

프리즘효과와 시력의 감소

이혜호 · 변영자 · 이종복*

= 요약 =

사시학의 영역에서 프리즘은 각편위의 특성을 이용하여, 여러 질환의 치료나 진단의 한 도구로 널리 사용되고 있다. 그러나 프리즘의 또다른 특성인 상의 왜곡이나 빛의 분산에 의해 시력이 떨어져 프리즘의 사용에 제약을 줄 수 있다.

저자들은 정시안(1군), 안경교정 후의 근시안(2군) 및 안경교정 후의 약시안(3군)과 나안의 근시안(4군) 및 나안의 약시안(5군)의 다섯 군, 각각 20인 40안을 대상으로 CR-39 재질의 프리즘을 이용하여 프리즘디옵터의 증가에 따른 시력과 최소시각의 변화를 20피트 방식의 시표로 측정하였다.

다섯 군 모두에서 프리즘디옵터와 최소시각과의 관계는 선형의 높은 상관관계를 가졌는데 ($p < 0.01$), 상관계수는 1군 0.8972, 2군 0.8733, 3군 0.8909, 4군 0.9096, 5군 0.8928이었다. 또한 다섯 군 모두에서 프리즘디옵터가 증가하면 최소시각도 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$). 프리즘디옵터의 증가에 따른 최소시각의 증가량이 각 군간에 유의한 차이는 없었다 ($p < 0.05$). 결론적으로 진단 및 치료목적으로 프리즘을 사용할 때는 언제나, 동반되는 시력감소를 고려하여야 한다(한안지 36:909~914, 1995).

= Abstract =

Prismatic Effect and Visual Acuity Degradation

Hye Ho Lee, M.D., Young Ja Byun, M.D., Jong Bok Lee, M.D.*

Prisms have been used as tools with which to treat and diagnose many diseases in strabismology. But, because of prismatic distortion and dispersion, the visual acuities are declined. The purpose of this study is to show the relationship between prismatic effect and visual acuity degradation.

〈접수일 : 1994년 11월 13일, 심사통과일 : 1995년 3월 30일〉

서울 위생병원 안과학교실
Department of Ophthalmology, Seoul Adventist Hospital, Seoul, Korea

*연세대학교 의과대학 안과학교실

*Department of Ophthalmology, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

Visual acuities were measured through a series of prisms of CR-39 to quantify the blur induced by prism.

The mean visual acuities of myopias and amblyopias(with or without correction), and emmetropias were reduced as prism diopters were increased. The declines were linear. There was no significant difference among the declines of visual acuities of each group.

Whenever to prescribe prisms and to test with prisms, we should remind that prisms could reduce visual acuities(J Korean Ophthalmol Soc 36:909~914, 1995).

Key Words : CR-39, Dispersion, Distortion, Prism.

사시학에 있어 프리즘의 사용은 광범위한데 이러한 적용은 프리즘의 각편위의 특성을 이용한 것이다. 하지만 프리즘은 또다른 여러 광학적 특성에 의해 사용상의 제약, 즉 시력이 떨어질 수 있는데 이것은 프리즘을 통과한 상의 왜곡과 분산에 의해 상이 흐려지는 것이 그 원인이다¹⁾. 임상적으로 사시의 편위각을 측정하기 위한 프리즘가림검사에서 원거리 주시를 할 때 6/9 또는 20/30의 시표를 사용하는데, 시력이 정상인 환자에서도 편위각이 커서 높은 프리즘디옵터를 대어 검사를 하게되면 시표가 흐리게 보여 시력이 떨어지고 주시를 잘 못하는 경우가 있다. 이러한 현상은 프리즘으로 야기되는 시표의 찌그러짐이나, 시표윤곽이 흐려져 발생하는 것으로써, 프리즘의 디옵터가 커지면 더욱 심해진다.

이렇게 프리즘을 사용할 때 시력저하가 일어나고 있음을 경험적으로 잘 알고 있으나 그러한 프리즘 효과로 인한 시력저하가 어느 정도인지에 대한 정량적 검토가 국내에 보고된 예가 없어, 저자들은 실험을 통해 정시안, 근시안 및 약시안을 가진 사람에게서 프리즘 효과로 인해 야기되는 시력저하와 프리즘 디옵터의 관계를 정량적으로 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

안질환이 없으며 주시가 가능한 35세 미만의 건강한 지원자로, 나안시력이 20/15인 정시안, -2.00 디옵터 구면화값(spherical equivalent) 이하의 교정시력이 20/20인 근시안과 ± 3.00 디옵터 구면화값 이하의 굴절약시안으로, 정시안(1군), 안경으로 굴절이상을 교정한 후의 근시안(2군) 및 안경교정

후의 굴절약시안(3군)과 나안의 근시안(4군) 및 나안의 굴절약시안(5군) 각각 20명 40안으로 나누어 시행하였다. 성별 및 연령분포는 각 군 모두 남녀 같이 10명씩이며 평균연령은 정시안, 근시안 및 약시안군이 각각 24.7 \pm 3.6세, 23.3 \pm 3.2세, 15.0 \pm 4.4(mean \pm SD)세 이었다.

