



■ 박지원, 김종선¹

■ 대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

Comparison of Cortical Activation between Tactile Stimulation and Two-point Discrimination: An fMRI Case Study

Ji-Won Park, PT, PhD; Chung-Sun Kim, PT, PhD¹

Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu; ¹Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation, Daegu University

Purpose: Sensory input is very important for proper performance of human. Two-point discrimination is the most widely used tactile sensory test. The purpose of this study was to find the changes in cortical activation patterns between tactile stimulation and two-point discrimination.

Methods: Two healthy subjects participated in our study. fMRI scanning was done during 4 repeated blocks of tactile stimulation and two point discrimination of the right index finger tip. In one block, stimuli were repeated 10 times every three seconds. To determine the changes of cortical neurons during sensory input, intensity index was analyzed.

Results: When tactile stimulation of the right index finger tip was completed, only contralateral primary somatosensory area was activated. In contrast, during two-point discrimination, both the primary somatosensory area and ipsilateral supplementary sensory area were activated.

Conclusion: During two point discrimination, both primary somatosensory area and ipsilateral supplementary sensory area were activated. Therefore, two-point discrimination is required more complex and conscious activity than tactile stimulation.

Keywords: Two-point discrimination, fMRI, Somatosensory

논문접수일: 2010년 6월 15일

수정접수일: 2010년 7월 29일

게재승인일: 2010년 8월 16일

교신저자: 김종선, chskim@daegu.ac.kr

1. 서론

감각 수용기를 통한 감각입력은 인간의 적절한 수행에 있어 매우 중요한 요소이며 감각은 많은 위험 요소로부터 신체를 보호하고 삶의 질을 다양하고 다채롭게 해준다. 이러한 감각은 일반적으로 크게 특수감각(special sense)과 일반감각(general sense)으로 분류한다. 특수감각은 눈, 코, 입을 통하여 받아들여지는 시각, 후각, 청각처럼 특정부위에서 단일 감각 수용기에 의해 느껴지는 감각이며, 일반감각은 피부, 근육, 관절, 내부 장기를 통하여 받아들여지는 온도감각, 통각, 고유수용성 감각, 촉각

등의 다양한 감각을 말한다.^{1,2}

일반감각 중의 촉각은 피부를 통하여 들어오는 체성감각으로 접촉, 진동, 간지럼, 압력으로 세분화된다. 촉각은 일반적으로 인체의 감각을 검사하는 데 가장 기본적인 요소로, 뇌 손상이나 척수 손상으로 인한 감각검사 및 물리치료 후 치료의 효과를 검증하기 위한 지표로 사용되고 있으며, 정형외과적 수술 후에도 수술의 성공여부를 확인하기 위하여 사용된다. 촉각을 검사하기 위한 검사법으로는 정지성 경촉감 검사법(static touch detection), 브러시 운동 방향 구별법(brush direction discrimination), 두점식별법(two-point discrimination, TPD) 등이 있

으며, 특히 임상에서는 간단하면서 사전연구를 통하여 신뢰도가 입증된 두점식별법이 많이 사용되고 있다.¹

두점식별법은 인지 가능한 두 자극의 최소거리를 측정하여 피부의 공간적 감각의 예민함 정도를 검사하는 방법으로 두 지점 사이의 거리를 점차 줄여 두 점이 한 점으로 느끼기 전까지의 거리를 측정하는 것이며 개인의 차이가 있지만 정상범위는 혀 1 mm, 손끝 2~5 mm, 손바닥 8~12 mm, 등 400~600 mm 이내의 거리를 인식하면 정상이다.^{3,4} 이러한 두점식별법은 치료나 수술 후 효과를 증명하고, 질병에 따른 감각의 손실여부 등을 파악하기 위한 임상학적 관점에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 사지마비 또는 양하지마비를 가진 뇌성마비 환자에 환측 또는 건측에 두점식별법을 통하여 검사한 결과 50~72%의 환자에서 정상보다 감각능력이 떨어지는 것으로 보고되었다.^{5,6} 두정엽의 종양으로 인한 간질환자에서는 손상된 뇌의 반대쪽 손가락에 두점식별법을 통한 감각 검사결과 환자의 50% 정도 감각이상을 보였다.^{7,8} Fatemie 등⁹은 외상으로 인한 수지재접합 수술 후 두점식별법을 이용하여 건측과 비교 평가를 통하여 수술의 성공여부를 확인하고 시간이 지남에 따라 회복의 정도를 확인하였다. 또한 임상 물리치료사에게 두점식별법을 이용한 초기 감각능력 평가는 환자의 손상수준을 파악하기 위한 기초자료로 활용되며, 중간, 최종 평가를 통하여 치료방법의 효과를 확인하고 환자의 회복수준을 파악하는 중요한 지표로 사용하고 있다.¹⁰

