

시각적 평균 표상의 신경기제*

정 상 철¹⁾²⁾ 신 길 호¹⁾ 조 신 호¹⁾

¹⁾연세대학교 대학원 인지과학 협동과정

²⁾연세대학교 심리학과

시각 장면은 중복적인 정보가 많이 포함되어 있다. 우리의 시각체계는 다양하고 중복적인 정보를 처리하기 위해 뇌 용적을 늘이기 보다는 들어오는 외부 정보를 요약한다. 유사한 형태의 다양한 정보가 시각체계에 주어지면 시각체계는 정보의 통계적 특성을 추출해 낸다. 이런 통계적 표상의 대표적 형태가 바로 평균 표상이다. 평균 표상의 한 예로 시각 체계에서 계산해 내는 유사한 여러 크기들의 평균 크기를 들 수 있다. 평균 표상은 빠르고 정확하며 비교적 오랜 시간 지속되는 표상이고 평균 표상의 처리과정 또한 병렬적인 처리과정이다. 하지만 지금까지의 통계 표상에 관한 연구는 행동측정방법에 의한 연구였다. 따라서 본 연구는 기능적 자기 공명 영상 기법을 사용하여 통계 표상에 관한 신경기제를 찾고자 하였다. 사전 연구 결과들에 따르면 특정 자극을 연속하여 제시하였을 때 특정 자극을 담당하는 영역에서 자기 공명 영상 신호가 감소함을 알 수 있다. 본 연구에서는 이 반복 감소 현상을 사용하여 원들의 평균이 동일한 자극을 제시하였을 때 우측 후두 영역에서 유의미하게 자기 공명 영상 신호가 감소하는 것을 발견하였다. 이것은 우측 후두 영역이 시각자극에 대한 평균 표상을 처리하는 영역일 수 있음을 시사한다.

주요어 : 기능적 자기 공명 영상, 통계표상

* 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-101039003-2007-8-0746).

† 교신저자: 정상철, 연세대학교 심리학과, 연구세부분야: 인지심리

E-mail : scchong@yonsei.ac.kr

만약 시각 체계가 외부의 중복적인 정보를 모두 처리한다면 지금보다 더 많은 뇌 영역이 시각 정보를 처리하는데 필요할 것이다. 하지만 뇌는 다양한 형태의 정보를 처리하기 위해 영역 간 연결은 다양하게 할지라도 전체적인 부피는 최소화 되도록 유지한다[1]. 이러한 원칙을 반영하기 위하여 우리 뇌는 많고, 다양한 정보를 처리하도록 그 신경적 기반을 늘리는 것이 아니라 정보 자체를 적절한 형태로 가공하여 처리하는 방식을 택한다. 나아가 막대한 양의 외부 정보를 모두 처리한다면 그 정보들이 정보의 중요도에 상관없이 처리될 수 있고 그럴 경우 생존에 직결되는 중요한 정보를 시간 내에 처리하지 못할 수도 있다. Peterson 등은 사람이 모든 상황을 다 의식하여 처리 할 수 없고 상황 자체가 불확실하기 때문에 사람은 통계적으로 최적의 결정을 내린다고 하였다[2]. 그러므로 외부 정보를 적절한 형태로 가공하여 중요한 정보를 먼저 처리하는 능력은 생존에 있어서도 매우 중요하다.

통계적 표상은 많은 외부 정보들을 적절한 형태로 가공하여 중요한 의미를 갖는 표상으로 바꾸어 주는 대표적 뇌 기능이다. 통계적 처리 과정은 외부 자극의 중복되고 동일한 여러 정보를 하나로 통합하여 대표적인 정보로 가공하는 것이다. 가령, Ariely는 인간의 시각 체계가 외부 자극이 주어졌을 때 외부자극의 전체적인 통계적 특성을 추출해 낸다고 하였다[3].

