

초시력 측정의 새로운 방법

A Novel Method for Hyperacuity Measurement

김진하¹ · 임기환¹ · 김윤택²

Jin Ha Kim, MD¹, Key Hwan Lim, MD, PhD¹, Yun Taek Kim, MD, PhD²

이화여자대학교 의과대학 안과학교실¹, 천안김안과²

Department of Ophthalmology, Ewha Womans University College of Medicine¹, Seoul, Korea
Cheonan Kim's Eye Clinic², Cheonan, Korea

Purpose: We developed a novel method for measurement of hyperacuity and verified the utility thereof.

Methods: We developed a three-dimensional (3D) hyperacuity test using a 3D liquid crystal flat screen, a left- and right-image polarized display, and liquid crystal shutter glasses. We tested the technique in three groups: normal ($n = 48$), with cataracts ($n = 14$), and with macular disease ($n = 35$). We used a chart consisting of five dots and a reference line. Of the five dots, one was variably shifted from the other dots. A chart was presented to one eye and the reference line or blank image to the other eye; a subject scored positive when the dot in the unusual position was recognized.

Results: Hyperacuity was measured in terms of the reference line seen by the reference eye (RR), a blank image seen by the reference eye (RB), the reference line seen by the contralateral eye (CR), and a blank image seen by the contralateral eye (CB). All test scores were significantly lower when the reference line was seen than not (RR vs. RB and CR vs. CB; $p < 0.01$, respectively). For the RR and CR tests, no significant difference was apparent between the normal and cataracts group ($p = 0.553$, $p = 0.494$) but such differences were evident between the normal and macular disease groups ($p = 0.028$, $p = 0.002$). Also, visualization of the reference line by the reference and contralateral eyes did not differ ($p > 0.05$).

Conclusions: Measurement of hyperacuity using our new method was not affected by media opacity but was significantly affected by macular disease. Presentation of a reference line facilitated hyperacuity assessment.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(2):175-182

Keywords: Hyperacuity, Vernier acuity, 3-Dimensional hyperacuity test

시력은 눈의 기능을 평가하는 데 가장 중요한 지표이다. 시력은 측정 방법이 매우 단순하며 특별한 장비를 필요로 하지 않으면서도 눈의 종합적인 기능을 평가할 수 있어 가장 중요한 눈의 기능 평가 방법으로 사용되고 있다. 그러나

이러한 장점에도 불구하고, 생리적인 맹점에 의해 생기는 오류나 암점 등에 의한 현상, 미세한 변화인 변형시 등을 평가하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 이를 평가하기 위한 방법으로 초시력이 제시되었다.

초시력(hyperacuity)이란 Vernier acuity라고도 불리는데 이는 두 물체의 상대적인 위치를 파악하는 능력 및 막대, 선, 점 등의 인접 자극 사이의 어긋남을 인식해낼 수 있는 최소 검출 능력으로 정의하고 있다.¹⁻³ 초시력은 망막 광수용체의 직경보다 더 작게 위치하게 되며, 그 역치값이 매우 낮아 이를 인지하는 방법은 특별한 능력이 요구되며 종종 이는 대뇌 시피질을 포함하는 신경계 작용을 거쳐 어긋남 정도를 인지하게 된다고 알려져 있다. 이러한 현상 때문에

■ Received: 2019. 9. 2. ■ Revised: 2019. 10. 24.

■ Accepted: 2020. 1. 17.

■ Address reprint requests to **Yun Taek Kim, MD, PhD**
Cheonan Kim's Eye Clinic, #92 Jungang-ro, Dongnam-gu,
Cheonan 31127, Korea
Tel: 82-41-551-1082, Fax: 82-41-555-2051
E-mail: jjongofhim@hanmail.com

* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

© 2020 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.

감각기관인 눈의 해상도보다 더 높은 실제 환경의 정보를 인식해 낼 수 있는 것으로 생각된다.^{4,6}

초시력검사는 사시, 약시, 부등시환자에서 사용할 수 있으며 나이와 교육의 정도 등 환자의 제한 없이 측정이 가능한 점, 백내장 등 매체 혼탁에 영향이 적은 점 등의 장점이 있어 시력 측정을 보완할 것이라는 기대가 있었으나, 초기 예상과 달리 아직 널리 이용되지 못하고 있다.⁷⁻¹¹ Amsler grid, Preferential hyperacuity perimetry (PHP) test, entoptic perimetry 등 초시력을 측정하는 검사들이 있으나, 높은 가격, 어려운 사용법, 낮은 민감도 등으로 인하여 보급이 더디다. 또한, 초시력 자체는 연령에 따른 영향이 적다고 알려져 있으나, 실제 검사를 시행할 때 고연령대의 환자들에게 검사 방법을 설명하는 것에는 어려움이 있다. 이에 지속적으로 새로운 검사 방법이 연구되고 있다.^{12,13}

저자들은 통상적인 초시력의 측정에 기준선을 제시하여, 보다 정밀하고 쉬운 초시력의 측정을 시도하였다. 이를 위해 한쪽 눈에 시표를 제시하고, 반대편 눈에 기준선을 제시하는 새로운 방법을 개발하여, 이의 유용성을 검증하고자 한다. 이를 위해 정상군과 매체 혼탁이 있는 군, 황반부의 이상이 있는 군을 대상으로 기준선을 제시하였을 때와 하지 않았을 때의 초시력을 측정하고, 이 결과를 보고하고자 한다.

