

## 이간계와 삼간계를 이용한 동적 입체시의 비교

심현석, 김상문, 김상현, 김영청\*

광주보건대학교 안경광학과, 광주 62287

투고일(2015년 8월 13일), 수정일(2015년 8월 27일), 게재확정일(2015년 9월 14일)

**목적:** 본 연구는 이간계인 하워드-돌먼 입체검사와 삼간계로 성인의 동적 입체시를 측정하여 비교해 보고, PD 및 굴절이상과 동적 입체시의 상관성을 분석해 보았다. **방법:** 평균연령 21.27±2.32(19~32)세인 성인 93명(남자50, 여자43)을 대상으로 이간계(two-rods test)와 삼간계(three-rods test)로 검사거리 2.5 m에서 동적 입체시를 각각 5회 측정하였다. **결과:** 이간계와 삼간계로 측정한 동적 입체시는 각각 전체 평균 29.91±23.03초, 23.75±21.65초였고, 이 중 남자는 28.36±22.38초, 22.28±23.79초 여자는 31.71±23.91초, 25.46±19.00초로 이간계에 비해 삼간계로 측정한 동적 입체시가 모두 좋았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p>0.05$ ). PD 평균 표준편차 범위 60.63 mm~66.19 mm 사이의 동적 입체시는 이간계 31.48±24.87초, 삼간계는 22.54±17.22초로 통계적으로 유의한 차이가 있었으나( $p<0.05$ ), 두 검사법의 동적 입체시와 PD의 상관성은 크지 않았다. 굴절이상을 기준으로 할 때도 이간계에 비해 삼간계로 측정한 동적입체시가 모두 더 좋게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었고( $p>0.05$ ) 굴절이상과 두 동적 입체시간의 상관성도 거의 없었다. 두 입체시는 일반적으로 정상인의 동적 입체시로 간주하는 30~50초 범위에 해당하는 결과가 나타났다. **결론:** 삼간계는 이간계보다 입체시가 더 낮게 나타나 동적 입체시의 더 낮은 최소 역치를 측정할 수 있고, 두 검사법이 성인의 동적 입체시 표준검사법으로 사용되고 동적 입체시의 기준을 적용하는데 유용할 것으로 사료된다. PD와 굴절이상은 동적 입체시에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

**주제어:** 이간계, 삼간계, 하워드 돌먼 입체검사, 동적 입체시, 동적 입체시 검사

### 서 론

양안시기능(binocular vision function)은 양안을 함께 움직여 주시물체를 하나로 선명하게 인식하는 기능으로써 동시인식과 중첩(simultaneous perception and superimposition), 평면융합(flat fusion), 입체시(stereoacuity, stereopsis)의 단계로 이루어지게 된다.<sup>[1]</sup> 이 중 입체시는 망막시차(retinal disparity)에 의한 양안의 심도지각(depth perception)능력을 의미하며,<sup>[2]</sup> 인간이 가진 최고의 시각상태로 여러 시각각적 요소가 반영되어 있으므로 입체시에 대한 검사는 눈의 전반적인 기능에 대한 종합적인 평가를 가능하게 하고, 양안시기능 이상의 유무를 판별하는 기준이 되고 있다.<sup>[3,4]</sup>

Tyler<sup>[5]</sup>는 시차 처리과정이 두 개의 카테고리로 나눌 수 있는데 정적 입체시에 관여하는 fine-global-static-stereopsis와 빠르게 움직이는 동적 입체시에 관여하는 coars-local-motion-stereopsis로 구분된다고 하였고, Tysen<sup>[6]</sup>도 정적 입체시와 동적 입체시 두 기능이 서로 다른 시각경로(visual pathway)로 전달되는 서로 다른 기능이라고 보고한 바 있어

정적 입체시와 동적 입체시의 측정 방법이 달라야 함을 시사하였다. 정적 입체시의 경우 지금까지 국내, 국외에서 많은 연구보고가 있는 반면 동적 입체시의 경우 Laby 등<sup>[7]</sup>이 컴퓨터를 이용하여 측정을 시도한 이후 국내에서도 같은 방법으로의 보고<sup>[8,9]</sup>가 있었으나 여전히 다양한 정적 입체시 검사법의 연구결과가 발표되는 것에 비해 동적 입체시는 그렇지 못하고, 동적 입체시에 대한 기준 역시 마련되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 저자가 이전 연구<sup>[10,11]</sup>에서 사용한 동적 입체시 측정방법으로 이간계(two-rods test)인 하워드-돌먼 입체검사와 일본에서 주로 사용하는 삼간계(three-rods test)<sup>[12]</sup>를 사용하여 동적 입체시를 비교 평가해 보고, 더불어 PD(Pupillary Distance) 및 굴절이상도와 동적 입체시가 어떤 상관성이 있는지를 알아보려고 하였다.

