

시각 장애우와 청각 장애우에서 두점식별력과 격자해상능을 이용한 촉각인지능평가*

Assessment of tactile acuity by two-point discrimination and grating resolution
in blind and deaf humans

박진희** · 유현광** · 김나리** · 최명애** · 김민선** · 박병림**† · 강대임***
Jin Hee Park** · Hyun Kwang Ryoo** · Na Ri Kim** · Myoung Ae Choi** · Min Sun Kim** ·
Byung Rim Park**† · Dae Im Kang***

원광대학교 의과대학 생리학교실 및 원광뇌과학연구소**
Department of Physiology, Wonkwang University School of Medicine,
and Brain Science Institute at Wonkwang University**

한국표준과학연구원***
Institute of Standards and Science***

Abstract

Tactile acuity was assessed in groups of control, blind, deaf, and blind caused by complication to investigate the effective tactile stimuli on tactile sensory substitution studies when tactile display is applied to persons with sensory loss of vision or hearing. Two-point discrimination and grating resolution were assessed by compass and JVP dome, respectively, in the hand, arm, neck, lumbar, and knee. In two-point discrimination by compass, control group showed the highest sensitivity in fingers among assessed body areas but did not show any significant difference between male and female. Blind group and deaf group compared to control group did not show any significant difference in fingers but showed lower sensitivity in arm and knee. In grating resolution by JVP dome, control group did not show any significant difference among five fingers as well as between male and female. Blind group showed higher sensitivity in five fingers compared to control group, but deaf group did not show any significant difference from control group. Blind caused by complication group showed lower sensitivity in two-point discrimination and grating resolution compared to control group and blind group. These results suggest that the body area and method of tactile stimulation, and difference in tactile acuity depending on underlying disease of sensory loss should be considered when tactile display is applied for sensory substitution.

Keywords : Blind, Deaf, Two-point discrimination, Grating resolution threshold, Tactile display

요약

시각장애우와 청각장애우에서 상실된 감각기능을 대체할 목적으로 촉각제시장치를 이용할 경우 효과적으로 촉각을 제시하기 위하여 대조군, 시각장애군, 청각장애군, 합병증성 시각장애군에서 신체 부위에 따른 촉각인

* 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단-신기술융합 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010K001162).

† 교신저자 : 박병림 (원광대학교 의과대학 생리학교실)

E-mail : byungp@wku.ac.kr

TEL : 063-850-6773

FAX : 063-852-6108

지능을 컴퍼스와 JVP dome을 이용하여 각각 두점식별력과 격자해상능을 측정하였다. 컴퍼스를 이용한 두점식별력은 대조군에서 손가락이 가장 높은 민감도를 보였으나 남녀의 차이는 보이지 않았다. 시각장애군과 청각장애군은 대조군과 비교하여 손가락에서는 차이를 보이지 않았으나 팔과 다리 부위에서는 낮은 민감도를 보였다. JVP dome을 이용한 격자해상능은 대조군에서 다섯 손가락 모두에서 상호간의 차이를 보이지 않았으며, 또한 남녀의 차이도 보이지 않았다. 시각장애군은 대조군과 비교하여 다섯 손가락 모두에서 높은 민감도를 보였으며, 청각장애군은 대조군과 차이를 보이지 않았다. 그러나 합병증성 시각장애군은 대조군 및 시각장애군과 비교하여 두점식별력 및 격자해상능에서 모두 낮은 민감도를 보였다. 이상의 연구결과는 촉각제시장치를 이용할 경우 자극 부위와 방법을 고려해야 하며, 감각상실의 원인 질환에 따라 촉각인지능에 차이가 있음을 시사한다.

