

Distribution of Stereopsis-Perceptible Critical Slope in Verhoeff Stereoptor Test

Hyeong-Su Kim, Byeong-Yeon Moon, Dong-Sik Yu, Sang-Yeob Kim, and Hyun Gug Cho*

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea
(Received July 31, 2017; Revised August 21, 2017; Accepted September 7, 2017)

Purpose: To measure the critical slope for perception of stereopsis using the Verhoeff stereoptor. **Methods:** 62 subjects (32 male and 30 female) with a mean age of 22.91 ± 1.38 years participated in this study. After the Verhoeff stereoptor was mounted to a rotating plate, the critical distance perceiving stereopsis was determined for each subject. At the critical distance, the Verhoeff stereoptor was set as 90 degrees rotated in order to not perceive stereopsis. Then, until a subject firstly perceives stereopsis, the Verhoeff stereoptor was rotated in clockwise and counterclockwise directions, respectively. **Results:** Mean of the perceiving in depth threshold was measured as 890.45 ± 265.72 mm and it means convert to 51.83 ± 29.80 seconds of arc in stereoacuity unit. Mean of the critical slope to be able to perceive stereopsis was 53.40 ± 10.03 degrees in clockwise rotation and 54.32 ± 10.46 degrees in counterclockwise rotation, respectively. The mean difference between two critical slopes was only 0.92 degrees and there was no significant statistically. The distribution in critical slope was that 38.71% in 59~50 degrees, 25.81% in 69~60 degrees, 22.58% in 49~40 degrees, 8.06% in less than 39 degrees, 3.23% in 79~70 degrees, and 1.61% in 90~80 degrees. **Conclusions:** The evaluation of stereopsis-perceptible critical slope could be applied to evaluate the detailed ability to respond to various stereoscopic environments in addition to static stereoscopic vision test.

Key words: Stereopsis, Verhoeff stereoptor, Stereoacuity, Stereopsis-perceptible distance, Stereopsis-perceptible critical slope

서 론

입체시는 두 눈을 통해 사물을 입체적으로 인식하는 능력을 의미하며, 사람이 가지는 양안시의 기본적인 특성이다.^[1,4] 입체시 능력을 평가하는 입체시력은 깊이를 구분할 수 있는 양안 편차의 임계값으로 평가한다. 깊이구분 임계값(depth-discrimination threshold)은 대상자가 구분할 수 있는 두 자극 사이의 최소값을 의미하며, 시표와 같은 일정한 자극이 주어진 상태에서 검사대상자가 판단하는 두 자극 간의 상대적인 거리로 평가한다.^[5,6]

입체시력의 평가는 실제 깊이를 사용한 검사, 표준 입체시표를 사용한 검사, 그리고 무작위점 입체시표를 사용한 검사로 크게 분류된다. 실제 깊이를 사용한 검사에는 Howard-Dolman Test, Verhoeff stereoptor, Frisby Stereo Test 등이 있으며, 표준 입체시표를 사용한 검사에는 Stereo Fly Test, AO Vectographic Card Test, Keystone Visual Skills Test 등이 있고, 무작위점 입체시표를 사용한 검사에는 TNO Test, Random-Dot Stereo Test, Lang Stereo Test 등이 있다. 이 중 Howard-Dolman Test는 자연시 상

태에서 평가되는 검사법으로써 조도의 영향이 크지 않으면서 검사의 신뢰도가 높기 때문에 임상에서 널리 사용되고 있다.^[7,8] 본 연구에 사용한 Verhoeff stereoptor는 후방 조명이 비취지는 백색의 검사창에 3개의 막대로 구성된 기기으로써, 각각의 막대는 그 두께가 달라서 검사대상자로 하여금 상대적인 크기 정보를 제거시킬 수 있도록 되어 있다. 일찍이 Sloane과 Gallagher^[9]는 이 검사법이 높은 민감도를 보인다고 하였다.

