ISSN(print) 1226-5012
J Korean Ophthalmic Opt Soc. 23(4):423-431, December 2018
http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.4.423

Comparison of Dynamic Stereoacuity in Terms of Test Distance

Jae-Sig Kim[1,*], Ki-Young Lee[2], Min-Suk Kook[3], and Hyun-Suk Shim[4]

[1]Interdisciplinary Program of Biomedical Engineering, Chonnam National University Graduate School, Gwangju 61186, Korea
[2]Dept. of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
[3]Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
[4]Dept. of Ophthalmic Optics, Gwangju Health University, Gwangju 62287, Korea
(Received August 7, 2018: Revised September 16, 2018: Accepted October 25, 2018)

Purpose: The purpose of this study was to investigate dynamic stereoacuity by varying the test distance at a constant velocity using the three-rods test, as well as to investigate the differences and correlations of dynamic stereoacuity in terms of test distance (pupillary distance) in both men and women. **Methods:** We enrolled 120 adults (58 men, 62 women; mean age: 22.56±2.42 years). Dynamic stereoacuity was measured three times at 2.5 m and 4 m using the three-rods test after complete correction of refractive error. **Results:** At the 2.5 m test distance, the mean dynamic stereoacuity was 29.89±22.00" among all subjects, 28.88±25.71" among men, and 31.31±20.41" among women. At the 4 m test distance, it was 18.99±12.06" among all subjects, 20.20±13.76" among men, and 17.91±11.15" among women. Dynamic stereoacuity at 4 m was better in women than in men, although not significantly (p=0.29). The difference in dynamic stereoacuity between the 2.5 m and 4 m distances was 8.68" among men and 13.40" among women, i.e. the improvement was 4.72" larger among women, indicating an accordant improvement in stereopsis. Pupillary distance (PD) was 66.32±2.74 mm among men and 63.23±3.38 mm among women, showing no significant difference (p>0.05). There were no statistically significant differences or correlations between the two distances, as classified by PD and pupil size, in the dynamic stereoacuity groups. **Conclusions:** Dynamic stereoacuity may vary according to test conditions or individual characteristics, such as test distance, gender, PD, and pupil size. Dynamic stereoacuity at 2.5 m and 4 m corresponded to the normal range of 30"–50". These data could be used in various fields, such as licensing for drivers and early diagnosis of dementia.

Key words: Three-rods test, Dynamic stereoacuity, Test distance, Test velocity, Depth perception test, Driver's license, Alzheimer's disease, Pupil diameter, Pupil size

서 론

입체시(stereopsis)는 망막시차(retinal disparity)에 의한 양안의 심도지각(depth perception)능력을 의미하며,[1] 인간이 가진 최고의 시각의 형태로 여러 시감각적 요소가 반영되어 있으므로 입체시 검사는 눈의 전반적인 기능에 대한 종합적 평가를 가능하게 하고, 양안시기능(binocular vision acuity)을 판별하는 기준이 되고 있다.[2,3] 시력(visual acuity, VA)을 정적시력(static visual acuity, SVA)과 동적시력(kinetic visual acuity, KVA)으로 구분[4,5]한 것과 마찬가지로 입체시는 정적입체시(static stereoacuity)와 동적입체시(dynamic stereoacuity)로 구분할 수 있다.[6,7] Tychsen,[6] Scott 등[7]의 연구를 보면 정적입체시와 동적입체시 두 기능이 서로 다른 시각경로(visual pathway)를 사용한다고 제시하였고, Pettigrew[8]등 도 정적입체시와 동적입체시가 서로 다른 기능이라고 제시한 바, 정적입체시와 동적입체시는 서로 다른 시기능 형태로 분류해야 하는 필요성의 근거가 여러 논문에서 제시되었다.

최근 일본에서는 도로교통법(road traffic act)에서 표준시력검사(standard vision test)로 삼간계(three-rods test)를 사용한 동적입체시 검사가 규정[9]되어 있고, 우리나라에서도 국토교통부에서 고시한 운수사업법(transportation business act)에 따르면 '사업용자동자 운전자 운전적성에 대한 정밀검사 관리규정'에서 삼간계를 이용하여 원근거리 시지각능력을 측정하는 거리지각검사를 시행하고 있으며,[10] Westheimer[11]는 일상생활에서의 시각생활은 단안

*Corresponding author: Jae-Sig Kim, TEL: +82-62-232-6520, E-mail: rlawotlr00@hanmail.net

단서(monocular cue)가 포함된 자연시 상태로 이루어지기 때문에 입체시를 측정하는 데에 Howard-Dolman(하워드 돌먼)의 이간계 검사(two-rods test)가 가장 적합하다고 했다. 뿐만 아니라 동적입체시가 자동차 운전이나 스포츠 활동 등과 밀접한 관련이 있기 때문에 최근 그 중요성과 실효성이 강조되는 추세다.

입체시는 검사 방법 및 조건의 차이가 매우 중요한 요소이다. 입체시는 양적 측면과, 질적 측면 성향을 함께 가지고 있고 이 중 질적 입체시는 어떠한 생리적 현상이나 조건에 따라 저하되거나 향상된다[12]고 제시되었다. 따라서 동적입체시를 양적, 질적 두 측면에서 향상, 저하시키는 요소를 확인해 볼 필요성이 있다.

현재 국내에서는 이러한 요소들을 참고로 해서 Shim 등[13-15]과 Kim 등,[16,17] Han 등[18]이 동적입체시에 대한 다양한 연구결과를 보고한 바 있으나 이들은 모두 일정한 검사거리나 검사속도 등 일정한 환경에서 이루어졌으며, 여전히 동적입체시 검사나 평가 시 표준을 삼을 만한 객관적인 자료가 많이 부족한 점 등이 동적입체시에 대한 더 많은 연구의 필요성을 잘 설명해주고 있다.

