

진동 레그 프레스를 이용한 근력운동의 효과

황선홍¹, 조영근¹, 손랑희¹, 김영호^{1,2}, 김한성^{1,2}, 임도형^{1,3}

¹연세대학교 대학원 의공학과, ²연세의료공학 연구원, ³한국생산기술연구원 실버기술개발단

Effects of Strengthening Exercise using Vibrating Leg-press

S. H. Hwang¹, Y. G. Cho¹, R. H. Sohn¹, Y. H. Kim^{1,2}, H. S. Kim^{1,2}, D. H. Lim^{1,3}

¹Dept of Biomed. Eng., Graduate School, Yonsei Univ.

²Institute of Medical Eng., Yonsei Univ. ³Gerontechnology Center, Korea Institute of Industrial Technology

(Received January 6, 2009. Accepted May 6, 2009)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the biomechanical effects of an application of whole body vibration during strengthening exercise. Every participant performed four weeks exercise program using general leg-press versus vibrating leg-press. Participants did legpress exercise three sets of 25 repetitions with the load of 25 percent of 1RM during first week, three sets of 20 repetitions with 40 percent of 1RM during second week, three sets of 15 repetitions with 60 percent of 1RM during third week, and three sets of 15 repetitions with 80 percent of 1RM during last fourth week. The vibration(25Hz, 5mm) was applied only to the vibration exercise group. A three dimensional virtual lower extremity model for one of subject and virtual leg-press model were generated. The knee extensor muscle forces were analyzed using the virtual model and the knee joint torque(maximum extension torque) was measured using an isokinetic device. Calculated muscle forces were smaller in vibrating leg-press exercise than in general leg-press exercise. An increase of the maximum knee extension joint torque was 2.14 times larger approximately after the four week vibration leg-press exercise program was performed.

Key words : vibration, legpress, strengthening exercise

1. 서론

과도하고 지속적인 전신진동(Whole Body Vibration; WBV) 및 국소진동(Local Body Vibration; LBV)은 인체에 불쾌감, 피로감을 줄 뿐만 아니라 활동성과 작업효율의 저하를 초래하며[1], 심한 경우 레이노병이라 불리는 말단부 혈액순환장애에 질환을 야기 시키기도 한다[1-2]. 산업 현장에서 또는 탈 것들에 의해 장시간 진동에 노출되었을 때 인체에 유해한 영향을 미친다는 연구는 많이 있으며 이에 대해 ISO 2631/1은 전신진동에 대한 노출 정도를 정량적으로 측정하는 방법과 인체의 강제 표면(solid surface)을 따라 전달되는 1~80Hz의 주파수대의 진동에 대한 노출 한도(limits)에 대한 수치적 정보를 제공하고 있다[3].

진동의 유해성에 대한 이러한 연구와는 별도로 최근 스포츠 분

야와 재활치료분야에서는 적절한 진동의 적용으로 운동효과 또는 치료효과를 향상시킬 수 있다는 연구 결과가 보고되고 있다[4]. Kazuhiro Kawanabe 등은 근력운동, 균형운동, 걷기운동에 전신진동을 가했을 때 노인군의 걷기 능력 향상에 도움이 되었다고 보고하였으며[5], Wing-Hoi Cheung 등은 전신진동이 여성 노인군의 균형능력 향상을 증진시키는데 효과가 있으며 하루 3분정도의 전신진동운동으로 낙상의 위험성을 줄일 수 있다고 보고하였다 [6]. An Bogaerts 등도 1년 동안 전신진동운동 프로그램을 적용한 노인군에서 낙상의 위험이 줄어들었다는 연구 결과를 보고하기도 하였다[7]. 이외에도 전신진동운동이 정적균형조절 능력향상에 긍정적인 영향을 주어 낙상을 줄일 수 있고, 노인군과 성인군에서 모두 근력운동을 하는데 진동을 적용했을 때 산소 소모량이 증가하고 좀 더 큰 부하운동이 가능했다는 연구가 많이 보고되고 있다 [8-10].

본 연구에서는 이러한 전신진동운동의 긍정적인 효과에 대해 정량적인 분석을 하기 위하여 전신진동운동에 적합한 진동의 특성에 대해 조사한 후, 진동 발판이 부착된 레그 프레스를 이용하여 하지

Corresponding Author : 임도형

(330-825) 중남 천안시 서북구 입장면 풍천리 35-3

한국생산기술연구원 실버기술개발단 연구동 226호

Tel : +82-41-589-8428 / Fax : +82-41-589-8420

E-mail : dl349@gmail.com

본 연구는 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의해 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었음

근력운동을 하는 동안 진동을 적용하였을 때 하지의 근력이 얼마나 향상되었는지 인체 가상 모델을 통해 하지 근력을 계산하였고, 실험을 통하여 측정된 생체역학적 데이터를 분석하였다.