입체시는 두 눈의 이미지 차이를 구분할 수 있는 뇌의 능력 때문에 가능해진다. 일반적으로 깊이를 구분하는 주된 단서는 수평편차 때문이라고 알려져 있지만 두 눈에서 선형 이미지 사이의 각도 차이를 말하는 방향편차(orientation disparity) 또한 아주 중요한 단서로 작용한다.^[10] 이러한 방향편차는 우리의 일상생활에서 독서를 위해 아래를 내려 본다거나 걸으면서 앞쪽의 바닥을 볼 때 특히 중요하게 작용할 수 있다. 현재 평가되고 있는 입체시검사는 시표가 전두면과 평행한 상태이며, 검사자의 머리 자세도 고정되어 있는 상태에서 시행된다. 그러나 사람의 일상생활에서는 대상물체의 위치나 사람의 머리 자세는 매우

*Corresponding author: Hyun Gug Cho, TEL: +82-33-540-3411, E-mail: hyung@kangwon.ac.kr

다양한 조건에 놓이게 되지만 이와 같은 조건을 고려한 입체시 평가법은 정확히 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 자연환경이나 생활환경에서 구성될 수 있는 여러 입체시 환경 중 입체시를 인지할 수 있는 임계기울기를 측정하여 그 분포를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상자

실험에 참여한 대상자들은 안질환, 안과적 수술 이력, 사시가 없으며 원거리 완전교정시력이 1.0이상이고, Morgan의 기댓값^[11] 기준으로 정위인 62명(평균 22.91±1.38세, 남자 32명, 여자 30명)이 연구에 참여하였다. 대상자들의 기본적인 굴절이상 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 방법

문진을 포함한 모든 검사는 동일한 검사자에 의해 수행되었다. 자동굴절력계(NVision K-5001, Shin-Nippon, Japan)를 이용한 타각적 굴절검사, 수동포롭터(VT-10, Topcon, Japan)를 이용한 자각적 굴절검사, 그리고 프리즘가림검사를 이용한 사위검사를 실시하였다. 대상자들은 굴절이상 완전교정 상태에서 Verhoeff stereoptor 검사를 통해 입체시력 및 입체시 인지 임계기울기를 측정하였다.

1) Verhoeff stereoptor를 이용한 입체시력 평가

Verhoeff stereoptor의 크기는 가로·세로가 9×17.5 cm 크기의 직사각형 형태로써, 중심부에 가로·세로 5.4×1.0 cm의 직사각형 주시창이 뚫려있다. 주시창에는 3 mm, 2.5 mm, 2 mm 폭을 갖는 3개의 수직막대들이 5 mm 간격으로 떨어져 있으며, 검사는 총 8 종류의 막대배열을 구성할 수 있다. 막대의 배열 중 하나는 다른 것들보다 앞 또는 뒤에 위치해 있고, 그 깊이차이는 2.5 mm 이다(Fig. 1).

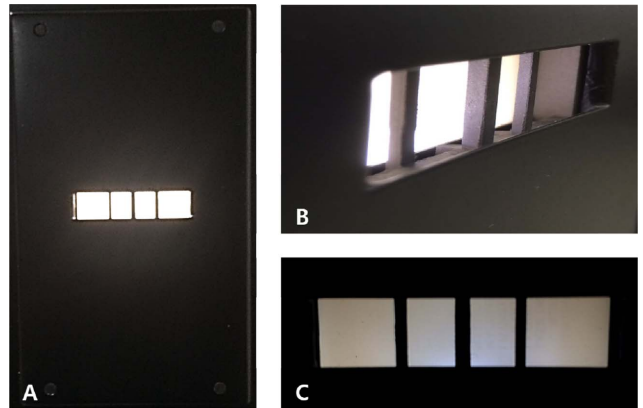


Fig. 1. Components of the Verhoeff stereoptor device. The front face (A, C) and side view (B) of device showing the target window with a set of strips exposed.

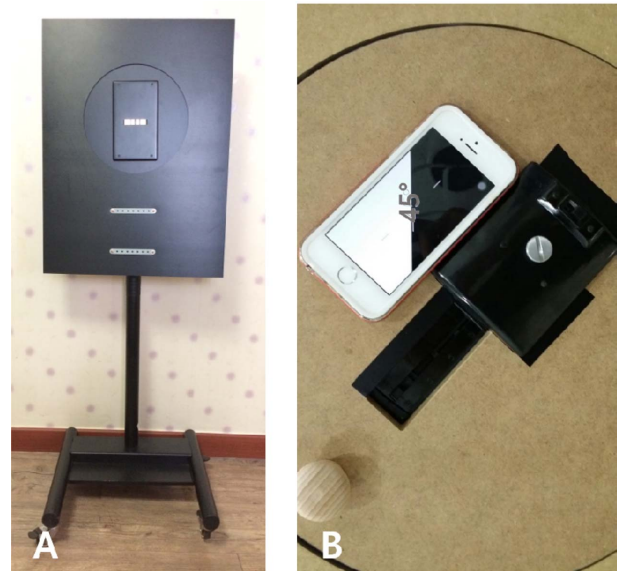


Fig. 2. Photographs of the Verhoeff stereoptor mounted on a rotating plate of cradle. The front side of the rotating plate of cradle with device (A). A mobile phone attached at the back of the rotating plate to measure the critical slope (B).