대상과 방법

본 연구는 2015년 4월부터 2016년 8월까지 이대목동병원 안과에 내원한 59명과 자원자 44명을 대상으로 하였고, 안과적 질환의 기왕력이 없는 정상군, 매체혼탁의 영향을 관찰하기 위한 백내장군, 황반부 질환군으로 나누었다. 백내장군은 백내장수술의 대상자로 Lens Opacities Classification System III NS2 이상인 환자 15명, 황반부 질환군은 중심장액성맥락망막병증(central serous chorioretinopathy) 3명, 연령관련황반변성(age-related macular degeneration) 13명, 망막앞막(epiretinal membrane) 9명, 당뇨망막병증/망막정맥 폐쇄에 병발한 황반부종 10명으로 하였다. 모든 피험자는 세극등검사, 시력검사, 굴절검사, 안저검사를 시행 받았다. 정상군 중 -6.50D 이상 또는 +3.00D 이상의 굴절 이상, 녹내장 질환 또는 망막 질환이 관찰되거나 최대교정시력 logMAR 0.2 이상은 배제하였으며, 백내장군의 환자 중 망막 이상을 동반한 환자는 배제하였다.

초시력의 측정은 4명의 검사자에 의해 측정되었으며, 피험자의 나이, 시력, 병력, 굴절력, 전안부검사를 통한 매체 혼탁 여부, 안저검사를 통한 황반부 및 안저 상태 등을 수집하였다. 본 검사 시행 전 검사의 진행 과정과 방법을 자

세하게 설명하였고, 검사 방법은 숙달시키지 않은 상태로 즉시 검사를 시행하였다. 모든 검사 대상은 자발적으로 연구에 참여하였으며 기관윤리심의위원회의 심의에 따라 동의서 면제 승인 후 진행되었고 헬싱키선언을 준수하였다(승인 번호: 2017-07-028-003).

초시력 측정을 위해 개발된 기기는 기준 시표를 포함하는 이미지, 이미지를 보여주기 위한 모니터(LED TV, T27A750, Samsung, Yongin, Korea; 27 inch, 해상도 1,920 × 1,080 화소), 사람과 모니터의 거리 유지를 위한 고정대, 액정 차폐 방식의 3D 안경(3D Active Shutter Glasses, SSG-M3050GB, Samsung)으로 구성된다. 피험자는 편안한 자세로 모니터 앞에 앉아 고정대에 머리를 고정한다. 모니터에서 피험자의 눈까지의 거리는 30 cm이다. 피험자는 3D 안경을 착용하고 모니터에 제시되는 시표 중 하나를 고르게 된다(Fig. 1).

개발된 초시력계는 2가지 이미지의 시표로 구성되어 하나의 모니터에 투사되며, 피검자는 시표가 투사된 모니터를 셔터글라스(shutter glass) 방식의 안경을 통해 보도록 하였다. 2개의 이미지는 안경을 거치며 융합을 통해 하나의 이미지처럼 보이게 된다(Fig. 2). 시표 중 첫 번째 이미지는 5개의 점으로 구성되는데 4개의 점은 수평 일렬로 배치되어 있으나, 1개의 점은 일정한 정도(1-6 pixel)로 수직 방향으로 수평 일렬에서 벗어나도록 하였다(Fig. 3). 두 번째 이미지는 기준선을 실선으로 제시한 ‘기준선’ 또는 아무것도 없는 ‘빈 이미지’로 이루어져 있다. 이 두 이미지가 겹쳐져 5개의 점과 기준선이 함께 제시되어 있는 시표와 기준선 없이 5개의 점만 있는 시표가 단계별로 피험자에게 제시되도록 하였다.

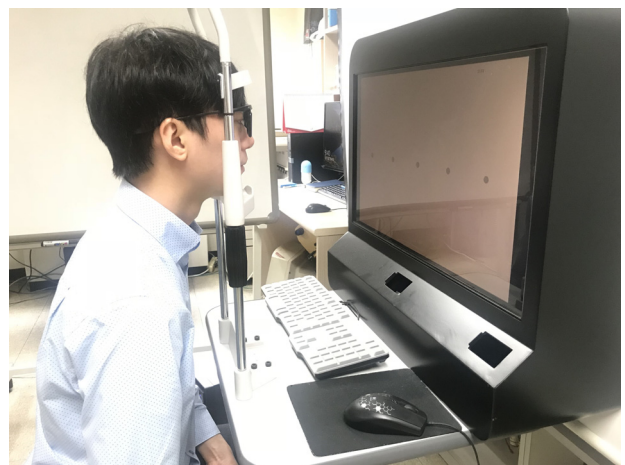


Figure 1. Actual measurement of hyperacuity. For binocular vision separation, the target was projected onto a polarization monitor and the subject wore polarized glasses (3 dimensional glasses) orthogonal to both eyes.

대상 안은 병변이 있는 눈, 병변이 없거나 양안성인 경우 교정시력이 낮은 눈, 병변이 없거나 양안성이면서 교정시력이 같은 경우는 우안으로 정하였다. 한 사람당 총 4번의 초시력 측정을 하였는데 대상 안에 기준선이 제시되고 반대안에 시표가 제시되는 경우(Reference eye-Reference line, RR), 대상 안에 빈 이미지가 제시되고 반대안에 시표가 제

시되는 경우(Reference eye-Blank image, RB), 대상 안에 시표가 제시되고 반대 안에 기준선이 제시되는 경우(Contralateral eye-Reference line, CR), 대상 안에 시표가 제시되고 반대 안에 빈 이미지가 제시되는 경우(Contralateral eye-Blank image, CB)로 나누어 측정하였다.