통계적 표상의 대표적 예로는 평균 표상을 들 수 있다. 평균 표상은 흩어져 있는 유사한 형태의 자극들로부터 평균값을 계산하는 과정이다. 그림 1에서 보는바와 같이 화면상에 서로 다른 크기의 원들이 제시되면 시각 체계는 제시된 원들의 크기 평균값을 효율적으로 계산한다. Chong과 Treisman의 2003년 연구에 따르면, 원들의 집합을 좌우 시야에 제시하고 각 시야의 원집합 중 어느 쪽 평균이 더 큰지를 판별하는 과제에서 수행률은 자극의 제시 시간(50ms ~ 1000ms)에 영향을 받지 않았다. 또 자극이 제시되고 사라진 후 최대 2초 까지 지연 시간을 두었음에도 불구하고 평균 변별 과제 수행률은 영향을 받지 않았다. 이 두 결과가 시사하는 것은 평균 표상은 상당히 빨리 형성되며 또 비교적 오랜 시간 지속되는 표상이라는 것이다[4]. 또 Chong과 Treisman의 2005a에 의하면, 평균 계산은 평균 계산을 위한 원집합을 지시하는 단서가 원집합보다 먼저 제시되거나 사후에 제시되거나에 따라 수행률의 차이를 보이지 않았다[5]. 나아가, 통계 계산 과정은 이중과제수행

에 영향을 받지 않았다[6]. 이 결과들은 평균 표상이 자동적이며, 병렬적인 처리과정임을 시사한다[5][6]. 그러나 현재까지의 연구 결과를 종합해 보면, 통계 표상에 대한 연구는 주로 정신물리학을 사용한 행동 연구였으므로[3][4][5][6], 통계 표상의 신경기제 연구가 필요하다.

본 연구에서는 통계 표상의 신경기제를 밝히기 위하여 기능적 자기 공명 기록법(functional magnetic resonance imaging; fMRI)의 반복감소 효과를 이용하였다. 반복감소 효과란, 같은 형태의 두 자극이 연속적으로 제시되면 그 형태의 자극을 처리하는 영역의 활성화 정도가 감소하는 것으로 정의된다[7][8]. Grill-Spector와 Malach은 동일한 얼굴을 반복해서 보여 주었을 때 방추상회(fusiform gyrus)의 활성화 정도가 상이한 얼굴을 반복 제시하는 것보다 감소되는 것을 발견하였다[9]. 선행 연구들에 따르면 방추상회는 얼굴을 처리하는 영역으로 알려져 있으므로, 동일한 얼굴에 대하여 반복감소 효과가 발생하는 영역과 얼굴을 처리하는 영역이 일치함을 확인할 수 있다. 그러므로 어떤 영역에서 특정 자극들에 대한 반복감소 효과가 나타난다면 그 영역은 그 자극을 처리, 표상하는 영역으로 간주할 수 있다. 본 연구에서 참가자는 교대로 제시되는 두개의 서로 다른 자극을 과제 없이 관찰하였고, 그 동안 fMRI 스캐너는 참가자의 뇌 혈류량 변화를 기록하였다. 만약 개별 원 크기가 다를지라도 동일한 평균값을 갖는 두 원집합을 연속적으로 제시할 때 어떤 영역의 활성화 정도가 감소한다면 그 영역은 개별 원의 크기를 표상하기보다는 평균 크기를 담당하는 영역이라고 할 수 있을 것이다.

본 연구에 쓰인 자극의 조건은 그림 1에서 보는바와 같이 다른 평균-동일한 원 집합, 다른 평균-다른 원 집합, 동일한 평균-다른 원 집합 그리고 동일한 평균-동일한 원 집합 이렇게 4개의 조건을 사용하였다. 원의 평균 크기는 원들의 집합 안에서 추출하는 정보다. 같은 평균을 갖는 두 원집합이 같은 크기의 원들로 이루어져 있고 그 두 원집합을 연속적으로 제시하여 활성화 정도가 감소하는 영역을 발견한다면, 반복감소 현상이 평균 표상 때문에 발생한 것인지 동일한 원집합을 사용하였기 때문인지 알 수 없다. 실험에 쓰인 자극에서 개별 자극의 크기와 평균 크기는 독립적으로 변화되었다. 즉 같은 원들로 인해 발생하는 반복감소 현상이 아니라 동일한 평균 크기 때문에 반복감소 현상이 발생하는 영역을 찾고자 하였다. 만약 원의 평균 크기를 담당하는 영역이라면 개별 원들의 크기가 같거나 다르거나 상관

없이 동일한 평균을 가진 원들의 집합(동일한 평균-다른 원집합, 동일한 평균-동일한 원집합)이 연속적으로 제시되었을 경우 그 영역의 활성화 정도가 감소할 것이다.

