

소아에서 망막검영법과 자동굴절검사로 시행한 현성굴절검사와 조절마비굴절검사의 비교

Comparison of Manifest Refraction and Cycloplegic Refraction Using Retinoscopy or an Autorefractor in Children

박아람 · 정승아

Aram Park, MD, Seung Ah Chung, MD, PhD

아주대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

Purpose: To compare the measurements between manifest refraction and cycloplegic refraction using retinoscopy or an autorefractor in children and to investigate factors affecting the difference.

Methods: A total of 388 children with a mean age of 7.4 ± 3.6 years were examined using retinoscopy and a Grand Seiko GR-3500KA autorefractor before and after cycloplegia. We compared the difference in spherical and cylindrical components between refractions and analyzed the results according to gender, age, type of refractive error, amblyopia, strabismus, and neuro-developmental disorder. A difference in refractions of ± 0.50 D or more was considered as a significant discrepancy.

Results: Before cycloplegia, the spherical portion of the refractive error via autorefractor measurement was more myopic than for the retinoscopic measurement in 47.2% of patients, and the cylindrical portion was greater in 37.1%. The spherical discrepancies were more common in children aged < 7 years, with hyperopia, or amblyopia (respectively, $p = 0.002$, $p < 0.001$, and $p = 0.033$). After cycloplegia, the spherical component of the refractive error by auto-refraction differed from retinoscopic measurement in 29.4% of patients, and the cylindrical portion differed in 30.7%. However, the difference was not significant and there was no difference according to clinical features. More than half of the children with discrepancies in the spherical component between retinoscopic refractions before and after cycloplegia had a discrepancy between auto-refraction and retinoscopic refraction before cycloplegia, and the two discrepancies had a significant correlation.

Conclusions: Auto-refraction after cycloplegia can estimate retinoscopic values partially. Nevertheless, 30% of the children still showed a discrepancy. The discrepancy of manifest refraction or auto-refraction compared to retinoscopic refraction with cycloplegia should be considered in younger children, cases with hyperopia or amblyopia, and cases with a difference in auto-refraction and retinoscopic refraction before cycloplegia.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(8):1274-1281

Keywords: Auto-refraction, Cycloplegic refraction, Discrepancy, Manifest refraction, Retinoscopic refraction

■ Received: 2016. 4. 7. ■ Revised: 2016. 6. 6.

■ Accepted: 2016. 7. 7.

■ Address reprint requests to **Seung Ah Chung, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Ajou University Hospital,
#164 World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Korea
Tel: 82-31-219-5257, Fax: 82-31-219-5259
E-mail: mingming8@naver.com

굴절이상은 여전히 소아 시력저하의 80% 이상을 차지하는 주된 원인이다.¹ 따라서 굴절검사는 안과, 특히 소아안과에서 가장 기본적이고도 중요한 검사이다.^{1,2} 조절력이 강한 소아에서는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사 결과를 바탕으로, 여러 자각적 굴절검사 결과를 고려한 것이 가장 정확하지만, 이를 위해서는 비교적 많은 시간과 검사자의 숙련도가 필요하다.²⁻⁵ 반면, 자동굴절검사는 비교적 손

© 2016 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.

쉽게 사용할 수 있어서 많이 시행되고 있다. 하지만 망막검영법에 의한 굴절검사 결과와 차이가 있을 수 있고, 특히 원시가 많은 소아에서는 그 차이가 더욱 큰 것으로 알려져 있다.^{2,6} 일반적으로 자동굴절검사보다는 망막검영법에 의한 검사가, 또한 소아에서는 현성굴절검사보다는 조절마비 굴절검사가 보다 정확한 검사라고 생각되고 있다.^{2,8}

하지만 바쁜 안과 외래에서 모든 소아에게 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사를 시행하는 것이 용이한 일은 아니다.³ 또한 대규모 인구집단을 대상으로 하는 약시 선별검사나 근시에 대한 역학연구들에서는 자동굴절검사를 이용하여 연구를 진행하는 경우가 흔하다.^{1,5-11} 자동굴절검사의 정확성을 보다 높이기 위해 조절마비제를 점안한 후 검사를 시행하기도 하지만 그 결과에 대해서는 아직도 이견이 있다.¹²⁻¹⁵ 검사안의 조절작용을 줄이기 위한 자동굴절검사장비의 발달이 이루어지고 있지만, 최근 10년 동안 소아를 대상으로 한 국내연구가 없었다.^{3,4} 이에 현재까지 보고된 국내연구 가운데 가장 많은 소아를 대상으로 자동굴절검사와 망막검영법에 의한 굴절검사를 비교하는 연구를 진행하게 되었다. 만약 굴절검사 간 결과 차이가 보이는 환자들의 특징을 확인할 수 있으면 굴절검사 선별에 도움을 받을 수 있을 것이고, 자동굴절검사와 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사와의 관련성을 알 수 있다면 앞으로 국내 소아를 대상으로 진행되는 자동굴절검사를 이용한 대규모 연구결과를 해석하는 데 참고자료가 될 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 소아에서 조절마비 전후 자동굴절검사를 망막검영법에 의한 굴절검사와 비교하고, 검사 간 차이와 관련된 인자를 알아보았다.

