

진동자극이 인체 자세균형에 미치는 영향

Effect on Postural Balance of Human Body During Vibration Stimulation

*권대규^{1,4}, 유 미³, 은혜인², 박용근³, 김동욱¹, #김남균¹

*T. K. Kwon^{1,4}, M. Yu², H. I. Eun³, Y. J. Piao², D. W. Kim¹, #N. G. Kim¹ (ngkim@chonbuk.ac.kr)

¹전북대학교 생체정보공학부, ²전북대학교 헬스케어공학과,
³전북대학교 의용생체공학과, ⁴전북대학교 실버공학연구센터

Key words : Somatosensory, Vibration, COP(center of pressure), Postural balance

1. 서론

자세 안정성(stability)이란 공간 영역 내에서 신체의 균형(balance) 혹은 인체의 평형(equilibrium)을 유지하는 능력이다. 인간이 자세를 조절하기 위해서는 시각, 전정감각, 체성감각으로부터 입력된 정보가 중추 신경계에서 통합되어 처리된 후 신체의 반사적 조절을 유발시키는 과정을 필요로 한다[1,2]. 이러한 감각들은 사고를 당하거나, 나이가 들에 따라 약화되어 자세조절에 관장하는 시스템에 약화된 감각 또는 부정확한 정보를 제공할 것이다. 약화된 자세 조절은 비정상적인 보행 및 낙상의 위험을 증가시키며, 이러한 위험은 점차적인 신체 기능의 약화를 야기할 수도 있다[3]. 그러므로 자세 안정성을 증진시키기 위해서는 자세 조절에 관여하는 감각을 증진시켜야 한다.

체성감각계를 자극시켜 자세 안정성과의 상관관계를 분석하는 연구들 중, Gravelle[4]등은 파킨슨 환자의 무릎 관절에 체성감각 자극으로 전기 자극을 인가하여 신체동요의 감소를 확인하였으며, Dickstein[5]등은 왼쪽과 오른쪽 다리의 비복근에 전기 자극을 인가하여 정적 직립자세에서 자세 안정성의 효과를 입증하였다. 그러나 이러한 전기 자극은 안정성에의 문제점이 있어 제약이 따른다.

따라서 위와 같은 점에 착안하여 본 시스템은 진동자극으로 다양한 부위를 자극하여 피험자의 자세균형 감각계를 활성화시켜 자세 안정성을 유도할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 이 진동 자극 시스템을 통한 자세 안정성을 평가하기 위해서 불안정한 자세 유도 후, 진동 자극의 유무와 자극 부위에 따른 COP(center of pressure, 압력중심) 변동을 측정하여 자극 효과를 분석 고찰하였다.

2. 하드웨어 설계

본 시스템은 촉각 자극의 자극부위로 발바닥과 고유수용감각 자극의 자극 부위로 발목관절 근육에 진동으로 체성감각계를 자극시키는 자극제시부와 진동에 의한 자세 안정성을 측정하기 위한 측정부로 구성되어 새로운 체성감각 자극 시스템을 제안하고자 한다.

자세 안정성 증진을 위한 진동자극 제시부에서 8개의 진동소자(10g, a diameter of 1cm, JHV- 10A1, JAHWA ELECTRONICS Co.)를 양 발의 발목보호대에 고유수용감각을 자극시키기 위하여 발목 근육의 신전을 담당하는 전경골근(tibialis anterior, TA)와 하퇴 삼두근(triceps surae, TS) 부위에 촉각을 자극시키기 위하여 양발의 발바닥 중앙(right plantar zone, RP, left plantar zone, LP)의 두 부분에 부착하였다.

