

근력 향상을 위한 불수의원심성수축훈련시스템 개발 The development of an involuntary eccentric contraction system to enhance muscle strength

이동엽, *손종상, #김영호

D. Y. Lee, *J. Son, #Y. H. Kim(younghokim@yonsei.ac.kr)

연세대학교 대학원 의공학과, 의료공학연구원

Key words: neuromuscular/functional electrical stimulation (NMES, FES), muscle strength, rehabilitation

1. 서론

신경근전기자극(neuromuscular electrical stimulation, NMES)은 손상된 근육 기능을 향상시키기 위해 널리 쓰이는 치료 및 훈련 방법이다. 선행 연구 결과에 의하면 NMES는 근육 내 운동 신경의 발달과 근력 향상에 도움이 되는 것으로 알려져있다. 특히, 구심성수축운동 시 NMES를 동시에 사용하게 되면 근력 향상 효과가 더 좋아진다는 연구 결과가 주로 발표되었다. 또한, 운동 시 저항을 주거나 NMES 파형의 변화, 운동 방식의 변화 등의 다양한 훈련 방법들이 소개되었으나, 앞선 논문들은 치료하고자하는 근육을 훈련시키는 데 NMES를 이용했고, 그 근육의 구심성수축에 초점을 두었다.^{1,4}

근력 향상에 구심성수축보다 원심성수축이 더 효과적이라는 연구 결과를 바탕으로⁵ NMES와 원심성수축을 결합한 프로토콜이 소개된 바 있다. Yanagi 등⁶은 길항근에 전기자극을 가하고 주동근이 수의적구심성수축을 함으로써 길항근의 원심성수축을 유도하는 프로토콜을 개발하였고, 개발된 프로토콜을 팔꿈치관절의 상완이두근(주동근)과 상완삼두근(길항근)에 적용하였다. 그 결과, 주 3회 12주 훈련 후에 팔꿈치관절의 신전모멘트와 상완삼두근의 부피가 유의하게 증가하였다. 그러나 그들의 프로토콜은 주동근의 수의적구심성수축을 반드시 필요로 하기 때문에 정상인에게는 적용이 가능하나 정작 훈련이 필요한 신경근골격계 질환자에게는 적합하지 않다. 또한, 주동근의 수의적구심성수축 시 관절운동범위(range of motion, ROM)나 팔꿈치 관절각속도 등을 정량적으로 제어할 수 없어서 균일한 결과를 얻기에 한계가 있을 수 있다.

본 연구에서는 상완이두근의 근력 향상을 위해 불수의원심성수축훈련시스템을 개발하고, 그 효과에 대한 평가를 진행하였다.

2. 방법

불수의원심성수축훈련시스템은 팔꿈치관절 외 골격 시스템과 상용 NMES 시스템으로 구성된다 (Fig. 1). 외골격 시스템은 팔꿈치관절 운동을 정량적으로 제어하기 위한 목적으로 ROM은 0°(최대신전)부터 90°(굴곡)으로 고정 되어있고, 관절각속도는 DC모터(RE 40 with GP 42 C, Maxon Motor, CH)에 의해 30%/s로 일정하게 하였다. NMES 시스템은 상용 기능적 전기자극기(Stim Plus DP-100, Cybermedic Co., Ltd., KR)로 팔꿈치를 신전하는 동안에만 상완이두근을 자극하여 불수의원심성수축을 하도록 유도하였다. 개발된 시스템을 평가하기 위해 2명의 건강한 남성이 참여하였고, 모두 오른손잡이였다.

