

얼굴인식에서 전체윤곽-국소특징에 대한 선택적 뇌 활성화: fMRI 연구

김 정 훈

KAIST 인문사회과학부

김 초 북

충남대학교 심리학과

H. R. Wilson

캐나다 York 대학 생물 및 컴퓨터시각학과

F. Wilkinson

캐나다 York 대학 심리학과

얼굴의 정보가 전체적으로 처리되는가 혹은 국소적으로 처리되는가 하는 것은 얼굴인식과 관련된 중요한 논쟁 중의 하나이다. 최근에는 전체적 처리와 국소적 처리가 동시에 이루어지며, 각기 다른 경로를 통해 이루어진다는 주장이 제기된 바 있다. 본 연구에서는 얼굴 정보에 대한 이러한 이중경로처리설을 확인하기 위하여, 형태정보처리 경로의 시각 세포들이 최적으로 반응하는 자극속성을 반영한 방사주과 수 합성얼굴을 이용하여 얼굴의 윤곽과 국소정보에 대한 선택적 뇌 활성화의 차이를 fMRI측정을 통하여 살펴보았다. 실험 1에서는 얼굴의 윤곽과 국소정보 모두에 대하여 FFA 영역에서의 활성화를 관찰하였다. 주목할 점은, 국소정보에 비하여 윤곽정보에 대한 FFA에서의 활성화가 더 강하게 관찰된 것이다. 실험 2에서는 얼굴의 윤곽정보에 대한 전체적 처리가 인출과정보다는 부호화과정에 관여함을 관찰하였고, 국소정보의 부호화 조건에서는 전전두엽(BA 10)과 대상회(BA 32)에서의 강한 활성화를 관찰하였다. 이러한 결과들은, 얼굴인식이 이중경로를 통해 이루어진다는 연구들을 지지하는 증거로 해석되며, 얼굴의 윤곽정보는 상향처리를 통해, 국소정보는 하향처리를 통해 인식되는 것임을 시사한다.

주제어: 얼굴인식, 전체-국소정보, 합성얼굴, fMRI, FFA, 이중경로처리

이 논문은 2001년 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음 (KRF-2001-042-C00172)
교신저자: 김정훈, (305-701) 대전 유성구 구성동 373-1, KAIST 인문사회과학부
E-mail: miru@kaist.ac.kr

얼굴인식과 관련된 중요한 논쟁 중의 하나는 얼굴의 정보가 일반 대상의 인식과는 달리 전체적으로 처리된다는 주장과 관련된 것이다. 얼굴인식에 관한 초기의 연구들은 국소적 처리(local processing)를 제안하였는데, 얼굴의 부분적 속성들이 계열적으로 탐색된 결과로 인식된다고 설명하였다(Bradshaw & Wallace, 1971). 그러나, 전체적 처리(holistic processing)를 주장한 연구자들은 얼굴의 부분 요소들 각각의 특징보다는 전체적인 맥락을 바탕으로 얼굴인식이 이루어진다고 제안하였다(Tanaka & Farah, 1993; Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1995, 1998). 이 연구자들은 얼굴이 전체적으로 혹은 병렬적으로 부호화되기 때문에 코나 입과 같은 부분의 정보만으로는 재인하는 것이 어려운 반면, 일반 대상은 각 부분을 계열적으로 부호화하기 때문에 그 대상의 일부분만으로도 성공적으로 재인한다고 주장하였다. 즉, 전체적 처리의 관점에서는 얼굴이 일반 대상과 질적으로 다르게 처리되며, 얼굴인식은 자동적으로 이루어지기 때문에 인지적 부하를 거의 가져오지 않는다고 설명한다.

이 주장을 지지하는 증거로 많이 연구되는 현상이 Yin(1969)이 보고한 얼굴전도효과(face inversion effect)인데 눈과 입의 부분 형태는 그대로 두고 얼굴을 전체적으로 거꾸로 하여 만든 얼굴과 원 얼굴과의 변별은 상당히 어려운 반면, 같은 방법으로 거꾸로 보이게 만든 일반 대상과 원 대상과의 변별은 어렵지 않게 이뤄지는 현상이다. Tanaka와 Farah(2003)는 이 현상을 바탕으로, 얼굴인식은 전체적 처리에 주로 의존하나, 거꾸로 된 얼굴을 포함한 일반 대상의 인식은 부분 형태에 대한 국소 정보처리에 의존한다고 주장하였다.

한편, 전체적 처리의 관점에서 뇌영상 연구

를 수행한 여러 연구들은 얼굴을 볼 때 활성화되는 fusiform gyrus의 영역이 다른 일반 대상을 볼 때와 차이가 있음을 밝히고, 이 영역을 fusiform face area(FFA)라고 명명하였다(Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; Sergent, Ohta, & MacDonald, 1992). FFA는 시각경로 중 형태와 색상이 처리되는 복측경로(what pathway)의 최상위 단계인 하측두영역(inferior temporal region, IT)에 해당한다. 이 연구자들은 이러한 FFA의 선택적 활성화가 얼굴에 대해서만 선택적으로 작용하는 영역이며, 이는 전체적 처리의 증거라고 주장하였다.

그러나, 최근 FFA가 얼굴자극에 대해서만 선택적으로 활성화되는 것이 아니라는 주장이 제기되었다. 예를 들면, 매우 친숙한 대상을 볼 경우나 대상에 대한 전문성(expertise)이 확립된 경우에도 FFA의 활성화가 관찰되었다. 뿐만 아니라, 친숙한 얼굴을 제시할 경우 낯선 얼굴에 비해 더 많은 활성화가 관찰되는 것으로 보고되었다(Gauthier & Tarr, 1997, 2002; Gauthier, Skudlarski, Gore, & Anderson, 2000; Gauthier, Tarr, Anderson, Skudlarski, & Gore, 1999). 이러한 결과들에 의하면, FFA는 얼굴자극에 대해서만 선택적으로 반응하는 특수한 영역이 아니라, 매우 전문적으로 학습되어 친숙한 대상에 대해 의식적 통제과정이 거의 요구되지 않는 자동적 처리를 하기 때문에 관찰되는 영역으로 볼 수 있다.