본 실험에서 사용한 시표는 일반적으로 시력검사에 사용되는 스넬렌 'E' 시표와 유사하나, 각 단계별 시표간의 글씨 크기의 차가 1/4분각이며 20 feet 법으로는 5 feet에 해당하는 균등한 구간을 갖는 시표로 20/15부터 20/200까지 만들어 사용하였다. 실험장소의 조명은 175lux에서 200lux로 맞추었다. 피검자는 시표를 정면으로 보고 앉은 자세에서 6m 거리에 위치한 시표를 읽게하였다. CR-39를 재료로 하여 제작된 Nikon사 프리즘을 이용하였으며 그 프리즘의 후면이 피검자의 안구전두면에 평행하게 위치하고 실험하였다. 프리즘을 안구전면에 위치할 때 안경프레임이나 프리즘홀더를 이용하지 않고 손으로 고정시킬 때 부주의하면, 표시된 프리즘디옵터와 실제 일어나는 프리즘디옵터간에 많은 차이가 날 수 있으므로^{2,3)} 주의하여야 한다. 프리즘의 첨저경선(apex-base meridian)을 우안의 경우 안경프레임의 135도, 좌안의 경우 45도에 해당하는 경사로 두어 상하 좌우로 된 시표에 똑같이 영향을 받게 하였다. 5 Δ 부터 50 Δ 까지 각 프리즘디옵터를 무작위로 선택하여 각 시력에 해당하는 4개의 시표를 읽게 하였으며 각 구간마다의 시표 4개중 3개 이상을 읽을 수 있는 최소시각 및 최대시력을 찾아 해당 프리즘디옵터의 최소시각 및 시력으로 정하였다. 근시안과 약시안군은 우선 나안으로 검사후 안경으로 교정

하여 검사를 진행하였다. 환자가 검사중 안정피로를 느끼면서 주시를 잘 못할 때는 5분간 휴식 후 실시하여 주시를 잘 할 때에만 검사를 진행하였다.

결 과

착용하는 프리즘의 디옵터가 늘어나면, 최소시각은 다섯 군 모두에서 유의있게 증가하였다. 정시안에서 프리즘디옵터가 증가할수록 시력은 감소하고 최소시각은 증가하였다(Table 1).

프리즘을 대지 않았을 때의 평균시력은 20/15로 최소시각은 0.75분각이었다. 50△을 대었을 경우 평균시력은 20/43며 최소시각은 2.13분각 이었다. 즉, 50△을 대었을 경우 본래의 최소시각에서 1.38분각의 증가가 일어나는데 5 feet 간격의 시표에서 다섯줄 이상의 시력감소가 일어났다. 나머지 네 군에 있어서도 프리즘디옵터가 증가하면 시력은 감소하고 최소시각은 증가한다(Table 2, 3, 4, 5). 프리즘디옵터와 최소시각의 증가량은 모든 군에서 선형의 높은 상관관계를 가지는데, 상관계수는 1군 0.8972, 2군 0.8733, 3군 0.8909, 4군 0.9096, 5군 0.8928이었다(이상 모두 $p < 0.01$) (Fig. 1).

실험에서 5△의 프리즘디옵터가 증가하면 그에 상응하는 최소시각의 증가량이 통계학적으로 유의한지 알아보기 위해 단일분산분석과 Duncan procedure를 시행하였다. 1군에서 0△과 5△, 15△과 20△, 2군과 4군에서는 0△과 5△, 5군에서는 0△과 5△, 40△과 45△사이 이외의 프리즘디옵터와 3

군의 모든 프리즘디옵터의 증가에 대해 최소시각이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

프리즘디옵터의 증가에 따라 각 군간에 최소시각의 증가량에 차이가 있는지 알아보기 위해 단일분산분석과 Duncan procedure를 시행하였다. 프리즘디옵터가 증가하면 각 군에서 모두 최소시각의 증가

