

유발된 광학적 흐림이 시력과 대비감도에 미치는 영향

김창진, 최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 302-718

투고일(2014년 05월 12일), 수정일(2014년 06월 5일), 게재확정일(2014년 6월 18일)

목적: 인위적으로 유발된 광학적 흐림이 원거리 시력과 대비감도에 미치는 영향을 Optec® 6500으로 측정하여 알아보았다. **방법:** 평균연령 22.90±1.92세의 대학생 31명(남자 16명, 여자 15명)을 대상으로 선정하였다. 타각적, 자각적 굴절검사를 실시하여 완전교정값을 구하였고, 광학적 흐림은 S0.00 D~S+3.00 D(+0.50 D step)까지 시뮬렌즈를 시험테에 장입하여 검사하였다. 원거리 시력과 대비감도는 Optec® 6500을 이용하여 측정하였고, 검사환경은 명소시 조건하에서 양안으로 측정하였다. **결과:** 원거리 시력은 광학적 흐림의 양이 증가하면 감소되었고, 시력의 감소율(decrease rate)은 점점 작아졌다. 대비감도는 광학적 흐림의 양이 증가하면 모든 공간주파수의 대비감도가 감소되었고, 정점대비감도는 중간 공간주파수(6 cpd)에서 낮은 공간주파수(1.5 cpd)로 이동하는 현상을 보였다. 또한 시력은 최고시력에서 약 0.77까지 구간에서만 정상적인 대비감도의 정점인 6 cpd의 공간주파수에서 정점을 나타내었다. **결론:** 적은 양의 굴절이상을 교정하지 않거나 부적절한 굴절교정상태이면, 적은 양이라 할지라도 대비감도가 저하되고 비정상적으로 정점대비감도가 이동하여 일상생활에 시각적 불편함을 야기할 수도 있으므로 항상 주기적인 시력검사와 신중한 안경처방값을 결정하여야 된다고 사료된다.

주제어: 광학적 흐림, 대비감도, 정점대비감도, 굴절이상, Optec® 6500

서 론

Kepler에 의해 망막 상(retinal image)이 발견된 이후, 많은 연구자들은 망막 상의 공간 매개변수(spatial parameter)가 어떻게 부호화 되고 인식되는지에 대하여 연구하였다. Campbell 등^[1] 과 Blakemore 등^[2] 은 현재 통용되는 시각 처리과정(visual processing)에 대한 모델을 제시하였는데, 여기서 수많은 대비감도 피질 기전(contrast sensitivity cortical mechanism)으로 구성된 망막 상을 푸리에(Fourier) 분석으로 처리된 공간주파수에 따라 망막 상을 부호화 하였다. 이후 이러한 기전은 사인곡선으로 구성된 격자시표의 휘도를 바꿔 시각적 능력을 측정하기 위해 만들어진 대비감도함수(contrast sensitivity function, CSF)로 발달되었다.

대비감도함수는 시각 시스템^[1,3,4]과 다양한 질환 상태^[5-8]에 따른 시각적 영향을 이해하기 위한 중요한 요소로 알려져 있다. 대비감도는 공간주파수와 대비변화를 이용하여 시각적 능력을 측정하는 것으로, 일반 시력표를 이용한 시력측정보다 다양한 환경에서 시각적 능력을 평가할 수 있어 일상생활에 대한 더 많은 시기능 정보를 제공해 준

다.^[9-11] 대비감도는 시표의 크기와 밝기 등의 광범위한 영역에 대한 시기능을 나타내므로,^[12] 일반적인 시력검사로 는 밝혀내지 못하는 시각적 능력의 차이를 밝혀내는 데에도 아주 유용하게 이용되고 있다.^[13,14] 그 예로 임상에서 대비감도는 백내장수술 및 인공수정체의 선택,^[15-20] 굴절 교정수술 후^[21-23] 등 시력으로만 판별하지 못하는 시각 능력의 질적인 측정의 기준으로 유용하게 사용되고 있다.

대비감도검사는 문자를 이용한 검사보다 약 3~5배 정도 더 민감하고 넓은 망막의 기능을 나타낼 수 있어 일반적인 시력검사로 는 나타나지 않는 안매체(ocular media)에서 망막과 시중추까지 시조직을 침범하는 거의 모든 작은 변화라도 감지해낼 수 있다.^[24,25] 그러므로 대비감도 검사는 실제로 물체를 식별할 수 있는 능력을 측정하는 방법으로 일반적인 시력검사보다 실질적이고 완전한 검사방법으로 임상적인 측면에서 다양하게 응용되고 있다.^[10]

망막 상의 질에 따른 시각적 능력을 평가하기 위해 인위적인 흐림을 유발하기도 하는데, 흐림을 만들기 위해서는 광학적 흐림(dioptic blur), 확산적 흐림(diffusive blur), 망막 편심(retinal eccentricity)과 같은 방법을 이용하여 흐림을 유발시켜 평가한다.^[26] 광학적 흐림은 임상적으로 미

*Corresponding author: Eun Jung Choi, TEL: +82-42-600-6331, E-mail: ejchoi@konyang.ac.kr

교정된 굴절이상이나 부적절한 굴절교정상태가 시각 능력에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위해 구면굴절력을 인위적으로 가입하여 흐림을 유발하는 것을 의미하는데, 이러한 인위적으로 유발된 광학적 흐림은 시력과 대비감도를 감소시키는 결과를 나타낸다.^[26-28]

본 논문은 인위적으로 유발된 광학적 흐림이 시력과 대비감도에 미치는 영향을 알아보아 임상적으로 적절한 안경처방을 위한 도움이 되고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상자 선정

본 연구의 취지에 동의하며 전신질환이나 안질환이 없고, 굴절이상 수술 및 기타 안과관련 수술경험이 없는 평균 연령 22.90±1.92세의 대학생 31명(남자 16명, 여자 15명)을 대상자로 선정하였다. 특히 대비인지(contrast perception)에 영향을 미치는 건성안, 녹내장, 망막 병리적 문제 등이 없는 대상자로 신중히 선별하였다. 대상자의 단안교정시력은 0.9 이상, 양안교정시력은 1.0 이상이었으며, 원용 교정굴절력은 구면굴절력 S0.00 D~S-6.00 D, 원주굴절력 C-2.00 D 이내이며, 양안의 굴절력 차이는 구면굴절력 2.00 D 이내의 대상자로 선정하였다.

