

이중도약과제를 사용한 공간의 확장감과 축소감 연구

김경한, 이춘길

서울대학교 심리학과

서울시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

kyunghan@plaza.snu.ac.kr

Induction of Expansion and Shrinkage in Spatial Location Using Double-Step Paradigm

Kyunghan Kim and Choongkil Lee

Department of Psychology, Seoul National University

56-1, Shinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-742

kyunghan@plaza.snu.ac.kr

요약

안구의 운동은 시각 환경에서의 진행중인 정보처리와 관련된 지각적, 인지적 과정을 밀접히 반영하는 중요한 지표로서, 특히 공간 지각과의 상관은 비교적 명확히 확립되어 있다. 본 연구는 공간지각에 관여하는 안구운동의 특성을 파악하여, 공간지각을 반영하는 안구운동 지표를 개발한다는 목표 아래, 피험자가 느끼는 공간의 확장감과 축소의 특성을 이중도약과제(double-step paradigm)를 사용하여 관찰한 것이다. 이중도약과제는 도약(saccadic) 안구운동의 오차를 유발시키는 실험기법으로, 두개의 시각자극을 하나씩 연속적으로 보여주되, 두번째 자극은 안구운동이 일어나는 도중에 제시하는 것으로서, 인위적으로 왜곡된 공간에 대한 피험자의 공간적응을 관찰하는데 사용되었다. 이 과제는 다시 자극의 이차도약 방향에 따라 축소감 조건과 확장감 조건으로 나뉘었고, 머리운동의 역할을 판별하기 위해 머리를 고정된 조건과 머리를 자유롭게 한 조건으로 분류되었다. 그 결과 머리가 고정된 상태에서는 축소감 조건에 대한 적응이 확장감 조건에서보다 더 빨리 일어나고, 그 적응후의 시선이동의 변화량에서도 축소감 조건이 더 크게 나타났다. 또한 머리를 자유롭게 할 경우 공간 지각의 정확성이 증가하며, 축소감과 확장감 경험속도의 차이가 약 49.2%까지 해소되었으나, 여전히 축소감의 경험이 더 잘 일어났다.

서론

시선의 이동은 대개의 경우 머리의 운동과 도약 안구 운동(saccadic eye movement)에 의해서 이루어진

다. 도약안구운동은 그 속도가 흔히 700도/초에까지 이르는 고속으로 약 50-80msec의 기간에 종료되는 특징을 지닌다. 이러한 고속의 시선 이동의 정확성은 반응 시간이 긴, 시각에 의한 되먹임(feedback)으로는 불가능하다. 따라서 도약 안구 운동은 시각의 입력이 없이 제어되고, 그 정확성이 유지되기 위해서는 수행이 계속적으로 평가되어야 하며, 도약의 gain(자극의 거리에 대한 도약의 크기의 비율)이 조절되는 적응적 변화를 수반하여야 한다.

이중 도약 과제(double-step paradigm)는 공간의 한 위치에 제시된 자극을 향하여 안구운동이 일어나는 순간에 자극의 위치를 변화시킴으로써 안구 운동의 오차를 인위적으로 유발시키는 과제이다. 시선을 이동시키는 고속의 도약(saccade) 안구 운동 기간 동안에는 시각이 차단되어 자극 위치의 변화를 알아차리지 못하므로 피험자는 두 번째 도약을 감지하지 못한다. 이러한 시행을 반복하게 되면 안구 운동의 변수에 적응적 변화가 일어나게 되고 자극의 이동 방향으로 안구의 운동폭이 증가 혹은 감소하게 된다. 이러한 안구 운동의 변화 과정을 흔히 gain(자극의 위치에 대한 안구 운동의 크기)의 증가나 감소로서 설명하여 왔으나 이것은 결과에 대한 기술에 불과하며 적응적 변화를 일으키는 기전에 관한 추론은 아니다. 이 변화를 구동하는 기전은 gain 증가를 일으키는 공간의 확장감과 gain 감소를 일으키는 공간의 축소감 등 공간 지각의 적응적 변화로써 설명될 수 있다. de Graaf 등의 연구(1995)에 따르면 이중도약과제에 의한 적응적 변화는 안구운동 뿐 아니라, 손의 동작에도 전이되는데, 이는 이러한 공간지각의 변화를 지지하는 증거이며 따라서

