

Effects of behavioral variability and biases on confidence in perceptual estimation*

Jongmin Moon¹, Oh-Sang Kwon^{1†}

¹Department of Biomedical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology

It is generally believed that humans can detect errors in their estimates and maintain a sense of confidence that corresponds to objective performance. Meanwhile, human perceptual estimations tend to commit two types of errors: bias and variability. It remains unclear whether humans can monitor these two distinct kinds of error in their own estimates and adjust levels of confidence accordingly. Using a well-established empirical regularity called the central tendency effect, we examined how behavioral bias and variability are reflected in the self-evaluation of perceptual estimations. Subjects estimated the location of a hidden target from a briefly presented dot-cloud centered on the target location and reported levels of confidence in their estimations. As expected, subjects' perceptual reports were not only variable across trials but also biased toward the mean of the distribution of target locations. Crucially, subjects' confidence reports remained constant regardless of the target location, which is in stark contrast to the fact that the perceptual performance was worse when the target location was farther from the mean of the target location distribution. Our findings indicate that the metacognitive evaluations of perceptual estimations reflect the behavioral variability, but not biases.

Keywords: perception, metacognition, confidence, error monitoring, bias and variability

1차원고접수 22.06.06; 수정본접수: 22.07.24; 최종게재결정 22.07.25

인간 관찰자가 자신의 지각적 판단이 가지는 오류를 인지하고 객관적 성과에 상응하는 수준의 자신감을 형성할 수 있다는 것은 잘 알려져 있다(Yeung & Summerfield, 2012). 인간 관찰자가 자신의 판단에 대한 자신감을 보고할 때, 각 시행에서 보고된 자신감은 실제 응답 오류와 유의미한 상관관계를 가진다(Peirce & Jastrow, 1885). 이러한 정확한 자기평가는 관찰자로 하여금 얼마나 많은 시간과 자원을 해당 판단에 기반하여 투자할 것인지 결정할 뿐만 아니라(Kepecs et al., 2008), 이후에 내릴 판단을 개선시키기 위해 정보를 갱신하고(Zylberberg et al., 2018) 전략을 수정할 수 있게하는(Purcell & Kiani, 2016) 중요한 메타인지 능력이다.

그러나, 메타인지적 자기평가와 실제 객관적 성과가 항상

일관되지는 않는다. 기존의 많은 연구들이 성과와 자신감 사이의 불일치를 보고해왔다. 어려운 판단에는 지나치게 높은 자신감을 보이고 쉬운 판단에는 지나치게 낮은 자신감을 보이는 hard-easy 효과(Harvey, 1997), 자극의 생김새에 변인이 커지면 응답 오류가 커짐에도 불구하고 자신감이 높아지는 현상(Zylberberg et al., 2014), 선택과 일관된 정보에 더 많은 가중치를 주는 현상(Peters et al., 2017) 등은 관찰자가 자신의 지각 과제 수행 능력과 불일치하는 자신감을 보고하는 경우다. 지각 체계에 관한 많은 이해가 지각적 편향 및 착시에 대한 연구로부터 발전되어왔듯이, 앞서 언급한 메타인지에 있어서의 부정확성은 메타인지 체계를 더욱 깊이 이해할 수 있는 단서를 제공한다.

* 본 논문은 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2020S1A3A2A02097375).

† 교신저자: 권오상, 울산과학기술원 바이오메디컬공학과, (44919) 울산광역시 울주군 유니스트길 50, E-mail: oskwon@unist.ac.kr

인간 관찰자가 자신이 범한 지각적 오류를 인지하는 능력을 평가하기 위해서는 먼저 그들이 지각적 판단을 내릴 때 어떤 오류를 범하는지부터 이해하는 것이 필수적이다. 인간 관찰자의 반응 오류는 편향과 변산, 두 가지로 분류할 수 있다. 먼저, 관찰자가 지각 과제를 수행할 때 내리는 판단은 똑같은 자극에 대해 똑같은 지각 과제를 반복적으로 수행하더라도 여러 시행에 걸쳐 의도하지 않은 변산을 지니게 된다. 또한, 지각 과제에서의 판단은 관찰자가 경험한 자극의 분포의 평균을 향해 편향되는데, 이는 반응 편향의 대표적인 예 중 하나로 중심 집중 편향(central tendency bias)이라고 불리운다(Jazayeri & Shadlen, 2010; Körding & Wolpert, 2004; Kwon & Knill, 2013). 인간의 지각적 행동이 오랫동안 편향과 변산의 관점에서 특정 지어져 왔음에도 불구하고, 인간 관찰자가 그들의 판단이 가지는 두 가지 뚜렷이 다른 종류의 오류를 인지하고 그에 맞추어 자신감 수준을 조절할 수 있는지는 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 인간 관찰자가 지각 과제에서의 객관적 수행성과의 변화에 맞추어 자신감 보고를 적절히 조절할 수 있는지 알아보았다. 이를 위해, 실험 참가자들이 불확실한 감각 정보를 이용하여 지각적 판단을 내린 뒤, 해당 판단에 대한 주관적 자신감을 보고하는 과제를 개발하였다. 본 실험의 목표는 참가자들의 지각 보고가 예상대로 중심 경향 편향과 변산을 지니는지 확인하고, 참가자들의 자신감 보고가 이러한 편향과 변산을 적절히 반영하는지를 확인하는 것이었다.