대상과 방법

2014년 3월부터 2015년 2월까지 본원 안과에서 조절마비 전후 망막검영법과 자동굴절검사를 시행한 4세부터 12세 사이의 소아 388명 776안을 대상으로 하였다. 협조가 원활하여 4번의 굴절검사를 동일한 날에 모두 시행한 경우, 시력표의 숫자나 그림을 가독하여 시력을 측정할 수 있는 경우만 포함하였다.^{16,17} 측정된 굴절력의 검사 간 차이를 비교하였고, 성별, 나이, 굴절이상 종류, 굴절부등, 약시, 사시, 전신질환 동반유무에 따른 차이가 있는지 후향적으로 조사하였다.

조절마비제를 점안하기 전 자동굴절검사와 망막검영법에 의한 굴절검사를 순서대로 시행한 후, 1% cyclopentolate (Ocucyclo[®], Samil, Seoul, Korea)와 0.5% phenylephrine과 0.5% tropicamide 혼합제(Mydrin P[®], Santen, Osaka, Japan)를 양안에 5분 간격으로 3회 점안하였다. 첫 점안으로부터

1시간 이상 지난 후, 동공의 빛반사가 없고 충분히 산동된 것을 확인한 뒤 자동굴절검사와 망막검영법에 의한 굴절검사 순서로 시행하였다. 자동굴절검사는 숙련된 검사자가 GR-3500KA (Grand Seiko, Hiroshima, Japan) 자동굴절검사기를 이용하여 3회 이상 측정된 후 표기되는 대표값을 그 측정치로 하였다. 망막검영법에 의한 굴절검사는 동일한 검사자(SAC)가 검영기를 이용하여 측정된 굴절값을 굴절검사 결과치로 하였다. 타각적 굴절검사 결과를 비교하기 위해 교차원주 렌즈 등을 이용한 자각적 굴절검사 결과는 반영하지 않았다.

검사 간의 비교를 위해, 구면도수, 난시도수는 ± 0.50 디옵터(diopter, D), 난시축은 10° 이상 차이를 보이면 의미 있는 측정오차가 있는 것으로 정하였다.² 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사 결과를 기준으로 구면렌즈 대응치가 $-0.75D$ 이하를 근시로, $+1.00D$ 이상을 원시로, 구면렌즈 대응치가 근시, 원시 기준 미만이지만 난시도수가 $\pm 1.50D$ 이상이면 난시로, 이러한 굴절이상 없이 있는 경우에 정시로 분류하였다. 굴절부등은 두 눈의 구면렌즈 대응치가 $1.00D$ 이상, 또는 난시도수 $1.50D$ 이상 차이가 있는 경우로 정의하였고, 굴절부등이 있는 경우, 굴절값이 큰 눈의 굴절상태를 기준으로 분류하였다. 사시는 교대프리즘가림검사로 정면주시에서 외편위 8프리즘디옵터(prism diopter, PD), 내편위 4PD, 수직편위 2PD 이상을 기준으로 정의하였다. 한 눈약시는 최대교정시력이 두 줄 이상 차이 나는 경우로 정의하였다. 굴절부등약시는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사에서 근시나 원시의 경우 두 눈의 구면렌즈 대응치가 $1.00D$ 이상, 난시의 경우 $1.50D$ 이상 차이가 나고 사시약시의 기준에 해당되지 않을 때로 정의하였다. 사시약시는 굴절부등을 보이지 않고 교대프리즘가림검사에서 근거리나 원거리에서 10PD 이상의 사시가 있거나 사시수술의 과거력이 있는 경우로 정의하였다. 굴절부등을 보이면서 사시약시의 조건에 해당하는 경우는 혼합약시로 분류하였다.

통계 분석은 PASW Statistics 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 *t*-test, paired *t*-test, chi-square test와 linear regression analysis를 시행하였다. *p*-value의 유의 수준은 0.05 미만으로 하였다.

결 과

네 가지 굴절검사를 모두 시행한 388명 소아의 평균 나이는 7.4 ± 3.6 세였고, 남아 180명(46.4%), 여아 208명(53.6%)이었다. 정시 85명(21.9%), 원시 134명(34.5%), 근시 138명(35.6%), 난시 31명(8.0%)이었다. 굴절부등 77명(19.8%), 한눈약시 29명(7.5%), 사시 189명(48.7%)이었고, 신경발달

장애 등의 전신질환이 동반된 경우는 38명(9.8%)이었다. 사시종류는 외편위 156명, 내편위 29명, 수직편위 4명이었고, 동반된 신경발달장애는 두개골 조기유합증(25명), 수두증(5명), 뇌전증(2명), 신경섬유종증(2명), 누난 증후군(2명), 터너 증후군(1명), 프레더-윌리 증후군(1명)이었다.