II. 방법

A. 인체 가상 모델을 통한 근력추정

일반 레그 프레스 운동 중 엉덩이, 무릎, 발목 관절의 운동 범위를 측정하여 3차원 근골격계 모델을 생성 하였고 진동 레그 프레스를 이용한 운동동안 주요 근육에서 발생하는 근력의 변화를 분석하였다. 해석을 위해 모사된 동작은 70kg의 하중이 부가된 일반 및 진동 레그 프레스 운동이었으며 진동 레그 프레스 운동시 20Hz의 주파수, 10mm진폭의 진동을 발판에 인가하였다.

3차원 인체 가상 모델은 BRG LifeMOD(Biomechanics Research Group, Inc., USA)를 이용하여 피검자의 하체를 모델링하였다. 생성된 모델에는 4개의 뼈(엉덩이, 넙다리, 정강이, 발 뼈)와 12개의 근육들(큰볼기근, 중간볼기근, 장골근, 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 내측 넓은 근, 외측 넓은 근, 큰 모음근, 반힘줄모양근, 앞정강근, 장딴지근, 가자미근)로 구성하였다.

레그 프레스의 단순화 가상 모델(등판, 아랫판, 발판)의 생성과 움직임 동기화는 3차원 다물체 동역학 해석 소프트웨어인 MSC ADAMS (MSC Software Corp., USA)를 이용하여 수행하였다. 인체 가상 모델과 레그 프레스 가상 모델의 동기화를 위하여 각각의 접촉면들에 대한 구속 조건들을 생성하여 서로 연결하였다. 이

때 엉덩이 뼈의 뒤틀림을 막기 위해 회전축 관절로 그리고 그 외의 조건들은 모두 면 대 면 접촉 조건을 정의하였다. 가상 모델에 생성된 발판은 진동을 전달하는 진동판과 진동판을 지지하는 지지대로 구성되었으며, 15도의 경사를 가지도록 하였다. 지지대는 6개의 자유도가 모두 구속되었으며 이와 연결된 진동판은 15도의 경사도에 수직한 방향의 움직임만이 가능하게 하였다.

B. 레그 프레스를 이용한 4주 훈련 전후 비교

일반 및 진동 레그 프레스를 이용한 4주 훈련의 효과를 알아보기 위하여 건강한 성인 남성 9명의 지원을 받아 일반 레그 프레스 운동 4주, 휴식기 4주, 진동 레그 프레스 운동 4주를 실시하였다. 일반 및 진동 레그 프레스 운동을 시작하기 전 1RM(one-Repetition Maximum)과 최대 수의적 수축(Maximum Voluntary Contraction; MVC)을 측정하였다. 1RM은 훈련 전 초기 1회 간접 측정 방법으로 최대운동강도를 계산해낸 후 주차별 훈련 계획 설정에 사용하였다. MVC는 근력의 변화를 정량적으로 계산하기 위하여 등속성 운동장비(Biodex System III, USA)(그림 2)를 이용하여 등척성 수축시 무릎 관절의 최대 신전 모멘트를 3회 측정하여 평균값으로 정하였다.

C. 운동 강도 설정 및 진동 주기/세기 설정

레그 프레스 발판에 부착된 진동기는 음파 진동기(TS Korea Co., Ltd)로 본 연구를 위하여 별도로 제작되었다. 근력 운동시 적절한 진동의 주파수와 세기는 ISO 2631/1 기준의 노출한도를 넘