방 법

참가자

울산과학기술원 학생 10명(여 3명, 19 - 25살)이 실험에 참가하였다. 참가자 수는 비슷한 연구를 한 문헌(Jazayeri & Shadlen, 2010; Körding & Wolpert, 2004)을 참고하여 선정하였다. 참가자들은 실험의 목적을 알지 못했으며, 비슷한 실험에 참가한 적 없었다. 참가자들은 실험 시작 전 동의서에 서명하였으며, 실험 보상으로 현금을 받았다.

설계 및 절차

본 연구는 참가자가 타겟 위치를 중심으로 흩뿌려진 한 무리의 점들을 보고 타겟 위치를 추정해 보고한 다음, 그 지각 보고에 대한 자신감 수준을 보고하는 시각적 위치 추정 및 자신감 판단 과제를 도입하였다(그림 1A). 타겟 위치는 특정 정규 분포를 따르도록 설계되었다. 타겟 위치가 정규 분포를 따를 경우, 참가자들의 지각 보고는 타겟 위치 분포의 평균

으로 편향될 것으로 예상할 수 있다.

실험의 순서는 다음과 같다. 참가자는 암실에서 턱받침대에 턱을 쥔 채 140센티미터 떨어진 화면을 양안으로 바라보았다. 매 시행은 시행의 시작을 알리는 신호가 떨어지며 시작되었다. 0.5초 후, 한 무리의 점들이 0.075초 동안 나타났고, 그 직후 2초 동안 시각적 마스크가 제시되었다. 마스크가 사라진 뒤 응답 막대가 무작위 위치에 나타났고, 참가자들은 터치패드 위에서 손가락을 움직여 응답 막대를 추정된 타겟 위치로 옮기고 클릭함으로써 타겟 위치를 보고하였다. 응답 막대가 화면의 높이 전체를 뒤덮었기 때문에 참가자들은 타겟의 수직 위치를 고려할 필요 없이 수평 위치만을 추정하여 보고하였다. 이러한 지각 보고는 실제 타겟이 응답 막대 안에 위치했을 경우, 즉 응답 오류가 응답 막대 너비의 절반보다 작을 경우 맞는 것으로 간주되었다. 본 실험에서는 지각 보고가 맞았는지 틀렸는지에 대한 피드백이 주어지지 않았다. 응답 시간은 제한되지 않았으며, 참가자들은 1.37 ± 0.11초(평균 ± 표준 오차) 안에 응답하였다. 참가자들은 그 다음에 자신의 지각 보고에 대한 주관적 자신감을 5점 척도로 보고하도록 지시받았다. 자신감 응답 시간 또한 제한되지 않았으며, 참가자들은 1.28 ± 0.10초 안에 응답하였다.

모든 참가자들은 과제 절차를 익히고 타겟 위치의 분포를 배운 뒤에 본 실험에 참가하였다. 먼저 참가자들은 15번의 가짜 시행을 수행하였다. 이 가짜 시행에서 참가자들은 별다른 응답을 하지 않고, 타겟, 점, 마스크가 순서대로 제시되는 비디오를 수동적으로 시청하였다. 그 다음, 참가자들은 각 75번의 시행으로 구성된 두 번의 연습 블록을 수행하였다. 이 연습 시행에서 참가자들은 그들의 자신감 수준을 보고하지 않았고, 그 대신에 매 시행마다 지각 보고에 대한 피드백을 제공받았다. 참가자들이 지각 보고를 하자마자 응답 막대가 사라지지 않고 타겟이 실제 위치에 지각 보고가 맞았으면 초록색 틀렸으면 빨간색으로 1초 동안 제시되었다. 참가자들은 각 75번의 시행으로 구성된 여섯 번의 블록을 수행하였다. 즉, 모든 참가자들은 총 600번의 시행을 수행하였고, 실험은 총 1시간 30분 동안 진행되었다.

