

Changes of Dynamic Stereoacuity Depending on Distance between Rods and Rod Thickness in Three Rods Test

Kyung-Do Han, Min-Jae Lee, Sang-Yeob Kim, Byeong-Yeon Moon, Dong-Sik Yu, and Hyun Gug Cho*

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea
(Received July 29, 2016; Revised August 11, 2016; Accepted August 26, 2016)

Purpose: To determine whether the distance between objects and the size of object are factors to be able to affect dynamic stereoacuity. **Methods:** Subjects were 37 adults (26 males and 11 females) with an average age of 23.89 ± 1.76 . Refractive error was fully corrected for all subjects and each visual acuity of them was over 0.9. Three rods test was performed for measurement of stereoacuity. The viewing angles from left rod to right rod were set 5° , 10° , and 15° and the rod thickness used 7 mm, 14 mm, and 21 mm, respectively. Stereoacuity was repeatedly measured three times in each test condition at 2.5 m distance, and reported the average value of them. **Results:** When rod thickness was 7 mm or 14 mm, dynamic stereoacuity decreased as the viewing angle increased, and they were significantly decreased ($p < 0.01$) at viewing angles of 10° and 15° as compared with that of at 5° , respectively. When rod thickness was 21 mm, dynamic stereoacuity decreased as the viewing angle increased, especially, that of at 15° decreased significantly ($p < 0.01$) as compared with that of at 5° . The dynamic stereoacuity depending on the rod thickness have an increasing tendency as the rod thickness increased. **Conclusions:** The viewing angle between objects and the size of viewing object were factors that affect to dynamic stereoacuity.

Key words: Dynamic stereoacuity, Three rods test, Viewing angle, Rod thickness

서 론

시각계는 망막에 맺힌 광학적 상으로부터 주변 환경의 실상을 구성하게 된다. 이 과정은 다양한 거리와 깊이 신호를 이용하여 뇌에 의해 최적의 시각공간을 형성하게 된다. 이 때 인간의 깊이인식을 자극하는 신호들은 다양한데, 그 중 입체시는 두 눈이 수평으로 분리되어 있음으로써 생기는 망막편차를 인식하는 특수한 형태이다.^[1] 입체시가 깊이인식에 반드시 필요한 것은 아니지만, 손과 눈의 협응운동 등 정교한 시작업에 많은 영향을 준다고 알려져 있다.^[2]

입체시는 통상적으로 근거리 정적입체시를 말하지만 정적입체시만으로는 동적인 상황에서 발휘되는 입체시능력 전체를 충분히 표현할 수 없다. 따라서 원거리 정적입체시와 동적입체시를 따로 평가하기도 하는데 실제공간검사(real-space test)를 통해 동적입체시력을 검사할 수 있고,^[3] 시기능 평가에 이용하기도 한다.

입체시력은 굴절부등, 굴절부등의 교정에 의한 부등상,

조절의 불균형, 조도, 동공크기 등에 의해 영향을 받는다고 하지만,^[4] 주시물체간의 거리에 따른 입체시력 변화에 대한 언급은 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 세막대 입체시 검사장비를 이용하여 측정막대의 거리를 조정하여 입체시 시야각을 조정하고, 또 측정막대의 두께를 달리하여 주시물체의 크기를 변화시켰을 때 입체시력 변화를 분석하여 실제 환경에서 물체의 크기와 위치가 입체시력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구의 취지에 동의한 평균연령 23.89 ± 1.76 세의 37명(남26명, 여11명)을 대상으로 하였다. 피검사자들은 눈과 관련된 직·간접적인 질환이나 과거병력이 없고, 또 질환과 관련된 약물을 복용하고 있지 않았다. 그리고 피검사자들은 완전교정된 안경을 착용하였으며, 교정시력은 모두 0.9 이상이었다.

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

본 연구의 일부는 2016 한국안광학회 하계학술대회에서 포스터 발표되었음.

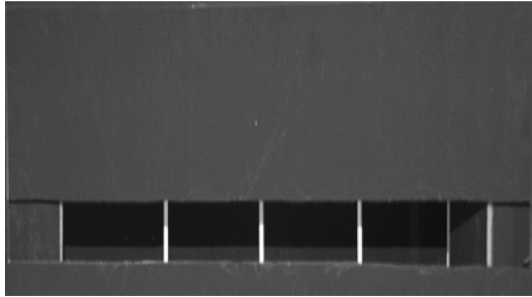


Fig. 1. Showing of three rods through the sight window.