이에 본 연구에서는 최근 다양한 생활환경에서 요구되는 시기능 평가를 위해 성인 남녀를 대상으로 삼간계를 이용해 일정한 검사속도에서 검사거리를 다르게 변화시켜 동적입체시를 측정하여 남녀간 및 남녀별로 비교해보고, 검사거리별 동적입체시의 상관관계에 대하여 알아보고자 하였다. 또한 질적 측면의 평가를 위해 동공간거리(PD, Pupillary distance)와 동공크기(Pupil size)에 따라 검사거리별 동적입체시의 상관성도 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 취지에 동의하고 전신질환이나 안질환이 없고, 눈 수술 경험이 없는 평균 나이 전체 22.56±2.42(19~32)세 성인 120명 중 남성은 23.29±2.35(19~32)세의 58명, 여성은 21.83±2.29(19~29)세 62명을 대상으로 실시하였다.

2. 연구방법

자동굴절검사가 가능한 사진굴절기(Photorefractor, VS100, Welch Allyn, USA)를 이용하여 전체 대상자의 굴절이상도, PD 및 동공크기를 측정하였다. 전체 대상자의 굴절이상도 평균은 우안 등가구면(SE; spherical equivalent refractive error) −1.38±2.11 D, 좌안 등가구면 −1.35±2.10 D였고, 이 중 굴절이상자는 모두 완전교정(full correction)을 한 후 동적입체시 검사를 실시하였다. 단, 이번 실험은 사위(heterophoria)에 따른 분류는 하지 않고 진행하였다. 동적입체시는 Fig. 1과 같이 자동속도시스템을 설치한 삼간계를 이용하였다. 삼간계 막대의 이동속도는 35 mm/sec로 설정하고, 검사거리 2.5 m와 4 m 두 가지 조건에서 측정하여 평균과 표준편차를 계산하였다. 검사실 조도는 800 Lux 이상으로 하였으며 모든 검사는 동일한 조도에서 실시하였다.

1) 검사거리에 따른 동적 입체시의 측정

자동 삼간계(three-rods test)는 세 개의 흰색 막대의 끝을 가린 사각형의 창을 통해 고대비 바탕을 배경으로 막대가 보이고, 세 개의 막대 중 양쪽 가쪽의 두 개의 막대는 나란하게 고정되어 있고 가운데 한 개 막대는 줄과 도르래 배열에 의해 관측자로부터 앞으로(가까이) (혹은) 뒤로(멀리)움직일 수 있다. 삼간계 가운데 막대의 이동 속도는 35 mm/sec로 선택 설정할 수 있어 일정한 속도로 막대가 자동으로 움직일 수 있다(Fig. 1).

실험 대상자들에게 고정된 양쪽 두 막대와 자동속도로 움직이는 가운데 막대가 수평하다고 보일 때 즉시 정지버

Fig. 1. Three-rods test system using automatic velocity system. Three-rods test system is automatically activated by the velocity control system. The instrument moves the middle bar of the three bars back and forth at a constant velocity 35 mm/sec, depending on the movement of the rail. The moving bar can be stopped by the controller with the stop button.

Table 1. Conversion of binocular disparity into dynamic stereoacuity

$$\text{The dynamic stereoacuity (sec of arc)} = \frac{(\Delta b)\times PD}{b_2} \times (206{,}265)$$

b: observation distance (m)
Δb: standard deviation or average of the longitudinal offset
PD: pupillary distance
206,265: conversion factor between radians and arc seconds

It was difficult to follow this equation on three lines. Please check that my edit has preserved the correct version.

튼을 눌러 멈추게 하였다. 고정된 두 막대의 위치를 '0'으로 기준삼고 가운데 막대가 앞쪽에 놓이면 '+' 뒤쪽으로 놓이면 '−'로 구분하였다. 이때 고정된 두 개의 막대와 가운데 정지한 막대 사이의 떨어진 간격 즉, 수직시차(vertical disparity)에 해당하는 오차거리 값을 각각 기록하였다.

동적입체시는 나안으로 자연시 상태를 유지하고 측정하였다. 검사는 모두 삼간계 막대의 이동속도 35 mm/sec로 설정된 상태에서 첫 번째 검사는 검사거리 2.5 m에서 두 번째 검사는 검사거리 4 m에서 각각 3 회씩을 측정하고 결과를 기록하였다. 두 검사거리에서 측정한 고정된 막대와 움직여 정지한 가운데 막대 사이의 벌어진 간격 즉, 대상자의 막대 간의 원근감에 의한 오차거리 값을 측정 한 후에 Table 1에 의해 양안시차 양을 입체시 역치 값으로 변환하여 동적입체시(초)로 환산하여 나타내었다.

2) PD 및 동공크기

검사거리에 따른 동적입체시와 PD 및 동공크기와의 상관관계 분석을 위해서 자동굴절검사가 가능한 사진굴절기를 이용하여, 검사거리 약 1 m에서 사진굴절기 앞쪽에 실험 대상자를 앉게 하고 측정을 실시하였다. 사진굴절기 검사는 주시시표가 기기의 내부에 있지 않고, 양안이 개방되어 자연시 상태에서 굴절이상을 측정할 수 있는 기기로 망막의 대광반사 원리를 이용하여 눈의 굴절이상도 및 PD, 동공크기를 측정하였다. 측정한 PD 값과 우안과 좌안 각각의 동공크기 데이터를 동적입체시와 비교 및 상관관계 분석에 사용하였다.

