ISSN(print) 1226-5012
J Korean Ophthalmic Opt Soc. 24(1):71-75, March 2019
http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.1.71

Comparison between Stereopsis Measured in a Natural Space and that Measured Using an Apparatus

Hyeong-Su Kim[1], Byeong-Yeon Moon[2], Dong-Sik Yu[2], Sang-Yeob Kim[2], and Hyun Gug Cho[2,*]

[1]Dept. of Optometry, Choonhae College of Health Sciences, Professor, Ulsan 44965, Korea
[2]Dept. of Optometry, Kangwon National University, Professor, Samcheok 25949, Korea
(Received March 4, 2019: Revised March 19, 2019: Accepted March 15, 2019)

Purpose: To compare stereoacuity measured in a natural space with that measured using an instrument in a distant dynamic stereopsis test and to analyze the correlation coefficient between the two measured values. **Methods:** Twenty-five subjects (10 males and 15 females) with a mean age of 23.64±1.58 years participated in the test. The refractive error of the subjects was fully corrected, and the viewing angle in the dynamic stereopsis test was 10°. At a 2.5-m distance, fixative targets for the test were three rods and three light sources. At a 25-m distance, fixative tergets for the test were three penguins (subjects dressed as penguins). **Results:** The measured stereoacuity at a 25-m distance in the natural space (8.39±3.61 sec of arc) was significantly ($p<0.001$, $p<0.001$) higher than that measured in the test using three rods (38.28±45.81 sec of arc) and that using three light sources (33.33±23.12 sec of arc) at a 2.5-m distance. The correlation coefficient between stereoacuity measured at a 25-m distance in a natural space and that measured at a 2.5-m distance was very low ($r = 0.010$, $r = 0.174$). **Conclusions:** The values measured by the stereopsis test using three rods at a 2.5-m distance do not accurately reflect stereoscopic ability in a natural space, and it is possible to compensate for this disadvantage by increasing the test distance.

Key words: Dynamic stereopsis, Test using three rods, Natural space, Stereoacuity

서 론

Helmholtz는 두 개의 막대를 수직으로 배열시켜 실제 깊이의 지각 정도를 측정하여 처음으로 동적 입체시력을 검사하였고, 그 후 Heine는 세 개의 막대를 이용하여 5 m 거리에서 실제 깊이를 측정하여 정상 성인의 동적 입체시력이 6초각이라고 하였다.[1] 그 후 이러한 원리를 이용하여 두 개의 막대를 사용한 Howard-Dolman test가 임상적으로 동적 입체시력을 평가하는데 가장 보편적으로 사용되어 왔다.[2] 이와 유사하게 Verhoeff stereoptor는 세 막대 측정원리를 이용하여 제작된 소형 검사기기로써, 부피가 작아 장소의 구애를 받지 않고 간편하게 실제 깊이를 평가하는데 사용하고 있다.[3]

막대검사를 이용한 동적 입체시검사는 피검사자의 능동적인 조작으로 이루어지기 때문에, 검사 결과에서 나타난 상대적인 거리[4,5]를 통해 일상 생활공간에서 대상물체와 자신의 상대적인 위치를 정확하게 파악하는 거리감 인식 능력을 평가할 수 있다. 실제 거리감 인식은 많은 단안 단서만으로도 가능하지만, 야간에는 소수의 시각단서만 자극되기 때문에 입체시력이 정상적이지 못하면 거리감 인식에 어려움을 겪게 된다.[6] 특히 운전과 같이 삼차원적 공간에서 상대적 거리감 인식능력을 파악할 때 측정하는 중요한 시각 기능검사 중 하나가 원거리 동적 입체시검사이다.[7]

원거리 동적 입체시검사에 사용되는 Verhoeff stereoptor는 측정할 수 있는 깊이감이 8종으로 고정되어 있고, 이 8종에 대한 깊이감 구별 여부만 판단하기 때문에 피검자의 검사 재현성이 높다. 반면, 두 막대검사(two-rods test)와 세 막대검사(three-rods test)는 피검사자의 주관적인 판단에 따르기 때문에 반복측정에 따른 편차가 심해 상대적으로 검사 재현성이 낮은 편이다. 또한 이러한 검사기구들은 축소되고 제한된 검사환경에서 실시되기 때문에 실제 자연공간에서 경험하게 되는 거리감 인식과 일치하는지에 대해서는 명확한 근거가 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 기기로 측정한 입체시력이 일상생활 환경 속에서의 입체시 능력을 잘 반영하고 있는지 알아보기 위하여

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

자연공간에서 측정한 입체시력과 기기로 측정한 입체시력을 비교하였다. 측정은 흔히 사용되는 2.5 m 거리 세 막대검사와 자연공간 25 m에서 실시한 세 막대 응용검사를 실시하였고, 측정된 입체시력의 차이와 검사 간의 상관성을 분석하였다.