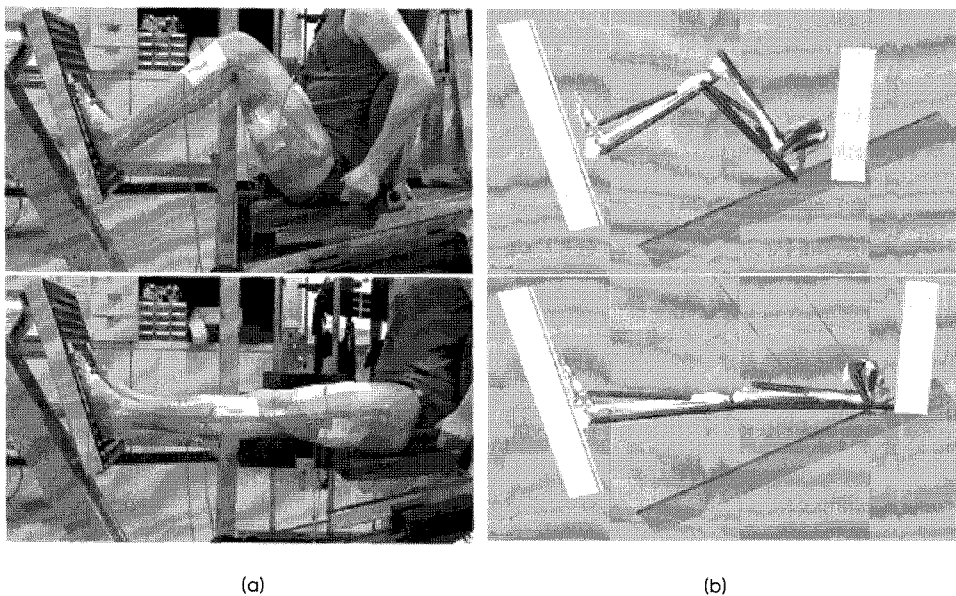


그림 1. 레그 프레스 운동 동작분석(a), 레그 프레스 및 인체 삼차원 가상 모델(b)
 Fig. 1. Leg-press exercise motion capture(a), and three dimensional virtual human lower extremity and leg-press model(b)



그림 2. 등속성 운동장비(Biodex SystemIII)를 이용한 무릎관절의 등척성 최대 신전 모멘트 측정

Fig. 2. Measurement for the maximum extension moment during isometric contraction of the knee joint using isokinetic exercise device(Biodex SystemIII)

지 않는 범위 내에서 선행연구들에서 가장 선호되는 주파수와 세기인 25Hz, 5mm(Volume 15)로 설정하였다.

주차별 운동 강도는 적용부하, 세트 수, 세트당 반복수를 변화시켜 설정하였는데 일반 및 진동 레그 프레스 운동에 모두 동일하게 적용하였다. 주차별 훈련계획은 표 1과 같이 1주차에는 1RM의 20%무게를 훈련 부하로 하고 25회씩 3세트를 실시하였고, 2주차에는 1RM의 40%를 20회씩 3세트, 3주차에는 1RM의 60%를 15회씩 3세트, 마지막 4주차에는 1RM의 80%의 무게를 12회씩 3세트 실시하였다.

III. 결 과

A. 인체 가상 모델을 통한 일반 및 진동 레그 프레스 운동시 근력

인체 가상 모델에 생성된 12개의 근육들 중에서 넙다리곧은근, 내측넓은근, 외측넓은근(무릎관절 펴근육)이 가장 큰 근력을 발휘한 것으로 해석되었으며(그림 3) 일반 및 진동 레그 프레스 운동시 계산된 최대 근력은 표 2와 같다.

표 1. 운동 강도 설정

Table 1. Exercise intensity

주차	운동강도(부하)	세트당 반복수(회)	세트 수(회)
1	1RM의 20%	25	3
2	1RM의 40%	20	3
3	1RM의 60%	15	3
4	1RM의 80%	12	3

표 2. 일반 및 진동 레그 프레스 운동시 계산된 무릎 펴근들의 최대 근력

Table 2. Maximum muscle forces of knee extensor muscles during leg-press exercise

	최대 근력 (N)		
	넙다리곧은근	외측넓은근	내측넓은근
일반 레그 프레스	6306.30	6601.21	4910.29
진동 레그 프레스	5858.93	6144.60	4466.77

