

상대위상을 이용한 시각적 협응 패턴의 지각 역학과 격자무늬를 이용한 부가적 감각 정보에 따른 영향

류 영 옥[†]

대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과

본 연구의 목적은 상대적 위상을 이용한 시각적 협응 패턴의 지각이 조절변수의 변화에 따라 HKB 모델(Haken, Kelso, Bunz, 1985)의 예측에 따르는지 확인해 보는 것이었다. 또한 격자무늬 배경을 이용한 부가적인 시각 정보가 협응 패턴 분별의 정확성과 안정성을 향상시키는지 알아보았다. 피험자들은 일반 배경과 격자 배경 중 하나의 그룹에 속하여 패턴 지각 연습과 패턴 분별 시험을 하였다. 피험자들은 좌우로 이동하는 두 점 사이의 상대위상으로 정의된 0°, 18°, 36°, 54°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°, 180° 패턴을 관찰하였다. 패턴 지각 연습은 두 점의 진동 주기 0.25 Hz에서 시행되었고, 패턴 분별 시험은 0.5 Hz, 1 Hz, 2 Hz에서 시행되었다. 패턴 분별 시험에서 얻은 분별 점수, 절대 분별 오차, 분별 안정성 자료를 통계적으로 분석하였다. 분별의 정확성과 안정성은 진동 주기가 느릴 때는 “뒤집어진 U” 모양을 띠다가 진동 주기가 빨라짐에 따라 180° 상대위상 패턴에 가까운 패턴들에서 정확성과 안정성이 감소하였다. 이러한 발견은 협응 패턴의 지각적 분별 역학이 HKB 모델을 따름을 나타낸다. 부가적 환경 정보인 격자무늬가 협응 패턴 분별의 정확성과 안정성에 도움은 되지 못하였다.

주제어 : 시각적 지각, 협응, 지각 역학, HKB 모델

* 본 연구는 한국연구재단의 신진연구지원사업의 지원(과제번호: 2010-0006539)을 받아 수행되었습니다. 세심한 심사를 해주신 세 명의 심사위원들에게 감사드립니다.

† 교신저자: 류영옥, 대구가톨릭대학교 물리치료학과, 연구 분야: 협응 지각, 인지-운동, 운동 협응
Email: ryu3091@cu.ac.kr

서론

인간의 협응(coordination) 능력은 신체 분절 간의 조화로운 움직임을 가능하게 하고, 환경 변화에 신체의 움직임을 대응시킬 수 있기 때문에 중요하다. Kelso(1981, 1984)의 양 검지 손가락을 이용한 협응 실험은 짝패턴(in-phase pattern, 0° 상대위상 패턴)이 엇패턴(anti-phase pattern, 180° 상대위상 패턴)보다 안정된 패턴이며, 엇패턴으로 운동을 수행하는 경우 운동주기를 빠르게 하면 패턴의 불안정성이 증가하다가 짝패턴으로 급격하게 변한다는 것을 보여주었다[1, 2]. 이 연구를 바탕으로 인간의 협응에 관한 HKB 모델이 만들어졌다[3]. 이 모델에 따르면 협응 시스템이 준비된 상태에서는 0° 상대위상(relative phase) 패턴과 180° 상대위상 패턴이 내재적으로 가장 안정된 패턴이며, 이 두 패턴 사이의 상대위상 패턴들은 상대적으로 불안정하다(그림 1A). 이러한 내재적 협응(intrinsic coordination)은 운동주기와 같은 조절변수(control parameter)에 변화를 주게 되면 180° 상대위상 패턴과 그 주위의 패턴들이 불안정해지다가(그림 1B, C), 끝내 0° 상대위상 패턴이 유일하게 안정된 패턴으로 남게 된다(그림 1D). 다시 설명하면, HKB 모델의 협응 역학(coordination dynamics)은 협응 시스템이 준비된 상태의 내재적 협응 역학(그림 1A), 조절변수를 변화시켰을 때 180° 상대위상 패턴 및 그에 가까운 패턴들의 불안정성 증가(그림 1B, C), 그리고 오직 0° 상대위상 패턴만이 안정된 패턴으로 남게 되는 과정(그림 1D) 전반을