주제어 : 시각장애, 청각장애, 두점식별력, 격자해상능역치, 촉각제시

1. 서론

촉각은 외부로부터 피부에 주어진 자극을 중추에 전달하여 해로운 자극으로부터 몸을 보호하는 역할을 가질 뿐만 아니라, 인간과 인간, 인간과 기계 사이의 소통과 협조를 지원하는 수단으로 여겨진다(Jones & Sarter, 2008). 촉각은 의학적 측면에서 당뇨병, 외상, 약물중독, 중금속중독, 알코올중독 등으로 인한 말초신경장애의 정도를 평가하기 위하여 사용되고 있으며(Lord *et al.*, 1993), 또한 의공학적 측면에서는 촉각제시장치를 사용할 경우 신체의 각 부위에 따라 촉각제시를 위한 자극특성을 결정하기 위하여 활용된다(Jones & Sarter, 2008). 피부에는 hair, Meissner, Merkel, Ruffini, Pacinian receptor 등 5가지의 주요 기계수용기가 존재하며, 그 중 Merkel과 Ruffini receptor의 2가지는 촉각자극에 대하여 느린 적응력을 가지고, 나머지 3가지는 빠른 적응력을 갖는다(Norrzell & Voorhoeve, 1962; Tapper, 1964; Johansson, 1978). 이들 촉각수용기는 주로 A β 신경섬유를 경유하여 구심성 신호를 척수 후근으로 전달한 후 동측 후주내측모대계(dorsal column medial lemniscal system)를 따라 상행하여 연수의 후주신경핵(dorsal column nuclei)에서 반대측 척수로 교차하여 뇌간과 시상을 거쳐 대뇌피질에 도달하는 상행성 신경로를 통하여 신호를 전달한다(Norrzell & Voorhoeve, 1962). 촉각수용기로부터 구심성 신호의 전달과정에서 촉각자극의 분별력을 강화시킬 목적으로 후주신경핵, 시상, 대뇌피질 부위에서 측방억제(lateral inhibition)가 발생한다.

최근 시각장애우 또는 청각장애우에서 상실된 감각을 대체할 목적으로 촉각을 이용하고 있다(Jones & Sarter, 2008). 피부를 소통의 채널로 이용할 경우 촉각

제시장치의 주파수를 신호정보로 사용한다면 진동 주파수를 변화시켜 정보를 전달할 수 있다. 예를 들면, 응급상황에서는 촉각신호의 주파수를 증가시키고 반면에 주의상황에서는 촉각신호의 주파수를 점차 감소시킴으로 표현할 수 있다(Jones & Sarter, 2008). 이와 같이 시각 또는 청각장애우에서 상실된 감각을 대체할 수 있는 촉각제시장치를 이용할 경우 환자의 상태에 따라 촉각인지능의 차이가 존재하기 때문에 각 환자에 따른 촉각인지능을 평가할 필요가 있다.

시각장애우 또는 청각장애우는 일반적으로 정상인보다 촉각인지능이 향상되어 있으며, 이러한 현상은 시각피질 또는 청각피질이 촉각자극에 의하여 활성화되는 신경가소성에 의하여 설명되고 있다(Levanen *et al.*, 1998; Goldreich & Kanics, 2003, 2006). 그러나 시각장애우의 경우 당뇨병의 합병증에 의한 시각상실이 라면 말초신경 손상을 동반할 가능성이 높기 때문에 촉각인지능이 오히려 감소되어(Lord *et al.*, 1993) 촉각제시장치에 의한 반응이 감소될 수 있다.

촉각은 인체의 부위에 따라 민감도가 매우 다양하며, 진동자극을 사용할 경우 인체의 모든 부위에서 최적의 민감도는 150~300 Hz의 자극 범위이고, 주어진 자극주파수에서 진동을 감지하기 위한 자극강도는 매우 다양하지만 손가락 끝은 200 Hz에서 0.07 μ m의 역치 강도로 가장 예민하며 복부와 둔부는 200 Hz에서 4~14 μ m의 역치 강도로 민감도가 신체 부위 중에서 가장 낮은 곳이다(Cholewiak *et al.*, 2004). 신체의 부위에 따른 촉각인지능의 차이는 기계수용기와 신경지배 밀도, 그리고 피하 연부조직의 완충효과 때문이며, 손끝과 같이 신경지배 밀도가 높은 부위는 팔과 같은 부위보다 자극에 대하여 예민하게 반응한다(Morley & Rowe, 1990).

촉감은 말초 수용기가 외부 자극을 전기신호로 전환하여 말초 감각신경과 척수를 경유하여 대뇌감각피질에 도달하는 신경로를 갖기 때문에 촉각인지능의 측정은 말초 및 중추신경계의 기능을 평가할 수 있다 (Norrzell & Voorhoeve, 1962). 촉각인지능을 평가하기 위하여 물리적 측정, 전기생리학적 측정, 진동인지 측정 등이 사용되고 있으며, 물리적 측정은 신속하고 간편하게 시행할 수 있으나 정량적 평가가 어렵고 (Chaplan *et al.*, 1994), 전기생리학적 방법은 정량적이고 신뢰성은 있으나 복잡한 장비와 숙련된 기사가 요구되고 많은 시간이 소요된다(Krarup & Trojaborg, 1994). 이 연구에서는 임상에서 널리 사용되고 있는 물리적 측정방법으로 컴퍼스를 이용한 두점식별력과 JVP dome을 이용한 격자해상능을 측정하였다.