2. 방법

1) 굴절이상의 교정

굴절이상의 교정은 조절마비제를 사용하지 않고 자동굴절력계(Natural vision-k 5001, Shinnipon, Japan)와 검영기를 이용하여 타각적 굴절검사를 한 후, 포롭터를 이용한 자각적 굴절검사를 통해 굴절이상의 완전교정값(full correction)을 구하였다. 광학적 흐림을 단계별로 유발시키기 위해서는 굴절이상의 완전교정값을 장용한 상태에서

플러스 구면굴절력을 가입시켜야 하므로 시험테(trial frame)와 시험렌즈(trial lens)를 검사에 이용하여야 한다. 따라서 포롭터를 이용하여 완전교정값을 구한 후, 시험테와 시험렌즈로 완전교정값을 장용하여 시력상으로 변동이 없는지 최종적으로 재확인하였다.

2) 광학적 흐림 유발

광학적 흐림을 단계별로 유발시키기 위해 양안의 완전교정값을 시험테에 시험렌즈로 장입하고, 광학적 흐림은 S0.00 D~S+3.00 D(+0.50 D step)까지의 시험렌즈를 추가로 시험테에 장입하여 검사하였다.

3) Optec® 6500

Optec® 6500(Stereo Optical Co., Inc., Chicago, Illinois, USA)을 이용하여 시력과 대비감도를 측정하였는데, 검사기기에 다양한 시표를 내장시킬 수 있어 여러 가지 환경을 통제하면서 다양한 검사를 할 수 있다. 이 장비로 시력, 대비감도, 입체시, 눈부심 장애뿐만 아니라 사위, 근육 균형과 색지각 등을 측정할 수 있다. 검사거리를 원, 근거리와 눈의 상태를 양안, 단안으로 분리하여 각각 검사할 수 있어 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라 외부와 차단된 기구 내부를 들여다보면서 검사를 시행하고 미세 프로세스조절 장치로 기구 내 밝기가 일정하게 유지되도록 하므로 항상 동일한 조건에서 검사를 시행할 수 있는 장점이 있다.

이미 Optec® 6500은 구면 및 비구면 인공수정체, 다초점 인공수정체, 연령과 눈부심 등 다양한 경우에서 대비감도 검사목적으로 사용되고 있다(Fig. 1).^[16,17,29-31]

(1) 교정시력

Optec® 6500으로 측정한 원거리 시력은 내장되어 있는 원거리 시력표(No. 2000-042, stereo optical)를 이용하여

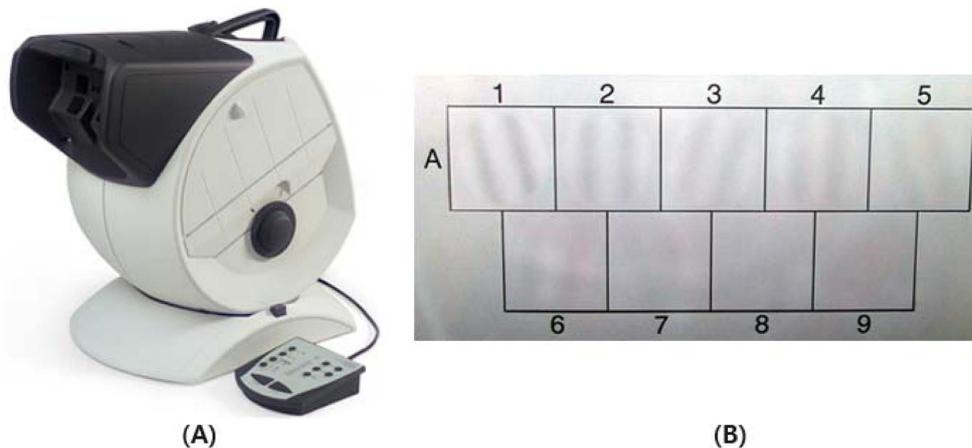


Fig. 1. (A) Photography of Optec® 6500, (B) Functional acuity contrast test (FACT) slide of Optec® 6500(A slide, 1.5 cpd).

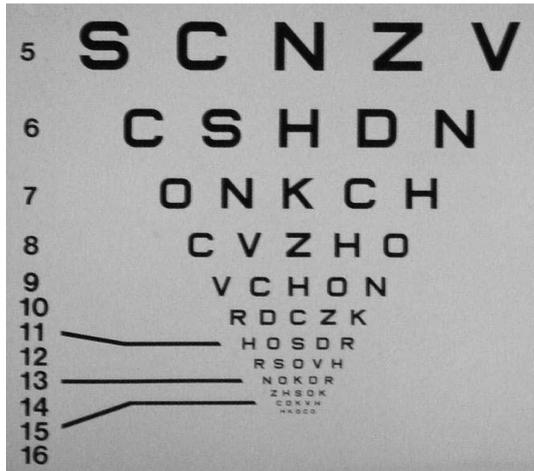


Fig. 2. Distance visual acuity slide (No. 2000-042).

측정하였다(Fig. 2, Table 1).

(2) 대비감도

Optec® 6500의 대비감도 시표는 Functional Acuity Contrast Test(FACT)를 이용한 것이다.^[32,33] 이 시표는 사인파 격자(sine-wave grating)를 이용하여 대비감도를 검사하는데, 공간주파수는 총 5가지 1.5, 3, 6, 12 및 18 cpd(cycle per degree)이고,^[34] 일반적인 FACT시표와는 달리 각각의 공간주파수 별로 따로 9개의 원형패치(직경: 1.7°)가 2줄로 배열되어 있다(위:5개 패치, 아래: 4개 패치)(Fig. 1(B)). 각각의 패치는 수직 방향 또는 좌, 우로 15°씩 기울어진 총 3가지 형태의 방향으로 구성되어 있으며 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 대비가 0.15 log 단위로 일정하게 감소하고, A 시표에서 E 시표로 갈수록 공간주파수가 높아지게 구성되어 있다. 검사환경은 명소시(photopic condition, 85 cd/m²) 조건하에서 양안으로 원거리 대비감도를 측정하였다.

검사 순서는 항상 낮은 공간주파수부터 시작하였고, 시표의 방향을 암기하는 것을 최소화하기 위해 시표의 낮은 대비부터 높은 대비 순으로 보여주었다.^[14] 패치의 기울어진 3가지 방향을 순서대로 응답하게 하고 만약, 첫 번째로 틀린 응답이 나오게 되면 3교대 강제 선택법(three-alternative forced-choice method)을 멈추고 최종적으로 맞은 패치의 대비감도 수치를 기록하였다.^[29] 만약 피검자가 가장 낮은 대비를 보지 못할 경우 대비감도가 과대평가되는 것을 피하기 위해 대상자에서 제외시켰다.^[35]

검사는 모든 대상자들에게 동일한 문답을 사용하여 한 명의 검사자가 실행하였고, 광학적 흐림을 단계별로 유발시켜 위의 대비감도 측정과정을 동일하게 실시하였다.

