Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 32, No. 4 pp.355-361, August 2013 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2013.32.4.355

Gender Differences in the Sensitivity and Displeasure Caused by the Vibration Stimuli Applied to the Forearm in Upper Limb Amputees

Sol Bi Kim, Chang-Yong Ko, Yun Hee Chang, Gyoo Suk Kim, Sin Ki Kim

Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center, Incheon, 403-712

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to investigate the gender-differences in vibrotactile responses(sensitivity and displeasure) of residual forearm simulated by vibration stimulation in upper limb(trans-radial) amputees. **Background:** Several studies have reported that vibration stimulation using the haptic vibrator is one the most effective methods for delivering sensation to an amputees. However, few studies have reported the perception to haptic vibratory stimulus, particularly sensitivity and displeasure. **Method:** We set up a custom-made vibration stimulation system that included 6 actuators(3 medial parts and 3 lateral parts) and a graphical user interface(GUI)-based acquisition system to investigate changes in residual somatosensory sensibility and displeasure in the forearm of upper limb(trans-radial) amputees. Vibration actuators were attached at the 25%-point on the proximal forearm. Stimulation with 32Hz, 64Hz, or 149Hz of frequency was used for the sensitivity tests and with 32~257Hz of frequency was used for the discomfort experiments. The subjective responses were evaluated on a 10 point scale. **Results:** The results showed that vibrotactile sensory perception in male amputees were higher than that in female amputees. In male amputees, the response at lateral area of forearm was the most sensitive than medial area; but, female amputees showed similar sensitive areas. Subjects did not experience any discomfort during vibrotactile stimuli. **Conclusion:** Vibrotactile response in the amputees was dependent on gender as well as area stimulated by vibration. **Application:** The results might contribute to develop the vibrotactile feedback system for the amputees.

Keywords: Vibration sensory perception, Upper limb amputees, Genders, Sensitivity, Displeasure

1. Introduction

감각 전달 장치는 과거까지 시청각 장애인을 위한 순수 감각 정보 전달을 목적으로 연구가 진행되어 왔으나, 최근에는 이를 이용하여 다양한 분야에서 응용 연구가 많이 이루어지고 있다(Ryu and Kim, 2004). 감각 전달 시스템을 이용한 근전동 의수(Myoelectrical hand prosthesis)의 개발이 그 중 하나이다. 근전동 의수는 상지 절단자의 기능 회복과 이를 통한 사회복귀 및 삶의 질 향상에 큰 역할을 한다(Pylatiuk et al., 2006). 하지만 시각이 차단될 경우 근전동 의수 조절에 어려움이 따르고, 다른 감각으로 고유수용 감각 정보를 피드백 받을 수 없는 단점을 가지고 있다(Lundborg and Rosen, 2001; Pylatiuk et al., 2006; Chatterjee et al., 2008). 이를 보완하기 위해 전기적 자극이나 기계적 자극을 이용한 감각 전달 시스템 연구가 진행

Corresponding Author: Chang-Yong Ko. Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center, Incheon, 403-712.
Phone: +82-32-500-0769, E-mail: cyko@korec.re.kr
Copyright@2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.
ⓒThis is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. http://www.esk.or.kr

되고 있다(Scott, 1990). 전기적 자극을 이용하여 감각을 전달하게 될 경우 전동 의수 조절 시스템의 간섭작용과 이로 인한 오작동을 고려해야 하며(Shannon, 1974), 자극에 대한 피부 순응의 문제가 있다(Kaczmarek et al., 1991). 또한 신체의 전기적 통증 역치는 다른 감각에 비하여 낮아 가용범위가 좁은 단점이 있다(Shannon, 1974; Kaczmarek et al., 1991). 진동 자극은 대표적 기계적 자극을 이용한 감각 전달 시스템으로 이와 같은 문제점이 거의 없는 것으로 알려져 있다(Sueda and Tamura, 1969; Shannon, 1974).