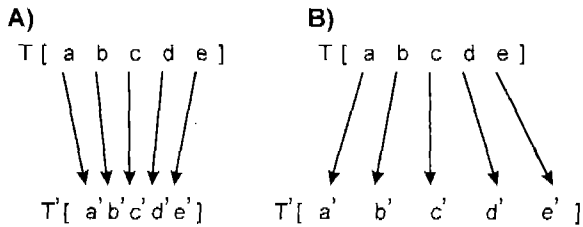


그림 1. 공간의 확장감 (A)과 축소감(B). 자극의 물리적 공간 (T)을 구성하는 각 위치의 점 자극 a, b, c, d, e에 대한 표상 공간 (T')에서의 표상 위치, a', b', c', d', e'. 화살표는 망막-외측슬상체-시각피질과 이후의 공간 표상에 관여하는 고차 피질 영역의 해부학적 축으로 이루어지는 시공간 표상 구조의 전이 특성을 나타낸다.

적응적 변화는 안구 구동의 운동계 이전 단계에서의 변화를 나타낸다고 할 수 있다.

이중도약과제는 시각이 정확성을 회복하는 일종의 적응과정이라고 정의되어 왔으며, 이 적응은 단기간에 발생하는 것으로서 공간 개념에 대한 적응을 이해하는데 중요한 요소로 등장하였다. 이와 같이 인위적으로 조작된 공간감에 반응하여 피험자는 일차시선도약운동을 이차시선도약운동으로써 보정하여 지각된 오차를 최소화하고, 공간의 표상을 새로운 조건에 맞추어 적응 변화시키는 것이라고 간주할 수 있다.

자극의 물리적 위치에 대한 표상은 망막-외측슬상체-시각피질로 이루어지는 해부학적 구조의 공간 위치 표상의 전이 특성에 의해서 이루어진다. 안정된 공간 지각은 물리적 위치에 대한 표상 공간이 동일할 경우이나 표상 공간이 왜곡될 때 그림 1의 A나 B와 같이 공간의 확장감, 축소감이 발생한다.

그림 2는 이중도약과제에서 공간의 확장감을 유발하게 되는 파라다임을 도식적으로 보인다. 공간의 축소감에 관한 절차는 점자극의 두 번째 도약이 첫 번째 도약과 반대의 방향으로 도입되는 경우이다. 적응 전의 시행에서 안구의 위치 (E)에 관한 feedback 신호는 표상함수, S를 수정하게 되고 그에 따라 안구를 구동하는 controller, C (중뇌와 뇌간의 gaze control system)에 전달하는 표상된 자극 위치, 즉 안구의 목표 위치 신호 T'이 수정되게 된다. 이 표상함수의 수정은 곧 공간의 확장감과 축소감으로 경험된다.

방법

1) 피험자

모두 5명의 피험자가 실험에 참가하였으며, 이들의 연령은 27-30세였다. 이들 중 4명의 피험자는 안경을 착용한 상태로 실험을 수행하였다.

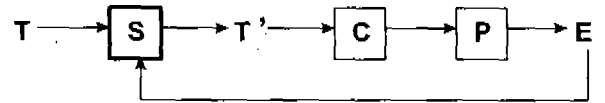


그림 2. 이중도약과제의 적응적 변화와 공간 지각. 공간의 한 위치에서 제시된 점 자극의 물리적 위치 (T)에 대해 표상 함수 (S)에 의한 자극의 표상된 위치 (T')가 대응한다 ((그림 1) 참조). 표상된 위치는 곧 안구 운동의 controller, C에 전달되어 운동 명령이 생성되고 이 controller의 운동 명령은 안구, 안구 근육 등으로 이루어지는 plant, P에 전달되어 안구의 위치, E가 제어된다. 현재의 안구 위치 신호, E는 공간 표상 함수, S에 전달되어 공간 지각을 왜곡하게 될 가능성이 있으며 이것은 곧 공간의 확장감(혹은 축소감)을 유발하고 gain (E/T) 증가(혹은 감소)를 낳게 된다.