망막검영법에 의한 굴절검사는 조절마비 후 구면도수 35.1%, 난시도수 19.6%, 구면렌즈 대응치 36.3%에서 현성 굴절검사 결과와 차이가 있었다(Table 1). 조절마비 후 구면도수는 $0.39 \pm 0.79D$ 더 원시로 측정되었고(paired *t*-test; $p=0.008$), 차이를 보인 환아군에서는 $0.95 \pm 1.04D$ 차이가 있었다. 이러한 조절마비 후 원시로의 굴절변화는 7세 미만, 원시나 약시가 있는 경우에 더 흔하였다(Table 2, chi-square test; $p<0.001$, $p<0.001$, and $p=0.010$).

자동굴절검사 결과를 망막검영법에 의한 굴절검사와 비

교하면, 조절마비 전에는 구면도수 47.2%, 난시도수 37.1%, 구면렌즈 대응치 52.6%에서 망막검영법 결과와 차이가 있었다(Table 3). 망막검영법에 의한 굴절검사에 비해 구면도수가 $-0.94 \pm 1.89D$ 더 근시로 측정되었고(paired *t*-test; $p<0.001$), 차이를 보인 환아군에서는 $-1.72 \pm 4.16D$ 의 차이가 있었다. 이러한 현성자동굴절검사에서의 측정오차는 7세 미만, 원시나 약시가 있는 경우에 더 흔하였다(Table 4, chi-square test; $p=0.002$, $p<0.001$, and $p=0.033$). 조절마비자동굴절검사의 구면도수 29.4%, 난시도수 30.7%, 구면렌즈 대응치 32.5%에서 망막검영법에 의한 조절마비 굴절검사 결과와 차이가 있었다(Table 5). 망막검영법에 비해 구면도수가 $-0.15 \pm 0.89D$ 더 근시로 측정되었으나 의미 있는 차이는 아니었고(paired *t*-test, $p=0.973$), 차이를 보인 환아군에서도 $-0.55 \pm 1.48D$ 의 차이만 보였다. 조절마비자

Table 1. Proportion of eyes of disagreement between retinoscopic refractions before and after cycloplegia according to component

Component	Same*	Different†
Sphere	504 (64.9)	272 (35.1)
Cylinder	624 (80.4)	152 (19.6)
Axis	696 (89.7)	80 (10.3)
Spherical equivalent	494 (63.7)	282 (36.3)

Values are presented as number of eyes (%).

*Cases with the difference of less than $\pm 0.50 D$, 10 degrees in refraction; †Cases with the difference of $\pm 0.50 D$, 10 degrees or more in refraction.

Table 3. Proportion of eyes of disagreement between retinoscopic refraction and auto-refraction before cycloplegia according to component

Component	Same*	Different†
Sphere	410 (52.8)	366 (47.2)
Cylinder	488 (62.9)	288 (37.1)
Axis	332 (42.8)	444 (57.2)
Spherical equivalent	368 (47.4)	408 (52.6)

Values are presented as number of eyes (%).

*Cases with the difference of less than $\pm 0.50 D$, 10 degrees in refraction; †Cases with the difference of $\pm 0.50 D$, 10 degrees or more in refraction.

Table 2. Comparison of characteristics between same and different groups divided by the difference in sphere component between retinoscopic refractions before and after cycloplegia

	Overall (n = 388)	Same* (n = 252)	Different† (n = 136)	p-value
Gender (male)	180 (46.4)	115 (45.6)	65 (47.8)	0.382‡
Age (year)	7.4 ± 3.6	7.9 ± 3.5	6.6 ± 3.5	0.001§
<7 years	210 (54.1)	112 (44.4)	98 (72.1)	<0.001‡
≥7 years	178 (45.9)	140 (55.6)	38 (27.9)	
Type of refractive errors				<0.001‡
Emmetropia	85 (21.9)	63 (25.0)	22 (16.2)	
Hyperopia	134 (34.5)	60 (23.8)	74 (54.4)	
Myopia	138 (35.6)	115 (45.6)	23 (16.9)	
Astigmatism	31 (8.0)	14 (5.6)	17 (12.5)	
Anisometropia	77 (19.8)	47 (18.7)	30 (22.1)	0.250‡
Amblyopia	29 (7.5)	12 (4.8)	17 (12.5)	0.010‡
Aniso:Strabismic:Combined	17:6:6	8:2:2	9:4:4	
Strabismus	189 (48.7)	129 (51.2)	60 (44.1)	0.214‡
Exo:Eso:Vertical	156:29:4	110:16:3	46:13:1	
Neuro-developmental disorders	38 (9.8)	25 (9.9)	13 (9.6)	0.522‡

Values are presented as mean \pm SD or number of patients (%) unless otherwise indicated.

Aniso = anisometropic amblyopia; Strabismic = strabismic amblyopia; Combined = combined amblyopia; Exo = exodeviation; Eso = esodeviation; Vertical = vertical deviation.

*Cases with the difference of less than $\pm 0.50 D$ in refraction; †Cases with the difference of $\pm 0.50 D$ or more in refraction; ‡p-value for chi-square test; §p-value for independent *t*-test.