3) 통계 및 분석

실험결과의 통계 및 분석은 Excel 통계프로그램을 이용하였다. 검사거리에 따른 동적입체시의 남녀간 및 남녀별 통계적 차이와 상관관계 그리고 검사거리별 동적입체시, PD 및 동공크기와의 동적입체시의 비교 및 상관관계는 Student t-test와 paired t-test, Pearson 상관계수, One-Way ANOVA 그리고 회귀분석(regression analysis)을 이용하여 분석하였다. 통계적인 차이는 p-value<0.05인 경우를 유의하다고 정의하였다.

결과 및 고찰

1. 검사거리에 따른 남녀간 및 남녀별 동적입체시 비교

성인남녀 120명을 대상으로 삼간계 속도가 35 mm/sec일 때, 검사거리 2.5 m와 4 m에서 측정한 동적입체시는 Table 2와 같이, 검사거리 2.5 m에서 동적입체시는 전체 29.89±22.00초, 남성은 28.88±25.71초, 여성은 31.31±20.41초로 남성이 여성보다 입체시가 더 좋았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었고(p=0.562), 검사거리 4 m에서 동적입체시는 전체 18.99±12.06초, 남성은 20.20±13.76초, 여성은 17.91±11.15초로 2.5 m에서 측정한 결과와 다르게 여성이 남성보다 더 좋게 나타났으나, 남녀간에 통계적으로

Table 2. The clinical characteristics in each gender group

Characteristics		Total	Men	Women	Difference *p-value
Number of subjects		120	58	62	
Age (years)		22.56±2.42	23.29±2.35	21.83±2.29	0.000
PD (mm)		64.70±3.44	66.32±2.74	63.23±3.38	0.000
Pupil size (mm)	O.D	5.69±0.89	5.63±0.74	5.83±0.71	0.151
Pupil size (mm)	O.S	5.73±0.70	5.64±0.71	5.81±0.68	0.195
Dynamic stereoacuity by test distance (sec of arc)	2.5 m	29.89±22.00	28.88±25.71	31.31±20.41	0.562
Dynamic stereoacuity by test distance (sec of arc)	4 m	18.99±12.06	20.20±13.76	17.91±11.15	0.292

Abbreviations: PD, pupillary distance; OD, oculus dexter (right eye); OS, oculus sinister (left eye)
The data represent the Mean±SD (standard deviation)
*t-test, statistically significant at p-values < 0.05

유의한 차이는 없었다(p=0.292). 검사거리 2.5 m와 4 m 두 검사거리에서의 남녀 전체 동적입체시간에는 통계적으로 유의한 상관성은 없었다(Fig. 2, p>0.05).

두 검사거리에서 측정한 동적입체시는 전체, 남녀별로 그룹 분류해서 비교해 보면 2.5 m와 4 m에서 각각 전체 29.89±22.00초와 18.99±12.06초, 남성은 28.88±25.7초와 20.20±13.76초, 여성은 31.31±20.41초와 17.91±11.15초로 세 그룹이 모두 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.05). 또한 검사거리가 2.5 m에서 4 m로 멀어졌을 때 동적입체시 변화 값은 전체 10.90초, 남성 8.68초, 여성은 13.40초가 향상되어 2.5 m보다 4 m로 검사거리가 멀어지면서 남성, 여성 모두 동적입체시가 더 좋아지는 결과를 나타내었고, 그 중에서도 동적입체시의 변화 값의 크기는 여성이 남성보다 약 4.72초 정도 더 많이 향상되어 2.5 m보다 상대적으로 더 먼 거리 4 m에서 남성보다 여성의 향상 정도가 더 크게 나타났다나타났다(Table 3).

2. PD와 동공크기(pupil size)에 따른 검사거리별 동적입체시 비교

사진굴절기 검사에 의해 측정된 PD는 전체 평균 64.70±3.44 mm, 남성은 66.32±2.74 mm, 여성은 63.23±3.38 mm였고, 남녀간의 PD는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2, p>0.05). PD 전체 평균 64.70 mm를 기준으로 표준편차 ±3.44 mm를 범위로 해서 세 그룹으로 분류해서 비교한 동적입체시는 Table 4와 같이 검사거리 2.5 m와 4 m 두 거리에서 측정한 입체시가 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.334, p=0.738). 또한 두 검사거리에서 각

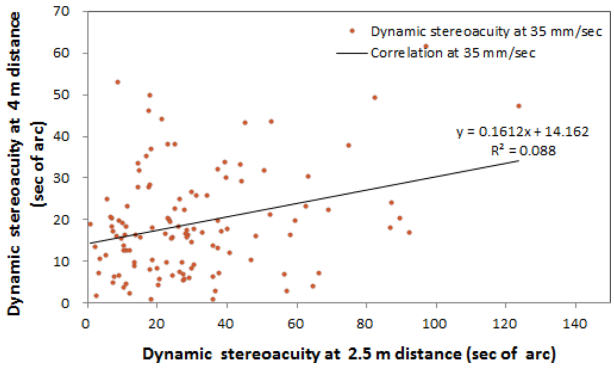

Fig. 2. Correlation of dynamic stereoacuity by test distance in all subjects.

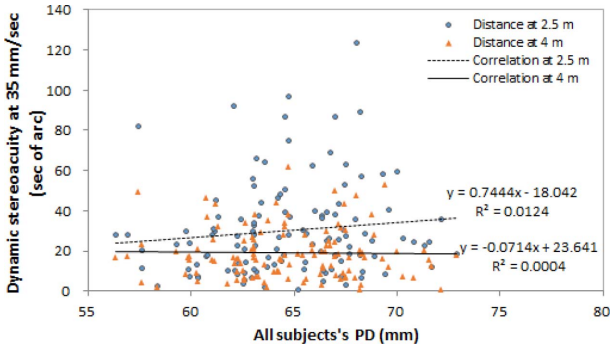

Fig. 3. Correlation between pupillary distance and dynamic stereoacuity by test distance in all subjects.