2) 안구 및 머리운동 측정

본 실험에서는 Robinson(1963)이 고안한 공막탐지 코일 기법을 안구 및 머리운동의 측정에 사용하였다. 실리콘 고무를 소재로 제조한 공막 콘택트 렌즈 (Skalar Medical, 네덜란드)를 오른쪽 안구의 각막 상에 착용시키는데, 그 직전에 국부마취제 (0.5% pro-paracaine hydrochloride, Alcon)를 몇방울 점안하였다. 피험자는 또한 다른 탐지코일(직경 38mm, 에나멜선 10회 감기)을 장착한 모자를 착용하게 하였으며, 이는 머리의 운동을 탐지하는데 사용되었다. 피험자는 정육면체 (65×65×65cm) 모양으로 된 프레임 중앙에 앉게 되는데, 이 프레임에서는 50kHz와 75kHz의 자장이 직교하여 발생하는 코일이 장치되었다. 여기서 발생한 자장은 안구와 머리카일에 유도되고, 이 유도된 전류는 Rimmel (1984)이 개발한 회로에 의해 증폭, 복조되었다. 안구와 머리의 위치에 상응하는 수평 수직신호는 120Hz의 차단주파수 특성을 지닌 low-pass 필터를 거쳐서 500Hz 12bit의 A/D 컨버터에 의해 샘플링되었다.

3) 장비

적색 레이저를 레이저 다이오드에 의해 발생시켜, 조리개를 거치게 한 뒤, 후방투사방식의 스크린에 비추어 피험자의 안구운동을 지시하는데 사용하였다. Scanner (General Scanning, DE series, 미국)로 통제하는 한쌍의 mirror galvanometer를 투사경로에 설치하였으며, 이것이 레이저의 위치를 이동시키는데 사용되었다. 자극의 크기는 스크린에 비추어 보았을 때 직경 4mm (0.2도)였다. 스크린은 크기 2m × 2m로, 피험자로부터 115cm 위치에 설치되었으며, 이는 피험자의 수평, 수직 시야에서 각기 ±40도에 해당했다.

4) 절차

피험자 각각은 모두 4개의 실험조건에 모두 참여하

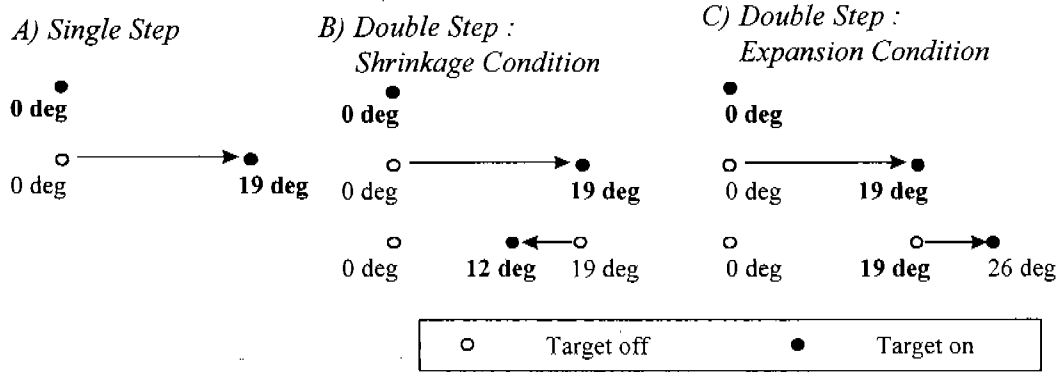


그림 3. 시행의 세가지 유형. 본문 참조

였다. 이들은 두 개의 머리조건(고정 또는 자유) × 두 개의 방향조건(확장감 또는 축소감)으로 구성되었다. 피험자는 하루에 하나의 조건에만 참여하였으며, 각각의 조건 사이에는 최소 2일 이상의 시간을 두었다. 각각의 조건에서, 피험자들은 먼저 필드코일 안에 착석한 뒤, 공막코일과 머리카일을 착용하게 하였다. 머리 고정조건에서는 피험자는 치과용 모델링 컴파운드로 만든 바이트 바를 물게하여 머리를 움직이지 못하도록 하였다. 머리 자유 조건에서는 피험자는 머리를 자유롭게 움직이도록 지시받았다. 또한 공히 조명을 완전히 차단한 실험실 내에서 피험자는 목표자극을 따라 시선을 정확하고 신속하게 움직이도록 지시받았다. 아래에는 본 연구에서 사용된 3가지 형태의 시행을 조건별로 나열하였다 (그림 3 참조).