Table 4. Comparison of characteristics between same and different groups divided by the difference in sphere component between retinoscopic refraction and auto-refraction before cycloplegia

	Overall (n = 388)	Same* (n = 205)	Different† (n = 183)	p-value
Gender (male)	180 (46.4)	101 (49.3)	79 (43.2)	0.136‡
Age (year)	7.4 ± 3.6	7.9 ± 3.5	6.9 ± 3.6	0.005§
<7 years	210 (54.1)	96 (46.8)	114 (62.3)	0.002‡
≥7 years	178 (45.9)	109 (53.2)	69 (37.7)	
Type of refractive errors				<0.001‡
Emmetropia	85 (21.9)	49 (23.9)	36 (19.7)	
Hyperopia	134 (34.5)	53 (25.9)	81 (44.3)	
Myopia	138 (35.6)	90 (43.9)	48 (26.2)	
Astigmatism	31 (8.0)	13 (6.3)	18 (9.8)	
Anisometropia	77 (19.8)	35 (17.1)	42 (23.0)	0.093‡
Amblyopia	29 (7.5)	9 (4.4)	20 (10.9)	0.033‡
Aniso:Strabismic:Combined	17:6:6	4:2:3	13:4:3	
Strabismus	189 (48.7)	100 (48.8)	89 (48.6)	0.095‡
Exo:Eso:Vertical	156:29:4	89:10:1	67:19:3	
Neuro-developmental disorders	38 (9.8)	25 (12.2)	13 (7.1)	0.069‡

Values are presented as mean ± SD or number of patients (%) unless otherwise indicated.

Aniso = anisometropic amblyopia; Strabismic = strabismic amblyopia; Combined = combined amblyopia; Exo = exodeviation; Eso = esodeviation; Vertical = vertical deviation.

*Cases with the difference of less than ±0.50 D in refraction; †Cases with the difference of ±0.50 D or more in refraction; ‡p-value for chi-square test; §p-value for independent t-test.

Table 5. Proportion of eyes of disagreement between retinoscopic refraction and auto-refraction after cycloplegia according to component

Component	Same*	Different†
Sphere	548 (70.6)	228 (29.4)
Cylinder	538 (69.3)	238 (30.7)
Axis	380 (49.0)	396 (51.0)
Spherical equivalent	524 (67.5)	252 (32.5)

Values are presented as number of eyes (%).

*Cases with the difference of less than ±0.50 D, 10 degrees in refraction; †Cases with the difference of ±0.50 D, 10 degrees or more in refraction.

동굴절검사에서의 측정오차는 성별, 나이, 굴절이상 종류, 굴절부동, 약시, 사시, 신경학적 발달장애 동반에 따른 차이가 없었다(Table 6).

조절마비 전후 자동굴절검사의 구면도수와 난시도수는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사 결과와 상관관계가 있었고, 자동굴절검사 결과 가운데서 조절마비자동굴절검사로 측정된 구면도수가 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사의 구면도수와 가장 높은 상관관계를 보였다(Table 7, linear regression analysis; $R^2=0.703$, $p<0.001$). 망막검영법에 의한 현성굴절검사와 조절마비굴절검사에서의 구면도수 차이가 있는 경우의 55.6%는 조절마비 전 망막검영법과 자동굴절검사에서의 구면도수 차이도 보였으며, 이 두 측정오차 사이에는 의미 있는 상관관계가 있었다(retinoscopic MR과 CR 차이 = $0.251 + 0.001 \times$ [retinoscopic MR과 auto MR 차이], linear regression analysis; $R^2=0.063$, $p<0.001$, Fig. 1).

고찰

본 연구를 통해 자동굴절검사 장치의 발달에도 불구하고 상당수의 소아에서 여전히 망막검영법에 의한 굴절검사 결과와 차이를 보이는 것을 확인하였다. 그러나 조절마비자동굴절검사 결과는 소아에서 보편적으로 기준 굴절값으로 받아들여지는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사 결과와 의미있는 차이가 없었고, 높은 상관관계를 보여 제한적인 사용이 가능할 것으로 생각된다.

근시 유병률이 증가하고 근시진행이 사회적인 문제가 되면서, 인구집단을 대상으로 한 대규모 연구들이 많이 진행되고 있다.⁹⁻¹¹ 이때 의미 있는 결과를 얻기 위해서 간편하면서도 보다 정확한 굴절검사방법이 요구되고 있다. 대부분의 대규모 연구들은 측정하기 손쉬운 휴대용(hand-held) 혹은 탁상용(table-mounted) 자동굴절검사기(auto-refractor)나 사진굴절검사기(photo-refractor)를 이용하여 굴절검사를 시행하였다.^{6,7,9-11} 따라서 이러한 굴절검사들과 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사와의 측정오차를 줄이고자 하는 여러 노력들 역시 보고되고 있다.^{5,10-12,14} 나안시력을 함께 고려하는 방법, 조절마비자동굴절검사를 시행하는 방법, 검사장비의 조절억제기능 개발 등이 대표적으로 시도되고 있는 방법들이다.^{5,10-12,14} 자동굴절검사의 정확도를 높이기 위해 자동안개법(automatic fogging system)과 자동안구추적장치(automatic eye tracking system)가 내장되어 있다고 하나, 소아를 대상으로 한 연구들에서 여전히 제한적인 효과