얼굴인식과정에 대한 전체/국소적 처리 친숙성(전문가 학습)/비친숙성 효과 여부의 논쟁과 관련하여, 다른 한편에서는 얼굴인식이 부분적 정보들에 대한 국소적 처리와 형태를 중심으로 하는 전체적 처리가 독립적인 경로를 통해 이루어진다는 이중경로처리(dual routes processing)가 제안된 바 있다(Reinitz, Morissey, &

Demb, 1994). Reinitz와 동료들은 회상이 가능한 친숙한 얼굴에 대해서는 전체적 처리를 하는 반면, 회상이 불가능한 낯선 얼굴에 대해서는 세부 특징에 대한 분석적 처리를 한다고 제안하면서 얼굴은 이중경로를 통해 처리된다고 주장하였다. 또한, Gelder와 Rouw(2001)는 얼굴 인식이 본질적으로 대상에 대한 인식과 다르지 않다고 주장하면서, 주어진 얼굴 자극을 탐지하게 되면 전체적 처리와 국소적 처리가 상호작용한 결과로 얼굴을 인식하게 된다고 제안하였다. Murray와 동료들(Murray, Rhodes, & Schuchinsky, 2003)은 얼굴의 부분(눈과 이)을 왜곡시키거나 눈과 입의 위치를 변화시켜 형태 정보를 왜곡시킨 후(configural change), 이들을 15도 간격으로 회전시키며 관찰자들이 얼굴의 가피성을 평정하도록 하였는데, 부분 정보가 왜곡된 얼굴에 대해서는 평정이 연속적으로 변한 반면 형태정보가 왜곡된 얼굴에 대해서는 평정이 불연속적으로 변하는 결과를 얻었다. 이 결과는 얼굴의 국소 부분 정보와 전체 형태 정보가 다른 처리 경로로 처리됨을 시사하는 것이다.

뇌영상 연구를 수행한 Bartlett과 동료들(Bartlett, Devous, & Abdi, 2000)은 이전에 학습한 얼굴이 전혀 낯선 얼굴에 비해 FFA를 더 많이 활성화시키는 것을 관찰하였고, 학습된 얼굴(old face)과 낯선 얼굴(new face)이 결합된 형태인 접합얼굴(conjunction face)은 낯선 얼굴에 비해 측두엽과 후두엽에서 더 많은 활성화를 가져온 것을 확인하였다. Bartlett 등은 이러한 결과를 바탕으로 이중경로가설에 대한 인지신경과학적 증거를 제시하였다. 또한 Pierce와 동료들(Pierce, Müller, Ambrose, Allen, & Courchesne, 2001)은 정상 성인과 자폐증 환자들을 대상으로 한 fMRI 연구를 통해 두 집단의 얼굴인식

정확률은 차이가 없는 반면, 전체적 처리의 증거로 해석되는 FFA의 활성화 차이를 발견하였다. 즉, 정상 집단의 경우 FFA의 활성화가 관찰된 반면, 자폐증 집단의 경우 FFA의 활성화가 관찰되지 않고, 전두엽과 소뇌를 포함한 여러 영역의 활성화가 관찰되었다.

이러한 연구들을 종합하면, 얼굴인식은 전체적 처리와 국소적 처리가 동시에 일어나는 이중경로로 처리된다는 가능성을 상당한 수준에서 받아들일 수 있다. 이에 덧붙여, 얼굴의 전체 형태정보는 자동적 처리과정에 의하여 처리되지만, 국소정보는 인지부하가 요구되는 통제적 처리과정을 거치는 것으로 볼 수 있는 결과들을 얼굴전도효과를 비롯한 많은 연구들이 보고하고 있다. 여기서 분명히 할 점은 얼굴인식에서 전체/국소정보와 전체적/국소적 처리의 의미이다. 얼굴인식 연구에서 국소정보는 시각연구에서 흔히 논의되는 공간 세부특징(쌍위, 공간주파수 등) 자체이기보다는 눈, 코, 입, 그리고 턱 등의 부분요소와 관련된 정보를 일컫는 반면, 전체정보는 이들 부분 요소들의 공간적 관계 정보를 일컫는데(Peterson & Rhodes, 2003), Bartlett과 동료들(Bartlett, Searcy, & Abdi, 2003)은 이 공간적 관계의 공간적 범위는 충분히 커서 전체 얼굴을 아우르는 정보임을 밝힌 바 있다. 즉, 사람들이 국소정보보다는 넓은 공간에서 얻어진 정보들의 합(pooling)에 바탕을 둔 정보를 전체정보로 분류한다고 보고하였다.

한편, 얼굴인식에서 국소정보처리는 연구자들에 따라 조각(piecemeal), 부분(part-based), 요소(componential), 그리고 분석 혹은 계열적 정보처리의 의미로 쓰이며, 전체정보처리는 총체(global), 형태(configural), 조악(coarse), 그리고 병렬적 혹은 자동적 정보처리의 의미로 쓰인다(eg. Bartlett *et al.*, 2003). 이렇게 볼 때, 얼굴인

식의 이중경로 처리라 함은 눈, 코, 입 등의 국소정보에 대한 계열적 정보처리와 다른 공간에 위치한 얼굴의 여러 정보들에 대한 병렬적 정보처리, 두 과정을 의미한다고 볼 수 있다.

그런데, 이러한 이중처리 경로에 의한 얼굴 인식과정의 특성을 체계적으로 연구하기 위하여 선결되어야 할 점이 전체와 부분요소로 얼굴자극을 분명히 가릴 수 있는 자극의 개발이다. 특히, 얼굴인식과정의 배후 신경경로를 분명히 밝히기 위해서는 FFA영역에 이르기까지 형태정보처리 경로의 각 단계 시각세포들이 최적으로 반응하는 자극 속성이 반영되면서, 동시에 내재적으로 아주 복잡한 얼굴자극이지만 양적으로 기술 가능한 지각차원을 함유하여 얼굴인식의 정보처리과정을 용이하게 밝혀 줄 수 있는 얼굴 자극을 사용할 필요가 있다. Wilson과 동료들(Wilson, Loffler, & Wilkinson, 2002)은 최근 형태정보처리 경로의 세포들이 최적으로 반응하는 자극 속성들을 반영하여 구축한 새로운 형태의 합성얼굴을 시각 연구에 소개한 바 있다. 공간주파수나 방위 등의 국소적 세부특징 정보에 조율된 세포들의 반응에 의하여 초기 단계에서의 형태정보처리 특성이 잘 설명될 수 있는 반면, 중간 혹은 고차 단계에서의 정보처리 특성은 다른 공간에 시각수용장을 갖는 하위 단계의 여러 세포들의 활동이 합(pooling)해져 전체적으로 비데카르트 동심원(non-Cartesian concentric) 자극 속성에 최적으로 반응하는 세포들의 활동에 의해 잘 설명될 수 있음이 여러 신경생리학 연구나 계산모형에 의해 제안된 바 있다(Gallant, Braun, & van Essen, 1993; Wilkinson, Wilson, & Habak, 1998; Wilson *et al.*, 2002).