컴퍼스를 이용한 두점식별력(two-point discrimination)은 정상인에서 손가락 끝이 1~2 mm이지만, 몸통의 등쪽은 30~70 mm의 넓은 간격을 보이며, 이러한 차이는 촉각수용기의 분포도에 의한 것으로 알려져 있고 (Johansson, 1978), 진동자극에 의한 반응과 동일한 양상을 보인다(Cholewiak *et al.*, 2004). 또한 JVP dome은 격자해상능의 평가를 위해 개발된 도구로 두점식별력과 비교하였을 때 촉각공간해상능(tactile spatial resolution)을 수치화할 수 있는 가장 객관적인 방법으로 알려져 있다(Johnson & Phillips, 1981; Phillips & Johnson, 1981).

시각장애우와 청각장애우에서 상실된 시각이나 청각기능을 대체할 목적으로 촉각을 이용한 촉각제시장치를 사용한다. 이 연구에서는 촉각제시장치를 사용할 경우 효과적으로 촉각을 제시하기 위하여 감각기능 상실 정도에 따른 촉각인지능을 컴퍼스와 JVP dome을 이용하여 신체 각 부위에서 측정하였으며, 이를 바탕으로 촉각제시장치의 자극조건과 자극부위의 설정에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험대상

신경학적으로 이상이 없는 대조군 56명(남 27명 37.1±13.1세, 여 29명 33.5±13.7세, 남녀 평균 35.4±13.4세), 10세 미만에서 시력을 상실한 시각장애우 21명(시각장애군 24.5±13.4세), 10세 미만에서 청력을 상실한 청각장애우 15명(청각장애군 16.5±2.6세), 합병증으

로 인하여 시력을 상실한 시각장애우 7명(합병증성 시각장애군 60.5±12.3세)을 대상으로 컴퍼스를 이용한 두점식별력과 JVP dome을 이용한 격자해상능을 측정하여 촉각인지능을 평가하였다. 실험의 신뢰성과 유의성을 향상시킬 목적으로 모든 피험자에 대하여 한 사람의 검사자가 측정하였다. 각 집단에서 큰 연령 차이를 보임은 실험군 선택의 제한 점 때문이며, 대조군 또한 넓은 연령 범위를 선택하였다. 모든 실험과정은 원광대학교 의료윤리위원회의 규정을 준수하였다.

2.2. 두점식별력 측정

문구용 컴퍼스를 이용하여 컴퍼스의 두 개 지지대 끝에 끝이 뾰족한 나무 이쑤시게를 연결하여 지지대 간격을 조절하여 자극하였다(Fig. 1). 피험자가 편안한 자세로 눈을 감고 앉은 상태에서 검사자가 컴퍼스의 두 개 지지대 간격을 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2 mm로 넓은 간격에서 좁은 간격으로 하향 조절하여 일정한 압력으로 1.5초 동안 피험자의 피부에 5회씩 자극하였다. 첫째 손가락끝(1st finger tip), 둘째 손가락끝(2nd finger tip), 손바닥(palm), 손등(dorsal hand), 복측 주관절(ventral wrist), 배측 주관절(dorsal wrist), 배측 전완부(dorsal forearm), 후경부(dorsal neck), 허리(lumbar), 복측 슬관절(ventral knee), 배측 슬관절(dorsal knee)에서 측정하였으며, 두점식별력 역치는 격자해상능 역치의 분석과 동일하였다.

2.3. 격자해상능 측정

촉각공간해상능(tactile spatial resolution)의 평가를 위하여 널리 이용되고 있는 JVP dome(Johnson-van Boven-Philips dome, Stoelting Co., USA)을 사용하였다(Fig. 1). JVP dome은 반구모양의 플라스틱 돔에 손잡이 막대가 달려있고 돔의 표면은 격자 홈이 각각 0.35, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00, 3.00 mm의 너비로 총 8개의 세트에 구성되어 있다. 검사자가 JVP dome의 손잡이를 잡고 피험자의 다섯 개 손가락 끝에서 측정하였다. 보통의 힘으로 격자 홈이 있는 표면을 1.5초 동안 압력을 가하였다. 피험자는 편안하게 앉은 자세에서 평가방법을 숙지한 후 눈을 가리고 평가를 받았다. 측정 순서는 3.0 mm의 돔으로부터 시작하여 하향 순으로 자극하였으며, 한 개의 돔에 주어지는 자극 횟수는 10회로 이 중 5회는 손가락과 평행으로 격자를

위치하고 나머지 5회는 직각 방향으로 위치하여 피험자가 격자의 방향을 답하도록 하였다. 각각의 자극에서 격자의 방향은 무작위로 사용하였으며, 아래의 식에 의하여 75% 이상 인지하는 돔의 최소 너비를 격자 해상능 역치(*grating resolution threshold: GRT*)로 정의하였다. $G_{75} = G_{low} + (0.75 - P_{low}) / (P_{high} - P_{low}) \times (G_{high} - G_{low})$ 에서 *G*는 격자 너비, *P*는 자극 횟수 중에서 정답 인지 횟수, *high*는 75% 이상 정답을 인지하는 자극 중 가장 좁은 격자 너비, *low*는 75% 이하 정답을 인지하는 자극 중 가장 넓은 격자 너비, *G75*는 75%의 정답률을 갖는 격자 너비인 격자해상능 역치를 의미한다.