Table 6. Comparison of characteristics between same and different groups divided by the difference in sphere component between retinoscopic refraction and auto-refraction after cycloplegia

	Overall (n = 388)	Same* (n = 274)	Different† (n = 114)	p-value
Gender (male)	180 (46.4)	126 (46.0%)	54 (47.4)	0.445‡
Age (year)	7.4 ± 3.6	7.6 ± 3.6	7.1 ± 3.6	0.227§
<7 years	210 (54.1)	139 (50.7)	71 (62.3)	0.069‡
≥7 years	178 (45.9)	135 (49.3)	43 (37.7)	
Type of refractive errors				0.075‡
Emmetropia	85 (21.9)	62 (22.6)	23 (20.2)	
Hyperopia	134 (34.5)	84 (30.7)	50 (43.9)	
Myopia	138 (35.6)	105 (38.3)	33 (28.9)	
Astigmatism	31 (8.0)	23 (8.4)	8 (7.0)	
Anisometropia	77 (19.8)	57 (20.8)	20 (17.5)	0.250‡
Amblyopia	29 (7.5)	20 (7.3)	9 (7.9)	0.299‡
Aniso:Strabismic:Combined	17:6:6	13:4:3	4:2:3	
Strabismus	189 (48.7)	137 (50.0)	52 (45.6)	0.288‡
Exo:Eso:Vertical	156:29:4	117:17:3	39:12:1	
Neuro-developmental disorders	38 (9.8)	27 (9.8)	11 (9.6)	0.564‡

Values are presented as mean ± SD or number of patients (%) unless otherwise indicated.

Aniso = anisometropic amblyopia; Strabismic = strabismic amblyopia; Combined = combined amblyopia; Exo = exodeviation; Eso = esodeviation; Vertical = vertical deviation.

*Cases with the difference of less than ±0.50 D in refraction; †Cases with the difference of ±0.50 D or more in refraction; ‡p-value for chi-square test; §p-value for independent t-test.

Table 7. Linear regression analysis for the spherical and cylindrical components of auto-refraction before and after cycloplegia against those of retinoscopic refraction with cycloplegia

Regression analysis	R square	p-value
Spherical component		
Retinoscopic CR = 0.340 + 0.336 × (auto-MR)	0.196	<0.001
Retinoscopic CR = -0.007 + 0.915 × (auto-CR)	0.703	<0.001
Cylindrical component		
Retinoscopic CR = 0.170 + 0.611 × (auto-MR)	0.270	<0.001
Retinoscopic CR = -0.017 + 0.655 × (auto-CR)	0.402	<0.001

CR = cycloplegic refraction; auto-MR = auto-refraction before cycloplegia; auto-CR = auto-refraction after cycloplegia.

를 보였다.^{2-5,14} 자동안개법은 피검자가 주시하는 시표인 쪽 빛은 길 위에 멀리 있는 집이 흐려지면서 피검자의 조절을 풀어 검사하도록 설정되어 있는 기능이다. 하지만 소아를 대상으로 이러한 자동안개법이 내장된 자동굴절검사 장치를 이용하여 측정된 현성자동굴절검사 결과는 근시 쪽으로 편향된 측정결과를 보였다.²⁻⁶ 이는 안개법이 일부의 조절을 불활성화할 수 있지만, 소아에서 비교적 큰 긴장조절(tonic accommodation)을 차단하지 못하므로 조절마비제보다 효과적이지 않기 때문이다.⁶ 또한 안구추적장치기능이 있는 자동굴절검사장치를 이용하면 오차가 적다고 하였으나, 8세 미만의 소아만을 대상으로 다시 분석하였을 때 현성자동굴절검사로 측정된 구면도수가 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사에 비해 -1.48 ± 1.13D만큼 더 근시 쪽으로 측정되어 역시 소아에서는 제한적인 효과를 보였다.¹⁴ 본 연구에서 사용한 자동굴절검사 장비도 자동안개법과 자동안구추적장치가 내장되어 있는 기종이지만, 현성자동굴절검

사는 망막검영법에 의한 현성굴절검사에 비해 -0.94 ± 1.89D 더 근시 쪽으로, 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사보다는 -1.25 ± 1.21D 더 근시 쪽으로 측정되어 이전 연구결과와 유사하였다. 이에 반해 조절마비제를 점안하여 자동굴절검사의 정확도를 높이는 방법은 비교적 의미 있는 효과를 보여,^{4,5} 다수의 대규모 연구에서 조절마비자동굴절검사 결과를 기준 굴절값으로 사용하였다.⁹⁻¹² 본 연구에서도 조절마비 전후 자동굴절검사 가운데, 조절마비자동굴절검사가 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사와 상관관계가 높고, 오차정도, 오차빈도가 적었다. 이는 조절마비제가 비교적 효과적으로 조절작용을 막을 수 있기 때문으로 생각된다.⁶ 불수의적인 눈모음에 긴장눈모음, 조절눈모음, 융합눈모음, 근점눈모음이 있듯이, 불수의적인 조절에도 다양한 형태가 있다. 이 중에서도 시자극 없이 휴식상태의 눈에서 수정체의 굴절력을 유지해주는 섬모체의 긴장도를 긴장조절(tonic accommodation)이라고 한다.¹⁸ 긴장조절도 근거