### 대상 및 방법

#### 1. 연구 대상

본 연구는 실험 당시 전신질환이나 안질환이 없고, 수술

\*Corresponding author: Young Cheong Kim, TEL: +82-62-232-6520, E-mail: apple9597@hanmail.net

본 논문의 요지는 2015년 한국안광학회 하계학술대회에서 포스터로 발표되었음

의 경험이 없는 평균 나이 전체  $21.27 \pm 2.32$ (19~32)세, 남자  $21.76 \pm 2.50$ (19~32)세, 여자  $20.72 \pm 1.97$ (19~29)세인 성인 93명(남자 50명, 여자 43명)을 대상으로 실시하였다.

## 2. 연구방법

자각굴절검사를 실시한 후 굴절이상자는 완전교정(full correction)을 한 후 동적 입체시를 측정하였다. 동적 입체시는 이간계(two-rods test, Bernell, U.S.A)와 삼간계(three-rods test, iNT, Korea)를 이용하여 검사거리 2.5 m에서 각각 5회씩 측정하여 최대값과 최소값을 제외하고 평균과 표준편차를 계산하였다.

### 1) 동적 입체시의 측정

이간계와 삼간계 기기 규격은 앞 창이 폭 15 cm, 높이 5 cm이고, 기기 안의 막대의 높이는 모두 10 cm, 옆 막대와의 간격은 7 cm이며, 기기 중앙에 고정된 막대를 기준으로 앞뒤로 막대가 이동 할 수 있는 거리는 20 cm이다. 두 개의 기기는 모두 막대의 끝을 가린 사각형의 창을 통해 고 대비 바탕을 배경으로 하여 막대가 보이게 구성되어 있는데, 이간계는 두 개 중 한 개의 막대는 고정되어 있고 나머지 한 개의 막대가 줄과 도르래 배열에 의해 관측자로부터 앞으로(가까이) 뒤로(멀리) 움직일 수 있고, 삼간계의 경우는 세 개의 막대 중 양쪽 두 개의 막대가 고정되어 있고 가운데 한 개의 막대는 이간계와 같은 원리로 앞뒤로 움직일 수 있다(Fig. 1).

검사는 이간계와 삼간계를 잘 이해한 1명의 숙련된 검사자에 의해서 검사 전 검사 대상자들에게 두 검사법의 원리를 간단히 설명한 후 측정을 시작하였다. 이간계는 두 개의 막대 중 중앙에 고정된 막대 한 개와 앞, 뒤로 이동

이 가능한 막대 중에서 피검사자에게 고정된 한 개의 막대를 주시한 상태에서 그 옆의 다른 막대에 연결된 줄을 앞, 뒤로 움직여 조정하여 고정된 막대 옆에 최대한 수평으로 일직선상에 놓이도록 보일 때를 선택하도록 하였고, 삼간계는 가운데 위치한 막대에 연결된 줄을 앞, 뒤로 움직여 양 쪽에 고정된 두 개의 막대 사이에 최대한 수평으로 일직선상으로 놓이도록 보일 때를 선택하도록 하라고 설명하였다. 대상자들이 두 검사 모두 검사거리에서 기기를 정면으로 보면서 한 개의 막대를 움직여 고정된 막대와 수평하게 놓여 졌다고 보일 때를 선택하면 이들의 수직시차(vertical disparity)에 해당하는 오차거리 값을 각각 기록하였다. 이 때 오차거리 값의 측정방법은 두 기기에 고정된 기준막대 위치를 '0'으로 놓고, 나머지 움직이는 한 개의 막대가 앞에 높이면 '+', 뒤로 놓이면 '-'로 구분하여, 고정된 막대와 대상자가 움직여 놓은 막대 사이의 떨어진 간격만큼의 눈금 수치를 부호와 함께 표시하도록 하였다. 검사는 두기기 모두 총 5회 실시하여 결과를 기록하였다.

두 입체시 검사에서 측정된 고정된 막대와 움직인 막대의 간격은 대상자의 원근감에 의한 수직시차인 오차거리 값은 동적 입체시로 사용하기 위해서 양안시차 양(binocular disparity amounts) 즉, 입체시 역치로 변환하여 각각 대상의 동적 입체시(단위:초)로 사용하였다.

### 2) PD 및 굴절이상과 동적 입체시의 관계

PD 및 굴절이상과 동적 입체시의 상관관계를 알아보기 위해서 PD는 평균 63.41 mm, 표준편차 2.78 mm를 기준으로 세 그룹으로 나누었고, 굴절이상은 근시, 정시, 원시로 구분하여 분석하였다. 통계 및 상관관계 분석을 위해



Fig. 1. Three-Rods Test (iNT, Korea).