3. 자료 분석

자료 분석을 위해 SPSS(Version 21.0)를 이용하여 빈도

Table 1. Distance visual acuity conversion table (No. 2000-042)

Acuity number	Distance visual acuity	
	Snellen fraction	Decimal
5	20/160	0.125
6	20/125	0.160
7	20/100	0.200
8	20/80	0.250
9	20/63	0.317
10	20/50	0.400
11	20/40	0.500
12	20/32	0.625
13	20/25	0.800
14	20/20	1.000
15	20/16	1.250
16	20/12.5	1.600

분석과 기술통계를 실시하였고, 회귀곡선(regression curve)은 최소자승법(least square method)을 이용하여 산출하였다.

결 과

본 논문의 결과에 적용된 대상자는 평균연령 22.90 ± 1.92세의 대학생 31명(남자 16명, 여자 15명)이며, 굴절이상의 완전교정의 등가구면값은 우안이 -2.94 ± 2.48 D, 좌안이 -3.18 ± 2.52 D이었다(Table 2).

1. 광학적 흐림에 따른 원거리 시력의 변화

광학적 흐림을 S0.00 D~S+3.00 D(+0.50 D step)까지 단계별로 유발시키면서 Optec® 6500에 내장되어있는 원거리 시력표를 이용하여 원거리 시력을 측정하였다. 광학적 흐림을 유발시키지 않은 상태에서의 원거리 시력은 1.30 ± 0.20이었고, +3.00 D의 광학적 흐림 상태에서의 원거리 시력은 0.14 ± 0.04이었다. 즉, 광학적 흐림을 S0.00 D~

Table 2. Basic clinical characteristics of subjects

Subjects characteristics	Subjects (n=31)
Age (yrs; range)	22.90 ± 1.92 (20~31)
Gender (M:F)	16 : 15
Refractive error OD (D; SE*, mean ± SD)	-2.94 ± 2.48
Refractive error OS (D; SE*, mean ± SD)	-3.18 ± 2.52

SE*: spherical equivalent

Table 3. The effect of induced dioptric blur on the distance visual acuity

Dioptric blur (D)	Distance visual acuity Mean±SD (decimal)	Decrease rate (%)
0.00	1.30±0.20	-
+0.50	0.88±0.23	36.21
+1.00	0.62±0.19	22.50
+1.50	0.39±0.09	20.00
+2.00	0.26±0.06	10.88
+2.50	0.20±0.05	5.60
+3.00	0.14±0.04	5.00

S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시키면 원거리 시력이 감소된다는 결과를 얻을 수 있었다(Table 3).

광학적 흐림을 유발시켰을 때 각 단계별로 원거리 시력이 감소된 정도를 알아보기 위해 감소율(decrease rate)을 구하였다. 감소율은 유발된 광학적 흐림 이전 단계의 시력과 다음 단계 시력의 차를 광학적 흐림을 유발시키지 않았을 때의 시력과 가장 크게 유발시켰을 때(S+3.00 D) 시력의 차로 나눈 후 백분율로 나타내었다. 원거리 시력의 가장 큰 감소율을 보인 단계는 S0.00 D~S+0.50 D의 광학적 흐림을 유발시켰을 때로, 시력은 0.42 감소하여 약 36.21%의 감소율을 보였다. 또한 가장 작은 감소율을 보인 단계는 S+2.50 D~S+3.00 D의 광학적 흐림을 유발시켰을 때로, 시력은 0.06 감소하여 약 5.00%의 감소율을 보이는 결과를 얻을 수 있었다. 전체 단계의 결과를 보면, 초기 낮은 양의 광학적 흐림에서는 큰 시력의 감소를 보이는 반면, 점점 광학적 흐림이 높아지면 시력의 감소는 점점 작아진다는 결과를 얻을 수 있었다(Table 3).

광학적 흐림과 원거리 시력과의 관계를 회귀방정식(regression equation)을 구하여 두 관계의 의존성을 알아보

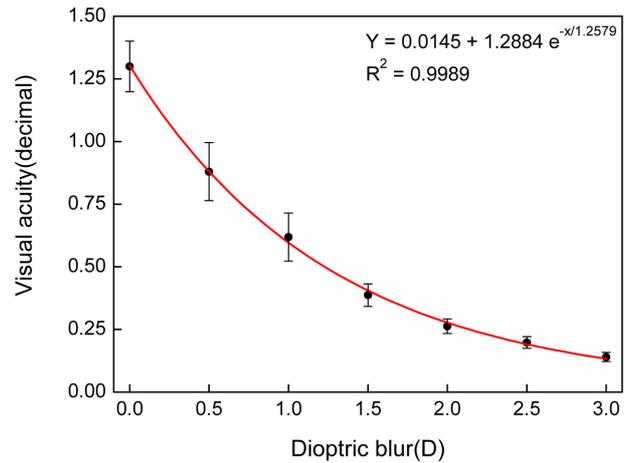


Fig. 3. The regression curve for induced dioptric blur on the distance visual acuity.

았다. 광학적 흐림을 S0.00 D~S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시켰을 때 원거리 시력에 미치는 영향은 $Y=0.0145+1.2884e^{-x/1.257}$ 로 나타낼 수 있었고, 회귀방정식의 일치성을 나타내는 결정계수(coefficient of determination) R^2 은 0.9989이었다. 따라서 이러한 광학적 흐림과 원거리 시력과의 관계를 수학적 공식으로 나타내는 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 3).

2. 광학적 흐림에 따른 대비감도의 변화

광학적 흐림을 S0.00 D~S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시켜 Optec® 6500에 내장되어있는 5가지 공간주파수에 대한 대비감도를 측정된 결과 다음과 같았다. 각 공간주파수별로 대비감도 수치가 가장 높게 측정된 단계는 광학적 흐림을 유발시키지 않은 상태에서 가장 높았으며, 1.5 cpd에서는 75.16 ± 19.79 , 3 cpd에서는 107.81 ± 22.60 , 6 cpd에서는 137.81 ± 37.39 , 12 cpd에서는 61.00 ± 27.04 , 18 cpd에서는 25.16 ± 14.46 로 측정되었다. 또한 각

Table 4. Mean and standard deviation of induced dioptric blur on the CSF(Contrast Sensitivity Function)