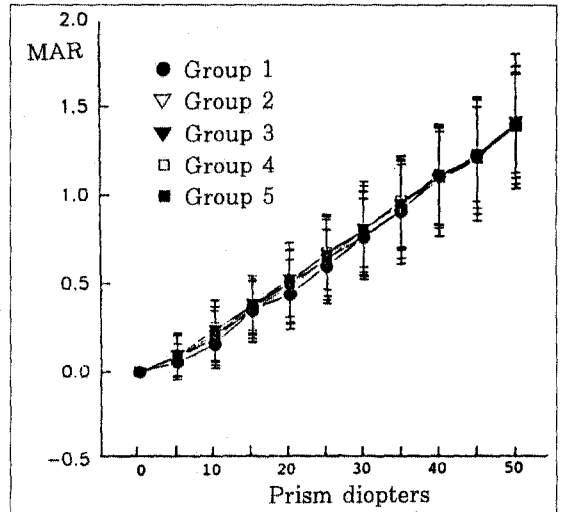


Fig. 1. Increments in minimum angle of resolution induced by prismatic effect are all linear.

- Group 1(Emmetropias) : $r=0.8972(p < 0.01)$
- Group 2(Myopias with correction) : $r=0.8733(p < 0.01)$
- Group 3(Amblyopias with correction) : $r=0.8909(p < 0.01)$
- Group 4(Myopias without correction) : $r=0.9096(p < 0.01)$
- Group 3(Amblyopias without correction) : $r=0.8928(p < 0.01)$
- MAR : increments in minimum angle of resolution

Table 1. Changes of minimum angle of resolution and visual acuities of emmetropias induced by prismatic effect($p < 0.05$)

	Prism diopters(△)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MAR*	.75	.81	.91	1.10	1.19	1.34	1.51	1.65	1.85	1.96	2.13
VA [†]	20/15	20/16	20/18	20/22	20/24	20/27	20/30	20/33	20/37	20/39	20/43
ΔMAR*		.06	.16	.35	.44	.59	.76	.90	1.10	1.21	1.38
SD [‡]	0	.11	.12	.16	.19	.21	.22	.26	.33	.33	.34

* : mean minimum angle of resolution(minutes of arc)
 † : visual acuities(20 feet method)
 ‡ : increments of minimum angle of resolution
 § : standard deviation

Table 2. Changes of minimum angle of resolution and visual acuities of myopias with correction induced by prismatic effect ($p < 0.05$)

	prism diopters(Δ)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MAR *	1.00	1.09	1.21	1.35	1.48	1.63	1.76	1.90	2.08	2.19	2.40
VA [†]	20/20	20/22	20/24	20/27	20/30	20/33	20/35	20/38	20/42	20/44	20/48
Δ MAR		.09	.21	.35	.48	.63	.76	.90	1.08	1.19	1.40
SD	0	.12	.16	.17	.20	.23	.25	.30	.32	.34	.38

* : mean minimum angle of resolution (minutes of arc)

† : visual acuities (20 feet method)

* : increments of minimum angle of resolution

† : standard deviation

Table 3. In amblyopias with correction, increments in minimum angle of resolution induced by prismatic effect ($p < 0.05$)

	prism diopters(Δ)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MAR *	.10	.24	.38	.52	.66	.80	.94	1.10	1.20	1.39
SD [†]	.12	.17	.16	.21	.23	.24	.24	.28	.32	.31

* : increments of minimum angle of resolution (minutes of arc)

† : standard deviation

Table 4. In myopias without correction, increments in minimum angle of resolution induced by prismatic effect ($p < 0.05$)

	prism diopters(Δ)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MAR *	.09	.19	.36	.50	.67	.80	.96	1.09	1.22	1.39
SD [†]	.12	.16	.15	.19	.21	.21	.26	.26	.27	.28

* : increments of minimum angle of resolution (minutes of arc)

† : standard deviation

Table 5. In amblyopias without correction, increments in minimum angle of resolution induced by prismatic effect ($p < 0.05$)

	prism diopters(Δ)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MAR *	.09	.21	.38	.50	.63	.80	.94	1.10	1.20	1.38
SD [†]	.12	.19	.14	.23	.25	.27	.25	.28	.29	.29

* : increments of minimum angle of resolution (minutes of arc)

† : standard deviation

가 일어나는데 모든 프리즘디옵터에 있어 그 최소시각의 증가량에 유의한 차이가 없었다($p < 0.05$).

이상의 모든 통계처리는 SPSS/PC+ 4.0을 이용하였다.

