

한국인 정상안 및 선천색각이상안에서 원뿔세포대비감도의 평가

Evaluation of the Cone Contrast Sensitivity Test in Normal Eyes and those with Congenital Color Blindness

이승현 · 진희승 · 정지원

Seung Hyun Lee, MD, Hee Seung Chin, MD, PhD, Ji Won Jung, MD

인하대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Inha University School of Medicine, Incheon, Korea

Purpose: We evaluated a new color vision test, thus the ColorDx Cone contrast test HD ([CCT-HD]; Konan Medical, Inc., Irvine, CA, USA) in normal and color vision-deficient (CVD) eyes of Koreans.

Methods: The CCT-HD was performed on 66 healthy Koreans (125 normal eyes) and 25 patients (50 eyes) with congenital CVD. The results from normal eyes were compared and analyzed in terms of binocular agreement, patient ages, and spherical equivalents. The CCT-HD results on CVD eyes were compared and analyzed.

Results: We found no significant difference in any of the long (L), medium (M), or short wavelength (S) cone cell sensitivity (L-CCT, M-CCT, S-CCT) scores for normal eyes; also, there was no significant effect of age and no significant correlation between the spherical equivalent and the CCT score. In normal eyes, all scores were >75 (normal ≥ 75). The average protan L-CCT score was significantly reduced (13.0 ± 13.2 ; $p < 0.001$) as was the average deutan M-CCT score (31.7 ± 16.6 ; $p < 0.001$). The CCT-HD L-CCT and M-CCT exhibited 100% sensitivity and specificity in terms of diagnosing protans and deutans respectively.

Conclusions: CCT-HD allows classification and quantitative evaluation of protans and deutans, and is thus useful when examining color vision status.

J Korean Ophthalmol Soc 2021;62(2):273-279

Keywords: Color vision test, Cone contrast sensitivity test, Congenital color vision deficiency

색각이상은 선천색각이상, 후천색각이상으로 나눌 수 있다. 선천색각이상은 원뿔세포의 유무 및 기능 이상에 따라 색맹(dichromacy)과 색약(anomalous trichromacy)으로 나뉜다. 색맹은 세 가지 원뿔세포 중 한 가지 원뿔세포가 없는

경우이며, 색약은 세 가지 원뿔세포가 모두 있지만 어느 한 원뿔세포의 기능이 떨어져 색을 정확히 판단할 수 없는 경우이다.¹ 하지만 색맹과 색약은 구별이 어려운 경우가 많아, 최근에는 이상이 있는 원뿔세포에 따라 제1색각이상(적색 계열), 제2색각이상(녹색 계열), 제3색각이상(청색 계열)으로 분류한다.²

후천색각이상은 당뇨병망막병증, 연령관련황반변성, 녹내장, 시신경병증, 대뇌피질 이상, digitalis이나 ethambutol 등의 약물 복용 등에 의해 발생할 수 있다. 색각검사를 통한 후천색각이상을 감지함으로써 질환의 정도, 예후 및 치료 결정 시기를 정하는 연구가 보고된 바 있다.³⁻⁶

이러한 색각이상을 진단함에 있어 여러 가지 종류와 방법이 존재한다. 대표적으로 가성동색표(Pseudoisochromatic

■ Received: 2020. 8. 4. ■ Revised: 2020. 9. 6.

■ Accepted: 2021. 1. 29.

■ Address reprint requests to **Ji Won Jung, MD**
Department of Ophthalmology, Inha University Hospital, #27
Inhang-ro, Jung-gu, Incheon 22332, Korea
Tel: 82-32-890-2400, Fax: 82-32-890-2417
E-mail: panch325@hanmail.net

* This work was supported by INHA UNIVERSITY Research Grant. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

© 2021 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

plate)검사, Nagel 색각경검사, Farnsworth-Munsell 100-hue 검사 등이 있으며, 색각이상 진단의 목적에 따라 이용함이 다르다. Nagel 색각경은 가장 표준적인 검사로 색각이상의 유형과 정도를 확진할 목적으로 사용되고 있다.⁷ Nagel 색각경검사는 색각이상의 분류를 제1색각이상, 제2색각이상으로 나눌 수 있으며, 중증도를 경도, 중등도, 고도로 분류할 수 있다. 하지만 Nagel 색각경은 후천색각이상, 제3색각이상은 기본적으로는 검사의 대상이 되지 않는 제한점을 가지고 있다. 또한 Nagel 색각경검사를 포함한 대부분의 색각검사는 색각이상의 정량적 평가에 어려움이 있다.

