

전신진동운동이 20대 성인남녀의 슬관절 근기능과 근반응성에 미치는 영향

Effect of Muscle Function and Muscular Reaction of Knee Joint in the Twenties on the Whole Body Vibration Exercise

강승록¹, 정구영², 배종진², 민진영³, 유창호⁴, 김정자⁴, 권대규^{4,✉}
Seung Rok Kang¹, Gu Young Jeong², Jong Jin Bae², Jin Young Min³, Chang Ho Yu⁴,
Jung Ja Kim⁴, and Tae Kyu Kwon^{4,✉}

¹ 전북대학교 헬스케어공학과 (Department of Healthcare Engineering, chonbuk National Univ.)

² 전북대학교 헬스케어기술개발사업단 (Center for Healthcare Technology Development, chonbuk National Univ.)

³ 주식회사 소닉월드 (Sonic world Co.)

⁴ 전북대학교 바이오메디컬공학부 (Division of Biomedical Engineering, chonbuk National Univ.)

✉ Corresponding author: kwon10@jbn.ac.kr. Tel: +82-63-270-4066

Manuscript received: 2012.7.11 / Revised: 2013.2.28 / Accepted: 2013.6.12

This study investigated the effect of whole-body vibration on muscle function and muscular reaction in the knee joint. We recruited thirty healthy subjects and divided them into a training group, who experienced whole-body vibration, and a control group, who did not. The training group performed whole-body vibration exercises for 30 min per day, 3 days a week, for 8 weeks. We measured knee joint torque to estimate muscle strength and reaction, using BIODEX System 3. Knee joint peak torque and total work performed increased significantly in the training group, and muscle acceleration time decreased. These results suggest that stimulation by whole-body vibration can improve muscle strength and reaction by improving muscle tone and increasing blood temperature and flow speed in muscular fiber. Our results also indicate that 4 weeks of exercise with whole-body vibration is required to improve the reaction response, and six weeks to improve strength.

Key Words: Whole-body Vibration (전신진동), Muscle Strength (근력), Muscle Reaction (근반응성), Knee Joint (슬관절), Human Body Effect (인체영향평가)

1. 서론

최근 운동부족으로 인해 체격은 커졌지만 그에 비해 근력이나 지구력과 같은 체력요소는 감소하는 추세이다.¹⁻³ 이러한 체력요소를 증진시키기 위해 사람들은 건강에 대한 관심을 가지게 되었고 다양한 형태의 운동들이 개발되었다.^{4,5} 전신진동운동은 새로운 운동 중 하나로 각광받고 있다.⁶

전신진동운동(whole body vibration exercise)은 인체에 무해한 수준의 진동수와 진폭을 활용하여 근육을 자극하는 형태의 운동을 의미한다. 이 운동은 1990년 트레이닝 분야에 적용된 새로운 형태의 운동방법으로, 국내에서는 아직까지 보편화되지 않았지만, 유럽, 미국, 일본 등 선진국에서는 이미 운동처방 분야에서 활발하게 사용되고 있다.⁷

전신진동운동은 운동선수의 근기능 향상분야에

서 가장 많이 적용 및 연구되고 있었으며, 노인학, 골다공증 치료 등 환자를 대상으로 한 근골격계 재활치료분야에서도 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.⁸ 또한 전신진동이 자세균형, 골밀도, 심폐기능 및 혈관계 기능 증진에 대한 긍정적 연구결과가 보고되고 있다. Kazuhiro Kawanabe⁹는 전신진동운동이 고령자의 근력강화, 자세균형, 보행 기능에 미치는 영향을 분석하였으며, Saila Torvinen¹⁰는 전신진동자극의 신경근 적응에 대한 효과를 고찰하여 진동이 인체에 “Tonic vibration reflex” 라는 반사적 근수축을 일으킴으로써 근신경계의 기능향상을 보고하였다. 임용택¹¹ 등은 전신 진동운동이 근육기능 향상, 골밀도 향상, 산소섭취량 증가, 혈류량 증가, 체지방을 감소 등 인체 모든 기관에 고르게 영향을 미치는 것을 확인하여 새로운 운동트레이닝 처방 방안에 대한 기대를 제시하였으며 박동호¹² 등은 진동운동 시 진동주파수에 따른 대사적, 생리적 변화를 고찰하였다.