각 과정은 총 6단계의 초시력 시표로 구성되며 이는 기준선에서 각각 1-6 pixel의 벗어난 정도를 나타낸다(Fig. 3). 피험자에게 5개의 점 중 4개와 다른 위치에 있는 1개의 점을 고르도록 하였고, 피험자가 맞춘 시표 중 가장 작은 정도로 어긋난 시표를 초시력의 정도로 정의하였다. 점수는 1 pixel 떨어진 점을 인지하였을 때 1점, 6 pixel 떨어진 점을 인지하였을 때 6점으로 계산하였고 피험자가 모두 맞추지 못할 경우 8점을 부여하였다.

27인치 화면의 크기는 수평 598 mm, 수직 336 mm이며, $1,920 \times 1,080$ 화소이므로, 1 화소의 크기는 약 $311 \mu\text{m}$ 이고 모니터에서 환자의 눈까지의 거리는 300 mm이므로, 이에 해당하는 시각은 약 214 arcsec에 해당한다. 따라서, 1화소 어긋난 경우 이를 인지하는 시각은 214 arcsec라고 할 수 있으며 본 기기에서의 시표는 1-6 화소 어긋나 있으므로 이는 214-1,284 arcsec 어긋난 것을 인지하는 것에 해당한다.

통계 분석은 IBM SPSS Statistics (Version 24, IBM Corp., Armonk, NY, USA)이 사용되었으며, $p\text{-value} < 0.05$ 를 통계적으로 유의하다고 정의하였다. 각 그룹 간의 나이, 시력의 평균 및 표준편차를 계산하고, 그룹 간 비교를 위해 chi-square test, Mann-Whitney U test를 시행하였다. 기준선의 유무에 따른 초시력 점수의 평균 비교, 각 그룹 간 초시력 점수의 평균 비교, 기준선이 대상 안 또는 반대 안에 있을 때 차이가 있는지 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test, Mann-Whitney U test를 시행하였다. 또한 초시력과 다른 요인 간의 연관성에 대해 상관분석을 시행하였다.

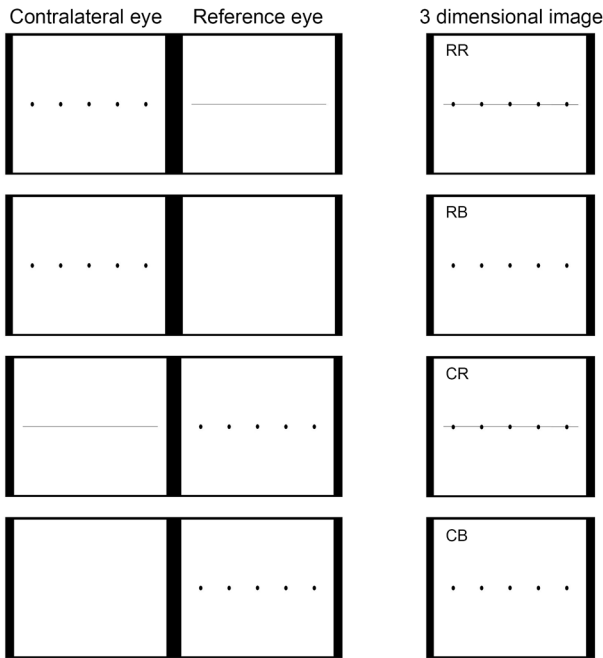


Figure 2. Chart developed for hyperacuity measurement. It consists of target images which consist of 5 dots with reference line and without reference line. When subject wears 3 dimensional (3D) glasses and looks at the target, it looks like a 3D image. RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye.

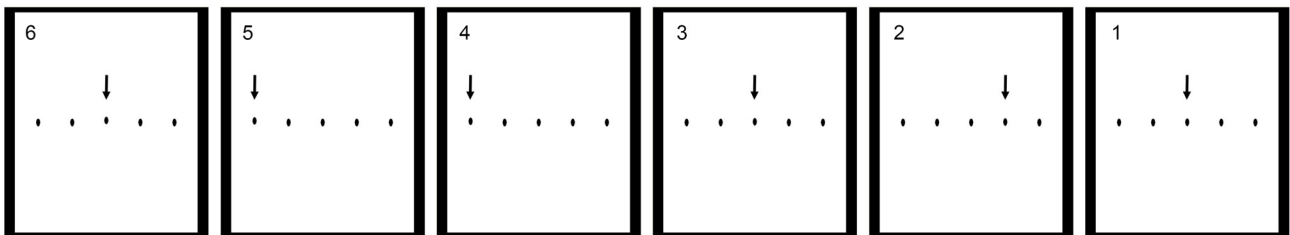


Figure 3. Chart developed for hyperacuity measurement. This image consists of five dots. Randomly one of five dots is out of baseline. Grades are from 6 to 1, and are indicated at the upper left of each chart. Each grade means that the deviation is from 6 pixel to 1 pixel from the baseline. In the figure above, grade 6 (the first chart on the left) is a dot 6 pixel away from the baseline, which corresponds to the third dot (The downwards arrow points to the dot that is out of the baseline, which does not appear in the actual chart).