본 실험에서 개별 원들의 크기에 상관없이 동일한 평균이 연속적으로 제시되었을 경우 우측 후두 영역에서 활성화 정도가 감소함을 발견하였다. 이것은 우측 후두 영역이 개별 크기를 표상하기 보다는 전체적인 자극의 평균을 표상한다는 것을 시사한다.

방 법

본 실험의 목적은 제시된 원집합들의 평균 크기를 계산하는 뇌 영역을 찾아내는 것이었다. 참가자들은 fMRI 스캐너 안에서 뇌영상이 촬영되는 동안 두개의 실험 자극이 교대로 제시되는 화면을 수동적으로 응시하였다. 동일한 자극이 반복적으로 제시되면 뇌의 활성화는 감소된다[7][8]. 본 연구는 이와 같은 반복감소 효과를 이용하여 개별 원의 크기는 변화하나 집합 평균은 동일한 원 집합을 반복 제시하여 뇌의 활성화가 감소되는 영역을 찾는 것을 목표로 하였다.

실험참가자

참가비를 지급받은 8명의 참가자가 본 실험에 참가하였다. 참가자들은 교정 또는 정상 시력이 모두 정상이었다. 이들 모두 정신적, 신경적 병력이 없었고, 참가 동의서를 작성 후 실험에 참여하였다.

실험자극

실험자극은 매킨토시 G3컴퓨터에 의해 작동되는 애플 17인치 모니터 화면에 제시되었고, 또 모든 시간 기능과 실험의 과정은 매킨토시 G3 컴퓨터에 의해 통제되었다. 참가자는 양안으로 화면을 바라보았고 참가자와 화면간의 거리는 대략 66

cm이었다. 이 거리에서 한 픽셀의 시각 크기는 대략 0.04° 이었다.

각 제시화면에는 크기가 다른 두 원이 6개씩 제시되었다. 그러므로 각 제시화면에는 총 12개의 원이 제시되었다. 각 제시화면은 한 셀의 크기가 가로, 세로 6.51° 인 가상의 5×5 행렬로 이루어져 있었다. 화면에 제시되는 각 원들의 위치는 이 가상행렬의 셀들중에서 무선적으로 선택되었으며, 그 후 선택된 셀의 중심 위치 자체도 약간의 무선적 변화가 있었다. 두 종류의 원집합이 실험에 사용되었는데, 두 집합에는 각각 2개의 크기가 다른 원들이 6개씩 포함되었다. 두 원집합을 구분하는 기준은 각 집합의 범위의 차이였다. 범위의 차이가 작은 집합에서는 작은 원의 크기가 2.02° 이었고 큰 원의 크기는 2.91° 이었으며 범위의 차이가 큰 집합에서는 작은 원의 크기가 1.30° 이었고 큰 원의 크기는 3.42° 이었다. 각각의 시행에서 모든 원들은 참가자들이 앞서 제시된 원들에 근거하여 판단하지 못하도록 작은 곱셈인자(multiplicative factor)를 무선적으로 곱하여 크기를 변화시켰다. 곱셈인자는 네 종류(1, 1.1, 1.2, 1.3)가 사용되었고 한 시행에서는 하나의 곱셈인자만이 크기를 변화시키는데 사용되었다. 한 시행에서는 동일한 곱셈인자가 사용되었으므로 집합을 정의하는 범위는 곱셈인자에 의해 변화하지 않았다.