여러 연구에서 두점식별법은 환자의 손상 정도와 회복의 정도를 파악하기 위해 널리 사용되고 있는 촉각각각 평가 검사법이다. 하지만 지금까지 임상학적으로만 평가하고 사용되었을 뿐 두점식별이 뇌의 어떠한 부분에서 담당하고 활성화 되는지에 대한 연구는 미비한 수준이다. 따라서 본 연구는 의학적, 임상학적으로 감각평가에 많이 쓰이고 있는 두점식별법의 정확한 매커니즘을 파악하기 위해 뇌의 활성화되는 부분을 기능적자기공명영상(functional magnetic resonance image, fMRI)을 통하여 측정 분석하여 뇌의 신경학적 연구에 기초 자료를 제공하고 자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자는 우성 손의 판별 검사인 Edinburg Handedness Inventory¹¹에서 오른손잡이로 판명된 2명의 정상 성인으로 과거 신경학적 정형외과적 정신적 질병이나 문제가 없는 자, 과제 수행 시 정상의 감각수준과 두 점을 구분할 수 있는 자로 하였으며, 모든 대상자는 연구의 목적과 실험 절차에 대해 충분히 이해하고 자발적인 동의 후 연구에 참여하였다.

2. 실험방법

과제 수행은 fMRI scanner 안에서 두부와 체간이 고정된 자세로 실시하였다. 과제 수행은 오른쪽 검지 손가락에 two-point discriminator를 이용하여 자극을 주었으며, 자극은 한 번에 3 초씩 10회 자극 하였으며 총 4번 반복하였다. 자극이 주어진 후 30초 동안의 휴식기를 가졌고 촉각 자극 구간과 두점 자극 구간은 총 4회중 2번씩 무작위로 자극이 주어졌다. 이때 대상자는 왼손에 버튼을 주어져 오른손에 주어진 자극이 촉각 자극 일 때는 1번 버튼을, 자극이 두점일 때는 2번 버튼을 누르게 하였다. 두점 자극 시 두점 사이의 거리는 정상인이 손끝에서 느낄 수 거리인 3 mm로 하였으며 2명의 실험자가 들어가 대상자에게 자극을 제공하고 버튼을 정확히 누르는지 확인하였다.

3. 기능적 자기공명영상의 촬영 및 분석

1) 촬영 방법

기능적 자기공명영상촬영 장치인 1.5T MR scanner (GyrosanIntera System, Philips, 독일) 안에 대상자는 바로 누운 자세로 과제 수행하는 동안 체간의 움직임을 없애기 위해 vacuum beandag pillows (Olympic Medical, 미국)로 머리와 목, 어깨, 팔을 수평면 상에 고정시켰다. fMRI 촬영 동안 과제 수행에 필요한 동작을 제외한 발생하는 모든 움직임을 통제하였다. 운동 수행에 영향을 미치는 시각적 피드백은 종이를 통하여 제거하였다.

기능적 자기공명영상의 촬영 변수는 TR이 2100 ms, TE는 50 ms이었으며, Flip angle은 70°, Field of View (FOV)는 210 mm이었다. 매트릭스 크기는 64×64, 뇌 절편당 두께는 5 mm이었다. 기능적 자기공명영상촬영에서는 한 개의 뇌 볼륨당 20장의 뇌 절편을 얻었다. 기능적 자기공명영상촬영 후에는 T1 영상을 전교련(anterior commissure)과 후교련(posteriorcommissure) 연결선에 평행하게 수평면으로 20장의 뇌 절편을 얻었다. T1에 대한 자기공명영상의 촬영 변수는 TR이 940 ms, TE가 15 ms이었으며, 나머지 조건은 기능적 자기공명영상 촬영의 변수와 같았다.