고 찰

검사나 치료를 위해 착용한 프리즘이 시력을 감소시킬 수 있다. 이러한 프리즘에 의한 시력감소는 프리즘효과에 의한 상의 왜곡과 빛의 분산때문에 일어난다. 프리즘은 주어진 양만큼 상(像)을 침부로 옮겨놓지만 동시에 프리즘을 통과한 상의 왜곡이 동반된다. 이는 주어진 대상물의 위치에 따라 안구로 향하는 입사광의 방향값이 정해지고, 프리즘 통과시 경로마다 다른 편위각효과를 나타냄으로써 야기된다. Ogle⁴⁾은 이러한 상의 왜곡을 3가지 요소, 즉, 프리즘의 침저전선방향의 상이 침부로 갈수록 상대적으로 더 커지는 비균등각확대, 프리즘의 저부와 평행방향의 상의 만곡과 비균등 각확대로 설명하였고, 이러한 상의 왜곡에 영향을 주는 인자로는 프리즘렌즈의 기본만곡도, 정점간 거리, 프리즘디옵터, 프리즘의 두께, 재질의 굴절력, 그리고 안구전면에 위치하였을 때의 방향성을 들었으며, 아울러 프리즘의 전후면이 편평한 프리즘에 있어서는 정점간 거리에는 영향을 받지 않는다고 했다. Brunnett등⁵⁾은 프레넬프리즘을 이용하여 프리즘의 두께를 감소시키고 식적인 프리즘과 비교 실험하였는 바, 상의 왜곡에는 프리즘의 두께보다 프리즘의 안구전면에 위치하는 방법과 입사광의 각이 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 또한 프리즘으로 인한 상의 왜곡을 줄이기 위해 여러 실험이 이루어졌는데 프리즘렌즈의 기본만곡도를 +sph 9.00로 하여야 프리즘으로 인해 야기되는 상의 왜곡을 최소화할 수 있다고 보고하였다⁴⁾. 따라서 안구전면에서 프리즘의 위치가 일정하고, 동일재질의 전후면이 편평한 프리즘을 통과한 상의 왜곡은 프리즘의 디옵터에만 영향을 받게된다. 본 실험에서도 프리즘디옵터만이 시력에 영향을 끼치게 하기위해 편평프리즘을 사용하였으며, 플라스틱 프리즘은 그 프리즘디옵터가 최소편위위치(position of minimum deviation)을 기준으로 제작되지만 임상적으로 프리즘을 그러한 위치로 유지하기

곤란하며, 전두면위치(frontal plane position)과 2Δ 이상 차이가 나지 않으므로³⁾ 전두면위치 즉 프리즘의 후면이 안구전면에 평행하게 두고 검사를 하였다. 이때 프리즘의 위치를 일정하게 유지시키기 위해 주의할 기울어야 하는데, 그렇지 않을 때 플라스틱 재질의 편평 프리즘에서 표시된 프리즘의 양과 실제 검사시의 프리즘디옵터간에 많은 차이가 날 수 있다.

어떤 재질의 분산의 양은 평균분산계수(coefficient of mean dispersion, nu value, v, or Abbe number)를 구함으로서 알 수 있는데, 다음과 같은 공식으로 계산된다⁷⁾. $v = (n_e - 1) / (nF' - nC')$ (n_e ; mercury green(546.1nm)의 굴절률, nF' ; cadmium blue(480.0nm)의 굴절률, nC' ; cadmium red(643.8nm)의 굴절률). 동일 매질내에서의 단파장의 굴절률이 장파장의 굴절률보다 더 큰데, 이들 굴절률의 차가 클수록 분모치가 더 커지고 nu value는 작아진다. 즉 nu value가 작을수록 분산이 더 잘 일어난다. 한편 chromatic power는 다음과 같은 공식으로 정해진다. $CP = PD / v$ (CP ; chromatic power, PD ; prism power, v ; nu value). 여기서 nu value는 상수이므로 chromatic power는 프리즘디옵터에만 영향을 받는다. 즉, 프리즘디옵터가 증가하면 비례하여 chromatic power가 증가하여 상의 윤곽을 흐리게 하고 시력이 떨어진다.

현재 국내에서 많이 사용되는 프리즘렌즈의 재질은 CR-39로 굴절률 1.498, 분산가(nu value) 58, 비중(specific gravity) 1.31이며 투과율(transmittance) 92%의 광학적 특성을 가진, 여러가지 렌즈 재질들중의 하나이다⁸⁾. 또한 CR-39는 현재 국내에서 가장 많이 사용되는 안경 렌즈의 재질이기도 하다. CR-39와 crown glass의 nu value가 58로 동일하므로 같은 프리즘에서의 chromatic power는 동일하다. 최근 미국에서 사용이 증가하고 있는 polycarbonate의 경우 가볍고 충격에 강하다는 잇점이 있지만 nu value가 30으로 같은 양의 프리즘 디옵터의 프리즘효과는 CR-39나 crown glass에 비해 chromatic power가 2배나 많아 시력감소가 더 많이 일어난다⁹⁾.