필요한 PD와 굴절이상도는 자각굴절검사 시 측정된 데이터를 사용하였다.

3) 통계 및 분석

실험 결과의 통계 분석은 Excel 통계프로그램을 이용하여 Student t-test와 One-way ANOVA, Perason의 상관계수를 구하여 성인의 동적 입체시의 통계적 유의성을 알아보고, PD 범위에 따른 동적 입체시의 관계, 굴절이상도와 동적 입체시의 상관관계를 분석해 보았다. 통계적으로는 p-value가 0.05보다 작은 경우를 유의한 것으로 정의하였다.

결과 및 고찰

1. 이간계와 삼간계 동적 입체시의 비교

전체 대상자를 이간계와 삼간계로 동적 입체시를 측정

해 본 결과 각각 전체 평균 29.91±23.03초, 23.75±21.65초였고, 이 중 남자는 28.36±22.38초, 22.28±23.79초, 여자는 31.71±23.91초, 25.46±19.00초로 나타나 이간계에 비해 삼간계의 동적 입체시가 모두 우수하게 나타났으나 두 검사 모두 남녀 간 동적 입체시의 평균은 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05)(Table 1). 저자의 이전 연구<sup>[13]</sup>에서 이간계로 측정된 동적 입체시가 전체 평균 28.44±25.03초, 남자 28.23±23.34초, 여자 28.63±26.83초로 보고 했던 것과 이번 연구 결과를 비교해 보았을 때 모두 남녀 간에 통계적으로 유의한 차이는 없는 점, 남자가 전체 평균과 여자보다도 모두 더 우수하게 나타난 점은 결과적으로 일치하였다. 또한 이번 연구에 추가된 삼간계의 결과도 이간계의 결과와 비슷한 양상을 나타내었다.

동적 입체시의 발생 빈도수를 비교해볼 때, 이간계는 0~40초에서 전체 대상자의 74.19%, 삼간계는 0~30초에서

Table 1. Clinical characteristics of each gender group

| Variable                             | Total                 | Male                  | Female                | *p-value |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
|                                      | Mean±SD               | Mean±SD               | Mean±SD               |          |
| Age(years)                           | 21.27±2.32<br>(19~32) | 21.76±2.50<br>(19~32) | 20.72±1.97<br>(19~29) | 0.03     |
| PD(mm)                               | 63.41±2.78            | 64.36±3.08            | 62.30±1.88            | 0.00     |
| Two-rods stereoacuity (sec of arc)   | 29.91±23.03           | 28.36±22.38           | 31.71±23.91           | 0.48     |
| Three-rods stereoacuity (sec of arc) | 23.75±21.65           | 22.28±23.79           | 25.46±19.00           | 0.48     |

\*t-test, statistically significant if p<0.05  
SD: standard deviation, PD: pupillary distance, sec of arc: seconds of arc

Table 2. Dynamic stereoacuity by measuring with two-rods and three-rods test in normal 93 subjects

| Degree of stereoacuity (sec of arc) | Two-rods test |       |                 | Three-rods test |       |                 |
|-------------------------------------|---------------|-------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
|                                     | Mode(n)       | (%)   | Accumulation(%) | Mode(n)         | (%)   | Accumulation(%) |
| 0.00 ~ 10.00                        | 10            | 10.75 | 10.75           | 21              | 22.58 | 22.58           |
| 10.01 ~ 20.00                       | 30            | 32.26 | 43.01           | 30              | 32.26 | 54.84           |
| 20.01 ~ 30.00                       | 21            | 22.58 | 65.59           | 18              | 19.35 | 74.19           |
| 30.01 ~ 40.00                       | 8             | 8.60  | 74.19           | 11              | 11.83 | 86.02           |
| 40.01 ~ 50.00                       | 9             | 9.68  | 83.87           | 6               | 6.45  | 92.47           |
| 50.01 ~ 60.00                       | 5             | 5.38  | 89.25           | 1               | 1.08  | 93.55           |
| 60.01 ~ 70.00                       | 5             | 5.38  | 94.62           | 2               | 2.15  | 95.70           |
| 70.01 ~ 80.00                       | 2             | 2.15  | 96.77           | 0               | 0.00  | 95.70           |
| 80.01 ~ 90.00                       | 0             | 0.00  | 96.77           | 1               | 1.08  | 96.78           |
| 90.01 ~ 100.00                      | 1             | 1.08  | 97.85           | 0               | 0.00  | 96.78           |
| 100.01 ~ 110.00                     | 1             | 1.08  | 98.92           | 3               | 3.22  | 100             |
| 110.01 ~ 120.00                     | 0             | 0.00  | 98.92           |                 |       |                 |
| 120.01 ~ 130.00                     | 1             | 1.08  | 100             |                 |       |                 |

n: number of subjects

Table 3. Statistical analysis of the mean dynamic stereoacuity of each test

| Dynamic stereoacuity test | Mean±SD(sec of arc) | *p-value |
|---------------------------|---------------------|----------|
| Two-rods test             | 29.91±23.03         | 0.06     |
| Three-rods test           | 23.75±21.65         |          |