Wilson 등(2002)이 시각 연구에 소개한 합성

얼굴은, 이러한 형태정보처리 경로의 세포들이 최적으로 반응하는 자극 속성을 반영하여, 얼굴윤곽, 이마선(hairline) 등의 전체 형태를 방사주파수를 이용하여 구성하는 한편, 눈, 코, 입의 방위와 위치 등 세부특징을 37 개의 지각차원에서 기술이 가능하도록 구성하였다. 방사주파수는 넓은 공간에 위치한 폐쇄된 형태를 체계적으로 기술할 수 있는 모수치인데, Gallant 등의 연구와 밀접히 관련하여 V4 영역의 세포들이 얼굴인식과정에서 이 정보에 민감히 반응함이 선행 fMRI 연구에서 관찰되었으며(김정훈, 김초복, 2003), 이렇게 구축한 합성얼굴을 개인의 원 사진얼굴자극에 대응시켰을 때 매우 높은 정확대응인식률이 정신물리학 실험에서 관찰된 바(김정훈, 김초복, 2003; Wilson *et al.*, 2002), 방사주파수 합성얼굴이 개인의 얼굴을 구분하여 주는 충분한 정보를 함유하고 있음을 알 수 있었다.

V4 영역 세포의 시각수용장의 크기는 하위 V1 영역 세포의 시각 수용장보다 4배에서 7배 정도 크다고 알려져 있는데(Desimone & Schein, 1987), 이 세포들이 최적으로 반응하는 비데카르트 동심원 자극 속성은 다른 공간의 방위 정보에 선택적으로 반응하는 여러 V1 세포들의 활동이 합하여 이루어지는 것임을 고려하면, 합성얼굴에서 방사주파수요소의 합으로 구성된 윤곽은 얼굴의 전체정보를 함유하고, 동일한 형판(template)으로 구성한 눈, 코, 입 등은 얼굴의 국소정보를 함유하고 있다고 볼 수 있다. 본 연구를 수행하기 전에 실시한 한 예비 실험에서 전체 합성얼굴과 국소정보만을 포함한 부분요소얼굴을 이용하여 얼굴전도효과의 현상적 존재 여부를 관찰하였는데, 전체 합성얼굴에서는 이전의 연구들이 보고한 바와 같이 얼굴전도효과가 관찰된 반면 부분요소얼굴

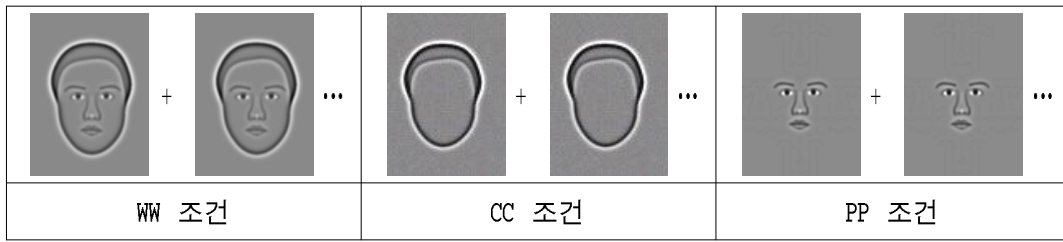


그림 1. 실험 1에 사용된 얼굴 자극과 fMRI 실험절차

에서는 이 효과가 관찰되지 않았다. 이는 윤곽이 없는 부분요소얼굴에는 눈, 코, 입 등의 공간적 배치에서 추출되는 전체정보가 파괴되어 얼굴인식에 국소정보처리가 주도적으로 이루어졌음을 시사하는 것이다.

본 연구에서는 이렇게 윤곽얼굴과 부분요소얼굴로 구분하여 구축한 방사주파수 합성얼굴 자극을 이용하여 얼굴의 전체-국소정보의 처리 특성을 뇌활성화 양상을 통해 구체적으로 확인하고자 하였다. 이전의 연구들에서는 전체얼굴은 전체적으로 처리되고, 얼굴의 부분요소들 각각이나 특정 부위에 대해서는 국소적 처리를 한다는 방식으로 연구하였으나, 본 연구에서는 얼굴을 정량적으로 윤곽정보와 눈, 코 입 등을 포함한 국소정보들로 구분하여 이들 각각의 정보처리 특성을 관찰할 수 있도록 하였다. 즉, 전체정보를 나타내는 얼굴 윤곽과 국소정보를 나타내는 국소특징들에 대한 선택적 뇌 활성화를 fMRI측정을 통해 관찰함으로써, 얼굴인식에 있어 전체-국소정보의 처리 특성을 직접 살펴보고자 하였다.

실험 1

실험 1에서는 윤곽으로 대표되는 얼굴의 전체정보와 눈, 코, 입 등의 국소정보가 서로 다

른 경로를 통해 처리되는가를 살펴보고자 하였다. 이를 위해 얼굴의 윤곽과 국소특징을 재인하는 조건에서 뇌 활성화의 차이를 관찰하였다. 특히, Kanwisher 등(1997)이 전체적 처리의 증거로 제시한 FFA의 활성화를 중심으로 살펴보았다. 구체적으로 얼굴의 윤곽과 국소특징이 각각 전체 얼굴과 같이 하나의 얼굴로 인식되는가를 확인하기 위해 기저수준에 비해 더 높은 활성화를 나타내는 영역을 살펴보았다. 또한, 전체 얼굴이 포함하고 있는 윤곽과 국소특징의 정보들 중에서 얼굴인식에 보다 많은 정보를 제공하는 자극을 살펴보기 위해 전체얼굴과 윤곽, 전체얼굴과 국소특징을 각각 비교하였다.

방법

피험자 KAIST 재학생 12명이 실험에 참여하였다. 모든 피험자들은 오른손잡이였고, 정상 교정시력을 보유하고 있었다.

자극재료 방사주파수를 이용하여 구성된 39개의 합성얼굴 자극을 사용하였다(자세한 설명은 김정훈, 김초복, 2003 참조). 실제 사진얼굴을 바탕으로 합성한 전체얼굴 (whole face: WF)로부터 얼굴윤곽과 이마선 (hairline)만을 추출한 윤곽얼굴(contour face: CF), 그리고 눈, 눈썹, 코,

입만 추출하여 만든 국소특징얼굴 (partial-feature face: PF)을 생성하여 실험에 사용하였다.

절차 피험자들은 MRI 기기에 누워 빔 영사기 (beam projector)로 제시되는 자극을 거울을 통해 보면서 재인과제를 수행하였다. 과제는 2초간 얼굴을 학습한 후, 1초 후 제시되는 얼굴에 대해 이전의 얼굴과 동일한 얼굴인가를 판단하는 것이었다. 이 과제를 13번 반복하는 것으로 39초의 한 블록을 구성하였다(그림 1 참조). 전체 실험은 3블록으로 이루어졌고, 각각은 WF만으로 구성된 블록(WW)과 CF만으로 구성된 블록(CC), 그리고 PF만으로 구성된 블록(PP)으로 구성되었으며, 각 블록은 2회 반복되었다. 통제조건으로 기저수준을 측정하기 위한 고정점이 각 블록 사이에 21초간 제시되었다. 각 시행에서 사용된 얼굴자극은 모두 다른 사람의 얼굴로 구성되었으며, 각 피험자에게 제시된 자극순서는 무선화하였다. 피험자들은 모든 과제에 대해 마우스를 이용하여 빠르고 정확하게 반응하였다.

fMRI 자료획득 및 분석방법 ISOL 3.0T 스캐너를 사용하여 T1 영상과 경사자장 에코연쇄 (Gradient echo sequence)에 의한 EPI 영상을 획득하였다. EPI 영상은 TR 3000ms, TE 35ms, 전위각(flip angle) 80°, 영상영역(field of view, FOV) 220×220mm, 행렬크기(matrix size) 64×64, 절편(slice)수 30, 절편간 간격이 없는(no gap) 4mm의 조건으로 획득하였다. 기능적 영상을 획득한 전체 스캔은 120scan으로 이루어졌다.