2) 분석방법

얻어진 자료는 MATLAB (Mathworks Inc, 미국) 환경에서 구현되는 SPM 8(Statistical Parametric Mapping 8 version, Wellcome Department of Cognitive Neurology, 영국) software로 분석하였다. 분석절차는 머리의 움직임을 보정하기 위한 재배열(realignment)을 하였으며 각 피험자의 T1 MRI 영상에 재배열 절차에서 생성된 mean-image와 EPI 영상을 상관정렬(coregister)하였다. 이어서 EPI 영상과 T1 영상을 T1 template에 맞추는 공간표준화(normalize) 작업을 하였다. 표준화된 영상은 8mm의

FWHM (full width of half maximum)을 갖는 Gaussian kernel filter를 적용하여 편평화(smoothing)하였다. 이렇게 처리된 결과를 바탕으로 BOLD 신호의 변화를 얻기 위하여 실험조건과 비교조건을 감산(subtraction)하였으며, 분석에서 실험조건은 활성화제 구획(수행기)으로 비교조건은 대조과제(휴식기) 구획으로 하였다. 조건 간의 비교 시 반복제시에 따른 과제 효과와 혈역학반응함수(hemodynamic response function, hrf)에 대한 선형모델을 적용하였다. 모델의 구성 시 저주파 잡음(noise)은 high-pass filter를 이용하여 제거하였으며, 조건들의 반복제시에 의한 혈역학반응함수의 효과는 주파수의 lowpass filter로 제거하였다. 이렇게 구성된 모델과 영상 처리된 결과는 ANOVA를 이용하여 통계 분석하였다. 본 연구의 결과 분석은 고정효과모델(fixed effect model)을 이용하여 통계된 것으로 가정하고 통계적 유의성을 검증한 것으로, 각 활성의 p 값은 부피소의 높이역치와 범위역치의 상호작용에 의하여 계산하였다. 관심영역은 일차감각운동 피질(primary sensory-motor cortex, SM1), 전운동영역(premotor area), 보조운동영역(supplementary motor area, SMA), 전두엽(frontal lobe), 두정엽(parietal lobe)으로 설정하였다.

III. 결과

대상자 1에서의 가벼운 촉각에 대한 자극은 좌표값 x, y, z 순으로 $-30, -36, 62$ 지점의 왼쪽 대뇌 반구의 일차체성감각영역에서 뇌활성도가 나타났고 활성화된 양(intensity index)은 3.78였다. 두점 자극에 의한 뇌활성화는 좌표값 $-48, -26, 64$ 지점의 오른쪽 일차체성감각영역(primary somatosensory area, S1)에서의 활성화된 양은 15.57였으며, 좌표값 $52, -20, 10$ 왼쪽 대뇌반구의 일차체성감각영역에서의 활성화된 양은 12.85였고, 좌표값 $44, -14, 54$ 왼쪽 대뇌 반구의 보조감각영역(supplementary sensory area, SMA)에서 활성화된 양은 10.39였다.

대상자 2에서의 가벼운 촉각에 의한 자극은 좌표값 x, y, z 순으로 $-40, -20, 60$ 지점의 왼쪽 대뇌 반구의 일차체성감각영역에서 뇌활성도가 나타났고 활성화된 양은 4.29였다. 두점 자극에 의한 뇌활성화는 좌표값 $-34, -28, 72$ 지점의 오른쪽 일차체성감각영역에서의 활성화된 양은 12.13였으며, 좌표값 $-10, 16, 34$ 왼쪽 대뇌반구의 보조감각영역에서의 활성화된 양은 14.67였다(Figure 1).