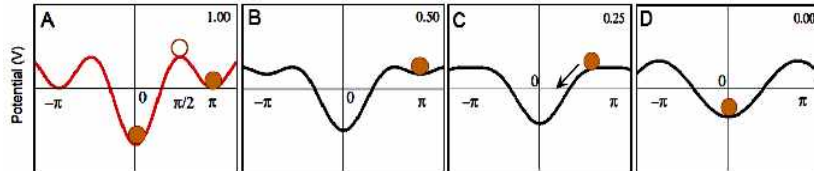


그림 1. 협응에 대한 HKB 모델. Y축은 potential을 나타내고 X축은 상대적 위상값(라디안)을 나타낸다. 각 그림의 우상부에 쓰인 숫자는 조절변수의 변화를 나타낸다. 그림 A에서 1.00은 조절변수를 변화시키기 시작하는 지점을 의미하고, 그림 D에서 0.00은 조절변수를 마지막까지 변화시킨 상태를 말한다. 각 그림의 닫힌 공은 안정한 상태를 의미하는 끌림자(attractor)이며, 그림 A의 $\pi/2(90^\circ)$ 에 위치한 열린 공은 불안정한 상태를 나타내는 배척자(repeller)이다. 그림 A에서 D까지 조절변수의 변화에 따라 $\pi(180^\circ)$ 에 위치한 끌림자가 안정된 상태를 상실하고 0으로 이끌려 들어가게 된다.

말한다. HKB 모델이 예측하는 이러한 과정은 양손 협응 운동[4, 5, 6], 다관절 협응 운동[7, 8], 사지 협응 운동[9], 외부 자극과 운동 간의 협응[10, 11], 사람 간의 운동 협응[12] 등의 연구 결과에서도 확인되었다.

HKB 모델의 내재적 협응에 관한 예측은 협응 패턴의 지각에서도 이미 밝혀진 바 있다[13, 14, 15]. Bingham과 동료들은 피험자에게 컴퓨터 화면에 보여지는 두 점의 협응 관계를 분별케 하는 실험을 진행하였다. 이 연구들에서 관찰자들은 0° 상대위상 패턴과 180° 상대위상 패턴을 가장 안정하게 분별할 수 있었고, 그 사이의 협응 패턴들의 분별에 대해서는 불안정하였다[13, 14, 15]. 하지만 이 연구들은 느린 진동 주기를 사용하여서 HKB 모델이 예측하는 협응 역학의 전 과정을 보여 주지 못한 한계가 있었다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 조절변수인 진동 주기를 Bingham과 동료들이 사용하였던 주기보다 빠르게 하여 시각적 협응 패턴의 분별이 HKB 모델의 예측에 따르는지 확인해 보고 확장이 가능한지 알아보았다.

본 연구의 두 번째 목적은 협응의 지각이 향상될 수 있는지에 관한 것이었다. 이전의 연구들은 인간의 협응 능력이 외부의 환경 정보 혹은 부가적 감각 정보에 따라 향상될 수 있음을 보여주었다. 예를 들어, 외부 신호와 운동 간의 협응에서 외부 신호를 점보다 선을 사용했을 때[16], 외부 신호와 운동 신호를 분리시키는 것 보다 한 화면에 통합시켰을 때 협응의 정확성과 안정성이 향상되었다[17, 18]. 또한 부가적인 청각 신호나 촉각(haptic) 정보를 협응 수행에 제공한 경우, 부가적 정보를 제공하지 않았을 때보다 협응의 안정성이 유의하게 향상되는 것을 보여주었다[4, 19, 20]. 언급한 연구 결과들은 환경 정보 및 감각 정보를 수행자가 이용하여 협응 수행을 향상시켰음을 의미하며, 결국 이러한 정보가 협응 패턴의 지각에 사용되었음을 뜻한다. 하지만, 협응 패턴의 분별에 효과적인 부가적 감각 정보에 대한 연구도 아직 관심을 받지 못하고 있다. 이와 관련된 연구는 협응 지각에 대한 기초적인 자료로 이용될 수 있을 뿐만 아니라 협응 지각 능력이 필요한 작업(예, 운전, 컴퓨터 게임 등)에 실용적 원리를 제공할 수 있을 것이다. 본 연구는 관찰자가 협응 패턴을 보다 잘 지각할 수 있는 방법으로 격자무늬 배경을 사용하였다. 이전의 연구들에서 사용된 청각과 촉각 정보는 운동 수행 과정에서 지속적으로 제공된 것이 아니라 시간상 일정한 간격으로 제공이 되었고, 수행자는 정보가

제공된 그 지점을 운동 수행의 지침 혹은 “닻(anchor)”으로 활용하여 운동 협응에 이용하였다(4, 19, 20). 마찬가지로, 본 연구에서 격자무늬를 이용한 이유는 격자무늬의 세로줄이 협응 패턴을 분별하는데 시각적 지침 혹은 닻으로 관찰자에게 활용될 수 있을 것이라 생각되었기 때문이었다.

연구 방법

참여자

24명의 피험자가 본 실험에 지원하였다. 남자는 8명(평균 나이 = 20.6세) 이었고, 여자는 16명(평균 나이 = 22.8세) 이었다. 모두 정상시력이거나 교정 후 정상시력을 가지고 있었다. 피험자들은 본 실험에 참가하기 전, 연구동의서에 자진하여 서명하였다. 실험이 끝난 후, 피험자들은 5000원 상당의 상품권을 받았다.

