

하지에 인가한 전기 자극이 자세안정성에 미치는 영향

이선연¹, 유미², 김동욱^{3,4}, 김남균³

¹전북대학교 헬스케어공학과, ²전북대학교 의용생체공학과

³전북대학교 바이오메디컬공학부, ⁴전북대학교 고령친화복지기기센터

Effects of Postural Stability using Electrical Stimulation on the Lower Limb

*S. Y. Lee¹, M. Yu², D. W. Kim^{3,4}, N. G. Kim³

¹Dept. of Healthcare Engineering, Graduate School, Chonbuk National Univ.

²Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National Univ.

³Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National Univ.

⁴Research Center of Healthcare & Welfare Instrument for the Aged, Chonbuk National Univ.

(Received March 4, 2009. Accepted May 18, 2009)

Abstract

The present study analyzed the association between postural control and electrical stimulation by measuring body sway when use the electrical stimulations were applied to different stimulation zones in lower limbs. The subjects were 14 young adults and were, tested for two different visual condition: eyes open and eyes closed. The experiments were also performed in two different stance case: one legged stance and two legged stance while electrical stimulations were applied concurrently or individually to tibialis anterior and triceps surae. Postural responses were assessed by analyzing COP sway path, sum of COP sway measured by a forceplate. The results showed that the direction of the COP shift changed in accordance with the direction of stimulation and showed sensory adaptation as the experiment progressed for two legged stance case. For one legged stance case, concurrent electrical stimulation both sides of muscles was found to be effective for enhancement of postural balance control.

Key words : electrical stimulation ,postural stability, body sway, COP(Center of pressure), Somatosensory system

1. 서론

자세균형(postural balance)은 일상생활의 모든 동작 수행에 중요한 영향을 미치며 신체를 평형 상태로 유지시키는 능력이다[1]. 효과적인 자세균형을 위해 중추신경계는 세 가지 감각 수용기로부터의 정보를 조합해야 한다[2-4]. 신체의 동작을 조절하는데 필요한 정보들 중 외부 환경에 대한 정보는 시각을 통해서, 중력에 대한 머리의 위치에 대한 정보는 전정기관을 통해서, 지지면에 관련하여 인체에 대한 위치 및 동작 정보는 체성감각 기관을 통해서 획득된다[5-7]. 자세 안정성에 관한 시각의 역할에 대

한 연구로 Nashner 등[8]은 시각 자극의 회전 방향에 따라 동일하게 신체의 기울임이 발생하는 것을 확인하였다. Paul 등[9]은 전정기관에 대한 연구로 머리를 앞, 뒤, 좌, 우로 기울였을 때 자세 안정성을 평가하였는데, 기립 상태에서 보다 신체 동요가 증가함을 확인하였다. Peterkar 등[10]은 정적 기립 상태에서 안정 지지면에서 정상 성인은 체성감각(70%), 시각(10%), 전정감각(20%)에 의존하고 지지면적이 줄어들거나 불안정한 지지면적에서는 시각과 전정감각의 의존도가 높아지는 감각 재조정으로 자세 균형을 획득한다고 하였다.

본 연구에서는 위 감각들 중 정적 기립 상태에서 가장 큰 비중을 차지하는 체성 감각을 자극시켜 자세 안정성을 증진시키는데 주안점을 두었다. 체성감각계는 지지면에 관련하여 인체에 대한 위치 및 동작 정보를 중추신경계에 제공한다. 게다가, 인체 전반에 걸쳐 체성감각 입력은 인체 분절들 간의 관계에 대하여 정보를 제공한다. 체성감각 수용기에는 근육 수용기, 관절 수용기, 피부수용기

Corresponding Author : 김동욱

(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부

Tel : +82-63-270-4060 / Fax : +82-63-270-2247

E-mail : biomed@chonbuk.ac.kr

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부, 교육부)의 재원으로 한국 과학 재단(No.R01-2007-000-20926-0)과 한국학술진흥재단(지방연구중심 대학 육성사업/헬스케어기술개발사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

등이 포함된다[11]. 근육 수용기(muscle receptors)는 근육의 상태에 관한 보완적인 정보를 제공하는 수용기로서 근방추(muscle spindle)와 골지건 기관(golgi tendon organs)으로 이루어진다. 근방추는 신체의 주요 근 섬유에 존재하며, 근육이 신장될 때 늘어날 수 있도록 근육과 병렬적으로 연결된 방추처럼 생긴 구조이며 골지건 기관은 방추모양이며 근육과 건의 접합부에 위치하는 작은 수용기들을 의미한다. 관절 수용기(joint receptors)는 근육 수용기와 함께 움직임 제어에 필요한 역학적 정보를 제공하는 감각 시스템 중 하나이다.