Rabin 원뿔세포대비감도검사(Rabin cone contrast test [RCCT], Provideo CCT Plus system; Innova Systems Inc., Burr Ridge, IL, USA)는 Jeff C. Rabin과 미공군이 함께 개발한 새로운 전산화색각검사로 2016년도에 미공군 지원자 중 선천색각이상자를 선별하기 위해 도입되었다. 장(Long), 중(Medium) 및 단파장(Short) 원뿔세포 기능에 고유한 점수를 제공하는 원뿔세포별 대비감도검사이며, 이를 통해 색각이상의 분류 및 정량화를 쉽게 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 제3색각이상과 후천색각이상의 진단에도 유용하다.⁸ 2017년도에 도입된 ColorDx Cone contrast test HD (CCT-HD)[®] (Konan Medical, Inc., CA, USA)는 기존 원뿔세포대비감도검사의 개선된 장비로 고정밀 디스플레이의 사용 및 란돌트 C를 시표로 사용함으로써 더 빠른 반응을 유도하여 보다 정확한 검사 결과를 얻을 수 있다. 현재 이 장비는 미공군 지원자의 색각이상 선별검사로 사용하고 있다.

Fujikawa et al⁹에 따르면, CCT-HD의 전구체인 RCCT는 정상안에서 연령대 증가할수록 평균 점수가 점차 감소함을 보고하였다. 또한 Rucker and Kruger¹⁰는 근시와 조절력에 따라 원뿔세포의 민감도에 영향을 미친다고 하였다. 이를 토대로 새로운 색각검사 장비인 CCT-HD 원뿔세포대비감도검사를 한국인 정상안에서 시행하여 양안 검사 결과 일치도와 연령대 및 구면렌즈대응치가 CCT-HD 검사 결과에 미

치는 영향을 알아보고 선천색각이상안을 대상으로 CCT-HD 검사의 색각이상 진단의 유용성을 평가하고자 한다.

대상과 방법

본 연구는 임상시험윤리위원회의 승인을 받은(승인 번호: 2020-07-031) 후향적 연구이다. 정상안군은 검진을 받기 위해 내원한 환자 중 양안의 굴절이상 외 기저 안질환이 없고, 이시하라검사상 정상 범위에 있으며 두 눈의 스넬렌 최대교정시력이 1.0 이상인 사람을 대상으로 하였다. 또한 병력청취를 통해 각막굴절교정수술력 여부를 확인하였다. 색각이상안군은 예전에 선천색각이상으로 판별되어 자신이 선천색각이상임을 알고 있는 사람으로 색각검사 확진을 위해 내원한 환자 중 본원에서 시행한 Nagel 색각경검사를 통해 제1 또는 제2색각이상으로 진단받은 사람을 대상으로 하였다. 원뿔세포대비감도검사 장비는 현재 미공군 지원자 대상으로 시행하는 색각검사인 Operational Based Vision Assessment CCT 방식을 이용한 CCT-HD 장비를 이용하였다.

모든 검사는 시력교정된 상태로 진행하였다. 암실 환경에서 충분한 암순응을 한 뒤, 모니터와 약 0.6 m 떨어진 위치에서 검사를 시행하였다. 단안의 검사 시 반대안은 차폐하면서 교대로 눈을 검사한다. 본 검사를 시작하기 전, 검사 장비에서 제공하는 사용 지침을 통해 검사 방법을 숙지한다. 화면에 란돌트 C 모양이 왼쪽-위쪽-오른쪽-아래쪽으로 네 가지 기본 방향 중 하나로 5초간 제시되며, 시표의 대비가 증가하여 란돌트 C의 방향을 구별할 수 있을 때 반응 패드의 같은 방향의 화살표 버튼을 눌러 응답한다. 제시된 란돌트 C 시표는 5초 후 사라지며, 시간 안에 버튼을 누르지 않으면 다음 란돌트 C 시표는 제시되지 않는다. 시표를 식별하지 못해 선택하지 못했을 경우, 방향을 추측하여 버튼을 눌러야 한다. 검사를 하는 동안 검사자는 피검사자의 위치가 앞뒤 혹은 좌우로 움직이지 않는지 확인해야 한다. 검사 결과는 L, M, 그리고 S 원뿔세포대비감도 점수(L,

Table 1. Demographic data in normal and congenital color vision deficient groups

Variable	Control	Protan	Deutan
Number of subjects (number of eyes)	66 (125)	10 (20)	15 (30)
Age (years)	30.3 ± 9.7 (10-49)	22.3 ± 4.0 (15-27)	25.3 ± 4.4 (18-35)
Sex			
Male	30 (45.5)	10 (100)	15 (100)
Female	36 (55.5)	0	0
Spherical equivalent (diopters)*	-2.1 ± -2.5	-	-
History of refractive surgery (eyes)	31 (24.8)	0	0

Values are presented as mean ± standard deviation (range) or number (%) unless otherwise indicated.

*Spherical equivalent in the subject who did not receive corneal refractive surgery.