대상 및 방법

1. 대상자

본 실험은 안과적 수술 이력 및 사시가 없으며, 안질환 병력이 없는 원거리 교정시력 1.0 이상인 25명(평균 23.64±1.58세, 남자 10명, 여자 15명)을 대상으로 하였다. 또한 모든 대상자들은 Morgan의 기댓값[8]에 따라 정상범위인 경우만 검사에 참여시켰다. 대상자들의 기본적인 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 방법

동일한 검사자가 문진을 통해 기본정보를 확인한 후 자동굴절력계(NVision K-5001, Shin-Nippon, Japan)를 사용하여 타각굴절검사를 시행하였으며, 수동포롭터(VT-10, Topcon, Japan)를 이용하여 자각굴절검사를 실시하였다. 자각굴절검사는 방사선시표와 크로스실린더법으로 난시를 교정하였고 최대구면최대시력으로 구면끝점을 결정하였다. 그리고 교정용 안경을 착용한 상태에서 Maddox rod를 사용하여 원거리 및 근거리 수평사위검사를 실시한 다음 정상범위인 대상자를 선별하였다.

Table 1. Clinical characteristics of subjects

Characteristics		Values
Age (years)		23.64±1.58
Sex (male/female)		10 / 15
Refractive error (diopters of spherical equivalent)	OD	−3.12±2.34
	OS	−3.28±2.14
Phoria (Δ)	Distance	−1.37±1.24
	Near	−2.33±1.77
PD (mm)		62.08±1.87

Data are presented as mean±SD.
(−) Phoria indicates exophoria.
OD, oculus dexter; OS, oculus sinister; Δ, prism diopter; PD, pupillary distance

1) 자연공간에서의 입체시검사

자연공간에서의 입체시력을 평가하기 위해 세 막대 검사거리(2.5 m)의 10배에 해당하는 25 m 거리로 하여 야외 운동장에서 검사를 실시하였다. 세 막대검사와 동일한 양안 10도(단안 각 5도)의 시야각이 되도록 하였고, 주시물체는 막대 대신 Fig. 1과 같이 펭귄복장을 한 사람(three-penguins)으로 하였다. 중앙의 대상을 기준으로 수평 방향으로 좌・우 대상은 각각 2.2 m의 간격이 되도록 하였다. 검사는 중앙 대상을 뒤쪽으로 10 m 이동시킨 상태에서 약 20 cm/sec의 속도로 앞으로 전진시켜 피검사자로 하여금 좌・우의 대상과 동일한 수평선상에 도달했다고 판단될 때 이동을 멈추게 하였다. 그 후 5초 동안 중앙 대상의 위치를 재조정할 수 있는 시간을 주었다. 좌・우 대상과 중앙 대상 사이의 앞뒤 거리를 입체시 역치거리로 판단하였다. 검사는 총 5회 실시하여 그 평균값을 사용하였다. 이 거리를 아래의 식[1]에 대입하여 초각 단위의 입체시력으로 계산하였다.

$$\eta = \frac{a\Delta d}{d^2} \times 206{,}256 \quad (1)$$

위 식 (1)에서 η은 라디안 단위의 입체시력, a는 동공중심간거리, d는 주시거리, 그리고 Δd는 좌・우 대상과 중앙 대상 사이의 세로 방향 거리를 나타낸다. 이 계산 결과를 초각 단위로 환산하기 위해 206,256을 곱하였다.[1]

2) 검사실에서 세 막대 검사기기를 이용한 입체시검사

검사실 세 막대검사를 위한 측정기기는 Howard[9]의 방

Fig. 1. Stereopsis test with three penguins at a 25-m distance in a natural space (A) and three subjects dressed as penguins (B).