Dioptric blur (D)	Contrast sensitivity				
	A(1.5 cpd) Mean±SD	B(3 cpd) Mean±SD	C(6 cpd) Mean±SD	D(12 cpd) Mean±SD	E(18 cpd) Mean±SD
0.00	75.16±19.79	107.81±22.60	137.81±37.39	61.00±27.04	25.16±14.46
+0.50	66.87±19.04	91.26±29.84	96.77±36.29	37.23±14.08	16.74±7.10
+1.00	59.77±20.41	62.81±25.31	55.55±27.76	23.19±11.92	9.36±5.87
+1.50	44.87±16.96	39.13±17.96	32.23±10.32	13.26±7.72	3.94±2.90
+2.00	27.58±11.63	25.84±12.26	22.39±9.94	9.36±5.81	2.07±2.99
+2.50	19.32±10.63	17.65±11.91	14.26±6.55	3.45±4.16	0.65±1.50
+3.00	10.77±4.54	7.59±7.17	5.42±7.05	1.03±2.73	0.39±1.20

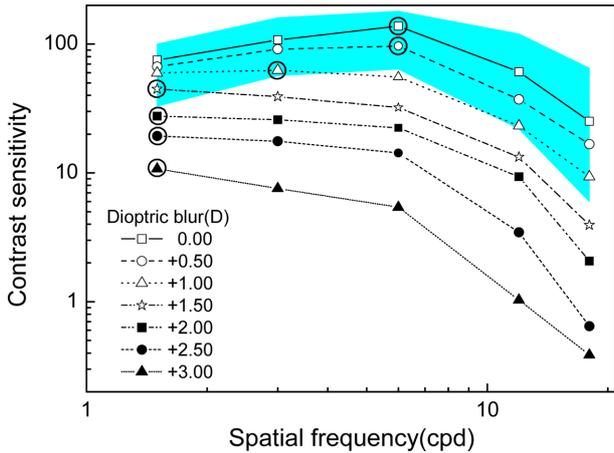


Fig. 4. The effect of induced dioptric blur on the CSF (Contrast Sensitivity Function). Shaded regions show the contrast sensitivity of 90% normal population, which is revealed by manufacturer. Circles (○) show the peak of contrast sensitivity at each spatial frequency.

공간주파수별로 대비감도 수치가 가장 낮게 측정된 광학적 흐림의 단계는 가장 높은 S+3.00 D가 유발된 상태가 가장 낮았으며, 1.5 cpd에서는 10.77 ± 4.54 , 3 cpd에서는 7.59 ± 7.17 , 6 cpd에서는 5.42 ± 7.05 , 12 cpd에서는 1.03 ± 2.73 , 18 cpd에서는 0.39 ± 1.20 로 측정되었다. 즉, 광학적 흐림을 S0.00 D~S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시키면 대비감도가 감소된다는 결과를 얻을 수 있었다(Table 4).

Fig. 4에서 음영 영역은 Ginsberg 등^[36]에 의해 연구되어 Optec® 6500의 제조사에서 제시한 정상인의 대비감도 분포의 90%에 해당하는 영역으로, 본 논문의 대비감도 분포 결과를 적용해본 결과 다음과 같았다. 모든 공간주파수에서 대비감도의 정상범위 내에 들어오는 광학적 흐림의 단계는 유발시키지 않았을 때와 S+0.50 D의 경우만 정상범위 내에 들어왔다. S+1.00 D의 광학적 흐림의 단계도 정상범위처럼 보일 수 있지만 6 cpd 공간주파수의 대비감도가 정상영역에 미치지 못한 것을 알 수 있다.

광학적 흐림의 단계에 따른 정점대비감도(peak of contrast sensitivity)는 광학적 흐림을 유발시키지 않았을 때, 그리고 S+0.50 D에서 6 cpd일 때 정점을 보였다. 하지만 S+1.00D의 경우는 3 cpd에서 정점을 보였고, S+1.50, S+2.00, S+2.50, S+3.00 D의 경우는 가장 낮은 공간주파수인 1.5 cpd에서 정점을 나타내어 광학적 흐림의 단계에 따라 대비감도의 정점이 이동한다는 결과를 얻을 수 있었고 또한, 광학적 흐림의 단계가 커지면 커질수록 대비감도의 정점은 중간(6 cpd)의 공간주파수에서 낮은(1.5 cpd) 공간주파수로 이동한다는 결과를 얻을 수 있었다. 각각의 광학적 흐림 단계의 대비감도 정점을 Fig. 4에 ○으로 나타

내었다.

대비감도가 공간주파수별로 감소되는 경향성을 살펴보면, 낮은 양의 광학적 흐림(S+0.50 D, S+1.00 D)일 때는 낮은 공간주파수에서의 변화는 거의 없었지만, 높은 공간주파수의 현저한 감소가 관찰되었다. 한편, 높은 양의 광학적 흐림(S+2.00 D~S+3.00 D)일 때는 여전히 높은 공간주파수에서 감소되었지만, 이전과는 다르게 낮은 공간주파수도 현저한 감소가 관찰되었다. 즉, 광학적 흐림을 S0.00 D~S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시켜 5개의 공간주파수의 대비감도를 각각 측정된 결과, 높은 공간주파수에서는 유발된 광학적 흐림의 단계별로 지속적으로 감소되는 결과를 얻을 수 있었으나, 낮은 공간주파수에서는 일정량 이상의 광학적 흐림이 유발되어야만 대비감도가 감소된다는 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 4).

3. 시력과 대비감도의 관계

광학적 흐림을 유발시켜 시력이 감소하면 모든 공간주파수의 대비감도 또한 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 시력 감소에 따라 각각의 공간주파수에 해당하는 대비감도의 변화를 살펴보면, 시력이 최고시력에서 약 0.77까지 구간은 6 cpd의 공간주파수가 가장 높은 대비감도를 보였고, 약 0.76에서 약 0.54까지 구간은 3 cpd의 공간주파수가 가장 높은 대비감도를 보였으며, 약 0.53이하로는 1.5 cpd의 공간주파수가 계속 가장 높은 대비감도를 보였다. 또한 각각의 공간주파수별로 시력이 감소하였을 때 대비감도가 감소하는 추세를 살펴보면, 1.5 cpd, 3 cpd, 6 cpd는 감소하는 추세가 서로 다른 경향을 보여 시력감소에 따라 대비감도가 감소할 때 서로 교차되는 현상을 보였지

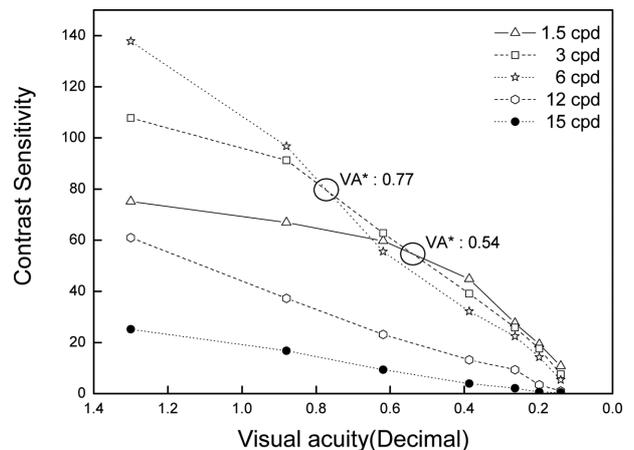


Fig. 5. The relationship between visual acuity and contrast sensitivity. An intersection point of two hypothetical lines related with contrast sensitivity for 6 and 3 cpd was showed as solid circle (○) and 3 and 1.5 cpd as dashed circle (⊙). (VA*; Visual Acuity)

만, 상대적으로 높은 공간주파수인 12 cpd, 18 cpd는 시력 감소에 따라 대비감도가 일정하게 연속적으로 감소하는 추세를 관찰할 수 있었다.