절단자의 33%는 절단 부위의 이상 감각을 나타내며, 특히 절단 부위는 다른 신체 부위와 달리 순환이 원활하게 이루어지지 않아 정상인과 다른 체성 감각 변화를 보이며, 이는 개개인의 차가 있어 일반화 하기 매우 어렵다(Judith B and Kosasith, 1998; Hunter, 2004). 하지만 진동 감각은 다른 체성 감각에 비하여 절단부의 감각 소실과 변화가 거의 없기에(Judith B and Kosasith, 1998) 감각 전달 시스템으로 효율적이며 적합하다.

진동 자극을 인체에 적용하여 감각 피드백을 받을 경우 안전하고 스트레스를 유발하지 않는 범위 내에서 자극의 세기를 결정하는 것이 매우 중요하다. 기존 연구에서 진동 자극을 전동 의수 사용자에게 가하였을 경우 진동 자극이 인체에 무해하며 절단자에게 불쾌감과 통증을 유발시키지 않는다고 하였다(Pylatiuk et al., 2006). 본 연구팀의 기존 연구에서는 진동 자극에 대한 민감도는 연령과 절단여부에 상관없이 일정하였으며 외측에서의 민감도가 내측보다는 증가하는 경향을 확인하였다(Kim et al., 2012). 생리학적으로 남성과 여성은 근육 상태 및 피하지방 분포 정도가 다르다(Lee et al., 2002; Blaak and Ellen, 2001). 진동 감각은 이와 같은 조직의 특성과 밀접한 관련이 있기 때문에(Renald and Cahill, 1965) 성별 간의 신체 부위별 진동 감각 인지 정도는 다르게 나타날 수 있다. 하지만 기존 연구들은 절단자의 성별에 따른 민감도 차이에 대한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 핸드폰에 사용되는 햅틱 소자를 기반으로 개발한 진동 자극 시스템을 이용하여 상지 절단자의 전완 잔존부 내 · 외측 부위에 동일 자극에 대한 부위별, 성별 민감도 차이와 불쾌감을 알아보고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 상지 전완부 절단자 남성 10명(연령 48.5±9.3), 여성 10명(연령 52.4±4.8)을 대상으로 실험을 하였다. 선정 기준은 절단 부위가 안정화된 자로 절단한지 5년 이상인 자이며, 최근 6개월간 절단 부위에 통증이 발현되지 않은 자로 하였다. 이들에게 실험에 대한 충분한 설명을 하고 연구 동의서에 서명한 후 실험에 임하였다.

2.2 Apparatus

본 연구에서는 DC 전압제어가 가능한 두께 3mm, 사이즈 ø 10의 진동 소자(DMJBRK 10 series, Samsung)를 사용하였다. 본 연구에 사용된 진동 소자는 구동 전압이 0.6~4V로 변함에 따라 주파수는 37~257Hz, 진동 변위는 0.5~7.8㎛, 가속도는 0.04~5.02G로 변하였다. 자극의 강도는 구동 전압으로 조절하며, 구동 전압에 따른 가속도, 주파수, 진동 변위의 변화 측정은 Bae et al.(2011)의 연구 방법을 따라 측정하였다. 진동 자극 시스템은 선행 연구 방법과 동일하게 제작 실행하였다. 탄력 밴드에 6개의 진동 소자를 배열하여 자극 인가부를 제작하였다. 자극 인가부는 전동 의수를 작동시키는 손목 신전근과 굴곡근이 내포된 전완의 내외측 부위 진동 감각 능력을 확인하고자 전완 둘레를 총 8부위로 일정하게 위치를 나눈 뒤, 신전근과 굴곡근이 포함되지 않는 전완 전면부 정가운데 지점과 후면부 정가운데 지점을 제외한 6부위를 선정하였으며, 진동 소자는 해부학적 중심을 기준으로 외측(채널 1-3)과 내측(채널 4-6)에 일정한 간격으로 배치하였다(Figure 1). 자극 설정부는 실험 방법을 설정할 수 있도록 하드웨어를 구성하였으며, 자극 반응부는 부위별 민감도를 측정하기 위해 1에서 10까지의 반응 버튼과 불쾌감을 측정하고자 O, X 버튼을 제작하였다.