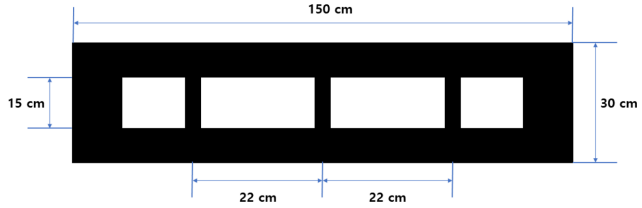

Fig. 2. Dimensions in the stereopsis test using three rods at a 2.5-m distance in a room.

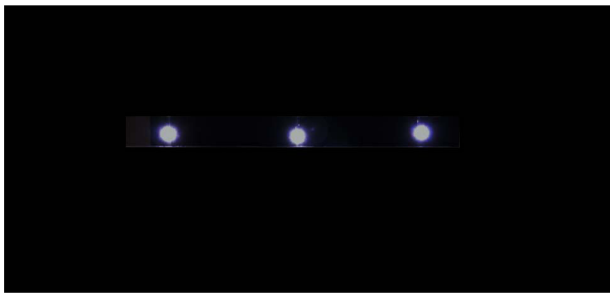

Fig. 3. Targets in the stereopsis test using three light sources at a 2.5-m distance in a room.

법으로 제작・사용하였다. 4개의 면(앞, 뒤, 좌, 우)으로 밀폐된 상자의 바깥쪽은 검은색, 안쪽은 흰색이며, 검사 상자의 안쪽 막대 굵기는 10 mm이고 검정색이다. 좌・우의 막대는 시야각 10도로 고정되어 있고 가운데 막대는 피검자가 줄을 이용하여 앞뒤로 이동이 가능하도록 되어있다(Fig. 2). 검정색 막대를 편안하게 주시할 수 있도록 75 W의 백열전구를 상자의 뒷면으로 간접 조명을 하였다. 피검자는 의자에 앉은 다음 머리기울임을 방지하기 위해 이마와 턱을 고정받침대에 대고, 고정 막대로부터 2.5 m 떨어진 거리에서 검사를 실시하였다. 검사는 5번 반복 측정하여 평균치를 기록하였다.

3) 검사실에서 세 광원 검사기기를 이용한 입체시검사

세 막대 입체시검사에 사용된 막대의 중간지점에 10 mm 크기의 1 W LED 전구를 부착한 후 어두운 조명상태로 검사하였다(Fig. 3). 검사방법은 세 막대검사와 동일하였다.

3. 자료 처리 및 분석

측정값들은 SPSS (Ver. 22.0 for Windows, SPSS Inc, USA)를 사용하여 비모수검정(Friedman 분산분석)을 통해 입체시력의 차이를 비교하였고, Kendall의 비모수상관분석을 통해 세 검사법 간의 상관성을 분석하였다. 이 때 유의확률 $p<0.05$일 때 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

검사조건을 달리하여 입체시검사를 실시한 후 측정된 입체시력의 결과는 Table 2와 같다. 자연공간 25 m 거리에서 측정한 세 펭귄검사의 입체시력은 8.39±3.61초각이었고, 검사실 2.5 m 거리에서 측정한 세 막대검사 입체시력은 38.28±45.81초각, 세 광원검사 입체시력은 33.33±23.12초각이었다. 25 m 입체시력은 2.5 m 입체시력과 통계적으로 유의한 차이를 보여 기기에 의한 검사와 자연공간에서의 검사는 차이가 있음을 보여 주었다. Larson[10]은 특별한 시각적 결핍이 없는 사람의 경우 8초각 보다 좋은 입체시력을 가진다고 하여 Howard-Dolman 검사는 임상적으로 의심의 여지가 있다고 하였다. 하지만 본 결과에서 검사거리를 2.5 m 검사와는 달리 25 m 자연공간에서 측정하였을 때 입체시력은 Larson의 주장과 유사하였다. 또한 거리감 인지에 대한 편차도 2.5 m 검사가 25 m 검사에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 막대검사에서 나타나는 입체시력 편차는 Table 3과 같이 타 연구자들의 검사결과[11-15]에서도 동일한 경향이었다. 두 막대검사와 세 막대검사 모두 2.5 m에서 측정한 입체시력과 편차는 비슷하지만 검사거리를 늘릴 경우 입체시력의 향상과 함께 편차도 감소되는 것으로 나타났다. 두 막대검사와 세 막대검사에서 검사거리를 각각 3.0 m와 6.0 m로 하였을 때 입체시력은 2.5 m 검사거리와 비교하여 현저히 높게 측정되었다. 이처럼 검사거리에 따른 입체시력의 차이에 대해 Hong과 Park[16]은