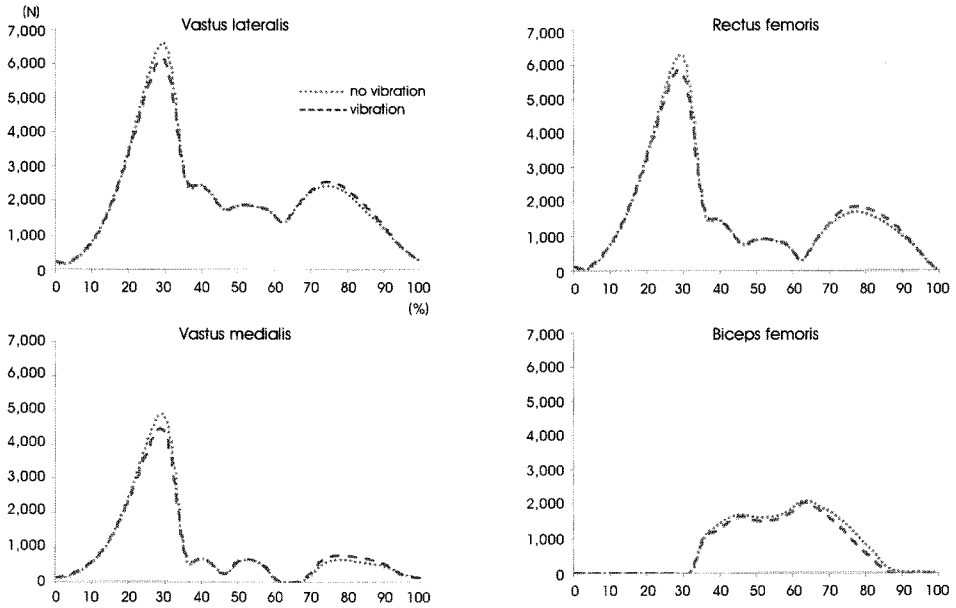


그림 3. 일반 및 진동 레그 프레스를 이용한 부하 운동시 외측넓은근, 넓다리곧은근, 내측넓은근, 넓다리 두갈래근의 근력
 Fig. 3. Muscle force curves generated by the exercise with extra load and vibration, without vibration

B. 일반 및 진동 레그 프레스를 이용한 4주 훈련 전·후 무릎 신전 모멘트 변화

9명의 피검자는 모두 4주 훈련 후 MVC 측정에서 무릎 신전 모멘트가 증가하였는데, 이 중 2명을 제외한 7명의 피검자에서 진동 레그 프레스 운동시 모멘트 증가량이 일반 레그 프레스 운동에서 보다 더 컸다. 표 3은 두 가지 운동 방법에서 피검자별 무릎관절 신전 모멘트 증가량의 차이를 나타낸 것이다. 일반 레그 프레스 훈련 시보다 진동 레그 프레스 훈련시에 모멘트 증가량이 더 큰 7명의 피검자들에서 모멘트 증가량의 차이는 최소 5.17Nm에서 최대 13.37Nm까지 범위의 분포를 보였으며, 진동 레그 프레스 훈련시에 평균 2.14배 더 큰 모멘트 증가량을 보였다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 진동 레그 프레스의 운동 효과에 대해 생체역학적, 정량적 분석을 위하여 인체 가상 모델을 이용한 동역학 해석과 4주 훈련 프로그램 적용 전후 비교를 실시하였다.

인체 가상 모델을 이용한 동역학 해석에서 진동 레그 프레스 운동시 무릎관절 펴근의 근력이 낮게 계산되었는데 이는 동일한 부하로 운동을 하더라도 진동 자극을 가했을 시 근육이 근력을 덜 발휘해도 된다는 것이다. 이는 바꾸어 말하면 진동 자극 근력 운동시에 더 큰 부하운동이 가능하다는 것이다.

일반 및 진동 레그 프레스 운동시에 지면 반발력은 힘측정판을

표 3. 4주 훈련 후 무릎관절 최대 신전 모멘트의 변화

Table 3. Variations of maximum knee extension moment after 4 weeks exercise

피검자	4주 훈련후 모멘트 증가량(Nm)		모멘트 증가량의 차이(Nm) (진동 - 일반)
	일반 레그 프레스	진동 레그 프레스	
A	3.33	8.50	5.17
B	4.70	17.23	12.53
C	8.27	17.50	9.23
D	8.87	19.20	10.33
E	9.10	17.83	8.73
F	25.97	31.30	5.33
G	42.50	55.87	13.37

직접 레그 프레스 발판에 부착하여 측정하여야 하였으나 진동판까지 장착된 레그 프레스의 발판에 힘측정판을 장착하기에 현실적인 어려움이 있었다. 또한 근전도 측정을 통해 레그 프레스 운동에 진동의 효과를 분석해 보려 하였으나 음파 진동기에서 발생하는 전자기파에 의하여 근전도에 심한 잡음이 측정되어 근전도 연구는 실질적으로 불가능하였다.