운동효과뿐만 아니라 재활치료효과에 대한 많은 연구가 보고되었다. 골다공증 치료에 관한 연구로서, 고창용^{13,14} 등은 전신진동이 골다공증이 유발된 쥐의 해면골에 미치는 영향을 바탕으로 골다공증치료에 효과적임을 확인하였다. 슬관절염(knee-osteoarthritis)을 앓고 있는 여성 환자들의 근력강화와 고유수용감각에 미치는 영향을 평가하여, 전신 진동운동이 일반인뿐만 아니라 환자와 고령자의 재활치료에 효과가 있음을 제시한 연구가 있다.¹⁵ 또한 전신진동운동에 대한 인체영향평가뿐만 아니라 생체역학적 연구도 진행되어 전신진동운동에 대한 가상 골격계 모델을 개발하였다.¹⁶

이러한 전신진동 효과에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있지만 대부분이 전문운동선수, 고령자 및 특수 환자를 대상으로 실시하였으며 아직까지 일반 성인에게 미치는 효과에 대한 연구는 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 최근 현대인들에게 부족한 체력요인들에 대한 전신진동운동의 효과를 알아보기 위해 8주간의 전신진동운동이 20대 일반 성인남녀의 슬관절 근기능과 근반응성에 미치는 효과를 평가하고자 한다. 또한 이를 통해 전신진동운동이 정상인에게 미치는 긍정적인 효과를 규명하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 피험자

Table 1 Subject information in physical units

	Control group	Training group
Age	20±2.4 yr	20±2.9 yr
Height	170±5.6 cm	170±6.9 cm
Weight	60±4.4 kg	60±5.1 kg

본 연구에 참여한 피험자들은 최근 6개월 이내에 근골격계 질환에 대한 병력이 없으며 전신진동운동 경험이 없는 신체 건강한 20대 일반성인 남녀 30명으로 구성되어있다. 피험자들은 무작위로 전신 진동운동을 받는 훈련 그룹(training group, TG)과 운동을 받지 않는 비교 그룹(control group, CG)으로 나누어 그룹마다 남자 10명, 여자 5명씩 동일한 성별 인원수로 구성하였다. Table 1은 훈련그룹과 비교그룹의 피험자 정보를 나타내고 있다. 모든 실험은 피험자가 전신진동에 무리가 없음을 확인한 후 수행되었고, 피험자의 연령, 신장과 체중에 따른 오류를 최소화하기 위하여 피험자 선정 시 그룹간 체중이 유사하게 유지되도록 하였다.

2.2 전신수직진동기

전신진동을 제공하기 위해서 본 연구에서는 전신수직 진동기(SW-VM10, Sonicworld, CO., Ltd, Korea)를 이용하였다. 본 연구에서 제공한 진동형태는 진동판(plate)에서 인체방향으로 수직진동을 제공하는 형태로 자극의 세기는 주파수와 진폭에 따라 결정되며 주파수는 1Hz~99Hz, 진폭은 1~50 mm까지 제공된다.

2.3 실험절차

실험 전 피험자에게 연구의 목적을 충분히 인지할 수 있도록 공지하였으며 전신 진동운동기의 손잡이를 잡고 편한 자세로 서 있는 상태에서 운동을 수행하였다. Fig. 1은 전신 진동운동 시 피험자들의 자세에 대해 나타내고 있다. 피험자는 전신수직진동기의 진동판 위에 올라선 후 무릎을 굽혀 전신수직진동이 하지에 집중적으로 자극을 제공하였다. 운동 전 각도측정기를 이용하여 무릎의 굴곡각도가 체간(trunk)의 수직방향을 중심으로 120° 되도록 하였으며, 이 자세를 운동이 종료될 때까지 유지될 수 있도록 독려하였다. 시선은 정면을 향하며 팔은 전신수직진동기의 손잡이를 가볍게 쥐도록 했다. 또한 피험자그룹간의 근력변화 비교분석 시 피험자의 자세에 의한 운동효과를 배제하기 위하여 전신진동운동을 하지 않는 대조군