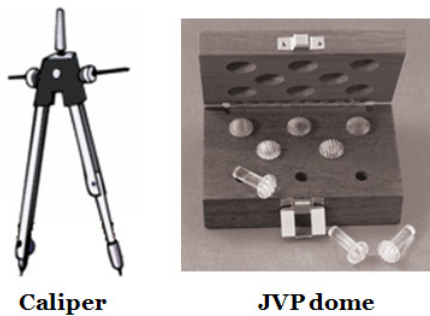


Fig. 1. Caliper for two-point discrimination and JVP dome for grating resolution threshold.

2.4. 자료 분석

대조군과 실험군에서 두점식별력 역치와 격자해상능 역치를 비교하였다. 통계분석은 SPSS 프로그램을 이용하여 ANOVA 검정 후 Post HOC Test를 이용하여 다중비교를 하였고, 유의수준은 $p < 0.05$ 를 적용하였다.

3. 결과

3.1. 컴퍼스를 이용한 두점식별력 역치

대조군에서 컴퍼스를 이용하여 두점식별력 역치를 측정된 결과 첫째 손가락과 둘째 손가락은 각각 2.64 ± 0.29 mm, 2.79 ± 0.49 mm로 측정 부위 중에서 가장 높은 민감도를 보였으며, 나머지 측정부위는 6.85~9.44 mm 범위의 역치에서 배측 전완부와 허리 부위가 촉각자극에 대하여 가장 낮은 민감도를 보였다. 대조

군에서 남자와 여자를 비교한 결과 손바닥, 손등, 복측 주관절, 배측 주관절, 후경부에서 여자가 남자보다 유의하게 예민한 반응을 보였으나 손가락에서는 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

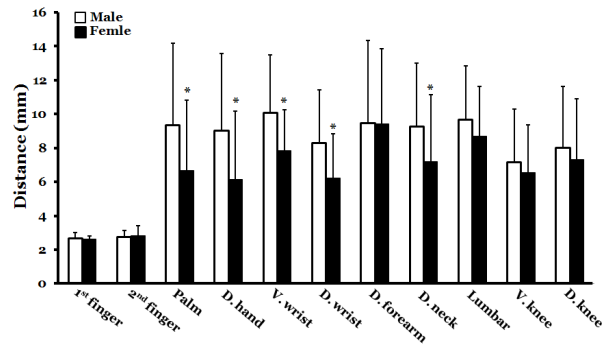


Fig. 2. Two-point discrimination threshold in normal subjects. The threshold was measured in the first finger tip, second finger tip, palm, dorsal hand, ventral wrist, dorsal wrist, dorsal forearm, dorsal neck, lumbar, ventral knee, and dorsal knee. Number of each group is 27 in male and 29 in female. Values are mean ± SD. *significant difference from male subjects: $p < 0.05$, $**p < 0.01$.

대조군과 시각장애군에서 두점식별력 역치를 비교한 결과 첫째 손가락끝, 둘째 손가락끝, 손바닥에서는 차이를 보이지 않았으나 나머지 모든 부위에서는 시각장애군이 대조군보다 유의한 증가를 보여 촉각자극에 대한 민감도가 낮음을 나타냈다. 또한 청각장애군은 대조군과 비교하여 첫째 손가락끝, 둘째 손가락끝, 손바닥, 손등, 복측 주관절에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 배측 주관절, 배측 전완부, 후경부, 복측 슬관절, 배측 슬관절에서는 정상인 보다 두점식별력 역치가 증가하여 촉각자극에 낮은 민감도를 보였다.

시각장애군과 청각장애군에서 두점식별력 역치를 비교한 결과 복측 슬관절과 배측 슬관절에서 청각장애군이 시각장애군 보다 촉각자극에 낮은 민감도를 보였을 뿐 나머지 모든 부위에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 합병증성 시각장애군은 측정된 모든 부위에서 대조군과 비교한 결과 두점식별력 역치가 유의하게 증가하여 촉각자극에 낮은 민감도를 보였으며, 시각장애군과 비교하면 첫째, 둘째 손가락끝과 손바닥, 손등에서 유의하게 낮은 민감도를 보였다(Fig. 3).