획득한 모든 영상자료는 SPM99(Wellcome department of Cognitive, Institute of Neurology, London, UK)를 이용하여 분석하였다. 신호대 잡음비(SNR)를 높이기 위해 8mm full-width

half-maximum(FWHM) 정규필터(gaussian filter)를 사용하여 부드럽게 (smoothing)하였고, 모든 영상자료들은 MNI 좌표체계에 의한 T1 형판(template)에 표준화되었다. 활성화된 뇌 영역의 MNI 좌표들은 mni2tal 알고리즘(Brett, M., Cambridge, Massachusetts)을 적용하여 Talairach 공간좌표로 변환하였다. 각 피험자들의 영상자료는 집단분석을 통한 감산법을 통해 분석하였고, 통계적 유의수준은 수정되지 않은 (uncorrected) $p < .001$ 로 하였다.

결과 및 논의

행동반응 분석 12명의 자료에 대한 행동측정치를 분석하였다. 그림 2에 제시한 바와 같이 모든 조건에서 정확인식률은 78% 이상으로 높게 나타났다. 그러나, 각 조건별 측정치의 차이를 분석한 결과, WW조건(94.8%)과 CC조건(96.9%)이 PP조건(78.1%)에 비해 높은 것으로 나타났다($F(1,11) = 14.385$, $MS_e = .013$, $p < .01$). 반응시간의 경우에도 WW(1.16sec)조건과 CC조건(1.15sec)이 PP조건(1.45sec)에 비해 더 빠른 것으로 나타나($F(1,11) = 10.996$, $MS_e = .003$, $p < .01$), 윤곽이 포함된 조건이 포함되지 않은 조건에 비해 정확인식률이 높은 것으로 나타났다. 이는 얼굴의 윤곽이 얼굴인식을 위해 매우 중요한 준거로 작용함을 의미하며, 윤곽이 없는 국소특징얼굴은 인식과정에 더 많은 인지적 부하를 요구하는 것으로 볼 수 있다.

fMRI 분석 CF와 PF의 뇌활성화 특성을 살펴보기 위해 CC조건과 PP조건을 각각 기저수준과 비교하였다. 표 1에 제시한 바와 같이 CC조건을 기저수준과 비교한 결과 활성화된 뇌

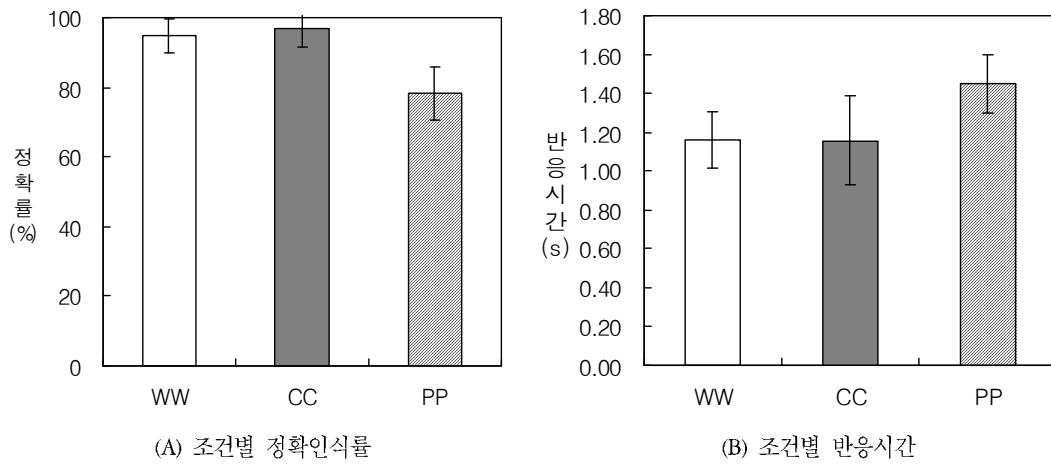


그림 2. WW, CC, PP 조건별 정확인식률 (A)과 반응시간 (B)

표 1. CC조건과 PP조건에서의 뇌활성화. BA(Broadman 영역), xyz(Talairach 좌표)

활성화 영역		좌/우	BA	x	y	z	Z value
CC>rest	Middle frontal gyrus	우	46	48	32	17	3.50
	Thalamus	우		4	-23	10	2.83
	Cerebellum	우		38	-60	-29	2.90
	Middle occipital gyrus	좌	37	-46	-66	-5	4.55
	Fusiform gyrus	좌	19	-34	-76	-11	3.50
	Postcentral gyrus	좌	2	-51	-23	42	4.28
	Cingulate gyrus	좌	32	-4	23	34	3.47
	Superior parietal lobule	좌	7	-30	-50	41	3.18
	Middle frontal gyrus	좌	6	-36	-3	50	2.98
	Lingual gyrus	좌	18	-12	-82	-9	2.84
PP>rest	Inferior frontal gyrus	우	46	50	28	15	6.18
	Middle occipital gyrus	우	18	42	-76	-8	3.37
	Cerebellum	우		46	-61	-24	3.35
	Cingulate gyrus	좌	32	-2	18	40	3.72
	Anterior cingulate gyrus	좌	23	-4	17	25	3.13
	Fusiform gyrus	좌	19	-40	-68	-11	4.59