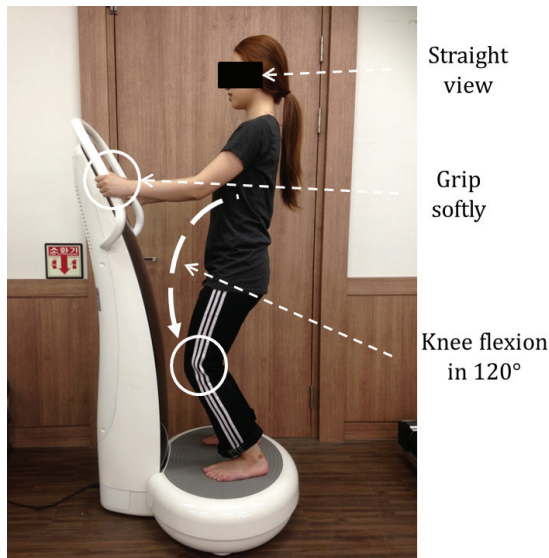


Fig. 1 Exercise posture during whole body vibration exercise using vibrator in vertical type (SW-VM10, Sonicworld. Co., Ltd, Korea)

(CG)의 피험자들에게도 훈련군(TG)의 자세와 동일하게 취하도록 하였다. 훈련군의 피험자들은 전신 진동운동기기를 이용하여 매일 30분간 주 4일씩 운동하였다. 전신진동운동이 하지의 근육을 자극시켜 근력증진에 긍정적인 효과를 야기하는지 평가하고자 하였다. 일반적으로 근력은 힘과 반응시간에 큰 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 매주 1회 슬관절의 최대토크와 가속시간을 측정하여 슬관절의 근기능과 근반응성을 분석하였다. 또한 실내 온도변화에 따른 피험자들의 신체 생리학적인 변화에 대한 환경오차를 줄이기 위해 운동과 측정시 18도의 실내온도를 유지하였다. 일반적으로 통용되고 있는 운동에 대한 인체영향평가 기간은 8~12주 이상으로 알려져 있다.² 따라서 본 연구는 총 8주간 실시하였으며 실험 중 진동에 인한 구토, 두통이나 근육통을 호소할 시 실험을 즉각 중단하도록 하였으며 본 실험 진행 중 중도 탈락된 자는 없었다.

2.4 전신수직진동 자극

6~12Hz의 진동은 대퇴직근(rectus femoris, RF)과 대퇴이두근(biceps femoris, BF)을 집중적으로 자극하며, 18-24Hz의 진동은 전경골근(tibialis anterior, TA)과 비복근(gastronemius, GN)을 집중적인 자극

을 제공한다.¹⁷ 본 연구에서는 피험자들의 하지 슬관절과 관련된 대퇴부 근육군과 하퇴부 근육군에 집중적인 진동자극을 제공하기 위해 6~12Hz, 18-24Hz수준의 주파수 영역으로 정하였다. 측정은 피험자들의 슬관절 토크 측정과정이며, 매주 1회 실시하였다. 근력 및 근반응성 변화를 위해 BIODEX System 3 (biomedex medical systems, Inc., USA)을 이용하였으며, 슬관절의 신전(extension)운동 시 토크(knee-joint torque)를 측정하였다. 피험자들의 관절 토크 측정 시 프로토콜, 각속도, 측정범위 등은 훈련그룹과 대조그룹에게 동일하게 적용되었다. 프로토콜은 슬관절의 신전과 굴곡에 적용하였고 각속도는 60°/sec로 설정하였다. 슬관절 근기능을 평가하기 위한 운동가동범위(range of motion)는 60°(슬관절 90°를 기준으로 60°신전)로 설정하였다.² Biodex를 이용하여 슬관절 신전/굴곡운동 측정 시 얻게 되는 다양한 데이터를 분석하였으며, 본 연구에서 고찰한 파라미터는 피크 토크(peak torque), 총 일량(total work)과 가속시간(acceleration time)이다. 피크 토크란 Biodex를 이용하여 슬관절 신전/굴곡운동 시 슬관절이 내는 최대 회전력을 말한다. 즉, 슬관절의 신전과 굴곡 시 관련된 근육들에 의한 최대 회전력을 나타낸다. 총 일량은 Biodex의 측정 프로토콜에 따라 슬관절 신전/굴곡운동을 연속적으로 5회 실시할 때 관절이 한 일의 합을 말한다. 즉, 슬관절의 신전과 굴곡 시 관여하는 근육들의 총 일량을 나타낸다. 가속시간은 위와 동일하게 슬관절 신전/굴곡운동을 연속적으로 5번 실시한 각도들의 합에 대한 슬관절의 토크 시작점에서 속도 역치점(velocity threshold)까지 소요되는 시간이다.