Table 1. Refractive characteristics of subjects

Characteristics	Mean±SD	
Mean age (yr)	22.91±1.38	
Gender (male/female)	32 / 30	
Refractive errors (diopters for SE)	OD	-4.23±3.19
	OS	-4.72±2.58
Phoria (Δ)	Distance	-1.17±1.36
	Near	-2.23±1.77
PD (mm)	62.94±3.15	

(-) Phoria means as exophoria.
SE, spherical equivalent; OD, Oculus dexter; OS, Oculus sinister; Δ, prism diopter; PD, pupillary distance

Verhoeff stereoptor를 사용하여 입체시를 평가할 때 검사자는 장비를 손으로 단단히 잡고 피검자의 두 눈의 중앙에 정확하게 위치시켜야 하며 이 장비가 수직축에서 회전되지 않도록 하는 것이 중요하다.^[12] 본 연구에서는 결과의 정확성을 높이기 위하여 회전중심이 정확히 고정된 회전판에 기기를 고정시키고, 높이 조절이 가능한 거치대에 장착하여 피검사자들의 눈높이에 정확히 맞추었다. 그리고 임계기울기의 기록은 모바일 앱을 사용하였다(Fig. 2).

검사과정으로 먼저 기기를 피검자로부터 약 40 cm 거리에 위치시키고 검사창에 보이는 세 막대의 상대적 위치를 말하도록 지시한다. 그리고 검사거리를 2 m로 옮겨 장비

에 미리 구성되어 있는 4가지 막대배열을 모두 정확하게 구분하였을 경우, 기기를 180도 회전시켜 다시 4가지 구성을 정확하게 판정할 수 있는 가장 짧은 거리를 결정한다. 검사는 총 3회 실시하여 그 평균값을 기록하였다. 이 거리를 아래의 공식^[13]에 대입하여 초각 단위의 입체시력으로 계산하였다.

$$\eta = \frac{a\Delta d}{d^2} \text{ in radians}$$

이 공식에서 η 은 라디안 단위의 입체시력, a 는 동공중심간거리, d 는 주시거리, Δd 는 막대 사이의 세로방향 거리를 나타낸다. 이 계산 결과를 초각 단위로 환산하기 위해 206,256을 곱하였다.^[13]

2) Verhoeff stereoptor를 이용한 입체시 인지 임계기울기 평가

입체시 인지 임계기울기를 측정하기 위해 임계거리에서 검사막대가 수평이 되도록 기기를 90도 회전시켜 입체시를 느끼지 못하도록 하였다. 여기서부터 기기를 일정한 속도(1 degree/1 sec)로 시계방향으로 회전시켜 최초로 막대의 상대적 위치를 정확히 구분한 지점을 시계방향에서의 입체시 인지 임계기울기로 기록하였다. 동일한 방법으로 반시계방향에서의 입체시 임계기울기를 측정하였다. 각 측정값은 총 5회 실시한 평균값으로 하였으며, 임계기울기는 기기의 검사 막대가 수직일 때 0도, 수평일 때 90도를 의미한다.

3. 자료 처리 및 분석

본 연구에서는 SPSS (Ver. 22.0 for Windows, SPSS Inc, USA)를 사용하여 Verhoeff stereoptor를 사용하여 측정된

입체시력 값과 입체시 인지 임계기울기를 t-test와 상관분석으로 분석하였다. 이 때 유의확률 $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. Verhoeff stereoptor를 이용한 입체시 검사

Verhoeff stereoptor를 이용하여 측정된 깊이인지 임계거리와 초각 단위로 환산된 입체시력은 Table 2와 같다. 입체시 인지 임계거리의 평균은 890.45 ± 265.72 mm였고, 남자 899.17 ± 276.91 mm, 여자 875.95 ± 226.65 mm로 나타났다. 초각 단위로 환산된 입체시력의 평균은 51.83 ± 29.80 초각이었으며, 남자 50.57 ± 32.04 초각, 여자 53.79 ± 25.55 초각이었다. Shim 등^[3]과 Bohr 등^[14]의 선행연구에서 성별에 따른 입체시의 차이는 나타나지 않았다고 하였다.

