

전기자극 변조방식이 압력 감각에 미치는 영향

Effects of modulation type on electrically-elicited pressure sensation

*조산 아라¹, 황선희¹, 송동진², 배태수², 박상혁², #강곤¹

*J. Ara¹, S. H. Hwang¹, T. Song², T. S. Bae², S. H. Park², #G. Khang(gkhang@khu.ac.kr)¹

¹경희대학교 생체의공학과, ²중원대학교 의료공학과

Key words : Sensory feedback, Electrical stimulation

1. 서론

불의의 사고로 팔 또는 다리의 절단수술을 받거나 손 혹은 발의 촉각이 약해짐으로써 일상생활에 어려움을 겪는 사람들을 위해 감각 피드백 시스템이 결합된 의지 개발이 필요하다. 의지를 착용한 사람에게 물체의 형태나 질감 등 감각에 관한 정보를 전달해주는 감각 피드백 시스템 개발을 위하여 본 연구에서는 물체의 공간적인 정보를 제공해주는 주요 촉각의 하나인 압력 감각에 초점을 두었다.

현재까지 감각 피드백을 위하여 사용된 시스템은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 핀 타입 디스플레이 자극, 표면 음파자극 등 기계적 에너지를 사용하여 기계적 감각수용기(mechanoreceptor)를 자극하는 방법이다. 두 번째는 기계적인 구동장치 없이 표면 전극을 통해 피부에 전류를 주입하여 신경섬유를 직접적으로 활성화시켜 줌으로써 압력이나 진동감각을 만들어내는 전기적 자극 방법이 있다. 본 연구에서는 촉각을 유발하기 위하여 원하는 지점을 정확하게 자극할 수 있다는 장점을 가지는 전기자극을 이용하였다.

전기자극을 통하여 촉각을 유발해내기 위한 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고²⁴ 압력을 유발하기 위한 전기자극의 방법에 관한 연구는 다양하게 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구의 목적은 전기자극 펄스의 진폭과 너비 파라미터를 변화시키는 방법을 이용하여 압력감각을 유발하고, 두 변조방식이 압력감각에 미치는 영향을 연구하는 것이다.

2. 방법

신경학적 병력이 없는 39명의 피실험자가 본 연구에 참여하였다. 사전에 피실험자에게 실험에 관한 충분한 설명 후 실험참여 동의서를 받았다.

인체에서 가장 예민하다고 알려져 있는 검지의

끝마디를 자극하기 위하여 본 실험실에서 개발한 표면전극(Fig. 1)을 사용하였다. LabVIEW® 프로그램을 이용하여 자극 파형을 생성하고, 자체 개발한 정전류모드 전기자극기를 사용하였다.



Fig. 1 Surface Electrode

실험 시작에 앞서 알코올솜으로 피실험자의 검지를 닦아 먼지 등을 제거하고, 상온의 물에 10초간 손가락을 넣어 피부의 습기를 일정하게 유지하고자 하였다. 그 후 전해 젤을 검지의 끝마디에 고르게 발라 주었다. 지문돌기의 중심이 기준전극과 자극전극의 중심 위에 가볍게 올려놓도록 하였다.

실험에서는 자극을 위하여 20Hz 단상 음극 구형파를 사용하였고 자극 펄스의 진폭과 너비를 변화시키면서 피실험자가 느끼는 감각의 변화를 살펴 보았다. 펄스진폭변조방식(Pulse Amplitude Modulation, PAM)에서는 자극 펄스의 너비를 200us로 고정시킨 후 진폭을 0.5mA씩 5초 간격으로 증가시켰고, 펄스너비변조방식(Pulsewidth Modulation, PWM)에서는 반대로 진폭을 5mA로 고정시킨 후 너비를 20us씩 5초 간격으로 증가시켰다.

자극 펄스의 진폭과 너비를 변화시키면서 피실험자의 감각이 시작되는 순간(Activation Threshold, AT)과, 통증이나 불쾌감을 느끼는 순간(Pain Threshold, PT)을 측정하고 PT에 도달하는 순간 자극을 중지하였다. 또한 압력 및 진동감각을 비롯한 기타 감각의 변화가 나타나는 매 순간을 측정하고, 실험이 끝난 후에 감각의 변화를 자세하게 설명하도록 했다.