그림 1은 진동이 인체의 평형감각에 미치는 영향을 알아보기 위하여 고안된 시스템이다. 진동의 영향을 알아보기 위한 진동 제시부와 진동에 의해서 피험자의 COP(center of pressure, 압력중심)을 측정하기 위한 측정부로 구성되어 있다. 신발의 깔창 부분에 해당하는 폴리우레탄 재질의 인솔부분에 진동 모터를 삽입한 진동 자극 제시 시스템에서 피험자의 COP를 측정하기 위해 힘판을 이용하였다. 힘판에서 얻어지는 신호는 증폭되어 NI사의 PCI-6024 DAQ 보드를 통하여 컴퓨터에 입력하여 측정하였다. 이때 인솔에서의 진동에 의한 힘판에서의 COP 측정에는 아무런 영향이 없었다.

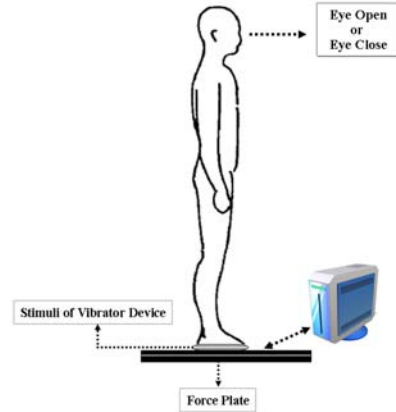


Fig. 1 Hardware of measurement system for postural response

3. 실험방법

본 연구에서 안정 자세와 불안정한 자세는 5가지로 나뉜다. 자세 제시를 위해 피험자의 눈높이에 모니터를 설치하고, 피험자가 직접 자신의 COP를 볼 수 있도록 하였다. 모니터 화면상에 좌표축의 영점과 제시되는 원의 중심사이의 거리가 60mm로 일정하도록 그림 2에서 안정 자세인 중심영역(center)과 불안정 자세인 전, 후, 좌, 우(anterior, posterior, left, right)영역에 지름 20mm의 목표 원을 제시하였으며, 제시되는 방향의 순서는 무작위순으로 하여 예상에 의한 준비나 순서에 따른 학습의 효과를 배제하고자 하였다. 각각의 목표마다 피험자는 자신의 COP 궤적을 원의 중심에 도달하도록 몸의 중심을 이동하도록 하였고, 원 안에 들어간 후에는 30초 간 COP를 원 안에 유지하도록 하였다. 인간의 자세 안정성 범위(limit of stability)는 인간이 전후좌우 영역으로 낙상 없이 최대로 기울일 수 있는 각도를 말하며, 전-후 방향으로 12.5°이며, 좌-우 영역으로 16°이다 [6]. 이번 연구의 안정성 한계는 피험자의 신장을 170cm로 정하고 양 발을 10cm 간격으로 벌리고 선 자세를 기준을 세웠을 때 전-후, 좌-우 방향으로 3.5° 기울여 유지하도록 하였다.

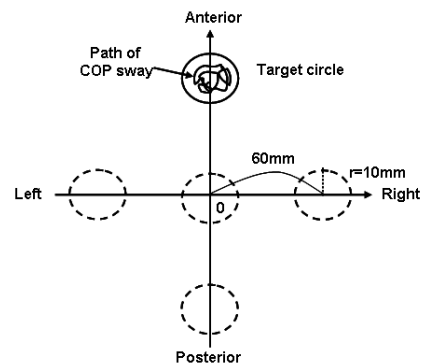


Fig. 2 Schematic drawing of combinative maintenance of COP

이때 분석 지표로서 원 안에서 COP 변동의 RMS(root mean square) 값을 평가지표로 구하였다[6]. COP_{RMS}는 COP 변동의 범위를 의미하며 값이 클수록 신체 동요가 커짐을 의미한다.

4. 결과 및 고찰

그림 3는 안정판에서 목표 원의 방향에 따라 COP를 유지하게 할 때, 시각자극과 촉각과 고유수용감각의 동시 진동 자극의 제시 유무에 따른 4가지 실험 조건에서 COP_{RMS} 데이터이다.