2. 연구방법

시야각과 막대두께를 조정하기 위해 자체 제작한 세막대 입체시 검사도구를 사용하였다(Fig. 1). 이 도구는 양쪽 바깥의 막대는 고정되어 있으며, 가운데 막대는 피검사자가 조정하여 움직일 수 있도록 제작되어 있다. 측정은 피검사자로 하여금 중앙의 막대만을 앞뒤로 움직여 세막대가 수평으로 일직선상에 위치했다고 판단될 때 멈추도록 하였다. 측정값의 기록은 기준막대의 위치를 0으로 하여 기준점 앞·뒤 방향으로 눈금을 표시하였으며, 그 때의 값을 다음의 공식에 대입하여 초각으로 변환한 후 입체시력을 계산하였다. 공식에서 a는 동공간거리, d는 주시거리, 그리고 Δd는 깊이식별역치를 나타낸다.

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

검사는 장비로부터 눈까지의 거리를 일정하게 유지시키고, 머리가 좌우로 움직이거나 기울어지지 않게 하였다. 시야각의 경우 망막의 중심시력이 유지되는 주시범위와 Rawlings 등^[5]의 연구결과를 고려하여 피검사자로부터 좌우 막대의 시야각을 5°, 10°, 그리고 15°로 설정하였으며, 막대두께의 경우 검사거리에서 자각적으로 충분히 차이를 인지 할 수 있는 7 mm, 14 mm, 그리고 21 mm로 설정하였다. 각 조건에서의 입체시력은 세막대 장비로부터 2.5 m 거리에서 각각 3회 반복측정 후 평균값을 기록하였다.

3. 통계처리

결과의 분석은 SPSS for Windows (Ver 19.0)를 사용하여 독립표본 t-test와 반복측정 ANOVA (repeated measure ANOVA) 분석으로 시야각 변화와 막대두께 변화에 따른 동적 입체시능력을 비교하였다. 모든 분석은 p<0.05 일 때 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 시야각에 따른 동적입체시력의 변화

막대두께가 각각 7 mm, 14 mm, 21 mm일 때, 시야각에

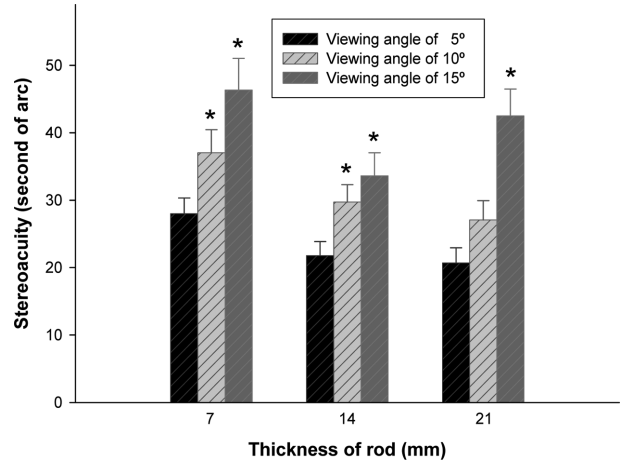


Fig. 2. Comparison of dynamic stereoacuity depending on viewing angles.

*p<0.01: significantly different compared with viewing angle of 5° by repeated measure ANOVA

따른 동적입체시력의 변화는 Fig. 2와 같다. 막대두께가 7 mm일 때, 피검사자의 양안시야, 즉 좌측 막대로부터 우측 막대까지의 시야각이 5°일 때 측정된 동적입체시력은 평균 28.00±2.31", 10°일 때 37.05±3.40", 그리고 15°일 때 46.34±4.69"로 측정되었다. 측정막대의 시야각이 커질수록 동적입체시력이 감소하였으며, 시야각 5°와 비교하여 10°와 15°에서 각각 유의하게 감소하였다(p<0.01). 막대두께가 14 mm일 때, 양안시야각 5°에서 측정된 동적입체시력은 평균 21.79±2.06", 10°에서 29.74±2.56", 그리고 15°에서 33.62±3.40"로 측정되었다. 측정막대의 시야각이 커질수록 동적입체시력이 감소하였으며, 시야각 5°와 비교하여 10°와 15°에서 각각 유의하게 감소하였다(p<0.01). 막대두께가 21 mm일 때, 양안시야각 5°에서 측정된 동적입체시력은 평균 20.69±2.25", 10°일 때 27.07±2.86", 그리고 15°일 때 42.51±3.97"로 측정되었다. 측정막대의 시야각이 커질수록 동적입체시력이 감소하였으며, 특히 시야각 5°와 비교하여 15°에서 유의하게 감소하였다(p<0.01).