설계

참가자는 이 실험에서 과제를 수행하지 않았다. fMRI스캐너에 의해 뇌영상이 획득되는 동안 참가자는 변화하는 제시화면을 수동적으로 응시하였다. 제시화면은 각각 12개의 원들로 구성되며 그 원들의 위치는 화면상의 5×5 가상 행렬에 무선적으로 제시되었다. 독립 변인은 두 개이었다. 첫 번째 독립변인은 연속적으로 반복되는 두 화면상에 제시되는 원 집합의 종류로서 그 종류가 두 화면에서 동일하거나(그림 1 (가), (라)) 상이하였다(그림 1 (나), (다)). 한 가지 염두해 두어야 할 사항은 원집합의 종류는 범위의 차이로 정의되었다는 사실이다. 두 번째 독립변인은 원집합 간 평균 크기의 변동 여부로서 평균 크기가 변하거나(그림 1 (가), (나)) 혹은 그렇지 않았다(그림 1 (다), (라)). 모든 변인은 참가자 내 무선화 되었다. 4개의 조건의 예가 그림 1에 제시되었다. 평균 크기가 변화하는 경우, 평균 크기가 큰 원 집합이 평균 크기가 작은 원집합보다 선행/후행하는 것은 무선적으로 결정되었다.

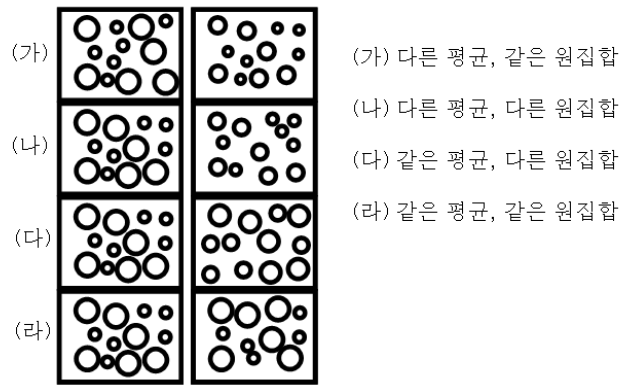


그림 1. 실험에 쓰인 자극의 조건별 예시

4개의 조건이 3종류의 서로 다른 기능적 자기 공명 영상 획득 세션에 배정되었고 각 세션은 2개의 조건으로 구성되었다. 첫 번째 세션은 원집합의 종류는 동일하였으나 원들의 평균 크기가 변화하는 조건(그림 1 (가))과 그렇지 않는 조건(그림 1 (라)) 2개로 구성되었다. 평균 크기가 변화하는 경우 두 평균간 차이는 1.04° 이었다. 두 번째 세션은 원집합의 종류가 서로 다르면서 평균 크기가 변화하는 조건(그림 1 (나))과 그렇지 않는 조건 2개(그림 1 (다))로 구성되었다. 세 번째 세션은 원집합이 동일하고 평균 크기의 변화가 없는 조건(그림 1 (라))과 원집합이 서로 상이하고 평균 크기의 변화가 없는 조건(그림 1 (다))으로 구성되었다.

기능적 자기 공명 영상 촬영의 예가 그림 2에 제시되었다. 실험 구획(experimental block)이 12.5초 동안 제시되고 그 사이마다 휴지구획(resting block)이 12.5초간 제시되었다. 한 구간(epoch)은 하나의 휴지구획과 하나의 실험구획으로 정의되었다. 한 주기(cycle)는 각각의 뇌기능 영상 촬영(functional scan)이 2개의 조건을 가지고 있으므로 두 개의 구간으로 이루어져 있다. 각각의 뇌기능 촬영은 시작 그리고 종료 휴지구획을 포함하여 4개의 주기로 구성되었다. 각 실험 구획은 319.9 ms동안 20번의 자극이 제시되었으며 자극 간 간격은 306.7 ms였다. 각 제시화면에서 제시되는 원들의 위치는 연속적인 제시화면에서 항상 무선적으로 다시 선택되었다. 무선적으로 다시 선택 시 제약조건이 있었는데, 그것은 연속적인 원의 크기가 동일하지 않도록 하는 것이었다. 이 제약 조건은 서로 다른 제시화면 간의 가현운동(apparent

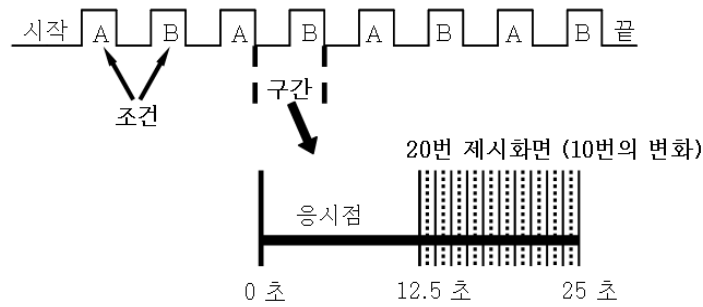


그림 2 기능적 자기 공명 영상 촬영과 한 구간의 예시 화면

motion)의 양을 각 위치별로 동일하게 유지하기 위해서였다.