Table 1. Demographics of the study

Characteristic	Normal (n = 48)	Cataract (n = 14)	Macular disease (n = 35)	Total (n = 97)	p-value *
Age (years)	33.67 ± 11.71	65.71 ± 11.79	62.77 ± 11.73	48.79 ± 19.03	<0.01
Visual acuity (logMAR)	0.02 ± 0.04	0.33 ± 0.37	0.30 ± 0.23	0.17 ± 0.24	<0.01
Sex					
Male	2	9	18	29	<0.01
Female	46	5	17	68	
Hyperacuity					
RR	3.79 ± 1.80	4.29 ± 2.23	5.00 ± 2.54	4.30 ± 2.20	0.088
RB	6.31 ± 1.43	6.21 ± 1.58	6.77 ± 1.52	6.46 ± 1.49	0.173
CR	3.77 ± 1.85	3.43 ± 1.95	5.29 ± 2.38	4.27 ± 2.19	0.004
CB	5.83 ± 1.60	6.71 ± 1.44	6.49 ± 1.46	6.20 ± 1.56	0.099

Values are presented as mean ± standard deviation or number.

RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye;

CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye.

*p-value is obtained from chi-square statistics for sex and other is calculated by analysis of variance.

Table 2. Difference in hyperacuity with or without reference line

Group	RR	RB	CR	CB	RR vs. RB*	CR vs. CB*
Total	4.30 ± 2.20	6.46 ± 1.49	4.27 ± 2.19	6.20 ± 1.56	<0.01	<0.01
Normal	3.79 ± 1.80	6.31 ± 1.43	3.77 ± 1.85	5.83 ± 1.60	<0.01	<0.01
Cataract	4.29 ± 2.23	6.21 ± 1.58	3.43 ± 1.95	6.71 ± 1.44	0.010	0.003
Macular ds.	5.00 ± 2.54	6.77 ± 1.52	5.29 ± 2.38	6.49 ± 1.46	0.001	0.012

All groups can detect more sensitively than when there is no reference line. Values are presented as mean ± standard deviation.

RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye; Macular ds. = macular disease.

*p-value is obtained from Wilcoxon signed rank test.

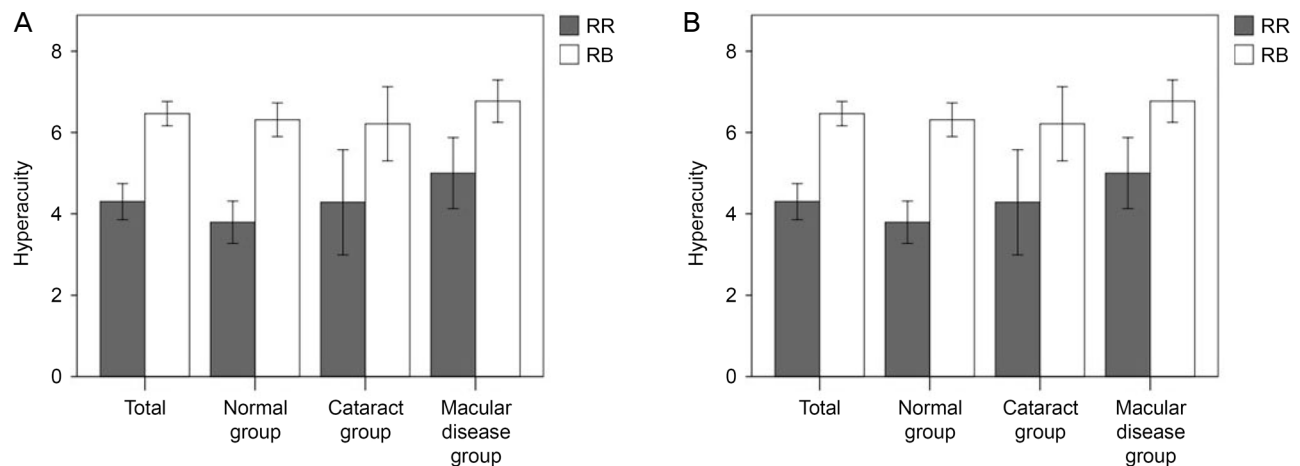


Figure 4. Difference in hyperacuity with or without reference line. The analysis was divided into two cases: Reference line on the reference eye (A) and the contralateral eye (B). All groups can detect more sensitively than when there is no reference line (all $p < 0.05$). p-value is obtained from Wilcoxon signed rank test. RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye.

결 과

총 103명의 피험자의 초시력을 측정하였다. 이 중 -6.50D 이상 또는 +3.00D 이상의 굴절이상(4명), 백내장군의 환자 중 망막 이상을 동반한 환자(1명), 불충분한 검사 정보(1명)로 6명의 피험자는 통계 분석에서 제외하였고, 총 97명의 피험자를 대상으로 분석하였다(Table 1).

나이는 정상군이 33.67 ± 11.71 세로 백내장군(65.71 ± 11.79 세), 황반부 질환군(62.77 ± 11.73 세)에 비해 통계적으로 유의하게 나이가 적었으며($p < 0.01$), 백내장군과 황반부 질환군은 나이 차이가 없었다($p = 0.824$). 대상 안의 시력은 정상군은 $\log\text{MAR } 0.02 \pm 0.04$ 로 백내장군($\log\text{MAR } 0.33 \pm 0.37$), 황반부 질환군($\log\text{MAR } 0.30 \pm 0.23$)에 비해 통계적으로 유의하게 시력이 좋았으며($p < 0.01$), 백내장군과 황반부 질환군은 차이가 없었다($p = 0.562$).