\*t-test, statistically significant if p<0.05

74.19%가 측정되었고, 10~20초 범위에서 이간계와 삼간계에서 모두 30명으로 가장 많은 빈도수가 나타났다 (Table 2). 이간계와 삼간계의 전체 평균을 비교해보면 각각 29.91±23.03초, 23.75±21.65초로 두 입체시의 평균은 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았고(p=0.06)(Table 3), 대상자 전체를 이간계 동적 입체시를 기준으로 삼간계의 동적 입체시를 각각 비교해 보았을 때, 전체 대상자 93명 중 23명 약 25%를 제외하고 나머지 70명 약 75%가 이간계보다 삼간계 동적 입체시가 대체적으로 더 좋은 경향을 나타냈고, 두 검사법의 동적 입체시는 비교적 높은 상관성을 보였다(r=0.47)(Fig. 2).

Tyler<sup>[5]</sup>과 Tychsen<sup>[6]</sup>등이 정적 입체시와 동적 입체시를 두 입체시의 시차처리과정이 두 개의 카테고리로 다르게 나눌 수 있다고 하여 정적 입체시와 동적 입체시의 검사 방법이 달라야 하는 근거를 제시하고 있고, 신경학적으로 처리과정이 상이한 두 기능에 평가 역시 기준이 다르게 적용되어야 하는 배경이 된다.

임상에서는 윤곽이나 난점 타켓을 이용한 Lang, Titmus, Randot, TNO stereotest 등 다양한 표준화된 정적 입체시 검사법들<sup>[12]</sup>이 사용되는 것과 달리 동적 입체시의 경우 최근 일상생활에서 중요한 양안시기능 중 하나로 인식되고 있으나<sup>[10,11]</sup> 실제 임상에서 사용할 수 있게 구체적으로 표준화된 검사법이 없는 실정이다. 최근 Laby 등<sup>[7]</sup>이 컴퓨터 프로그램을 이용하여 동적 입체시를 측정하였으나 컴퓨터 모니터 픽셀 상의 한계, 시표의 노출시간, 색 누출의 발생 등으로 인한 검사에 오류가 있다고 보고한 바 있어 실제로 동적 입체시 검사법으로의 유용성이 비교적 낮다.

본 연구에 사용된 이간계<sup>[13,14]</sup>와 삼간계<sup>[12]</sup>는 기존의 동적 입체시 검사방법으로 컴퓨터를 이용할 때 오류가 있었던 점들과 비교해보면 여러 가지 차이점이 있는 검사법이라고 할 수 있는데, 첫째, 컴퓨터 모니터를 통해 시표를 볼 때 필터 역할을 하는 적록안경을 착용했던 것과는 달리 이간계와 삼간계는 적록안경 착용 없이 자연시 상태 (natural viewing condition)에서 손과 눈의 협응을 통해서 동적 입체시를 측정하는 차이점이 있다. Laby<sup>[7]</sup>는 플라로이드 안경을 이용한 입체시 검사보다 적록안경으로 양안 분리를 시키는 경우 더 실패율이 높다고 하였기에 이간계와 삼간계 검사가 양안분리 없이 일상생활의 자연시 상태에서 입체시 검사가 이루어진다는 것은 보안된 동적 입체시 검사법으로 간주될 수 있는 의미 있는 차이점일 것이다.

둘째, 모니터에서 수평으로 두 개의 원을 분리하여 움직이는 것을 표현하는 데는 픽셀의 한계가 있어 검사거리를 200 cm로 늘려야만 103초의 가장 작은 입체시각을 얻을 수 있고, 검사거리를 늘려야만 더 작은 최소 입체시각을 얻을 수 있으나 검사거리가 멀어질수록 입체시 환경을 선명히 하지 못하여 신빙성이 떨어진다<sup>[8]</sup>고 한 점을 고려했을 때, 저자들의 이전 연구<sup>[10]</sup>나 본 연구에서와 같이 이간계와 삼간계는 검사거리 2.5 m에서 선명한 입체시 환경을 유지한 상태로 깊이시각을 판단할 수 있고, 컴퓨터로는 픽셀 상 시표 구현의 한계성이 있어 최소 입체시의 역치 (threshold, 임계값)의 측정이 제한적일 수밖에 없는 것에 비해 이 두 검사법은 동적 입체시의 절대적인 기준 즉, 역치가 '0'까지 측정이 가능하다는 것이 또 하나의 차이점이다.