참가자는 총 12번의 촬영에 참가하였다(세 종류의 제시화면 그룹(3) x 각 제시화면 그룹에서 두 조건이 제시되는 순서(2) x 반복(2)). 스캔의 순서는 참가자간에 무선적으로 제시되었다.

영상 획득 절차

기능적 자기 공명 영상 획득에 사용된 스캐너는 Princeton 대학 심리학과내의 Siemens사의 3.0T 뇌영상 촬영 전용(head-dedicated) MAGNETOM Allegra scanner이었다. 자극은 Macintosh G3에 의하여 생성되었으며 참가자의 머리 뒤쪽에 있는 투영막에 제시하였고, 이를 거울로 반사시켜 참가자가 볼 수 있도록 하였다. 획득된 기능적 자기 공명 영상은 24 oblique axial slices이었으며 절편두께(Slice thickness)는 4 mm, 절편간 간격 1mm, in-plane resolution은 3 x 3 mm이었다. 기능적 자기 공명 영상은 T2-weighted EPI를 사용하여 측정되었으며 그 변수들은 TR = 2500ms, TE = 40ms, flip angle = 90°이었다. 각 참가자로부터 12회 총 225초 동안 90개의 Volume의 기능적 자기 공명 영상이 획득되었다. 두뇌의 해부학적 구조 정보를 얻기 위하여 T1-MPRAGE scan을 실시하였다.

결 과

본 실험의 목적은 원집합의 개별 크기의 변화와 무관하게 집합의 평균 크기 변화에 반응하는 영역을 찾는 데 있었다. 8명의 참가자의 전체 뇌영상을 대상으로 일반화된 선형 모형(Generalized Linear Models) 분석을 통해 다른 평균의 조건(그림 4의 위 두 곡선)과 같은 평균의 조건(그림 4의 아래 두 곡선)으로 나누어 비교, 분석하였다. 분석 결과, 평균이 상이할 때 보다 동일할 때 우측 후두 영역(Talairach 공간 좌표 X, Y, Z: 27, -80, 2)에서 반복감소 효과가 통계적으로 유의미하게 나타났다($p < 0.000064$, 그림 3). 본 연구가 탐색적인 연구임을 고려하여 Bonferroni 사후검증

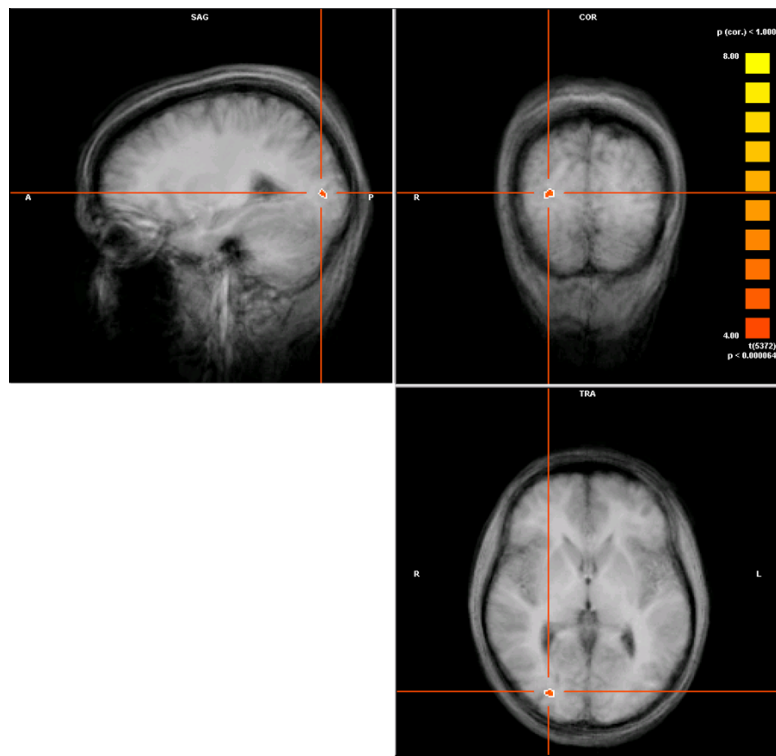


그림 3. 실험결과. 8명의 참가자의 fMRI 반응을 분석하여 반복감소 효과가 통계적으로 유의미한 영역을 표시하였다. 그림에서 보논바와 같이 우측 후두 영역에서 유의미한 감소현상을 보였다.