자극

자극은 MATLAB과 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997)를 이용해 생성되었고, DLP 프로젝터(너비: 163센티미터; 해상도: 1920×1080; 재생률: 120 Hz)를 통해 제시되었다. DLP 프로젝터를 이용해 정확한 타이밍에 원하는 자극을 제시할 수 있었으며, 넓은 시야에 걸쳐 자극을 제시할

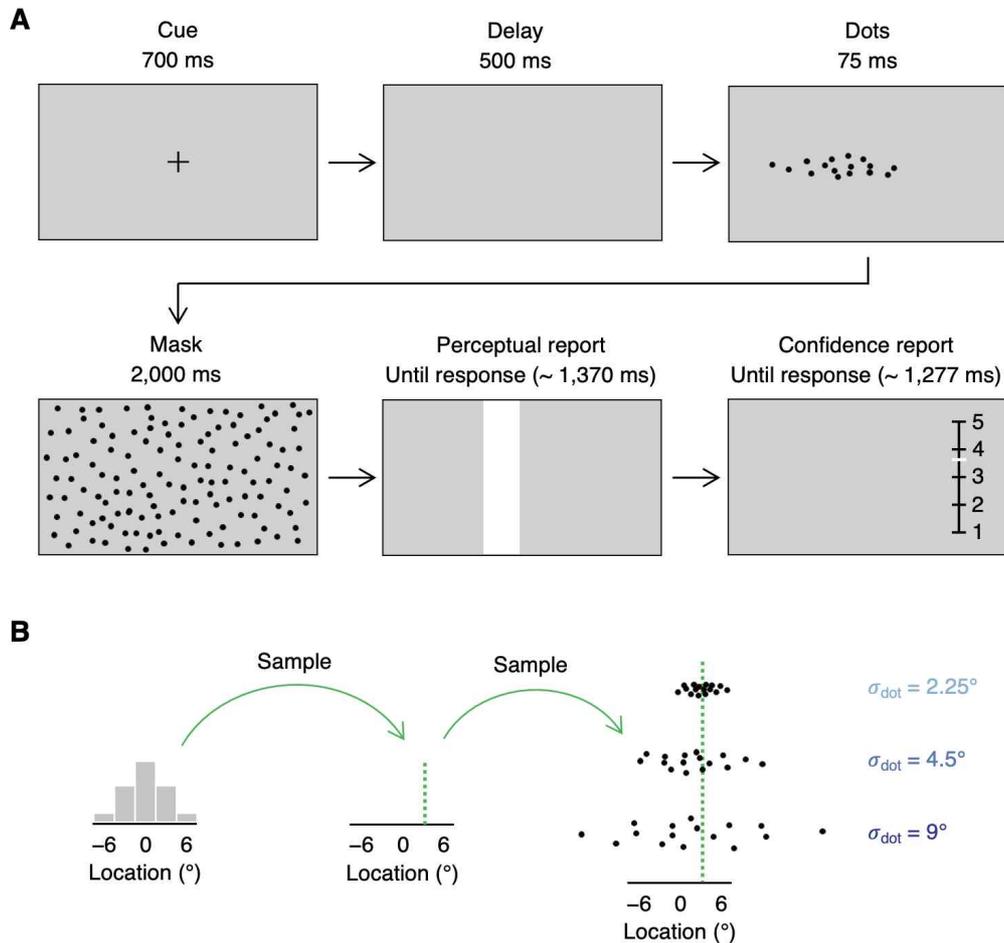


Figure 1. (A) Experimental procedure. Each trial began with the presentation of a dark cross. Subjects received noisy sensory information about the location of a hidden target in the form of a dot-cloud. After a visual mask, subjects displaced a vertical response bar to report the perceived location of the target. Lastly, subjects rated confidence in their perceptual report using a continuous scale. (B) Stimulus generative model. The location of the target was sampled from a Gaussian distribution centered on the center of the screen. The location of the dots were sampled from a Gaussian distribution centered on the target location. Uncertainty in sensory information was manipulated by varying the standard deviation of this distribution.

수 있었으므로 점들을 좁게 혹은 넓게 흩뿌려 감각 정보의 불확실성을 상대적으로 자유롭게 조절할 수 있었다. 모든 자극은 회색 배경 위에 제시되었다. 검은색 십자 표시(길이: 0.6° ; 너비: 0.15°)가 화면에 제시되면서 시행이 시작되었다. 십자 표시가 사라지고 0.5초 후, 16개의 검은색 점(지름: 0.2°)들이 타겟 위치를 중심으로 하는 2차원 정규 분포로부터 샘플된 무작위 위치에 제시되었다. 점들의 수평 위치 분포의 표준 편차는 $\sigma_{\text{dot}} = 2.25, 4.5, 9^\circ$ 였고 매 시행마다 무작위로 선정되었다. 이 점 분포의 표준 편차를 조절함으로써 참가자들에게 주어지는 감각 정보의 불확실성을 효과적으로 조절하였다. 수직 위치의 표준 편차는 화면의 가로세로 비율에 맞추어 정해졌다. 타겟 수평 위치는 화면의 중앙을 중심으로 하는 1차원 정규 분포($\sigma_{\text{target}} = 3^\circ$)로부터 샘플되었다. 구체적으로, 사전에 정의된 다섯 수준의 타겟 위치($-6^\circ, -$