도구 및 신호 재생

컴퓨터 모니터는 두 개의 점을 재생하기 위해 사용되었다. 두 점은 매트랩(MATLAB®)을 이용하여 프로그램 되었다. 점은 검은색 테두리에 흰 바탕이었고 크기는 약 직경 0.35cm이었다. 두 개의 점은 수직으로 2.5cm의 간격을 두고 배치가 되었고, 상대위상 패턴들에 따라 좌우로 움직였다. 좌우 양쪽의 이동거리는 8cm이었다. 피험자가 일회 관찰하는 동안 두 점은 총 8회 좌우 왕복 운동을 하였다. 두

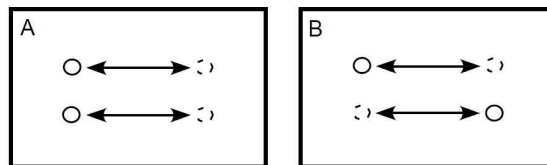


그림 2. 협응 패턴의 두 가지 예.

(A) 짝패턴(0° 상대위상패턴), (B) 엇패턴(180° 상대위상패턴)

점은 일정한 속도로 움직였으며 본 실험에서 사용되었던 두 점의 진동 주기 (oscillating frequency)는 0.5 Hz, 1 Hz, 2 Hz 이었다. 상대위상 패턴은 총 11개로 0° , 18° , 36° , 54° , 72° , 90° , 108° , 126° , 144° , 162° , 180° 이었다. 0° 상대위상 패턴은 두 개의 점이 서로 같이 움직이는 패턴이며(그림 2A), 180° 패턴은 두 개의 점이 정확히 반대 방향으로 움직이는 패턴이다(그림 2B). 그리고 0° 와 180° 사이의 패턴들은 이 두 개의 패턴 간의 비율로 만들어졌다.

피험자는 일반 배경(normal background)과 격자 배경(grid background)의 두 가지의 배경 조건(background conditions) 중 하나의 조건에 무작위로 속하여 실험에 임하였다(그림 3). 일반 배경 조건은 두 점이 흰 바탕의 배경에서 움직이는 조건이었으며, 격자 배경 조건은 두 점이 격자무늬 배경을 바탕으로 움직이는 조건이었다.

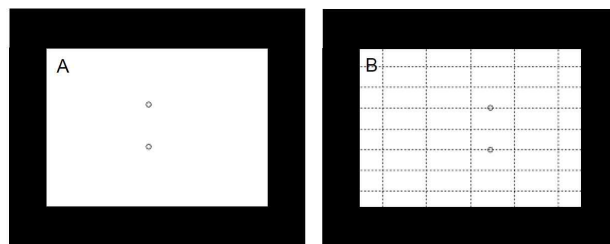


그림 3. 배경 조건. (A) 일반 배경, (B) 격자 배경

실험과정

피험자는 의자에 앉아서 0.76미터 앞에 위치한 컴퓨터 모니터를 바라보았다. 시각(visual angle)은 약 1.6° 이었다. 실험이 진행되는 동안, 실험실 내의 불은 모두 끄고 암막을 사용하여 창문으로 빛이 들어오는 것을 차단하였다(1 lux 이하). 컴퓨터 모니터의 밝기는 가장 밝게 하여 피험자가 모니터 화면에 집중할 수 있도록 하였다.

실험은 1) 실험에 대한 일반적 설명, 2) 패턴 지각 연습, 3) 패턴 분별 시험 순으로 진행 되었다. 피험자는 먼저 실험에 관한 일반적인 내용을 문서와 실험자의 설명을 통하여 숙지하였다. 다음의 내용은 피험자가 읽은 실험에 관한 내용이다.

모니터에 두 개의 점이 움직입니다. 이 두 점은 특정한 패턴으로 움직이게 됩니다. 두 점에 의한 특정한 패턴은 총 11개 입니다. 이 11개의 패턴은 각각 숫자 0 ~ 10으로 규정됩니다. 두 개의 점이 좌우로 동일하게 움직일 경우 숫자 0에 해당하는 패턴입니다. 두 개의 점이 정반대로 움직이는 경우 숫자 10에 해당하는 패턴입니다. 이 두 패턴을 포함한 11개의 패턴과 패턴에 해당하는 숫자는 패턴 연습에서 실험자로부터 제시되고 설명될 것입니다. 이때 실험 참가자는 패턴과 패턴에 부여된 숫자를 파악하기 위해 노력해야 합니다. 패턴 연습을 끝내면, 패턴 분별 시험을 할 것 입니다. 이 시험에서 실험 참가자는 패턴 연습에서 학습한 11개의 패턴을 보고 해당하는 숫자를 말하여야 합니다. 패턴 분별 시험에서 패턴은 무작위로 보이게 되며, 두 점의 움직이는 속도도 달라집니다.