Rawlings 등^[5]은 고정된 기준 주시점으로부터 수평방향으로 위치한 두 점들 사이의 시차구분역치에 대한 함수를 제시하면서 그 편위가 4~6° 증가할 때 까지는 입체시각 거의 같은 비율로 감소하다가 6° 이상부터 급격히 감소한다고 하였다. 즉, 수평방향으로 증가하는 두 점 사이의 거리는 시야각을 증가시키게 되고, 그에 따라 양안 시차의 역치가 증가되어 결국 입체시각이 감소하게 되는 것이다. 본 연구결과에서 측정막대의 시야각을 5°, 10°, 15°로 달리하였을 때, 모든 막대의 두께에서 시야각이 증가할수록 동적입체시력은 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 측정막대의 두께가 7 mm, 14 mm인 경우 시야각 5°일 때와 비교하여 10°, 15°일 때 입체시력이 유의하게 감소되는 것으로

나타났다. 또한 측정막대의 두께가 21 mm인 경우 시야각 15°일 때 입체시력이 5°일 때와 비교하여 유의하게 감소 되는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 실제 생활환경에 존재하는 물체를 인지할 때 상호위치에 따른 시야각이 동적입체시 기능에 큰 영향을 미친다는 것을 말해 주는 것이다.

2. 막대두께에 따른 동적입체시력의 변화

동일한 시야각에서 막대두께에 따른 동적입체시력의 변화는 Fig. 3과 같다. 피검사자의 양안시야각이 5°일 때 측정된 동적입체시력은 막대두께 7 mm, 14 mm, 그리고 21 mm에서 각각 평균 28.00±2.31", 21.79±2.06", 20.69±2.25"로 측정되었고, 10°일 때 37.05±3.40", 29.74±2.56", 27.07±2.86"로, 그리고 15°일 때 46.34±4.69", 33.62±3.40", 42.51±3.97"로 측정되었다. 막대두께에 따른 동적입체시력의 변화는 통계적으로 유의하지는 않았지만, 막대가 두꺼워질수록 입체시력이 향상되었다.

Hirsch 등¹⁶⁾은 측정막대장치의 크기는 입체시 역치에 영향을 주지 않지만 거리를 구분하는 검사에서는 자각적인

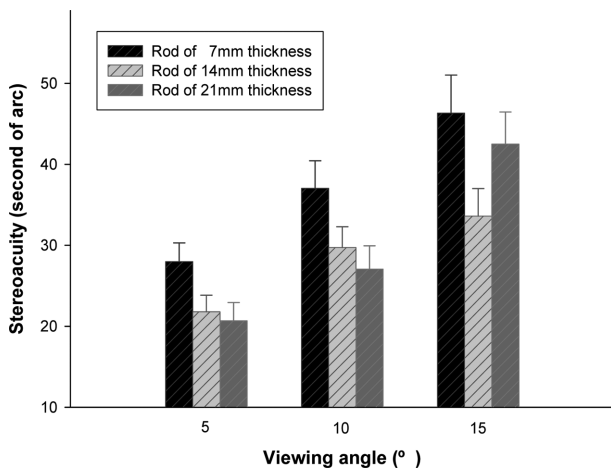


Fig. 3. Comparison of dynamic stereoacuity depending on rods thickness.