고 찰

망막 상의 질에 따른 시각적 능력을 평가하기 위해 인위적 흐림을 유발시켜 평가하기도 하는데, 굴절이상과 연관해서는 광학적 흐림을 이용하여 많은 연구자들이 연구를 하였다. Peter 등^[26]은 여러 가지 환경(광학적 흐림(dioptic blur), 확산적 흐림(diffusive blur), 망막 편심(retinal eccentricity))에서 문자와 격자시표를 이용한 대비감도의 변화를 관찰하였고, Frank^[37]는 총 3단계의 광학적 흐림(S+1.00 D, S+2.00 D, S+3.00 D)을 유발시켜 Vistech 대비감도 시표를 이용하여 대비감도의 변화를 측정하였으며, Frank 등^[38]은 광학적 흐림을 유발시켰을 때 스넬렌 시표로 측정된 시력과 격자 시표로 측정된 시력의 차이점을 연구하였다. Russell 등^[39]은 굴절 이상이 교정되지 않으면 대비감도가 낮게 측정될 수 있으며, 안질환이나 다른 신경학적 질환으로 오인될 소지가 있고, 0.50 D 정도의 적은 굴절이상이라도 높은 공간주파수 영역에서는 넓은 범위로 대비감도를 저하시킬 수 있다고 하였다. 따라서 이렇게 적은 양의 굴절 이상을 교정하지 않거나 부적절한 굴절교정 상태이면, 적은 양이라 할지라도 대비감도가 저하되어 일상생활에 시각적 불편함을 야기할 수도 있다.

대비감도의 검사 방법으로는 Vistech, Cambridge, LH, Regan, Pelli-Robson 등 다양한 종류의 대비감도 검사방법 및 시표들이 개발되어 왔다.^[40-44] 여러 가지 대비감도 검사방법 중에서 대비감도를 측정하기 위해 가장 민감도가 높은 시표는 사인파 격자로,^[45] 본 논문에서 사용한 대비감도 검사방법은 Ginsberg에 의해 개발된 Vistech contrast sensitivity chart를 수정 보완하여 최근 가장 많이 사용되고 Functional Acuity Contrast Test(FACT)를 사용하였다. 이 시표는 5열 9행으로 이루어진 원형시표이며 사인파 격자로 배열되어 대비감도를 측정할 수 있다.^[40] 하지만 이러한 대비감도 검사는 검사 환경(검사실의 조도, 시표의 휘도 등)에 영향을 많이 받으면 일정하게 유지하여 측정하기가 어렵다. Optec[®] 6500은 이러한 여러 가지 주변 환경을 일정하게 통제할 수 있어 보다 더 정확하게 대비감도를 측정할 수 있다. 또한 Hohberger 등^[29]은 Optec[®] 6500을 이용하여 정상인의 대비감도와 눈부심(glare)을 측정하였는데, 대비감도 측정의 반복성(repeatability)이 좋은 것으로 보고되었다.

광학적 흐림에 따른 대비감도의 변화를 살펴보면 S0.00 D ~S+3.00 D(S+0.50 D step)까지 단계별로 유발시켰을 때

대비감도가 감소되는 것을 알 수 있었고, 결과에서 보는 바와 같이 대비감도가 감소되는 경향성은 낮은 양의 광학적 흐림(S+0.50 D, S+1.00 D)에서는 낮은 공간주파수의 변화는 거의 없었고 높은 공간주파수의 현저한 감소가 관찰되었고, 높은 양의 광학적 흐림(S+2.00 D~S+3.00 D)에서도 여전히 높은 공간주파수는 여전히 감소되었지만, 이전과는 다르게 낮은 공간주파수도 현저한 감소가 관찰되었다. 이를 총 3단계의 광학적 흐림(S+1.00 D, S+2.00 D, S+3.00 D)을 유발한 선행연구^[25,33]와 비교해보면 S+1.00 D, S+2.00 D까지의 광학적 흐림을 유발하였을 때는 본 연구와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 선행연구^[33]에서는 S+3.00 D의 광학적 흐림을 유발하였을 때 오히려 높은 공간주파수의 대비감도가 증가하는 기이한 결과를 보였는데 이는 광학적 흐림이 높아지면 피검자들은 실제의 격자를 보지 못하지만, 대신 방향과 관련된 넓고 불규칙한 2~3개의 띠(band)를 보아 추측으로 맞춘 거짓판별(spuriously resolved)의 결과로 나타난다고 하였다. 하지만 본 논문에서는 이러한 결과가 나타나지 않았는데 이러한 차이점은 대비감도 측정방법의 차이에 있다고 사료된다. 선행연구는 Vistech 대비감도 시표를 벽에 걸어 총 3단계의 광학적 흐림(S+1.00 D, S+2.00 D, S+3.00 D)을 유발시켜 대비감도의 변화를 측정하였다. 하지만 본 연구에서는 주변 환경이 정확하게 통제된 검사기 안에서 S+0.50 D step의 보다 세밀한 단계로 유발시켰고, 대비감도의 시표는 공간주파수별로 따로 분리된 5개의 대비감도 시표 슬라이드를 이용하여 측정하였기 때문에 보다 정확하고 일정하게 대비감도가 변화하는 경향성을 관찰하였으며, 대비감도 검사의 종료점을 첫 번째로 틀린 응답이 나오게 되면 3교대 강제선택법(three-alternative forced-choice method)을 멈추고 최종적으로 맞은 패치의 대비감도 수치를 기록하는 방법을 선택했기 때문에^[29] 이러한 차이점이 나타났다고 사료된다.