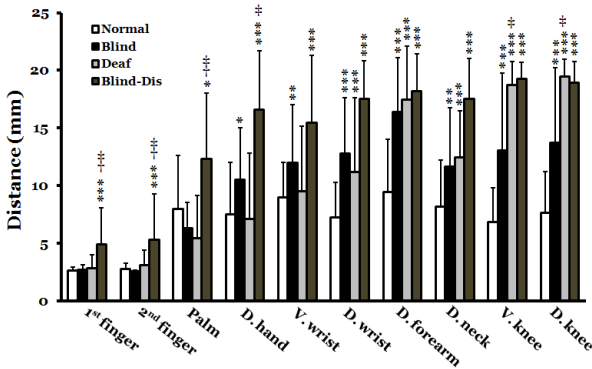


Fig. 3. Two-point discrimination threshold in normal group (Normal), blind group (Blind), deaf group (Deaf), and blind caused by complication (Blind-Dis). Number of each group is 56 in normal, 21 in blind, 15 in deaf, and 7 in blind-dis. Values are mean±SD. *significant difference from Normal: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. †significant difference from Blind: † $p < 0.05$, †† $p < 0.01$, ††† $p < 0.001$. ‡significant difference from Blind-Dis: ‡ $p < 0.05$, ‡‡ $p < 0.01$, ‡‡‡ $p < 0.001$. Other notations are as in Fig. 2.

3.2. JVP dome을 이용한 격자해상능 역치

대조군에서 JVP dome을 이용한 격자해상능 역치는 2.16~2.40 mm의 범위로 다섯 손가락 모두에서 유의한 차이를 보이지 않았으며, 또한 남자와 여자를 비교한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 4).

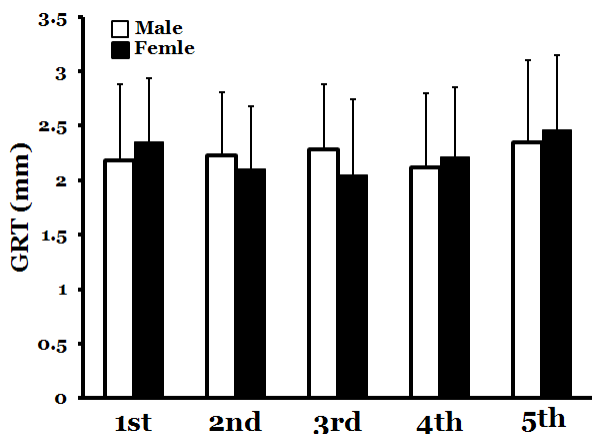


Fig. 4. Grating resolution threshold (GRT) in normal subjects. The threshold was measured in first (1st), second (2nd), third (3rd), fourth (4th), and fifth (5th) finger tip. Number of each group is 27 in male and 29 in female. Values are mean±SD.

시각장애군의 격자해상능 역치는 1.32~1.73 mm의 범위로 대조군과 비교한 결과 다섯 손가락 모두에서 유의하게 감소하여 촉각자극에 높은 민감도를 보였다. 또한 청각장애군은 대조군과 비교하여 다섯 손가락 모두에서 유의한 차이를 보이지 않았으며, 시각장애군과 비교한 결과 셋째 손가락을 제외한 모든 손가락에서 유의하게 증가하여 시각장애군보다 촉각자극에 대한 낮은 민감도를 보였다. 합병증성 시각장애군은 대조군과 비교한 결과 둘째와 넷째 손가락에서 격자해상능 역치가 유의하게 증가하여 촉각자극에 낮은 민감도를 보였으며 나머지 손가락에서는 유의한 차이를 보이지 않았고, 시각장애군과 비교하면 다섯 손가락 모두에서 유의한 증가를 보여 낮은 민감도를 보였다(Fig. 5).

4. 고찰

컴퍼스를 이용한 두점식별은 두개의 인접한 자극된 수용기 사이에 자극 받지 않는 수용기가 존재하여야 가능하다. 신체의 각 부위에는 촉각수용기가 균등하게 분포되어 있지 않기 때문에 두점식별력은 촉각수용기의 분포를 탐구하기 위한 간단한 방법이다. 즉, 등, 무릎, 팔꿈치 등은 촉각수용기가 성기게 분포되어 두점식별의 거리가 길어지며, 손바닥, 입술 등은 촉각수용기가 밀집되어 있기 때문에 두점식별의 거리가 짧아진다(Johnson & Phillips, 1981). 컴퍼스를 이용한

