

얼굴범주화 과정에서의 이력현상(hysteresis)과 뇌 활동 변화*

김 정 훈[†]

KAIST 인문사회과학부

김 초 복

뉴멕시코 주립대학교 심리학과

인지행동 연구에서 밝혀진 얼굴범주화과정에서의 이력현상(hysteresis)의 배후 뇌 기제를 fMRI 측정을 통하여 직접 밝히고자 하였다. 이력현상이 관찰될 때, 특정 뇌 영역들, V1, V4v, 그리고 FFA에서의 뇌 활동 변화를 측정하였는데, 시각정보의 초기 처리를 담당하는 영역에서와는 달리 얼굴인식에 주요한 역할을 담당하는 것으로 믿어지는 FFA에서의 증가된 뇌 활성화를 관찰할 수 있었다. 이는 FFA가 얼굴인식 연구에서 관찰된 여러 정보처리 특성들과 함께 얼굴 범주화의 과정에도 깊이 관여함을 시사한다.

주제어 : 이력현상, fMRI, FFA, 얼굴범주화

* 이 논문은 2006년 산업자원부 뇌신경정보학연구사업지원에 의해 연구되었음.

† 교신저자 : 김정훈, KAIST 인문사회과학부, (305-701) 대전시 유성구 구성동 373-1
E-mail : miru@kaist.ac.kr

형태심리학자들에 의하여 오래 전에 소개된 시각체계화 현상 중 하나인 가역적 지각(예, Necker cube의 지각)은 최근 신경역동이론의 눈부신 발전에 힘입어 시각정보처리의 비선형적 처리과정의 특성을 밝혀주는 지각현상으로 새롭게 조명되고 있다(예, Kelso, 1995; Port & van Gelder, 1995). 신경역동이론은 신경단위들의 상호작용에 의하여 시간의 함수로 전체 신경체계의 상태변화를 기술하며, 그 결과 지각 경험의 역동성을 예측한다. 이와 관련한 대표적인 현상이 다양한 시각 영역(domain)에서 관찰되는 이력현상(hysteresis)이다.

이력현상은, 물리학에서 어떤 물리량이 그때의 물리조건만으로는 일의적으로 결정되지 않고, 그 이전에 그 물질이 경과해 온 상태의 변화과정에 의존하는 현상으로 알려져 있는 것인데, 시지각에서도 이 현상은 광범위한 영역에서 보고되어 왔다. Wilson(1977)은 약간 다른 공간주파수로 구성된 두 짜인격자(sinusoidal grating)를 양 눈에 각기 제시하며, 한 격자의 휘도대비(contrast)값을 고정한 채 다른 격자의 휘도대비값을 체계적으로 증가시키면 평면격자의 지각이 특정 휘도대비값에서 급작스럽게 기울어진 격자로 지각됨을 발견하였다. 반면, 휘도대비의 차이가 체계적으로 감소할 때는 기울어진 격자의 지각에서 특정 휘도대비값에서 급작스럽게 평면의 격자로 지각 경험이 변화하는 지점의 휘도대비값이 다름을 보고하였다. 즉, 평면격자에서 기울어진 격자로 지각변화를 일으키는 상황에서의 휘도대비값이 반대의 지각변화를 일으키는 상황에서의 휘도대비값보다 컸다. 이는 선형성 신경체계의 처리특성으로는 설명될 수 없는 현상이다.

한편, Williams와 동료들(Williams, Phillips & Sekuler, 1986)은 점들로 구성된 시각장에서 자

유방향 운동을 하는 점들의 비율을 서서히 감소시키고 상대적으로 일정방향으로 움직이는 점들의 비율을 증가시키며 관찰자들이 시각장의 무선점들이 국소운동을 하는 것으로 지각하는지 아니면 응집하여 특정방향으로 움직이는 것으로 지각하는지를 연구하여, 격자의 휘도대비값에 따라 깊이지각이 달라지는 상황에서와 같은 이력현상이 관찰됨을 보고하였다. 국소운동에서 응집운동으로 지각변화를 이루는 시점의 응집운동점들의 비율이 응집 운동에서 국소운동으로 지각변화를 이루는 시점의 응집운동점들의 비율보다 높았다. 또한 Kelso (1995)는 점패턴의 국소위치 상관률을 변화시키며 무형태 무선점 패턴과 Glass패턴 사이의 범주판단을 연구하여 두 형태의 지각변화에 요구되는 점들의 국소위치 상관률이 무형태에서 Glass패턴으로 지각변화 될 때와 Glass패턴에서 무형태 패턴으로 지각될 때 각기 다름을 보고하였는데 이는 형태지각에서의 이력현상에 이다.

자극을 구성하는 패러미터의 변화에도 불구하고, 이전 지각경험의 영향에 따른 변화에의 저항으로 기술할 수 있는, 시지각에서의 이력 현상은 시각정보처리의 비선형성을 잘 반영해주는 현상이며 또한 시각체계의 역동성과 적응과정이 표출되는 것으로 볼 수 있다. 이런 특성은 최근 얼굴자극의 범주화과정에서도 보고 된 바 있다(Kim, 2002). 얼굴자극을 이용한 범주화 연구가 이전에 없었던 것은 아니지만, 이전까지의 연구는 주로 선을 이용한 그림얼굴이었고 얼굴의 구분에 포함되는 자극차원의 통제가 없었을 뿐 만 아니라 정적 범주화과정이 연구의 초점이었다(예, Fisher, 1967). 이에 반해, 최근 시과학 연구에 소개된 37개의 지각차원에서 수량적으로 정확히 얼굴들의 변형