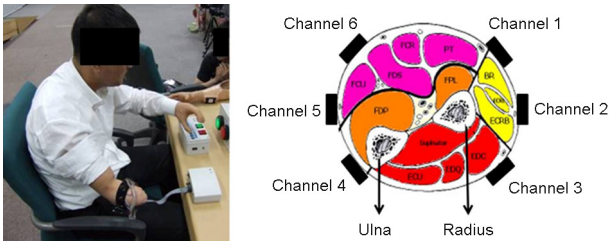

Figure 1. Experimental position(left) and attached area of vibrotactile motor(right)

2.3 Procedure

모든 피검자는 의자에 앉아 단단부를 쿠션 위에 올려놓았으며, 자극 밴드가 쿠션에 닿지 않도록 한 후 실험하였다. 측정 부위는 잔존 단단부에(건측의 주관절에서 수근관절 방향의 근위부 25% 지점을 계산 환측에 적용) 6개의 진동센서

가 부착된 탄력 밴드를 착용하였다(Figure 1).

부위별 민감도 실험은 강도 추정 방법을 사용하였다(Fucci et al., 1991). 기준 자극은 진동 소자에서 구동할 수 있는 최대 자극으로 하였으며 실험 자극을 부여한 뒤 최대 자극에 대비하여 상대적 인지 정도를 1(느낌이 없을 시)에서 10(기준 자극과 동일한 느낌일 시) 사이의 숫자로 표현하도록 하였다. 기준 자극은 257Hz(Amplitude 5.02G, 4V)을 사용하였고, 실험 자극은 본 연구에서 사용한 진동 소자 내의 최소 주파수인 37Hz(Amplitude 0.04G, 0.6V), 사람이 가장 편하게 느끼는 주파수 영역의 64Hz(Amplitude 0.75G, 1V), 임상검사에서 사용되는 주파수 영역의 149Hz (Amplitude 1.89G, 2.2V) 세 가지 자극 주파수를 사용하였다. 자극 적용 시간은 0.7sec이며, 각 자극에 대한 인지 정도를 즉각적으로 응답 후 다음 자극을 부여하였으며, 자극 부위는 무작위로 실험하였다.

불쾌감 실험은 정량적 감각 측정 방법 중 하나인 단계별 인가 방법(Method of level)을 사용하였다. 부위별 민감도에서 가장 예민한 부분에 0.6V의 자극부터 시작하여 불쾌하지 않으면 O 버튼, 불쾌하면 X 버튼을 누르게 하였다. 자극 단계는 0.1V씩 강도를 증가시켰으며, 자극 시간은 0.7sec로 하였다.

2.4 Statistical analysis

본 연구는 통계 프로그램(SPSS ver. 20, SPSS Inc., USA)을 사용하였으며, 성별 간의 차이는 Mann Whitney 검정, 집단 내 부위별 비교는 Friedman 검정, 손목 신전근 부위와 굴곡근 부위의 감각 차이는 Wilcoxon 검정을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $p < .05$로 설정하였다.

