

2차원 운동지각에 미치는 색채와 주의의 영향

이형철
광운대학교 산업심리학과

The effect of color and attention on the perception of 2D coherent motion

Hyung-Chul O. Li
Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

요 약

색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동지각을 향상시킨다는 연구결과 (Stoner & Albright, 1997)와 색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동지각을 향상시키지 못한다는 상반된 연구결과(Edwards & Badcock, 1996)의 모순을 해결하고, 선택적 주위에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동지각에 미치는 영향을 연구하기 위하여 일련의 실험이 수행되었다. 이러한 연구문제에 대한 이형철 (1999)의 연구가 있었지만, 이형철의 연구는 단지 숙련된 2명의 피험자의 결과에 의존했다는 점, 그리고 선택적 주위에 사용된 자극에서 목표자극과 방해자극이 색채에 의해 완벽하게 분리되지 않았다는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점이 본 연구에서는 제거되었다. 목표자극과 방해자극이 색채정보에 의해서만 분리되고 그 외의 다른 정보에 의하여 분리되지 않을 때와 목표자극과 방해자극이 그 어떤 정보에 의해서도 분리되지 않을 때, 피험자들의 2차원 운동지각 수행은 비슷하였다. 하지만, 목표자극과 방해자극이 색채정보에 의하여 분리되고 피험자들이 목표자극을 구성하는 색채에 선택적 주위를 기울일 때, 피험자들의 2차원 운동지각 수행은 향상되었다. 이러한 실험결과는 선택적 주위가 개입되지 않는 한 인간의 운동지각체계는 자극 구성 요소들을 운동 정보분석을 위해 색채에 따라 자동적으로 grouping 하지 않음을 의미한다.

서론

일반적으로 서로 다른 대상은 상이한 색채, 명도, 결방향, 공간빈도, 양안부등과 운동요소로 구성되어 있고, 우리의 시각기체는 이러한 정보를 대상분리 지각에 이용할 수 있다. 색채나 명도, 결방향, 혹은 양안부등이나 운동정보와 같은 각각의 정보를 우리의 시각기체가 전경-배경 분리에 이용한다는 것은 확실해 보이나, 이들이 어떻게 상호 작용하는지에 대하여서는 확실하게 밝혀진 바가 별로 없다. 최근, 색채에 의한 전경-배경의 분리가 2차원 운동방향지각 과제 수행에 영향을 미치는 지에 대한 연구결과가 보고되었다 (Croner & Albright, 1997; Edwards &

Badcock, 1996).

Croner와 Albright(1997)는 무선적인 방향으로 움직이는 방해자극 (distracter)속에 일정하게 오른쪽이나 왼쪽 방향으로 무리를 지어 움직이는 목표자극(target)을 제시하고 피험자로 하여금 주어진 전체 운동자극의 방향이 왼쪽인지 오른쪽인지를 보고 하도록 하였다. 목표자극과 방해자극이 색채에 의하여 분리되지 않았을 때 (비분리 조건: 방해자극과 목표자극 모두 노란색)에 비하여 분리되었을 때 (분리조건: 방해자극 초록색, 목표자극 빨간색) 피험자들의 운동방향지각 수행이 향상되었다. 주목해야 할 것은 Croner와 Albright의 연구에 사용된 분리조건에서 방해자극과 목표자극이 동수로 구성되어 있지 않고 목표자극이 방해자극에 비해 소수여서 정

지된 프레임에서 목표자극과 방해자극의 색채차이가 목표자극을 지각적으로 돌출 되게 한다는 것이고 피험자들은 선택적으로 목표 자극에 주의를 기울일 수 있었다는 것이다. 이러한 실험설계상의 문제점 때문에 Croner와 Albright 연구에서 나타난 분리조건에서의 우월한 2차원 운동지각 수행을 시각기체가 색채에 따라 주어진 자극구성요소를 독립적으로 처리하였다고 해석하기 힘들다.

Croner와 Albright 연구에서의 단점인 선택적 주의의 영향을 제거할 수 있도록 Edwards와 Badcock (1996)의 연구에서는 초록색 자극과 빨간색 자극이 동수로 구성되어 있어서 어느 색 자극도 지각적으로 돌출 되지 않았다. 이러한 조건에서, 피험자들의 수행은 목표자극과 방해자극이 분리되지 않았을 때 (방해자극과 목표자극 모두 녹색)와 분리되었을 때 수행이 비슷하였다. Edwards와 Badcock은 이러한 실험결과에 바탕하여 인간의 시각기체가 운동정보를 처리하기 위하여 색채에 따라 주어진 자극 구성 요소들을 자동적으로 grouping 하지 않는다고 해석하였다.