을 가능하게 하는 방사주파수 합성얼굴 자극은 얼굴 자극에 대한 범주화 과제에 잘 부합한다(Wilson, Loffler, & Wilkinson, 2002). Kim은 방사주파수를 이용하여 두 개인의 실제 얼굴에서 각각의 방사주파수 합성얼굴을 생성하고 이 두 개의 합성얼굴 사이에 15개의 변형얼굴을 구축하였다. 그리고 이들을 순차적으로 한 얼굴에서 다른 얼굴로, 또 그 반대순서로 순차적으로 제시하며 얼굴의 범주화가 일어나는 위치를 측정하였다. 얼굴자극의 예는 본 연구의 실험에 사용된 것과 같아 방법의 기술에 포함하였다. 실험의 결과는 그림 1에 정리되어 있는데, 앞서 수행된 다른 시지각 영역에서 보고된 이력현상이 얼굴범주화에서도 관찰됨을 알 수 있다. 즉, 1번 얼굴로부터 순차적으로 제시한 올림차순의 경우 물리적 중간얼굴인 9번 얼굴을 지나 범주화가 일어나고, 17번 얼굴로부터 제시한 내림차순의 경우에도 9번 얼굴을 지나 범주화가 일어남을 측정하였다. 본 연구는 인지행동실험에서 관찰된 이 얼굴범주화에서의 이력현상의 배후 뇌 기제를 fMRI측정을 통해 직접 규명하고자 수행되었으며, 초기 시각영역과 FFA활동 변화의 분석에

목적은 두었다.

방 법

실험참여자 KAIST에 재학 중인 12명(남 7명, 여 5명, 평균연령 20.5세)의 오른손잡이 대학생이 실험 참여에 대한 수당을 받고 참여하였다. 모든 참여자들은 fMRI 실험에 적합하지 않은 신체적, 정신과적 특성을 보유하지 않았다고 보고하였다.

자극 재료 실험에 사용한 방사주파수 합성얼굴의 생성 방법은 다른 논문에서 찾을 수 있는데(Wilson et al., 2002; 김정훈, 김초복, 2003), 본 연구에서는 서양인과 한국인 남성, 서양인과 한국인 여성, 한국인 남성과 여성, 서양인 남성과 여성에서 각각 한 개인의 얼굴을 무선적으로 선택하여, 이 두 개인의 얼굴로 합성얼굴을 생성하고(그림 2에서 1번과 17번 얼굴, 서양인과 한국인 남성의 예), 이 두 축 얼굴들 사이에 37 지각 차원에서 등 간격의 15개 얼굴을 새로 구축하였다(그림 2에서 얼굴번호 2에서부터 16번).

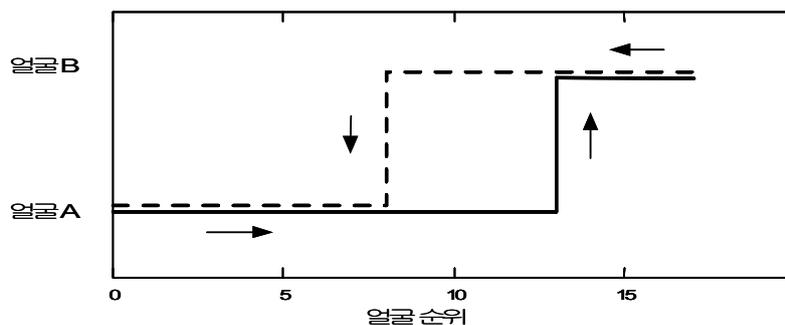


그림 1. 인지행동실험에서 관찰된 얼굴범주화과제에서의 이력현상. 그림에서 실선은 올림차순에서의 범주화 반응, 점선은 내림차순에서의 범주화 반응, 그리고 화살표는 제시 방향을 나타낸다.

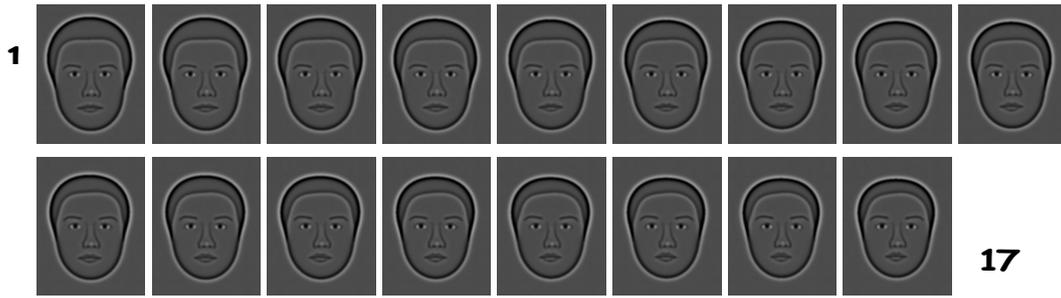


그림 2. 실험에 사용된 합성얼굴 자극. 1번과 17번의 합성얼굴을 기준으로 15개의 변형얼굴을 보여준다.

절차 본 실험에 앞서 FFA(fusiform face area) 영역을 결정하기 위해 실제얼굴과 대상사진자극을 이용한 사전 측정을 통하여 방사주파수 합성얼굴을 인식할 때 활성화가 일어남을 관찰하여 ROI를 결정하였다(Kanwisher, McDermott & Chun, 1997; Grill-Spector, 2003). 첫 번째 실험(그림 3, 순차제시조건)에서 실험참가자들은 먼저 두 축 얼굴이 좌우에 함께 제시되는 화면을 12초 동안 본 후, 축 얼굴들과 변형 얼굴들을 포함 모두 17개의 얼굴자극이 각 얼굴 자극 당 3초씩 순차적(얼굴번호의 올림 혹은 내림순)으로 제시되는 화면을 보았다. 각 얼굴 사이에는 12초 동안 십자모양의 초점자극을 제시하였다. 실험참가자는 순차적으로 제시되는 얼굴들에서 현재 제시된 얼굴이 직전에 제

시된 얼굴과 완전히 다르다고 생각될 때, 마우스를 누르도록 지시 받았다.