2.5 데이터 분석

전신 진동이 하지 관절 토크와 하지 근력에 미치는 효과를 통계적으로 검증하기 위하여 SPSS 13.0을 사용하였으며, 전신 진동운동 전 후의 관절 최대토크, 총 일량과 가속시간에 대한 평균과 표준편차를 계산하였다. 또한 전신진동 운동 전 후 토크 변화에 대한 운동효과에 대한 유의성을 검증하기 위해 피크토크 파라미터, 가속시간과 총 일량 등을 각각 일원분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 또한 사후검정(post hoc analysis)을 통해 피험자 그룹간의 평균차이를 분석하여 유의성 수준을 $p < 0.05$, $p < 0.01$ 로 하여 집단 간 통계적 유의성을 검증하였다.

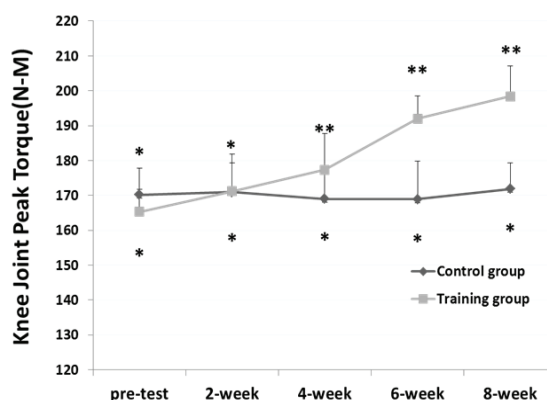


Fig. 2 Periodic variation result of knee joint peak torque between training group and control group for 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

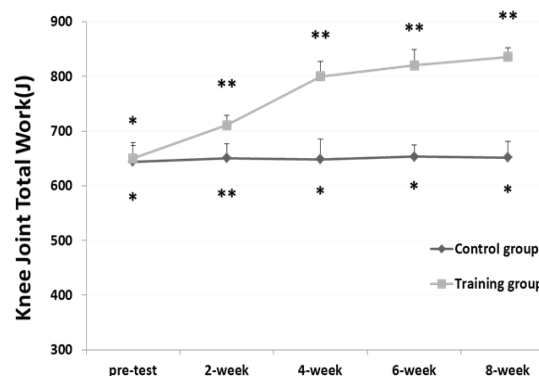


Fig. 4 Periodic variation of knee joint total work variation between training group and control group for 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

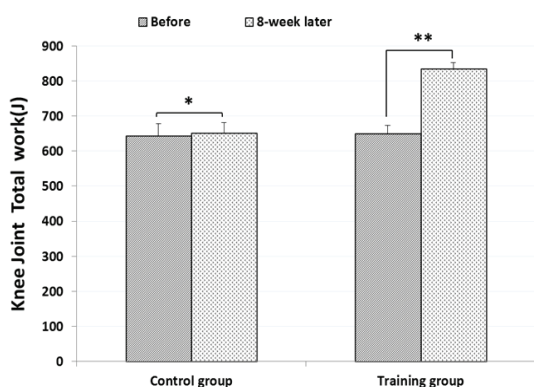


Fig. 3 Variation of knee joint peak torque between training group and control group for 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