Table 3. Comparison of dynamic stereoacuity by test distance in both men and women

		Dynamic stereoacuity (sec of arc)		
		Total	Men	Women
Test distance (m)	2.5	29.89±22.00	28.88±25.71	31.31±20.41
Test distance (m)	4	18.99±12.06	20.20±13.76	17.91±11.15
Mean difference in dynamic stereoacuity (sec of arc)		10.90	8.68	13.40
*p-value		0.00	0.02	0.00

The data represent the Mean±SD (standard deviation)
*t-test, statistically significant at p-values < 0.05

Table 4. Comparison of dynamic stereoacuity by test distance according to the PD range

PD range (mm)	Number of subjects	Distance at 2.5 m (sec of arc)	**p-value	Distance at 4 m (sec of arc)	**p-value
< 61.26	20	23.21±17.56	0.334	20.38±13.26	0.738
61.26–68.14	81	31.72±24.46	0.334	19.10±12.24	0.738
> 68.14	19	30.66±21.58	0.334	17.24±12.62	0.738

PD, pupillary distance
The data represent the Mean±SD (standard deviation)
**One-way ANOVA, statistically significant at p-values < 0.05

각 측정된 동적입체시와 PD의 상관관계는 회귀분석에 의하면 두 거리에서 모두 거의 상관성이 0에 가까워 상관관계가 거의 없었다(Fig. 3).

남성과 여성의 PD가 통계적으로 유의한 차이가 있었기에 남녀별 PD와 검사거리별 동적입체시의 상관관계를 분석해 본 결과, 상관성은 2.5 m와 4 m에서 각각 남성은 결정계수 R^2=0.011, 0.002, 여성과는 R^2=0.040, 0.032으로 남녀모두 상관성은 거의 없었으나 수치상으로 미미하지만 남자보다는 여성이 좀 더 두 거리에서의 동적입체시와 PD가 상관성이 좀 더 큰 경향을 보였다(Fig. 4, 5). 사진굴절기 검사에서 측정된 좌,우안의 동공크기는 우안은 전체 평균 5.69±0.89 mm, 남자 5.63±0.74 mm, 여자는 5.83±0.71 mm였고, 좌안은 전체 평균 5.73±0.70 mm, 남자 5.64±0.71 mm, 여자는 5.81±0.68 mm였다. 남녀간 좌, 우안의 동공의 크기는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2, p>0.05).

본 연구에서는 동적입체시가 이간계보다 삼간계로 측정한 것이 최소 입체시가 더 낮은 결과를 준다는 보고[14]와 현행 '운전적성정밀검사'중 '거리지각검사'에서 검사거리가 2.5 m인 점[10]을 참고하여 검사속도가 35 mm/sec로 일정할 때 검사거리를 2.5 m에서, 다시 4 m로 멀게 변화시켜 각각 다른 두 검사거리에서 측정해 보았다.

Shim 등,[13-15] Kim 등[16]에 따르면 2.5 m 검사거리에서

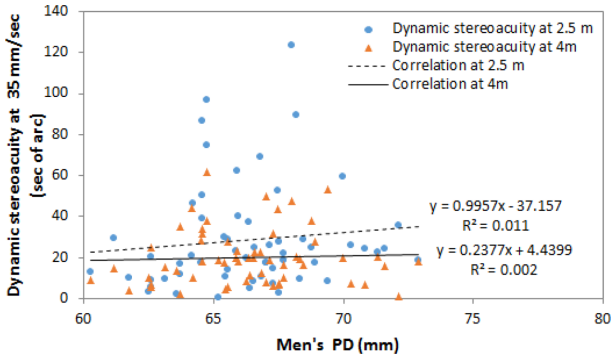

Fig. 4. Correlation between pupillary distance and dynamic stereoacuity by test distance in men.

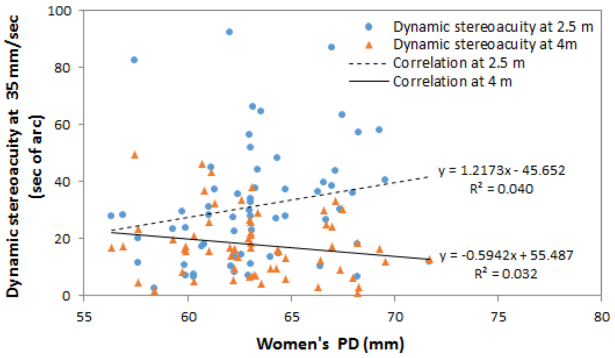

Fig. 5. Correlation between pupillary distance and dynamic stereoacuity by test distance in women.

남녀의 동적입체시는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 남성이 여성보다 대체로 더 우수한 경향을 나타냈다고 했고, Han 등[18]은 일 부 조건에서 남성이 여성보다 유의하게 더 높은 동적입체시를 보였고, 전체적인 경향 또한 남성이 여성보다 입체시력이 높게 나타났다고 보고하였다. 이는 일반적으로 남성이 여성보다 발육 및 성장과정에서 외부적인 활동이나 스포츠 활동 등을 더 선호하고 더 자연스럽게 접할 기회가 많아서 동적입체시가 더 발달했을 것[16]이라는 내용들과 일치하는 결과로 예상된다.