하지만 이러한 결론에 도달한 Edwards와 Badcock의 연구는 중대한 단점을 지니고 있는데, 실험자극이 초록색과 빨간색 동수로 구성되어 있어서 어느 색 자극도 지각적으로 돌출 되지는 않지만 목표자극과 방해자극이 색채에 의해 완벽하게 분리되지 않았다는 것이다. 예를 들자면, 방해자극은 전부 초록색으로 구성 되었어도 목표자극의 일부는 빨간색으로 그리고 나머지는 초록색으로 구성되었다. 이러한 실험자극 구성의 단점은 Edwards와 Badcock이 행한 실험결과의 해석을 어렵게 한다는 것이다. Edwards와 Badcock의 경우, 목표자극과 방해자극을 색채에 의해 분리시켰을 때와 분리시키지 않았을 때, 피험자들의 2차원 운동방향 지각 수행에 유의한 차이가 없었다. 이러한 실험결과를 Edwards와 Badcock은 시각기체가 주어진 운동자극을 색채에 따라 자동적으로 grouping 하지 않기 때문이라고 해석하였으나, 또 다른 가능성은, 목표자극과 방해자극이 색채에 의해 완벽하게 분리되지 않았기

때문에 색채에 의한 분리효과가 나타나지 않았다고 해석할 수 있다.

일반적으로 일관된 운동방향지각에 요구되는 coherence threshold는 약 5%이다. 다시 말해 100개의 구성 요소 중 95개는 무선적인 방향으로 움직이고 5개만 일정한 방향으로 움직여도 피험자들은 성공적으로 전반적인 2차원 운동방향을 지각할 수 있다. 만약 전체자극의 반을 목표자극으로 하고 나머지 반을 방해자극으로 구성한 후 목표자극과 방해자극을 색채에 의해 완벽하게 분리하면, 다시 말해 coherence rate을 50%로 하였을 경우, 과제 자체가 너무 쉬워서 천정효과(ceiling effect)가 나타날 가능성이 높다. 따라서, 분리조건과 비분리 조건간 수행차이가 실제적으로 존재할 수 있음에도 불구하고 천정효과 때문에 분리조건과 비분리 조건사이에 수행차이가 없는 것으로 연구결과가 나타날 수 있다. 이러한 천정효과를 제거하고 선택적 주의를 통제하기 위하여 Edwards와 Badcock이 택한 방법은 coherence rate을 천정효과가 나타나지 않도록 유지하면서 녹색과 빨간색 구성요소를 동수로 유지하는 것이었다. 하지만 이러한 방법에 의하면 목표자극과 방해자극이 색채에 의하여 완벽하게 분리될 수 없다.

Croner와 Albright의 연구, 그리고 Edwards와 Badcock연구의 공통된 단점은, 분리조건을 구성하는 자극 구성원들과 비분리 조건을 구성하는 자극 구성원들의 색채구성이 동일하지 않았다는 점이다. 이상적으로는 실험조건과 통제조건이 색채에 따른 분리/비분리 차원에서만 달라야 하는데, 색채에 따른 분리/비분리 이외에 두 조건을 구성하는 구성요소들의 색채에 의해서도 차이가 있었다는 점이다. 예를 들면, Croner와 Albright의 경우, 통제조건 자극은 모두 노란색으로, 그리고 실험조건 자극은 초록색과 빨간색으로 구성되었다. Edwards와 Badcock의 경우에는 통제조건은 모두 초록색으로 그리고 실험조건의 자극은 동수의 초록색과 빨간색 요소로 구성되었다. 통제조건과 실험조건을 구성하는 자극 요소들의 색채가 달랐기 때문에 피험자들은 주어진 자극이 통제조건의 자극인지 실험

조건의 자극인지 변별할 수 있었다.