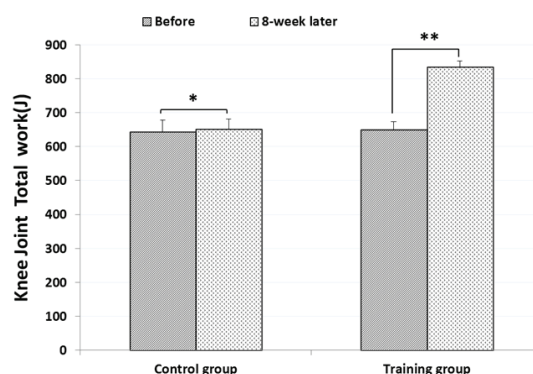


Fig. 5 Variation of knee joint total work between training group and control group before and after 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

3. 결과 및 고찰

3.1 전신진동 운동 유무에 따른 슬관절 최대 토크변화

Fig. 2~3은 전신진동운동 시 그룹 간 슬관절의 최대토크 변화를 나타내고 있다. 전신진동자극을 받은 그룹에서 전신 진동자극 전 보다 34% (58±8.37Nm)의 토크증가가 나타났다. 이는 빠른 진동수의 진동자극이 근육의 수축과 이완을 야기하여 속근섬유가 강화되어 지구력이 보다 근력이 강화되는 결과가 나타났다고 판단된다. 또한, 운동 1주차에서는 큰 변화량을 나타내지 않았지만 2주 후부터 관절토크의 증가가 두드러지게 나타났다. 7, 8주차에서는 토크가 증가폭이 감소하여 유지되었다.

이러한 결과로부터 전신진동자극이 하지 슬관절의 근육군을 강화시키기 위해서는 6주 이상의 자극기간이 필요하다고 판단된다.

3.2 전신 진동 유무에 따른 슬관절 근육군의 총 일량변화

Fig. 4~5는 전신진동운동 시 그룹간 슬관절의 총 일량 변화를 나타내고 있다. 전신진동자극을 제공받은 그룹에서 자극 전보다 29%(190±12.3J) 증가하는 결과가 나타났다. 일반적으로 일량은 일의 양은 물체에 작용한 힘과 그 힘의 방향으로 움직인 물체의 변위의 곱으로 주어진다. 본 연구에서 Bidoex를 이용하여 얻어진 총 일량은 슬관절

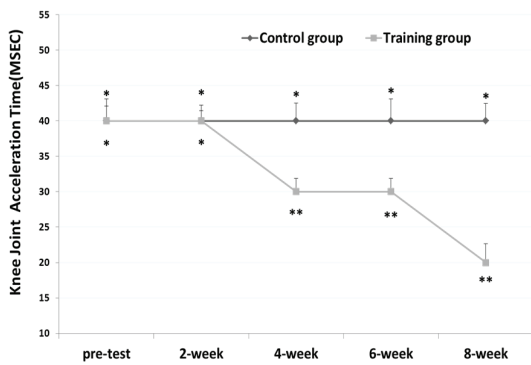


Fig. 6 Periodic variation of knee joint acceleration time between training group and control group for 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

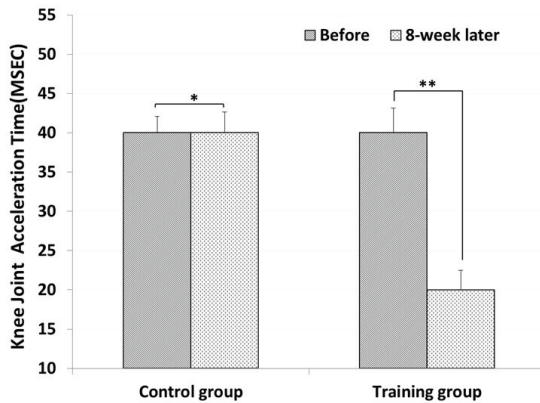


Fig. 7 Variation of knee joint acceleration time between training group and control group for 8 weeks (Mean ± SD, *p<0.05, **p<0.01)

신전 운동 시 슬관절이 내는 토크 값과 운동방향과 힘의 방향이 같게 설정된 ROM만큼의 거리를 굽힌 값이다. 즉, 총 일량의 증가는 앞에서 설명된 최대토크의 증가가 일회성이 아닌 지속적인 근육 적응에 의한 결과라는 것을 뒷받침한다.