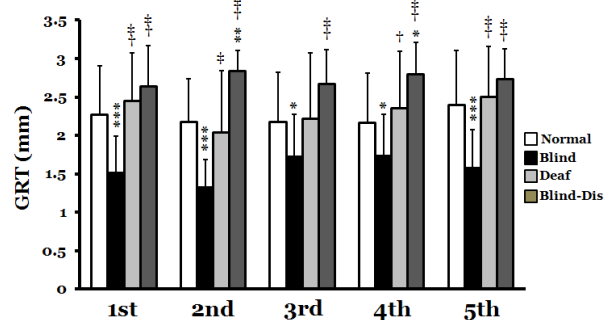


Fig. 5. Grating resolution threshold (GRT) in normal group (Normal), blind group (Blind), deaf group (Deaf), and blind caused by complication (Blind-Dis). Number of each group is 56 in normal, 21 in blind, 15 in deaf, and 7 in blind-dis. Values are mean±SD. *significant difference from Normal: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. †significant difference from Blind: † $p < 0.05$, †† $p < 0.01$, ††† $p < 0.001$. ‡significant difference from Blind-Dis: ‡ $p < 0.05$, ‡‡ $p < 0.01$, ‡‡‡ $p < 0.001$. Other notations are as in Fig. 4.

두점식별력의 측정은 간편하게 시행할 수 있으며, 실험자에 의한 차이는 유의하지 않는 것으로 보고되어(Dellon *et al.*, 1987) 널리 사용되고 있다. JVP dome은 촉각공간해상능을 수치화할 수 있는 가장 객관적인 방법으로 비교적 촉각인지능이 높은 부위에서 사용되고 있다(Johnson & Phillips, 1981; Phillips & Johnson, 1981). JVP dome을 이용한 격자해상능은 실험과정에서 촉각자극을 가하는 압력의 차이가 발생할 수 있으나 피부의 공간해상능은 촉각자극의 압력에 의하여 발생하는 힘의 차이가 오차로 작용할 가능성은 희박한 것으로 보고되어(Johnson & Phillips, 1981) 이 연구에서 한 사람의 실험자가 촉각인지능을 측정하는 방법은 합리적으로 인정되었다. 따라서 컴퍼스는 촉각수용기의 분포와 밀접한 관계가 있기 때문에 촉각수용기의 분포도가 낮은 부위의 촉각인지능 검사에 유용하며, JVP dome은 손가락 끝과 같이 공간해상능이 높은 부위에서 촉각인지능 검사에 유용하다.

이 연구에서 컴퍼스를 이용한 두점식별력은 손가락 끝이 신체의 다른 부위보다 유의하게 짧았으며, 손가락을 제외한 많은 부위에서 여자가 남자보다 예민한 결과는 다른 연구자들의 보고와 일치하였다(Nolan, 1982). 두점식별력은 남녀 간의 차이뿐만 아니라 연령에 따라 차이가 있기 때문에 생체연령지표로 활용할 수 있을 것이라는 보고도 있다(Cope & Antony, 1992; Shimokata & Kuzuya, 1995). 그러나 이 연구에서는 연령에 따른 촉각인지능의 체계적인 관찰보다는 감각기능의 상실에 따른 촉각인지능의 변화를 관찰하기 위하여 대조군과 실험군 모두에서 연령의 차이를 고려하지 않고 실험하였다. 손가락 끝이 다른 신체부위보다 두점식별력에서 예민하게 반응함은 촉각수용기가 밀집하여 분포하고 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다(Johnson & Phillips, 1981).

손가락끝은 두점식별력에서 대조군, 시각장애군, 청각장애군의 차이를 보이지 않았으며, 대조군에서 JVP dome을 이용하여 측정한 격자해상능 또한 다섯 손가락 모두에서 차이를 보이지 않았고 남녀 간에서도 차이를 보이지 않았다. 격자해상능에서는 시각장애군이 대조군과 청각장애군보다 유의하게 예민한 반응을 보임은 촉각인지능력의 평가에 있어서 컴퍼스를 이용한 두점식별력보다 JVP dome을 이용한 격자해상능이 더욱 민감함을 시사하고, 또한 말초수용기와 중추신경계에서 두점식별력과 격자해상능을 처리하는 과정에서 차이가 있음을 고려할 수 있다.