2. Verhoeff stereoptor를 이용한 입체시 인지 회전각도 평가

Verhoeff stereoptor를 이용하여 측정된 입체시 인지 임계기울기 평균은 Table 3과 같다. 시계방향으로 회전시켰을 때 53.40 ± 10.03 도였으며, 남자 52.32 ± 9.77 도, 여자 54.49 ± 10.48 도로 나타났다. 반시계방향으로 회전시켰을 때 입체시 인지 임계기울기 평균은 54.32 ± 10.46 도였으며, 남자 53.62 ± 10.40 도, 여자 55.03 ± 10.80 도로 나타났다. 시계방향으로 회전시켰을 때와 반시계방향으로 회전시켰을 때의 평균 차이는 0.92도로 두 가지 회전 방향에 따라서 통계적으로 유의한 의미는 없었다.

입체시 인지 임계기울기의 분포는 Table 4와 같다. 59~50도의 범위를 가지는 대상자의 수가 38.71%(24명)로

Table 2. Stereoacuity and perception in depth threshold (mm) in Verhoeff stereoptor test (n=62)

	Total	Male (n=32)	Female (n=30)	p-value
Perception in depth threshold (mm)	890.45±265.72	899.17±276.91	875.95±226.65	0.833
Stereoacuity (sec of arc)	51.83±29.80	50.57±32.04	53.79±25.55	0.847

Table 3. Stereopsis-perceptible critical slope in Verhoeff stereoptor test (n=62)

	Stereopsis-perceptible critical slope (degree)		Differences (degree)	p-value
Clockwise	Male	52.32±9.77	2.17	0.537
	Female	54.49±10.48		
	Total	53.40±10.03		
Counterclockwise	Male	53.62±10.40	1.41	0.700
	Female	55.03±10.80		
	Total	54.32±10.46		

Table 4. Distribution of stereopsis-perceptible critical slope in Verhoeff stereoptor Test (n=62)

Stereopsis-perceptible critical slope (degree)	Number of subjects	Ratio of distribution (%)	Accumulation of distribution (%)
90 ~ 80	1	1.61	1.61
79 ~ 70	2	3.23	4.84
69 ~ 60	16	25.81	30.65
59 ~ 50	24	38.71	69.36
49 ~ 40	14	22.58	91.94
less than 39	5	8.06	100.00

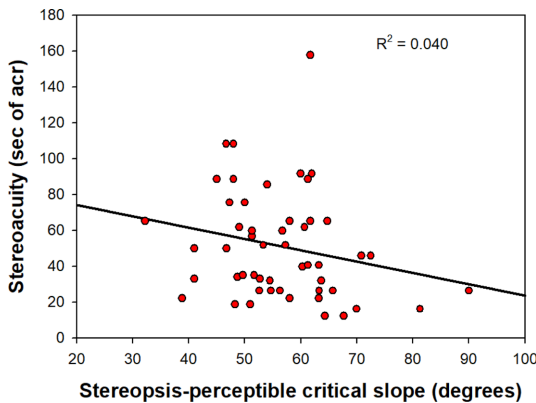


Fig. 3. Scatter diagrams showing the relationship between stereoacuity and stereopsis-perceptible critical slope.

가장 많았고, 69~60도에서 25.81%, 49~40도에서 22.58%, 39도 이하에서 8.06%, 79~70도에서 3.23%, 그리고 90~80도에서 1.61%로 나타났다.

입체시력과 입체시 인지 임계기울기 사이의 상관관계를 분석했을 때, 서로 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 3).

3차원의 세상은 두 눈의 망막 위에 2차원적으로 결상되며, 시각 시스템의 가장 큰 역할 중 하나는 2차원적인 이미지를 3차원의 형태로 재구성하는 것이다. 두 눈은 수평 방향으로 분리되어 있어서 두 눈의 망막 상은 주로 수평 방향으로의 미세한 위치 차이가 발생한다. 두 망막에 대응되는 이미지 사이에서 나타나는 이러한 위치의 차이가 양안편차이며,^[15] 시각 시스템은 상대적인 깊이를 판단하기 위해 수평방향의 양안편차를 사용한다. 일반적으로 더 하위 단계의 시각경로(망막, 가쪽무릎체 등)에서는 두 눈의 이미지가 통합되지 않기 때문에 양안편차를 처리하는 첫 번째 단계는 1차 시각피질의 뉴런에서 일어난다고 생각되지만 깊이를 구분하는 역할을 하는 특정 뉴런의 메커니즘은 아직까지 정확하게 알려져 있지 않다^[16,17] 전통적으로 수평편차는 좌·우안의 수용영역 사이에서 나타나는 상대