피험자는 실험에 관한 내용을 읽은 후에 바로 패턴 지각 연습을 하였다. 패턴 지각 연습에서 피험자는 11개의 상대위상 패턴을 학습하였다. 패턴은 0°에서 180°로 진행이 되었으며 한 패턴 당 3번씩 관찰하였다. 피험자가 특정 패턴을 관찰할 때, 실험자는 각 패턴에 해당하는 숫자를 피험자에게 알려주고 암기할 것을 당부하였다. 0°에서 180°사이의 각 패턴은 0에서 10까지 순서대로 부여하였다. 패턴 지각 연습에서 사용된 두 점의 진동 주기는 0.25 Hz이었다. 연습에서 사용된 진동 주기는 패턴 분별 시험에서 사용된 주기에 비해 느렸는데, 이는 피험자가 패턴을 더 잘 관찰하여 이해할 수 있도록 하기 위한 목적이었다.

패턴 지각 연습이 끝나고 3분의 휴식 후에 패턴 분별 시험(judgment test)이 진행되었다. 패턴 분별 시험은 0.5 Hz, 1 Hz, 2 Hz의 세 가지 진동 주기 조건(oscillating frequency conditions) 하에서 시행되었으며 0.5 Hz, 1 Hz, 2 Hz 주기 조건 순으로 진행되었다. 각 진동 주기 조건 하에서 피험자는 11개의 패턴을 3회(총 33회) 관찰하였다. 11개의 패턴은 무작위로 재생이 되었으며 피험자는 하나의 패턴을 보고 난 후, 그 패턴에 해당하는 숫자를 실험자에게 말하였다. 하나의 진동 주기 조건 하에서 패턴 분별 시험이 끝나면 피험자에게 3분의 휴식이 주어졌다. 패턴 분별 시험이 끝난 후, 피험자들을 대상으로 인터뷰가 진행되었다. 모든 피험자에게 공통적으로 서로 다른 패턴을 구분한 방법에 대해 질문하였고, 격자 배경 그룹에 속한 피

험자들에게는 부가적으로 격자무늬를 패턴 분별에 얼마나 이용하였는지 질문하였다. 이용 정도는 이용하지 않았음(1), 조금 이용하였음(2), 보통 이용하였음(3), 많이 이용하였음(4), 전적으로 이용하였음(5)으로 나눠 피험자들이 응답하도록 하였다.

자료분석과 통계처리

패턴 분별 시험 동안, 각각의 패턴에 대해 피험자가 매긴 패턴 점수를 자료 분석을 위하여 사용하였다. 종속변수(dependent variables)로는 분별 점수, 절대 분별 오차, 분별 안정성이 사용되었다. 분별 점수는 각 진동 주기 조건의 11개 패턴의 평균값으로 각 패턴에 대한 피험자의 패턴 지각을 나타낸 것이다. 절대 분별 오차는 패턴에 부여된 원 점수에서 피험자가 매긴 패턴 점수의 절대 차이를 나타낸 것이다. 절대 분별 오차값이 클수록 피험자가 매긴 분별 점수가 원래의 패턴 점수와 차이가 큰 것을 의미한다. 분별 안정성은 각 진동 주기 조건에 따른 각 패턴의 3회 시행한 분별 점수의 표준편차(standard deviation)값을 나타낸 것으로 피험자의 패턴 지각의 안정성을 나타낸 것이다. 분별 안정성 값이 낮을수록 피험자는 특정 패턴에 대한 3회의 분별 점수의 폭이 작음을 나타내며, 이는 패턴 분별이 안정적이었음을 나타낸다.

통계적 처리는 독립변수(independent variables)인 배경(일반, 격자), 진동주기(0.5 Hz, 1 Hz, 2 Hz), 협응패턴($0^\circ \sim 180^\circ$)에 대하여 삼원변량반복측정분석(3-way repeated measures of ANOVA)으로 진동주기와 상대위상 패턴에 대한 반복 측정법이 사용되었다. 각 독립변수에 대한 주 효과(main effect)가 통계적으로 유의한 경우, Tukey를 사용한 사후검정을 하였다. 모든 통계적 유의수준은 알파(α)값 0.05로 정하였다.

결 과

분별 점수

배경에 대한 주효과(main effect) 및 연관된 상호작용(interaction)은 발견되지 않았

다. 진동 주기($F_{(2, 44)} = 15.55, p < 0.0001$)와 협응 패턴($F_{(10, 220)} = 542.30, p < 0.0001$)에 대한 주효과가 발견되었다. 진동주기에 대한 사후검증은 2 Hz 조건(4.34)이 다른 두 조건들(0.5 Hz = 5.20, 1 Hz = 4.86)에 비해 분별 점수가 낮다는 것을 나타낸다. 협응패턴에 대한 사후검증은 피험자들이 11개의 협응패턴에 대하여 모두 다른 점수를 부여했다는 것을 보여준다. 분별 점수에 대한 삼원변량반복측정분석에서 진동주기와 협응패턴의 상호작용이 유의하였다($F_{(20, 440)} = 3.25, p < 0.0001$). 그림 4는 진동주기와 협응패턴의 상호작용을 보여주고 있다.