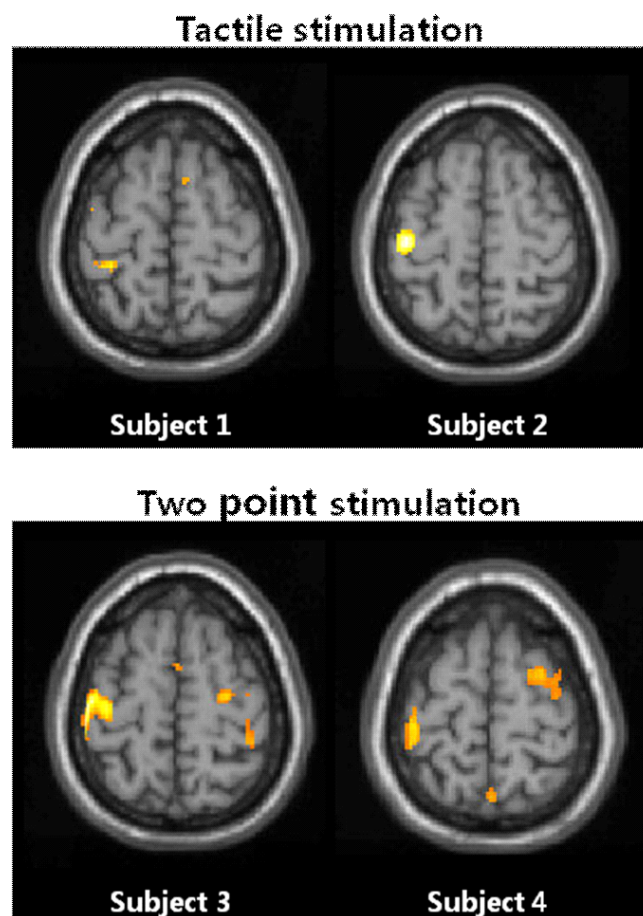


Figure 1. The representative fMRI results showing cortical activation during tactile stimulation and two point stimulation

IV. 고찰

본 연구는 기능적자기공명영상을 통하여 두점식별 검사에 따른 뇌 활성화의 변화된 양상을 관찰하기 위해 설계되었다. 두점식별 검사는 정형외과적 신경학적 손상을 입은 환자에서 환자의 손상 정도를 파악하고 손상 후 치료 과정에서 회복의 여부를 검사하는 가장 보편화된 촉각 감각 검사방법으로 임상에서 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 감각의 입력과 운동과제의 수행 및 인지에 따른 뇌신경 활동에서의 변화를 해상도 높은 영상으로 구현할 수 있는 기능적자기공명영상을 사용하여 대뇌피질 변화를 알아보았다.¹²⁻¹⁴

실험결과 대상자 1,2 모두에서 가벼운 촉각 자극에 의한 뇌활성도는 자극받은 반대측의 일차체성감각영역에서만 뇌활성도가 일어난 반면 두점 자극에 의한 뇌활성도는 반대측의 일차체성감각영역과 동측의 일차체성감각영역을 포함하여 보조감각영역에서도 활성도가 일어났으며, 가벼운 접촉 시 활성화된 양보

다 두점 자극을 주었을 때 양이 증가하였다. 이것은 단순한 가벼운 촉각 자극과 두점 자극에 대한 감각 수용이 다르다는 것을 의미한다. 일차체성감각영역은 중심후회에 위치하고 있으며 외성감각 및 고유감각 정보를 받아 들이고, 보조감각영역은 중심후회의 뒤쪽에 위치하여 신체의 의식과 관계가 있고 크기 및 구성 등을 연관시켜 어떤 물체인가를 확인하는 능력과 관계가 있다.¹³ 본실험의 결과를 바탕으로 가벼운 촉각 자극에 대한 뇌에서의 반응은 단순한 감각정보로 인식하는 반면 두점식별에 관한 자극은 뇌에서 좀더 민감하고 의식적인 반응이 추가되는 것으로 생각된다.