이형철 (1999)은 Croner와 Albright의 연구와 Edwards와 Badcock의 연구 결과들 사이의 모순을 해결하고자 이들이 사용한 동일한 실험과정을 사용하여 일련의 실험을 수행하였다. 단 Croner와 Albright의 연구와 Edwards와 Badcock의 연구의 공통된 단점을 극복하기 위하여 실험조건과 통제조건을 구성하는 자극 요소들이 동일한 색채로 구성되도록 하였다. 따라서 피험자들은 주어진 자극이 실험조건 자극인지 통제조건 자극인지 변별할 수 없었다. 실험결과, Croner와 Albright의 연구와 Edwards와 Badcock의 연구에서 얻어진 결과들이 그대로 반복 되었다. 이러한 실험 결과는 Croner와 Albright의 연구와 Edwards와 Badcock의 연구 결과들이 실험오차에 의한 결과가 아니라는 것을 의미한다.

이형철은 Croner와 Albright의 연구결과가 피험자들이 목표자극에 선택적 주의를 기울였기 때문에 비분리 조건에서 보다 분리조건에서 2차원 운동방향지각을 더욱 잘 수행하였는지 알아보기 위하여 피험자들로 하여금 목표자극에 선택적으로 주의하도록 하였다. 이 때 사용된 자극은 지각적 돌출 효과와 선택적 주의 효과를 구분하기 위하여 Croner와 Albright가 사용한 자극이 아닌 Edwards와 Badcock이 사용한 자극이 사용되었다. 다시 말해, 목표자극은 지각적으로 돌출되지 않았고 방해자극과 색채에 의해 완벽하게 구분되지 않았다. 선택적 주의가 요구된 분리조건과 선택적 주의가 이득이 되지 못하는 비분리 조건에서의 피험자들의 수행은 비슷하였다. 이러한 실험결과에 근거하여 이형철은 Croner와 Albright에서 발견된 색채에 따른 분리효과가 선택적 주의가 아닌 목표자극의 지각적 돌출효과라고 해석하였다.

색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동방향 지각에 미치는 영향을 연구하기 위하여 가장 이상적인 자극은 목표자극이 지각적으로 돌출되지 않고 천정효과가 나타나지 않도록 하면서 목표자극과 방해자극을 색채에 의해 완벽하게 분리되도록 운동자극을 구성하는 것이다. 이형철 (1999)은 목표자극이 지각적으로 돌출되지 않도록

운동자극을 초록색과 빨간색이 동수가 되도록 구성하였고 목표자극과 방해자극이 색채에 의해 완벽하게 구성되도록 하였다. 동시에 천정효과가 나타나지 않도록 프레임간 구성요소의 이동거리와 피험자의 관찰거리를 조작하였다. 이 때 피험자들의 수행은 분리조건과 비분리 조건에서 비슷하였다.

이형철(1999)의 연구가 Croner와 Albright (1997)의 연구와 Edwards와 Badcock (1996)의 연구의 한계점을 극복하고 2차원 운동지각에 미치는 선택적 주의를 연구하였다는 가치는 있지만 몇 가지 한계점을 안고 있다. 첫째, 이형철의 연구에서 피험자들은 숙련된 2명의 피험자였고 이 둘 모두는 실험가설을 알고 있었다. 따라서 실험가설을 알지 못하는 순수한 피험자의 자료가 요구된다. 둘째, 선택적 주의 연구에 사용된 자극에서 목표자극과 방해자극은 색채에 의해 완벽하게 분리되지 않았다. 선택적 주의의 효과가 없었던 한가지 가능한 이유는 목표자극과 방해자극이 선택적 주의를 기울인 색채에 의해 완벽하게 분리되지 않았기 때문일 수 있다.

본 연구의 목적은 Croner와 Albright (1997)의 연구, Edwards와 Badcock (1996)의 연구 그리고 이형철 (1999)의 연구의 문제점을 극복하고 색채 및 선택적 주의에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동지각에 미치는 영향을 연구하는 것이다. 운동정보 처리에서 색채의 역할에 대한 연구는 색채대비 (colour contrast)에 의해서만 자극이 정의되는 등명도 (isoluminance) 조건에서 주로 수행 되었다. 일반적으로, 명도대비에 의해 운동자극이 정의 된 조건에 비해 색채대비에 의해서만 자극이 정의된 경우에 피험자들은 운동방향을 잘 지각하지 못한다. 하지만 색채대비에 의해서만 자극이 정의된 경우에도 운동지각이 가능하다는 상당한 증거가 제시되어 왔다 (Cavanagh & Favreau, 1985; Saito, Tanaka, Isono, Yasuda & Mikami, 1989; Palmer, Mobley & Teller, 1993; Morgan & Ingle, 1994; Cropper & Derrington, 1996). 목표자극과 방해자극을 색채에 의해 분리시키는 것이 운동정보 처리를 도와줄 수 있는가 하는 문