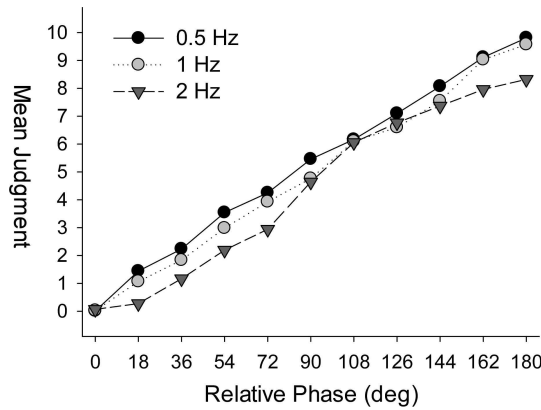


그림 4. 상대적 위상값과 진동주기조건에 따른 분별점수. 분별점수는 배경 조건을 합한 평균값으로 나타내었다.

절대 분별 오차

배경에 대한 주효과 및 연관된 상호작용은 발견되지 않았다. 진동주기($F_{(2, 44)} = 34.80, p < 0.0001$)와 협응패턴($F_{(10, 220)} = 26.55, p < 0.0001$)에 대한 주효과가 발견되었다. 진동주기에 대한 사후검증은 2 Hz 조건(1.48)에서 다른 두 조건들(0.5 Hz = 0.66, 1 Hz = 0.81)에 비해 절대 분별 오차가 크음을 보여주었다. 협응패턴에 대한 사후검증을 통하여 0° 상대위상 패턴이 가장 낮은 절대 분별 오차를 가지며, 뒤이어 18°, 36° 상대위상 패턴이며 72°, 90°, 108°, 126° 상대위상 패턴들이 가장 큰 절대 분별 오차를 보였다. 절대 분별 오차에 대한 통계분석은 진동주기와 협응패턴

의 상호작용이 있음을 보여주었다($F_{(20, 440)} = 4.84, p < 0.0001$). 그림 5는 72° 상대 위상 패턴 이상에서 2 Hz 조건일 때 다른 두 진동 주기 조건보다 절대 분별 오차가 커지고 있음을 보여준다. 또한 0.5 Hz, 1 Hz에서의 “뒤집어진 U” 모양의 형태가 사라지는 모습을 보여준다.

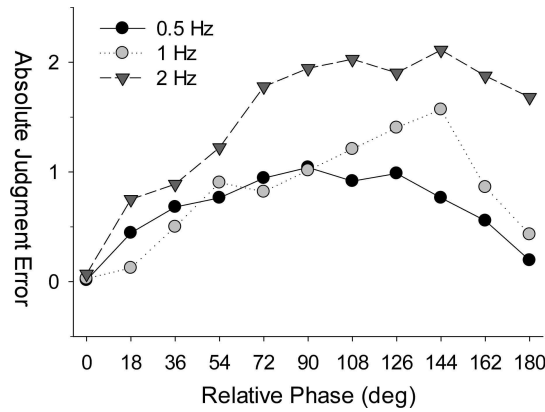


그림 5. 상대적 위상값과 진동주기조건에 따른 절대분별오차. 절대분별오차는 배경 조건을 합한 평균값으로 나타내었다.

분별 안정성

배경에 대한 주효과 및 연관된 상호작용은 발견되지 않았다. 진동주기에 대한 주효과가 발견되었으며($F_{(2, 44)} = 25.22, p < 0.0001$) 이에 대한 사후검증을 통해서 2 Hz 조건(1.06)에서 다른 두 조건들(0.5 Hz = 0.59, 1 Hz = 0.73)에 비해 분별 안정성이 떨어진다는 것을 확인하였다. 진동주기에 대한 주효과($F_{(10, 220)} = 25.20, p < 0.0001$)와 사후검증은 0° 상대위상 패턴이 가장 분별 안정성이 좋았으며 90°, 108°, 126°, 144° 상대위상 패턴들의 분별 안정성이 제일 낮음을 보여주었다. 절대 분별 오차에 대한 통계분석은 진동주기와 협응패턴의 상호작용이 있음을 보여주었다($F_{(20, 440)} = 2.92, p < 0.0001$). 그림 6은 72° 상대위상 패턴 이상에서 2 Hz 조건일 때 다른 두 진동 주기 조건보다 절대 분별 오차가 커지고 있음을 보여주며, 0.5 Hz, 1 Hz에서의 “뒤집어진 U” 모양의 형태가 사라지는 모습을 보여준다.