대비감도함수(contrast sensitivity function, CSF)에는 정점(peak)이 존재하는데, 이는 첫째, 눈렌즈(eye lens)와 망막에서 발생하는 물리적 과정으로 인한 광학적 MTF(optical modulation transfer function), 둘째, 신경처리 과정으로 인한 측면억제과정 MTF(MTF of lateral inhibition process), 셋째, 광수용체의 들뜸을 발생시키는 광자수의 통계적 요동으로 인한 광자노이즈(photon noise), 넷째, 뇌로 전달되는 신호에서 나타나는 통계적 요동으로 인한 신경노이즈(neural noise) 등이 복합되어 나타나는 것으로 알려져 있다.^[46-48] 본 연구는 인위적으로 광학적 흐림을 유발시켰으므로 광학적 MTF의 변화를 의미한다.

대비감도는 중간 공간주파수인 6 cpd에 이를 때까지 공간주파수에 따라 증가하여, 대비감도함수의 모양은 정상

인의 경우 6 cpd의 중간 공간주파수에서 대비감도 수치가 가장 높은 종모양(bell-shaped)의 정점(peak of contrast sensitivity)을 보인다. 또한 정점의 공간주파수는 검사 환경, 대비감도 시표에 따라 조금씩 다르지만 3~6 cpd에서 가장 높은 정점을 보인다.^[6,45] Oen 등^[49]은 비록 대비감도가 인종에 따라 다를 수 있다고 하였지만, 많은 대비감도 정상 표준 연구 결과를 보면 정상인의 경우 중간의 공간주파수에서 대비감도가 가장 높은 정점을 보이고, 특히 민감도가 높은 사인과 격자시표를 이용하여 대비감도를 측정하면 6 cpd 근처에서 정점을 보이는 결과를 나타낸다. 본 연구에서 대비감도 분포의 정상여부를 적용한 수치는 Ginsberg 등^[36]이 10세에서 70세까지 265명의 정상인의 대비감도를 측정하고 분석하여 90%에 해당하는 영역을 나타낸 연구 결과에 적용하였는데, 이 논문에서도 마찬가지로 6 cpd에서 대비감도가 가장 높은 정점을 보이고 있다. 국내의 정상인의 대비감도 및 대비감도합수 모양의 선행연구는 유 등^[50]이 10대에서 60대까지 84명의 환자(168안)를 대상으로 측정한 결과도 마찬가지로 낮 조건에서 6 cpd가 가장 높은 정점을 보여 한국인의 대비감도도 다른 인종과 크게 다르지 않아 외국 제조사에서 제시하는 정상 표준치를 임상 적용해도 문제가 없다는 결론을 제시하였다. 본 연구에서도 이러한 연구들과 마찬가지로 정점대비감도가 6 cpd로 일치하는 결과를 보여 검사대상이 20대의 대학생에서 Optec® 6500에 내장된 사인파격자 대비감도 시표인 FACT를 이용하여 대비감도를 측정하여도 정상인의 정점 대비감도는 정점은 동일하게 6 cpd에서 보인다는 결론을 낼 수 있었다.

정점대비감도의 변화를 이용하여 광학적 흐림의 한계수치와 감소된 시력의 한계수치를 제시하는 것은 임상적으로 중요하다고 사료된다. 광학적 흐림의 단계에 따른 대비감도가 가장 높은 정점은 본 연구의 결과에서 보는 바와 같이 유발시키지 않았을 때와 S+0.50D의 경우는 6 cpd에서 정점을 보였고, S+1.00 D의 경우는 3 cpd에서 정점을 보였으며, S+1.50, S+2.00, S+2.50, S+3.00 D의 경우는 가장 낮은 공간주파수인 1.5 cpd에서 정점을 나타내었다. 즉, 광학적 흐림을 유발시키지 않은 상태와 S+0.50 D까지의 경우가 6 cpd에서 대비감도가 가장 높은 정점을 나타내어, 이는 S+0.50 D까지의 광학적 흐림이 정상적으로 대비감도의 정점을 6 cpd에서 인식할 수 있는 광학적 흐림의 한계 수치라고 사료된다. 또한 시력 감소에 따라 각각의 공간주파수에 해당하는 대비감도의 변화에서는, 시력이 최고시력에서 약 0.77까지 구간에서만 정상적인 대비감도의 정점인 6 cpd의 공간주파수에서 가장 높은 정점을 나타내어, 이는 광학적 흐림에 따른 감소된 시력 약 0.77까지가 정상적으로 대비감도의 정점을 6 cpd에서 인식할 수 있는

시력의 한계 수치라고 사료된다. 시력이 한계 수치 이하로 감소하게 되면 정상적인 대비감도 영역에 존재할지라도, 정점대비감도가 변화되어 중간 공간주파수를 가장 민감하게 느끼는 정상적인 시각능력 활동이 되지 않기 때문에 임상적으로 미교정된 굴절이상이나 부적절한 굴절교정상태의 경우 신중한 판단을 하여 적절한 안경처방을 결정해야 된다고 사료된다.

검사 조건을 바꾸면 정점대비감도가 변화되거나 사라지는데, 이러한 현상이 나타나는 대표적인 이유로는 신경억제현상(inhibitory neural phenomenon)인 마하 밴드(Mach band)를 만들어내는 기전과 관련이 있고, 이러한 현상이 정점을 저하시킬 수 있다고 보고되었다.^[51,52] 정점대비감도의 이동은 임상적으로 매우 중요한 현상인데, 시각적으로 가장 민감하게 인식되는 공간주파수가 변화한다는 것을 의미하기 때문이다. 낮은 공간주파수의 감지는 막대세포 또는 원뿔세포의 활동을 기반으로 하는데, 평균 조도에 따라 다르다. 암소시(scotopic) 상태에서 대비감도는 낮고, 낮은 공간주파수에 감지가 한정되지만,^[53] 본 연구에서 측정한 대비감도의 환경인 명소시(photopic) 상태는 중간 및 낮은 공간주파수에 대한 대비감도가 최대로 높아지는데, 이때 막대세포의 활동은 억제된다^[6]. 명소시 상태에서 광학적 흐림의 실험은 주된 시각적 능력을 담당하는 즉, 중심와의 원뿔세포의 대비감도 감지 능력 측정에 있다.