M, S-CCT Scores)로 제시되며 75점 이상일 경우 정상, 75점 미만일 경우 비정상으로 정의하였다. 75점 기준은 Rabin et al⁸이 제시한 값으로, 정상안에서 RCCT로 측정된 S-CCT 평균점수에서 2 표준편차를 뺀 값이다. CCT-HD에서도 이 기준을 사용하여, 미공군 지원자 대상으로 시행하는 색각 검사의 기준 점수로 사용하고 있다.¹¹ 모든 검사 대상자는 우안 검사 후 좌안을 시행하였다.

양안 검사 일치도는 paired *t*-test, 연령대별 CCT 평균 점수 비교는 Kruskal-Wallis test, 구면렌즈대응치와 원뿔세포 대비감도 점수의 연관성은 Spearman correlation test를 사용하여 분석하였다. 색각이상 진단에 CCT-HD의 민감도 및 특이성은 Nagel 색각경의 진단을 기준으로 하였다. 색각이상안의 각 군 안에서 L, M, S-CCT 점수 간의 차이 비교는 one-way analysis of variance (ANOVA)로, 정상안과 제1색각이상안 및 제2색각이상안 간의 CCT 점수 비교는 Kruskal-Wallis test로 하였다. 통계적 분석은 IBM SPSS Statistics version 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, *p*-value < 0.05인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

정상안 66명(125안), 선천색각이상안 25명(총 50안, 제1색각이상 10명[20안], 제2색각이상 15명[30안])에서 CCT-HD 검사를 시행하였다(Table 1). 정상안에서 양안 검사를 시행한 58명(116안)을 대상으로 우안과 좌안의 L-, M- 및 S-CCT 점수의 일치도를 봤을 때, 우안과 좌안에서 각각의 CCT 점수의 유의한 차이는 보이지 않았다(L-CCT, *p*=0.232; M-CCT, *p*=0.921; S-CCT, *p*=0.185 by paired *t*-test; Table 2). 정상안 125안을 대상으로 연령대별 L, M 및 S-CCT 평균 점수를 비교했을 때, 10, 20, 30, 40대 연령대별 점수의 유의한 차이는 없었다(L-CCT score; *p*=0.221, M-CCT score; *p*=0.362, S-CCT score; *p*=0.197, by the Kruskal-Wallis test; Fig. 1). 정상안 중 각막굴절교정수술을 받지 않은 눈(94안)을 대상

Table 2. Comparison of agreement of CCT score between both eyes in normal subjects (n = 116 eyes)

	L-CCT score	M-CCT score	S-CCT score
OD	99.17 ± 2.23	97.90 ± 4.19	96.10 ± 5.64
OS	98.51 ± 3.53	97.97 ± 4.80	97.20 ± 5.28
<i>p</i> -value*	0.232	0.921	0.185

Values are presented as mean ± standard deviation.

CCT = cone contrast test; L = long; M = medium; S = short; OD = oculus dexter; OS = oculus sinister.

*Paired *t*-test.

으로, 구면렌즈대응치(Spherical equivalent)와 각각의 L-, M- 및 S-CCT 점수 사이에 연관성을 평가하였을 때, L-, M- 및 S-CCT 점수와 구면렌즈대응치 사이에 유의한 관계는 없었다(L-CCT score, *p*=0.916; M-CCT score, *p*=0.410; S-CCT score, *p*=0.588 by Spearman correlation test; Fig. 2).

정상안 125안의 평균 L-, M- 및 S-CCT 점수는 각각 98.9 ± 2.9, 97.9 ± 4.4, 96.6 ± 5.6으로 모두 정상 범위(75점 이상)이었다(Table 3, Fig. 3). 제1색각이상안의 경우, 평균 L-,

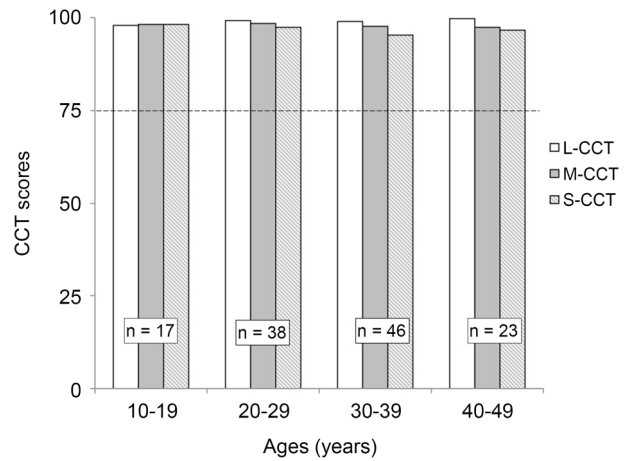


Figure 1. The ColorDx Cone contrast test HD[®] (CCT-HD) results in the normal eyes in the second to fifth decades of life. Each bar represents the mean long (L), medium (M) and short (S)-CCT score, respectively. The mean L, M and S-CCT scores were within the normal ranges (L-CCT score, *p* = 0.221; M-CCT score, *p* = 0.362; S-CCT score, *p* = 0.197; by the Kruskal-Wallis test). The dotted line indicates 75 points.