$3^\circ, 0^\circ, 3^\circ, 6^\circ$)가 정규분포에 맞추어 각각 24, 111, 180, 111, 24번의 시행에서 제시되었다. 이 점들은 무작위 위치에 제시된 1만 개의 점들로 대체되었다. 참가자들은 화면의 무작위 위치에 나타난 흰색 수직 막대(너비: 2.5°)를 움직여서 타겟 위치를 보고하였다. 마지막으로, 참가자들은 화면의 오른쪽에 제시된 평가 척도(높이: 18° ; 눈금 길이: 1° ; 너비: 0.15°) 위에서 하얀색 커서를 움직여 자신감 수준을 보고하였다.

분석

처음 150번의 시행은 연습 시행으로 분석에서 제외되었다. 모든 분석에서 타겟 위치는 화면 중앙으로부터 거리로 표현되었다. 타겟 위치와 지각적 편향 사이의 선형적 관계(Körding & Wolpert, 2004; Kwon & Knill, 2013)를 정량

화하기 위해, 각 실험자와 각 감각 정보의 불확실성 수준마다 지각 보고를 실제 타겟 위치로 회귀시켰다. 지각적 편향으로 인해 참가자들의 지각 보고는 실제 타겟 위치와 타겟 위치 분포의 평균의 가중합으로 이루어지는데, 이 때 감각 정보의 불확실성이 실제 자극 위치에 할당된 가중치에 미치는 영향을 검증하기 위해 일원 반복측정 분산분석을 실시하였다.

지각적 오류는 평균 제곱근 오차(root mean square error)로 정량화되었다. 타겟 위치와 감각 정보의 불확실성이 지각 과제 수행 성과에 미치는 영향을 검증하기 위해 이 평균 제곱근 오차를 종속변인으로 하는 이원 반복측정 분산분석을 실시하였다. 비슷한 방법으로, 타겟 위치와 감각 정보의 불확실성이 지각 보고에 대한 자신감 수준에 미치는 영향을 검증하기 위해 자신감 보고를 종속변인으로 하는 이원 반복측정 분산분석을 실시하였다.

마지막으로, 만약 자신감 보고가 지각 보고가 가지는 편향을 고려하지 않는다면, 자신감 수준은 타겟 위치와 관계없이 변하지 않을 것으로 예상할 수 있다. 타겟 위치의 무의미한 효과에 대한 결론을 통계적으로 뒷받침하기 위해, 앞서 언급한 분석에 더해서 베이지언(Bayesian) 분석을 실시하였다 (Keysers et al., 2020). 자신감 보고를 종속변인으로 하는 베이지언 반복측정 분산분석(Rouder et al., 2012)을 통해 베이즈 요인(Bayes factor; BF_{incl})을 계산하였는데, 베이즈 요인은 수집된 자료가 해당 효과를 포함시킨 분산분석 모델로부터 생성되었을 확률을 해당 효과를 포함시키지 않은 모델로부터 생성되었을 확률을 나눈 것으로, $BF_{incl} > 3$ 은 해당 효과가 유의하다는 증거를, $BF_{incl} < 1/3$ 은 해당 효과가 존재하지 않다는 증거를, $BF_{incl} = 1$ 은 결론에 이르지 못하는 증거를 의미한다. 베이지언 분산분석을 수행할 때, 평균과 분

산에 대해서 제프리(Jeffreys) 사전 확률 분포를 사용하였고, 효과 크기에 대해서 축척 계수(scale factor)를 고정효과는 $r = 0.5$, 무선흐과는 $r = 1$ 로 설정한 코시(Cauchy) 사전 확률 분포를 사용하였다. 이는 R의 BayesFactor 패키지에서 분산 분석 시 사용하는 디폴트 사전 확률 분포이기도 하다.

결 과

본 실험의 목표는 인간 관찰자가 그들의 지각적 판단이 지니는 편향과 변산을 모두 인지하고 그에 맞추어 자신감 수준을 조정할 수 있는지 밝히는 것이다. 이를 위해 참가자들로 하여금 숨겨진 타겟의 위치를 추정하고 그에 대한 자신감을 보고하는 과제를 개발하였다(그림 1A). 참가자들은 타겟 위치에 대한 불확실한 감각 정보를 타겟 위치를 중심으로 하는 정규 분포로부터 샘플된 한 무리의 흩뿌려진 점들로서 제공 받았다. 점들이 흩뿌려진 정도는 매 시행마다 무선적으로 달라졌다(그림 1B). 여러 시행에 걸친 타겟 위치의 분포는 화면의 중앙을 중심으로 하는 정규 분포였다(그림 1B). 해당 과제를 수행하는 참가자들에 대해 지각 보고와 자신감 보고, 두 가지 행동 반응을 수집하였고 분석을 수행하였다.