동일성의 위치에 큰 영향을 준다고 하였다. 즉, 막대두께가 커지면 더 가까운 것처럼 보이며, 두께가 줄어들면 더 멀리 있는 것처럼 보인다. 이것은 측정막대두께가 거리에 따른 상대적인 위치관계를 판단하는데 변화를 주었기 때문이다. 본 연구에서 측정막대의 두께가 각각 7 mm, 14 mm, 21 mm일 때, 각 조건에서 세막대의 시야각을 각각 5°, 10°, 15°로 설정한 결과, 막대의 두께가 증가할수록 동적입체시력이 향상되는 경향을 나타내어 상대적으로 큰 물체간의 위치관계 파악이 용이한 것으로 나타났다. 그러나 시야각 15°, 막대두께 21 mm에서 14 mm와 비교하여 입체시력이 감소된 것의 원인은 추론하기 어려웠는데, 추가적으로 측정막대 간의 거리와 막대두께의 상호 관계에 대한 분석이 필요한 것으로 판단되었다.

3. 성별에 따른 동적입체시력 변화 비교

성별에 따른 동적입체시력의 변화는 Table 1과 같다. 시야각 5°에서 7 mm 두께의 막대로 측정된 동적입체시력은 남성의 경우 28.38 ± 15.08", 여성의 경우 27.10 ± 11.83"였으며, 14 mm 두께일 때 남성 20.57 ± 13.36", 여성 24.67 ± 10.30", 21 mm 두께일 때 남성 19.08 ± 13.90", 여성 24.40 ± 13.04"로 측정되었다. 시야각 10°에서 7 mm 두께의 막대로 측정된 동적입체시력은 남성 33.37 ± 18.72", 여성 45.74 ± 23.15", 14 mm 두께일 때 남성 27.69 ± 14.12", 여성 34.58 ± 18.41", 그리고 21 mm 두께일 때 남성 26.47 ± 15.92", 여성 28.45 ± 21.21"로 측정되었다. 시야각 15°에서 7 mm 두께의 막대로 측정된 동적입체시력은 남성 45.48 ± 29.25", 여성 48.35 ± 27.91", 14 mm 두께일 때 남성 31.27 ± 18.74", 여성 39.17 ± 24.75"로 측정되었다. 특히 시야각 15°에서 21 mm 두께일 때 남성 36.46 ± 15.05", 여성 56.82 ± 34.87"로 측정되어 남성이 여성보다 동적입체시력이 유의하게 높은 것으로 나타났다(p<0.01).

Lim 등¹⁷⁾과 Shim 등¹⁸⁾에 의하면 동적입체시에서 성별에 따른 유의한 차이가 없다고 보고하였지만, 연구자마다 다

Table 1. Comparison of dynamic stereoacuity (") according to gender

Viewing angle (°)	Gender	N	Rod thickness (mm)					
			7	P-value	14	P-value	21	P-value
5	Male	26	28.38±15.08	0.51	20.57±13.36	0.11	19.08±13.90	0.93
	Female	11	27.10±11.83		24.67±10.30		24.40±13.04	
10	Male	26	33.37±18.72	0.30	27.69±14.12	0.21	26.47±15.92	0.47
	Female	11	45.74±23.15		34.58±18.41		28.45±21.21	
15	Male	26	45.48±29.25	0.98	31.27±18.74	0.76	36.46±15.05	0.00*
	Female	11	48.35±27.91		39.17±24.75		56.82±34.87	

Data are expressed as mean ±SD.

*p<0.01: significantly different between male and female by independent t-test

양한 결과를 보여주고 있다. 본 연구의 일부조건에서 남성이 여성보다 유의하게 높은 동적입체시를 보였고, 전체적인 경향 또한 남성이 여성보다 입체시력이 높게 나타났다. 다수의 연구에서도 남성이 여성보다 동적시력이 우수하다고 하였는데,^[9-11] 이는 발육과정과 성장과정에서 남성이 여성보다 스포츠 활동을 선호하고 더 자연스럽게 접할 수 있는 기회가 많음으로 인해 입체시력이 발달했을 것^[12]으로 추측되고 있다. 또한 Grosvenor^[13]는 동공중심간거리의 증가에 따라 깊이인지능력이 향상된다고 하였다. 이에 따라 해부학적으로 남성이 여성보다 더 큰 동공중심간거리를 가짐으로써 동적입체시력이 더 높게 측정되는 원인 중 하나로 사료된다.

본 연구의 결과는^[14] 이전의 연구들과는 달리 실제 생활 환경에서 접하는 다양한 입체시 주시조건을 반영한 것으로서, 이 결과들은 정상 입체시력값을 보여주는 것이 아니라 주시하는 물체의 시야각과 물체의 크기가 입체시력에 변화를 줄 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 따라서 입체감을 부각시키거나 공간지각을 필요로 하는 안전구조물, 표지판 등의 각종 공공조형물을 제작·설치할 때 이러한 점이 고려되어야 할 것이다.