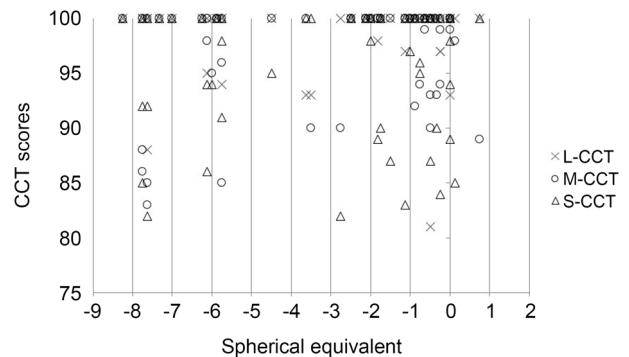


Figure 2. Correlation between cone contrast test (CCT) score and spherical equivalent in the normal subjects who did not undergo the corneal refractive surgery (n = 94). There were no significant relationships between each long (L), medium (M) and short (S)-CCT score and spherical equivalent (L-CCT score, *p* = 0.916; M-CCT score, *p* = 0.410; S-CCT score, *p* = 0.588 by Spearman correlation test).

M- 및 S-CCT 점수는 각각 13.0 ± 13.2 , 71.5 ± 17.7 , 90.9 ± 12.8 로 L-CCT 점수가 가장 낮았으며($p < 0.001$ by one-way ANOVA), 대상안 모두의 L-CCT 점수는 75점 미만으로 제1색각이상 진단에서 100%의 민감도와 특이도를 보였다(L-CCT score range: 0-36) (Table 3, Fig. 3). 제2색각이상안의 경우, 평균 L-, M- 및 S-CCT 점수는 각각 82.6 ± 10.0 , 31.7 ± 16.6 , 81.0 ± 18.3 으로 M-CCT 점수가 가장 낮았으며($p < 0.001$ by one-way ANOVA), 대상안 모두의 M-CCT 점수는 75점 미만으로 제2색각이상 진단에서 100%의 민감도와 특이도를 보였다(M-CCT score range: 4-58) (Table 3, Fig. 3). 정상안, 제1색각이상안, 제2색각이상안 각각의 CCT 점수를 비교하였을 때, 제1색각이상안의 평균 L-CCT 점수와 제2색각이상안의 평균 M-CCT 점수는 다른 군들보다 유의하게 낮았다($p < 0.001$ by the Kruskal-Wallis test) (Table 3, Fig. 3).

고찰

사람은 약 2백만 개 이상의 색상을 구별하고, 1 nm 이하의 파장의 변화를 감지할 수 있다. 이 능력은 기본적으로 세 개의 원뿔세포에 의해 부여된다. 세 가지 종류의 원뿔세포

포(L, M, S cone)는 각각 세포에 포함된 광색소에서 다른 부분의 빛을 흡수함으로써 색을 인지하게 된다. 선천색각 이상은 유전적 결함에 의해 세 원뿔세포 중 어느 한 가지가 없거나 기능이 정상적이지 못함을 말한다. 출생 후 생애에 걸쳐 색각이상의 종류와 정도가 변하지 않아 색각이상의 종류를 정확히 분류할 수 있으며, 양안이 같은 색각 이상을 보이는 특징을 갖는다.^{1,12}

Rabin¹³는 정상안과 선천색각이상자를 대상으로 L, M 및 S 원뿔세포의 대비감도를 측정하는 검사를 시행하였다. 각 원뿔세포를 자극하는 총 10줄의 L 원뿔세포 시표(적색), M 원뿔세포 시표(녹색) 및 S 원뿔세포 시표(청색)를 제시한다. 시표는 제일 위가 가장 진하며 아래로 내려갈수록 점차 희미해진다. 피검사자는 시표를 어느 줄까지 인지할 수 있는지 확인하여 각 원뿔세포의 대비감도를 측정한다. 검사 결과 제1색각이상자의 경우 L 원뿔세포의 대비 감도가 매우 떨어지고, 제2색각이상자의 경우 M 원뿔세포의 대비 감도가 떨어짐을 확인하였다.¹³ 이를 이용한 RCCT는 문자를 인식할 수 있는 임계값을 결정하기 위해, 원뿔세포 대비 감도 단계를 감소시키며 단일 원뿔세포가 감지할 수 있는 색깔 문자를 무작위로 제시하고, 이로써 L, M, S 원뿔세포의 기능을 점수화한다. 젊고 건강한 비행사 지원자를 대상으로 Rabin et al⁸은 RCCT로 정상적인 색각을 정량화하고, 색각 경검사(Anomaloscope) 및 가성동색표(Pseudoisochromatic plate) 검사와의 비교를 통해 선천색각이상의 유형과 중증도를 평가하는 것에 높은 특이성과 민감도를 가짐을 확인하였다.