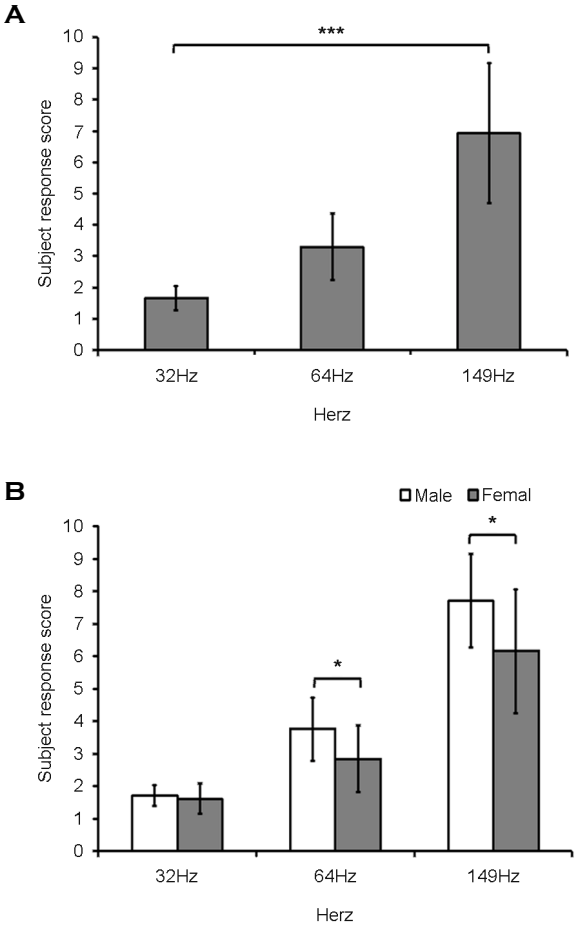

Figure 2. Changes in vibrotactile sensory perception(sensitivity) due to increased Hz (A). Comparison of change in vibrotactile sensory perception by frequency between genders (B). Bars represent mean value and error bars represent standard deviation. *p<.05, ***p<.001

3. Results

3.1 Comparison of vibrotactile sensory perceptions in varying frequencies

Figure 2에서 보는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 평균 자극 인지 정도(민감도)도 유의하게 증가하였다 ($\chi^2 = 40$, $p = .000$). 또한 모든 주파수 영역 대에서 성별 간의 진동 자극 민감도 차이는 남성 절단자 군이 여성 절단자 군에 비하여 높게 나타나는 경향을 보였으며, 64Hz($Z = -2.360$, $p = .018$)와 149Hz($Z = -2.530$, $p = .011$)에서 두 집단 간 유의한 차이를 보였다.

3.2 Comparison of vibrotactile sensory perception among stimulation sites

Table 1에서 보는 바와 같이, 6개 부위별 성별의 감각 인지 정도는 64Hz, 149Hz에서 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 32Hz의 자극에서는 성별 간 비슷한 결과를 나타내었지만, 64Hz와 149Hz의 경우 동일한 자극에서도 전완의 외측 부위(Channel 1, 2, 3)에서 남성이 여성에 비하여 더 민감하게 느끼는 것으로 확인하였다($p < .05$). 전완의 내측 부위에서는(Channel 4, 5, 6) 남성이 여성에 비하여 진동 자극에 다소 민감한 경향을 보이기는 하였지만, 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$).

동일 성별에서 내측 부위(손목 굴곡근 군)와 외측 부위(손목 신전근 군)의 진동 인지 감각 차이 비교하였다(Table

Table 1. Comparison of gender-differences in vibrotactile sensory perception among stimulation sites, Mean ± SD

Frequency	Group	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6
32Hz	Female	1.8±0.6	1.6±0.7	1.6±0.5	1.6±0.5	1.6±0.7	1.6±0.5
	Male	2.3±0.9	1.7±0.7	1.9±0.6	1.6±0.7	1.8±0.9	1.4±0.5
	p value	.205	.707	.240	.551	.967	.661
64Hz	Female	3.2±1.6	2.7±0.9	3.1±1.6	2.4±0.8	2.6±0.8	2.6±0.8
	Male	4.7±1.1	3.9±1.5	4.3±0.9	3.1±1.3	3.3±1.4	3.4±1.3
	p value	**.018***	**.049***	**.016***	.223	.223	.166
149Hz	Female	6.4±1.7	6.4±1.7	6.4±1.8	6.3±2.3	5.8±2.0	5.8±1.9
	Male	9.0±0.8	8.5±1.3	8.4±1.5	7.5±2.5	7.6±2.4	7.0±2.0
	p value	**.005****	**.048***	**.044***	.236	.072	.237