두점식별에 관한 임상학적인 연구에서 Choi 등¹⁵은 수지의 손상으로 인한 수지재접합술시 신경이식 없이 신경 봉합이 가능 했던 남, 여 150명을 수술 후 성별, 연령별, 수지별, 손상의 위치와 원인별로 나누어 2년간의 추적조사 실시하였고, 건측의 수지와 환측의 수지를 두점식별법 비교 결과 손상 위치에 따른 차이가 있었고, 연령이 어릴수록 회복의 정도가 좋은 것으로 나타났다. 또한 남, 여 성별의 차이는 없는 것으로 보고하였다. Salanova 등⁷은 선천적 또는 후천적인 뇌손상으로 인하여 사지마비, 양하지 마비를 가진 뇌성마비 환자를 대상으로 두점식별법을 이용한 촉각 감각 검사에서 50~72%의 환자가 정상인보다 감각능력이 떨어지는 것으로 보고 하였다. 또한 외상성 뇌손상으로 인한 중추신경계 손상 시에도 두점식별능력이 감소하는 것으로 나타났다.¹⁶

최근 두점식별법을 이용한 대뇌피질 중 두정엽의 활성화에 관한 연구에서 Kosuke 등¹⁷은 전원에 전기적 신호를 주는 전기패드를 4 cm 간격을 두고 한점자극과 두점자극에 대한 뇌활성도의 변화를 기능적자기공명영상을 통하여 알아보았다. 이 연구에서 한점 자극 때보다 두점 자극시에 뇌의 하두정소엽(inferior parietal lobul, IPL)에서 뇌활성도의 크기가 증가한 것으로 보고 하였으며, 이러한 반응은 한점 자극보다 두점 자극이 더 높은 상위감각영역에서 반응한다고 제안하였다. Pastor 등^{18,19}은 시간적 변화에 따른 체성감각 분류 연구에서 두점 자극을 시간과 거리의 변화를 준 결과, 전 보조운동영역(pre-supplementary motor area, pre SMA)과 앞쪽 띠이랑 피질영역(anterior cingulate cortex, ACC) 영역에서 뇌활성도의 증가가 나타났으며, 이 연구에서 전 보조운동영역과 앞쪽 띠이랑 피질영역이 활성화된 것은 이 영역이 시간적 변화와 거리의 변화를 준 두점 자극에 대해 전략적이고 체계적으로 반응하는 역할을 한다고 제시하였다. 본 연구도 두점식별에 관한 기능적자기공명영상을 통하여 뇌활성도의 변화를 알아보려고 하였으며, 위의 두 연구에서는 시간적 자극과

공간적 변화에 따른 실험방법의 차이로 인하여 활성화된 영역의 차이가 있지만, 가벼운 촉각 자극이나 한점 자극에 비하여 두점 자극이 좀더 복잡하고 상위 감각영역에서 반응한다는 연구 결과는 본 연구의 결과와 일치한다.

두점식별법은 정형외과적 신경학적 손상으로 인한 감각검사와, 환자의 치료과정에서의 회복의 정도를 파악하고 치료의 효과를 알아보기 위해 사용되는 간단하면서도 가장 널리 사용되고 있는 촉각 감각 검사법으로 이에 대한 이론적 근거를 바탕으로 두점식별의 뇌활성도와 정확한 메커니즘 알아내는 것은 물리치료 영역에서 그 관심과 연구가 증가하고 있다. 따라서 본 연구는 두점식별에 관한 뇌활성도의 변화를 알아보기 위하여 가벼운 접촉자극과 두점 자극에 대한 반응을 기능적자기공명영상을 통하여 실험을 수행하였다. 이러한 두점식별 자극에 대한 근본적인 메커니즘을 알아보기 위한 실험을 통하여 임상 검사와 치료과정에서 두점식별법의 사용이 정확한 근거와 자료를 바탕으로 실시될 것으로 기대된다. 앞으로의 연구에서는 더 많은 대상자와 다양한 케이스의 환자에서 실험과 뇌활성도 차이를 통계학적으로 일반화하는 것이 필요하고, 대뇌피질의 다양한 영역에서 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 기능적 자기공명 영상을 이용하여 가벼운 접촉 자극과 두점 자극 시 뇌활성도의 변화를 측정 비교를 통하여 두점식별에 관한 뇌활성도의 메커니즘을 알아보고자 하였다. 그 결과 가벼운 접촉 자극에 의한 뇌활성도는 자극 부위 반대측 대뇌반구의 일차체성감각영역에서 나타난 반면 두점 자극을 주었을 때 뇌활성도는 반대측의 일차체성감각영역뿐만 아니라 동측의 일차체성감각영역, 보조감각영역에서도 활성도가 나타났다. 이것으로 보아 단순 가벼운 촉각 자극에 비해 두점 자극이 감각을 받아들이는 데 있어 더 복잡하고 의식적인 수준이 필요하며 상위감각영역에서 반응하는 것으로 생각된다.