기준선의 유무에 따른 초시력의 차이를 관찰하기 위해 RR과 RB, CR과 CB를 비교하였다(Table 2, Fig. 4). 전체 피험자를 대상으로 분석한 결과 RR 4.30 ± 2.20 점, RB 6.46 ± 1.49 점, CR 4.27 ± 2.19 점, CB 6.20 ± 1.56 점으로 기준선이 제시되었을 때가 기준선이 없는 경우에 비해 점수가 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.01$). 정상군에서는 RR 3.79 ± 1.80 점, RB 6.31 ± 1.43 점, CR 3.77 ± 1.85 점, CB 5.83 ± 1.60 점으로 기준선이 있을 때 점수가 낮았다($p < 0.01$). 백내장군에서 RR 4.29 ± 2.23 점, RB 6.21 ± 1.58 점, CR 3.43 ± 1.95 점, CB 6.71 ± 1.44 점으로 기준선이 제시되었을 때 점수가 낮았으며($p = 0.010$, $p = 0.003$), 마찬가지로 황반부 질환군에서 RR 5.00 ± 2.54 점, RB 6.77 ± 1.52 점, CR 5.29 ± 2.38 점, CB 6.49 ± 1.46 점으로 기준선이 제시되었을 때 기준선이 없는 경우에 비해 점수가 낮게 측정되었다($p = 0.001$, $p = 0.012$).

환자군에 따른 초시력의 차이를 비교하기 위해 정상군과 백내장군, 정상군과 황반부 질환군을 비교하였다(Table 3, Fig. 5). 정상군과 백내장군, 황반부 질환군의 RR 점수를

비교한 결과 정상군 3.79 ± 1.80 점, 백내장군 4.29 ± 2.23 점, 황반부 질환군 5.08 ± 2.56 점이며 정상군과 백내장군은 차이를 보이지 않았으나($p = 0.553$), 정상군은 황반부 질환군에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 점수가 관찰되었다($p = 0.028$). RB 점수를 비교한 결과 정상군 6.31 ± 1.43 점, 백내장군 6.21 ± 1.58 점, 황반부 질환군 6.75 ± 1.50 점이며, 정상군과 백내장군, 황반부 질환군은 모두 차이를 보이지 않았다($p = 0.794$, $p = 0.077$). 마찬가지로 CR 점수를 비교한 결과 정상군 3.77 ± 1.85 점, 백내장군 3.43 ± 1.95 점, 황반부 질환군 5.36 ± 2.39 점이며, 정상군과 백내장군은 차이를 보이지 않았으나($p = 0.494$), 정상군은 황반부 질환군에 비해 낮은 점수가 관찰되었다($p = 0.002$). CB 점수를 비교한 결과 정상군 5.83 ± 1.60 점, 백내장군 6.71 ± 1.44 점, 황반부 질환군 6.53 ± 1.46 점으로 정상군과 백내장군, 황반부 질환군은 모

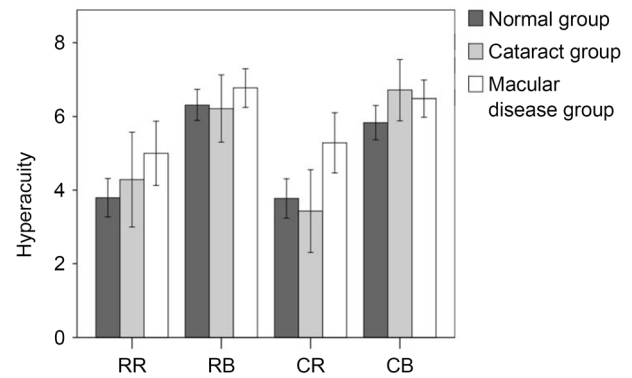


Figure 5. Difference in hyperacuity by group. Normal group and cataract group showed no difference in hyperacuity, but normal group and macular disease showed significant differences in RR ($p = 0.028$) and CR ($p = 0.002$). p -value is obtained from Mann-Whitney U test. RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye.

Table 3. Difference in hyperacuity by group

Hyperacuity	Normal	Cataract	Macular ds.	Normal vs. cataract*	Normal vs. macular ds.*
RR	3.79 ± 1.80	4.29 ± 2.23	5.08 ± 2.56	0.553	0.028
RB	6.31 ± 1.43	6.21 ± 1.58	6.75 ± 1.50	0.794	0.077
CR	3.77 ± 1.85	3.43 ± 1.95	5.36 ± 2.39	0.494	0.002
CB	5.83 ± 1.60	6.71 ± 1.44	6.53 ± 1.46	0.082	0.086

Normal group and cataract group showed no difference in hyperacuity, but normal group and macular disease showed significant differences in RR and CR. Values are presented as mean \pm standard deviation.

Macular ds. = macular disease; RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; RB = reference eye has a blank image and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; CB = reference eye has dots and blank image on the contralateral eye.

* p -value is obtained from Mann-Whitney U test.

두 차이를 보이지 않았다($p=0.082$, $p=0.086$).

기준선이 어느 눈에 있을 때 유용한 검사인지 확인하기 위해 RR과 CR을 비교하였다(Table 4, Fig. 6). 대상 안에 기준선을 제시하였을 때와 반대안에 기준선을 제시하였을 때 모든 군에서 차이가 없었다(각각 $p>0.05$).