Table 1 Subject

Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
27.5±2.1	172.5±10.6	85.0±4.2

실험에 사용된 전기자극 파형은 20 Hz의 이상성(Biphasic) 사각펄스로 하였고, 전류의 세기는 팔을 최대로 신전한 상태에서 전기자극 시 완전 굴곡을 하면서 피험자가 고통을 호소하지 않는 최대값을 적용하였다. 전류 세기 평균값은 57.0±4.3 mA 였다. 주 2회 12주 훈련을 진행하였고, 매 훈련 시간은 30분이었다. 훈련의 효과를 평가하기 위해 다이내모미터(Biodex System 3 Pro, Biodex Medical Systems, Inc., USA)를 이용하여 훈련 시작 전과

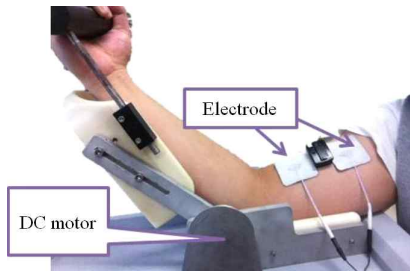


Fig. 1 The developed involuntary eccentric contraction system

12주 훈련 종료 후에 팔꿈치관절의 60° 굴곡 상태에서 최대등척성수의굴곡 시 발생된 토크를 측정하였다. 근육의 피로효과를 최대한 배제하기 위해 3분의 휴식 시간을 두고 세 번씩 측정하였다.

3. 결과 및 토의

훈련 전, 팔꿈치관절의 최대등척성수의굴곡토크의 평균값은 0.622 N-m/kg(피험자1)와 0.641 N-m/kg(피험자2)였다. 12주 훈련 후 평균값은 0.760 N-m/kg(피험자1)와 0.767 N-m/kg(피험자 2)로 약 20%(피험자1: 22.2%, 피험자2: 19.7%)의 향상을 보였다(Fig. 2). 본 연구에서는 상완이두근의 정량적인 근력 향상을 비교하지 못했고, 적은 수의 피험자로 인해 결과를 통계적으로 분석할 수 없었다. 그럼에도 불구하고, 팔꿈치관절토크의 평균값이 약 20%나 향상된 것과 팔꿈치관절의 굴곡운동 시 주요 근육이 상완이두근이라는 것을 고려한다면 본 연구에서 개발된 시스템이 근력 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

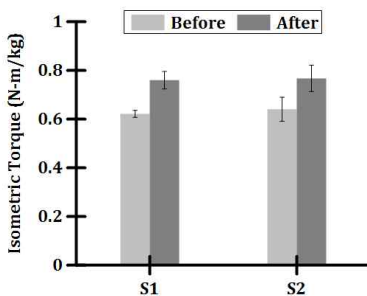


Fig. 2 After an involuntary eccentric contraction training, the isometric elbow flexion torques increase about 20% compared to before the training.

4. 결론

본 연구에서는 근력 강화를 위한 목적으로 불수의원심성수축훈련시스템을 개발하였다. 비록 2명의 피험자로 평가를 진행하긴 했으나, 훈련 전후의 팔꿈치관절토크는 약 20% 향상된 결과를 얻음으로써 본 연구에서 개발한 시스템의 활용 가능성을 보여주었다. 앞으로 피험자 수를 늘려서 결과를 일반화하고, 신경근골격계질환자에게 적용하여 시스템의 정량적 효과를 검증하고자 한다.

후기

본 연구는 중소기업청의 산학연공동기술개발사업(1030050032)과 지식경제부의 지역산업기술개발사업(10032055)으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

- Bax, L., Staes, F., and Verhagen, A., "Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomized controlled trials," *Sports Med.*, **35**, 191-212, 2005.
- Synder-Mackler L., Delitto, A., and Bailey, S. L., and Stralka, S. W., "Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation," *J. Bone Joint Surg. Am.*, **77**, 1166-1173, 1995.
- Stein, R. B., Momose, K., and Bobet, J., "Biomechanics of human quadriceps muscles during electrical stimulation," *J. Biomech.*, **32**, 347-353, 1999.
- Delitto, A., Rose, S. J., McKowen, J. M., Lehman, R. C., Thomas, J. A., and Shively, R. A., "Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery," *Phys. Ther.*, **68**, 660-663, 1988.
- Yanagi, T., Shiba, N., Maeda, T., Iwasa, K., Umezui, Y., Tagawa, Y., Matsuo, S., Nagata, K., Yamamoto, T., and Basford, J. R., "Agonist Contractions Against Electrically Stimulated Antagonists," **84**, 843-848, 2003.