이번 연구에서는 검사속도가 일정할 때, 검사거리 2.5 m에서는 남성 28.88초와 여성 31.31초로 남성이 여성보다 더 우수했고, 4 m로 멀어졌을 때는 여성 17.91초, 남성 20.20초로 여성이 남성보다 동적입체시가 더 우수하게 나타났다. 본 실험결과에서는 남녀간에 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, 남성이 여성보다 동적입체시가 대체로 우수한 경향을 보였다는 기존 결과들[13-16]과는 조금 다른 결과가 나타났다. Saladin[12]은 입체시가 양적 측면 및 질적 측면을 둘 다 가질 수 있다고 하였는데, 양적 측면에서 입체시는 초(sec of arc)에서 입체 편차 각도의 일부 표현이며, 질적 측면에서는 시간, 지각 능력, 버전스(vergence) 메커니즘 등 생리적 요소 등 다양한 조건에 따라 입체시가 저하 또는 향상될 수 있다고 하였다. 또한 질적 측면이 양적 측면보다 정의하는 것은 더 어렵지만 더 사실적이라고 하였다. 이것은 본 연구에서 성별, PD, 동공크기 등 생리학적 요인 또는 그 외 어떤 요인 때문인지는 밝혀내지는 못했지만 항상 남성이 여성보다 동적입체시가 더 우수한 것이 아니라 동적입체시가 발휘되는 다양한 상황에 따라 남성이 여성보다 상대적으로 더 우수할 수도 있다는 것을 설명해준다. 이것은 남자와 여자의 동적입체시를 양적인 역치값으로 표준화해서 나타내기 어려운 이유가 될 수 있다. 따라서 질적 측면에서 보면 동적입체시는 항상 남성이 우수한 것이 아니라, 검사거리 등과 같은 다양한 조건에 따라 여성이 남성보다 더 우수하게 발휘될 수도 있다.

남녀별로 분류해서 비교해 보면 검사거리가 2.5 m에서 4 m로 멀어졌을 때 동적입체시가 남성은 8.68초, 여성은 13.40초 만큼 모두 통계적으로 유의하게 향상되어 검사거리가 멀어지면서 남성, 여성 모두 동적입체시가 더 좋아지는 결과를 나타내었다. 그 중에서도 동적입체시의 변화량은 여성이 남성보다 약 4.72초 정도 더 많이 향상되어 2.5 m에서 보다 상대적으로 더 먼 거리 4 m에서 남성보다 여성의 동적입체시의 향상 정도가 더 크게 나타났다. 선행연구들[13,14,19]에서 동적입체시가 다르게 측정되었고, 그 이유는 두 막대 간 최소거리가 동일하더라도 검사거리가 멀어지면 입체시 값은 낮아지고(향상), 가까워지면 높아지는

(감소) 즉, 검사거리 차이로 인하여 동적입체시 값에 영향을 미친 것으로 생각된다고 보고[20]된 바 있다. 또한 삼간계로 측정한 동적입체시를 원거리 3 m에서 8.30초, 근거리 40 cm에서 277.56초로 근거리에 동적입체시가 정상범위보다 높게 측정되었고, 이는 원거리 검사기기가 근거리 동적입체시 측정에 그대로 사용되어 원거리 3 m와 근거리 40 cm로 검사거리가 멀어질수록 근거리에서는 막대 간 간격 1 mm 시차가 최소 70 초 이상 입체시 값의 증가를 가져오기 때문에 동적입체시는 더욱 향상되는 영향을 받는다고 제시[20]하였다. 여기에는 시차적 차이와 함께 '근거리주시 복합운동(near vision complex)[21,22]에 의해 생리학적으로 조절(accommodation)과 눈모음의 메커니즘이 관여했을 것으로 생각되어 근거리에서의 입체시가 원거리에 비해 정상범위보다 높게 측정된 것에 영향[23]을 미쳤을 가능성이 있다고 고려된다. 입체시 변환식(Table 1)에 의하면 동일한 검사속도일 때, 검사거리가 2.5 m에서 4 m로 멀어지면서 1 mm의 시차는 최소 1.24초, 10 mm 시차는 최소 12.49초의 입체시 값이 증가되어 동일한 시차라도 검사거리가 4 m로 멀 때 남성, 여성 모두 입체시가 향상되는 결과를 가져온다는 것은 설명이 가능하다. 그러나 2.5 m에서와 다르게 4 m에서 남성보다 여성의 동적입체시 향상 정도가 더 큰 점은 saladin[12] 주장처럼 검사거리와 양안시차의 영향뿐만 아니라 또 개인별 여러 요소들이 작용했기 때문으로 추측된다.

본 연구는 선행연구[13,14,19,20]들과는 다르게 검사속도가 일정하게 유지되는 조건에서 동일한 규격의 삼간계를 이용해 일상생활에서 주로 발휘되는 서로 다른 원거리에서의 동적입체시 차이를 비교해 보고자 근거리가 아닌 2.5 m와 4 m 두 원거리에서의 동적입체시를 비교해 본 것에 의미가 있다. Jeong 등[20]이 검사거리가 멀어질수록 남녀 모두 동적입체시는 점점 더 향상되는 경향을 보였고, 근거리에서는 정상범위보다 높았다고 보고했으나, 본 실험에서는 전체 평균 동적입체시가 2.5 m에서 29.89초, 4 m에서는 18.99초로 나타나 검사거리가 달라졌음에도 두 거리에서 모두 원거리 동적입체시 정상범위로 간주되는 Jin[24]이 제시한 30~50초, Matsuo[9]가 제시한 삼간계 정상기준 40.99초에 해당되는 결과를 나타내었다.