두 번째 실험은 실험참가자들의 반응이 뇌 활동분석에 요구되는 두 조건으로 이루어졌다(그림 4, 독립쌍 제시조건). 첫 번째 조건에서는 두 축 얼굴이 좌우에 함께 보이는 화면을 12초 동안 제시하고, 다음에 한 시행에서는 첫 번째 실험에서 각 실험참가자가 제시되었던 두 개인 얼굴에 대하여 범주화를 이루었을 때의 얼굴자극(범주얼굴-실험참가자가 모두 동일한 얼굴에서 범주화를 하지 않았음)을 3초 동안 제시하여, 이 얼굴이 직전에 제시하였던 두 축 얼굴들 중 어느 얼굴에 더 가깝거나 같다고 판단하는지를 마우스의 왼쪽 혹은 오른쪽 단추를 눌러 반응하도록 하였다. 두

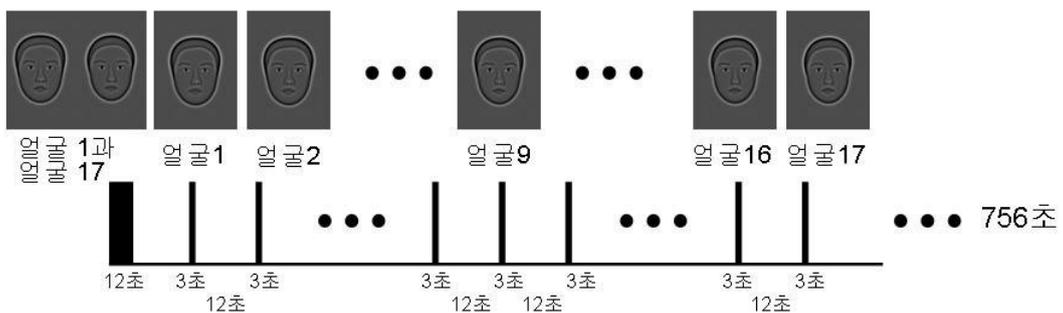


그림 3. 순차제시조건절차

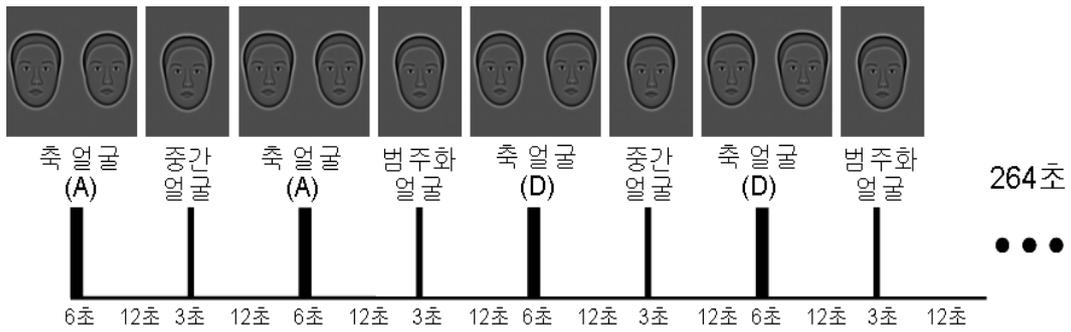


그림 4. 독립쌍 제시조건의 절차 (A: 올림차순의 1, 17; D: 내림차순의 17, 1)

번째 조건에서는 첫 번째 실험에서 각 실험참가자가 반응한 범주얼굴과, 이 범주얼굴 자극과 출발 축얼굴(올림차순의 경우 얼굴 1, 내림차순의 경우 얼굴 17)의 중간거리의 얼굴 자극(중간얼굴)을 3초 동안 제시하여, 역시 이 얼굴이 이전에 제시하였던 두 축얼굴들 중 어느 얼굴에 더 가깝거나 같다고 판단하는지를 마우스의 왼쪽 혹은 오른쪽 단추를 눌러 반응하도록 하였다. 이 실험 절차를 통해 순차제시조건과 독립쌍 제시조건의 뇌활성화가 동일한 물리적 자극임에도 불구하고 서로 다른 변화를 보인다면, 이는 이력현상의 배후기제를 설명할 수 있는 증거로 해석될 수 있을 것이다.

fMRI 실험은 KAIST fMRI 센터에 있는 3.0T MRI 시스템(Oxford magnet, Varian console magnet built up by ISOL)를 사용하였고, 30장의 기능적 영상 절편(EPI, echo-planer image slices)을 획득하였다(4mm, no gap). EPI 획득에 사용된 파라미터는 TR=3,000ms, TE=35ms, Flip angle=85°, Matrix size=64×64, FOV=220mm×220mm 였다.

전뇌(全腦)의 해부학적 영상으로 T1 강조영상을 수집하였으며, 영상 획득을 위한 파라미

터는 MPRAGE(multiplanar rapidly acquired gradient echo) 연쇄(sequence)를 사용하여 TR=10ms, TE=5.7ms, Flip angle=10°, Matrix size=256×256, FOV(field of view)=220mm×220mm로, 128개의 절편이 획득되었다. 획득된 영상은 BrainVoyager를 이용하여 분석하였다. 통계적 분석 이전에 절편 시간을 수정(slice time correction)하였고, 각 참여자의 머리 움직임으로 인한 EPI 불일치를 보정한 후(realignment), 신호 대 잡음비를 높이기 위해 smoothing(FWHM=8mm) 하였다. 모든 참여자의 뇌 영상은 AC-PC라인을 맞추는 후 Talairach 공간좌표에 맞추도록 표준화하였다(Talairach & Tournoux, 1988).

