근시를 가진 개방각녹내장 환자에서 각막생체역학인자

Corneal Biomechanical Properties in Patients with Myopic Open-Angle Glaucoma

김성일, 신종훈, 이지웅

Sung-Il Kim, MD, Jong-Hoon Shin, MD, Ji-Woong Lee, MD, PhD

부산대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Pusan National University College of Medicine, Busan, Korea

목적: 비녹내장안과 개방각녹내장안에서 근시 정도에 따라 안구 반응 분석기로 측정된 생체역학인자의 차이를 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 굴절 이상 정도에 따라 -0.5디옵터 초과인 환자를 비근시군, -0.5디옵터 이하 -3디옵터 초과인 환자를 경도 근시군, -3디옵터 이하 -6디옵터 초과인 환자를 중등도 근시군, -6디옵터 이하인 환자를 고도 근시군으로 구분하였다. 녹내장성 시신경 손상 유무와 치료 전 안압 수치에 따라 비녹내장군, 정상안압녹내장군, 원발개방각녹내장군으로 분류하였다. 안구반응 분석기를 이용하여 각막생체역학인자인 corneal hysteresis를 측정하였다.

결과: 총 547명 905안이 연구에 포함되었고 비녹내장안이 409안, 정상안압녹내장안이 291안, 원발개방각녹내장안이 205안이었다. 녹내장 유무에 따른 생체역학인자를 비교하였을 때 비근시군과 경도, 중등도, 고도 근시군 모두에서 녹내장안이 비녹내장안에 비해 corneal hysteresis가 통계적으로 유의하게 낮았다($p \leq 0.027$).

결론: Corneal hysteresis는 비근시군뿐만 아니라 근시군에서도 비녹내장안에 비해 녹내장안에서 유의하게 낮았다. 본 연구를 통하여 근시안의 각막 생체역학인자의 특성을 알 수 있었고, 각막생체역학 측면에서 근시안에서 녹내장 발생 위험인자를 유추하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

Key words: Corneal hysteresis, Myopia, Glaucoma

서 론

근시는 전 세계적으로 실명 및 시력저하의 주요한 원인 중 하나이고 산업화, 도시화와 함께 근거리 작업이 증가하면서 근대 사회에서 그 발생 빈도가 증가하고 있다.^{1,2} 근시의 유병률은 지역별, 인종별 차이를 보이며³ 미국(25%), 호주(17%), 영국(49%), 브라질(2.7%)과 같은 서구 지역보다는 아시아인, 특히 동아시아 국가에서 38.7-73.1%로 더 높다.⁴⁻⁹

근시성 변화는 망막박리, 맥락망막변성뿐만 아니라 녹내장 발생의 위험인자로 인식되고 있다.¹⁰⁻¹² 호주인, 싱가포르인, 미국내

라틴계 인종을 대상으로 한 연구에서 근시 인구의 녹내장 상대 위험도는 2-3으로 보고되었고,¹³⁻¹⁵ 11개의 인구기반 연구를 대상으로 한 메타분석에서 근시 인구의 녹내장 상대 위험도는 1.92로 보고되었다.¹⁶ 또한 근시 정도에 따른 녹내장 발생과의 관련성은 -6디옵터 이하의 근시군이 그 이상의 중등도, 경도 근시군보다 더 높은 것으로 알려졌다.¹⁷ 일반적으로 공막 경성도가 단단할수록 안압의 변화에 따른 공막 사상판의 변형이 적어서 녹내장의 위험이 줄어들게 되나 근시 환자는 공막 경성도가 연하다고 알려져 있고, 이러한 이유로 녹내장의 위험성이 증가할 것으로 생각된다.^{18,19}

현재까지 공막 경성도를 직접 측정할 수 있는 방법은 부검 외의 방법은 없다. 부검을 통해 얻은 공막 절편, 또는 안구 전체 이용하여 직접적인 공막 경성도의 측정이 가능하지만 이러한 방법은 부검, 즉 사후에 실행 가능한 방법이므로 생체 내에서 측정 가능한 방법을 모색하게 되었다.²⁰ 최근에는 안구반응 분석기(Ocular Response Analyzer, Reichert Ophthalmic Instrument, Buffalo, NY, USA)를 통해 각막의 상태를 측정할 수 있는데, 각막과 공막

Received: 2018. 10. 18.

Revised: 2018. 12. 5.

Accepted: 2018. 12. 15.

Corresponding Author: Ji-Woong Lee, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Pusan National University College of Medicine, #49 Busandaehak-ro, Mulgeum-eup, Yangsan 50612, Korea

Tel: +82-51-240-7326, Fax: +82-51-242-7341

E-mail: glaucoma@pnu.ac.kr

은 모두 같은 유전자에서 유래한 콜라겐 섬유로 구성되어 있으므로 각막의 상태를 통해 공막의 경성도를 유추해 볼 수 있을 것으로 생각된다.

안구 반응 분석기는 기존의 공기안압계의 원리를 이용한 기계

로 두 차례에 걸쳐 압평 지점의 안압을 측정하며 그 과정에서 안압뿐만 아니라 각막의 생체역학적 특성도 측정이 가능하다. 자연 상태의 볼록한 각막에 외부에서 공기압을 가하여 안쪽으로 오목하게 변하는 과정에서 첫 번째의 압평 지점을 지나며 이후 공기압

Table 1. Classification of study sample according to the spherical equivalent and glaucoma severity

	Non myopia (SE > -0.5)	Mild myopia (-0.5 ≥ SE > -3)	Moderate myopia (-3 ≥ SE > -6)	High myopia (SE ≤ -6)
Non glaucoma (eyes)	244	99	37	29
NTG (eyes)	109	53	55	74
POAG (eyes)	76	55	46	28

SE = spherical equivalents; NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma.