체성감각을 자극시켜 자세 안정성과의 상관관계를 분석하는 연구들 중 Eklund 등[12]은 진동자극으로 유발된 근육 활성도는 자세 안정에 영향을 미침을 밝혔으며, Ivanenko 등[13]은 연구에서는 직립 자세로 있는 피험자의 근육에 진동자극을 가하였을 때 진동된 근육, 자기 수용 감각 및 과제에 의존한 몇몇의 효과를 유발함을 밝혔으며, Eun 등[14]과 Yu 등[15]은 체성감각 수용기에 인가한 진동 자극을 통해 자극을 가하지 않았을 때보다 자극을 가하였을 때 더 안정적임을 확인 하였다. 진동 자극 외에도 전기 자극을 이용해서 자세 안정성을 분석하는 기초적인 연구들도 진행되었는데, Dhruv 등[16]은 낮은 레벨의 전기 자극은 인간의 체성감각 시스템의 민감도의 향상을 가져온다고 보고하고 있으며, Gravelle 등[17]은 무릎 관절에 전기 자극을 인가하면 신체 동요가 감소함을 확인하였으며, Dickstenin 등[18]은 정적 직립 자세에서 왼쪽과 오른쪽 다리의 비복근에 전기 자극 인가를 통한 자세 안정성의 효과를 입증하였다. 그러나 위 선행 연구들은 두발서기인 정적 기립 상태에만 국한되어 있어 다양한 자세에서의 연구가 필요하며 자극의 인가 방향성과 자세 안정성과의 연관성에 관한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 두발서기와 한발서기 과제로 나뉘어 중추신경계에서 운동계로 피드백 될 수 있는 감각 자극 수준의 전기 자극(Electrical Stimulation, ES)이 하지근육 부위에 인가되는 동안 자세안정성에 대한 영향을 검토하였다. 두발서기 과제에서는

전기 자극이 인가되는 방향에 따른 체중심 이동의 방향성에 중점을 두었고, 한발서기 과제에서는 전기 자극으로 인한 자세 안정성 확보에 중점을 두고 분석 고찰하였다.

II. 실험 방법

본 연구는 힘판 위에서 한발서기 과제 및 두발서기 과제 수행 중에 피험자의 좌우 전경골근(Tibialis Anterior, TA) 및 하퇴삼두근(Triceps Surae, TS)부위에 전기 자극을 인가했을 경우 피험자의 신체 동요도를 분석하기 위해 그림 1과 같은 전기 자극 인가 장치 및 신체 동요도 측정 장치를 구성하였다.

A. 전기 자극 인가 장치

전기 자극 시스템은 각 피험자에 전경골근 및 하퇴삼두근 부위에 전기 자극기(EMGFES 3000, Cyber Medic co., Korea)를 사용하였다. 전기 자극기의 주파수는 1Hz - 200Hz로 조절할 수 있으며, 출력 전류는 0 - 99mA, 출력 전압은 직류±150V이며, 출력 파형은 구형파이다. Vedel 등[19]은 주파수에 따른 근방추의 1차 구심성신경의 민감도 연구를 통해서 20Hz일 때 근육이 처음으로 반응 한다는 것을 밝으며 30Hz부터 민감도가 증가하는 것을 밝혔다. Merletti 등[20]은 낮은 주파수는 높은 주파수와 달리 근피로를 유발하지 않는 것을 밝혔다. 따라서 본 실험에서는 그림 2처럼 피험자의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 전극(12×12mm, Cyber Medic co., Korea)을 부착을 하며 펄스폭 500 μs의 biphasic 구형파로 Duty Cycle은 30Hz로써 이 자극이 15초 동안 인가된다. 실험 전 각 피험자가 전기 자극을 느끼는 역치 값(평균 역치값: 5.21±1.31mA)을 측정하여 실험 중에는 이 역치 값을 인가하였다.

B. 신체 동요도 측정 장치

신체 동요에 따른 압력중심(center of pressure, COP)의 변화를 측정하고 분석하기 위해 그림 3에서처럼 4개의 로드셀(load cell)

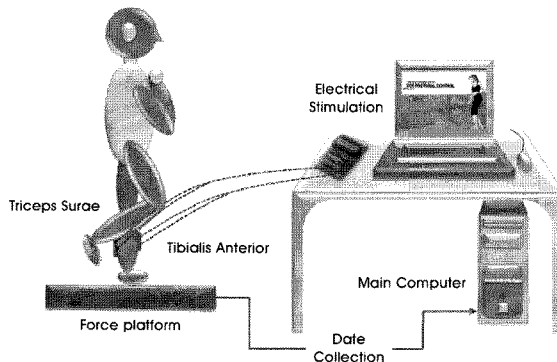


그림 1. 하지에 전기 자극 후 피험자의 신체동요를 측정하기 위한 실험장치
 Fig. 1. The Experimental setup for measurement of body sway after electrical stimulation to the lower limb