9명의 건강한 성인 남성을 대상으로 4주간의 운동 프로그램 적용 후 관절 모멘트 변화량으로 두 가지 레그 프레스의 운동효과를 비교 분석하였는데, 9명의 지원자는 총 12주 동안 정해진 레그 프레스 운동 이외에는 일상생활을 제외한 다른 특별한 근력운동을 하지 않도록 요구 되었고, 일주일에 5일(월요일~금요일) 동일한 시간에 실험실에 나와 훈련하도록 요구되었다. 그러나 피검자들의 실험실 밖에서의 활동을 모두 제약하기는 어려운 점이 존재하였는데 2명의 피검자는 이러한 활동이 실험 결과에 영향을 크게 미쳐 중도에 실험 대상자에서 제외되었다. 피검자는 4주 동안 매일(토요일, 일요일 제외) 훈련해야 하지만 피검자마다 개인적 사정으로 훈련의 연속성이 끊기는 경우도 존재하였는데 이에 대해서는 처음부터 훈련을 다시 시작하였다. 이 경우에 초기 운동강도로 회복하기까지 2주 정도의 휴식기를 두고 훈련을 다시 시작하였다.

이와 같은 제한점이 존재하였지만 본 연구에서는 진동이 적용된 레그 프레스 운동이 근력강화에 좀 더 효과적이었다는 것으로 결론지었다. 차후 연구에서는 위의 단점들을 보완하고 좀 더 많은 수의 피검자를 대상으로 충분한 기간 동안 진동운동 프로그램을 적용한 실험을 진행할 계획이다.

참고문헌

[1] B. Griffin, "Haemodynamic change in ipsilateral and contralateral fingers cause by acute exposures to hand transmitted vibration," *Occup Environ Med.*, vol. 54, No. 8, pp. 566-576, 1997.

[2] L. Lundsrom, and R. Burstom, "Mechanical energy absorption in human hand-arm exposed to sinusoidal vibration," *Int. Arch. Occup. Environ Health.*, vol. 61, No. 3, pp. 213-216, 1988.

[3] "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to

80 Hz)" ISO 2631-2:2003

- [4] J. Rittweger, K. Just, K. Kautzsch, P. Reeg, and D. Felsenberg, "Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole body vibration exercise," *Spine*, vol. 27, No. 17, pp. 1829-1834, 2002.
- [5] K. Kawanabe, A. Kawashima, I. Sashimoto, T. Takeda, Y. Sato, and J. Iwamoto, "Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly," *Keio Journal of Medicine*. vol. 56, No. 1, pp. 28-33, 2007.
- [6] W. H. Cheung, H. W. Mok, L. Qin, P. C. Sze, K. M. Lee, and K. S. Leung, "High-Frequency Whole-Body Vibration Improves Balancing Ability in Elderly Women," *Arch Phys Med Rehabil*. vol. 88, No. 7, pp. 852-7, 2007.
- [7] A. Bogaerts, S. Verschueren, C. Delecluse, A. L. Claessens, and S. Boonen, "Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: A 1 year randomized controlled trial". *Gait & Posture*, vol. 26, pp. 309-316, 2007.
- [8] S. S. Rees, A. J. Murphy, and M. L. Watsford, "Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial," *Phys ther*, vol. 88, pp. 462-470, 2008
- [9] D. J. Cochrane, F. Sartor, K. Winwood, S. R. Stannard, M. V. Narici, and J. Rittweger, "A Comparison of the Physiologic Effects of Acute Whole-Body Vibration Exercise in Young and Older People," *Archi Physi Medi Rehab*, vol. 89, No. 5, pp. 815-821, 2008.
- [10] M. Yu, H. I. Eun, D. W. Kim, T. K. Kwon, N. G. Kim, "Effects of Vibratory Stimulus on Postural Balance Control during Standing on a Stable and an Unstable Support," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 28, pp. 647-656, 2007.
- [11] S. Ritzel, and H. E. Wolfel, "Anatomy-based human models for the simulation of whole-body vibration injuries," *J. Biomech.*, vol. 39, Supp. 1, pp. 168-169, 2006.
- [12] M. Griffin, "Handbook of Human Vibration," *Academic Press*, 1990, pp. 27-42.
- [13] N. S. Weerakkody, P. Percival, M. W. Hickey, D. L. Morgan, J. E. Gregory, B. J. Canny, and U. Proske., "Effects of local pressure and vibration on muscle pain from eccentric exercise and hypertonic saline," *Pain*, vol. 105, No.3, pp. 425-435, 2003.