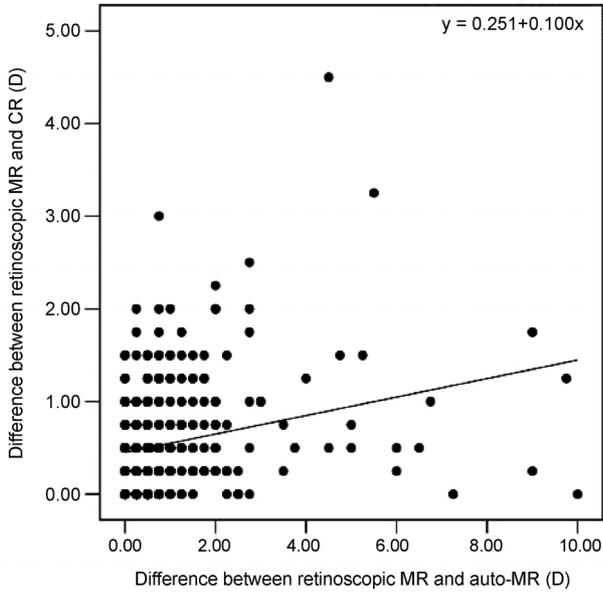


Figure 1. Graph showing the correlation of the difference between retinoscopic MR and auto-MR, and the difference between retinoscopic MR and CR (linear regression analysis; $R^2 = 0.063$, $p < 0.001$). MR = manifest refraction; auto-MR = auto-refraction before cycloplegia; CR = retinoscopic cycloplegic refraction.

리 시자극에 의해 발생하는 능동적인 조절과 마찬가지로 나이가 들면서 줄어 들고, 소아에서는 큰 것으로 알려져 있다.^{19,20} 조절마비제는 이러한 긴장조절도 비교적 효과적으로 차단할 수 있다.⁶ 그러나 물체가 가까이 있다고 인식하여 유발되는 근점유도조절(proximally-induced accommodation), 즉 기계를 들여다 봄으로써 조절이 유발되어 일시적인 근시(instrument myopia)가 생기는 작용은 조절마비제가 완전히 차단하지 못한다.²¹ 본 연구에 사용된 자동굴절검사 장치도 실제 원거리를 보고 검사하는 것이 아니라, 대약시경 처럼 실제로는 근거리 물체가 있지만 광학적으로 원 거리에 있는 것처럼 보이게 하는 것이기 때문에,² 의미 있는 정도는 아니었지만 조절마비 후에도 근시 쪽으로 편향된 결과를 보였던 것으로 생각된다. 또 일부에서는 자동굴절검사 장치의 특성상 조절마비 후에 오차가 더 많을 수 있다고 하였다.^{6,13,22} 산동이 되면 주변부 수정체도 망막상에 영향을 미치게 되고 이 부분의 영향은 원시성 구면수차(spherical aberration)를 유발하여 상이 눈의 앞쪽으로 이동하게 된다. 즉 굴절상태가 근시성 상태(myopic shift)로 변화하게 된다.²² 따라서 조절마비제를 점안하여도 자동굴절 검사에서 측정오차가 발생할 수 있겠다.⁶

조절마비자동굴절검사의 망막검영법에 대한 오차율은 구면도수, 난시도수, 난시축 가운데, 구면도수에서 가장 큰 것으로 알려져 있으나,² 본 연구에서는 난시축의 오차율이

가장 높았다. 국내 소아를 대상으로 한 Kim and Chang²의 보고에서 구면도수는 33.3-73.5%의 오차율을, 난시도수는 44.0-59.2%, 난시축은 21.4-42.6%의 오차율이 있었다고 하였다. 하지만 보다 최근 국내연구⁴에서는 구면도수는 8.5%, 난시도수는 1.3%, 난시축은 9.2%에서 측정오차를 보여, 본 연구와 유사하게 난시축에서 가장 큰 오차율을 보였다. 또한 조절마비자동굴절검사로 측정된 구면도수는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사 결과와 유의한 차이가 없었다고 하였다.⁴ 다만 본 연구에 비해 오차율이 적은 것은 측정 오차 범위를 구면도수와 난시도수는 1.00D, 난시축은 20° 이상을 기준으로 하여 본 연구보다 오차범위를 넓게 잡았기 때문으로 생각된다.