순차제시조건과 독립쌍 제시조건에서 신호 차이를 확인하기 위해 두 조건 모두 각 피험자가 다르다고 판단한 얼굴자극과 중간얼굴자극에 대한 V1, V4v, 그리고 FFA에서의 BOLD(blood oxygen level dependent) 신호를 확인하였다. 그림 5와 6은 각각 한 실험참여자의 FFA와 V4v 영역(각 영역의 Talairach좌표는 그림 설명에 포함)을 보여주고 있고, 아울러 그림 오른쪽에 각 영역에서 순차제시조건과 독립쌍 제시조건에서의 BOLD 신호 변화를 예시하였다.

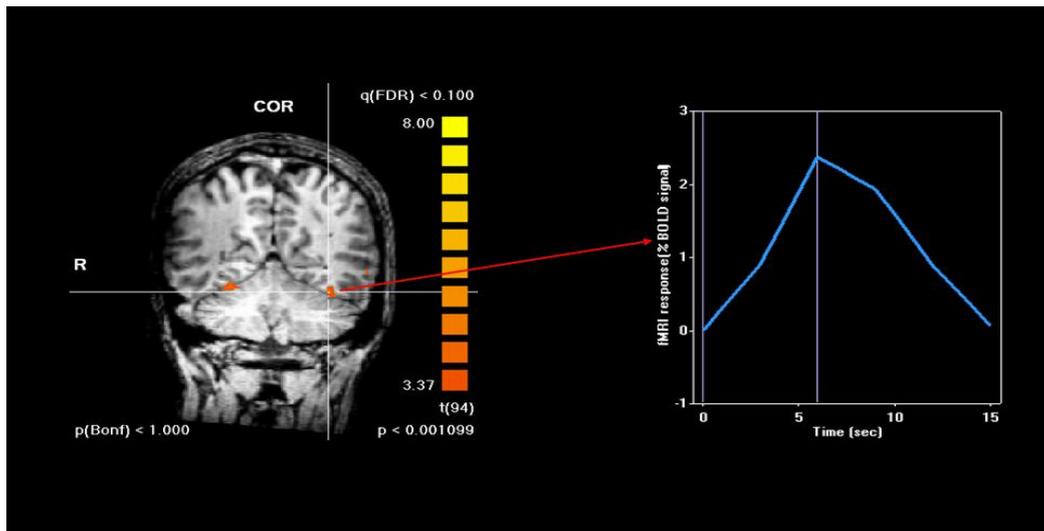


그림 5. 순차제시조건에서 FFA(-34,-53,-20)의 활성화와 BOLD 신호의 예

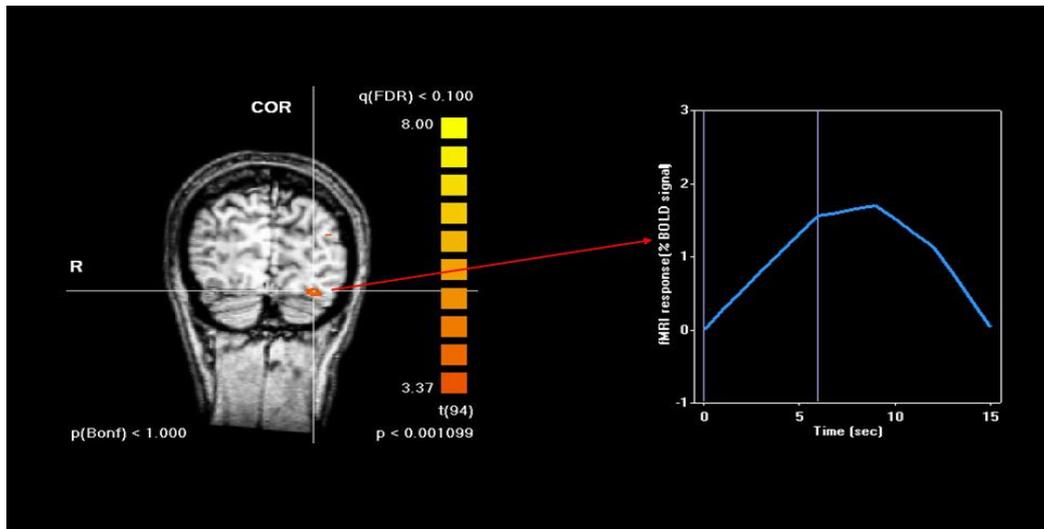


그림 6. 독립쌍 제시조건에서 V4v(-26,-81,-18)의 활성화와 BOLD 신호의 예

결 과

본 실험의 순차제시조건에서의 행동반응을 분석한 결과, 얼굴범주화 과정에서 인지행동 연구에서처럼 이력현상이 관찰됨을 확인하였

다. 즉, 출발 측 얼굴에 관계없이 변화된 얼굴의 판단은 두 측 얼굴간의 중간 변화점을 넘어서 일어났다. 이는 출발 측 얼굴에서부터 평균 11번째 얼굴로서 측 얼굴로부터 약 14% 변형된 얼굴이고, 이 결과는 인지행동실험에