셋째, Lim 등<sup>[8]</sup>이 정상인에서 동적 입체시 평균을 290.0초로 보고하여 보통의 정적 입체시보다 높은 원인으로 물체가 최대 깊이 시점에 머무르는 시간이 짧으므로 실제로 인지하기 어렵다고 했는데 삼간계와 이간계는 시간제약 없이 막대위치를 직접 조정할 수 있어 대상자가 막대의 심도시각을 인지할 수 있는 시간 범위 내에서 막대의 움직임과 머무르는 시간을 선택하여 동적 입체시 측정이 가능한 실제적인 검사법이다.

정상인에서의 입체시는 정적 입체시 경우 발표자마다

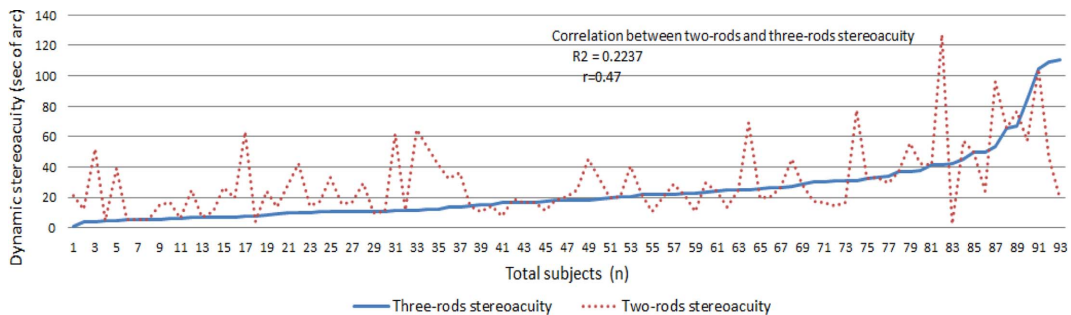


Fig. 2. Distribution of the dynamic stereoacuity by using measured with two dynamic stereotests.

정상 범위에 대한 의견이 차이가 있으나, Jin<sup>[15]</sup>은 최소 입체시를 5~10초, Lim 등<sup>[8]</sup>은 임상에서는 대체적으로 30~50 초 사이에서 100초까지를 정상으로 간주하고 15~30초면 좋은 매우 좋은 입체시를 가진 것으로 보고 있다.

동적 입체시의 경우는 정상인의 최소 입체시가 일반적으로 30~50초<sup>[15]</sup>정도로 알려져 있는데, 지금까지 컴퓨터 프로그램을 사용해 측정한 경우 Lim 등<sup>[8]</sup>은 평균 290.7초, Lee 등<sup>[16]</sup>은 일반인 남자 249.05초, 일반인 여자 247.10초로 보고하였고, 이간계를 사용한 저자들의 이전 연구<sup>[10]</sup>에서는 평균 28.44초, 본 연구에서는 이간계 29.91초, 삼간계 평균 23.75초로 나타났다. Matsuo<sup>[12]</sup>등이 보고에서 제시한 삼간계 정상 기준은 오차거리 20 mm로 초각 입체시로 등가 환산하여 약 40.99초인 것과 비교해보면 이간계, 삼간계의 동적 입체시 평균은 거의 정상 범위에 해당하는 결과가 나타난 반면, 컴퓨터 프로그램으로 측정하였을 때 상대적으로 높은 값을 보인 것은 앞서 제시한 여러 제한적인 요소들로 인해 최소 입체시의 역치가 이간계와 삼간계보다는 상대적으로 높게 나타났기 때문으로 생각된다. Borish<sup>[13]</sup>와 Howard<sup>[14]</sup>의 보고에서 이간계로 측정한 정상인의 동적 입체시를 14초보다 낮은 값을 제시한 것을 살펴보면, Borish<sup>[13]</sup>와 Howard<sup>[14]</sup>가 6 m 검사거리에서 측정한 것과 달리 본 실험은 2.5 m로 삼간계<sup>[12]</sup>와 같은 검사조건에서 실시한 점, 또 하나는 검사 대상자들의 사위도의 고저나 2도 융합의 유무를 파악하지 않고, 단안 각각 시력 교정이 가능한 대상자 전체를 실험한 점에서 평균 입체시의 결과가 다르게 나타난 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용된 이간계와 삼간계는 검사기기의 규격 및 원리, 검사방법은 동일하나 차이점은 고정된 막대가 한 개 와 두 개로 다르고 움직이는 막대가 한쪽 방향에서,