단일도약 : 단일도약 시행은 안구와 머리운동의 지표추정에 사용되었는데, 짧은 신호음으로서 실험의 시작을 알린 뒤, 자극은 스크린 중앙 (수평 0도, 수직 0도) 위치에 나타났다. 시선방향이 2도×2도 크기의 원도우 안에 250ms 이상 머물게 되면, 0에서 500ms 사이의 시간을 무선적으로 선택 지연하였다. 그 후 목표점은 좌 또는 우 19도 위치로 이동하였다.

이중도약-축소감 조건 : 피험자의 시선이 새로운 목표위치 (그림 3B상에서는 우측 19도 위치)로 이동하면, 목표자극은 두 번째 도약을 첫 번째 도약과 반대 방향으로 일으킨다. 시선이 19도 위치에 도달할 무렵이면 목표자극은 이미 12도 위치로 이동해 있다. 두 번째 자극의 도약크기 (7도)는 첫 번째 자극의 도약크기 (19도)의 36.84%였다. 이때 목표점의 이차도약은 안구운동 최대속도의 약 50%시점에서 일어나게 되며, 이 경우 자극의 두 번째 도약크기가 첫 번째 도약크기의 40% 이내일 경우에는 피험자는 두 번째 도약을 감지하지 못하는 것으로 알려져 있다. 피험자는 오차를 경험하고 보정 도약안구운동을 일으켜 이를 보정한다. 이러한 시행이 반복되면 피험자는 이중도약조건에 적

응을 일으키게 되고, 일차도약안구운동의 크기는 감소한다. 도약안구운동의 시작은 시선위치를 계속 측정함으로써 탐지하는 한편, 시선이 현재 고정점으로부터 2.5도 크기의 원도우를 벗어나는 시점에서 컴퓨터가 자극의 두 번째 도약을 트리거하도록 프로그램하였다.

이중도약-확장감 조건 : 이 절차는 축소감 조건과 기본적으로는 동일하나, 두 번째 자극 도약은 첫 번째 자극도약과 같은 방향이라는 데 그 차이점이 있다(그림 3C). 따라서 두 번째 자극은 26도 위치에 나타나게 된다. 자극의 첫 번째 도약크기와 두 번째 도약크기 사이의 비율은 축소감 조건과 마찬가지로 36.84%였다. 따라서 피험자는 보정도약운동을 첫 번째 도약운동과 동일한 방향으로 수행하게 된다. 각 실험조건에서는 단일도약과제를 32시행, 이중도약과제를 640시행 수행하였다.

결과

1) 적응율과 머리운동의 역할

그림 4에는 한 대표적인 피험자에서, 각 조건별로 일차시선운동폭의 크기를 시행수의 함수로 나타내었다. 4가지 조건 모두에서 시행수가 늘어남에 따라 시선의 이동폭은 점차 아래쪽으로 내려가거나 올라가는 모습을 보인다. 일례로 축소감 조건의 경우에는, 이동폭은 적응직후에 급격하게 감소하다가 점점 내려가는 정도가 줄어들어 결국 점근선에 도달한다. 이러한 경향은 다음과 같은 exponential decay 함수로 기술될 수 있다.

$$f(n) = A \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{n}\right)}$$

여기서 $f(n)$ 은 시행수 n 의 함수로 나타낸 시선 이동폭, A 는 계인 인수, b 는 정점위치, τ 는 시간상수를 나타낸다. 시간상수란 시선이 이동폭이 점근선의 63%에 이르는 시행수로서, 작은 시간상수는 따라서 적응변화율이 빠르다는 것을 의미한다. 시선이 이동폭의 구간평균