적인 편위에 의해 부호화된다고 추정되어 왔으며 시각피질의 세포가 선호하는 편차는 망막 대응점으로부터 두 수용영역이 어느 정도 편위되어 있는지에 의해 결정된다.^[18] 또한 눈은 측면으로 분리되어 있기 때문에 양안시차는 수직방향보다 수평방향의 편차에 훨씬 더 민감하다.^[16-18] Barlow 등^[19]은 수용영역의 위치 편차에 관해 수평편차의 크기는 수직편차 범위의 3배라고 하였다. 즉, 두 눈이 수평방향으로 편위되어 있기 때문에 수평편차에 의한 깊이 인식은 강하게 느끼지만 수직편차에 의한 깊이 인식은 약할 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서와 같이 Verhoeff stereoptor를 정상적인 방향에서 90도 회전시켜 수직편차를 발생시킨 상태에서 수평편차를 느끼는 방향으로 장비를 서서히 회전시키게 되면 어느 지점에선가 편차를 인식할 수 있는 지점이 발생할 것이다. 이와 관련된 선행연구가 없어서 본 연구 결과와 비교하기는 어렵지만 사람마다 수평 또는 수직편차를 느낄 수 있는 시각피질 세포의 민감도는 차이가 날 것으로 예상되기 때문에 개개인의 입체시 인지 임계기울기는 서로 다를 것이다. 본 연구에서 임계기울기는 매우 넓은 범위(27.70~81.30도)로 분포하고 있었다.

본 연구결과로 볼 때 기존에 이루어지던 단순한 정적 상태에서의 입체시력 측정과 더불어 시각적 환경의 변화에 따른 입체시 인지 임계기울기를 측정함으로써 입체시에 대해 더욱 세분화된 평가가 가능하며, 이를 통해 양안시 이상의 평가에도 응용될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 연구는 20대의 젊은 성인을 대상으로 실시한 바, 추후 연령, 사시, 굴절이상도 등 다양한 변수에 따른 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

부가적으로 Verhoeff stereoptor를 이용한 입체시 검사는 스넬렌 시력 표기법에 부합하는 단계(200 cm, 100 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 20 cm)에 따라서 평가할 수도 있다.^[12] 일반적으로 입체시력은 초각 단위를 사용하지만 이러한 방법을 사용한다면 피검자의 양안 입체시력을 ‘입체시 임계거리(D/100)’로 계산하여 입체시력을 스넬렌 시력 표기법으로 변환할 수도 있다.^[12] 즉, D가 100 cm라면 입체시력은 20/20이 되고, 만약 D가 50 cm라면 입체시력은 20/40이 된다. 이를 통해 일반인들에게 생소한 초각 단위의 입체시력을 쉽게 이해시킬 수도 있으며, 정상과 비정상만으로 판별하는 선별검사의 목적으로 사용할 경우 검사시간을 단축시킬 수도 있기 때문에 입체시 검사법으로 유용하게 활용할 가치가 있다고 판단된다.

결 론

본 연구결과로 볼 때 기존에 이루어지던 단순한 정적 상

태에서의 입체시력 측정과 더불어 시각적 환경의 변화에 따른 입체시 인지 임계기울기를 측정함으로써 입체시에 대해 더욱 세분화된 평가가 가능하며, 이를 통해 양안시 이상의 평가에도 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620160124).