두 막대의 가운데에 위치한다는 점이 다른 점인데 측정 결과를 살펴보면 이간계 29.91±23.03초, 삼간계 23.75±21.65초로 평균은 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 삼간계의 동적 입체시가 더 우수했는데, Table 2를 보면 0~10초 동적 입체시가 이간계는 10.75%(10명) 삼간계는 22.58%(21명)의 빈도수를 나타내 이간계보다는 삼간계로 측정했을 때 최소 입체시가 더 낮은 결과를 보여주었다. 이것은 고 대비 타깃의 같은 조건일 때 삼간계가 구조상 두 개의 고정 막대가 위치 기준이 되는 조건이 한 개의 고정막대구조인 이간계보다 막대 간의 거리감을 지각할 때 더 낮은 최소 입체시 역치를 얻을 수 있는 유리한 조건이라고 생각되므로 좀 더 낮은 동적 입체시의 최소 역치를 측정하는 데는 이간계보다 삼간계가 더 유리한 검사법으로 사용될 수 있다고 사료된다.

따라서 기존에 표준화된 동적 입체시 검사법이 다양하지 않은 상황에서 이간계와 삼간계는 실제적인 동적 입체시의 측정이 가능하고, 그 유용성이 상당히 크다고 사료된다.

실제 삼간계의 경우, 일본에서는 1960년부터 Road Traffic Act(도로교통법)상 택시와 트럭운전을 하기 위한 운전면허증을 취득할 때 눈과 손의 협응반응이 함께 반응하는 심도지각(depth perception)검사로 채택하여 표준 시력검사(standard vision test)시 함께 실시하도록 규정하여 정적 입체시 검사와 함께 양안분리 없는 자연시 상태에서의 동적 입체시 검사법으로 사용하고 있고, 결과상 오차거리가 20 mm(2 cm)나 그보다 작아야 검사를 통과할 수 있다<sup>[12]</sup>고 한다.

2. PD와 동적 입체시의 관계

PD를 기준으로 살펴볼 때 이간계와 삼간계 각각의 동적

Table 4. Correlation of the mean dynamic stereoacuity of each test according to the range of PD

| PD(mm)         | Two-rods test<br>(Mean±SD, sec of arc) | *p-value | Three-rods test<br>(Mean±SD, sec of arc) | *p-value |
|----------------|--|----------|--|----------|
| Under 60.62    | 22.66±11.99                            | 0.28     | 20.90±29.00                              | 0.53     |
| 60.63 to 66.19 | 31.48±24.87                            |          | 22.54±17.22                              |          |
| Over 66.20     | 28.28±19.82                            |          | 30.70±36.46                              |          |

\*One-way ANOVA, statistically significant if p<0.05

Table 5. Result of two dynamic stereotest according to the range of PD

| Range of PD(mm) | Subjects number | Two-rods test<br>(Mean±SD, sec of arc) | Three-rods test<br>(Mean±SD, sec of arc) | *p-value |
|-----------------|-----------------|--|--|----------|
| Under 60.62     | 13              | 22.66±11.99                            | 20.90±29.00                              | 0.79     |
| 60.63 to 66.19  | 70              | 31.48±24.87                            | 22.54±17.22                              | 0.01     |
| Over 66.20      | 10              | 28.28±19.82                            | 30.70±36.46                              | 0.85     |

\*t-test, statistically significant if p<0.05

Table 6. Correlation of the mean dynamic stereoacuity of each test according to the refractive error states

| States of refractive error | Dynamic stereoacuity(sec of arc) |          |                              |          |
|----------------------------|----------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|                            | Two-rods test<br>(Mean±SD)       | *p-value | Three-rods test<br>(Mean±SD) | *p-value |
| Hyperopia                  | 28.91±21.47                      | 0.57     | 16.40±10.06                  | 0.66     |
| Emmetropia                 | 32.13±26.12                      |          | 23.77±19.93                  |          |
| Myopia                     | 28.78±21.66                      |          | 24.75±23.48                  |          |

\*One-way ANOVA, statistically significant if  $p < 0.05$

입체시는 PD의 크기에 따라 통계적으로 유의한 차이는 모두 없었으나( $P > 0.05$ )(Table 4), 이간계와 삼간계의 평균을 서로 비교해 보았을 때는 PD 60.63 mm~66.19 mm 평균 표준편차 범위 내에서는 두 검사법의 동적입체시가 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p = 0.01$ )(Table 5). PD와 동적 입체시의 상관성도 비교적 크지 않았지만 PD는 이간계( $r = 0.11$ )보다는 삼간계( $r = 0.24$ )와 상관성이 약간 더 크게 나타났다.