1866년 Helmhotlz에 의해 제안된 삼간계는 Kani[25]와 Zagora[26]의 실험에서 검사거리 6 m에서 깊이지각을 측정하는데 이용되었다. 또한 운전면허와 관련해서는 1996년 Fleck 등[27]이 4 m 검사거리에 대한 삼간계 방법에 기초를 둔 입체시 검사법을 제시하기 시작하였고, 일본에서는 1960년부터 도로교통법상 영업용 자동차를 운전하기 위한 운전면허 취득시에 '심도지각(depth perception)검사'를 표준시력검사시에 함께 실시하는 규정을 시행중[9]이며, 우리나라에서는 1986년부터 시행되어 국가교통부고시 사항 중「여객자동차 운수사업법」제24조,「화물자동차 운수사업법」제8조에 따라서 여객 또는 화물자동차의 운전업무에 종사하려는 사람 및 여객 또는 화물자동차의 운전업무에 종사하는 사람에 대하여 실시하는 운전적성에 대한 정밀검사에 필요한 사항을 정함을 목적으로 '사업용 자동차 운전자 운전적성에 대한 정밀검사관리규정'을 TS 한국교통안전공단(Korea Transportation Safety Authority)에서 시행(현재 2018.1.1. 시행기준)[10]하고 있다. 이 시행 규칙에 적용된 운전적성검사정밀검사(Driver Aptitude Initial Inspection Test) 항목 중 신규 및 유지 검사자에서 입체공간 내에서의 원근거리 추정능력을 측정하는 거리지각검사를 시행하고 있다. 일본에서 삼간계 검사방법은 검사속도, 즉 막대의 이동속도는 50 mm/sec, 검사거리 2.5 m에서 측정하며, 결과판정은 오차거리가 20 mm(환산 입체시 40.99초)이거나 그보다 더 작아야 검사를 통과할 수 있다.[9] 우리나라에서는 일본과 유사하게 검사속도 25 mm/sec, 검사거리 2.5 m에서 실시하고 있으며, 결과판정은 오차거리가 46 mm(환산 입체시 94.29초)이하일 때를 4등급으로 하여 적합으로 판정하고, 46 mm 초과 시에는 거리지각검사 부적합으로 판정하고 있다.[10] 삼간계를 이용한 거리지각검사를 법적 운전면허발급에 대한 적합판정의 검사로 활용하고 있다는 것은 양안시기능 중 하나인 동적입체시가 현대인의 일상생활 중 많은 비중을 차지하는 자동차운전 시 안전한 주행을 하는데 있어 상당히 밀접하게 관계하고 있음을 가늠할 수 있는 부분이다. 또한 자동차 운전과 같이 일정 속도로 주행 중 전방 시야에 나타나는 교통안내표지판이나, 안전표지물, 또는 보행자나 자전거, 자동차 등 일반적으로나 돌발적으로 나타나는 피사체와의 거리지각능력에 따라 능동적인 자동차의 속도제어가 가능하며, 이때는 동시에 손과 눈의 협응작용이 동반[16]된다고 알려져 있다.

또한 최근 사회적으로 급속하게 진행되고 있는 인구 노령화 현상으로 인해 노인성 질환 중 치매(dementia)에 대한 관심이 높아지고 있었다. Kang 등[28]은 3차원 컴퓨터그래픽 도형을 이용한 운동깊이효과(kinetic depth effect) 측정을 통해 경증 알츠하이머병(alzheimer's disease, AD)치매 초기부터 시지각 능력결함이 나타난다는 사실을 확인하여 AD의 조기 진단에 포괄적인 시지각능력 측정의 중요성을 강조한 바 있어, 동적입체시는 시기능 향상 부분에서 뿐만 아니라 사회 전반에서 여러모로 그 활용도가 매우 높아질 것으로 생각된다.

PD와 검사거리에 따른 동적입체시는 전체 평균 64.70 mm를 기준으로 세 그룹으로 비교해 보았을때 2.5 m와 4 m 두 거리에서 측정한 입체시가 모두 차이가 없었고, 또한 전체 및 남녀별 PD와 비교했을 때도 상관성이 거의 없었

다. 단 여성의 경우 두 거리에서 모두 남성에 비해 PD와의 상관성이 미미하였으나 다소 높게 나타났다.

Karm 등[29]은 컴퓨터 입체도형을 이용한 실험에서 PD가 큰 사람은 PD가 짧은 사람에 비해서 시차로부터 지각되는 깊이가 상대적으로 감소하였지만 작은 시차보다는 높은 시차에서 PD에 의한 설명력이 커진다고 하였다. 또한 양안시차 이외에 운동시차(motion parallax) 등의 깊이단서(depth cue)들로 인해서 상대적인 효율성은 개인마다 다르다고 하였다. Han[18] 은 Grosvenor[30]가 PD의 증가에 따라 깊이인지능력(depth perception ability)이 향상된다고 제시한 것에서 해부학적으로 남성이 여성보다 더 큰 PD를 가짐으로써 동적입체시력이 더 높게 측정되는 것으로 예상된다고 제시한 바 있다.

이들 선행 연구[18,29,30]와 함께 고려해보면 남성이 66.32 mm, 여성이 63.23 mm로 남녀간 PD 차이가 3.09 mm로 통계적으로 유의한 차이가 있었지만, 동적입체시가 2.5 m에서는 남성이 더 우수했고, 4 m에서는 여성이 더 우수한 것은 PD의 크기만으로 동적입체시의 우수성을 예상하기는 어려운 점이다. 남녀간 PD의 유의한 차이가 있었으나 입체시 변화에서는 유의한 차이가 없었던 점은 실제 현실의 다양한 상황에서 입체시를 발휘할 때는 개인별 양안시차 이외에 여러 깊이단서들[28]로 인한 상대적인 효율성이나, 부등상(aniseikonia), 부등시(anisometropia), 조절, 동공크기 등[21] 생리적 요소 등이 관여하므로, PD가 크면 지각인지능력이 향상될 것[30]이라는 이론적인 내용과는 항상 일치하기 어려울 가능성이 존재한다. Shim 등[13,14]도 최근 동적입체시와 PD는 상관성이 거의 없다고 보고했듯이, PD가 동적입체시에 미치는 영향을 정확하게 통계적으로 증명하기 어렵지만 더 많은 실험들을 통해서 입체시 매커니즘에 작용하는 다양한 시기능적 요소를 찾아보는 것이 필요하다고 생각된다.