**p*<.05, ***p*<.01

2). 그 결과, 남성 절단자 군에서는 32Hz(Z= −2.388), 64Hz(Z= −2.850), 149Hz(Z= −2.527) 모두 외측이 내측보다 동일 자극에서 더 민감하게 인지하였다($p < .05$). 반면 여성 절단자 군에서는 동일 자극에 대하여 내 · 외측 비슷하게 인지하였다($p > .05$).

Table 2. Comparison of vbrotaction sensory perception between medical(wrist flexor) and lateral area(wrist extensor) of forearm in each gender, Mean ± SD

Frequency	Gender	Medial area	Lateral area	*p* value
32Hz	Female	1.6±0.5	1.7±0.5	.655
	Male	1.6±0.4	2.0±0.4	**.017***
64Hz	Female	2.5±0.7	3.0±1.3	.085
	Male	3.3±1.0	4.3±1.1	**.004****
149Hz	Female	6.0±2.0	6.4±1.7	.132
	Male	7.4±2.6	8.6±2.1	**.012***

**p*<.05, ***p*<.01

더 자세한 자극 부위 간 비교를 위하여 내/외측을 3부분씩 나누어 비교한 결과를 Figure 3에 나타내었다. 그 결과 남성 절단자 군에서는 32Hz를 제외한 64Hz($\chi^2 = 27.56$, $p = .000$)와 149Hz($\chi^2 = 26.71$, $p = .000$)에서 동일 자극에 대하여 6개 부위가 다르게 인지하였음을 확인할 수 있었다. 특히 1번 부위가 다른 부위보다 더 민감하게 느끼는 경향을 나타냈다. 반면 여성 절단자 군에서는 주파수와 상관없이 6개 자극 부위에서 동일 자극에 대하여 유의한 차이 없이 비슷하게 인지하였다.

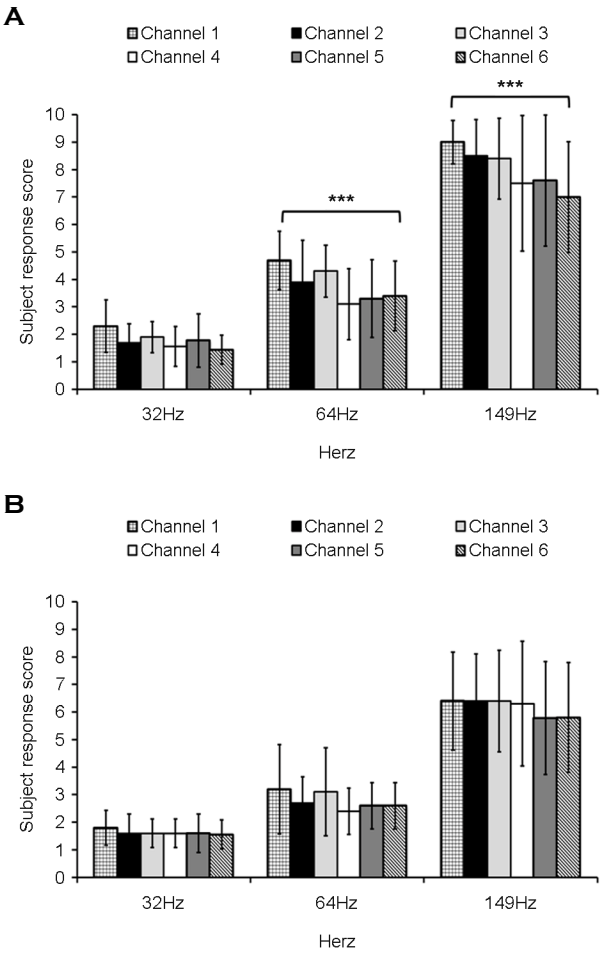

Figure 3. Comparison of vibrotactile sensory perception between stimulation sites in each gender(A, Male amputees; B, Female amputees). Bars represent mean value and error bars represent standard deviation. ****p*<.001