지각 보고

기존 연구의 결과와 일관되게 참가자들의 지각 보고는 여러 시행에 걸쳐 변산을 지녔으며, 타겟 위치 분포의 평균을 향해 편향되었다(그림 2). 편향의 크기는 감각 정보의 불확실성이 클수록 컸고, 타겟이 타겟 위치 분포의 평균과 멀리 떨어져있을수록 컸다. 이러한 선형적 관계를 정량화하기 위해 각 참가자와 각 감각 정보의 불확실성 수준마다 실제 타겟 위치를 독립변인으로 하고 보고된 타겟 위치를 종속변인으로

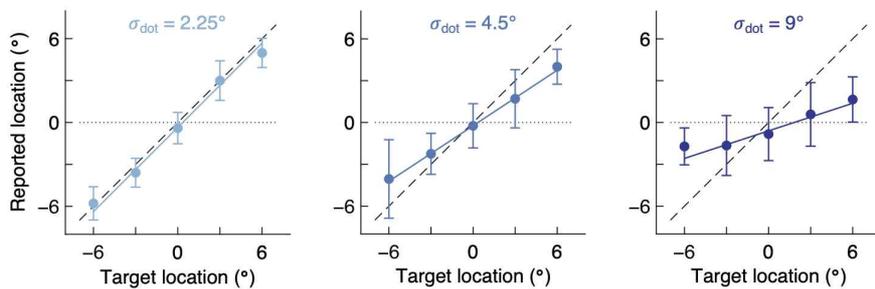


Figure 2. Perceptual reports by a representative subject. Circles represent mean perceptual reports, error bars represent standard error of the mean, solid lines represent linear regression results. The magnitude of the bias toward the mean increases with sensory uncertainty. In particular, since this perceptual bias is toward the mean of the distribution of target locations, there is no bias when the target location is same with the mean of the distribution of target locations, but there is a strong bias when the target location is far away from the mean of the distribution of target locations.

하는 선형 회귀 분석을 수행하였다. 그 후, 감각 정보의 불확실성에 따른 선형회귀계수의 차이를 알아보기 위해 일원 반복측정 분산분석을 실시했다. 그 결과, 감각 정보의 불확실성이 높아질수록 타겟 위치에 할당된 가중치가 낮아짐을 확인하였다, $F(2,18) = 86.175$, $p < 0.001$ (그림 3A).

지각 과제 수행성과를 정량화하기 위해 각 타겟 위치와 각 감각 정보의 불확실성 수준마다 지각적 오류를 평균 제공근 오차로 계산하였다(그림 3B). 타겟 위치와 감각 정보의 불확실성 수준을 독립변인으로 하고 지각적 오류를 종속변인으로 하는 이원 반복측정 분산분석을 수행한 결과, 예상대로 감각 정보의 불확실성이 클수록 지각적 오류가 더 커졌음을 확인하였다, $F(2,18) = 224.773$, $p < 0.001$. 더 중요한 결과는, 지각 보고가 타겟 위치 분포의 평균으로 편향되었기 때문에, 타겟이 타겟 위치 분포의 평균에서 멀리 떨어질수록 지각적 오류가 더 커졌다는 것이다. 반복측정 분산분석 결과, 타겟 위치의 주효과가 유의하였으며, $F(4,36) = 18.165$, $p < 0.001$, 타겟 위치×감각 정보 불확실성 상호작용 또한 유의하였다, $F(8,72) = 6.327$, $p < 0.001$. 즉, 지각적 편향으로 인해 지각 과제 수행성과가 타겟 위치에 따라 달라졌다.

자신감 보고

참가자들의 지각 보고가 편향과 변산을 모두 지녔고, 특히 이 평균으로의 편향으로 인해 지각 과제 수행성과가 타겟 위치에 따라 유의하게 다름을 확인한 뒤, 참가자들이 자신의 지각 보고에 대해 적절한 수준의 자신감을 보고하였는지 확인하였다. 먼저 참가자들의 지각 보고를 맞고 틀림에 따라

나눈 뒤, 해당 지각 보고에 대한 자신감 보고를 비교하였다. 대응표본 t -검증 결과, 지각 보고가 맞았을 때 자신감($M = 3.398$)이 지각 보고가 틀렸을 때 자신감($M = 2.882$)보다 유의하게 높았다, $t(9) = 8.060$, $p < 0.001$ (그림 4A).