3.3 전신 진동 유무에 따른 근수축 반응성에 대한 고찰

Fig. 6-7은 전신진동운동 시 그룹간 슬관절의 가속시간 변화를 나타내고 있다. 본 연구에서는 근수축 반응성을 평가하기 위해 슬관절의 가속시간을 측정 및 분석하였다. 전신진동자극 시 가속시간이 50%(20±2.5 msec)정도 감소하는 것을 확인하였다. 이는 전신진동이 슬관절의 신전근과 굴곡

근의 수축 시 근신경을 지속적으로 자극하여 근육군의 긴장상태를 유발 및 유지시켜 근가속시간이 향상된다고 사려된다. 즉, 전신진동이 근육 속 근방추를 자극하여 근육의 반응속도에 대한 수용기의 민감도를 높여 근신경을 빠른 반응을 유발시킨다는 것을 의미한다. 또한, 근긴장성을 조절하는 구심섬유를 자극해 근 반응성을 향상시킨다는 연구^{18,20}와 유사한 결과라고 판단된다. 즉, 전신진동 자극은 근신경을 자극해 근육군의 근긴장도를 유도하고, 운동신경을 활성화 시켜 감각기관에 대한 운동기관의 반응속도를 향상시켜 주는 것으로 판단된다.^{17,20} 또한 4주 이상의 지속적인 진동자극운동은 근반응성 증진에 긍정적인 효과를 가져올 수 있다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 8주간의 전신진동운동이 20대 일반 성인 남·녀의 슬관절 근기능과 근반응성에 미치는 효과를 평가하고자 하였다. 또한 이를 통해 전신진동운동이 정상인에게 미치는 긍정적인 효과를 규명하고자 한다 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

전신진동 시 약 34%(58-Nm)의 슬관절의 최대 토크 증가와 29%(190J)의 총 일량의 증가는 일회성이 아닌 지속적인 근육적응에 의한 근력증진 결과이다. 이는 빠른 진동수의 전신진동자극이 근육의 수축과 이완을 야기하여 속근섬유가 강화되어 지구력이 보다 근력이 강화되는 결과가 나타났다. 또한 전신진동자극이 하지 슬관절의 근육군을 강화시키기 위해서는 6주 이상의 자극기간이 필요하다고 사료된다.

슬관절의 가속시간 결과, 근육의 반응시간이 50%(20msec) 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 전신진동이 전신진동자극은 근신경을 자극해 근육군의 근긴장도를 유도하고, 운동신경을 활성화 시켜 감각기관에 대한 운동기관의 반응속도를 향상시켜 주는 것으로 판단된다. 또한 4주 이상의 지속적인 진동자극은 근반응성 증진에 긍정적인 효과를 기대 할 수 있다.

본 연구에서 전신진동운동이 건강한 20대 성인 남·녀의 하지 근력인 슬관절 근기능과 근반응성 증진에 긍정적인 효과를 가져올 수 있다. 또한 전신진동운동은 인체에 부담이 적고 부상에 대한 위험도가 낮으면서 근저항 운동과 유사한 운동효과