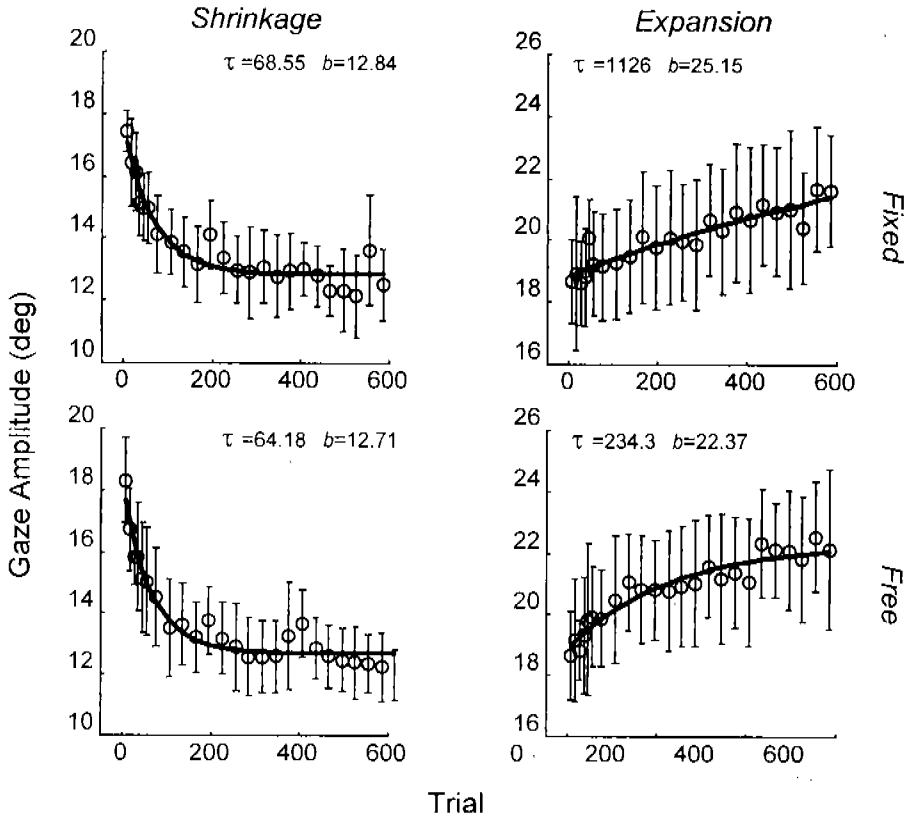


그림 4. 시선이동폭의 변화를 exponential 함수로 fitting 한 것을 4가지 조건별로 나타낸 것으로 대표적인 피험자의 사례. 상단 두 그림은 머리가 고정된 조건이며, 하단 두 그림은 머리가 자유로운 조건이다. 좌측 두 그림은 축소감 조건을, 우측 두 그림은 확장감 조건을 나타낸다. 각각의 그림에서, 동그라미들은 시선이동폭의 평균을 나타내며 그 상하의 막대들은 1 표준편차를 나타낸다. 첫 번째 60시행까지는 10시행씩을 평균하였고, 그 이후는 30시행씩을 평균하였다. 굵은 실선은 최소자승기법을 사용하여 fitting한 exponential 곡선으로, 시간상수(τ)와 점근선(b) 값을 같이 표시해 놓았다.

을 이용하여 최적화된 exponential 함수를 구하였으며 (그림 4의 굵은 실선), 이를 이용하여 이동폭의 변화를 기술하였다. 각각의 조건에서 R^2 는 0.99보다 컸으며, 회귀의 F비율도 매우 크게 나타났다. (>100,000)

그림 4에서, 축소감 조건의 경우에는 일차 시선이동폭이 감소하였으며, 확장감 조건의 경우에는 증가하였다. 그러나 먼저 머리를 고정한 조건만 살펴볼 경우 (상단)에는, 적응율이 축소감 조건(좌측)에서 더 빠른 반면 확장감 조건(우측)에서는 더 느리게 나타났다. 그리고 머리를 자유롭게 한 조건의 경우를 살펴보면, 이러한 축소감 조건과 확장감 조건 사이의 적응율 차이가 머리를 고정한 조건과 비교해 볼 때 줄어들었다. fitting 함수의 시간상수는 이러한 적응율을 관별하는데 사용될 수 있으며, 이를 표 1에 요약하였다