입체시에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 부등상(aniseikonia), 부등시(anisometropia), 조절(accommodation), 망막조도(retinal illumination), 동공크기(pupil size)등<sup>[17,18]</sup>이 있다고 하였는데 반면, 이런 것들이 입체시에 큰 영향을 주지 않는다는 보고<sup>[6]</sup>도 있다. PD의 경우 Kham 등<sup>[9]</sup>의 연구에 따르면 PD가 긴 사람은 PD가 짧은 사람에 비해 시차로부터 지각되는 깊이가 상대적으로 감소한다고 보고하였는데 이것은 이론적으로는 PD가 크면 PD가 짧은 사람에 비해 주어진 응시 시차나 양안 시차(binocular disparity)로부터 지각되는 대상의 깊이는 감소하나 작은 시차보다는 높은 시차에서 PD에 의한 설명력이 커진다고 하였고, 또 양안 시차 이외에 운동 시차(motion parallax)등의 깊이 단서들로 인해서 상대적인 효율성은 개인마다 다르다고 하였다. 본 실험에서는 Kham 등<sup>[9]</sup>의 보고와 달리 이간계와 삼간계의 입체시 임상결과가 PD의 크기에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 없었고( $p = 0.28$ ,  $p = 0.53$ )(Table 4), 상관성도 크지 않게 나타나 임상결과에서는 이론적으로 PD가 입체시에 영향을 미친다고 한 점에 대해서 확인하지 못하였다.

### 3. 굴절이상과 동적 입체시의 관계

굴절이상을 근시, 정시, 원시로 구분하였을 때 이간계, 삼간계 동적 입체시는 모두 통계적으로 유의한 차이는 없었으나( $p = 0.66$ ,  $p = 0.57$ )(Table 6) 이간계에 비해 삼간계 동적 입체시가 모두 더 좋게 나타났고, 굴절이상과 두 검사의 동적 입체시는 상관관계가 거의 없었다( $r = 0.09$ ,  $r = 0.02$ ). Min 등<sup>[4]</sup>과 Colenbrander<sup>[20]</sup>는 대체로 시력이 나쁘면 대체로 입체시가 감소한다고 보고하고 있으나 본 연구에서는 굴절이상에 따라 동적 입체시의 감소나 상관성은 특별히 확인하지 못하였다.

앞서 살펴본 이간계와 삼간계 두 검사법은 단안단서(monocular cue)가 존재한다는 점, 20대의 성인을 대상으로 실험한 점 등이 이번 연구의 제한점이므로 차후에는 이점을 고려하여 정적 입체시와 동적 입체시와의 관계, 노년층을 포함한 더 폭넓은 연령층에서의 연구 등이 필요하다고 사료된다. 더불어 이 두 검사법이 양안분리(binocular dissociation)가 없는 자연시 상태에서의 동적 입체시임을 고려해 양안분리 상태에서의 동적 입체시와 어떤 관계가 있는지를 연구해 보는 것도 의미가 있을 것이다.

## 결론

본 연구에서는 최근 늘어가는 스포츠 활동 및 자동차 운전 등 일상생활에서 폭넓게 중요시되고 있는 동적 입체시를 이간계와 삼간계로 측정하여 다양한 표준 동적 입체시 검사법과 동적 입체시의 기준을 마련하여, 양안시기능의 판단과 질적 향상에 도움이 되고자 두 검사의 동적 입체시를 비교 평가해보았다.

이간계와 삼간계의 동적 입체시를 비교해 본 결과 각각 평균  $29.91 \pm 23.03$ ,  $23.75 \pm 21.65$ 초로 일반적으로 정상인의 동적 입체시로 간주하는 30~50초의 범위에 해당하는 결과가 나타났고, 이간계 비해 삼간계는 더 낮은 동적 입체시의 최소 역치를 측정할 수 있었다. 결과적으로 이간계와 삼간계는 성인의 동적 입체시를 측정하기 위한 표준검사로 적용하기에 유용할 것으로 사료된다. 또한 PD와 굴절이상은 동적 입체시와 낮은 상관성을 보여 동적 입체시에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 논문은 2014년도 광주보건대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 3014033).