미교정된 굴절이상이나 부적절한 굴절교정상태에서 측정된 대비감도는 일반적으로 높은 공간주파수 영역이 감소된다는 것으로 알려져 있다. 0.50 D 정도 적은 양의 굴절이상 미교정,^[39] 눈의 안광학계 측면에 관련된 수치,^[6] 소프트 콘택트렌즈 처방의 경우 착용한 사람에게 남아있는 잔여난시(residual astigmatism),^[34] 이와 같이 굴절에 관련된 요소들은 높은 공간주파수의 대비감도에 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 하지만 광학적 흐림의 선행연구들^[25,33]은 정확하게 통제된 실험공간에서 낮은 단계의 광학적 흐림으로 유발하지 못하여, 각각의 공간주파수에 해당하는 대비감도가 얼마만큼 감소되는지 정량적인 연구가 이루어지지 않았다. 다만, 본 논문에서는 폭 넓은 연령대와 많은 대상자를 포함한 연구가 되지 못하였으므로 앞으로 이러한 연구가 지속적으로 필요하리라 사료된다. 또한 추후 대비감도와 다양한 흐림 환경(확산적 흐림(diffusive blur), 망막 편심(retinal eccentricity))에서도 계속적인 연구가 되어 정상적인 시각능력으로 시생활을 영위하는데 도움이 되는 지표로 활용되기를 기대한다.

결론

미교정된 굴절이상이나 부적절한 굴절교정상태처럼 광

학적 흐림을 인위적으로 유발시켜 시력 및 대비감도를 측정한 결과, 시력은 광학적 흐림이 증가할수록 감소하였고, 대비감도는 S+0.50 D의 광학적 흐림까지만 모든 공간주파수에서 대비감도의 정상범위 안에 들어왔고, 대비감도 함수의 정점도 마찬가지로 S+0.50 D의 광학적 흐림까지만 6 cpd의 중간 공간주파수에 대비감도가 가장 높은 정점이 위치하였다. 또한 시력 감소에 따라 각각의 공간주파수에 해당하는 대비감도의 변화에서는, 시력이 최고시력에서 약 0.77까지 구간에서만 정상적인 대비감도의 정점인 6 cpd의 공간주파수에서 가장 높은 정점을 나타내었다.

적은 양의 굴절이상을 교정하지 않거나 부적절한 굴절 교정상태이면, 적은 양이라 할지라도 대비감도가 저하되고 비정상적으로 정점대비감도가 이동하여 일상생활에 시각적 불편함을 야기할 수도 있으므로 항상 주기적인 시력검사와 신중한 안경처방값을 결정하여야 된다고 사료된다.

REFERENCES

- [1] Campbell FW, Robson JG. Application of fourier analysis to the visibility of gratings. *J Physiol.* 1968;197(3):551-566.
- [2] Blakemore C, Campbell FW. On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *J Physiol.* 1969; 203(1):237-260.
- [3] Campbell FW, Green DG. Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J Physiol.* 1965;181(3):576-593.
- [4] Blakemore C, Nachmias J, Sutton P. The perceived spatial frequency shift: evidence for frequency-selective neurons in the human brain. *J Physiol.* 1970;210(3):727-750.
- [5] Bodis-Wollner I, Diamond SP. The measurement of spatial contrast sensitivity in cases of blurred vision associated with cerebral lesions. *Brain.* 1976;99(4):695-710.
- [6] Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol.* 1978;62(4):198-209.
- [7] Hess R, Woo G. Vision through cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1978;17(5):428-435.
- [8] Bodis-Wollner I. Detection of visual defects using the contrast sensitivity function. *Int Ophthalmol Clin.* 1980; 20(1):135-153.
- [9] Sekuler R, Owsley C, Hutman L. Assessing spatial vision of older people. *Am J Optom Physiol Optics.* 1982; 59(12):961-968.
- [10] Jindra LE, Zemon V. Contrast sensitivity testing: a more complete assessment of vision. *J Cataract Refract Surg.* 1989;15(2):141-148.
- [11] Heitzmann J, Binder PS, Kassab BS, Nordan LT. The correction of high myopia using the excimer laser. *Arch Ophthalmol.* 1993;111(12):1627-1634.
- [12] Bodis-Wollner I, Camisa JM. Contrast sensitivity measurement in clinical diagnosis, In: Lessell S, van Dalen JTW, editors. *Neuro-ophthalmology.* Amsterdam: Excerpta Medica, 1980;373-401.
- [13] Regan D, Silver R, Murray TJ. Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis-hidden visual loss: an auxiliary diagnostic test. *Brain.* 1977;100(3):563-579.
- [14] Kim CJ, Kim HJ, Kim JM. Comparison of Contrast Sensitivity at Near Between Functional Progressive Addition Lenses and Single Vision Lenses. *J Korean Oph Opt Soc.* 2010;15(4):381-388.
- [15] Kim HJ, Kim HJ, Cho SH, Cho BJ, Choi KY, Chung KH, et al. Comparison of Contrast Sensitivity with ACV(Visual Capacity Analyzer) in Different Types of Posterior Capsular Opacification. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2004;45(6): 945-951.
- [16] Paik JS, Kim MJ, Park SH, Joo CK. Contrast Sensitivity and Glare of Different Edge Designed Intraocular Lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2007;48(2):259-265.
- [17] Kim HS, Kim SW, Ha BJ, Kim EK, Kim TI. Ocular Aberrations and Contrast Sensitivity in Eyes Implanted with Aspheric and Spherical Intraocular Lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2008;49(8):1256-1262.
- [18] Yoon JU, Chung JL, Hong JP, Ha BJ, Kim TI, Kim EK. Comparison of Wavefront Analysis and Visual Function Between Monofocal and Multifocal Aspheric Intraocular Lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2009;50(2):195-201.
- [19] Jeong JH, Kim MK, Wee WR, Lee JH. Comparison of Optical Performances in Eyes Implanted With Aspheric and Spherical Intraocular Lenses After Cataract Surgery. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(11):1445-1452.
- [20] Kang EC, Kim EK, Kim TI. Comparisons of Visual Acuity, Spherical Aberration and Contrast Sensitivity among Spheric, Aspheric ReSTOR®, and Crystalens HD® Lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2011;52(11):1275-1280.
- [21] Jun JB, Lee JE, Lee JS. A Comparative Study for Mesopic Contrast Sensitivity between Keratectomy(PRK) and Laser in Situ Keratomileusis(LASIK). *J Korean Ophthalmol Soc.* 2004;45(10):1724-1730.
- [22] Hong JT, Lee J, Kim JY, Kim MJ, Tchah H. Clinical Results of Wavefront-guided LASIK. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(11):1438-1444.
- [23] Bae K, Keum JE, Chung TY, Chung ES. LASIK for Myopia with Presbyopia Using the Aspheric Micro-Monovision Technique. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2012;53(1):11-19.
- [24] Woo GC, Dalziel CC. A pilot study of contrast sensitivity assessment of the cam treatment of amblyopia. *Acta Ophthalmol.* 1981;59(1):35-37.
- [25] Shan Y, Moster ML, Roemer RA, Siegfried JB. Abnormal function of the parvocellular visual system in anisometric amblyopia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2000; 37(2):73-78.
- [26] Peter RH, Harold EB. Contrast sensitivity for letter and grating targets under various stimulus conditions. *Optom*