Fitting 함수의 시간상수는 피험자에 걸쳐 다양하게 나타났는데, 이는 특히 확장감 조건의 경우에 두드러지게 나타났다. 일반적으로 머리를 고정시킨 축소감

조건의 경우 시간상수는 확장감조건의 경우보다 작았다. 피험자 5명 모두에서 머리를 자유롭게 한 확장감 조건의 시간상수는 머리를 고정한 확장감 조건의 시간상수보다 작았다. 그리고 축소감 조건과 확장감 조건의 시간상수 차이는 머리를 고정했을 때보다 머리를 자유롭게 할 경우 더 작게 나타났다. 이러한 결과는 머리를 고정시키는 것이 축소감 조건의 경우보다 확장감 조건의 적응율에 더 큰 영향을 미침을 나타낸다. 그러나 머리를 자유롭게 했을 경우라도 5명의 피험자 가운데 4명의 피험자에게서 축소감 조건의 시간상수가 확장감 조건의 시간상수보다 더 작게 나타났다. 전체적으로 보았을 때, 머리를 고정했을 때의 축소감 조건과 확장감 조건간 시간상수의 차이중 49.2%가 머리를 자유롭게 함으로써 사라졌다.

머리를 자유롭게 함으로써 확장감 조건의 시간상수가 줄어드는 정도가 피험자에 따라 크게 다르게 나타나므로 (IA의 경우 131, OJ의 경우 891.7), 시선을 이

동시킬 때 머리를 사용하는 경향성과 시간상수가 줄어드는 양 사이의 상관관계를 분석하였다. 그림 5에는 확장감 조건에서 머리를 자유롭게 할 경우 시간상수가 줄어드는 양과 시선이동시 머리를 사용하는 경향성 사이의 관계를 도식하였다. 시선이동시에 머리를 움직이는 비율이 큰 피험자일수록 확장감 조건에서 머리를 자유롭게 한 조건과 머리를 고정한 조건 사이의 시간상수 차이는 더 크게 나타났다.

머리를 자유롭게 했을 때 적응의 속도는 축소감 조건에서도 역시 작게 나타났다(표1). 전체적으로 보았을 때 이러한 변화의 양은 확장감 조건에서보다 작았다. 따라서 확장감 조건이 축소감 조건보다 머리운동의 영향을 더 크게 받았다.

2) 시선이동폭 및 시간상 분석

표 2에는 각 피험자의 시선이동폭의 평균과 표준편차를 요약하였다. 평균적으로 단일도약과제상의 시선이동폭은 머리가 자유로운 조건보다 머리가 고정된 조건에서 더 작게 나타났다. 즉 머리가 고정된 조건에서는 18.01 ± 1.26도였으며 머리가 자유로운 조건에서는 18.88 ± 1.18도였다. 또한 이러한 차이는 통계적으로 유의미하게 나타났다 ($F_{1,4}=19.41, P<0.025$).

표2에서 요약한 바와 같이, 시선이동폭은 축소감 조건의 경우 단일도약과제의 이동폭보다 더 작게 나타났으며, 확장감 조건의 경우 더 크게 나타났다. 머리를 고정시킨 조건의 경우, 축소감 조건에서는 시선이동폭의 변화가 이차 목표점 도약의 85.71%에 이르렀던 반면, 확장감 조건에서는 41.28%에 머물렀다. 그리고 머리를 자유롭게 한 조건에서는 축소감 조건의 경우 84.14%, 확장감 조건의 경우 50.57%였다. 적응과정 이후 시선이동폭은 축소감 조건의 경우 머리의 고정여부