다음으로 지각 보고의 편향과 변산, 두 가지 다른 종류의 지각 오류가 참가자들의 자신감 보고에 적절히 반영되어있는지를 확인하였다. 그림 4B는 참가자들의 자신감 보고를 각 감각 정보의 불확실성 수준마다 타겟 위치의 함수로써 표현한 것이다. 그림 4B를 통해 참가자들의 지각 보고에 대한 자신감 보고가 타겟 위치와 상관없이 일관됨을 확인할 수 있다. 이러한 경향을 통계적으로 검증하기 위해, 지각적 오류에 대해 분석을 수행했던 것과 같이, 타겟 위치와 감각 정보의 불확실성을 독립변인으로 하고 자신감 보고를 종속변인으로 하는 이원 반복측정 분산분석을 실시하였다. 예상대로 감각 정보의 불확실성은 자신감 보고에 대해 유의한 주효과를 보였다, $F(2,18) = 165.317$, $p < 0.001$. 그러나, 타겟 위치의 주효과는 유의하지 않았으며, $F(4,36) = 0.761$, $p = 0.558$, 타겟 위치×감각 정보 불확실성 상호작용 또한 유의하지 않았다, $F(8,72) = 1.688$, $p = 0.116$. 분산분석에서 유의하지 않은 결과는 실제로 해당 효과가 존재하지 않을 때뿐만 아니라 작은 표본 크기로 인해 통계적 검정력이 부족할 때 또한 나타날 수 있다. 이를 위해 귀무가설과 대립가설의 우도 비로써 베이즈 요인을 계산하였다. 그 결과, 타겟 위치의 주효과, $BF_{incl} = 0.063$, 및 타겟 위치×감각 정보 불확실성 상호작용, $BF_{incl} = 0.093$, 둘 다 귀무가설을 지지하는 확정적인 증거가 확인되었다. 즉, 타겟 위치는 자신감 보고에 아무런 영향을 미치지 않았다. 이는 실제 지각 과제 수행성

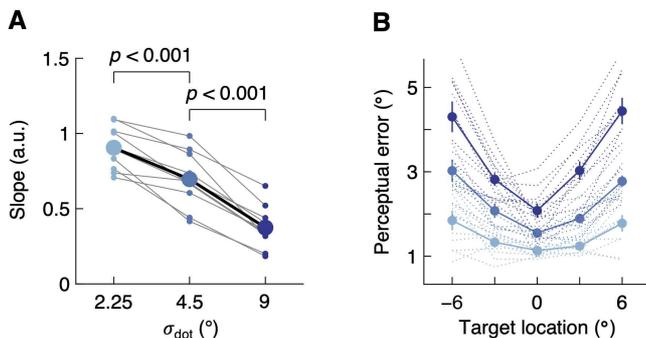


Figure 3. (A) Linear regression coefficients. Small dots connected with thin gray lines represent linear regression coefficients for each subject, and large circles connected with thick black lines represent the group mean. (B) Perceptual performance. Dotted lines represent perceptual error for each subject, circles connected with solid lines represent the group mean, and error bars represent standard error of the mean. Performance was worse when the target was located farther away from the prior mean.

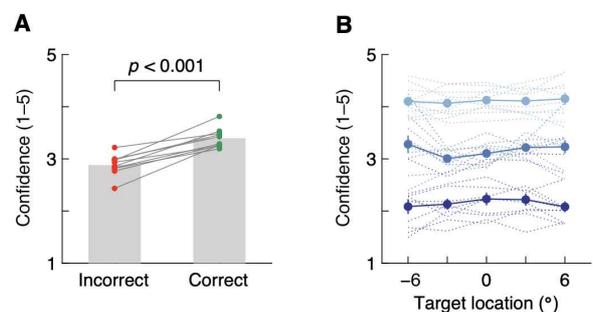


Figure 4. (A) Confidence reports split by the accuracy of the perceptual reports. Subjects reported higher levels of confidence when their perceptual report was correct compared to when their perceptual report was incorrect. (B) Confidence reports split by sensory uncertainty as a function of target location. Subjects reported lower levels of confidence when the sensory information was more uncertain. Crucially, subjects reported constant levels of confidence regardless of the target location.

과가 타겟이 타겟 위치 분포의 평균으로부터 멀리 떨어질수록 유의하게 악화되었다는 사실과 정면으로 배치되는 결과이다(그림 3B). 일부 극단적인 경우, 타겟이 타겟 위치 분포의 평균으로부터 더 멀리 위치해서 지각 보고가 타겟 위치 분포의 평균으로 향하는 편향이 너무 컸던 나머지, 감각 정보의 불확실성이 더 낮음에도 불구하고 지각 과제 수행성과가 더 나빠기도 했다(그림 3B). 그럼에도 참가자들은 지각적 편향으로 인한 지각 과제 수행성과의 변화를 인지하는데 실패하고, 지각 보고가 얼마나 편향되었는지와 관계없이 일관된 수준의 자신감을 보고하였다. 이러한 결과를 통해 참가자들은 지각 보고에 대한 자신감을 보고할 때 지각 보고의 변산을 고려하였지만, 지각 보고의 편향은 고려하지 못했음을 확인할 수 있다.