제는 운동지각이 등명도 조건에서도 가능한가의 문제와 별개의 문제이다. 설명, 운동기제를 활성화 시키기 위해 국소적인 요소의 명도대비가 필요하다고 가정 할 지라도, 국소적인 요소간의 색채차이가 복잡한 이미지를 여러 운동요소로 분리 하는 데에 이용 될 가능성은 남아 있다. 본 연구의 주된 관심사는 색채정보가 단독으로 운동지각기제를 활성화 시킬 수 있는나 하는 질문에 답하는 데에 있지 않고, 목표자극과 방해자극을 색채에 의해 분리 시키는 것이 운동방향 지각에 얼마나 도움을 줄 수 있는가 라는 질문에 답하는데 있다.

방법

피험자

정상시각과 정상 색채시를 갖는 다섯 명의 피험자가 실험에 참가 하였다. 이중 두 명은 정신물리학 실험에 참가한 경력이 있는 숙련된 피험자로서 실험 가설을 알고 있었고, 나머지 세 명은 정신물리학 실험에 참가한 경력이 없고 실험 가설을 알지 못하는 순수 피험자 였다. 단 실험 1에는 두 명의 숙련된 피험자와 두 명의 순수 피험자가 참가 하였다.

장치

자극은 PowerMac 8500/180에 의해 생성되어 17' NEC MultiSync XV RGB 모니터에 제시 되었다 (640H X 480V pixel resolution; P22 phosphors; 120Hz refresh rate). 모니터의 비선형성은 선형적이 되도록 바로 잡았다.

운동자극

운동자극은 0.34도 크기의 지름을 갖는 8가지의 Gaussian점들로 구성되었다: 빨강, 초록, 밝은 빨강, 밝은 초록, 어두운 빨강, 어두운 초록. 운동자극은 100개의 Gaussian점들로 구성되어 6.8° X 6.8° 크기의 원도우에 제시되었다. 이 중 목표자극은 .034° / 프레임의 속도로 움직였고, 하나의 운동프레임은 33.3 msec동안 제시되었다. 총 운동 프레임 수는 10 프레임 이었다. 따라서 총 자

극 제시시간은 333 msec이었다. 주어진 운동자극을 구성하는 전체자극 구성요소 중에서 목표자극이 50%, 방해자극이 50%를 차지 하였다. 색채에 의해 분리된 조건에서 목표자극은 빨강이나 녹색 둘 중에서 하나에 의해 구성되었고 방해자극은 나머지 다른 하나의 색에 의해 구성되었다. 비분리 조건에서는 목표자극과 방해자극 모두 동수의 빨강과 초록색에 의해 구성되었다. 따라서 정지된 프레임에서 피험자들은 주어진 자극이 분리 조건 자극인지 아니면 비분리 조건 자극인지 변별 할 수 없었다.

네 가지 Gaussian 타입 (밝은 빨강, 어두운 빨강, 밝은 초록, 어두운 초록)을 적절히 결합함으로써 색채 뿐만 아니라 명도, 또는 색채와 명도의 결합에 의해 분리된 조건과 비분리된 조건에서의 피험자들의 운동방향 지각 수행을 비교 연구 할 수 있었다.

절차

피험자들은 주어진 과제 수행을 할 수 있도록 사전에 충분한 연습을 하였다. 실험 전에 피험자들은 1분 동안 실험자극의 배경색인 노랑색에 순응하였다. 십자표시가 모니터 중앙에 제시되고 피험자가 반응 키를 누르면 자극이 제시 되었다. 333 msec 동안 자극이 제시되고 난 후에 피험자는 두 개의 키보드 버튼을 사용하여 주어진 자극의 운동 방향이 오른쪽인지 왼쪽인지 강제로 선택 하였으면 피험자의 반응에 뒤이어 feedback이 주어지고 곧바로 다음 시행 자극이 제시 되었다.