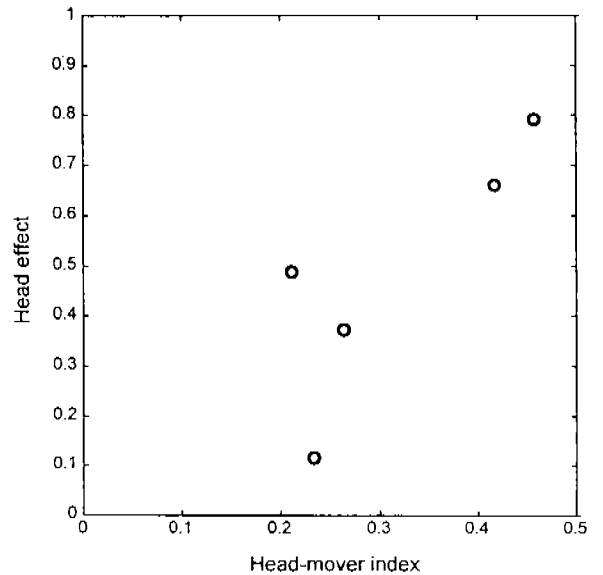


그림 5. 머리를 자유롭게 했을 때 확장감 조건에서 시간상수가 줄어드는 양과, 시선이동시에 머리를 사용하는 정도 사이의 상관관계. 각 동그라미들은 피험자 각각을 나타낸다. 수평축의 head-mover index는 시선을 외곽자극으로 이동시킬 때 머리를 사용하는 정도로서, 19도의 단일도약자극으로 시선을 이동할 때의 머리의 이동폭을 평균한 것을 19도에 대한 비율로 나타낸 것이다. 즉 이 값이 0인 경우는 19도를 바라볼 때 머리를 전혀 움직이지 않고 안구로만 시선을 이동시키는 것을 의미하며, 1인 경우는 안구를 전혀 움직이지 않고 머리만 이동시키는 경우를 뜻한다. 수직축의 head effect는 머리를 고정시킨 확장감 조건의 시간상수에서 머리를 자유롭게 한 확장감 조건의 시간상수를 빼고, 이를 다시 머리를 고정한 확장감 조건의 시간상수로 나눈 것으로서, 머리를 자유롭게 했을 때 시간상수가 줄어드는 비율을 나타낸다.

에 따라 유의미한 차이가 나타나지 않았으나, 확장감 조건의 경우 평균 이동폭은 머리를 자유롭게 한 경우가 머리를 고정시킨 경우보다 유의미하게 크게 나타났다 ($F_{1,4}=18.24, P<0.025$).

표 1
각 조건별 시간상수

	축소감			확장감		
	축소	확장	확장-축소	축소	확장	확장-축소
	KH			IA		
머리고정	241.9	363.1	121.2	83.13	1132.0	1084.9
머리자유	205.6	123.7	-81.9	107.1	1001.0	893.9
고정-자유	36.3	239.4		-23.9	131.0	
	DS			KW		
머리고정	117.3	374.1	256.8	292.6	529.6	237.0
머리자유	58.0	234.1	176.1	232.7	271.9	39.2
고정-자유	59.3	140.1		59.9	257.7	
	OJ					
머리고정	68.5	1126.0	1057.5			
머리자유	64.2	234.3	170.1			
고정-자유	4.3	891.7				

논의

시선이동이 위와 같은 적응을 보이는 것은 목표자극의 위치에 대한 표상이 변화하는 것으로 그 기전을 설명할 수 있다. 청각자극(Harris, 1979)에 혹은 청각자극(de Graff et al, 1995)에 대한 시선이동폭의 적응이 손가락으로 방향을 지시하는 과제에도 전이된다는 결과들은 적응기전이 감각차원에 기원하고 있음을 지지한다. 즉 적응과정중 목표위치의 표상이 수정을 받게 되는 것이다. 이러한 결과들은 시선과 손의 움직임을 통제하는 운동시스템이 목표위치에 대한 정보를 공통으로 사용하고 있는 한편 적응과정 도중에 공간지각은 서서히 왜곡됨으로써 결국 운동명령신호를 수정할 수

있음을 시사한다.