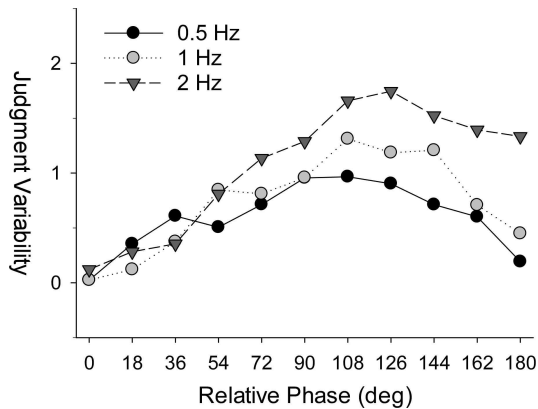


그림 6. 상대적 위상값과 진동주기조건에 따른 분별 안정성. 분별안정성은 배경 조건을 합한 평균값으로 나타내었다.

인터뷰

서로 다른 패턴을 구분한 방법에 대한 질문에 22명(91.7%)이 두 점 사이의 거리 혹은 두 점이 특정 지점을 지나가는 시간 차이로 패턴을 구분하였다고 응답하였다. 2명(8.3%)은 패턴 구분 방법에 대하여 말로써 표현하지 못하였다. 총 12명의 격자 배경 그룹의 피험자 중 전적으로 격자무늬를 이용하였다는 응답은 1명(8.3%)이었고, 많이 이용하였다는 응답은 5명(41.6%), 보통 이용하였다는 3명(25%), 많이 이용하지 않았다는 응답은 2명(15.7%), 이용하지 않았다는 응답은 1명(8.3%)으로 나타났다.

논 의

본 연구는 시각적 협응 패턴들의 지각적 분별 역학이 HKB 모델을 따르는지 살펴보고, 패턴 분별의 지각적 정확성과 안정성이 부가적 감각정보에 의해 향상될 수 있는지에 대해 알아보았다. 주요 결과는 다음의 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 분별의 정확성과 안정성은 진동 주기가 느릴 때는 “뒤집어진 U” 모양을 띠다

가 진동 주기가 빨라짐에 따라 180° 상대위상 패턴에 가까운 패턴들에서 정확성과 안정성이 감소하였다. 둘째, 격자 배경은 분별의 정확성과 안정성을 향상시키지 못하였다. 다음에서 이 두 가지 결과에 대하여 논의를 하고자 한다.

본 실험의 0.5 Hz와 1 Hz의 진동 주기 조건에서 0° 상대위상 패턴과 180° 상대위상 패턴이 가장 안정하고 정확한 패턴이었으며, 그 사이의 상대위상 패턴들은 상대적으로 부정확하고 불안정하였다. 이러한 발견은 이전의 Bingham et al. (1999)과 Zaal et al. (2000)의 실험에서도 관찰되었으며[13, 14], HKB 모델에서 예측하고 있는 내재적 협응과 일치한다(그림 1A). 이는 조절변수의 준비 상태인 내재적 협응 패턴의 분별이 운동 협응의 재생과 동일한 역학을 가지고 있음을 의미한다. 즉, 0°와 180° 상대위상 패턴들은 지각적으로 가장 안정되고 정확하게 분별할 수 있으므로 운동 협응에서도 가장 안정되고 정확하게 협응을 수행할 수 있는 것이다[13, 14, 15, 21, 22].

이전의 협응 패턴 분별 연구들은 최대 1.25 Hz의 진동 주기를 사용하였고, 그 결과 조절 변수 변화에 따른 내재적 협응의 변화를 밝혀내지 못한 한계가 있었다[13, 14, 15]. 본 연구에 쓰인 2 Hz의 진동 주기에서 180° 상대위상 패턴 및 그 주변 패턴들의 분별이 불안정하고 부정확해지는 것을 확인하였으며, 이는 HKB 모델에서 조절변수를 변화시켰을 때의 예측과 일치하는 것이다(그림 1B, C)[3]. HKB 모델에서는 이러한 상태에서 더욱 조절변수를 변화시키면 오직 0° 상대위상 패턴에서만 협응의 안정성을 나타내는 것으로 예측하고 있다(그림 1D)[3]. 운동 협응 및 지각-운동 협응 연구들에서 180° 상대위상으로 시작한 협응 패턴의 경우 운동주기를 빠르게 하면 패턴의 불안정성이 증가하다가 0° 상대위상 패턴으로 위상 변환(phase transition)을 하게 된다[1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. 이 경우는 협응 시스템이 더 이상 180° 상대위상 패턴을 수행하지 못하고 더 안정된 0° 상대위상 패턴으로 자가 조직화(self-organization)하기 때문이다. 본 연구에서 가장 빠른 진동 주기에서 패턴 분별의 정확성과 안정성이 180° 상대위상 패턴에 가까운 패턴들에서 상대적으로 감소한 것은 협응 패턴들을 정보적으로 처리하는데 지각적 역치(perceptual threshold)에 다다르고 있음을 의미하는 것으로 생각된다[10, 12].