서의 반응패턴과 유사한 것이다. 이 수치는 사용한 합성얼굴의 얼굴변별역으로 측정된 약 4~7% 변형보다는 큰 값으로, 본 실험에서의 범주화과정은 변별과는 다른 과정이 개입됨을 알 수 있다(Wilson et. al., 2002). 또, 본 실험에 내재될 수 있는 실험참가자의 과잉반응(overshoot)경향성(실제 범주화가 일어난 후에 제시된 얼굴에 반응하는 경향성 - 이로 인하여 올림차순과 내림차순에서 범주화의 시점이 달라질 수 있고, 이것이 이력현상의 크기에 영향을 줄 수 있다)은 개별얼굴의 판단에 요구되는 반응시간이 약 500 ms이내인 점(pilot 실험에서 관찰)을 고려하면 관찰된 이력현상의 파악에 큰 영향을 주지는 않았을 것으로 판단된다. 그림 7에 순차제시조건시 올림차순의 경우 FFA에서 관찰되는 뇌 활동을 계열적으로 정리하였는데, 출발 측 얼굴과 다른 얼굴 범주판단이 일어나기 이전과 이후에 대한 뇌 영역의 활동 차이가 FFA에서 측정됨을 알 수 있다(그래프에서 열은 색 막대 중 오른쪽이 범주화의 시점). 또한, 그림 7에서 관찰할

수 있듯이, V4v의 경우에는 참여자가 범주화를 이루기 전까지 동일한 정도의 신호강도를 지속적으로 나타내지만, FFA의 timecourse 자료는 시각적 판단으로도 범주화를 이루기 전까지 신호강도의 분명한 감소를 보여주고 있다. 이는 얼굴인식 연구에서 흔히 구별되는 얼굴 변별과 얼굴범주화 과정 모두에서 FFA가 주요한 역할을 수행하고 있음을 시사하는 것이다 (cf. Kanwisher, 2000).

순차제시조건과 독립쌍 제시조건 각각에서 범주얼굴과 중간얼굴에 대한 BOLD 신호변화의 최고점(peak) 값의 차이가 있는가를 t-검증하였다. 그 결과, 순차제시조건에서 FFA에서 범주얼굴(1.697%)의 신호변화값이 중간얼굴(0.934%)보다 유의하게 높았다($t_{(11)}=3.798, p<.01$). 그러나 V4v에서 범주얼굴(1.498%)과 중간얼굴(1.444%)의 차이는 유의하지 않았다($t_{(11)}=.408, n.s.$). 또한 V1에서도 두 얼굴조건(범주얼굴, 1.429%; 중간얼굴, 1.301%)간 차이가 없었다($t_{(11)}=1.467, n.s.$). 반면, 독립쌍 제시조건에서는 V1 및 V4v 뿐만 아니라, FFA에서도 신호변