본 연구에 포함된 소아들이 일반적인 굴절검사 간의 측정오차 특징을 보여 일반적인 소아집단을 대표할 수 있는지 확인하기 위해, 망막검영법에 의한 현성굴절검사와 조절마비굴절검사 결과를 비교하였다. 이미 잘 알려진 대로 나이가 어린 경우, 원시, 약시가 있는 경우에 측정오차가 흔하였다.^{2,6} 망막검영법에 의한 굴절검사에서의 조절마비 후 원시성 변화(hyperopic shift)가 특히 원시에서 많은 이유는 크게 2가지로 알려져 있다.⁶ 현성굴절검사를 시행할 때 시표를 주시하려면, 근시는 망막상이 앞쪽에 맺히기 때문에 조절하지 않아도 되는 반면 원시는 선명한 상을 얻기 위해 근시보다 조절을 많이 사용하여야 한다.⁶ 따라서 조절마비제에 의한 영향을 보다 많이 받게 된다. 또한 앞서 언급한 긴장조절 자체도 원시에서 더 높은 것으로 알려져 있다.^{6,18} 그리고 어린 나이에서 현성굴절검사와 조절마비굴절검사 결과 차이가 많은 것은 능동적인 조절작용이 5-10세에서 가장 강하기 때문이다.^{6,19,20}

본 연구에 포함된 소아의 절반 정도(48.7%)에서 편위각이 측정되었다. 원시를 동반한 내편위에서 굴절검사 간 측정오차가 많은 것은 이미 잘 알려져 있다. 하지만 외편위도 근거리 주시를 위해서는 눈모음이 보다 많이 필요하고 이로 인해 일시적인 근시가 유발될 수 있다.²³ 그러나 본 연구에서는 편위각을 동반하여도 굴절검사 간의 오차율이 더 높지는 않았다. 이는 본 연구에 사위도 포함하였고, 평균 편위각이 외편위 $22.4 \pm 10.2D$, 내편위 $14.5 \pm 5.7D$, 수직 편위 $4.0 \pm 1.9D$ 로 편위 정도가 크지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서 본 연구결과를 해석하는 데 있어 주의하여야 하겠다.

비록 본 연구는 단일 연구기관에서 진행되었으나, 국내 보고 가운데 가장 많은 환자를 대상으로 다양한 범위의 굴절이상에 대하여 조사하였고, 일반적인 외래진료환경과 유사하게 굴절검사 결과에 영향을 미칠 수 있는 약시, 사시, 신경학적 발달장애가 있는 환자를 모두 포함하여 굴절검사

간 측정오차에 대해 보고했다는 점에서 의의가 있겠다. 하지만 검사자 간의 오차를 줄이기 위해 한 명의 숙련된 검사자(SAC)가 모든 망막검영법에 의한 굴절검사를 시행하였고, 후향적으로 연구가 진행되어 검사자가 이전 굴절검사 결과를 알고 있었던 제한점이 있다. 즉 망막검영법에 의한 굴절검사 결과에는 관찰자 오류(observation bias)가 포함되어 있을 가능성이 있다. 굴절검사 결과를 맹검하고, 여러 검사자 간의 측정오차를 보정한 전향적인 대규모 연구가 필요하겠다.