3.3 Displeasure of vibration stimuli

진동 자극의 불쾌감 측정 결과, 남성 절단자 1명(222Hz)을 제외하고 성별에 관계없이 피검자 모두 불쾌감 및 통증을 호소하지 않았다.

4. Conclusion

본 논문에서는 상지 절단자의 잔존 단단부에 진동 자극 시 감각 인지 정도 및 불괘감에 대하여 연구하였으며, 특히 성별에 대한 차이를 확인하고자 하였다.

본 연구 결과, 절단 부위에 진동 자극을 부여하였을 때 성별과 관계없이 주파수가 증가되면 더 강한 진동으로 인식하였다. 이는 주파수가 증가할 수록 체성 감각이 잘 전달됨을 의미한다. 이와 같은 결과는 건강한 성인을 대상으로 상지 부위에 저주파 영역대(30Hz)의 진동과 고주파 영역대인 200Hz의 진동 역치를 비교하여, 고주파 영역대 역치가 저주파에 비하여 상대적으로 낮게 측정되었음을 보인 Stuart et al.(2003)의 결과와 유사하다.

또한 본 연구에서는 동일한 진동 자극에도 남성 절단자 군이 여성 절단자 군에 비하여 민감하게 느꼈으며, 전완의 외측(손목 신전근) 부위에서는 유의한 차이가 있었다. 이와 같은 차이가 발생하는 이유는 상완의 해부학적 특성과 진동 수용체 분포, 상대적 근육 크기와 근육 발달 정도가 성별 간과 전완의 내 · 외측이 다르기 때문으로 사료된다. 진동 감각은 근육 크기 및 피하지방 조직의 특성과 밀접한 관련이 있다. Renald와 Cahill(1965)은 지방은 피부 감각 수용 능력과 연관되어 있다 주장하였으며, 그들의 연구 결과에 의하면 피하지방층이 많이 분포될수록 체성 감각이 상대적으로 저하된다 하였다. Blaak와 Ellen(2001)의 지방 대사에 관한 성별 차이 연구에 의하면 여성이 일반적으로 남성보다 높은 체지방율을 가지고 있으며, 여성의 경우 피하지방이 남성보다 많고 내장지방은 적다 보고하였다. 따라서 피부에서 전달되는 감각을 신경이 수용하는데 있어서 피하지방층이 발달된 신체 부위에서는 상대적으로 여성이 동일한 자극에 대해서 남성보다 둔감하게 느껴지게 된다. 또한 근육의 분포 · 크기 또한 감각을 인지하는데 영향을 준다(Savic et al., 2007). 피부에 진동 자극을 부여하게 되면 파치니 소체(Pacinian corpuscle)가 주로 작용하여 신경으로 전달해주게 된다. 파치니 소체는 진동 감각을 감지하는 수용체로 힘줄과 골 주변 연부 조직에 많이 밀집하여 있다(Savic et al., 2007). 전완에는 두 개의 큰 뼈(요골, 척골)가 있으며, 요골 주변에는 세 개의 손목 신전근이 척골 주변에는 하나의 손목 굴곡근이 있다. 또한 전완의 근위부의 단면적을 보면 요골 주변은 힘줄이 많이 분포한 반면 척골 주위로 근복이 많이 분포되어 있다.