또한 여러 연구에서 RCCT를 이용하여 녹내장이나, 황반 변성 등의 안과적 질환에서 발생하는 후천적 색각 변화를 연구하였다. Niwa et al¹⁴에 의하면, 녹내장을 진단받은 군은 정상인 대조군에 비해 M-CCT 및 L-CCT 점수가 낮음을 확인하였으며, 원뿔세포대비감도 점수는 시야검사 mean

Table 3. CCT-HD scores of the study groups

	Control	Protan	Deutan	p-value*
L-CCT	98.9 ± 2.9	13.0 ± 13.2	82.6 ± 10.0	<0.001
M-CCT	97.9 ± 4.4	71.5 ± 17.7	31.7 ± 16.6	<0.001
S-CCT	96.6 ± 5.6	90.9 ± 12.8	81.0 ± 18.3	<0.001
p-value†	-	<0.001	<0.001	-

Values are presented as mean ± standard deviation.
CCT-HD = cone contrast test HD; L/M/S-CCT = L/M/S cone contrast test.

*The Kruskal-Wallis test; †one-way analysis of variance.

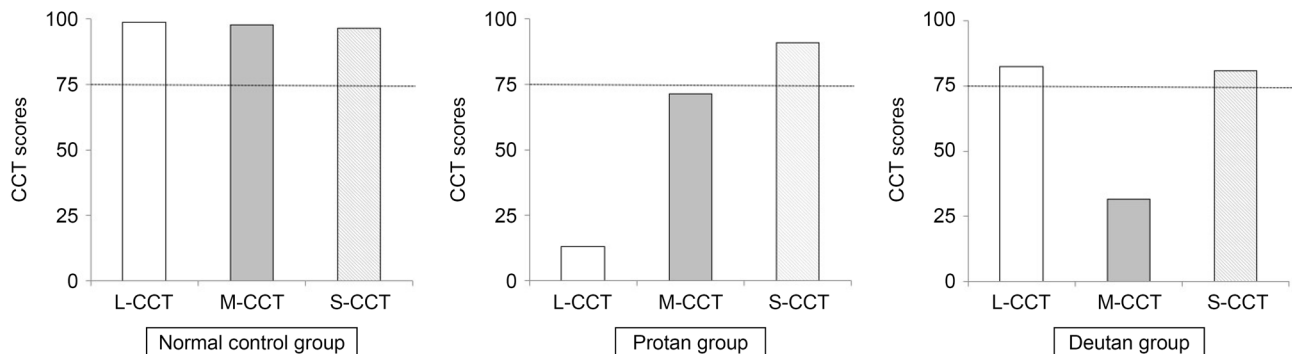


Figure 3. The mean long cone contrast test (L-CCT) score in the protan group and the medium (M)-CCT score in the deutan group are significantly lower than in the other groups ($p < 0.001$ for both comparisons by the Kruskal-Wallis test). There is no significant difference in the mean short (S)-CCT scores among the three groups ($p < 0.001$ by the Kruskal-Wallis test).

deviation (MD)값과 빛간섭단층촬영에서 얻은 신경절세포-내망상층 두께(ganglion cell-inner plexiform layer thickness) 와도 연관성이 있음을 확인하였다.

Cocce et al¹⁵은 중기 연령관련황반변성안(Intermediate age-related macular degeneration eye)이 정상안에 비해 L, M, S 원뿔세포, 모든 종류의 원뿔세포에서 기능이 떨어짐을 알아냈다. 본 연구에서 사용한 장비, CCT-HD는 2017년 미군 항공우주의학, Operational Based Vision Assessment Team과 협력하여 만든 기존의 Rabin CCT의 개선된 장비이다. CCT-HD는 향상된 하드웨어로 매우 정확한 색표현 및 색보정으로 이전보다 더 낮은 대비 검사 범위를 제공하고, 란돌트 C를 시표로 사용함으로 반응입력을 단순화시켰다. 이로써 Rabin CCT보다 더 정확하고 효율적인 색각검사 결과를 제공한다. 미공군은 현재 미공군 지원자 색각별 검사에서 Rabin CCT를 CCT-HD로 대체하여 사용하고 있다.¹¹

본 연구는 정상안을 대상으로 CCT-HD 검사 결과의 양안 일치도, 연령대별, 구면렌즈대응치에 따른 결과의 차이를 비교하였다. 또한 Nagel 색각경으로 색각이상인 진단된 색각이상안의 CCT-HD 검사 결과를 살펴보았다.

양안 검사를 시행한 대상으로 우안과 좌안의 원뿔세포대비감도 점수를 비교했을 때, 우안과 좌안의 결과값에 유의한 차이는 없었다. 따라서 검사 순서의 선행에 따른 피로도나, 교육 효과에 의한 영향은 적은 것으로 보인다.

