] Ritzmann R, Kramer A, Gruber M, et al. EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes?. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(1):143-51.
- [10] Pamukoff DN, Pietrosimone B, Ryan ED, et al. Whole-body vibration improves early rate of torque development in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res.* 2017;31(11): 2992-3000.
- [11] Alentorn-Geli E, Padilla J, Moras G, et al. Six weeks of whole-body vibration exercise improves pain and fatigue in women with fibromyalgia. *J Altern Complement Med.* 2008;14(8):975-81.
- [12] Figueroa A, Gil R, Wong A, et al. Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women. *Hypertens Res.* 2012;35(6):667-72.
- [13] Ko MS, Sim YJ, Kim DH, et al. Effects of three weeks of whole-body vibration training on joint-position sense, balance, and gait in children with cerebral palsy: A randomized controlled study. *Physiother Can.* 2016; 68(2):99-105.
- [14] Huang M, Pang MY. Muscle activity and vibration transmissibility during whole-body vibration in chronic stroke. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(6):816-25.
- [15] Zheng YL, Wang XF, Chen BL, et al. Effect of 12-week whole-body vibration exercise on lumbopelvic proprioception and pain control in young adults with nonspecific low back pain. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research,* 2019; 25:443-52.
- [16] Hernandez NA, Wouters EFM, Meijer K, et al. Reproducibility of 6-minute walking test in patients with COPD. *Eur Respir J.* 2011;38(2):261-7.
- [17] Pahl A, Wehrle A, Kneis S, et al. Whole body vibration training during allogeneic hematopoietic cell transplantation- the effects on patients' physical capacity. *Ann Hematol.* 2020;99(3):635-48.
- [18] Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc.* 2004;52(6):901-8.
- [19] Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;188(8):e13-64.
- [20] Rittweger J, Ehrig J, Just K, et al. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration

- frequency, amplitude and external load. *Int J Sports Med.* 2002;23(6): 428-32.
- [21] Moran K, McNamara B, Luo J. Effect of vibration training in maximal effort (70% 1RM) dynamic bicep curls. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(3):526-33.
- [22] Tsukahara Y, Iwamoto J, Iwashita K, et al. What is the most effective posture to conduct vibration from the lower to the upper extremities during whole-body vibration exercise?. *Open Access J sports Med.* 2016;7:5-10.
- [23] Ye J, Ng G, Yuen K. Acute effects of whole-body vibration on trunk muscle functioning in young healthy adults. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10):2872-9.
- [24] Pleguezuelos E, Casarramona P, Guirao L, et al. How whole-body vibration can help our COPD patients. Physiological changes at different vibration frequencies. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease.* 2018;13:3373-80.
- [25] Nasrallah TM, Emam H, Alwakil IM, et al. Effects of Whole-Body Vibration on Egyptian Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Int J Med Arts.* 2020; 2(2):420-6.
- [26] Fischer M, Vialleron T, Laffaye G, et al. Long-term effects of whole-body vibration on human gait: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol.* 2019;10:627.
- [27] Telford D, Vesey RM., Hofman PL, et al. The Effect of Vibration Therapy on Walking Endurance in Children and Young People With Cerebral Palsy: Do Age and Gross Motor Function Classification System Matter?. *Arch Rehabil Res Clin Transl.* 2020;2(3):100068.
- [28] Pamukoff DN, Pietrosimone B, Lewek MD, et al. Immediate effect of vibratory stimuli on quadriceps function in healthy adults. *Muscle Nerve.* 2016;54(3): 469-78.
- [29] Barnes PJ. Cellular and molecular mechanisms of chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med.* 2014; 35(1):71-86.
- [30] Neves CD, Lacerda AC, Lage VK, et al. Whole body vibration training increases physical measures and quality of life without altering inflammatory-oxidative biomarkers in patients with moderate COPD. *J Appl Physiol.* 2018;125(2):520-8.