초시력과 다른 요인의 관계를 평가하는 데 있어 성별은 Mann-Whitney U test를, 나이와 시력은 상관분석을 시행하였다. 초시력은 성별에 따른 차이가 없었으며(모두 $p>0.05$) 초시력과 나이(RR, $r=0.249$, $p=0.01$; CR, $r=0.298$, $p<0.01$), 시력(RR, $r=0.325$, $p<0.01$; CR, $r=0.321$, $p<0.01$)은 양의 상관관계가 있었으나, 상관 계수는 낮았다.

Table 4. Difference in hyperacuity depending on site of reference line

Group	RR	CR	RR vs. CR*
Total	4.30 \pm 2.20	4.27 \pm 2.19	0.892
Normal	3.79 \pm 1.80	3.77 \pm 1.85	0.952
Cataract	4.29 \pm 2.23	3.43 \pm 1.95	0.072
Macular ds.	5.00 \pm 2.54	5.29 \pm 2.38	0.476

There is no difference in the hyperacuity when the reference line is in the reference eye or contralateral eye. Values are presented as mean \pm standard deviation.

RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye; Macular ds. = macular disease.

* p -value is obtained from Wilcoxon signed rank test.

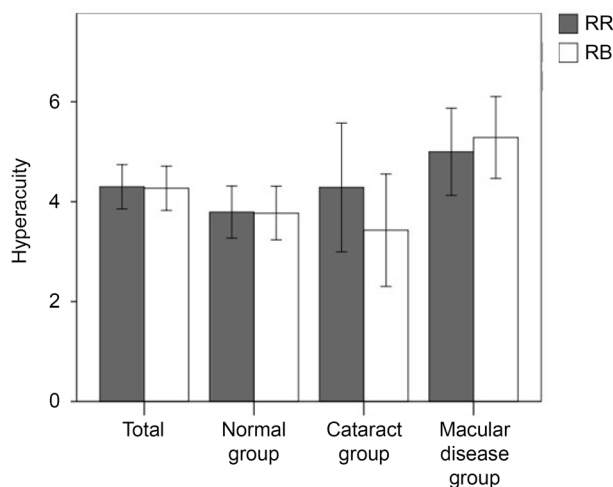


Figure 6. Difference in hyperacuity depending on site of reference line. There is no difference in the hyperacuity when the reference line is in the reference eye or contralateral eye. p -value is obtained from Wilcoxon signed rank test. RR = reference eye has a reference line and dots on the contralateral eye; CR = reference eye has dots and reference line on the contralateral eye.

고찰

초시력은 인접 자극의 상대적인 위치를 인식하는 검출 능력을 기반으로 하는 시기능으로 자극의 해상도에 기반한 기존의 Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS), Snellen 등의 시력에 비해 역치가 낮아 망막 또는 시각 신경계 평가에 적합하다고 알려져 있다.^{1,3,14-16} 현재 초시력을 측정하는 방법은 널리 알려져 있는 Amsler grid가 있으며 Entoptic perimetry, PHP 등이 있다.^{5,7,11} Amsler grid는 손쉽게 사용할 수 있으며 어디서든지 검사를 시행할 수 있다는 장점이 있지만, 민감도가 떨어지고, 순응도가 저조하여 초기 황반변성환자에서 이를 발견할 수 있는 비율이 30% 정도 밖에 되지 않는다. Entoptic perimetry는 컴퓨터 모니터 또는 TV 모니터를 사용하여 시행할 수 있어 손쉽게 접근할 수 있지만, 민감도가 떨어지며 정량적인 검사가 아닌 정성적인 검사라는 단점이 있다. PHP는 정량적이고 높은 양성 예측치가 장점이지만 검사할 수 있는 기계가 비싸고 검사 방법이 어려운 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 초시력을 측정할 수 있는 새로운 검사 방법을 개발하고 검사 방법의 유용성을 알아보고자 하였다. 본 연구에서는 아나글리프(anaglyph) 방식이나 편광 3D 안경을 사용하지 않고 셔터글라스를 이용하였다. 아나글리프 방식은 손쉽게 구할 수 있으며 값이 저렴하다는 장점이 있으나 풀 컬러 이미지를 포함하지 못해 좌우안의 완전한 분리가 되지 않을 수 있고, 이에 교차간섭(crosstalk)이 발생하게 되어 반대안에 이미지가 전달(잔상, after-image)될 수 있다. 통상적인 입체 영상의 시청에서는 크게 문제가 되지 않을 수 있으나, 정밀함을 필요로 하는 초시력의 측정에는 문제가 될 수 있다고 판단하였다. 편광 3D 안경은 잔상이 없다는 장점이 있으나, 원리상 수직 해상도가 절반으로 줄어들면서 단안시에서 수평선 사이의 줄이 보일 수 있고, 1화소 만큼 양안 화소의 수직 변위가 있는데, 본 연구에서는 수평 일렬에서 수직 편위를 만들어 초시력을 살펴보았기 때문에 적절하지 않다. 셔터글라스 방식은 좌우안의 완전한 분리가 가능하여 이미지간 융합을 일으키지 않으며, 높은 해상도를 구현해낼 수 있어 초시력 측정 시 적합한 장치로 생각하였다.