공간정보는 시각, 청각, proprioception, 전정감각 등의 다중경로를 통해 처리된다. 각각의 경로는 부분적으로 이에 기여하게 되며, 그 기여하는 정도는 환경의 속성에 의해 달라진다. 예를들면 야간시에서의 목표위치 판별은 청각과 전정감각에 의존하는 반면, 주간시에서는 머리의 움직임이 최소한일지라도 시각만으로서도 구현이 가능하다. 본 연구와 같이 완전히 어두운 상태에서는 목표위치에 대한 공간정보는 망막상 좌표에 의한 시각경로만으로 획득된다. 즉 현재의 안구와 머리를 포함한 시선위치를 합산하여 망막상 오류를 계산하면 공간상에서의 목표위치를 구성해낼 수 있다. 또한 머리를 자유롭게 한 조건에서는 목표위치 부호화의 정확성이 향상되며, 특히 목표자극이 외곽에 위치할수록 그 향상되는 정도가 크다 (Biguer et al, 1984). 즉 망막상 오류가 동일할 지라도, 보다 외곽에 위치한 목표점을 정확하게 표상하는 데는 더 큰 자원을 요구하는 것이다. 즉 확장감 조건에서는 자극이 보다 외곽에 위치하게 되지만, 머리가 자유로운 조건에서는 외곽위치의 목표점을 부호화하는 정도가 더 개선되므로, 머리가 자유로운 조건에서 확장감과 축소감 사이의 적응 정도 차이가 줄어들어 가는 것은 여기에 귀인시킬 수 있다.

공간감의 평정에 있어서 안구 운동의 변수를 사용하는 것은 객관적인 공간감 지표의 개발과 관련하여 한 가능성을 시사한다. 또한 본 연구가 함의하고 있는 잠재적인 응용분야인 가상 환경에서의 외곽된 공간 지각에 관한 연구는 제한적인 측면에서 이루어져 왔다. 가상환경 상황에서의 시각입력 및 시선제어 운동의 특성은 정상상황에서의 것과 차이가 있음이 밝혀지고 있다. 본 연구와 같이 이중도약 안구운동 과제를 활용할 경우, 자극에 대한 도약안구운동의 크기를 관찰함으로써

써 가상공간의 크기에 대한 지각의 유발된 변화를 살펴볼 수 있으므로, 피험자가 느끼는 공간의 확장감과 축소감을 객관적으로 관찰할 수 있다고 기대된다. 즉 가상환경에서 제시된 확장감, 또는 축소감에 대한 공간지각의 변화를 측정할 수 있는 지표로서 도약안구운동의 적응을 활용할 수 있음이 시사된다.

참고문헌

- Biguer, B., Prablanc, C., & Jeannerod, M. "The contribution of coordinated eye and head movements in hand pointing accuracy". *Exp Brain Res*, 55, 462-409. 1984
- de Graaf, J.B., Pelisson, D., Prablanc, C., & Goffart, L. "Modifications in end positions of arm movements following short term saccadic adaptation". *Neuroreport An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 6, 1733-1736. 1995
- Harris, D.M., & Dallos, P. "Forward masking of auditory nerve fiber responses". *J Neurophysiol*, 42, 1083-1107. 1979
- McLaughlin, S.C. "Localization of a peripheral target during parametric adjustment of saccadic eye movements". *Perception and Psychophysics*, 2, 359-362. 1967
- Rommel, R.S. "An inexpensive eye movement monitor using the scleral search coil technique". *IEEE transactions on biomedical engineering, BME-31*, 388-390. 1984
- Robinson, D.A. "A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field". *IEEE transactions on biomedical engineering, BME-10*, 137-145. 1963

표 2

각 피험자의 시선이동폭의 평균 및 표준편차

피험자		머리고정			머리자유		
		단일도약	축소감	확장감	단일도약	축소감	확장감
KH	평균	18.01	13.03	22.18	18.36	12.86	22.60
	SD	1.28	1.52	1.46	1.52	1.11	1.94
IA	평균	17.65	12.49	22.04	18.55	12.49	22.32
	SD	0.82	1.09	1.79	1.10	1.09	1.28
DS	평균	18.46	12.89	23.78	18.95	12.53	24.81
	SD	1.05	1.11	1.81	0.91	0.88	1.34
KW	평균	17.60	13.68	20.80	18.93	14.22	21.78
	SD	1.36	1.29	1.98	1.37	1.18	1.77
OJ	평균	17.13	12.89	20.67	18.36	13.43	21.21
	SD	1.37	1.11	2.12	1.52	1.73	1.87
피험자간	평균	18.01	13.00	21.89	18.88	13.11	22.54
	SD	1.26	1.29	2.15	1.18	1.39	2.06

본 연구는 1997년 과학기술처 선도기술개발사업 중 감성공학기술개발사업의 지원으로 수행되었다.