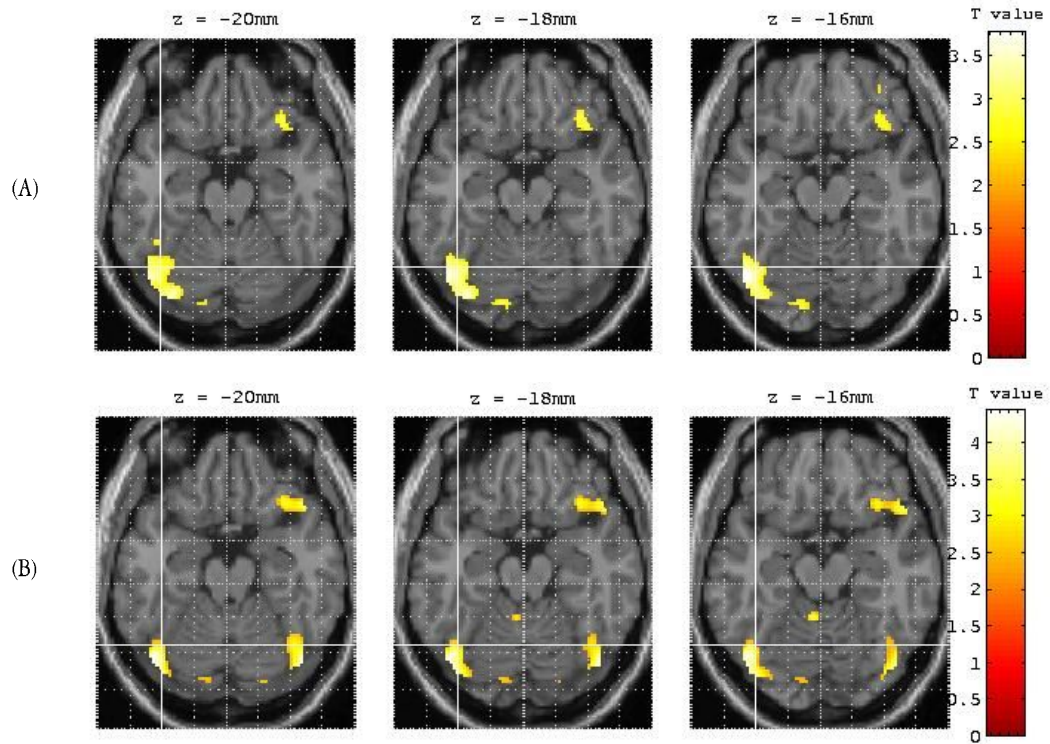


그림 3. CC조건과 PP조건에서 FFA의 뇌활성화(Talairach 좌표: -40, -61, -14).
(A) CC>rest 비교결과, (B) PP>rest 비교결과

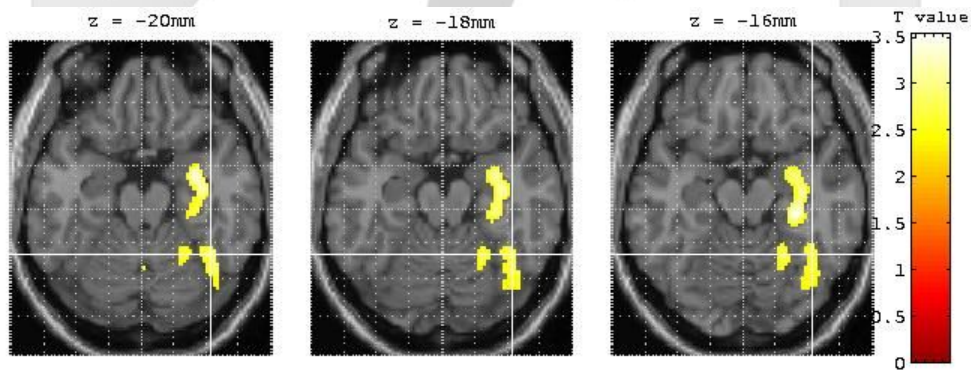


그림 4. WW>PP조건에서 FFA의 뇌활성화(Talairach 좌표: 42, -51, -16)

영역은 Fusiform gyrus(BA 19), Lingual gyrus(BA 18), 중간후두이랑(Middle occipital gyrus, BA 37), 대상회(Cingulate gyrus, BA 32), 두정상소엽(Superior parietal lobule, BA 7), 중심후이랑

(Postcentral gyrus, BA 2), 중간전두이랑(Middle frontal gyrus, BA 46, BA 6), 시상 등 다양한 영역에서 관찰되었다. 또한, PP조건을 기저수준과 비교한 결과 활성화된 뇌 영역은 Fusiform

gyrus(BA 19), 중간후두이랑(BA 18), 전대상회(Anterior cingulate gyrus, BA 23), 대상회(BA 32), Inferior frontal gyrus(BA 46) 등으로 나타났다. CC조건과 PP조건의 결과들을 비교하면 두 조건 모두에서 Fusiform gyrus의 활성화가 관찰되었다. 이는 CF와 PF 모두 얼굴인식에 필요한 속성을 포함하고 있음을 시사하는 결과이다. 그림 3에는 각 비교조건에서 FFA의 활성화 양상을 제시하였다. 각 뇌영상에서 교차점은 FFA 영역을 나타낸다.

그러나 이 결과만으로는 CF와 PF가 얼굴인식에 기여하는 상대적인 정도를 비교하기에는 한계가 있다. 따라서 CF와 PF 중 FFA에 보다 더 선택적으로 반응하는 얼굴 자극을 확인하기 위해 전체얼굴을 제시한 WW와 CC조건을 비교하고, WW와 PP조건을 각각 비교하였다. 그 결과, WW가 PP에 비해 더 많이 활성화된 조건(WW>PP)을 분석한 결과에서는 FFA가 활성화되었지만, WW가 CC에 비해 더 활성화된 조건(WW>CC)을 분석한 결과에서는 FFA의 활성화가 관찰되지 않고, 일차시각영역에서만 활성화가 나타났다. 그림 4에는 WW>PP에 대한 분석결과를 제시하였다.

실험 1의 결과를 종합하면, CC와 PP 각각의 분석결과는 CF와 PF 모두 FFA를 활성화시켜 얼굴인식을 위한 충분한 정보를 포함하는 것으로 볼 수 있다. 그러나, WW>PP의 분석결과는 CF의 자극속성이 FFA를 활성화시킨 것으로 해석할 수 있다. 즉, CF가 PF에 비해 얼굴의 속성을 더 많이 포함하고 있고, CF가 전체적으로 처리됨을 시사하는 결과이다.

실험 2

실험 1에서는 CF와 PF가 얼굴인식에 필요한 충분한 정보들을 포함하고 있으며, 특히 CF가 PF에 비해 얼굴인식에 보다 많은 정보를 제공한다는 것을 관찰하였다. 그러나 이러한 차이가 얼굴자극을 부호화하는 과정에 기인한 것이 아니라 인출과정에 기인한 것이라면, CF가 전체적으로 처리된다는 해석에 한계가 있다. 즉, 제시된 자극의 부호화 과정에서 자극 속성에 따른 처리특성이 다르기 때문이 아니라, 인출단서가 두 과제간에 서로 다르기 때문에 CF와 PF의 뇌활성화 차이가 나타났다고 볼 수도 있다. 따라서, 실험 2에서는 실험 1에서 나타난 CF와 PF의 차이가 검사자극에서 인출단서의 차이 때문이 아니라, 얼굴의 윤곽과 국소특징을 각각 부호화하는 과정에 기인한 것임을 확인하기 위해 CF와 PF 각각에 대한 부호화와 인출조건을 구분하여 뇌활성화의 차이를 살펴 보았다. 즉, 탐사자극에서 CF를 제시하고 검사자극에서 WF를 제시하는 과제와, 탐사자극에서 PF를 제시하고 검사자극에서 WF를 제시하는 과제를 비교하는 조건(부호화 조건)을 구성하여, 부호화 과정에서 CF와 PF의 차이를 확인하고자 하였고, 탐사자극에서는 WF를 제시하고, 검사자극에서는 각각 CF와 PF를 제시하는 과제를 비교하는 조건(인출 조건)을 구성하여 인출 과정에서 CF와 PF의 차이를 확인하고자 하였다.