Isoluminant R/(R+G)의 측정

색채이외의 다른 요인이 수행에 미치는 영향을 막기 위해 빨강색 Gaussian과 초록색 Gaussian이 지각적으로 동일한 명도로 느껴지도록 하는 R/(R+G)를 피험자 각각에 대하여 구하고 이를 이후의 실험에서 자극을 구성하는 데 사용하였다. Isoluminant R/(R+G)는 본 연구에서 사용되는 2차원 운동방향지각 수행을 가장 저조하게 만드는 R/(R+G)로 선택하였다.

실험1. 목표자극과 방해자극의 색채에 따른 완전 분리/비분리 조건

실험1은 크게 세 개의 하위 실험들로 구성되어 있다: 첫째, 운동자극이 4개 타입의 Gaussian 점들로 구성되고 (밝은 빨강, 어두운 빨강, 밝은 초록, 어두운 초록), coherence rate이 50%인 경우, 둘째, 운동자극이 2개 타입의 Gaussian 점들로 구성되고 (밝은 빨강 vs 밝은 초록, 또는 어두운 빨강 vs. 어두운 초록) coherence rate이 50%인 경우, 셋째, 운동자극이 4개 타입의 Gaussian 점들로 구성되고 (밝은 빨강, 어두운 빨강, 밝은 초록, 어두운 초록), coherence rate이 25% 인 경우 (이 경우 목표자극은 4가지 타입의 Gaussian 중 어느 하나로 구성되고 방해자극은 나머지 세가지 타입의 Gaussian으로 구성되었다).

세가지 하위 실험들 모두에서 분리조건과 비분리 조건간 피험자의 수행차이가 가장 컸던 경우는 자극이 두 가지 타입의 Gaussian에 의해 구성된 경우 였는데, 색채에 의해 목표자극과 방해자극이 분리된 조건에서 올바른 수행비율은 0.702 였고 비분리 조건에서의 올바른 수행 비율은 0.758로 오히려 비분리 조건에서 수행이 더 좋았다. 하지만 두 조건간의 차이는 통계적으로 유의미 하지 않았다 ($F(1,4)=4.146, p=0.1114$).

명도에 의해서 목표자극과 방해자극이 분리된 조건과 비분리된 조건간에서의 피험자의 수행은 비슷하였고, 같은 결과가 색채와 명도의 결합에 의해 분리된 조건과 분리되지 않은 조건에서도 발견 되었다.

실험2. 목표자극에 대한 선택적 주의의 효과

실험2는 크게 두 개의 하위 실험들로 구성되어 있다: 첫째, 운동자극이 2개 타입의 Gaussian 점들로 구성되고 (밝은 빨강 vs. 밝은 초록, 어두운 빨강 vs. 어두운 초록; 분리조건에서는 목표자극과 방해자극이 각각 다른 타입으로 구성되고, 비분리 조건에서는

두 개 타입의 조합으로 구성됨) coherence rate이 50% 인 경우, 둘째, 운동자극이 4개 타입의 Gaussian 점들로 구성되고 (밝은 빨강, 밝은 초록, 어두운 빨강, 어두운 초록) coherence rate이 25% 인 경우 (4가지 타입 중 하나가 목표자극이 되고 다른 3가지 타입은 방해 자극인 경우). 분리 조건인 경우에 피험자들은 목표자극이 어떤 타입의 Gaussian으로 구성되어 있는지 정보를 받았고, 목표자극에 선택적 주의를 기울이도록 요구를 받았다. 비분리 조건인 경우에 피험자들은 어떤 정보도 부여 받지 않았으며 설명. 특정 타입의 Gaussian에 선택적 주의를 기울이는 것이 이론적으로 수행에 어떤 도움도 주지 못한다.

첫째, 운동자극이 2개 타입의 Gaussian 점들로 구성된 경우, 4가지 가능한 실험조합의 경우에 피험자들의 수행이 비슷하였다. 따라서, 4가지 가능한 실험조합에서의 각 피험자들의 평균 수행율이 계산되었다. 피험자들이 목표자극에 선택적 주의를 기울이지 않은 비분리 조건에 비하여 목표자극에 선택적 주의를 기울인 분리 조건에서의 수행이 더 좋았다 (0.703 vs. 0.792). 하지만 이러한 차이는 .05 수준에서 통계적으로 유의미 하지는 않았다 ($F(1,4)=5.909, p = .0719$).