- Vis Sci. 1989;66(11):774-781.
- [27] Thorn F, Schwartz F. Effects of dioptric blur on Snellen and grating acuity. *Optom Vis Sci.* 1990;67(1):3-7.
- [28] Thorn F. Effects of dioptric blur on the vistech contrast sensitivity test. *Optom Vis Sci.* 1990;67(1):8-12.
- [29] Hohberger B, Laemmer R, Adler W, Juenemann AG, Horn FK. Measuring contrast sensitivity in normal subjects with OPTEC 6500: influence of age and glare. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2007;245(12):1805-1814.
- [30] Rocha KM, Soriano ES, Chalita MR, Yamada AC, Botts K, Botts J, et al. Wavefront analysis and contrast sensitivity of aspheric and spherical intraocular lenses: a randomized prospective study. *Am J Ophthalmol.* 2006;142(5):750-756.
- [31] Chung SA. Measuring photophobia using Optec 6500® in children with intermittent exotropia. Master's Thesis. Yonsei University, Seoul. 2010;3-33.
- [32] Hitchcock EM, Dick RB, Krieg EF. Visual contrast sensitivity testing: a comparison of two F.A.C.T. test types. *Neurotoxicol Teratol.* 2004;26(2):271-277.
- [33] Terzi E, Bhren J, Wesemann W, Kohnen T. [Frankfurt-Freiburg Contrast and Acuity Test System (FF-CATS). A new test to determine contrast sensitivity under variable ambient and glare luminance levels]. *Ophthalmologie.* 2005;102(5):507-513.
- [34] Ginsburg AP. Contrast sensitivity: determining the visual quality and function of cataract, intraocular lenses and refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2006;7(1):19-26.
- [35] Larsson E, Rydberg A, Holmström G. Contrast sensitivity in 10 year old preterm and full term children: a population based study. *Br J Ophthalmol.* 2006;90(1):87-90.
- [36] Ginsburg AP, Evans DW, Cannon MW Jr, Owsley C, Mulvanny P. Large-sample norms for contrast sensitivity. *Am J Optom Physiol Opt.* 1984;61(2):80-84.
- [37] Thorn F, Schwartz F. Effects of dioptric blur on the vistech contrast sensitivity test. *Optom Vis Sci.* 1990;67(1):8-12.
- [38] Frank T, Faye S. Effects of dioptric blur on snellen and grating acuity. *Optom Vis Sci.* 1990;67(1):3-7.
- [39] Russell LW, Niall CS, David AA. Measuring contrast sensitivity with inappropriate optical correction. *Ophthal Physiol optics.* 2000;20(6):442-451.
- [40] Ginsburg AP. A new contrast sensitivity vision test chart. *Am J Optom Physiol Opt.* 1984;61(6):403-407.
- [41] Della Sala S, Bertoni G, Somazzi L, Stubbe F, Wilkins AJ. Impaired contrast sensitivity in diabetic patients with and without retinopathy: a new technique for rapid assessment. *Br J Ophthalmol.* 1985;69(2):136-142.
- [42] Hyvarinen L. Classification of visual impairment and disability. *Bull Soc Belge Ophthalmol.* 1985;215:1-16.
- [43] Regan D, Giaschi DE, Fresco BB. Measurement of glare sensitivity in cataract patients using low-contrast letter charts. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1993;13(2):115-123.
- [44] Pelli DG, Robson JG, Wilkins AJ. The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clin Vision Sci.* 1988;2(3):187-199.
- [45] Ginsburg AP. Contrast sensitivity and functional vision. *Int Ophthalmol Clin.* 2003;43(2):5-15.
- [46] Lee EJ, Yoon MJ, Kim SH, Yang GT, Jeong JH, Kim HJ, et al. Changes of contrast sensitivity with decreasing luminance in photopic conditions. *J Korean Oph Opt Soc.* 2013;17(4):411-417.
- [47] Field DJ. Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *J Opt Soc of Am A.* 1987;4(12):2379-2394.
- [48] Vries HL. The quantum character of light and its bearing upon threshold of vision, the differential sensitivity and visual acuity of the eye. *Physica.* 1943;10(7):553-564.
- [49] Oen FT, Lim TH, Chung MP. Contrast sensitivity in a large adult population. *Ann Acad Med Singapore.* 1994; 23(3):322-326.
- [50] You YC, Choi TH, Lee HB. Normal contrast sensitivity for various ages. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2003;44(1): 150-156.
- [51] Ratliff F. *Mach Bands: Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina.* San Francisco: Holden-Day, 1965;1-365.
- [52] Kelly DH, Magnuski HS. Pattern detection and the two-dimensional fourier transform: Circular targets. *vision res.* 1975;15(8-9):911-915.

Effects of Induced Dioptric Blur on Visual Acuity and Contrast Sensitivity

Chang-Jin Kim and Eun Jung Choi*

Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 302-718, Korea
(Received May 12, 2014; Revised June 5, 2014; Accepted June 18, 2014)

Purpose: To study the effect of an artificially induced dioptric blur on acuity and contrast sensitivity using the Optec[®] 6500. **Methods:** Healthy 31 subjects aged 22.90 ± 1.92 (male 16, female 15) who were recruited from university students with 6/6 (20/20) or better corrected visual acuity and normal binocularity. They were measured objective and subjective refraction for full correction and dioptric blur using 0.00 ~ +3.00 D (+0.50 D steps) trial lenses and trial frame. They were measured binocularly visual acuity and contrast sensitivity with the Optec[®] 6500 (Stereo Optical Co., Inc., Chicago, Illinois, USA) under day conditions (photopic condition, 85 cd/m²). **Results:** The higher dioptric blur, the less distance visual acuity and decrease rate of visual acuity. The higher dioptric blur, the less contrast sensitivity at all frequencies, and the peak of contrast sensitivity was shifted from middle frequency (6 cpd) to low frequency (1.5 cpd). When the visual acuity was best visual acuity to 0.77, there was the peak point at 6 cpd which was normal contrast sensitivity peak point. **Conclusions:** If the low refractive error is uncorrected or the refractive error is inappropriate, the contrast sensitivity is decreased and the peak point of contrast sensitivity frequency is shifted abnormally though small uncorrected refractive error. So it will be considered that regular eye test and decision of refractive error correction is important.

Key words: Dioptric blur, Contrast sensitivity, Peak of contrast sensitivity function, Refractive error, Optec[®] 6500