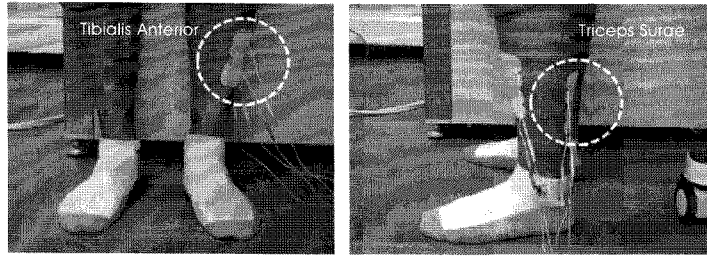


그림 2. 전기 자극 위치
Fig. 2. The position of electrical stimulations

을 설치한 힘판(Force platform, Vertec Inc., USA)을 이용하여 초당 100Hz로 샘플링(sampling)하여 측정하였다. 신체동요에 관한 파라미터로 신체가 중심에서 벗어난 정도를 나타내는 체중심 이동(COP shift), 체중심이 이동한 총 면적을 나타내는 체중심 이동 누적 면적(total COP sway area), 체중심이 이동한 거리를 나타내는 체중심 이동 거리(COP sway path)를 측정 분석하였다. 이때 체중심 이동 누적 면적과 거리는 신체 동요가 클수록 커지거나 길어진다.

C. 실험대상

본 연구에서는 청년층 14명(남: 10명, 여: 4명, 평균 연령: 24.71 ± 1.38세, 평균 키: 170.29 ± 10cm, 평균 몸무게: 60.71 ± 13.82kg)을 대상으로 실험하였다. 이들은 신경학적 질병 및 전정기관의 이상이 없으며, 정상 근골격 기능을 가지고 있다. 또한 이들 모두는 이전에 본 연구와 유사한 실험에 참가한 경험이 없으며 실험 전 실

험목적에 제외한 실험절차에 대해 충분히 설명 한 후 진행하였다. 한발 서기 과제시 오른발잡이는 왼쪽 다리를 지면에 닿게 하고 왼발잡이는 오른쪽 다리를 지면에 닿게 하여 피험자가 우세한 다리를 사용하지 않게 하였다. 본 실험에서 피험자는 모두 오른발잡이로서 왼쪽 다리를 지지 하도록 하였다.

D. 실험절차 및 조건

그림 4에서처럼 전기 자극이 다양한 자세에서 자세안정성에 미치는 영향을 분석하기 위해 두발서기와 한발서기의 두 가지 자세 조건으로 나누어 실험하였다. 실험 I 은 두발서기 과제에서, 양쪽 다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 각각 전기 자극을 인가하여 신체 동요도를 측정한다. 실험 조건은 ① 양다리의 전경골근 부위 ② 양다리의 하퇴삼두근 부위 ③ 오른다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위 ④ 왼다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 전기 자극을 인가하는 것으로 나누었다.



그림 3. 전기 자극 인가 및 신체동요도 측정 시스템
Fig. 3. The system for electrical stimulation & body sway measurement

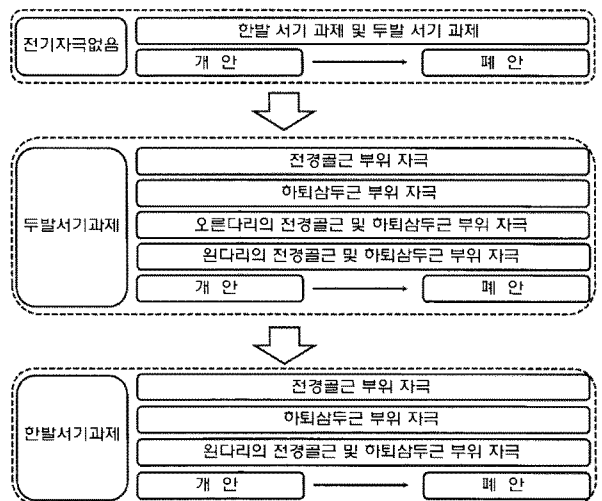


그림 4. 실험순서
Fig. 4. Experimental procedure

실험 II는 한발서기 과제에서, 왼쪽 다리만 지면에 닿도록 하고 오른쪽 다리는 들게 하는 자세를 취하게 하였다. 실험 조건은 ① 왼다리의 전경골근 부위 ② 왼다리의 하퇴삼두근 부위 ③ 왼다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 전기 자극을 인가하는 것으로 나누어 실험을 수행하였다.