둘째, 운동자극이 4개 타입의 Gaussian 점들로 구성된 경우에, 목표자극이 될 수 있는 Gaussian 타입이 4가지가 될 수 있는데, 4가지 실험조합의 경우에서 피험자들의 수행이 비슷하여 각 피험자에 대하여 4가지 실험조합에서의 평균 수행율이 계산 되었다. 목표자극에 선택적 주의를 기울이지 않은 비분리 조건에서 피험자들의 평균 정확 수행율은 0.763 이었고 목표자극에 선택적 주의를 기울인 분리조건에서 피험자들의 평균 정확 수행율은 0.847 이었으며 두 조건에서의 이와 같은 차이는 통계적으로 유의미 하였다 ($F(1,4) = 23.691, p = .0082$).

종합논의

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리는 2차원 운동지각 수행에 도움을 주지 못한다. 둘째, 하지만 목표자극과 방해자극이 색채에 의해 분리되고 피험자가 목표자극이 어떤 색으로 구성되어 있는지 알고 이에 선택적 주의를 기울인다면, 비분리 조건에 비해 피험자의 수행은 향상된다.

이러한 실험결과는 Corner와 Albright의 연구에서 발견된 색채에 따른 분리효과가 색채에 따른 분리효과 자체라기 보다는 목표자극에 대한 선택적 주의의 효과임을 의미한다. 본 연구의 색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리에 관한 실험결과는 Edwards와 Badcock 의 실험결과와 일치 한다. 하지만, Edwards와 Badcock의 실험 설계의 제한 점을 극복하고 색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동지각에 미치는 영향을 연구하였다는 데에 의미가 있다. 또한 본 연구에서 발견한 선택적 주의의 효과는 이형철의 이전 연구에서 선택적 주의의 효과를 얻지 못한 것이 실험설계상의 문제점에 기인함을 의미한다 (이형철이 이전에 수행한 2차원 운동방향 지각에 미치는 선택적 주의의 영향 연구에서 목표자극과 방해자극은 색채에 의해 완벽하게 분리 되지 않았다).

색채에 따른 목표자극과 방해자극의 분리가 2차원 운동방향 지각에 영향을 주지 못하고 단지 색채에 따른 분리와 선택적 주의의 결합만이 2차원 운동방향 지각 수행을 향상시킨다는 본 연구의 실험 결과는 선택적 주의가 개입되지 않는 한 인간의 운동지각체계는 자극 구성 요소들을 운동정보분석을 위해 색채에 따라 자동적으로 **grouping** 하지 않음을 의미한다

참고 문헌

이형철 (1999). 색채 및 명도에 따른 signal과 noise의 분리가 2차원 운동지각에 미치는 영향. *한국 실험 및 인지심리학회 여름 학술 대회*. 19-25

Cavanagh, P. & Favreau, O. E. (1985). Color and

luminance share a common motion pathway. *Vision Research*, 25, 1595-1601.

Croner, L. J. & Albright, T. D. (1997). Image segmentation enhances discrimination of motion in visual noise. *Vision Research*, 37, 1415-1427.

Cropper, S. J. & Derrington, A. M. (1996). Rapid colour-specific detection of motion in human vision. *Nature*, 379, 72-74.

Edwards, M. & Badcock, D. R. (1996). Global-motion perception: Interaction of chromatic and luminance signals. *Vision Research*, 36, 2423-2431.

Morgan, M. J. & Ingle, G. (1994). What direction of motion do we see if luminance but not colour contrast is reversed during displacement? Psychophysical evidence for a signed-colour input to motion detection. *Vision Research*, 34, 2527-2535.

Palmer, J., Mobley, L. A. & Teller, D. Y. (1993). Motion at isoluminance: Discrimination/detection ratios and the summation of luminance and chromatic signals. *Journal of the Optical Society of America A*, 10, 1353-1362.

Saito, H., Tanaka, K., Isono, H., Yasuda, M. & Mikami, A. (1989). Directionally selective response of cells in the middle temporal area (MT) of the macaque monkey to the movement of equiluminous opponent color stimuli. *Experimental Brain Research*, 75, 1-14.