논 의

본 실험의 결과를 정리하면 다음과 같다. 먼저 본 실험 참가자들의 지각 보고는 여러 시행에 걸쳐 매 시행마다 조금씩 다른 판단을 내리는 변산을 보였고, 또한 참가자들이 경험한 자극의 분포의 평균을 향해 편향되었다. 이 평균을 향한 편향 때문에, 참가자들의 지각 과제 수행성과는 자극이 자극 분포 평균에서 멀어질수록 더 나빠졌음을 확인했다. 이러한 지각적 행동은 기존 연구 결과와 일관되는 것이다(Jazayeri & Shadlen, 2010; Körding & Wolpert, 2004; Kwon & Knill, 2013). 그러나 중요하게도, 참가자들이 자신의 지각적 판단에 대한 주관적 자신감을 보고한 결과는, 참가자들이 제시된 자극이 자극 분포 평균과 얼마나 상이한지와 관계없이, 감각 정보의 불확실성이 같으면 일관되게 같은 수준의 자신감을 보고한 것을 나타낸다. 본 실험의 결과는 인간 관찰자가 자신의 지각적 판단에 대해 자기평가를 할 때, 자신의 지각적 판단이 가지는 변산을 고려하지만, 그 편향은 고려하지 못한 채 자신감을 형성함을 보여준다.

최근 연구들은 중심 집중 편향과 주관적 자신감을 연결지으려는 시도를 해왔다. 이 연구들의 결과에 따르면 인간 관찰자들의 지각적 판단은 낮은 자신감을 보고했을 때 더 큰 편향을 보였고, 높은 자신감을 보고했을 때 더 작은 편향을 보였다(Honig et al., 2020; Xiang et al., 2021). 감각 정보의 불확실성 그 자체 또한 매 시행마다 조금씩 달라지는 변산을 지닐 수 있음(Fougnie et al., 2012; van den Berg et al., 2012)을 고려할 때, 이러한 결과는 관찰자들이 매 시행마다 조금씩 다른 감각 정보의 불확실성을 인지하고 그에 맞추어 중심 집중 편향의 크기를 조정하고 그에 따른 자신감을

보고할 수 있음을 보여준다. 그러나 이 연구들은 주로 인간 관찰자의 자신감 보고를 이용해 중심 집중 편향의 기제를 더욱 깊이 이해하려하였고, 그 반대의 시도는 하지 않았다. 본 연구에서는 기존 연구들의 한계를 넘어, 인간 관찰자들이 자신의 지각적 판단에 대한 자신감 수준이 중심 집중 편향으로 인한 지각 과제 수행성과의 변화를 반영하는지 살펴보고, 그 결과 관찰자들은 자신들의 편향된 판단에 대한 자신감 수준을 편향되지 않은 자신감 수준과 동일하게 유지함을 확인하였다.

끝으로, 중심 집중 편향이 비단 지각 과제뿐만 아니라 다양한 인지 과제에서 관찰되는 점과 메타인지가 인간의 사회적 상호작용에 중요한 영향을 미친다는 점(Frith, 2012)을 고려했을 때, 본 연구 결과는 다양한 사회 문제를 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 특히 자기 자신의 편향을 인지하지 못하는 문제는 개인 및 집단 간 갈등에 중요한 결과를 초래할 수 있다(Pronin, 2007; Pronin et al., 2004). 예를 들어, 개인들이 지금껏 서로와 전혀 다른 경험을 통해 정반대의 사전 믿음을 쌓아왔고 이로 인해 같은 주제에 관해 정반대로 편향된 의견을 가지고 있음에도 불구하고, 이 개인들은 마치 자신들의 의견이 전혀 편향되지 않았을 때와 같은 수준의 강한 자신감을 내비칠 것으로 예상할 수 있다. 양쪽 모두 스스로가 편향되었음을 인지하지 못하고 강한 자신감을 가진 채 생기는 의견 충돌은 개인들로 하여금 상대방을 비이성적이거나 혹은 너무 편향된 나머지 설득하기 어렵다고 인식하게 만들고, 중국에는 소통이 단절된 채 기존에 가지고 있던 믿음만을 강화시키게 된다. 이러한 악순환은 최근 보고된 반대되는 견해에 노출된 후 오히려 극단화가 심화되는 현상(Bail et al., 2018)을 설명할 수 있다.