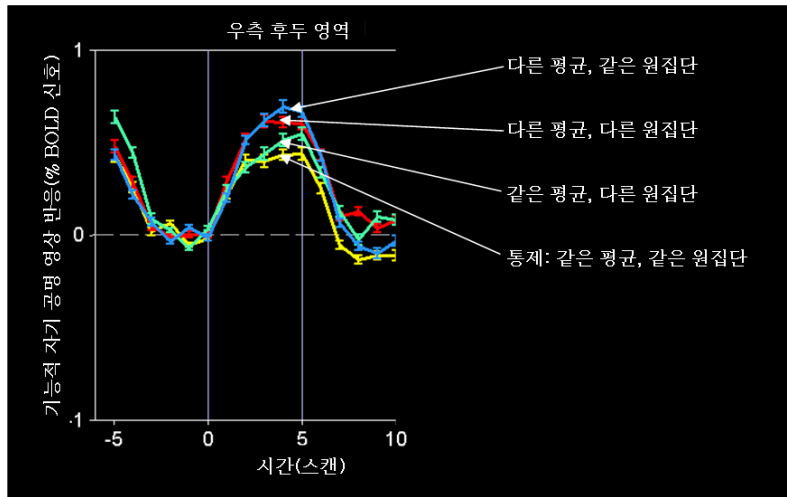


그림 4. 반복감소 현상을 보인 우측 후두 영역의 fMRI 반응을 각 조건별로 나누어 제시하였다. 같은 평균 조건들이 다른 평균 조건에 비해 신호 강도가 약하다.

방법을 사용하여 p 값을 수정하였다. 전체 참가자의 뇌영상을 대상으로 일반화된 선형 모형 분석을 통해 원집합의 차이에 따라 반응하는 영역이 있는지를 분석하였다. 분석 결과, 원집합의 차이에 따라 반응하는 통계적으로 유의미한 영역은 발견되지 않았다.

평균 크기에 대하여 반복 감소 효과를 보인 우측 후두엽 영역을 대상으로 사건 관련 평균분석(event related averaging)한 결과를 그림 4에 제시하였다. 주의할 점은 이 영역은 평균 크기에 대하여만 통계적으로 유의미한 차이를 보여준 영역이라는 것이다. 이 영역에서는 원집합의 차이에는 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 그림 4에서 보는 바와 같이 우측 후두 영역에서는 원집합의 종류가 동일하거나 상이하거나 상관없이 평균이 다른 경우 반복감소 효과가 나타나지 않았다. 그러나 원집합이 동일 여부와 상관없이 동일한 평균값을 가질 경우 우측 후두 영역에서 반복감소 효과가 나타났다.

평균 크기 계산은 크기 항등성이 해결된 후에 일어날 가능성이 높다[10]. Im과 Chong의 연구에 의하면 평균 크기 계산은 에빙하우스 착시에 영향을 받았다. 이

결과는 평균 크기 계산이 물리적인 크기를 대상으로 하기보다는 착시에 영향을 받은 지각된 크기를 대상으로 이루어진다는 것을 시사한다. 그러므로 본 실험에서 평균 크기에 대한 반복감소 효과가 나타난 우측 후두 영역도 지각된 크기를 반영할 가능성이 있다.