본 연구에서 이용한 배경의 격자무늬는 협응 패턴 분별의 정확성과 안정성을 향상시키지 못한 것으로 나타났다. 메트로놈 신호나 촉각 정보를 양손 협응 운동

에 부가적으로 제시한 이전 연구의 경우, 피험자들은 의도적으로 주어진 정보를 협응 운동에 이용함으로써 정보를 제공하지 않았을 때보다 운동 협응의 안정성이 더 향상되었다(4, 16, 20). 본 연구의 경우 피험자들의 8.3%만이 전적으로 협응 패턴의 분별에 격자무늬를 이용하였으며, 피험자의 50%는 보통 이하로 이용한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 격자무늬, 실질적으로는 세로줄이 협응을 분별하기 위한 강력한 정보 혹은 지각적 닻으로 작용하지 못했음을 의미한다.

그러면 본 연구의 격자무늬가 이전 연구의 청각적 신호와 달리 지각적 닻으로 이용되지 못한 이유는 무엇일까? 이전의 연구들에서 청각 신호나 촉각 제공의 주기는 협응 운동의 주기와 일치하였다(4, 16, 20). 이를 통하여 피험자들은 주어진 정보를 운동 협응 수행의 강력한 닻으로 이용할 수 있었으나, 본 연구의 격자무늬는 점이 좌에서 우로 이동하는 동안 5개의 세로줄을 통과함으로써 피험자들에게 과한 정보를 주었을 가능성이 있다. 만약, 점이 이동하는 좌우 끝단 혹은 정중앙에만 세로줄을 배치하였다면 피험자에게 좀 더 명확한(explicit) 정보로 이용되었을 것이다. 또한 이전 연구들은 피험자들에게 구체적으로 제공된 일회의 정보 마다 일회의 운동을 수행할 것을 지시하였으므로 더욱 부가적 정보가 피험자들에게 닻으로 이용되는데 효과적이었을 것이다(4, 16, 20). 하지만, 본 연구에서는 피험자에게 격자무늬를 어떻게 이용하라는 구체적인 지시가 없었으므로 주어진 정보를 이용하는데 어려움을 겪었을 수 있다.

격자배경이 패턴 분별을 향상시키지 못한 또 다른 가능성은 피험자들이 부가적 정보를 이용해 협응 패턴을 분별하는 노력보다 패턴 그 자체에 주의를 집중하였기 때문으로 생각 된다. 이는 전체 피험자 24명 중 22명(91.7%)이 두 점이 이동하는 동안 두 점 사이의 거리 혹은 두 점이 특정 지점을 지나가는 시간 차이 등으로 패턴을 분별하는 전략을 가졌다고 대답한 점이 뒷받침한다. 즉, 부가적 정보가 있었음에도 실제로 패턴을 분별하는 전략은 두 그룹에서 차이가 없었음을 의미한다. 다만, 격자무늬의 세로줄이 분별 전략에 도움이 될 수 있었음에도 불구하고, 앞서 언급하였던 것과 같이 격자무늬 그룹의 피험자들에게 명확하게 이용되지 못한 것으로 생각된다.

본 연구는 이전의 Bingham과 동료들이 보여준 협응 지각의 내재 역학을 재현하였고 더 나아가 조절변수의 변화에 따른 내재적 역학 이후의 협응 역학이 HKB

모델을 따름을 보여주었다. 이는 HKB 모델이 협응 패턴의 지각까지 확장될 수 있음을 보여준 것으로 협응 패턴의 분별이 운동 협응의 재생과 동일한 역학을 공유하고 있으며, 협응의 지각적 부분과 운동 수행적 부분이 서로 짝지어져 있음 (perception-action coupling)을 의미한다. 본 연구에서 사용한 부가적 환경 정보인 격자무늬가 협응 패턴 분별에 도움이 되지 못하였지만, 차후 연구에서 패턴 지각을 향상시킬 수 있는 다른 방법을 찾아보는 것은 중요한 과제가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Kelso, J. A. S. (1981). On the oscillatory basis of movement. *Bulletin of Psychonomic Society*, 18, 63.
- [2] Kelso, J. A. S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology*, 240, R1000-R1004.
- [3] Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1995). A theoretical model of phase transitions in bimanual coordination. *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- [4] Byblow, W. D., Carson, R. G., & Goodman, D. (1994). Expressions of asymmetries and anchoring in bimanual coordination. *Human Movement Science*, 13, 3-28.
- [5] Carson, R. G. (1995). The dynamics of isometric bimanual coordination. *Experimental Brain Research*, 105, 465-476.
- [6] Ryu, Y. U. & Buchanan, J. J. (2004). Amplitude scaling in a bimanual circle-drawing task: pattern switching and end-effector variability. *Journal of Motor Behavior*, 36, 265-279.
- [7] Kelso, J. A. S., Buchanan, J. J., & Wallace, S. A. (1991). Order parameters for the neural organization of single, multijoint limb movement patterns. *Experimental Brain Research*, 851, 432-444.
- [8] Buchanan, J. J., & Kelso, J. A. S. (1993). Posturally induced transitions in rhythmic multijoint limb movements. *Experimental Brain Research*, 94, 131-142.
- [9] Kelso, J. A. S. & Jeka, J. J. (1992). Symmetry breaking dynamics of human multilimb

- coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 645-668.
- [10] Wimmers, R. H., Beek, P. J., & Van Wieringen, P. C. W. (1992). Phase-transitions in rhythmic tracking movements - a case of unilateral coupling. *Human Movement Science*, 11, 217-226.
- [11] Peper, C. E., & Beek, P. J. (1998). Are frequency-induced transitions in rhythmic coordination mediated by a drop in amplitude? *Biological Cybernetics*, 79, 271-300.
- [12] Schmidt, R. C., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 227-247.
- [13] Bingham, G. P., Schmidt, R. C., & Zaal, F. T. J. M. (1999). Visual perception of the relative phasing of human limb movements. *Perception & Psychophysics*, 61, 246-258.
- [14] Zaal, F. T. J. M., Bingham, G. P., & Schmidt, R. C. (2000). Visual perception of mean relative phase and phase variability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1209-1220.
- [15] Bingham, G. P., Zaal, F. T. J. M., Shull, J. A., & Collins, D. R. (2001). The effect of frequency on the visual perception of relative phase and phase variability of two oscillating objects. *Experimental Brain Research*, 136, 543-552.
- [16] Byblow, W. D., Chua, R., & Goodman, D. (1995). Asymmetries in coupling dynamics of perception and action. *Journal of Motor Behavior*, 27, 123-137.
- [17] Reed, D. W., Liu, X., & Miall, R. C. (2003). On-line feedback control of human visually guided slow ramp tracking: effects of spatial separation of visual cues. *Neuroscience Letter*, 338, 209-212.
- [18] Ryu, Y. U. & Buchanan, J. J. (2009). Learning an environment - actor coordination skill: visuomotor transformation and coherency of perceptual structure. *Experimental Brain Research*, 196, 279-293.
- [19] Fink, P. W., Foo, P., Jirsa, V. K., & Kelso, J. A. S. (2000). Local and global stabilization of coordination by sensory information. *Experimental Brain Research*, 134, 9-20.

- [20] Kelso, J. A. S., Fink, P. W., DeLaplain, C. R., & Carson, R. G. (2001). Haptic information stabilizes and destabilizes coordination dynamics. *Proceedings of the Royal Society B*, *1472*, 1207-1213.
- [21] Wilson, A. D., Collins, D. R., & Bingham, G. P. (2005). Perceptual coupling in rhythmic movement coordination: stable perception leads to stable action. *Experimental Brain Research*, *164*, 517-528.
- [22] Ryu, Y. U. & Buchanan, J. J. (2012). Accuracy, stability, and corrective behavior in a visuomotor tracking task: a preliminary study. *PLoS One*, *7*, e38537.

1 차원고접수 : 2012. 7. 23
2 차원고접수 : 2012. 9. 10
최종게재승인 : 2012. 9. 24

(*Abstract*)

Visual Perception Dynamics of Relative Phase Coordination Pattern with Additional Visual Information Using a Background Grid

Young Uk Ryu

Department of Physical Therapy, Catholic University of Daegu

The purpose of the present study was to examine if perception of visual coordination pattern is consistent with the prediction of the HKB model (Haken, Kelso, Bunz, 1985). In addition, this study aimed to see if an additional sensory information using a grid background stabilizes perception of coordination pattern. Participants joined one of two experimental groups, Normal background and Grid background, to participate the pattern recognition training session and the pattern judgment test session. Participants observed 0°, 18°, 36°, 54°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°, and 180° coordination patterns characterized by two oscillating dots. The dots oscillated in 0.25 Hz for the pattern recognition training and in 0.5 Hz, 1 Hz, and 2 Hz for the pattern judgment test. Judgment score, absolute judgment error, and judgment stability out of the pattern judgment test were analyzed statistically. The landscape of pattern accuracy and stability data was “inverted-U” shape with slower oscillating frequency conditions. In the faster condition, the accuracy and stability of the judgment decreased with relative phase patterns near 180°. These findings consistent with the prediction of the HKB model. The grid as additional sensory information did not increase accuracy and stability in coordination perception.

Keywords : Visual perception, Coordination, Perceptual dynamics, HKB model