References

- Bail, C. A., Argyle, L. P., Brown, T. W., Bumpus, J. P., Chen, H., Hunzaker, M. B. F., Lee, J., Mann, M., Merhout, F., & Volfovsky, A. (2018). Exposure to opposing views on social media can increase political polarization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(37), 9216-9221.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433-436.
- Fougnie, D., Suchow, J. W., & Alvarez, G. A. (2012). Variability in the quality of visual working memory. *Nature Communications*, 3(1), 1-8.
- Frith, C. D. (2012). The role of metacognition in human social

- interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1599), 2213-2223.
- Harvey, N. (1997). Confidence in judgment. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(2), 78-82.
- Honig, M., Ma, W. J., & Fougny, D. (2020). Humans incorporate trial-to-trial working memory uncertainty into rewarded decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(15), 8391-8397.
- Jazayeri, M., & Shadlen, M. N. (2010). Temporal context calibrates interval timing. *Nature Neuroscience*, 13(8), 1020-1026.
- Kepecs, A., Uchida, N., Zariwala, H. A., & Mainen, Z. F. (2008). Neural correlates, computation and behavioural impact of decision confidence. *Nature*, 455(7210), 227-231.
- Keysers, C., Gazzola, V., & Wagenmakers, E. J. (2020). Using Bayes factor hypothesis testing in neuroscience to establish evidence of absence. *Nature Neuroscience*, 23(7), 788-799.
- Körding, K. P., & Wolpert, D. M. (2004). Bayesian integration in sensorimotor learning. *Nature*, 427(6971), 244-247.
- Kwon, O. S., & Knill, D. C. (2013). The brain uses adaptive internal models of scene statistics for sensorimotor estimation and planning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11), E1064-E1073.
- Peirce, C. S., & Jastrow, J. (1885). On small differences in sensation. *Memoirs of the National Academy of Sciences*, 3, 73-83.
- Peters, M. A., Thesen, T., Ko, Y. D., Maniscalco, B., Carlson, C., Davidson, M., Doyle, W., Kuzniecky, R., Devinsky, O., Halgren, E., & Lau, H. (2017). Perceptual confidence neglects decision-incongruent evidence in the brain. *Nature Human Behaviour*, 1(7), 1-8.
- Pronin, E. (2007). Perception and misperception of bias in human judgment. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(1), 37-43.
- Pronin, E., Gilovich, T., & Ross, L. (2004). Objectivity in the eye of the beholder: divergent perceptions of bias in self versus others. *Psychological Review*, 111(3), 781-799.
- Purcell, B. A., & Kiani, R. (2016). Hierarchical decision processes that operate over distinct timescales underlie choice and changes in strategy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(31), E4531-E4540.
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(5), 356-374.
- van den Berg, R., Shin, H., Chou, W. C., George, R., & Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22), 8780-8785.
- Xiang, Y., Graeber, T., Enke, B., & Gershman, S. J. (2021). Confidence and central tendency in perceptual judgment. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 83(7), 3024-3034.
- Yeung, N., & Summerfield, C. (2012). Metacognition in human decision-making: confidence and error monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1594), 1310-1321.
- Zylberberg, A., Roelfsema, P. R., & Sigman, M. (2014). Variance misperception explains illusions of confidence in simple perceptual decisions. *Consciousness and cognition*, 27, 246-253.
- Zylberberg, A., Wolpert, D. M., & Shadlen, M. N. (2018). Counterfactual reasoning underlies the learning of priors in decision making. *Neuron*, 99(5), 1083-1097.

지각적 추정의 변산과 편향이 자신감에 미치는 영향

문종민¹, 권오상¹

¹울산과학기술원 바이오메디컬공학과

인간은 자신이 내린 판단이 가지는 오류를 인식하고, 객관적인 성과에 상응하는 자신감을 가진다. 한편, 인간의 지각적 판단은 편향과 변산, 두 가지 종류의 오류를 가지는 것으로 알려져 있다. 인간이 자신이 내린 판단이 가지는 이 두 가지 종류의 오류를 모두 인지하고 그에 맞추어 자신감을 갖는지는 분명치 않다. 본 연구에서는 중심 집중 효과라고 불리는 잘 알려진 반응 편향을 이용하여 편향과 변산이 지각적 판단의 자기평가에 어떻게 반영되는지 살펴보았다. 참가자는 타겟 위치를 중심으로 흩어진 점들로부터 보이지 않는 타겟의 위치를 추정해서 응답하고, 그에 대한 주관적 자신감을 보고하였다. 예상대로 참가자들의 타겟 위치에 대한 응답은 여러 시행에 걸쳐 변산을 지녔을 뿐만 아니라 타겟 위치의 분포의 평균으로 편향되었다. 중요하게도, 이러한 편향 때문에 타겟 위치가 타겟 위치 분포의 평균으로부터 떨어져 있을수록 지각 과제 수행 성과가 더 나빴음에도 불구하고, 참가자들의 자신감 보고는 타겟의 위치와 상관없이 일관되게 같은 정도의 자신감을 가졌다. 이러한 결과는 지각적 판단에 대한 메타인지적 자기평가가 반응의 변산은 고려하지만 그 편향은 고려하지 않음을 의미한다.

주제어: 지각, 메타인지, 자신감, 오류 탐지, 편향과 변산