위의 실험 조건에서 개안(Eye Open, EO)과 폐안(Eye Closed, EC)의 상태 조건도 추가되어 수행되어 총 14조건에 대해 배 조건 별로 3회씩 반복하여 측정하였다. 실험 수행에 따른 하지의 피로를 감소시키기 위해 각 자극 조건에 따른 실험 사이에 피험자가 원하는 만큼의 휴식시간을 주었다.

E. 신체동요도 분석

두발서기와 한발서기 과제에서 전기 자극을 전경골근과 하퇴 삼두근 부위에 인가하였을 때 신체 동요를 측정하여 자세 유형과 자극 위치에 따른 자세안정성에 관한 효과를 분석하였다.

두발서기 과제에서는 개안과 폐안 동안 자극 위치에 따른 COP 이동(shift)을 분석하였다. 그림 5에서처럼 자극 전 5초 동안의 값(D0), 자극 동안의 초기 0-5초(D5), 자극 동안의 5-10초(D10), 자극 동안의 10-15초(D15)로 나누어 체중심 이동을 분석하였다. 한발서기 과제에서는 개안과 폐안 동안 전기 자극의 유무와 인가 조건에 따른 COP 누적 면적(COP sway area)과 COP 이동거리(COP sway path)를 분석하였다. COP 누적 면적을 구하는 식에서 x_i 는 x 의 i 번째의 좌우방향 좌표를 나타내며 y_i 는 y 의 i 번째의 앞뒤방향의 좌표를 나타낸다. 식 (1)의 a_i 는 중심(0, 0)에서 i 번째까지의 길이를 나타내고 식 (2)의 b_i 는 i 번째에서 $i + 1$ 번째까지의 길이를 나타내며 식 (3)의 c_i 는 중심(0, 0)에서 $i + 1$ 번째까지의 길이를 나타낸다. 식 (4)의 s_i 는 식(1)에서 식(3)까지 구한 a_i, b_i, c_i 길이의 삼각형 모양 길이의 1/2을 나타낸다. 식 (5)는 $n - 1$ 번째까지의 삼각형 넓이로서 COP 누적 면적을 나타낸다.

$$a_i = \sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2} \tag{1}$$

$$b_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \tag{2}$$

$$c_i = \sqrt{(x_{i+1})^2 + (y_{i+1})^2} \tag{3}$$

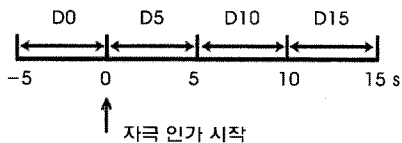


그림 5. 전기 자극 인가 시간과 데이터 set 구분
Fig. 5. Duration of electrical stimulation VS. data set

$$s_i = \frac{a_i + b_i + c_i}{2} \tag{4}$$

$$COP\ area = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{S_i \cdot (S_i - a_i) \cdot (S_i - b_i) \cdot (S_i - c_i)} \tag{5}$$

COP 누적 면적은 피험자가 힘판에 서 있는 상태에서 한발 서기 과제 또는 두발 서기 과제 수행시 피험자의 COP가 변동하면서 누적된 면적을 뜻하며 피험자의 체중심이 동일한 범위로서 면적 값이 크면 자세가 불안정적임을 의미하며 이 값이 작으면 자세가 안정적임을 의미한다. 식 (6)는 COP 이동거리를 구하는 식을 나타낸다. x_i 는 x 의 i 번째의 좌우방향 좌표를 나타내고 y_i 는 y 의 i 번째의 앞뒤방향의 좌표를 나타낸다.

$$COP\ path = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \tag{6}$$

COP 이동거리는 피험자가 힘판에 서 있는 상태에서 한발 서기 과제 또는 두발 서기 과제 수행시 피험자의 COP가 변동하면서 누적된 총 길이를 뜻하며 피험자의 체중심이 동일한 범위로서 길이 값이 크면 자세가 불안정적임을 의미하며 이 값이 작으면 자세가 안정적임을 의미한다. 이때 한발 서기 및 두발 서기 과제 COP 이동은 3회씩 반복한 값을 최대값의 평균을 사용하였다. 데이터의 분석은 SPSS 12.0 프로그램을 사용하여 시각자극의 유무와 전기 자극의 인가 조건에 따른 two way ANOVA를 실시하였다. 유의성 검증을 위한 p값은 0.05미만으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