종합 논의

본 연구는 기능적 자기 공명 기록법의 반복감소 효과를 이용하여 시각적 통계 표상의 신경 상관 영역을 찾고자 하였다. 본 실험에서 쓰여진 조건은 다른 평균-동일한 원집합, 다른 평균-다른 원집합, 동일한 평균-다른 원집합 그리고 동일한 평균-동일한 원집합, 이렇게 총 4개이다. 개별 크기의 변화에 상관없이 동일한 평균을 갖는 원집합이 반복적으로 제시될 때 우측 후두 영역이 선택적으로 순응되어 활성화 정도가 감소하였다. 이 결과는 우측 후두 영역이 평균 표상과 관련있는 영역임을 시사한다.

정신물리학적 실험 결과에 의하면, 평균 표상의 특성은 빠르고 자동적이고 병렬적인 처리 특성을 갖는다[4][5][6]. 구체적으로 평균 크기 계산 과정은 계산 대상의 제시 시간에 영향을 받지 않으며[4], 계산 대상의 선택과정에도 영향을 받지 않는다[5]. 나아가 시각 탐색과제나 방위 판단 과제를 동시에 수행해도 평균 계산 능력이 감소하지 않는다[6]. 이런 평균 표상의 특성이 우측 후두 영역과 관련있는 이유는 후두 영역이 다른 시각 영역에 비해서 보다 직관적이고 빠르고 암묵적인 처리 과정을 담당하기 때문이다. 후두 영역은 하후두이랑(inferior occipital gyrus)이나 선조외피질(extrastriate cortex; V2, V4)같은 세부 영역으로 세분화된다. 이 중 선조외피질은 하측두피질(inferotemporal cortex)과 함께 외측슬상핵(LGN, Lateral Geniculate Nucleus)으로부터 직접 K-세포가 투사되는 영역이다[11]. P-경로나 M-경로에 비해 최근에 주목받기 시작한 K-경로는[12][13] M-경로나 P-경로와 달리 외측슬상핵으로부터 일차 시각피질을 거치지 않고 선조외피질로 직접 투사되기 때문에 K-경로를 통한 정보는 의식적으로 처리될 수는 없지만[14], 빠르게 정보를 처리할 수 있다는 장점이 있다. 또 K-경로를 통해 처리되는 정보는 제한된 양이긴 하지만 M-경로와

P-경로가 각각 갖고 있는 시간적, 공간적 정보를 같이 가지고 있으며[15], 통합된 정보를 사용하여 직관적으로 정보를 처리한다고 한다[14]. 이와 같은 여러 연구들을 통해서 볼 때, 후두 영역은 암묵적이고 직관적이며 빠른 정보 처리에 관여하는 영역이라 할 수 있고 자동적 처리 특성이 강조된 평균 계산 능력에 관한 연구 결과와도 잘 부합한다[4][5][6].

또 주의를 준 얼굴 자극과 주의를 주지 않은 얼굴 자극을 반복적으로 제시하고 fMRI 반응을 측정했을 때 우측 하후두 이랑에서 반복감소 효과가 나타났다[16]. 다시 말하면 우측 하후두 이랑에서는 주의의 유무와 상관없이 자극을 동일하게 처리한다는 것을 의미하며, 이것은 통계 표상의 전주의적 처리 특성과 관련이 있다. 앞 문단에서 논의한 바와 같이 통계 표상은 주의의 유무, 과제의 유무에 영향을 받지 않고 전주의적으로 처리된다고 알려져 있다[6]. 우측 하후두 이랑이 시각 자극의 전주의적인 처리과정에 관여하고 해부학적으로 우측 후두 영역과 인접해 있다는 사실은 통계 표상의 전주의적 처리 특성과 본 연구에서 발견한 우측 후두 영역의 통계 표상과 잘 부합한다.

이상에서 논의된 바와 같이 평균 표상의 행동적 특성과 우측 후두 영역과 관련된 여러 연구들을 종합해 볼 때 우측 후두 영역은 빠르고 암묵적이며 전주의적인 평균 표상의 특성과 많은 관련성을 가지고 있음을 시사한다. 물론 기능적 자기 공명 영상법의 특성상 어떤 뇌기능과 활성화 영역간의 인과관계를 말할 수는 없다. 하지만 행동적으로 측정된 뇌기능의 특성과 활성화 된 뇌 영역이 갖는 여러 가지 특성간의 관련성을 찾음으로서 특정 뇌기능과 관련 있는 뇌 영역을 찾는 데 수렴적 증거로 사용될 수 있을 것이다. 그런 의미에서 본 연구는 평균 표상, 나아가서 통계적 표상의 신경적 기반을 찾기 위한 중요한 출발점이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Klyachko, V. A. and C. F. Stevens (2003). Connectivity optimization and the positioning of cortical areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100, 7937-7941.