Table 2. Stereoacuity according to test conditions (n=25)

Test conditions	Stereoacuity (sec of arc)	F/p
Test with three penguins at a 25-m distance in a natural space	8.39±3.61	40.82/0.00
Test using three rods at a 2.5-m distance in a room	38.28±45.81***	
Test using three light sources at a 2.5-m distance in a room	33.33±23.12***	

Data are presented as mean ± SD.
***p<0.001: significantly different compared with the test with three penguins at a 25-m distance in a natural space

Table 3. Values of stereoacuity in other studies

Methods	Test distance	Stereoacuity (sec of arc)	Authors
Two-rods test	2.5 m	28.44±25.03	Shim *et al.*[11]
	2.5 m	29.91±23.03	Shim *et al.*[12]
	3.0 m	13.43±7.66	Glaholt *et al.*[13]
Three-rods test	2.5 m	23.44±20.96	Kim *et al.*[14]
	2.5 m	23.75±21.65	Shim *et al.*[12]
	6.0 m	5.31±4.38	Lam *et al.*[15]

Data are presented as mean ± SD.

Table 4. Correlation coefficient between stereoacuity measured in a natural space and that measured in a laboratory (n=25)

Test groups	Difference in stereoacuity (sec of arc)	p	Kendall's correlation coefficient
Between three penguins and three rods	–29.89±9.07	0.001	0.010
Between three penguins and three light sources	–24.94±4.49	0.000	0.174
Between three rods and three light sources	4.95±7.63	0.835	0.313

Data are presented as mean ± SD.
In the test groups, three penguins is the test with three penguins at a 25-m in a natural space, three rods is the test using three rods at 2.5-m distance in a room, and three light sources is the test using three light sources at 2.5-m distance in a room.

Frisby Davis Distance Stereotest를 이용한 원거리 입체시 검사에서 검사거리가 4 m나 3 m에서는 시차역치에 도달할 수 없고, 5 m와 6 m에서는 최소양안시차를 구별할 수 있다고 하였다. 따라서 Table 3의 측정값들과 본 결과들을 볼 때 흔히 사용되는 세 막대검사 측정기기를 이용하여 정확한 입체시력을 평가하기 위해서는 측정기기를 개선하여 검사거리를 늘릴 필요가 있을 것으로 판단되었다. 또 2.5 m 검사에서 세 막대와 세 광원을 사용했을 때 측정된 입체시력은 큰 차이를 보이지 않았으나 광원을 사용한 경우 막대를 사용한 경우보다 측정편차가 작은 것으로 나타나 측정물체도 검사 재현성에 영향을 줄 수 있을 것으로 예측되었다. 뿐만 아니라 세 막대 간의 시야각[17]과 검사조도[18]도 입체시력 측정에 영향을 주는 요인으로 알려져 있다.

검사조건을 달리하여 입체시검사를 실시한 후 측정된 입체시력 간의 상관성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 자연공간 25 m 거리에서 측정한 입체시력과 2.5 m 거리에서 세 막대검사 및 세 광원검사로 측정한 입체시력과의 상관계수는 각각 0.010과 0.174로써 상관성이 매우 낮게 나타났다. 결국 이러한 결과는 2.5 m 입체시검사의 결과가 최소양안시차를 구별할 수 없다는 것을 말해 주고 있다. 또한 세 막대검사와 세 광원검사로 측정한 두 입체시력 간의 상관계수는 0.313으로 나타나 이 역시 높은 상관성을 보이지 못하였다. 이러한 결과로 보아 두 평균 입체시력 간의 통계적 차이가 없지만 검사를 위한 주시물체가 달라짐에 따라 개인별 검사값은 많은 변이가 있을 것으로 판단되었다.

이와 같은 결과들을 종합해 볼 때 2.5 m 거리에서 실시하는 세 막대검사는 자연공간에서 발휘할 수 있는 최대의 깊이인지 능력을 평가한다고 볼 수 없기 때문에 이러한 단점을 보완하기 위해서 검사거리를 늘리는 것이 한 방법이 될 것이다.