A. 두발서기 과제에서 신체 동요

그림 6는 두발서기 과제에서 개안과 폐안 동안 두발서기 과제에서의 전기 자극이 인가된 위치조건에 따른 체중심 이동을 나타낸 것이다. 전경골근 부위에 전기 자극을 인가하였을 때는 전 방향으로, 하퇴삼두근 부위에 전기 자극을 인가하였을 때는 후 방향으로, 오른다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 자극을 인가하였을 때는 왼쪽으로 이동하였다. 두발서기 과제에서 전기 자극을 인가한 방향으로 체중심이 이동함으로써 자극이 인가된 위치와 동일한 방향으로 신체동요가 발생함을 확인할 수 있었다. 이 신체 동요는 하지 근육 부위에 전기 자극을 인가했을 경우, 자극 부위에서 중추신경계에 체성감각의 자극으로 수용된 후 이에 대한 피드백으로 근 수축을 간접적으로 유발하여 근방추가 직접적인 전기 자극이 아닌 감각자극으로써 근 수축을 유발하게 되어 신체가 전기 자극 인가 부위와 동일한 방향으로 기울게 되기 때문에 발생한다[21]. 이 때 전기 자극은 근 수축을 직접적으로 일으키는 자극 원이 아닌 자세 균형에 영향을 미치는 체성감각을 자극원으로써

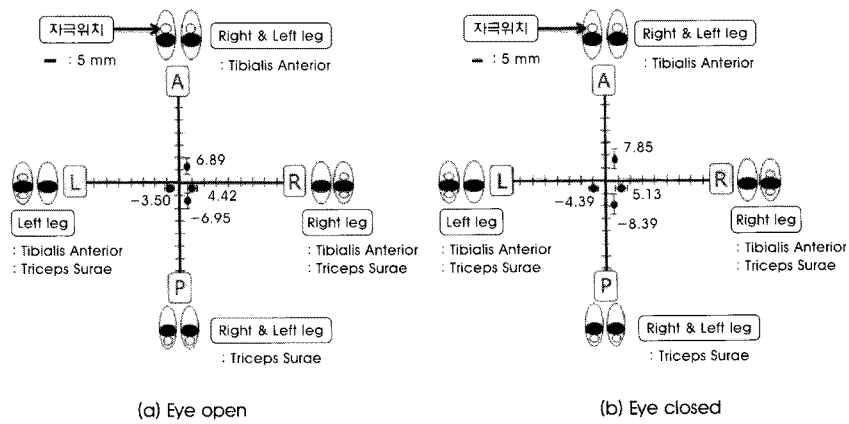


그림 6. 두발서기 과제 중 전기자극 인가 부위별 체중심 이동
(a) 개안 (b) 폐안

Fig. 6. COP shifts for different Electrical stimulation zones during two legged stance
(a) Eyes Open (b) Eyes Closed

사용하였기 때문에, 피험자의 근육 수축을 직접적으로 유발하는 강한 전기 자극이 아닌 감각 자극 수준의 역치 값을 사용하였다.

그림 7은 개안과 폐안 동안 두발서기 과제에서 전기 자극이 인가

되는 15초를 5초씩 세 구간으로 나누어 각 구간별 체중심 이동을 나타낸 것이다. 전기 자극의 인가 위치별 체중심 이동은 전기 자극을 인가한 방향과 동일한 방향으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

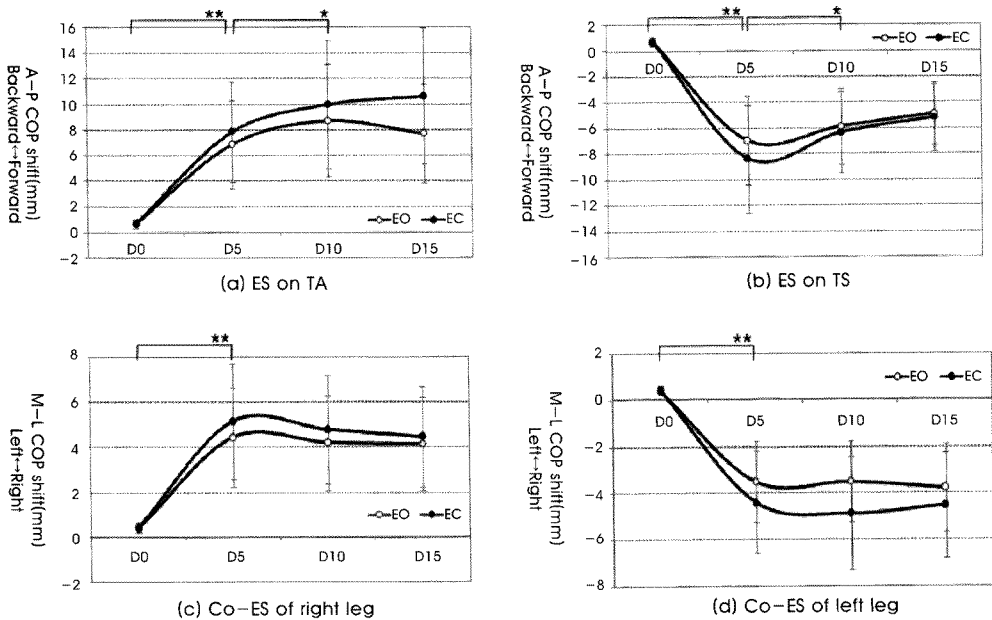


그림 7. 두발서기 과제 중 자극 시간에 따른 체중심 이동($p < 0.01^{**}$, $p < 0.05^*$)