## REFERENCES

- [1] Von Noorden GK. Binocular vision and ocular motility,

- 5th Ed. St. Louis: Mosby, 1996;8-40.
- [2] Wong BP, Woods RL, Peli E. Stereoacuity at distance and near. *Optom Vis Sci.* 2002;79(12):771-778.
- [3] Marsh WR, Rawlings SC, Mumma JV. Evaluation of clinical stereoacuity tests. *Ophthalmology.* 1980;87(12):1265-1272.
- [4] Min BM, Park WC. The relationship between visual acuity and titmus stereoacuity. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1987;28(6):1339-1342.
- [5] Tyler CW. A stereoscopic view of visual processing streams. *Vision Res.* 1990;30(11):1877-1895.
- [6] Hart WM. Adler's physiology of the eye, 9th Ed. St. Louis: Mosby, 1992;773-810.
- [7] Laby DM, Kirschen DG. Dynamic stereoacuity; Preliminary results and normative data for new test for the quantitative measurement of motion in depth. *Binocular Vis & Eye Mus Surg.* 1995;10(3):191-200.
- [8] Lim KH, Hong HJ. Dynamic stereoacuity in normal individuals. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2000;41(11):2408-2414.
- [9] Lee MA, Oh JM, Jung JH. Dynamic visual acuity and dynamic stereoacuity of athletes and nonathletes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2009;14(3):43-49.
- [10] Shim HS, Choi SM, Kim YC. Assessment of dynamic stereoacuity of adults in their 20s' with Howard-Dolman test. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(1):61-66.
- [11] Kim YC, Shim HS, Kim SH. The comparative assessment of the KVA and dynamic stereoacuity. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(4):519-525.
- [12] Matsuo T, Negayama R, Sakata H, Hasebe K. Correlation between depth perception by three-rods test and stereoacuity by distance randot stereotest. *Strabismus.* 2014;22(3):133-137.
- [13] Borish, Irvin M. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. Elsevier, 2006;921-922.
- [14] Howard HJ. A Test for the Judgment of Distance. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1919;17:195-235.
- [15] Jin YH. *Strabismology*, 1st Ed. Ulsan: UUP, 1999;72,174-176.
- [16] Lee MA, Oh JM, Jung JH. The effects of sports vision training on baseball player's visual performance and baseball records. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2010;15(1):87-97.
- [17] Campos EC, Enoch JM. Amount of aniseikonia compatible with fine binocular vision: some old and new concepts. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1980;17(1):44-47.
- [18] Lovasik JV, Szymkiw M. Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance, and pupil size on stereopsis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1985;26(5):741-750.
- [19] Kham KT, Lee YH. The effect of inter-pupillary distance on stereopsis. *Korean J. Cognitive Science.* 2003;14(3):37-49.
- [20] Colenbrander MC. The limits of stereoscopic vision. *Ophthalmologica.* 1948;115(6):363-366.



## The Comparison of the Dynamic Stereoacuity with Two-Rods Test and Three-Rods Test

Hyun-Suk Shim, Sang-Moon Kim, Sang-Hyun Kim, and Young-Cheong Kim\*

Dept. of Ophthalmic Optics, Gwangju Health University, Gwangju 62287, Korea

(Received August 13, 2015; Revised August 27, 2015; Accepted September 14, 2015)

**Purpose:** On this study, we measured and compared the dynamic stereoacuity by two-rods test (Howard-Dolman Test) and three-rods test. And we analyzed the correlation between PD and refractive error with dynamic stereoacuity. **Methods:** Dynamic stereoacuity of two-rods test and three-rods test at 2.5 m distance for 93 adults (50 males, 43 females), mean age of  $21.27 \pm 2.32$  (19~32) years old, were measured 5 times for two tests. **Results:** The mean of dynamic stereoacuity measured by two-rods test and three-rods test were  $29.91 \pm 23.03$  sec of arc and  $23.75 \pm 21.65$  sec of arc for total subjects, respectively. The mean of male and female were  $36 \pm 22.38$  sec of arc and  $22.28 \pm 23.79$ , respectively. Three-rods test showed better dynamic stereoacuity than two-rods test, but there was no statistically significant difference ( $p > 0.05$ ). For the average standard deviation of PD between 60.63 mm~66.19 mm, dynamic stereoacuity for two-rod test and three-rod test were  $31.48 \pm 24.87$  sec of arc and  $31.48 \pm 24.87$  sec of arc, respectively. The results showed statistically significant difference ( $p < 0.05$ ), but the relationship between dynamic stereoacuity and PD was not great. Comparison between two tests on the basis of refractive error, dynamic stereoacuity by three-rods test was better than by two-rods test with no significant difference between both tests ( $p > 0.05$ ) and there was little correlation between refractive error and two dynamic stereoacuity. **Conclusions:** Three-rods test showing lower stereoacuity than two-rods tests could measure the lower minimum threshold of dynamic stereoacuity. It was found that both tests can be applied to dynamic stereoacuity test as a standard test, and PD and refractive error was found that little effect upon the dynamic stereoacuity. PD and refractive error was found that little effect upon the dynamic stereoacuity.

**Key words:** Two-Rods Test, Three-Rods Test, Howard-Dolman Test, Dynamic stereoacuity, Dynamic stereoacuity test