선천색각이상은 대부분 열성 반성유전을 하고 출생 시부터 존재하며 양안의 종류와 정도가 동일한 특성을 가진다. 이런 특성으로 선천색각이상자의 경우 양안의 색각검사 결과가 비슷하게 나올 수 있다.¹⁶ 따라서 선천색각이상자를 대상으로 CCT-HD 검사를 할 때 단안검사만 시행하거나 양안으로 한 번만 검사하여 검사 효율을 높일 수 있을 것이다.

연령대와 CCT 점수와 유의한 연관성이 없음을 확인하였다. 하지만 본 연구에서는 10-40대의 정상안을 대상으로 하였으며 다양한 연령대가 포함되지 않았다. Fujikawa et al⁹은 정상 색각기능을 가진 정상안에서 RCCT 점수의 연령대에 따른 변화를 봤을 때, 10대에서 80대까지 연령대가 증가할수록, 원뿔세포대비감도 점수가 점진적으로 감소함을 보였다. 10대에서 60대까지 원뿔세포대비감도 점수가 정상 범위였으나, 70대에서 80대까지는 정상 범위보다 낮았다. 하지만 60대, 70대, 80대까지 위수정체안을 가진 대상으로 원뿔세포대비감도 점수를 비교했을 때, 연령대에 따른 RCCT 점수의 차이는 없었으며, 모두 정상 범위였다. 따라서 추후 나이에 따른 영향은 다양한 연령대의 많은 피험자 수를 대상으로 추가 연구가 필요하겠다.

Rucker and Kruger¹⁰는 정상인을 대상으로 Nagel 색각경을 이용해 굴절력에 따른 원뿔세포의 민감도를 본 결과, 근시가 심할수록 L 원뿔세포의 민감도가 높았다. 하지만 본 연구에서는 각막굴절수술을 받지 않은 피험자에서 구면렌즈대응치와 CCT 점수의 유의한 연관성은 없었다. 색각검사 장비의 차이에 의한 상반된 결과일수 있으나, 많은 피험자 수를 대상으로 추가 연구가 필요하겠다.

본 연구 결과에서 Nagel 색각경 결과를 기준으로 CCT-HD의 색각이상 판별 및 분류에서 100%의 민감도와 특이도를 보였다. 정상안의 경우 L, M 및 S-CCT 점수가 모두 75점 이상이었다. 제1색각이상안의 경우, L-CCT 점수가 다른 CCT 점수에 비해 가장 낮으면서, 75점 미만의 점수를 보였다. 제2색각이상안의 경우, M-CCT 점수가 다른 CCT 점수에 비해 가장 낮으면서, 75점 미만의 점수를 보였다.

제1색각이상안 중에서 L-CCT 점수뿐만 아니라 M 또는 S-CCT 점수가 75점 미만인 경우가 있었다. 마찬가지로 제2색각이상안 중에서 L 또는 S-CCT 점수가 기준에 미치지 못하는 경우도 있었다. 따라서 CCT-HD 결과 해석에 있어서, 한 종류의 CCT 점수를 기준으로 판정하지 않고, L, M 및 S-CCT 점수의 비교를 통해 가장 낮은 점수를 갖는 CCT 점수를 기준으로 색각이상의 유형을 분류해야 할 것이다.

우리나라에서 색각이상은 항공 직종, 해운 직종, 소방 직종, 경찰 공무원 등 여러 직업 군에서 채용 기준으로 사용하고 있어 정확한 분류 및 정도 판정은 중요하며, 선천색각이상 평가의 표준 검사인 Nagel 색각경을 이용해 색각이상의 종류와 정도를 판정한다. 하지만 Nagel 색각경검사는 1907년도에 고안된 오래된 검사 방법이며, 피검자가 검사를 이해하기 어려울 뿐만 아니라 검사자도 그 결과를 해석하는데 어려움이 있다.⁷ 1949년에 Farnsworth에 의해 고안된 FM 100-hue 검사는 다양한 색상을 포함하며 정량적 평가가 가능하지만 시간이 오래 걸리고 색약과 색맹의 구분이 어렵다.^{17,18} 이 두 검사는 현재까지 색각이상의 분류 및 중증도 판정에 표준적인 검사로 사용되지만, Nagel 색각경의 중증도 판정과 FM 100-hue 검사의 정량적 점수 사이에 정확도가 떨어질 뿐만 아니라 재현성이 낮음이 보고된 바 있다.¹⁹

이런 단점을 극복하고자 새로운 색각검사들이 개발되어 왔다. 디스플레이 기술 및 컴퓨터의 발전으로 색상 디스플레이를 완벽하게 구현할 수 있게 되었으며, 전산화를 통해 피험자는 보다 편하게 검사에 임할 수 있고, 검사자는 보다 쉬운 결과 해석을 얻을 수 있게 되었다. 서한전산화색각검사(Seohan computerized 85-hue test)는 서울대학교 의과대학 안과학교실과 한동대학교 전자전산공학부에서 공동으