방법

피험자 KAIST 재학생 12명이 실험에 참여하였다.

자극재료 실험 1에 사용된 자극과 동일한 자극을 사용하였다.









부호화 조건	(A)  +  ... CF WF	(B)  +  ... PF WF
인출 조건	(C)  +  ... WF CF	(D)  +  ... WF PF

그림 5. 실험 2에 사용된 얼굴 자극과 fMRI 실험절차. (A) CW 조건과 (B) PW 조건은 부호화 조건을 다르게 조작하였고, (C) WC 조건과 (D) WP 조건은 인출조건을 다르게 조작하였다.

절차 실험 2에서는 부호화과정에서 CF의 관여를 측정하기 위해 CF를 제시한 후 WF를 제시한 CW 조건과, PF의 관여를 측정하기 위해 PF를 제시한 후 WF를 제시한 PW 조건을 구성하였고, 인출과정에 CF와 PF의 관여를 측정하기 위한 WC 조건과 WP 조건을 구성하였으며, 각 블록은 2회 반복되었다(그림 5). 이외의 실험 절차는 실험 1과 동일하였다.

fMRI 자료획득 및 분석방법 T1 영상과 EPI 영상의 획득조건, 그리고 획득한 영상에 대한 분석절차들은 실험 1과 동일하였고, 전체 스캔은 160scan으로 이루어졌다.

결과 및 논의

행동반응 분석 피험자들의 반응에 대한 행동 측정치를 분석하였다. 모든 조건에서 얼굴에 대한 정확인식률은 83.3% 이상으로 매우 우수

한 수행을 보였다. 그러나, 부호화 조건과 인출조건에서 CF와 PF간 정확인식률의 차이를 분석한 결과, 부호화조건에서 CW(94.8%)가 PW(83.3%)에 비해 높은 인식률을 보였으며 [$F(1,11) = 7.436, MSe = .013, p < .05$], 인출조건에서도 WC(95.8%)가 WP(84.4%)에 비해 높은 인식률을 나타냈다 [$F(1,11) = 5.863, MSe = .011, p < .05$]. 반응시간의 경우에는 WC(1.22sec)와 WP(1.27sec) 조건간 차이가 없었으나, CW(1.25sec)가 PW(1.45sec) 조건에 비해 더 빠른 수행을 보였다 [$F(1,11) = 5.118, MSe = .051, p < .05$]. 이 결과를 그림 6에 제시하였다 이 결과는 부호화와 인출조건 모두에서 CF가 PF에 비해 얼굴인식의 중요한 단서로 작용하는 것으로 해석할 수 있다. 특히 반응시간의 결과에 의하면, 부호화 조건에서 CF가 더욱 중요한 정보를 알 수 있는 결과이다.

fMRI 분석 부호화 과정에서 CF가 PF보다,

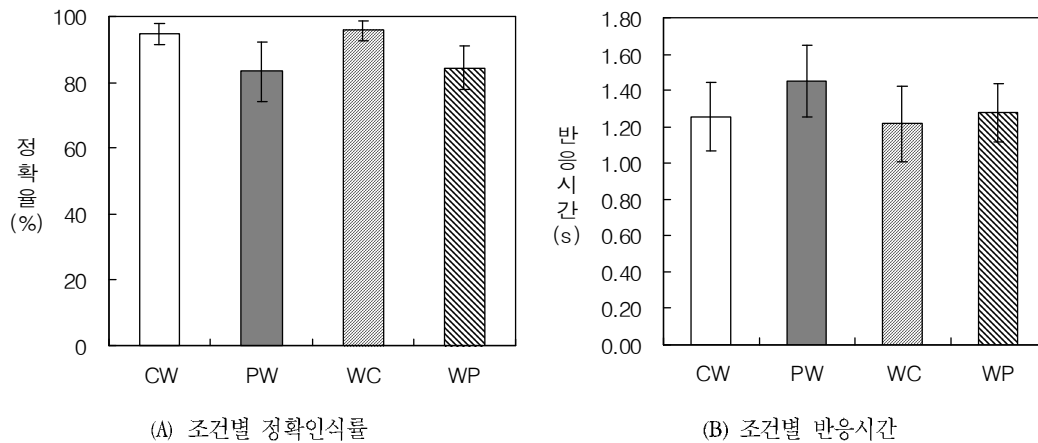


그림 6. CF와 PF의 부호화조건(CW, PW)과 인출조건(WC, WP)의 정확인식률(A)과 반응시간(B)

PF가 CF보다 더 많은 활성화를 나타내는 영역을 관찰하기 위해 fMRI 영상자료를 분석하였다(표 2). 먼저, 부호화 과정에 CF가 PF보다 더

많이 관여하는 뇌영역을 관찰할 수 있는 CW>PW 조건에 대한 분석 결과, FFA의 활성도가 관찰되었다(그림 7). 이 결과는 CF가 PF보

표 2. CW>PW와 PW>CW의 뇌활성화

활성화 영역		좌/우	BA	x	y	z	Z value
CW>PW	Postcentral gyrus	우	13	51	-20	23	4.60
	Inferior frontal gyrus	우	44	51	5	18	4.39
	Middle temporal gyrus	우	39	34	-57	30	3.71
	Precuneus	우	7	20	-66	31	3.62
	Fusiform gyrus	우	37	46	-65	-12	3.50
	Precentral gyrus	우	6	34	-7	50	3.13
	Parahippocampal gyrus	우	36	34	-24	-24	3.35
	Postcentral gyrus	우	3	38	-25	50	3.17
	Cerebellum	우		24	-48	-31	3.28
PW>CW	Superior Frontal gyrus	우	10	26	58	-1	3.34
	Middle frontal gyrus	우	10	42	52	-4	3.39
	Cingulate gyrus	우	32	4	30	26	4.57
	Cerebellum	우		2	-59	-22	3.17
	Middle frontal gyrus	좌	9	-42	12	26	3.91

다 더 많은 얼굴정보를 포함하고 있으며, 이는 부호화 과정에 관여하는 것으로 해석할 수 있다.

부호화 과정에 PF가 CF에 비해 더 많이 관여하는 뇌영역을 관찰할 수 있는 PW>CW 조건에 대한 분석 결과, PF는 CW에 비해 우반구의 상전두이랑(Superior Frontal gyrus, BA 10)과 중간전두이랑(Middle frontal gyrus, BA 10), 그리고 대상회(BA 32)의 활성화를 가져왔으며, 좌반구의 중간전두이랑(BA 9)도 활성화되었다. 그림 8에 이 결과를 제시하였다.