본 연구에서 시행한 4번의 초시력 검사에서 모든 점수가 8점인 피험자는 검사 방법을 이해하지 못한 것으로 간주하였을 때, 검사 방법을 이해하지 못한 피험자는 전체 97명 중 6명이었기 때문에, 약 93.81%의 환자는 충분히 이해하고 검사를 수행할 수 있었을 것이다. 피험자 중 60세 이상이 42.27%로 고령의 환자가 다수 포함되었음을 고려한다면 본 검사는 환자가 이해하기 충분히 쉬운 검사라고 생각

된다. 이는 기존의 초시력 검사가 어렵다는 의견을 고려하였을 때 다양한 환자군에서 수월하게 사용할 수 있는 장점이 된다.

우리는 초시력 측정 시 제시된 기준선이 초시력의 역치값을 낮춰 검사의 민감도가 높아질 것으로 예상하였는데, Table 2에서 보듯 3개의 군 모두에서 기준선이 있을 때 기준선이 없는 경우에 비해 초시력을 더 예민하게 측정할 수 있었다. 또한 실제로 많은 수의 피험자들이 검사 시 기준선이 있을 때 더 수월하게 검사를 진행한 모습이 관찰되었는데, 이는 초시력 측정 시 기준선이 함께 제시되었을 때 피험자가 느끼기에 검사가 용이하며 직관적이어서 평가 시 더욱 유용함을 알 수 있다. 즉, 기준선은 초시력 측정의 민감도를 높일 가능성이 있음을 시사한다.

본 연구에서 정상군과 백내장 군의 초시력은 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 정상군과 황반부 질환군의 초시력은 차이가 있었는데(Table 3), 이는 초시력이 매체 혼탁에 영향을 받지 않았던 Keane et al¹⁶과 Enoch et al⁵의 연구 결과와 동일하며, 연령관련황반변성과 같은 황반부 질환 평가에 초시력이 유용함을 보여준다. 또한 망막-신경 시각계 평가에 유용하다는 기존의 연구 결과에 기반하여 모집된 황반부 질환이 있는 환자군에서는 매체 혼탁군과 달리 정상군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.028$, $p=0.002$). 특히, 최대교정시력 결과에서 백내장군 logMAR 0.33, 황반부 질환군 logMAR 0.31로 두 군 간의 차이가 없었으나 초시력 결과에서 백내장군은 정상군과 차이가 없었던($p=0.553$, $p=0.494$) 반면, 황반부 질환군은 정상군과 통계적으로 유의한 차이가 있었다는 점($p=0.028$, $p=0.002$)은 특기할 만하다. 이는 보편적으로 사용되는 시력검사 방법과는 달리 초시력이 황반부 질환이 있는 경우 매우 유용한 시기능 평가 방법이 될 수 있다는 근거가 된다.

처음에 기준선이 대상 안에 있을 때와 반대안에 있을 때 측정된 초시력에 차이가 있을 수 있다고 생각하였으나, 통계적으로 유의한 차이가 없었으므로(Table 4), 실제 임상 적용에서도 기준선을 어느 쪽에 제시하여야 할지 고민할 필요 없는 쉬운 검사 방법을 제안할 수 있을 것이다.

비록 부족한 대상자 수로 각 그룹 간 비교에 어려움이 있었으며, 각 그룹의 인구학적 통계에 다소 차이가 있어 통계 결과에 영향을 미칠 수도 있다는 점은 제한점으로 생각한다. 이는 향후 많은 수의 대상을 통한 연구 및 변인 통계로 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다. 또한 본 연구에서는 기준선을 수평선으로만 제시하였는데, 사선의 경우 디스플레이 특성상 사선이 연속선이 아닌 계단 모양으로 선이 제시되기 때문에 시도하지 않았다. 기준선을 수직선으로 제시하였을 때의 초시력은 향후 많은 수의 대상을 통

한 추가 연구를 진행하여 수직 방향 초시력을 측정해보면 좋을 것으로 생각한다.

황반부 질환이 있는 환자군에서 시기에 따른 초시력 평가 및 비교를 통해 초기에 황반부 이상을 예측할 수 있는 인자에 대한 연구가 추가적으로 이루어질 것을 기대한다. 본 연구에서는 20세 이하의 피험자가 없었는데, 추후 보편적인 시력검사가 되지 않는 소아에서 시행하여 스넬렌 차트 등을 대체할 수 있는 새로운 시력검사 방법의 가능성을 알아볼 수 있을 것으로 생각한다. 또한 초시력 평가가 유용하다고 알려져 있는 기능적 약시, 부등상시에서도 이를 통해 진단 및 평가에 도움이 될 것을 기대한다. 나아가 예전의 핸드폰의 경우 해상도가 낮아 초시력을 측정하는 화면으로의 구현이 어려웠으나, 현재 대중적으로 판매되는 기기의 경우 해상도가 높아 초시력을 측정하는 화면의 구현이 가능할 것으로 보인다. 이에 좌우안의 분리가 가능한 가상현실기기(virtual reality)를 이용하여 초시력을 측정하는 검사를 구현할 수 있을 것으로 생각되며 현재 개발 중에 있다.