로, FM 100-hue 검사를 모델로 한 색각검사 프로그램이 소개되었다.^{20,21} 이후, 서한전산화색각검사에 색상보정프로그램을 개발함으로 피험자에 맞는 색각인지를 향상시켜 검사의 충요점수를 감소시킬 수 있었다.²² 또한 Seoul National University 전산화색각검사는 가성동색상표로 구성된 색각검사로 색각이상의 진단에 있어서 높은 민감도와 분류의 정확성을 보여주었다.²³ 나아가 휴대용 테블릿 컴퓨터 화면을 이용해 비교적 간편하며 휴대성이 좋은 색각검사가 소개되었다. Optopad는 iPad를 이용한 색각검사로 이시하라 검사와 FM 100-hue 검사 결과와 상관관계가 있음이 보고됐다.²⁴

CCT-HD는 In-Plane Switching Liquid Crystal Display (IPS LCD)를 사용함으로 정확한 낮은 원뿔대비감도를 표현할 수 있고, 피험자에 맞는 자체적 색상 보정을 통해 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. Rabin CCT는 색각이상 분류에 있어서 색각경검사와 유사한 민감도와 특이도를 보였으며, 보다 빠르고 색각이상을 정량적으로 측정 가능한 장점을 가지고 있다.⁸ CCT-HD는 Rabin CCT의 개선된 장비인 만큼 위의 장점 이상으로 색각이상 판정에 있어 유용할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는, 대상자 수가 충분치 않아 통계적 신뢰도가 낮을 수 있다. 하지만 새로운 색각검사장비를 이용해 여러 인자에 대한 경향성을 확인했고, CCT-HD를 통해 제1 및 2색각이상 판정 및 유형 분류가 가능함을 확인하였다. 추후 더 많은 대상자를 모집하여 Nagel 색각경 및 FM 100-Hue와 같은 기존의 색각검사와 비교를 통해 선천 색각이상의 중증도 분류의 유용성을 확인할 예정이다.

CCT-HD의 장점을 요약하면 첫째로 기존 색각검사에 비해 빠른 검사 시간이 소요된다. Nagel 색각경, FM 100-Hue의 경우 양안 각각 검사시 약 20분 이상 소요되는 반면, CCT-HD는 양안 각각 검사시 약 10분 내로 소요된다. 둘째로 검사 방법이 간단해 검사자의 개입이 기존 색각검사에 비해 적다. 셋째로 기존 색각검사에 없었던 각 원뿔세포 종류별로 정량적 평가가 가능하여 보다 폭넓은 정보 제공이 가능하다. 따라서 원뿔세포 기능이 떨어지는 질환을 경과 관찰하는 데 있어서 각 원뿔세포의 기능 평가에 유용할 것으로 보인다. 뿐만 아니라 기존 색각검사에서 어려웠던 제3색각이상의 판정과 평가에도 유용할 것이다.

결론적으로 CCT-HD는 정상안에서 40대 이하의 연령대, 구면렌즈대응치에 따른 CCT-HD 점수에 미치는 유의한 영향은 없었다. 또한 원뿔세포 종류별 평가로 각 원뿔세포의 기능을 정량적 평가가 가능하여, 선천색각이상 진단에서 제1 및 2색각이상의 유형 분류 및 기능이 떨어진 원뿔세포의 평가에 유용할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- 1) Porkony J, Smith VC, Verriest G, Pinckers AJLG. Congenital and acquired color vision defects, 1st ed. New York: Grune & Stratton, 1979;120-5.
- 2) Um BS. Eye Exam, 3rd ed. Vol. 1. Goyang: naewaeaksool, 2013;105-14.
- 3) Thompson DG, Howarth F, Levy IS. Color blindness, a hazard to diabetics. Lancet 1978;1:44.
- 4) Thompson DG, Howarth F, Taylor H, et al. Defective colour vision in diabetes: a hazard to management. Br Med J 1979;1:859-60.
- 5) Francois J, Verriest G. Acquired dyschromatopsia. Ann Ocul (Paris) 1957;190:812-59.
- 6) Pearson P, Swanson WH, Fellman RL. Chromatic and achromatic defects in patients with progressing glaucoma. Vision Res 2001; 41:1215-27.
- 7) Nam MH, Son MS. Nagel's anomaloscope examination for subdivision of 100 cases of congenital color defects. J Korean Ophthalmol Soc 1980;21:511-5.
- 8) Rabin J, Gooch J, Ivan D. Rapid quantification of color vision: the cone contrast test. Invest Ophthalmol Vis Sci 2011;52:816-20.
- 9) Fujikawa M, Muraki S, Niwa Y, Ohji M. Evaluation of clinical validity of the Rabin cone contrast test in normal phakic or pseudophakic eyes and severely dichromatic eyes. Acta Ophthalmol 2018;96:e164-7.
- 10) Rucker FJ, Kruger PB. Cone contributions to signals for accommodation and the relationship to refractive error. Vision Res 2006; 46:3079-89.
- 11) Gaska J, Winterbottom M, van Atta A. Operational Based Vision Assessment Cone Contrast Test: Description and Operation. Fort Belvoir (VA): Defense Technical Information Center (US); 2016 Jun. 19 p. Report No.: ADA635957.
- 12) Swanson WH, Cohen JM. Color vision. Ophthalmol Clin North Am 2003;16:179-203.
- 13) Rabin J. Cone-specific measures of human color vision. Invest Ophthalmol Vis Sci 1996;37:2771-4.
- 14) Niwa Y, Muraki S, Naito F, et al. Evaluation of acquired color vision deficiency in glaucoma using the Rabin cone contrast test. Invest Ophthalmol Vis Sci 2014;55:6686-90.
- 15) Cocce KJ, Stinnett SS, Luhmann UFO, et al. Visual function endpoints in early and intermediate dry age-related macular degeneration for use as clinical trial endpoints. Am J Ophthalmol 2018; 189:127-38.
- 16) Foster DH. Inherited and Acquired Color Vision Deficiencies: fundamental aspects and clinical studies, 1st ed. Vol. 7. Boca Raton: CRC Press, 1991;32-45.
- 17) Cooper H, Bener A. Application of a LaserJet printer to plot the Farnsworth-Munsell 100-hue color test. Optom Vis Sci 1990;67: 372-6.
- 18) Smith VC, Pokorny J, Pass AS. Color-axis determination on the Farnsworth-Munsell 100-hue test. Am J Ophthalmol 1985;100: 176-82.
- 19) Birch J. Uses of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test in the examination of congenital colour vision defects. Ophthalmic Physiol Opt 1989;9:156-62.
- 20) Kim MS, Lu WN, Lee K, et al. Seohan Computerized Hue Test (1): The development of computerized color vision test and pilot study.