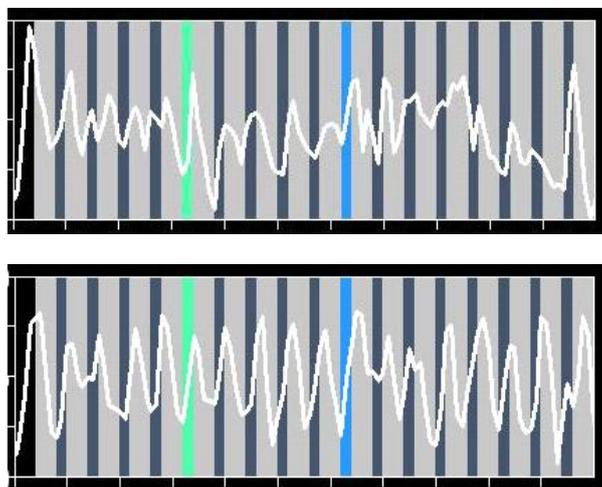


그림 7. 순차제시조건에서 FFA(위)와 V4v(아래)의 신호강도 변화

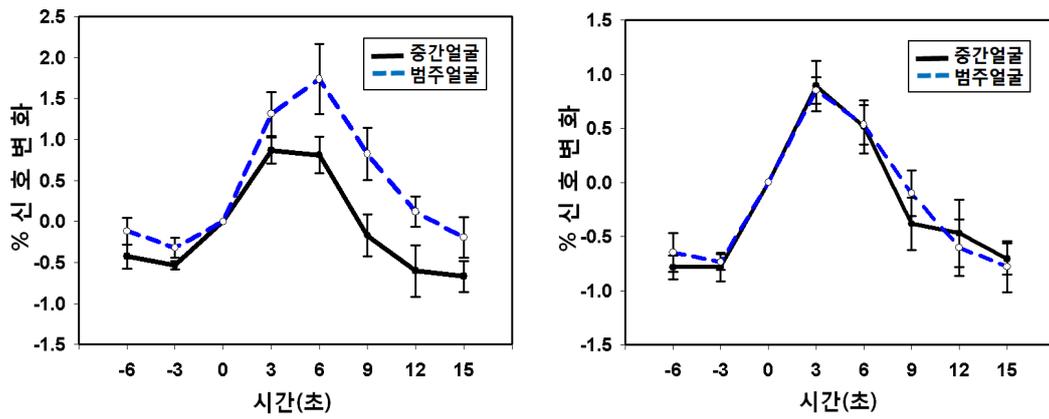


그림 8. 순차제시조건(좌)과 독립쌍 제시조건(우)의 FFA에서의 BOLD 신호

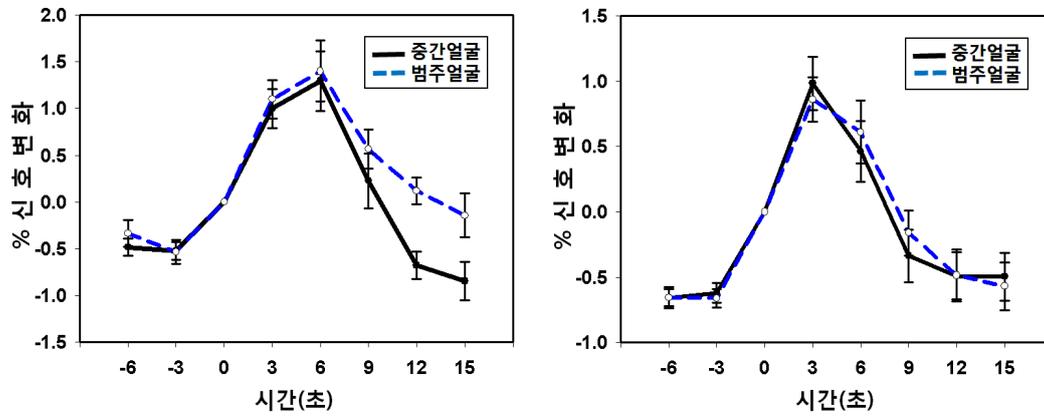


그림 9. 순차제시조건(좌)과 독립쌍 제시조건(우)의 V4v에서의 BOLD 신호

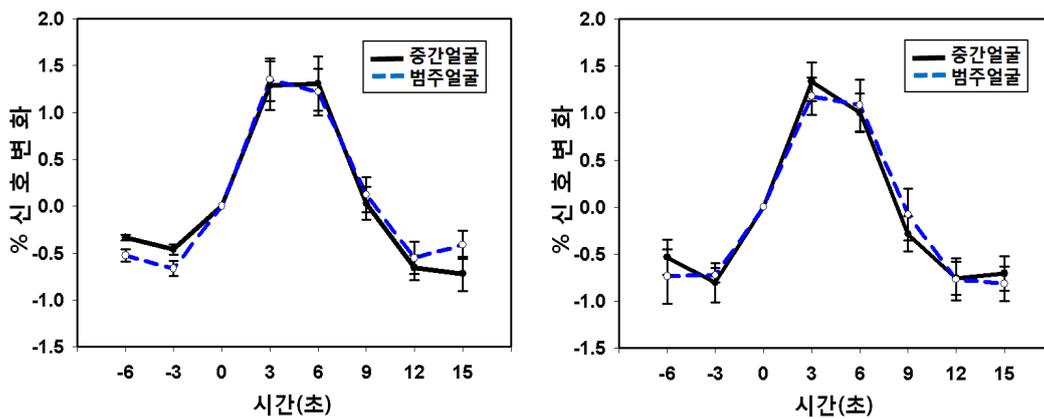


그림 10. 순차제시조건(좌)과 독립쌍 제시조건(우)의 V1에서의 BOLD 신호

화의 최고값에 대한 차이가 유의하지 않았다. 즉, FFA의 경우 범주얼굴 0.969%, 중간얼굴 1.045% 였고[$t_{(11)}=.695$, n.s.], V4v에서도 범주얼굴 0.831%, 중간얼굴 0.966% 였으며[$t_{(11)}=1.140$, n.s.], V1의 경우에도 범주얼굴 1.232%, 중간얼굴 1.412%로 차이가 없는 것으로 나타났다 [$t_{(11)}=-1.370$, n.s.].

본 연구에서는 얼굴범주화 시의 뇌 활동변화를 보다 구체적으로 규명하고자 두 번째 실험인 독립쌍 제시조건을 설계하였다. 이 조건은 순차제시조건에서 범주화가 일어났을 때의 얼굴(범주얼굴)에 대한 뇌 활동의 패턴이 순차적으로 제시되는 얼굴의 처리과정 특성에서 비롯되는 것인지, 즉, 이력현상을 반영하는 것인지, 아니면 단지 그 범주얼굴에 대한 독특한 반응양상인지를 규명하기 위한 것이었다. 이를 위해, 범주얼굴을 순차적으로 제시하는 계열에서 분리하여 독립적으로 제시하고, 이를 임의로 선택한(중간얼굴) 얼굴에 대한 뇌 활동과 차이가 있는지를 조사하였다. 두 경우 모두 실험참가자는 첫 번째 실험에서와 같이 제시되는 얼굴(범주 혹은 중간얼굴)이 직전에 제시된 축 얼굴 쌍 중 어느 얼굴과 유사한지를 반응하도록 요구받았다. 이 독립쌍 제시조건에서의 BOLD 신호의 변화를 앞서 수행된 순차제시조건에서 각 범주얼굴과 중간얼굴에 대한 BOLD 신호와 여러 뇌 영역에서 비교하였다.

그림 8, 9, 10에 두 제시조건에서 대응되는 두 얼굴, 즉 첫 번째 실험에서 범주화를 이룬 얼굴과 실험자가 선택한 중간얼굴에 대한 V1, V4v, 그리고 FFA에서의 각 뇌 영역에서의 BOLD 신호 변화를 요약하여 제시하였다. 각 그림에서 왼쪽이 순차제시, 오른쪽이 독립쌍 제시조건에서의 신호변화이다. 독립쌍 제시조

건에서는, 관심 가진 모든 뇌 영역에서의 신호 변화가 범주얼굴과 중간얼굴에 대하여 차이가 없었던 것과는 달리, 순차제시조건에서는 FFA영역에서 범주얼굴에 대한 신호가 중간얼굴에 대한 신호 강도보다 강한 것으로 관찰되었다. 즉, 관찰된 범주얼굴자극에 대한 뇌 활동의 특성은 순차적으로 제시되는 과정, 이력현상의 반영이지 특정얼굴에 대한 반응에 기인한 것은 아님을 알 수 있다. V1과 V4v영역에서의 신호강도에서의 차이가 순차제시조건과 독립쌍 제시조건에서 범주얼굴과 중간얼굴에 대하여 관찰되지 않는 것은 이 영역들이 얼굴의 자극의 초기처리과정에 관여할 뿐 범주화과정에 관여하지 않음을 시사하고, 그리고 이력현상 장소의 후보는 아닐 것임을 나타낸다.