이와 같은 결과는 진동 인지 감각은 나이와는 유의한 상관관계를 갖지만 성별에는 큰 차이가 없다는 기존의 연구와는 차이가 있다(Goldberg and Lindblom, 1979; Era et al., 1986; Aaserud et al., 1990; Yarnitsky, 1997; Stuart et al., 2003). 이와 같이 기존 연구와 차이는 감각 측정 부위가 다르기 때문으로 사료된다. 기존 연구에서는 손끝에 진동 감각 역치를 측정하였는데(Stuart et al., 2003), 손끝의 경우 근육이 적으며 피하지방층이 거의 존재하지 않아 성별 간의 차이가 크지 않았다. 하지만 본 연구에서는 전완에서 진동 감각을 측정하였으며, 이 부위의 경우 성별에 따라 피부 두께, 피하지방의 두께가 차이가 발생한다(Lee et al., 2002; Blaak and Ellen, 2001). 또한 감각 측정 대상자가 다르기 때문일 수도 있다. 절단자의 경우 감각 이상자가 많으며, 정상인과 다른 체성 감각 변화를 보인다(Judith B and Kosasith, 1998; Hunter, 2004). 기존 연구에서는 정상인을 대상으로 평가하였지만, 반면 본 연구에서는 절단자를 대상으로 평가하였다.

따라서 절단자 대상으로 진동 자극 기반의 감각 전달 시스템을 개발할 때 성별 간의 차이와 전완의 내외측 차이를 고려해야 할 것이다.

본 연구에서는 진동 감각이 분명히 전달되지만 그에 따른 불쾌감은 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 진동 자극은 불쾌하지 않으며 통증이 발생하지 않는다는 Pylatiuk et al.(2006)의 연구와 동일하다. 이로써 절단자 대상으로 진동 자극 기반의 감각 전달 시스템을 개발 시 사용자에게 스트레스를 유발하지 않으며 이로 인하여 만족감 향상 및 지속적 사용을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 대상자 수가 적으며, 다양한 연령대와 절단 부위, 주파수 대역의 연구가 진행되지 않은 제한 점이 있다. 또한 자극의 횟수로 인한 영향을 최소한으로 하고자 기준 자극을 매 측정 시 마다 부여하지 않고 주파수가 변할 때 한번씩 주었다. 하지만 이와 같은 방법으로 인하여 측정된 값이 기준 자극에 대한 상대적인 수치보다 다른 부위에서 느낀 감각과 비교하여 점수화했을 가능성이 있다. 추후 이와 같은 사항을 수정 · 보완한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 절단자의 피부의 경도, 피하지방 두께, 피부 상태, 근육 상태 등을 측정하여 진동 감각 인지 차이의 원인을 밝히는 심도 있는 연구가 추가적으로 이뤄져야 할 것이다.

Acknowledgements

This research was supported by the Public welfare & Safety research program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Plannig (No. 2010-0020457).

References

Aaserud, O., Juntunen, J. and Matikainen, E., Vibration sensitivity thresholds: Methodological considerations, *Acta Neurologica Scandinavica*, 82(4), 277-283, 1990.

Bae. T.S., Kim. H.J., Kim. S.B., Jang. Y.H., Kim. S.K. and Mun. M.S., Effect of Multi-Channel Vibration Stimulation on Somatosensory Sensibility, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 28(6), 651-656, 2011.

Blaak and Ellen., Gender differences in fat metabolism, *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 4(6), 499-502, 2001.

Chatterjee, A., Chaubey, P., Martin, J. and Thakor, N., Testing a prosthetic Haptic Feedback Simulator With an Interactive Force Matching Task, *Journal of Prosthetics and Orthotic*, 20(2), 27-34, 2008.

Era, P., Jokela, J., Suominen, H. and Heikkinen, E., Correlates of vibrotactile thresholds in men of different ages, *Acta Neurologica Scandinavica*, 74(3), 210-217,1986.

Fucci, D., Turman, A., Shaw. J., Walsh, N. and Aguyen, V., Lingual vibrotatile threshold shift differences between stutterers and normal speakers during magnitude-estimation scaling, Perceptual and Motor Skills, 73(1), 55-62, 1991.