CF와 PF가 인출과정에 관여하는 뇌영역의

차이, 즉 WC>WP 조건과 WP>WC 조건을 분석한 결과, 두 조건간 차이가 발견되지 않았다. 이는 윤곽정보와 국소정보의 차이가 인출시에는 영향을 주지 않음을 나타내는 결과이다.

부호화 과정에서 CF와 PF의 이러한 차이는 CF의 경우 상향처리만으로 충분한 인식이 가능하지만, PF는 하향처리를 요구하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 윤곽얼굴로만 구성된 CF는 전체적 처리를 통해 인식되는 반면, PF는 국소적 처리를 통해 인식되는 것으로 볼 수 있다.

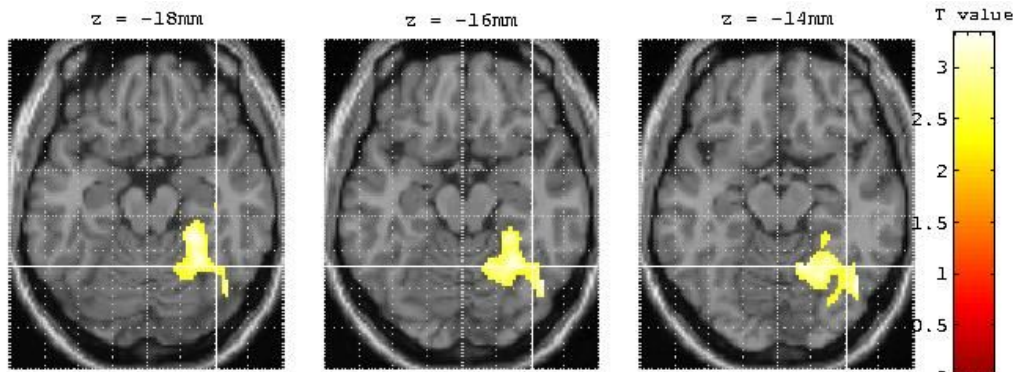


그림 7. CW)PW에서의 FFA의 뇌활성화(Talairach 좌표: 40, -53, -12)

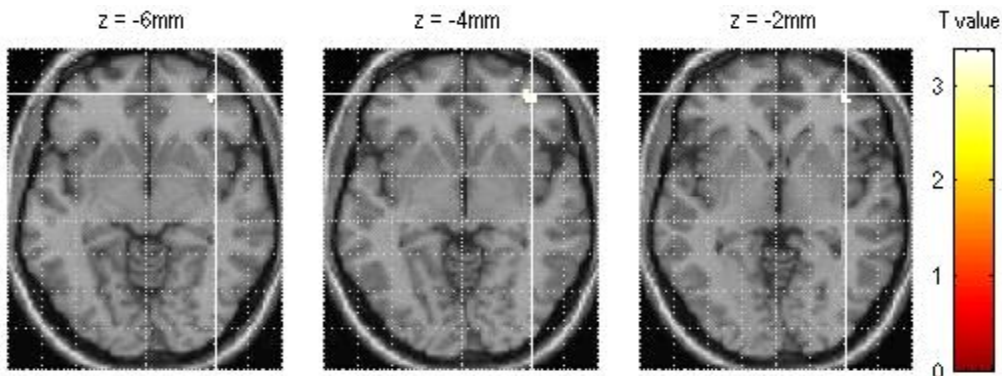


그림 8. PW)CW에서의 전전두엽의 뇌활성화(Talairach 좌표: 42, 52, -4)

종합 논의

본 연구는 얼굴인식에 있어 중요하게 다루어지고 있는 전체적 처리와 국소적 처리, 그리고 이중경로처리에 관한 논쟁을 fMRI 실험을 통하여 살펴보고자 수행되었다. 실험 1의 결과, 얼굴의 전체정보인 윤곽얼굴과 국소정보인 국소특징얼굴은 모두 얼굴인식을 위한 충분한 정보를 포함하지만, 얼굴의 윤곽에 더 많은 정보가 포함되어 있는 것으로 나타났다. Tanaka와 Farah(1993)가 주장한 바와 같이 얼굴이 전체적으로 처리된다면, PP만의 제시는 국소적으로 처리되기 때문에 FFA의 활성화가 나타나지 않아야 한다. 그러나 실험 1의 결과 국소특징얼굴의 제시만으로도 FFA가 활성화되었다. 또한, WW가 PP에 비해 더 많이 활성화된 조건에서는 FFA가 활성화되었지만, WW가 CC에 비해 더 활성화된 조건에서는 FFA의 활성화가 관찰되지 않았다. 따라서 실험 1의 결과는 Bartlett 등(2000), Reinitz 등(1994), 그리고 Murray 등(2003)이 주장하는 이중경로처리를 지지하는 증거로 해석될 수 있다.

실험 2의 결과, 얼굴의 윤곽정보와 국소정보의 FFA에 대한 활성화의 차이가 인출과정보다는 부호화과정에 있음을 알 수 있다. Pierce 등(2001)은 얼굴인식에 있어 FFA가 필수적이지 않음을 보고하였는데, 본 연구에서도 유사한 결과가 관찰되었다. 부호화 조건을 달리한 조건에서 윤곽얼굴만을 부호화한 경우에는 FFA의 활성화가 관찰되었고, 국소특징얼굴만을 부호화한 경우 FFA가 활성화되지 않았지만, 전전두엽의 활성화가 나타났다. 이는 얼굴의 윤곽 정보는 자동적 처리, 즉 전체적 처리를 통해 지각되지만, 국소특징정보는 통제적 과정을 수반하는 국소적 처리를 통해 지각되는 것으로

해석할 수 있다.

얼굴자극은 일반대상과 질적으로 달리 인식되며, FFA에서 선택적으로 반응한다는 것이 전체적 처리를 제안한 연구자들의 주장이다. 그러나 최근에 얼굴에 대한 처리과정이 일반 대상과 다르지 않고, FFA의 선택적 활성화가 얼굴에 대한 친숙성 또는 전문성 때문이라는 주장이 제기되었다(Gauthier, Behrmann, & Tarr, 1999). 이러한 연구자들에 의하면, 친숙한 얼굴은 FFA에 선택적으로 반응하며 전체적으로 처리되는 반면, 낯선 얼굴은 FFA에 보다 덜 선택적이며 국소적으로 처리된다고 한다. 반면, 매우 친숙한 대상은 낯선 대상에 비해 FFA에 더욱 선택적이며 전체적으로 처리된다고 한다. 본 연구의 결과에 의하면, 얼굴자극의 친숙성이나 전문성에 의해 이중경로로 인식된다는 주장과 더불어, 얼굴을 구성하는 자극의 속성에 의해서도 이중경로를 통해 인식됨을 알 수 있다. 즉, 얼굴의 윤곽정보는 FFA에 더욱 선택적으로 반응하여 전체적으로 처리되는 반면, 국소정보는 FFA에 덜 선택적이며, 국소적으로 처리되는 것으로 보인다.