J Korean Ophthalmol Soc 2000;41:205-14.

21) Kim MS, Hwang JM, Wee WR, et al. Seohan Computerized Hue Test (2): total error scores according to the age in normal subjects and total error scores and central cap in color defectives. J Korean Ophthalmol Soc 2001;42:453-8.

22) Shin YJ, Wee WR, Lee JH, et al. Efficacy of the computer program to compensate color vision deficiency using Seohan Computerized 85-Hue Test. J Korean Ophthalmol Soc 2006;47:1638-46.

23) Shin YJ, Choi SY, Park KH, et al. The classification of congenital color vision deficiency by SNU Computerized Color Test. J Korean Ophthalmol Soc 2004;45:2099-104.

24) de Fez D, Luque MJ, Matea L, et al. New iPad-based test for the detection of color vision deficiencies. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2018;256:2349-60.

= 국문초록 =

한국인 정상안 및 선천색각이상안에서 원뿔세포대비감도의 평가

목적: 한국인 정상안 및 선천색각이상안을 대상으로 새로운 색각검사인 원뿔세포대비감도검사(ColorDx Cone contrast test HD[®] [CCT-HD]; Konan Medical, Inc., Irvine, CA, USA)를 평가하고자 한다.

대상과 방법: 건강한 한국인 정상안 66명, 125안 및 선천색각이상안 25명, 50안을 대상으로 CCT-HD를 시행하였다. 정상안에서 양안 검사 결과의 일치도 평가 및 연령대, 구면렌즈대응치에 따른 CCT-HD 결과 분석 및 선천색각이상안의 CCT-HD 결과와 비교 분석하였다.

결과: 정상안에서 양안의 장(L), 중(M), 단파장(S) 원뿔세포대비감도(L-CCT, M-CCT, S-CCT) 점수의 유의한 차이는 없었다. 또한 연령대에 따른 L, M 및 S-CCT 평균 점수의 유의한 차이는 없었고, 구면렌즈대응치와 각각의 CCT 점수 사이에 유의한 상관관계는 없었다. 정상안에서 L, M 및 S-CCT 점수는 모두 75점 이상이었다(정상 범위: ≥ 75 점). 제1색각이상안의 평균 L-CCT 점수는 13.0 ± 13.2 로 유의하게 낮았고($p < 0.001$), 제2색각이상안의 평균 M-CCT 점수는 31.7 ± 16.6 로 유의하게 낮았다($p < 0.001$). CCT-HD 검사의 L-CCT와 M-CCT는 각각 제1 및 2색각이상을 진단하는 데 100%의 민감도와 특이도를 보였다.

결론: CCT-HD 원뿔세포대비감도검사는 제1 및 2색각이상의 진단 및 분류에 새로운 색각검사 장비로서 유용할 것으로 기대된다. (대한안과학회지 2021;62(2):273-279)

이승현 / Seung Hyun Lee
 인하대학교 의과대학 안과학교실
 Department of Ophthalmology,
 Inha University School of Medicine