동공크기는 남녀간에 통계적 차이가 없었고(Table 2), 좌·우안 동공크기 모두가 두 검사거리의 동적입체시와 상관성이 거의 나타나지 않았지만, 동공크기가 동적입체시에 미치는 영향이 없다고 단정하기 어렵다. Lovasik 등[23]이 Randot test(Random-dot test)와 Titmus test 방법으로 동공크기와 입체시의 관계를 연구한 보고에서, Randot test는 동공크기 2.5 mm이하, Titmus test는 1.5 mm 이하에서 입체시가 유의하게 감소하는 영향은 보였으나, 정상적인 생리학적 범위의 동공크기의 차이는 입체시를 임상적으로 받아들일 수 없는 수준으로는 감소시키지 못했다고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서 검사 대상자들이 정상 동공크기를 가진 사람으로 실시된 점에서 동적입체시의 유의한 차이점이 나타나지 않았을 가능성이 크다. 단, Lovasik 등[21]은 Randot test와 Titmus test로 정적입체시를 측정한 점이 삼간계로 동적입체시를 측정한 본 연구와는 다른 점이므로, 동공크기가 동적입체시에 미치는 영향은 좀 더 많은 대상자를 추가적으로 연구해서 더 많은 데이터를 비교, 분석해 볼 필요가 있다고 사료된다.

입체시검사는 정신물리학적(psychophysical) 또는 작업지향(task oriented), 역치(threshold) 또는 비역치(nonv), 국소적 또는 전체적(global), 실제공간이나 기구 공간(instrument space), 미세함(fine) 또는 거침(coarse), 양적(quantitative) 이나 질적(qualitative)으로 분류할 수 있다고 했다.[31] 또한 질적 측면에서 동적입체시는 자연시 상태에서 단안단서가 포함되어 있는 경우[15] 우세안의 방향이나 강도,[32] 개인의 성별, 생리학적 요인 등 여러 환경에 의해 달라질 수 있으므로[31] 적합한 작업환경이나 생활의 요구에 맞게 동적입체시를 다양한 검사거리별로 다르게 측정한 결과가 개인별 시기능을 판단할 때에 유용한 자료가 될 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 사위, 난시, 우세안 등의 안위이상 등의 구분 없이 모든 실험 대상자들의 굴절이상만을 완전교정 후 실험에 참여한 점, 검사속도를 35 mm/sec 한 가지 속도로 제한해서 측정한 점 등이다. 차후에는 여러 안위이상 등 시기능에 영향을 미치는 요소들이 검사거리별 동적입체시에 미치는 영향이나 또는 일정한 검사거리에서 검사 속도 변화에 따른 동적입체시 등 다양한 연구가 더 필요하다고 사료된다.

결 론

일반적으로 동적입체시가 여성보다 남성이 상대적 우수하다고 알려졌던 것과 다르게 검사거리 4 m에서는 남성보다 여성이 더 우수하게 나타났다. 또한 PD와 동공크기는 검사거리에 따른 동적입체시와는 통계적 차이나 상관성이 거의 없었으나 남성보다 여성의 동적입체시가 PD와 좀 더 상관성이 더 크게 나타났다. 동적입체시 발휘에 있어 성별(gender)적 우수성이 항상 일관적인 것이 아니라 성별, 검사거리, PD 및 동공크기 등 검사조건이나 개인별 요소에 따라서 다르게 나타날 수 있다.

원거리 2.5 m와 4 m에서의 동적입체시는 정상범위로 간주되는 30~50초에 해당되는 결과가 나타난 점은, 삼간계로 다양한 원거리에서의 동적입체시 측정을 통해서 운전면허, 노인치매질환 조기진단 등 여러 분야에서 활용할 수 있는 입체시 데이터로 사용하는 것이 유용함을 설명해준다.