결 론

자연공간 25 m 거리에서 세 막대검사를 응용하여 측정한 입체시력은 2.5 m 거리에서 세 막대검사로 측정한 입체시력보다 유의하게 높았으며, 두 검사 간의 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 세 막대검사의 정확성을 향상시키기 위해서는 통상 사용하는 2.5 m 검사거리를 조정함으로써 보완할 수 있을 것이다.

감사의 글

2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620170138).

REFERENCES

[1] Howard IP, Rogers BJ. Perceiving in depth, Volume 2: stereoscopic vision, 1st Ed. New York: Oxford University Press, 2012;1-50.
[2] Westheimer G. Clinical evaluation of stereopsis. Vision Res. 2013;90:38-42.
[3] Kim HS, Moon BY, Yu DS, Kim SY, Cho HG. Distribution of stereopsis-perceptible critical slope in Verhoeff stereoptor test. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2017; 22(3):237-242.
[4] 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.
[5] Blakemore C. The range and scope of binocular depth discrimination in man. J Physiol. 1970;211(3):599-622.
[6] Chu BS. Impact of visual functions on driving safety. Korean J Vis Sci. 2010;12(4):227-238.
[7] Kim JB, Hwang JH, Chu BS. Analysis of elderly driver's visual function. Korean J Vis Sci. 2018;20(4):505-511.
[8] Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013;52-54.
[9] Howard HJ. A test for the judgment of distance. Trans Am Ophthalmol Soc. 1919;17:195–235.
[10] Larson WL. Does the Howard-Dolman really measure stereoacuity? Am J Optom Physiol Opt. 1985;62(11):763-767.
[11] 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.
[12] 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.
[13] Glaholt MG, Spivak T, Sacripanti B. Evaluation of clinical stereopsis tests for use in aircrew vision assessment. Defence Research and Development Canada. 2017; DRDC-RDDC-2017-R032:1-25.
[14] 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.
[15] Lam AK, Tse P, Choy E, Chung M. Crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria. Ophthalmic Physiol Opt. 2002;22(3):189-193.
[16] Hong SW, Park SC. Stereoacuity of normal subjects assessed by Frisby Davis distance stereotest. J Korean Ophthalmol Soc. 2006;47(1):154-159.
[17] 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.
[18] Lee CH, Choi DG. Effect of illumination on stereoacuity. J Korean Ophthalmol Soc. 2002;43(10):1963-1967.

실공간에서 측정한 입체시와 기기로 측정한 입체시의 비교

김형수[1], 문병연[2], 유동식[2], 김상엽[2], 조현국[2,*]
[1]춘해보건대학교 안경광학과, 교수, 울산 44965
[2]강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949
투고일(2019년 3월 1일), 수정일(2019년 3월 13일), 게재확정일(2019년 3월 15일)

목적: 원거리 동적 입체시검사에서 자연공간에서 측정한 입체시력과 기기로 측정한 입체시력을 비교하고 상호 상관성을 알아보고자 하였다. **방법:** 검사 대상자는 양안시 이상이 없는 23.64±1.58세의 25명(남성 10명, 여성 15명)이었다. 대상자의 굴절이상은 완전교정하였고, 동적 입체시검사의 시야각은 10도로 하였다. 2.5 m 거리에서 주시물체는 세 막대와 세 광원을 사용하였고 자연공간 25 m 거리에서 주시물체는 세 펭귄(펭귄복장의 사람)으로 하였다. **결과:** 자연공간 25 m에서 측정한 입체시력(8.39±3.61초각)은 2.5 m 거리에서 측정한 세 막대검사 입체시력(38.28±45.81초각) 및 세 광원검사 입체시력(33.33±23.12초각)과 각각 유의한 차이($p<0.001$, $p<0.001$)를 보였다. 그리고 자연공간 25 m에서 측정한 입체시력과 2.5 m에서 막대검사와 광원검사로 측정한 입체시력과의 상관성은 모두 낮게 나타났다($r = 0.010$, $r = 0.174$). **결론:** 세 막대 입체시 검사기기의 2.5 m 거리 측정값은 자연공간에서의 입체시 능력을 정확히 반영하기 어려우며, 검사거리를 늘림으로써 이러한 단점을 보완할 수 있을 것이다.

주제어: 동적 입체시, 세 막대검사, 자연공간, 입체시력