안정판위에서 안정자세와 불안정한 자세를 목표 원 안에서 COP를 유지하고 있을 때, 안정자세와 불안정한 자세에서 COP_{RMS}를 비교해보면, 안정자세에서 COP_{RMS}가 작았다($F_{4,400}=6266.296, p=0.000$). 시각자극과 진동자극 제시 유무에 따른 조건에서는 시각자극과 진동자극이 같이 제시될 때 COP_{RMS}는 가장 작았으며, 시각자극과 진동자극이 같이 제시되지 않았을 때 가장 컸다. 시각자극이나 진동자극이 제시될 때의 조건은 비슷한 수치를 보였다(vibration: $F_{1,400}=94.017, p=0.001$, visual: $F_{1,400}=64.236, p=0.001$, vibration×visual: $F_{1,400}=7.875, p=0.042$). 목표 원의 방향, 시각자극과 진동자극 유무에 따른 결과는 유의하지 않았다(vibration×visual×target direction: $F_{4,400}=1.110, p=0.353$).

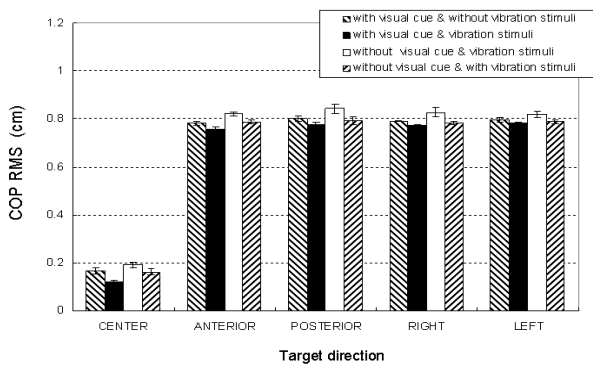


Fig. 3 COP_{RMS} data in four condition according to target direction during standing on stable support

COP_{RMS}는 피험자의 무게중심이 동요한 범위를 뜻하며, 값이 작다면 자세 안정성이 높음을 의미한다. COP_{RMS} 항목에서 진동자극을 제시하지 않았을 때보다 진동자극을 제시하였을 때 더 안정된 자세 균형을 하였으며, 시각자극이 제시되었을 때 자세가 좀 더 안정적으로 유지하였다. 이는 발바닥에서 백색잡음 신호로 진동을 인가했을 때 진동에 민감하게 반응하고 그 대역폭이 20Hz-800Hz로 넓은 범위에서 반응하는 파치니(pacini) 촉각수용기와 근방추의 구심성 신경섬유 중 Ia군 구심섬유(primary afferent)가 흥분하여 각각 촉각과 고유수용감각을 피드백함으로써 피험자의 자세 안정성 제어 능력에 도움이 되는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 시스템은 촉각 자극의 자극부위로 발바닥과 고유수용자극의 자극 부위로 발목 신전 근육에 진동으로 체성감각계를 자극시키는 자극제시부와 진동에 의한 자세 안정성을 측정하기 위한 측정부로 구성하여 새로운 체성감각 자극 시스템을 개발하였고 이 체성감각 자극 시스템을 통한 자세 안정성을 평가하기 위해서 불안정한 자세 유도 후, 진동 자극의 유무와 자극 부위에 따른 COP_{RMS}를 측정하여 체성감각 자극 효과를 분석

하고 진동자극을 이용한 체성감각 자극을 제시하지 않았을 때보다 제시하였을 때 더 자세 균형을 안정성을 확보할 수 있었다.

참고문헌

1. D. H. Jeong and H. C. Kwom, "A study on control of posture and balance", The Journal of Korean Society of Physical Therapy, vol 11, no. 3, pp. 23-36, 1999.
2. F. B. Horak and J. M. Macpherson, Postural orientation and equilibrium. In Handbook of Physiology, section 1, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems, Oxford University Press, New York, pp. 255-292, 1996.
3. T. Mergner and T. Rosemeier, "Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions: a conceptual model", Brain Research Review vol. 28, pp. 118-135, 1998.
4. 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, no. 15, pp. 1853-1856, October, 2002.
5. 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.
6. L. Rocchi, L. Chiari and A. Cappello, "Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis," Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 42, pp. 71-79, 2004.