3. 결과 및 토의

총 39명의 피실험자에게 PAM과 PWM을 이용하였을 때 AT에서 전기자극으로 주입된 펄스당 전하량(Charge per Pulse, CPP)을 비교하였다. 피실험자의 51%에서는 AT에서의 CPP가 PWM보다 PAM에서 낮게 나타났다. 23%의 피실험자에서는 반대로 나타났고, 26%의 피실험자에서는 양쪽의 차이가 없었다. 또한 두 변조방식에서 압력감각수용기인 머켈 수용기가 활성화되어 압력감각이 나타나는 순간(Merkel Disk Threshold, MDT)의 CPP를 비교하였다. 35.8%의 피실험자에서는 MDT에서의 CPP가 PWM보다 PAM에서 낮게 나타났고, 38.5%는 반대의 경우, 그리고 25.5%의 피실험자에서는 두 변조방식에서 차이가 없었다. 전체 피실험자 가운데 5%에서만 압력감각이 유발되지 않았다. 따라서 압력감각을 유발하는 데 있어서는 전기자극의 변조방식은 큰 차이를 나타낸다고 할 수 없다.

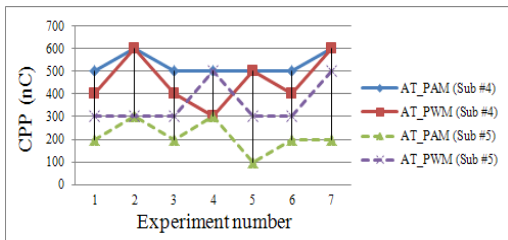


Fig. 2 Individual consistency in CPP at AT

전기자극에 있어서 각 개인의 감각특성을 고찰하기 위하여 5명의 피실험자에게 각 변조방식 당 7번의 실험을 반복하였다. 5명의 피실험자 가운데 3명의 피실험자에서는 AT에서의 CPP가 PWM보다 PAM에서 일관되게 낮게 나타났다. 반면 한명의 피실험자에서는 반대의 경우를 나타냈고, 나머지 한명의 피실험자에서는 두 변조방식에서 차이가 없었다. 특징적인 것은 각 개인에서는 매 실험마다 일관된 결과를 나타냈다. 반면 PT에서의 CPP를 비교해보면 두 변조방식에서 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

피실험자가 전기자극으로 유발된 감각에 대하여 서술한 결과 Fig. 3에서 보이는 것과 같이 두 변조방식 모두에서 대부분 압력이나 간지러운 감각이 진동 감각에 비하여 앞서 나타났다. 이는 압력감각과 간지러운 감각을 담당하는 머켈 수용기와 마이스너 소체가 진동 감각 수용기인 파시니 소체에 비하여 피부 표면에 위치하여 낮은 강도의 자극으로 활성화 될 수 있기 때문이다.

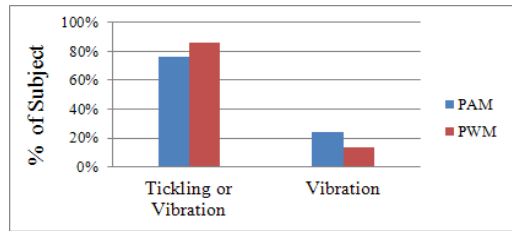


Fig. 3 The first sensation elicited by electrical stimulation

각 변조방식에서 AT에서의 CPP와 PT에서의 CPP를 비교하면 그 둘 사이의 상관계수가 각각 0.348과 0.344로 나타났다. 즉 각 피실험자에서 AT에서의 CPP값이 높게 나타났다고 하더라도 PT에서의 CPP가 높아지지는 않는다.

4. 결론

본 연구에서 채택된 전기자극 파라미터의 범위 내에서 압력감각을 유발할 수 있음을 확인하였다. 단, 압력감각의 유발에 있어서 PAM과 PWM의 변조방식은 큰 차이를 나타내지 않았다. 보다 선택적이고 뚜렷한 감각을 유발하기 위하여 펄스 파형의 다양성 및 다채널 전기자극 방법에 대한 연구가 진행중이다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0020933)

참고문헌

1. Chouvardas, V. G., Miliou, A. N. and Hatalis, M. K., "Tactile displays: Overview and Recent Advances," *Displays*, **29**, 185-194, 2008.
2. Kajimoto, H., Kawakami, N., Maeda, T. and Tachi, S., "Electro-Tactile Display with Tactile Primary Color Approach," *Proceedings of International Conference on IROS*, 2004.
3. Kaczmarek, K. A., Tyler, M. E., Brisben, A. J. and Johnson, K. O., "The afferent neural response to electrotactile stimuli: preliminary results," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, **8**, 268-270, 2000.
4. Giron, S. M., Hwang, S. H., Song, T., Rhee, K. and Khang, G., "Perception Caused by Amplitude Variation in Electro-Tactile Stimulation," *5th European Conference of the IFMBE*, 122, 2011.