결론적으로, 본 연구에서 사용된 새롭게 개발한 초시력 평가 기기는 초시력을 평가하기에 적합한 검사 방법이며, 특히 기준선의 제시는 초시력 측정의 민감도를 높이는 데 유용하게 사용될 수 있다. 또한 새로운 초시력 측정 방법은 검사가 용이하고 학습 곡선이 낮아 나이, 시력 등에 제한 없이 광범위하게 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Chaikitmongkol V, Bressler NM, Bressler SB. Early detection of choroidal neovascularization facilitated with a home monitoring program in age-related macular degeneration. Retin Cases Brief Rep 2015;9:33-7.
- 2) Lakshminarayanan V, Aziz S, Enoch J. Quantification of metamorphopsia using hyperacuity techniques. Optom Vis Sci 1991;68: 942-5.
- 3) Westheimer G. The spatial sense of the eye. Proctor lecture. Invest Ophthalmol Vis Sci 1979;18:893-912.
- 4) Essock EA, Williams RA, Enoch JM, Raphael S. The effects of image degradation by cataract on vernier acuity. Invest Ophthalmol Vis Sci 1984;25:1043-50.
- 5) Enoch J, Williams R, Essock E, Fendick M. Hyperacuity: a promising means of evaluating vision through cataract. Progress in Retinal Research 1985;4:67-88.
- 6) Whitaker D, Buckingham T. Theory and evidence for a clinical hyperacuity test. Ophthalmic Physiol Opt 1987;7:431-5.
- 7) Enoch JM, Williams RA, Essock EA, Barricks M. Hyperacuity perimetry. Assessment of macular function through ocular opacities. Arch Ophthalmol 1984;102:1164-8.
- 8) Simunovic MP. Metamorphopsia and its quantification. Retina 2015;35:1285-91.

- 9) Enoch JM, Knowles RA, inventors; University of California, assignee. Method for evaluating metamorphopsia. United States patent US 4,798,456. 1987 Mar 23.
- 10) Wylegala E, Pilat J, Teper S, et al. Monitoring of photodynamic therapy results in age-related macular degeneration by means of preferential hyperacuity perimeter. Eur J Ophthalmol 2007;17: 768-75.
- 11) Loewenstein A, Malach R, Goldstein M, et al. Replacing the Amsler grid: a new method for monitoring patients with age-related macular degeneration. Ophthalmology 2003;110:966-70.
- 12) Ku JY, Milling AF, Pitrelli Vazquez N, Knox PC. Performance, usability and comparison of two versions of a new macular vision test: the handheld Radial Shape Discrimination test. Peer J 2016;4:e2650.
- 13) Mohaghegh N, Zadeh EG, Magierowski S. Wearable diagnostic system for age-related macular degeneration. 38th Annual International Conference of the IEEE EBMC; 2016 Oct 18; Orlando, FL. Piscataway (NJ): Engineering in Medicine and Biology Society; c2016. p. 6006-9.
- 14) Kim M, Yu SY, Kwak HW. Association between hyperacuity defects and retinal microstructure in polypoidal choroidal vasculopathy. Indian J Ophthalmol 2014;62:702-6.
- 15) Casalino G, Del Turco C, Corvi F, et al. Short-term retinal sensitivity and metamorphopsia changes following half-fluence photodynamic therapy in central serous chorioretinopathy. Ophthalmic Res 2016;56:23-9.
- 16) Keane PA, de Salvo G, Sim DA, et al. Strategies for improving early detection and diagnosis of neovascular age-related macular degeneration. Clin Ophthalmol 2015;9:353-66.

= 국문초록 =

초시력 측정의 새로운 방법

목적: 초시력을 측정하는 새로운 방법을 개발하고 검사의 유용성을 검증하고자 한다.

대상과 방법: 좌우 영상 교대 표시와 이에 맞춘 액정 차폐 안경을 이용한 3차원(3D) 액정 평판 화면으로 3D 초시력 검사를 개발하였다. 3D 초시력 검사는 정상군(48명), 백내장군(14명), 황반부 질환군(35명)으로 총 세 군에서 시행하였다. 5개의 점으로 구성된 시표와 기준선 영상을 제작하였는데, 5개 점의 시표는 1개의 점이 단계에 따라 다른 점들과 어긋나 있다. 한쪽 눈에는 시표를 보여주었고, 반대편 눈에는 기준선 혹은 빈 영상을 보여주면서 피검자가 다른 위치에 있는 1개의 점을 인식하는 경우 이를 점수화하였다.

결과: 대상 안에 기준선 이미지가 있을 때(RR), 대상 안에 빈 이미지가 있을 때(RB), 반대 안에 기준선 이미지가 있을 때(CR), 반대 안에 빈 이미지가 있을 때(CB) 총 네 경우의 초시력을 측정하였다. 세 군 모두 RR 대 RB, CR 대 CB에서 기준선이 없을 때에 비해 있을 때 초시력 점수가 더 낮았다($p < 0.01$, 각각). RR과 CR에서 초시력 점수는 정상군과 백내장군에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으나($p=0.553$, $p=0.494$) 정상군과 황반부 질환군은 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다($p=0.028$, $p=0.002$). 또한 기준선이 대상 안에 위치할 때와 반대 안에 위치할 때의 초시력 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$, 각각).

결론: 새로운 초시력 측정의 방법은 매체 혼탁에 영향을 받지 않으나 황반부 질환에는 유의한 차이를 보인다. 또한 기준선의 제시는 검사를 보다 쉽고 간편하게 사용할 수 있게 한다.

〈대한안과학회지 2020;61(2):175-182〉

김진하 / Jin Ha Kim

이화여자대학교 의과대학 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Ewha Womans University College of
Medicine