(a) 전경골근 부위 (b) 하퇴삼두근 부위 (c) 오른쪽 다리의 전경골근 및 하퇴삼두근 부위 (d) 왼쪽 다리의 전경골근 및 하퇴삼두근 부위

Fig. 7. COP shifts according to different duration of electrical stimulations during two legged stance ($p < 0.01^{**}$, $p < 0.05^*$)

(a) ES on TA (b) ES on TS (c) Co-ES of Right leg (d) Co-ES of Left leg

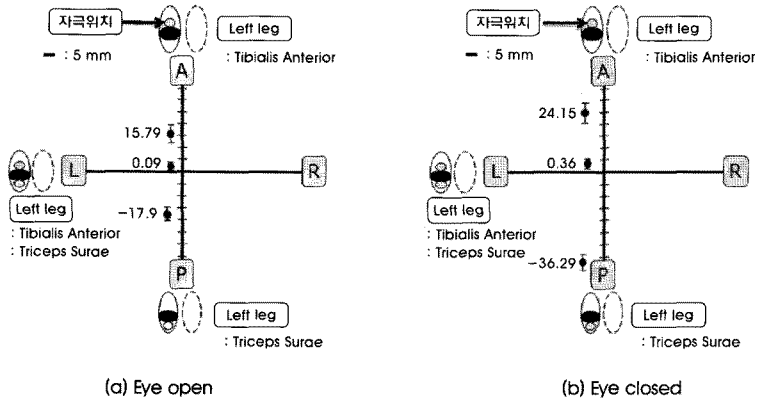


그림 8. 한발서기 과제에서 개안과 폐안시 자극 위치별 체중심 이동 (a) 개안 (b) 폐안
 Fig. 8. COP shifts for different electrical stimulation zones during one legged stance (a) Eyes Open (b) Eyes Closed

D0에서 D5 구간으로 시간이 경과함에 따라서 체중심 이동은 유의성 있게 급격히 증가하였다. 그러나 D5에서 D10 구간 사이에서 양다리의 전경골근 부위에 전기 자극을 인가했을 경우에만 유의하게 증가하였고, 다른 전기 자극 조건에서는 체중심 이동의 증가율이 급격히 감소하였다. D10에서 D15구간에서는 체중심 이동이 거의 변하지 않은 것을 확인 할 수 있다. 이는 전기 자극이 지속되면 근수용기의 감수성이 줄어들어 그 자극에 대한 반응이 일정한 레벨에 도달하게 되는 감각 순응을 하게 된다. 이번 실험에서는 전기 자극에 노출된 후 약 10초 구간 사이에서 감각 순응 하는 것을 알 수 있다[22].

그림 6과 7에서처럼 두발서기 과제에서 개안과 폐안 조건에 따른 체중심 이동은 유의한 차이가 없었다. 이는 두발서기과제에서는 자세안정성에 체성감각 자극이 가장 큰 비중을 두고 있기 때문

에 자극 조건에 따른 차이는 보이지만 시각자극의 유무에 따른 차이는 거의 보이지 않는다[10].

B. 한발서기 과제에서 신체동요

그림 8은 한발서기 과제에서 개안과 폐안동안 자극 조건에 따른 체중심 이동을 나타낸다. 두발서기 과제에서 확인한 바와 같이 원다리의 전경골근 부위에 한 근육에 자극을 인가했을 때는 전 방향으로, 하퇴삼두근 부위에 한 근육에 자극을 인가했을 때 후 방향으로 체중심이 이동하는 것을 확인하였다. 그러나 원다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 동시 자극을 주었을 때는 전경골근 또는 하퇴삼두근 부위에 한 근육을 자극 하였을 때보다 체중심 이동이 거의 없음을 알 수 있었다. 이는 하지근육의 길항근인 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 동시에 전기자극을 인가하였을 때는 각 방향으

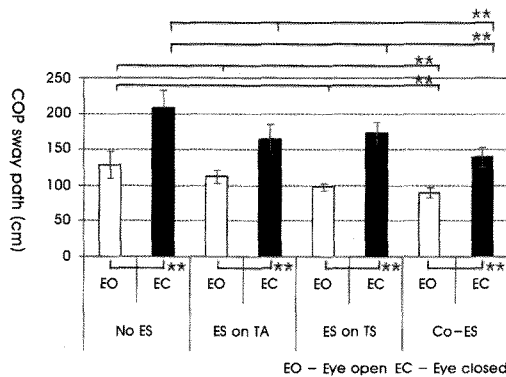


그림 9. 한발서기 과제에서 시각의 유무와 자극 부위에 따른 체중심 이동 거리(p<0.01**, p<0.05*)
 Fig. 9. COP sway path for different electrical stimulation zones during one legged stance(p<0.01**, p<0.05*)