본 실험에서는 프리즘효과로 생기는 상의 왜곡과

빛의 분산이 미치는 시력감소효과에 대해 정량적으로 알아보았다. 프리즘디옵터가 증가하면 시력이 감소하고 최소시각이 증가하는데, 이들 변수 즉 프리즘디옵터와 시력의 감소, 프리즘디옵터와 최소시각의 증가는 선형관계를 가진다. 정시안에서 프리즘디옵터와 평균최소시각과의 관계에서 구한 회귀함수는 (최소시각) = $0.67 + 0.03 \times (\text{프리즘 도수})$ 이다. 이 식의 의미는 나안의 최소시각이 0.75분각인 정시안의 안구 전면에서 30△를 대었을 경우 계산에 의하면 최소시각이 1.57분각이 되어 이 이상의 프리즘디옵터에서는 20/30시표를 분간해 낼 수 없어 주시하는데 장애를 줄 수 있다는 의미이다. 모든 군에서 프리즘디옵터가 증가하면 최소시각도 증가하며 두 변수간에 높은 상관관계를 보였고, 상관계수는 1군이 0.8972, 2군이 0.8733, 3군이 0.8909, 4군이 0.9096, 5군이 0.8928이었다(이상 모두, $p < 0.01$). 각 군내에서 프리즘디옵터와 최소시각의 증가량에 단일분산분석과 Duncan procedure를 시행하면 1군에서 0△과 5△, 15△과 20△, 2군과 4군에서는 0△과 5△, 5군에서는 0과 5, 40과 45 사이 이외의 프리즘디옵터와 3군의 모든 프리즘디옵터의 증가에 대해 최소시각이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

한편 각 프리즘디옵터에서 최소시각 증가량이 각 군간에 차이가 있는지 알아보기 위해 단일분산분석과 Duncan procedure를 사용하여 분석하였다. 각 프리즘디옵터의 증가에 따른 최소시각 증가량이 모든 비교군간에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p < 0.05$). 본 실험에서는 -2.00 디옵터 구면화값 이하의 근시와 ± 3.00 디옵터 구면화값 이하의 굴절약시를 대상으로 실험을 하여 안경으로 인한 프리즘효과가 미미하였을 것으로 생각된다.

결론적으로 프리즘을 사용하면 그 특성상 상의 왜곡과 빛의 분산에 의한 시력의 감소가 동반되는데, 이러한 프리즘효과로 인한 시력의 감소는 정시안, 근시안 및 굴절약시안에서 유의한 차이가 없으며,

근시안과 굴절약시안에 있어 교정의 유무와도 관계가 없었다. 따라서 진단 혹은 치료 목적으로 프리즘을 사용할 때에는 항상 동반되는 시력감소를 유념하여야 하며 환자에게도 잘 주지 시켜야 한다.

REFERENCES

- 1) Kuether CL : *Geometric Optics : Tasman W, ed. Clinical Duane's Ophthalmology, revised ed, Philadelphia, J.B. Lippincott Company, 1991, pp. 22-25, 59-63.*
- 2) Hardy LH : *Clinical Use of Ophthalmic Prisms (Metric). Arch Ophthalmol 34:16-23, 1945.*
- 3) Thompson JT, Guyton DL : *Ophthalmic Prisms, Measurement Errors and How to Minimize Them. Ophthalmology 90:204-210, 1983.*
- 4) Ogle KN : *Distortion of the Image by Ophthalmic Prisms. Arch Ophthalmol 47:121-131, 1952.*
- 5) Brunnett SM, Munson MT, Kirschen DG : *Fresnel vs. Conventional Prisms ; Their Effects on the Apparent Fronto-parallel Plane Horopter. Am J Optom Physiol Opt 65 (7): 519-526, 1988.*
- 6) Miles PW : *Eliminating Distortion due to Prisms in Glasses. Am J Ophthalmol 34:87-93, 1951.*
- 7) Meslin D, Obrecht G : *Effect of Chromatic Dispersion of a Lens on Visual Acuity. Am J Optom Physiol Opt 65:25-28, 1988.*
- 8) Davis JK : *A Polycarbonate Ophthalmic-Prescription Lens Series. Am J Optom Physiol Opt 55(8):543-552, 1978.*
- 9) Hampton LD, Roth N, et al. : *Visual Acuity Degradation Resulting from Dispersion in Polycarbonate. J Am Optom Assoc 62:760-765, 1991.*