를 보여 고령자, 노약자 및 환자에게도 적용 가능하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 2012년 중소기업청 중소기업기술혁신개발사업(과제고유번호: SA113084)의 일환으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. Kang, S. R., Kim, K., Jeong, G. Y., Seo, Y. B., Jeong, J. S., Kim, J. J., and Kwon, T. K., "Effect on Improvement of Muscle Strength for Loading Pattern using Electric Exercise Instrument," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 2, pp. 229-238, 2012.
2. Scott, K. P. and Edward, T. H., "Exercise Physiology : Theory and Application to Fitness and Performance," Life Science Publishing Co., pp. 280-293, 2008.
3. Minister of Culture, Sports and Tourism., "The Survey of National physical fitness," Korea Sports Promotion Foundation : Korea Sports Science Institute, 2011.
4. Jang, J. H., Lee, H. D., Jang, H. Y., Han, J. S., Han, C. S., and Shon, W. H., "Development of Wearable Robot System based the Analysis of the Lower Limbs," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 26, No. 7, pp. 7-14, 2009.
5. Jang, H. Y., Han, C. S., Kim, T. S., Jang, J. H., and Han, J. S., "Development of Wearable Robot for Elbow Motion Assistance of Elderly," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 3, pp. 141-146, 2008.
6. Jung, H. J., Lee, J. E., and Oh, J. K., "Effects of WBV Exercise on OPG, RANKL and BMD in Ovariectomized Rats," Korean Journal of Sport Science, Vol. 18, No. 3, pp. 10-17, 2007.
7. Delecluse, C., Roelants, M., and Verschueren, S., "Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training," Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol. 35, No. 6, pp. 1033-1041, 2003.
8. Remaud, A., Cornu, C., and Guevel, A., "Agonist muscle activity and antagonist muscle co-activity levels during standardized isotonic and isokinetic knee extensions," Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol. 19, No. 3, pp. 449-458, 2009.
9. Kawanabe, K., Kawashima, A., Sashimoto, I., Takeda, T., Sato, Y., and Iwamoto, J., "Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly," The Keio Journal of Medicine, Vol. 56, No. 1, pp. 28-33, 2007.
10. TORVINEN, S. P., KANNUS, H., SIEVANEN, T. A., JARVINEN, M., PASANEN, S., KONTULAINEN, T. L., JARVINEN, M., JARVINEN, P. OJA, and VUORI, I., "Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance," Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 34, No. 9, pp. 1523-1528, 2002.
11. Lim, Y. T., "Study of whole body vibration for method in new exercise-training," Korea Coaching Development, Vol. 7, No. 4, pp. 105-116, 2005.
12. Park, D. H., Hwang, J. H., and Kim, K. H., "Changes of metabolic and physiological variables to vibration frequency during whole body vibration exercise," Journal of Korea Physical Education Association for Girls and Women, Vol. 22, No. 1, pp. 39-52, 2008.
13. Ko, C. Y., Lee, T. W., Woo, D. G., Kim, H. S., Kim, H. S., Lee, B. Y., and Lim, D., "Effect of whole body vibration on Osteoporotic Trabecular bone of rats-compared with the effect of Actonel," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 5, pp. 148-154, 2008.
14. Ko, C. Y., Lee, T. W., Woo, D. G., Kim, H. S., Kim, H. S., Lim, D., and Lee, B. Y., "Effect of whole body vibration on trabecular bone in OVX rats," Korea J. of Phys. Anthropol, Vol. 20, No. 4, pp. 301-309, 2007.
15. Trans, T., Aaboe, J., Henriksen, M., Christensen, R., Bliddal, H., and Lund, H., "Effect of whole body vibration exercise on muscle strength and proprioception in females with knee osteoarthritis," The Knee, Vol. 16, No. 4, pp. 256-261, 2009.
16. Choi, H. H., Lim, D. H., Hwang, S. H., Kim, Y. H., and Kim, H. S., "A study of biomechanical response in human body during whole-body vibration through musculoskeletal model

- development,” *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 25, No. 5, pp. 155-163, 2008.
17. Cardinale, M. and Bosco, C., “The use of vibration as an exercise intervention,” *Exerc. Sport Sci. Rev.*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-7, 2003.
 18. Kim, S. B. and Rhim, Y. T., “Effect of whole body vibration on enhancing neuromuscular performance: A quantitative review,” *Korea Coaching Development*, Vol. 9, No. 3, pp. 115-126, 2007.
 19. Issurin, V. B., “Vibration and their applications in sport : a review,” *Journal of Sports Med. Phys. Fitness*, Vol. 45, No. 3, pp. 324-336, 2005.
 20. Vassilis, G., Andreas, Z., Konstantina, K., Theodora, V., Konstantina, C., and Eleni, P., “The acute effects of different whole-body vibration amplitudes and frequencies on flexibility and vertical jumping performance,” *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 13, No. 4, pp. 438-443, 2010.