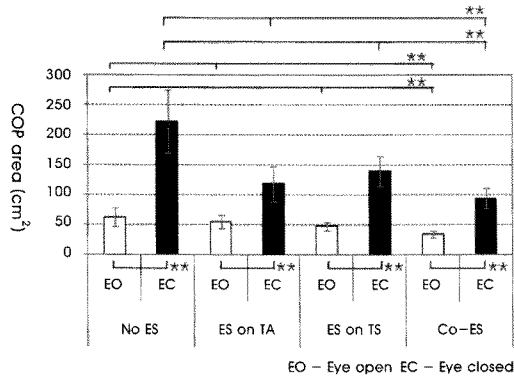


그림 10. 한발서기 과제에서 시각의 유무와 자극 조건에 따른 체중심 이동 누적 면적(p<0.01**, p<0.05*)
 Fig. 10. The accumulation COP sway area for different electrical stimulation zones during one legged stance (p<0.01**, p<0.05*)

로의 체중심 이동이 상쇄되어 자세안정성을 확보할 수 있는 것으로 유추할 수 있는데 자세안정성에 대한 파라미터로 동일 조건에 대한 신체동요를 체중심 이동거리와 면적에 대해 분석하였다.

그림 9은 한발서기 과제에서 시각의 유무와 자극 조건에 따른 체중심 이동 거리(COP sway path)이다. 전기 자극이 없을 때(without ES)와 원다리의 전경골근 혹은 하퇴삼두근 부위에 한 근육 자극(with ES on TA or TS)을 인가하였을 때의 조건을 비교해보면 전기 자극을 인가하였을 때 신체 동요가 감소하며, 동시 자극(with Co-ES)을 인가하였을 때 가장 많이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 10은 한발서기 과제에서 폐안과 개안 동안 자극 조건에 따른 체중심 이동 면적(COP sway area)이다. 전기 자극이 제시되지 않았을 때보다 원다리의 전경골근과 하퇴삼두근 부위에 한 근육에 자극이 제시되었을 때 이동 면적이 줄어들고 동시 자극이 제시되었을 때 유의성 있게 감소하는 것을 확인하였다. 그림 9와 10의 체중심 이동거리와 면적에서 확인할 수 있듯이 전기 자극을 인가하였을 때 전기 자극을 인가하지 않았을 때보다 자세 안정성을 보이며 특히 한 근육을 자극 하였을 때보다 동시에 자극을 줄때 자세 안정성에 효과적임을 알 수 있다.

그림 9와 10에서 개안과 폐안 동안 각 조건에서 체중심 이동거리의 비교를 하였을 때 개안 보다 폐안 시의 체중심 이동거리가 유의성이 있게 높은 것을 확인할 수 있다. 두발서기 조건에서와는 다르게 개안과 폐안 조건에서 차이를 보이는 것은 두발서기 과제에서보다 한발서기 과제에서 지지 면적이 줄어들어 체성감각보다 시각이나 전정감각에 더 의존하는 감각 재조정이 발생하여[10] 시각에 대한 의존도가 높아져서 개안과 폐안 동안의 체중심 이동의 경우 2배의 차이를 보이게 된다(그림 8).

IV. 결론

본 연구에서 두발서기와 한발서기 과제에서 전기 자극을 전경골

근과 하퇴삼두근부위에 인가하였을 때 신체 동요를 계측하여 시각의 유무와 전기 자극의 위치에 따른 신체 동요 특성을 분석하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 두발서기 과제에서 전경골근 또는 하퇴삼두근 부위에 전기 자극을 인가했을 때 체중심이 자극 인가 방향과 동일한 방향으로 이동하는 것을 확인하였으며 전기 자극을 이용하여 체중심 이동의 방향성을 조절 할 수 있었다.
2. 한발서기 과제에서 한 근육을 자극 하였을 때 보다 동시에 자극을 인가하였을 때 안정된 자세 균형 제어에 효과가 있다.
3. 한발서기 과제에서 하지 근육 부위에 전기 자극을 인가하였을 때 전기 자극을 인가한 방향에 따라서 몸의 체중심의 이동을 조절할 수 있으며, 길항근에 동시 자극을 인가하였을 때 자세 안정성을 확보할 수 있었다.