논 의

본 연구에서 관찰한 결과는 얼굴인식에서의 이력현상이 다른 시각 영역(형태, 운동, 깊이)에서의 경우와 마찬가지로 유사한 자극이 순차적으로 제시될 때 시각체계의 적응과정으로 발생한다는 점을 보여주는 것이며, 이 시각 과정에 FFA영역이 관여하고 있음을 시사하는 것이다. 본 연구에서는 분석 대상을 초기시각 영역과 FFA로만 한정하였으나, 지각현상에 고차연합영역(전전두엽, 전대상회, 두정엽 등)의 영역이 관련되는 것은 많은 연구들에서 보고하고 있다. 지각범주화과정에서의 뇌영역 활성화를 연구한 Heckeren 등(Heckeren, Marrett, Bandettini, & Ungerleider, 2004)의 연구도 그러한 연구들 중 하나인데, 이 연구에서 범주화과정시 전두엽영역과 시각영역의 활성화를 함께 보고하고 있다. 이 연구자들은 두 영역간

feedback과 feedforward의 상호작용(혹은 large-scale synchronization)을 통해 범주화가 이루어지는 점을 강조하며, 특히 주의과정에 관여하는 전두정엽영역들의 활성화를 보여주고 있다. 물론 전두영역의 기능이 초기 시각영역에 대한 통제(control)인지, 반응예비(expectation)인지, 아니면, 시각영역 활성화에 대한 촉발(triggering)인지는 논쟁점일 수 있으나, 시각영역과 전두정엽영역의 상호작용을 통해 지각판단결정이 이루어짐을 시사하고 있다. 이 문제는 향후의 연구에서 계속 밝혀져야 할 점으로 보며, 본 연구에서는 시각영역 이외의 다른 뇌영역들이 얼굴 범주화 과제에 작용하겠지만, FFA가 기존의 얼굴인식 연구에서 보여준 여러 현상들과 함께 범주화에 관여하며, 그리고 적응(neural adaptation)과정을 보인다는 점을 확인한 것에 의의가 있다.

얼굴인식에서의 FFA의 역할에 대한 한 논쟁점은, 이 영역이 얼굴자극의 처리에 특수한 단일적 뇌 영역인지(Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; Kanwisher, 2000), 아니면 전문가 수준으로 학습된 대상의 인식에 관여하는 영역인지(Gauthier & Tarr, 1997, 2002; Gauthier, Williams, Tarr, & Tanaka, 1998; 김정훈, 김초복, 전하정, 문성실, 2005; Kim, Kim, Moon, & Jeon, 2005; Bukach, Gauthier & Tarr, 2006)에 관한 것이었다(최근의 논쟁과 관련하여서는 Grill-Spector, Sayres & Ress, 2006; Haxby, 2006 참조). 이 논쟁에서 종종 양쪽의 주장을 엇갈리게 하는 점 중 하나가 사용한 과제의 상이성이었다. 즉, 얼굴변별과제와 얼굴범주화과제에 대한 차이점이었다. 그러나, 실험결과에서 논의하였듯이, 흔히 얼굴인식에서의 변별과 범주화 과정에 대한 FFA영역의 역할에 대하여 구분하여야 한다는 주장은 본 연구에서 지지되지 않았

다. 본 연구가 FFA의 얼굴특수-자극일반 영역에 대한 논쟁을 해결하는 것은 아니나, 연구의 결과는 FFA가 알려진 얼굴변별과정뿐 아니라 얼굴범주화과정에도 밀접히 관련되어 있음을 보여주고 있다.

신경원들 간의 흥분과 억제상호작용을 반영한 신경역동모형은 시지각의 여러 현상을 잘 설명할 수 있는데, 특정 뇌 영역에서의 얼굴 반응세포들 간의 활동망에 대한 지식이 축적되면 본 연구에서 관찰된 얼굴범주화에서의 이력현상도 잘 모형화할 수 있을 것으로 기대된다. 서론에서 기술한 무선점들의 운동방향 탐지(Williams 등, 1986)와 휘도대비값의 변화에 따른 싸인격자의 깊이지각(Wilson, 1977)에서 관찰된 이력현상에 대하여, 각 연구자들은 상호 흥분과 억제의 특성을 갖는 신경원들의 관계를 비선형 미분방정식에 기초한 신경역동모형을 제시하며 신경체계의 작동을 설명하고자 하였다. 이들의 신경모형에 공통적으로 포함된 미분방정식의 이해는 다른 논문에서 상세히 다룬 바 있다(김정훈, 2002). 이를 얼굴자극에 반응하는 신경원들의 상호억제관계로 확장해 보면, 그림 11에 예시한 모형을 생각할 수 있다. 모형에서 화살표 머리는 흥분관계를, 원 머리는 억제관계를 나타낸다. 먼저, 안쪽 신경망은 개별 얼굴 반응신경원간의 억제적 관계를 나타낸 것으로, 얼굴 반응신경원간의 상호억제의 결과 Winner-Take-All에 의해 한 얼굴 반응신경원의 활동만이 남게 되어 한 개별 얼굴의 인식에 이르는 과정을 모형화한 것이다. 바깥쪽의 활동망은 유사한 얼굴들의 순차적 제시로 인하여 활성화하는 억제신경원이 안쪽 신경망의 얼굴 반응신경원간의 상호작용에 영향을 주어, 소위 “탈억제에 의한 흥분관계(excitation via disinhibition)”를 일시적으로 생