REFERENCES

- [1] Kuang TM, Hsu WM, Chou CK, Tsai SY, Chou P. Impact of stereopsis on quality of life. *Eye (Lond)*. 2005;19(5):540-545.
- [2] Howard IP, Rogers BJ. *Perceiving in depth, Volume 2: Stereoscopic vision*, 1st Ed. New York: Oxford University Press, 2012;1-50.
- [3] 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.
- [4] Antona B, Barrio A, Sanchez I, Gonzalez E, Gonzalez G. Intraexaminer repeatability and agreement in stereoacuity measurements made in young adults. *Int J Ophthalmol*. 2015;8(2):374-381.
- [5] Lit A. Depth-discrimination thresholds as a function of binocular differences of retinal illuminance at scotopic and photopic levels. *J Opt Soc Am*. 1959;49(8):746-752.
- [6] Blakemore C. The range and scope of binocular depth discrimination in man. *J Physiol*. 1970;211(3):599-622.
- [7] Westheimer G. Clinical evaluation of stereopsis. *Vision Res*. 2013;90:38-42.
- [8] 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.
- [9] Sloane AE, Gallagher JR. Evaluation of stereopsis; a comparison of the Howard-Dolman and the Verhoeff test. *Arch Ophthalmol*. 1945;34(5):357-359.
- [10] Cool SJ, Smith EL. *Frontiers in visual science*, 1st Ed. New York: Springer-Verlag, 1978;336-350.
- [11] Scheiman M, Wick B. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013;52-54.
- [12] Verhoeff FH. Simple quantitative test for acuity and reliability of binocular stereopsis. *Arch Ophthalmol*. 1942;28(6):1000-1019.
- [13] Howard IP, Rogers BJ. *Perceiving in depth, Volume 2: Stereoscopic vision*, 1st Ed. New York: Oxford University Press, 2012;287-432.
- [14] Bohr I, Read JCA. Stereoacuity with Frisby and revised FD2 stereo tests. *PLoS One*. 2013;8(12):e82999.
- [15] DeAngelis GC, Ohzawa I, Freeman RD. Neuronal mechanisms underlying stereopsis: how do simple cells in the visual cortex encode binocular disparity?. *Perception*. 1995;24(1):3-31.
- [16] Henriksen S, Tanabe S, Cumming B. Disparity processing in primary visual cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2016;371(1697):20150255.
- [17] Henriksen S, Read JCA, Cumming BG. Neurons in striate cortex signal disparity in half-matched random-dot stereograms. *J Neurosci*. 2016;36(34):8967-8976.
- [18] Uka T, DeAngelis GC. Binocular vision: an orientation to disparity coding. *Curr Biol*. 2002;12(22):R764-R766.
- [19] Barlow HB, Blakemore C, Pettigrew JD. The neural mechanism of binocular depth discrimination. *J Physiol*. 1967;193(2):327-342.

Verhoeff Stereoptor 검사에서 입체시 인지 임계기울기의 분포

김형수, 문병연, 유동식, 김상엽, 조현국*

강원대학교 안경광학과, 삼척 25949

투고일(2017년 7월 31일), 수정일(2017년 8월 21일), 게재확정일(2017년 9월 7일)

목적: Verhoeff stereoptor를 이용하여 시각적 환경의 변화에 따른 입체시 능력을 평가할 수 있는 입체시 인지 임계기울기의 분포를 알아보고자 하였다. **방법:** 62명(평균 22.91±1.38세, 남자 32명, 여자 30명)의 피검사자들이 본 연구에 참여하였다. Verhoeff stereoptor를 회전판에 부착한 후, 각각의 피검사자가 입체시를 인지할 수 있는 임계거리를 결정하였다. 임계거리에서 Verhoeff stereoptor를 90도 회전시켜 입체시를 느끼지 못하도록 둔 다음, 피검사자가 처음 입체시를 인지할 때까지 각각 시계방향과 반시계방향으로 회전하였다. **결과:** 입체시 인지 임계거리의 평균은 890.45±265.72 mm로 측정되었으며, 환산된 입체시력의 평균은 51.83±29.80 초각이었다. 입체시 인지 임계기울기의 평균은 시계방향으로 회전시켰을 때 53.40±10.03도, 반시계방향으로 회전시켰을 때 54.32±10.46도로 나타났다. 두 평균 차이는 0.92도에 불과하여 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 입체시 인지 임계기울기의 분포는 59~50도에서 38.71%, 69~90도에서 25.81%, 49~40도에서 22.58%, 39도 이하에서 8.06%, 79~70도에서 3.23%, 그리고 90~80도에서 1.61%로 나타났다. **결론:** 입체시 인지 임계기울기의 평가는 정적 입체시력 평가와 함께 다양한 입체시 환경에 반응하는 세부적인 능력을 평가하는데 이용될 수 있을 것이다.

주제어: 입체시, Verhoeff stereoptor, 입체시력, 입체시 인지 임계거리, 입체시 인지 임계기울기