본 연구에서 사용한 얼굴자극에서 윤곽을 구성하는데 이용한 방사주파수 합성패턴은 형태와 색상정보를 처리하는 복측경로 중 일차시각영역(V1과 V2)과 최상위 단계인 하측두피질의 중간단계인 V4에 선택적으로 반응한다(Gallant *et al.*, 1993). 방사주파수 패턴에 대한 V4에서의 자동적 반응은 V4에서 FFA로 입력되는 얼굴의 윤곽정보가 거의 자동적으로 처리된다는 의미로 해석될 수 있다. 그러나 국소정보는 V4에 선택적으로 반응하는 자극패턴이 아니며, 자동적으로 처리되지 않기 때문에 처리과정에서 인지적 부하를 가져온 것으로 보인다. 따라서 얼굴 자극은 친숙성으로 인해

FFA에 선택적으로 반응할 뿐만 아니라, 얼굴을 구성하는 형태정보가 V4에 선택적이기 때문에 FFA에 선택적인 것으로 해석할 수도 있을 것이다.

본 연구의 결과는 얼굴인식에 관한 이중경로처리설을 지지하는 신경생리학적 증거를 확인하였다는데 의의가 있다. 얼굴의 윤곽정보는 인지적 부하가 낮은 자동적 처리로 부호화되는 반면, 국소정보의 부호화는 통제적 처리가 요구되는 것으로 보인다. 또한 본 연구 결과는 친숙성에 따른 FFA의 선택적 활성화뿐만 아니라, 얼굴을 구성하는 형태정보의 특징, 즉 얼굴의 윤곽과 국소특징이 서로 다른 경로를 통해 처리되는 것을 확인했다는데 그 의의가 있다.

참고문헌

- 김정훈, 김초복 (2003). 얼굴인식에 있어 방사주파수 정보의 뇌 실재성. *한국실험심리학회지*, 15 (4), 561-577.
- Bartlett, J. C., Devous, M. D., & Abdi, H. (2000). *Regional cerebral blood flow(rCBF) imaging of the facial conjunction effect*. Paper presented at the 41st meeting of the Psychonomic Society, New Orleans.
- Bartlett, J. C., Searcy, J. H., & Abdi, H. (2003). What are the routes to face recognition? In M. A. Peterson, G. Rhodes (Eds.), *Perception of faces, objects, and scenes*, NY: Oxford University Press.
- Bradshaw, J., & Wallace, G. (1971). Models for the processing and identification of faces. *Perception and Psychophysics*, 9, 443-448.
- Desimone, R. & Schein, S. (1987). Visual properties of neurons in area V4 of the macaque: sensitivity to stimulus form. *Journal of Neurophysiology*, 57, 835-868.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. W. (1995). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision Research*, 35, 2089-2093.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. W. (1998). What is "special" about face perception? *Psychological Review*, 105, 482-498.
- Gallant, J. L., Braun, J., & van Essen, D. C. (1993). Selectivity for polar, hyperbolic, and Cartesian gratings in macaque visual cortex. *Science*, 259, 100-103.
- Gauthier, I. L., Behrmann, M., & Tarr, M. J. (1999). Can face recognition really be dissociated from object recognition? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 349-370.
- Gauthier, I., & Tarr, M. J. (1997). Becoming a "Greeble" expert: Exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research*, 37 (12), 1673-1682.
- Gauthier, I., & Tarr, M. J. (2002). Unraveling mechanisms for expert object recognition: Bridging brain activity and behavior. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28 (2), 431-446.
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3(2), 191-197.
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform "face area" increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience*, 2(6), 568-573.
- Gelder, B., & Rouw, R. (2001). Beyond localization: a

- dynamical dual route account of face recognition. *Acta Psychologica*, 107, 183-207.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311.
- Murray, J. E., Rhodes, G., & Schuchinsky, M. (2003). When is a face not a face? The effects of misorientation on mechanisms of face perception. In M. A. Peterson, G. Rhodes (Eds.), *Perception of faces, objects, and scenes*, NY: Oxford University Press.
- Pierce, K., Müller, R. A., Ambrose, G., Allen, G., & Courchesne, E. (2001). Face processing occurs outside the fusiform 'face area' in autism: evidence from functional MRI. *Brain*, 124(10), 2059-2073.
- Reinitz, M., Morissey, J., & Demb, J. (1994). Role of attention in face encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 161-168.
- Sergent, J., Ohta, S., & MacDonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing. *Brain*, 115, 15-36.
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 225-245.
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (2003). The holistic representation of faces. In M. A. Peterson, G. Rhodes (Eds.), *Perception of faces, objects, and scenes*, NY: Oxford University Press.
- Wilkinson, F., Wilson, H. R., Habak, C. (1998). Detection and recognition of Radial Frequency Patterns. *Vision Research*, 38, 3555-3568.
- Wilson, H. R., Loffler, G., & Wilkinson, F. (2002). Synthetic faces, face Cubes, and the geometry of Face Space. *Vision Research*, 42, 2909-2923.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141-145.

1 차원고접수: 2004. 9. 13

2 차원고접수: 2004. 9. 26

최종게재결정: 2004. 9. 30

Selective activation of human brain areas to global contour-local feature information in face recognition: an fMRI study

Jeounghoon Kim

School of Humanities & Social Science
KAIST

Chobok Kim

Department of Psychology
Chungnam National University

H. R. Wilson

Department of Biological & Computer Vision
York University

F. Wilkinson

Department of Psychology
York University

One of the controversial issues on face recognition is whether faces are recognized as undifferentiated wholes or in terms of their constituent parts, namely, global vs local information processing for face recognition. However, it has been recently proposed that global coding and local processing constitute dual routes to face recognition. To investigate this dual routes processing hypothesis, we directly examined the selective activation of human brain areas with fMRI measurements to the synthetic face stimuli composed of radial frequency components, which had an advantage to easily separate the global contour and local basic feature information of face. In experiment 1, we found that FFA was activated to face contour and feature information. More importantly, it was observed that the strength of activation to contour information was higher than to feature information in FFA. In experiment 2, we also found that the global processing of face contour information was involved mainly in encoding processing, not in retrieval processing. Strong activations of the prefrontal region (BA10) and the cingulate gyrus (BA 32) were observed during encoding processing of face feature information. These results altogether add to our understanding of the characteristics of dual routes processing in face recognition. In addition, these results suggest that the contour information of face stimulus is processed through a bottom-up processing whereas the feature information is processed through a top-down processing.

Keywords: face recognition, global-local information, synthetic face, fMRI, FFA, dual routes processing