결 론

세막대 입체시검사에서 측정막대의 시야각이 커질수록 입체시력은 유의하게 감소하고, 측정막대의 두께가 커질수록 입체시력은 증가하는 것으로 나타났다. 결국 동적입체시는 주시범위를 결정하는 물체 간의 거리나 주시물체의 크기에 따라 변화될 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 성별에 따른 입체시력은 남성이 여성보다 더 높은 것으로 나타났다.

REFERENCES

- [1] Benjamin WJ. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2006;147-149.
- [2] Wong BPH, Woods RL, Peli E. Stereoacuity at distance and near. *Optom Vis Sci.* 2002;79(12):771-778.
- [3] Benjamin WJ. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2006;921-957.
- [4] Lovasik JV, Szymkiw M. Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illumination, and pupillary size on stereopsis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1985;26(5): 741-750.
- [5] Rawlings SC, Shipley T. Stereoscopic acuity and horizontal angular distance from fixation. *J Opt Soc Am.* 1969; 59(8):991-993.
- [6] Hirsch MJ, Weymouth FW. Distance discrimination: I. Theoretic considerations. *Arch Ophthalmol.* 1948;39(2):210-223.
- [7] Lim KH, Hong HJ. Dynamic stereoacuity in normal individuals. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2000;41(11):2408-2414.
- [8] Shim HS, Kim SM, Kim SH, Kim YC. The comparasion of the dynamic stereoacuity with two-rods test and three-rods test. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(3):377-384.
- [9] Lee MA, Oh JM, Jeong JH. Dynamic visual acuity and dynamic stereoacuity of athletes and nonathletes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2009;14(3):43-49
- [10] Shim MS, Kim SH, Kang HS, Shim HS. The study of kinetic visual acuity in college students. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(4):419-424.
- [11] Shim HS, Kim SH, Kang HS. Changes in KVA resulting from correction condition of refractive error. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2013;18(2):165-171.
- [12] 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.
- [13] Grosvenor T. Primary Care Optometry, 5th Ed. Philadelphia: Butterworth-Heinemann, 2007;79.
- [14] Han KD. Effects of the difference in visual angle and contrast for three rod stereoacuity ability. MS Thesis. Kangwon National University, Samcheok. 2016;1-21.

세막대 검사에서 막대 간 거리와 막대두께 차이에 의한 동적입체시력의 변화

한경도, 이민재, 김상엽, 문병연, 유동식, 조현국*

강원대학교 안경광학과, 삼척 25949

투고일(2016년 7월 29일), 수정일(2016년 8월 11일), 게재확정일(2016년 8월 26일)

목적: 주시물체간의 거리와 물체의 크기 변화가 동적입체시력에 변화를 주는 요인인지 확인하고자 하였다. **방법:** 피검사자는 평균연령 23.89 ±1.76세의 37명(남26명, 여11명)이었다. 모든 피검사자는 완전교정된 안경을 착용하였으며, 교정시력은 0.9 이상이였다. 입체시력은 세막대검사를 실시하였고, 좌·우 막대간 시야각은 5°, 10°, 그리고 15°, 막대두께는 7 mm, 14 mm, 그리고 21 mm로 하여 각각의 조건을 설정하였다. 각 조건에서의 입체시력 측정은 2.5 m 거리에서 각각 3회 반복측정하여 평균값을 기록하였다. **결과:** 막대두께가 7 mm, 14 mm일 때, 시야각이 커질수록 동적입체시력이 감소하였으며, 시야각 5°와 비교하여 10°와 15°에서 각각 유의하게 감소하였다($p < 0.01$). 막대두께가 21 mm일 때, 시야각이 커질수록 동적입체시력이 감소하였으며, 특히 시야각 5°와 비교하여 15°에서 유의하게 감소하였다($p < 0.01$). 막대두께에 따른 동적입체시력은 막대가 두꺼워질수록 입체시력이 증가하는 경향이였다. **결론:** 주시물체간의 시야각과 주시물체의 크기는 동적입체시력에 영향을 주는 요인인 것으로 나타났다.

주제어: 동적입체시력, 세막대 검사, 시야각, 막대두께