- [2] Peterson, C. R. and L. R. Beach (1967). Man as an intuitive statistician. *Psychological Bulletin* 68, 29-46.
- [3] Ariely, D. (2001). Seeing sets: representation by statistical properties. *Psychological science* 12, 157-62.
- [4] Chong, S. C. and A. Treisman (2003). Representation of statistical properties. *Vision Research* 43, 393-404.
- [5] Chong, S. C. and A. Treisman (2005a). Attentional spread in the statistical processing of visual displays. *Perception and Psychophysics* 66, 1-13.
- [6] Chong, S. C. and A. Treisman (2005b). Statistical processing: computing the average size in perceptual groups. *Vision research* 45, 891-900.
- [7] Grill-Spector, K., T. Kushnir, et al. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron* 24, 187-203.
- [8] Kourtzi, Z. and N. Kanwisher (2001). Representation of Perceived Object Shape by the Human Lateral Occipital Complex. *Science* 293, 1506-1509.
- [9] Grill-Spector, K. and R. Malach (2001). fMR-adaptation: a tool for studying the functional properties of human cortical neurons. *Acta Psychologica* 107, 293-321.
- [10] Im, H. Y., and Chong, S. C. (under review). Computation of mean size is based on perceived size.
- [11] Hernandez-Gonzalez, A., C. Cavada and Reinoso-Suarez, F. (1994). The lateral geniculate nucleus projects to the inferior temporal cortex in the macaque monkey. *Neuroreport* 5, 2693-6.
- [12] Xu, X., Ichida, J. M., Allison, J. D., Boyd, J. D., Bonds, A. B. and Casagrande, V. A. (2001). A comparison of koniocellular, magnocellular and parvocellular receptive field properties in the lateral geniculate nucleus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *The Journal of Physiology* 531, 203-218.
- [13] Hendry, S. H. C. and R. C. Reid (2000). The Koniocellular Pathway in Primate Vision. *Annual Review of Neuroscience* 23, 127-153.
- [14] Volz, K. G. and D. Y. von Cramon (2006). What Neuroscience Can Tell about

- Intuitive Processes in the Context of Perceptual Discovery. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18, 2077
- [15] Casagrande, V. A., and Royal, D. W. (2004). Parallel visual pathways in a dynamic system. In J. H. Kaas & C. E. Collins (Eds.), *The primate visual system* (pp.1-27). Florida:CRCPress.
- [16] Bentley, P., Vuilleumier, P., Thiel, C. M., Driver, J., and Dolan, R. J., (2003). Effects of Attention and Emotion on Repetition Priming and Their Modulation by Cholinergic Enhancement. *Journal of Neurophysiology* 90, 1171-1181.

1 차원고접수 : 2007. 11. 6
2 차원고접수 : 2008. 1. 7
최종게재승인 : 2008. 3. 10

(Abstract)

Neural correlates of visual mean representation

Sang Chul Chong^{1),2)} Kil Ho Shin¹⁾ Shin Ho Cho¹⁾

¹⁾Graduate program in Cognitive Science, Yonsei University

²⁾Department of Psychology, Yonsei University

Visual scene contains lots of redundant information. To process this redundant information without increasing brain's volume, human visual system may summarize incoming information. If similar but different information are given to visual system, visual system extracts statistical properties of the information. One example of the statistical representation is representation of mean size. The mean representation is accurate and durable. The process of mean representation is suggested to be parallel. However, previous studies on the mean representation mostly used behavioral methods. The purpose of this study was to investigate which neural regions extracted the mean size of a set of circles using fMRI method. According to previous studies, BOLD signal of certain areas that were in charge of certain stimuli decreased when the same stimuli presented repetitively. We used this paradigm and found that BOLD signal of right occipital area was decreased when same mean size was presented repeatedly. This results suggest that right occipital area is the locus of mean representation of visual stimuli.

Keywords : fMRI, statistical representation.