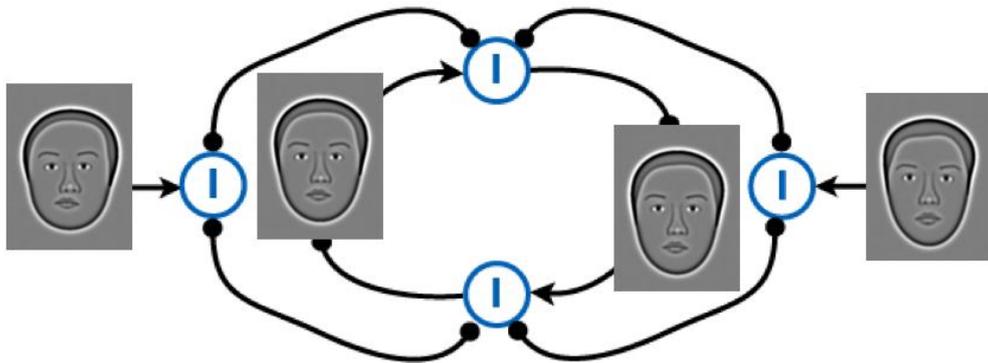


그림 11. 얼굴범주화과정에서의 이력현상을 설명할 수 있는 신경모형의 예

성시킴으로 말미암아 본 연구에서 관찰된 얼굴범주화에서의 이력현상을 예측할 수 있음을 모형화한 것이다. 이 모형의 구체적 실현은 앞서 기술하였듯이 얼굴 반응신경원의 특성과, 이들 간의 관계를 수치화할 수 있는 연구들이 축적되어야 할 것이지만, 본 논문의 한 심사자의 제안에 따라 얼굴범주화의 이력현상을 어떻게 신경역동모형으로 설명할 수 있는가를 개념적으로 보여주기 위하여 이곳에 소개하였다.

참고문헌

- 김정훈 (2002). 역동적 지각범주화. 한국실험 및 인지심리학회 여름학술대회발표논문집, 7-11.
- 김정훈, 김초복 (2003). 얼굴인식에 있어 방사 주파수 정보의 뇌 실재성. 한국심리학회지: 실험, 15, 561-577.
- 김정훈, 김초복, 전하정, 문성실 (2005). 전문가 학습과정에 의한 얼굴과 대상인식. 한국심리학회지: 실험, 17, 343-362.
- Bukach, C. M., Gauthier, I. & Tarr, M. J. (2006). Beyond faces and modularity: the power of an expertise framework. *Trends in Cognitive Science*, 10, 159-166.
- Ding, J. & Sperling, G. (2006). A gain-control theory of binocular combination. *Proceedings of Natitonal Academy of Science*, 103, 1141-1146.
- Fisher, G. H. (1967). Measuring ambiguity. *American Journal of Psychology*, 80, 541-547.
- 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., Williams, P., Tarr, M. J., & Tanaka, J. (1998). Training "Greeble" experts: A framework for studying expert object recognition processes. *Vision Research, Special issue on "Models of Recognition"*, 38, 2401-2428.

- Grill-Spector, K. (2003). The neural basis of object perception. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 1-8.
- Grill-Spector, K., Sayres, R., & Ress, D. (2006). High-resolution imaging reveals highly selective nonface clusters in the fusiform face area. *Nature Neuroscience*, 9, 1177-1185.
- Haxby, J. V. (2006). Fine structure in representations of faces and objects. *Nature Neuroscience*, 9, 1084-1086.
- Heekeren, H. R., Marrett, P. A., & Ungerleider, L. G. (2004). A general mechanism for perceptual decision-making in the human brain. *Nature*, 431, 859-862.
- Kanwisher, N. (2000). Domain specificity in face perception. *Nature Neuroscience*, 3, 759-763.
- 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.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns*. MA: MIT press.
- Kim, J. (2002). Dynamics of face categorization, *Lecture Notes in Computer Science*, 2525, 511-518.
- Kim, J., Kim, C., Moon, S-S., & Jeon, H. (2005). A single recognition system for faces and objects in expert-based experiments using synthetic stimuli. *Annual meetings of Vision Science Society*, Sarasota, Florida.
- Port, R. F. & van Gelder, T. (1995). *Mind as Motion*. MA: MIT press.
- Talairach, J. & Tournoux, O. (1988) Co-planar stereotaxic atlas of the human brain, New York: Thieme.
- Williams, D., Phillips, G., & Sekuler, R. (1986). Hysteresis in the perception of motion direction as evidence for neural cooperativity. *Nature*, 324, 253-255.
- Wilson, H. R. (1977). Hysteresis in binocular grating perception: contrast effects. *Vision Research*, 17, 843-851.
- Wilson, H. R., Loffler, G., & Wilkinson, F. (2002). Synthetic faces, face cubes, and the geometry of face space. *Vision Research*, 42, 2909-2923.

1 차원고접수 : 2006. 11. 27

최종게재결정 : 2007. 3. 28

Hysteresis and BOLD Change in Face Categorization

Jeounghoon Kim

School of Humanities & Social Sciences
KAIST

Chobok Kim

Department of Psychology
New Mexico State University

Using fMRI, we have investigated the underlying brain mechanism for hysteresis effect revealed in face categorization. Selective activation of human brain areas, V1, V4v, and FFA to sequentially presented synthetic faces has been measured. There was a strong activation in FFA for categorizing faces, while there was no difference in activation in V1 and V4v. These results indicate that FFA might be closely related with the processing of face categorization, in addition to various face-specific information processing.

Keywords : hysteresis, fMRI, FFA, face categorization