조절마비자동굴절검사는 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사와 높은 상관관계를 보여 그 결과는 앞으로 소아를 대상으로 자동굴절검사를 이용하여 진행되는 대규모 국내 연구에 참고 자료가 될 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 여전히 30%의 소아에서 두 검사 간의 차이를 보여 자동굴절검사 결과를 그대로 적용하기에는 한계가 있을 것으로 보인다. 또 나이가 어리거나 원시, 약시인 경우, 조절마비 전 망막검영법과 자동굴절검사 간 차이를 보인 경우, 현성 굴절검사나 자동굴절검사가 망막검영법에 의한 조절마비 굴절검사와 차이가 있을 수 있어 조절마비 후 망막검영법에 의한 굴절검사가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Lu Q, Zheng Y, Sun B, et al. A population-based study of visual impairment among pre-school children in Beijing: the Beijing study of visual impairment in children. *Am J Ophthalmol* 2009;147:1075-81.
- 2) Kim MS, Chang HR. The evaluation of noncycloplegic and cycloplegic autorefraction in children according to the age. *J Korean Ophthalmol Soc* 1998;39:728-34.
- 3) Choi MJ, Baek SH, Gong SM. Comparison of autorefraction and clinical refraction with or without in children. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:837-46.
- 4) Jung JW, Kim YE, Paik HJ. Clinical comparison of autorefractor versus retinoscopic refraction in children according to the age. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:1931-5.
- 5) Choong YF, Chen AH, Goh PP. A comparison of autorefraction and subjective refraction with and without cycloplegia in primary school children. *Am J Ophthalmol* 2006;142:68-74.
- 6) Hashemi H, Khabazkhoob M, Asharlous A, et al. Cycloplegic autorefraction versus subjective refraction: the Tehran Eye Study. *Br J Ophthalmol* 2015;Nov 5. pii: bjophthalmol-2015-307871. [Epub ahead of print].
- 7) Fotouhi A, Morgan IG, Iribarren R, et al. Validity of noncycloplegic refraction in the assessment of refractive errors: the Tehran Eye Study. *Acta Ophthalmol* 2012;90:380-6.
- 8) Zhao J, Mao J, Luo R, et al. Accuracy of noncycloplegic autorefraction in school-age children in China. *Optom Vis Sci* 2004;81:49-55.
- 9) Chua SY, Ikram MK, Tan CS, et al. Relative contribution of risk factors for early-onset myopia in young Asian children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:8101-7.
- 10) Ma Y, He X, Zou H, et al. Myopia screening: combining visual acuity and noncycloplegic autorefraction. *Optom Vis Sci* 2013;90:1479-85.
- 11) Lai YH, Tseng HY, Hsu HT, et al. Uncorrected visual acuity and noncycloplegic autorefraction predict significant refractive errors in Taiwanese preschool children. *Ophthalmology* 2013;120:271-6.
- 12) Rajavi Z, Sabbaghi H, Baghini AS, et al. Accuracy and repeatability of refractive error measurements by photorefractometry. *J Ophthalmic Vis Res* 2015;10:221-8.
- 13) Charman WN, Jennings JA, Whitefoot H. The refraction of the eye in relation to spherical aberration and pupil size. *Br J Physiol Opt* 1978;32:78-93.
- 14) Kirschen D, Isenberg SJ. The effectiveness of an autorefractor with eye-tracking capability in pediatric patients. *J AAPOS* 2014;18:217-21.
- 15) Oral Y, Gunaydin N, Ozgur O, et al. A comparison of different autorefractors with retinoscopy in children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2012;49:370-7.
- 16) Trager MJ, Dirani M, Fan Q, et al. Testability of vision and refraction in preschoolers: the strabismus, amblyopia, and refractive error study in Singaporean children. *Am J Ophthalmol* 2009;148:235-41.e6.
- 17) Pai AS, Rose KA, Samarawickrama C, et al. Testability of refraction, stereopsis, and other ocular measures in preschool children: the Sydney Paediatric Eye Disease Study. *J AAPOS* 2012;16:185-92.
- 18) McBrien NA, Millodot M. The relationship between tonic accommodation and refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1987;28:997-1004.
- 19) Kasthurirangan S, Glasser A. Age related changes in accommodative dynamics in humans. *Vision Res* 2006;46:1507-19.
- 20) Mordi JA, Ciuffreda KJ. Static aspects of accommodation: age and presbyopia. *Vision Res* 1998;38:1643-53.
- 21) Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Ong E, Azimi A. Proximally induced accommodation and accommodative adaptation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1990;31:1162-7.
- 22) Hiraoka T, Miyata K, Nakamura Y, et al. Influences of cycloplegia with topical atropine on ocular higher-order aberrations. *Ophthalmology* 2013;120:8-13.
- 23) Seo HJ, Kim SH, Suh YW, et al. Influence of watching 3D television on refractive error in children with exodeviation. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:1525-9.

= 국문초록 =

소아에서 망막검영법과 자동굴절검사로 시행한 현성굴절검사와 조절마비굴절검사의 비교

목적: 소아에서 현성굴절검사와 조절마비굴절검사를 망막검영법과 자동굴절검사로 시행하여 비교하고, 검사 간 차이와 관련된 인자를 알아보았다.

대상과 방법: 평균 나이 7.4 ± 3.6세인 소아 388명을 대상으로 조절마비 전후 망막검영법과 자동굴절검사(Grand Seiko GR-3500KA)를 시행하여 굴절력을 비교하고, 성별, 나이, 굴절이상 종류, 약시, 사시, 전신질환 동반에 따른 차이가 있는지 조사하였다. 구면도수, 난시도수를 각각 비교하였고, 두 검사 결과가 ±0.50디옵터 이상의 차이를 보이면 의미 있는 측정오차로 정하였다.

결과: 현성자동굴절검사는 망막검영법에 비해 구면도수 47.2%에서 더 근시로 측정되었고, 난시도수 37.1%에서 더 크게 측정되었으며, 이러한 구면도수 차이는 7세 미만, 원시, 약시인 경우에 더 흔하였다(각각 $p=0.002$, $p<0.001$, $p=0.033$). 조절마비자동굴절검사는 구면도수 29.4%, 난시도수 30.7%에서 망막검영법과 차이가 있었으나, 의미 있는 측정오차는 아니었고 임상양상에 따른 차이도 없었다. 조절마비 전후 망막검영법에서 구면도수 차이가 있는 경우의 55.6%는 조절마비 전 망막검영법과 자동굴절검사에서도 차이를 보였으며, 이 두 차이 간에는 의미 있는 상관관계가 있었다.

결론: 조절마비자동굴절검사의 제한적 사용이 가능해 보이나, 여전히 30%의 소아에서 망막검영법과 차이가 있었다. 나이가 어리거나 원시, 약시인 경우, 조절마비 전 망막검영법과 자동굴절검사 간 차이를 보인 경우, 현성굴절검사나 자동굴절검사가 망막검영법에 의한 조절마비굴절검사와 차이가 있을 수 있어 더욱 주의하여야 하겠다.

〈대한안과학회지 2016;57(8):1274-1281〉