일반적으로 시각장애우는 정상인보다 촉각인지능이 우수하며, 이러한 결과는 시각 상실의 시기와 관련이 없는 것으로 알려져 있다. 즉, 선천성 시각장애나 성인에서 시력을 상실한 중도 시각장애에서 촉각인지능의 차이는 없는 것으로 보고되었다(Goldreich & Kanics, 2003, 2006). 또한 시각장애우에서 점자 해독이 가능한 사람과 불가능한 사람에서의 차이도 없는 것으로 알려져 있다(Goldreich & Kanics, 2003). 이처럼 시각장애우에서 촉각인지능이 우수한 이유에 대한 신경학적 기전은 체성감각피질 가소성(somatosensory cortical plasticity: unimodal plasticity)과 crossmodal plasticity로 설명하고 있다(Rauschecker, 2002). 점자 해독을 위한 손가락 끝의 반복적인 사용은 체성감각피질의 손가락 끝 지배영역을 확장시키는 unimodal plasticity를 동반하고(Sterr *et al.*, 1999), 또한 시각장애우에서는 정상적인 시각피질 영역이 촉각인지 과정에 관여하며(Sadato *et al.*, 2004), 정상인에서도 5일 동안 시각을 차단하면 시각피질 영역이 촉각인지 과정에 관여하는 crossmodal plasticity가 유발되는 것으로 보고되었다(Pascual-Leone & Hamilton, 2001). 위와 동일한 원리로 청각장애우에서는 정상적인 청각피질 영역이 시각(Finney *et al.*, 2003)과 촉각(Levanen *et al.*, 1998)에 의하여 활성화되는 것으로 알려져 있다.

손가락을 제외한 신체의 다른 부위에서 시각장애군이 대조군 보다 두점식별력의 거리가 증가한 이유는 명확하지 않으며, 지금까지의 많은 연구는 시각장애군에서 손가락만을 대상으로 이루어져왔다(Grant *et al.*, 2000; Van Boven *et al.*, 2000; Goldreich & Kanics, 2003, 2006). 청각장애군 역시 손가락을 제외한 신체의 많은 부위에서 대조군과 비교하여 두점식별력의 거리가 증가한 이유는 명확하지 않으나 정상적인 청각피질 영역이 촉각자극에 의하여 활성화되는 crossmodal plasticity가 생성된다는 점을 고려하면(Levanen *et al.*, 1998), 시각장애우나 청각장애우에서 평소에 많은 자극을 받지 않는 부위는 손가락처럼 많은 자극을 받는 부위와는 차이가 있을 것으로 생각된다. 청각장애군은 격자해상능에서 대조군과 차이를 보이지 않음은 촉각자극에 의하여 정상적인 청각피질 영역이 활성화 된다는 보고(Levanen *et al.*, 1998)와는 차이를 보였다.

합병증성 시각장애군은 손가락을 포함한 신체 모든 부위에서 대조군과 비교하여 두점식별력의 거리가 증가하였으며, 시각장애군과 비교하면 손가락을 포함한

여 신체의 일부에서 증가함을 보인 반응은 말초신경계의 기능 저하에 기인한 것으로 볼 수 있다(Van Boven & Johnson, 1994). 또한 격자해상능 역치는 대조군과 비교하여 둘째, 넷째 손가락에서 증가하였으며, 시각장애군과 비교하면 다섯 손가락 모두에서 유의한 증가를 보이는 것 역시 말초신경계의 기능 저하에 기인한 것으로 볼 수 있다(Van Boven & Johnson, 1994). 합병증성 시각장애군은 비교적 나이가 많기 때문에 나이에 의한 촉각인지능의 감소를 고려할 수 있으나 측정된 모든 신체부위에서 대조군보다 두점식별력이 감소되었으며, 다섯 손가락 모두에서 시각장애군보다 격자해상능이 감소됨은 나이가 큰 영향을 미치지 않음을 시사한다.

이러한 연구결과를 고려할 때 촉각인지능의 평가에서 촉감이 예민한 부위는 컴퍼스를 이용한 두점식별력보다 JVP dome을 이용한 격자해상능이 보다 유용하며, 상실된 감각기능을 대체할 목적으로 촉각제시장치를 이용할 경우 촉각제시장치의 착용 부위와 촉각제시방법에 따른 촉각인지능의 차이를 고려하여야 하고, 특히 시각장애우의 경우 합병증에 의한 시각 상실은 촉각인지능이 유의하게 저하되어 있음을 고려하여야 할 것이다. 이 연구에서는 한정된 피험자 때문에 연령별, 질환별 분석이 이루어지지 못한 제한점을 포함하고 있으며, 추후에는 촉각제시장치에서 활용할 수 있는 다양한 자극방법을 이용한 촉각인지능의 분석이 요구된다.

REFERENCES

Chaplan, S. R., Bach, F. W., Pogrel, J. W., Chung, J. M., & Yaksh, T. L. (1994). Quantitative assessment of tactile allodynia in the rat paw. *Journal of Neuroscience Methods*, 53, 55-63.

Cholewiak, R. W., Brill, J. C., & Schwab, A. (2004). Vibrotactile localization on the abdomen: effects of place and space. *Perception & Psychophysics*, 66, 970-987.