Goldberg, J.M. and Lindblom, U., Standardised method of determining vibratory perception thresholds for diagnosis and screening in neurological investigation, *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 42(9), 793-803, 1979.

Hunter, J.P., Dissociation of phantom limb phenomena from stump tactile spatial acuity and sensory thresholds, *Brain*, 128(2), 308-320, 2004.

Judith B. Kosasith, B.S.-T., Sensory Changes in Adults with Unilateral Transtibial Amputation, *Jounanl of Rehabilitation Research and Development*, 35(1), 85-90, 1998.

Kaczmarek, K.A., Webster, J.G., Bach-y-Rita, P. and Tompkins, W.J., Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution system, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(1), 1-16, 1991.

Kim, S.B., Chang, Y.H., Kim, S.K., Kim, G.S., Mun, M.S. and Bae, T.S., The Measurement of the Magnitude of Sensory Perception and Displeasure to the Vibration Stimuli applied on Forearm in upper Limb Amputees, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 29(7), 705-710, 2012.

Lee, Y. and Hwang, K., Skin Thickness of Korean Adults, *Surgical and Radiologic Anatomy,* 24(3), 183-189, 2002.

Lundborg, G. and Rosen, B., Sensory substitution in prosthetics." *Hand Clinics*, 17(3), 481-488, 2001.

Pylatiuk, C., Kargov, A. and Schulz, S., Design and evaluation of a low-cost force feedback system for myoelectric prosthetic hand, *Journal of Prosthetics and Orthotic*, 18(2), 57-61, 2006.

Renold, A.E. and Cahill, G.F., Section 5, Adipose tissue, *Hand book of Physiology*, 64(2), 480, 1965.

Ryu, J. and Kim, G.J., Using a Vibro-Tactile Display for Enhanced Collision Perception and Presence, *The ACM international Coference on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 89-96), 2004.

Savic, G., Bergstrm, E.M.K., Davey, N.J., Ellaway, P.H., Frankel, H.L., Jamous, A. and Nicotra, A., Quantitative sensory tests (perceptual thresholds) in patients with spinal cord injury, *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 44(1), 77, 2007.

Scott, R.N., Feednack in myoelectric prosthese, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 256, 58-63, 1990.

Shannon, G.F., A comparision of alternative means of providing sensory feedback on upper limb prostheses, *Medical and Biological Engineering*, 14(3), 289-294, 1974.

Stuart, M., Turman, A.B., Shaw, J., Walsh, N. and Nguyen, V., Effects of aging on vibration detection thresholds at various body regions, *BMC Geriatrics*, 3, 1-10, 2003.

Sueda, O. and Tamura, H., Sensory device for the artificial arm, *8th International Conference on Medical and Biological Engineering*, 1969.

Yarnitsky, D., Quantitative sensory testing, *Muscle and Nerve*, 20(2), 198 -204, 1997.

Author listings

Sol Bi Kim: sbkim@korec.re.kr

Highest degree: M.S., Department of Ergonomics Therapy, Yonsei University

Position title: Researcher, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center

Areas of interest: Biomechanics

Chang Yong Ko: cyko@korec.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University

Position title: Principal Researcher, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center

Areas of interest: Biomechanics, Biomedical Engineering

Yun Hee Chang: yhchang@korec.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Physical Therapy, Sahmyook University
Position title: Principal Researcher, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center
Areas of interest: Biomechanics, Gait Analysis

Gyoo Suk Kim: gskim@korec.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, Yonsei University
Position title: Principal Researcher, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center
Areas of interest: Design of a machine

Sin Ki Kim: skkim@korec.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University
Position title: Principal Researcher, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center
Areas of interest: Design of a machine

Date Received : 2013-07-01
Date Revised : 2013-07-26
Date Accepted : 2013-07-30