이번 연구 결과는 전기 자극을 이용한 체성감각 정보와 관련한 자세균형 제어 및 유지에 관련한 기전 연구에 응용될 수 있으며, 정적 기립 상태 외에 동적인 상태에서 체중심 이동의 방향성을 이용할 하여 시각, 청각, 체성감각에 장애로 인해 몸의 중심이 편측으로 기울었을 때 전기 자극을 특정 방향에 인가함에 따라서 몸의 중심을 잡을 수 있을 것이며 또한 전기 자극을 인가하여 체성감각계 정보와 관련한 과제나 상황에 따른 자세조절이 체계적으로 연구 접근되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] J. B. Chae, B. J. Kim, and S. S. Bae, "A study on the control factors of posture and balance", *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, vol. 13, No. 2, pp. 421-431, 2001.
 [2] H. Cohen, C. A. Blatchly and L. L. Combash, "A study of the clinical test of sensory interaction and balance", *Physical Therapy*, vol. 73, pp. 346-354.

- [3] Y. I. Shin, Y. H. Kim, and N. G. Kim, "A Quantitative Assessment of Static and Dynamic Postural Sway in Normal Adults", *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 18, No. 2, pp. 167-172, 1997.
- [4] T. K. Kwon, Y. I. Yoon, Y. J. Piao, and N. G. Kim, "Study on the Improvement of Postural Balance of the Elderly using Virtual Bicycle System", *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 28, No. 5, pp. 609-617, 2007.
- [5] Nasher, L. M. and McCollum, G., "The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis", *The behavioral and Brain Science*, vol. 8, pp. 135-172, 1985.
- [6] Riccio, G. E. and Stoffregen, T. A., "Affordances as constraints on the control of stance", *Human Movement Science*, vol. 7, pp. 265-300, 1988.
- [7] D. W. Lee, "A Review on the Mechanism of Human Postural Control", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, vol. 15, No. 1, pp. 45-61, 2005.
- [8] L. Nashner, and A. Berthoz, "Visual contribution to rapid motor responses during postural control", *Brain Res*, vol.150, pp. 403-407, 1978.
- [9] M. Paul, J. Kennedy, and I. T. Inglis, "Interaction effects of galvanic vestibular stimulation and head position on the soleus H reflex in humans", *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, pp.1709-1714, 2002.
- [10] R. J. Peterka, "Sensorimotor integration in human postural control.", *J Neurophys*, vol.88, pp.1097-1118, 2002
- [11] A. Shumway-cool and M. H. woollacott, "Motor control : Theory and Practical applications, First edition", *Baltimore, Wilkins*, pp. 119-206, 1995.
- [12] G. Eklund, "General features of vibration- induced effects on balance", *Upsala Journal of Medical Sciences*, vol. 77, pp. 112-124, 1972.
- [13] Y. P. Ivanenko, R. Grasso, and F. Lacquaniti, "Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans", *The Journal of Physiology*, vol. 519, pp. 301-314, 1999.
- [14] H. I. Eun, M. Yu, D. W. Kim, T. K. Kwon, and N. G. Kim, "The Effect of Human Lower Limb Vibration on Postural Stability during Unstable Posture", *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 5, pp. 628-635, 2007.
- [15] M. Yu, H. I. Eun, D. W. Kim, T. K. Kwon, and N. G. Kim, "Effects of Vibratory Stimulus on Postural Balance Control during Standing on a Stable and an Unstable Support," *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 28, No. 5, pp. 647-656, 2007.
- [16] N.T. Dhruv, J. B. Niemi, and J.D. Harry, "Enhancing tactile sensation in older adults with electrical noise stimulation", *Neuroreport*, vol. 13, pp. 597-600, 2002.
- [17] D. C. Gravelle, C. A. Laughton, N. T. Dhruv, K. D. Datdare, J. B. Niemi, L. A. Lipsitz, and J. J. Collins, "Noise-enhanced balance control in older adults", *Neuroreport*, vol. 13(15), pp. 1853-1856, 2002.
- [18] R. Dickstein, Y. Laufer, and M. Katz "TENS to the posterior aspect of the legs decreases postural sway during stance" *Neuroscience letters*, vol. 393, pp. 51-55, 2006.
- [19] J. P. Roll, J. P. Vedel and E. Ribot, "Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study", *Experimental Brain Research*, vol. 76, pp. 213-222, 1989.
- [20] R. Merletti , M. Knaflitz, and C. J. DeLuca, "Electrically evoked myoelectric signals", *Crit Rev Biomed Eng*, vol. 19, pp. 293-340, 1992.
- [21] Y. P. Ivanenko, R. Grasso, and F. Lacquaniti, "Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans", *The Journal of Physiology*, vol. 519, pp. 301 - 314, 1999.
- [22] J. Vaillant, N. Vuillerme , A. Janvey, and F. O. Louisc, "Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults", *Brain Research Bulletin*, vol. 75, pp. 18-22, 2008.