Cope, E. B. & Antony, J. H. (1992). Normal values for the two-point discrimination test. *Pediatric Neurology*, 8, 251-254.

Dellon, A. L., Mackinnon, S. E., & Crosby, P. M. (1987). Reliability of two-point discrimination measurements. *Journal of Hand Surgery*, 12, 693-696.

Finney, E. M., Clementz, B. A., Hickok, G., & Dobkins, K. R. (2003). Visual stimuli activate auditory cortex in deaf subjects: evidence from MEG. *Neuroreport*, 14, 1425-1427.

Goldreich, D. & Kanics, I. M. (2003). Tactile acuity is enhanced in blindness. *Journal Neuroscience*, 23, 3439-3445.

Goldreich, D. & Kanics, I. M. (2006). Performance of blind and sighted humans on a tactile grating detection task. *Perception & Psychophysics*, 68, 1363-1371.

Grant, A. C., Thiagarajah, M. C., & Sathian, K. (2000). Tactile perception in blind Braille readers: a psychophysical study of acuity and hyperacuity using gratings and dot patterns. *Perception & Psychophysics*, 62, 301-312.

Johansson, R. S. (1978). Tactile sensibility in the human hand: receptive field characteristics of mechanoreceptive units in the glabrous skin area. *Journal of Physiology*, 281, 101-125.

Johnson, K. O. & Phillips, J. R. (1981). Tactile spatial resolution. I. Two-point discrimination, gap detection, grating resolution, and letter recognition. *Journal of Neurophysiology*, 46, 1177-1192.

Jones, L. A. & Sarter, N. B. (2008). Tactile displays: guidance for their design and application. *Human Factors*, 50, 90-111.

Krarpur, C. & Trojaborg, W. (1994). Compound sensory action potentials evoked by tactile and by electrical stimulation in normal median and sural nerves. *Muscle Nerve*, 17, 733-740.

Levanen, S., Jousmaki, V., & Hari, R. (1998). Vibration-induced auditory-cortex activation in a congenitally deaf adult. *Current Biology*, 8, 869-872.

Lord, S. R., Caplan, G. A., Colagiuri, R., Colagiuri, S., & Ward, J. A. (1993). Sensori-motor function in older persons with diabetes. *Diabetes Medicine*, 10, 614-618.

Morley, J. W. & Rowe, M. J. (1990). Perceived pitch of vibrotactile stimuli: effects of vibration amplitude, and implications for vibration frequency coding. *Journal of Physiology*, 431, 403-416.

Nolan, M. F. (1982). Two-point discrimination assessment

- in the upper limb in young adult men and women. *Physical Therapy*, 62, 965-969.
- Norrzell, U. & Voorhoeve, P. (1962). Tactile pathways from the hindlimb to the cerebral cortex in cat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 54, 9-17.
- Pascual-Leone, A. & Hamilton, R. (2001). The metamodal organization of the brain. *Progress in Brain Research*, 134, 427-445.
- Phillips, J. R. & Johnson, K. O. (1981). Tactile spatial resolution. II. Neural representation of Bars, edges, and gratings in monkey primary afferents. *Journal of Neurophysiology*, 46, 1192-1203.
- Rauschecker, J. P. (2002). Cortical map plasticity in animals and humans. *Progress in Brain Research*, 138, 73-88.
- Sadato, N., Okada, T., Kubota, K., & Yonekura, Y. (2004). Tactile discrimination activates the visual cortex of the recently blind naive to Braille: a functional magnetic resonance imaging study in humans. *Neuroscience Letters*, 359, 49-52.
- Shimokata, H. & Kuzuya, F. (1995). Two-point discrimination test of the skin as an index of sensory aging. *Gerontology*, 41, 267-272.
- Sterr, A., Muller, M., Elbert, T., Rockstroh, B., & Taub, E. (1999). Development of cortical reorganization in the somatosensory cortex of adult Braille students. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology Supplement*, 49, 292-298.
- Tapper, D. N. (1964). Cutaneous Slowly Adapting Mechanoreceptors In The Cat. *Science*, 143, 53-54.
- Van Boven, R. W., Hamilton, R. H., Kauffman, T., Keenan, J. P., & Pascual-Leone, A. (2000). Tactile spatial resolution in blind braille readers. *Neurology*, 54, 2230-2236.
- Van Boven, R. W. & Johnson, K. O. (1994). A psychophysical study of the mechanisms of sensory recovery following nerve injury in humans. *Brain*, 117 (Pt 1), 149-167.

원고접수 : 2011.08.23

수정접수 : 2011.09.20

게재확정 : 2011.10.05