REFERENCES

[1] Wong BP, Woods RL, Peli E. Stereoacuity at distance and

near. Optom Vis Sci. 2002;79(12):771-778.
[2] Marsh WR, Rawlings SC, Mumma JV. Evaluation of clinical stereoacuity tests. Ophthalmology. 1980;87(12):1265-1272.
[3] Min BM, Park WC. The relationship between visual acuity and titmus stereoacuity. J Korean Ophthalmol Soc. 1987;28(6):1339-1342.
[4] Kohmura Y, Yoshigi H. Training effects of visual function on college baseball players. Human Performance Measurement. 2004;1(1):15-23.
[5] Suzumura A. Studies on kinetic visual acuity. Annu Rep Res Inst Environ Med Nagoya Univ. 1962;10:7-31.
[6] Adler FH, Hart WM. Adler's physiology of the eye: clinical application, 9th Ed. St. Louis: CV Mosby, 1992;773-810.
[7] Steinman SB, Steinman BA, Garzia RP. Foundation of binocular vision: a clinical perspective, 1st Ed. McGraw-Hill, 2000;240.
[8] Pettigrew JD. Binocular neurons which signal change of disparity in area 18 of cat visual cortex. Nat New Biol. 1973;241(108):123-124.
[9] 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.
[10] Korea Transportation Safety Authority. Driver Aptitude Initial Inspection Test, 2018. http://www.kotsa.or.kr/html/nsi/qti/DATTestItems.do(1 August 2018).
[11] Westheimer G. Clinical evaluation of stereopsis. Vision Res. 2013;90:38-42.
[12] Saladin JJ. Stereopsis from a performance perspective. Optom Vis Sci. 2005;82(3):186-205.
[13] 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.
[14] Shim HS, Kim SM, Kim SH, Kim YC. The comparison of the dynamic stereoacuity with two-rods test and three-rods test. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2015;20(3):377-384.
[15] Shim HS, Kim SH, Kim YC. Comparison of dynamic stereoacuity according to monocular cue. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2017;22(2):127-132.
[16] 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.
[17] Kim YC, Kim SH, Shim HS. Comparison and correlation between distance static stereoacuity and dynamic stereoacuity. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2015;20(3):385-390.
[18] Han KD, Lee MJ, Kim SY, Moon BY, Yu DS, Cho HG. Changes of dynamic stereoacuity depending on distance between rods and rod thickness in three rods test. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2016;21(3):253-257.
[19] Howard HJ. A test for the judgment of distance. Trans Am Ophthalmol Soc. 1919;17:195-235.
[20] Jeong HR, Jung SA, Kim HJ. The effects of uncorrected astigmatism on dynamic stereoacuity. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2017;22(2):143-149.
[21] Mays LE, Gamlin PDR. Neuronal circuitry controlling the near response. Curr Opin Neurobiol. 1995;5(6):763-768.
[22] Morgan MW Jr. Relationship between accommodation and convergence. AMA Arch Ophthalmol. 1952;47(6):745-759.
[23] 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.
[24] Jin YH. Strabismology, 2nd Ed. Ulsan: UUP, 1999;72-73.
[25] Kani W. Stereopsis and spatial perception in amblyopes and uncorrected ametropes. Br J Ophthalmol. 1978;62(11):756-762.
[26] Zagora E. The Zagora rod test. Br J Ophthalmol. 1957; 41(3):188-189.
[27] Fleck R, Kolling GH. Two new stereotests for long distance: examination of stereopsis with regard to the permission of driving. Ger J Ophthalmol. 1996;5(1):53-59.
[28] Kang DH, Kim NG. Perception of movement and interhemispheric interaction in alzheimer`s disease. Korean J Clin Psychol. 2008;27(4):977-999.
[29] Kham KT, Lee JH. The effect of inter-pupillary distance on stereopsis. Korean J Cognitive Sci. 2003;14(3):37-49.
[30] Grosvenor T. Primary Care Optometry, 5th Ed. Philadelphia: Butterworth-Heinemann, 2007;79.
[31] Benjamin WJ. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2006;950-953.
[32] Shim MS, Shim HS, Kim YC. Comparison of dynamic stereoacuity according to dominant eye and degree of dominant eye. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2016;21(3): 227-233.

검사거리에 따른 동적입체시의 비교

김재식[1,*], 이기영[2], 국민석[3], 심현석[4]
[1]전남대학교 일반대학원 의공학협동과정, 광주 61186
[2]전남대학교 화학공학과, 광주 61186
[3]전남대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실, 광주 61186
[4]광주보건대학교 안경광학과, 광주 62287
투고일(2018년 8월 7일), 수정일(2018년 9월 16일), 게재확정일(2018년 10월 25일)

목적: 본 연구는 삼간계를 이용하여 일정한 속도에서 검사거리를 다르게 변화시켜 동적입체시를 측정하여 검사거리 및 PD(동공간거리)에 따른 동체입체시의 남녀별 차이와 상관성에 대해 알아보고자 하였다. **방법:** 성인 120명(남성 85명, 여성 62명, 평균연령 22.56±2.42세)을 대상으로 실시하였다. 동적입체시는 굴절이상자는 완전교정 후 삼간계를 이용해 검사거리 2.5 m, 4 m에서 각각 3회씩 측정하였다. **결과:** 검사거리 2.5 m에서 동적입체시 평균은 전체는 29.89±22.00초, 남성은 28.88±25.71초, 여성은 31.31±20.41초, 4 m에서는 전체는 18.99±12.06초, 남성은 20.20±13.76초, 여성은 17.91±11.15초로 나타났다. 검사거리 4 m에서 동적입체시는 여성이 남성보다 더 좋은 동적입체시를 보였으나 남녀간에 통계적으로 유의한 차이나 상관성은 없었다($p=0.29$, $p>0.05$). 검사거리가 4 m로 멀어졌을 때 동적입체시의 변화 값은 남성 8.68초, 여성 13.40초로 남성, 여성 모두 입체시가 더 향상되었다. 또한 여성은 남성보다 약 4.72초 정도 더 많이 향상되어 먼 거리에서 여성이 남성보다 입체시 향상 정도가 더 크게 나타났다. PD는 남성 66.32±2.74 mm, 여성 63.23±3.38 mm였고, 남녀간의 PD는 통계적으로 유의한 차이를 보였지만($p>0.05$), PD, 동공크기로 분류한 두 거리에서의 동적입체시 그룹들은 모두 통계적으로 유의한 차이나 상관관계는 거의 없었다. **결론:** 동적입체시는 검사거리, 성별, PD, 동공크기와 같은 검사조건이나 개인적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 원거리 2.5 m와 4 m에서의 동적입체시가 30~50초 정상범위에 해당된 점은 운전면허, 노인치매질환 조기진단 등 여러 분야에서 활용할 수 있는 데이터로 유용할 수 있다.

주제어: 삼간계, 동적입체시, 검사거리, 검사속도, 깊이지각검사, 운전면허, 알츠하이머 치매, PD, 동공크기