Author Contributions

Research design: Kim CS

Acquisition of data: Kim CS, Park JW

Analysis and interpretation of data: Kim CS

Drafting of the manuscript: Park JW

Research supervision: Kim CS

참고문헌

1. Tamura Y, Hoshiyama M, Inui K et al. Cognitive processes in two-point discrimination: An erp study. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(8):1875-84.
2. Wallesch CW, Curio N, Galazky I et al. The neuropsychology of blunt head injury in the early postacute stage: Effects of focal lesions and diffuse axonal injury. *J Neurotrauma.* 2001;18(1):11-20.
3. Tamura Y, Hoshiyama M, Inui K et al. Central mechanisms for two-point discrimination in humans. *Neurosci Lett.* 2003;342(3):187-90.
4. Morch CD, Andersen OK, Quevedo AS et al. Exteroceptive aspects of nociception: Insights from graphesthesia and two-point discrimination. *Pain.* 2010.
5. Lesny I. Disturbance of two-point discrimination sensitivity in different forms of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1971;13(3):330-4.
6. Lesny I, Stehlik A, Tomasek J et al. Sensory disorders in cerebral palsy: Two-point discrimination. *Dev Med Child Neurol.* 1993;35(5):402-5.
7. Salanova V, Andermann F, Rasmussen T et al. Tumoural parietal lobe epilepsy. Clinical manifestations and outcome in 34 patients treated between 1934 and 1988. *Brain.* 1995;118 (Pt 5):1289-304.
8. Felmingham KL, Baguley IJ, Crooks J. A comparison of acute and postdischarge predictors of employment 2 years after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(4):435-9.
9. Fatemi MJ, Jalilmanesh M, Dini MT. Evaluation of moving and static two point discriminations of volar forearm skin before and after transfer as a sensate radial forearm island flap in reconstruction of degloving injury of the thumb. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2007;60(4):356-9.
10. Lenzenweger MF. Two-point discrimination thresholds and schizotypy: Illuminating a somatosensory dysfunction. *Schizophr Res.* 2000;42(2):111-24.
11. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971;9(1):97-113.
12. Choi JH, Kwon YH. Medial reorganization of primary motor cortex in patient with traumatic brain injury: A fmri case study. *J Kor Soc Phys Ther.* 2005;17(3):421-8.
13. Yang GA, Kim SH, Lim YE et al. Comparison of the activity of cortical neurons according to muscle contraction type between post stroke hemiplegic subjects and healthy subjects. *J Kor SocPhys Ther.* 2009;21(1):73-80.
14. Park JW, Jang SH. The difference of cortical activation pattern according to motor learning in dominant and non-dominant hand: An fmri case study. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(1):8.
15. Choi JJ, Jang HJ, Hong IP et al. A clinical study on the two-point discrimination of the replanted digits. *The korean society of plastic and reconstructive surgeons.* 1995;22(3):615-21.
16. Heriseanu R, Baguley IJ, Slewa-Younan S. Two-point discrimination following traumatic brain injury. *J Clin Neurosci.* 2005;12(2):156-60.
17. Akatsuka K, Noguchi Y, Harada T et al. Neural codes for somatosensory two-point discrimination in inferior parietal lobule: An fmri study. *Neuroimage.* 2008;40(2):852-8.
18. Pastor MA, Day BL, Macaluso E et al. The functional neuroanatomy of temporal discrimination. *J Neurosci.* 2004;24(10):2585-91.
19. Pastor MA, Macaluso E, Day BL et al. The neural basis of temporal auditory discrimination. *Neuroimage.* 2006;30(2):512-20.