Table 2. Clinical and ocular parameters of non-myopia patient group

Non myopia		① Non glaucoma	② NTG	③ POAG	p-value	Bonferroni		
						P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (②-③)
Age (years)			62.95 ± 8.66	65.33 ± 9.08	<0.001	<0.001	<0.001	0.353
Spherical equivalent (diopter)			0.7 ± 0.78	0.96 ± 0.78	0.008	1	0.006	0.132
Corneal curvature (mm)			7.75 ± 0.23	7.7 ± 0.27	0.352			
Axial length (mm)			23.49 ± 0.84	23.44 ± 0.85	0.001	0.002	0.036	1
Central corneal thickness (μm)			539 ± 30.2	533.6 ± 31.9	<0.001	<0.001	<0.001	0.692
GAT (mmHg)			14.39 ± 2.28	16.75 ± 3.92	<0.001	0.605	<0.001	<0.001
ORA	IOPg (mmHg)	14.69 ± 3.51	13.94 ± 3.41	15.71 ± 4.50	0.006	0.237	0.103	0.004
	IOPcc (mmHg)	14.57 ± 3.24	15.7 ± 3.33	17.49 ± 4.33	<0.001	0.015	<0.001	0.002
	CH (mmHg)	11.06 ± 1.15	9.41 ± 1.23	9.18 ± 1.55	<0.001	<0.001	<0.001	0.615
	CRF (mmHg)	10.73 ± 1.46	9.1 ± 1.39	9.44 ± 1.80	<0.001	<0.001	<0.001	0.404
	VFI (%)	98.5 ± 1.9	82.5 ± 24.0	69.7 ± 28.8	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Visual field test	MD (dB)	-1.9 ± 2.20	-6.8 ± 7.35	-11.18 ± 8.63	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	PSD (dB)	1.95 ± 0.64	5.63 ± 3.94	7.27 ± 4.18	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Adjusted CH (mmHg)		10.86 ± 0.08	9.53 ± 0.11	9.65 ± 0.14	<0.001	<0.001	<0.001	1

Values are presented as mean ± standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma; P1 = *p*-value between group 1 and 2; P2 = *p*-value between group 1 and 3; P3 = *p*-value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

이 중지되면 다시 바깥쪽으로 원래의 볼록한 형태로 돌아오는 과정에서 두 번째의 압평 지점을 지나게 되고, 이 때 각각의 내향과 외향 압평 지점에서 안압 수치를 측정한다. 외향시의 압평 지점이 내향시보다 항상 낮는데 이 차이를 corneal hysteresis라고 하며 이는 각막의 생체역학적 성질을 반영할 뿐만 아니라 앞에서 언급한 공막 경성도를 유추할 수 있는 지표가 된다. 또한 안압의 측정뿐만 아니라 각막의 생체역학적 성질을 보정한 안압(corneal compensated intraocular pressure, IOP)과 corneal resistance factor과 같은 각막 관련 생체역학인자의 측정도 가능하다.

Corneal hysteresis (CH) 측정치는 원추각막, 폭스반점, 굴절교

정수술 이후, 녹내장, 근시에서 감소한다고 보고되었다.²¹⁻²⁶ 하지만 기존의 근시를 대상으로 한 연구에서는 비녹내장안을 대상으로 하였고, 녹내장안을 대상으로 한 연구에서는 고도 근시 환자를 제외한 경우가 대부분이었다. 따라서 저자들은 본 연구에서는 녹내장과 근시가 동반된 안구를 연구 대상에 포함하고 안구 반응 분석기로 각막의 생체역학인자를 측정하여 그 차이를 녹내장 동반 유무와 근시 정도에 따라 분석하여 알아보려고 하였다.

Table 3. Clinical and ocular parameters of mild-myopia patient group

Mild myopia		① Non glaucoma	② NTG	③ POAG	p-value	Bonferroni		
						P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (②-③)
Age (years)		48.25 ± 13.80	52.81 ± 13.03	59.65 ± 15.67	<0.001	0.178	<0.001	0.038
Spherical equivalent (diopter)		-1.32 ± 0.67	-1.63 ± 0.86	-1.54 ± 0.73	0.035	0.047	0.252	1
Corneal curvature (mm)		7.73 ± 0.29	7.75 ± 0.32	7.66 ± 0.20	0.195			
Axial length (mm)		23.88 ± 0.86	24.35 ± 1.20	23.86 ± 0.75	0.006	0.011	1	0.019
Central corneal thickness (μm)		559.6 ± 29.9	534.5 ± 26.1	550.5 ± 31.5	<0.001	<0.001	0.207	0.016
GAT (mmHg)		15.30 ± 2.59	15.08 ± 1.86	16.58 ± 4.75	0.024	1	0.053	0.044
ORA	IOPg (mmHg)	15.18 ± 3.17	14.29 ± 3.38	15.69 ± 4.26	0.117			
	IOPcc (mmHg)	15.44 ± 2.70	16.28 ± 2.55	17.21 ± 4.46	0.006	0.393	0.004	0.413
	CH (mmHg)	10.65 ± 1.41	9.16 ± 1.26	9.31 ± 1.54	<0.001	<0.001	<0.001	1
	CRF (mmHg)	10.53 ± 1.74	8.99 ± 1.79	9.58 ± 1.56	<0.001	<0.001	0.003	0.222
Visual field test	VFI (%)	99.0 ± 1.2	81.9 ± 20.3	74.0 ± 24.7	<0.001	<0.001	<0.001	0.04
	MD (dB)	-1.43 ± 1.28	-7.34 ± 6.72	-9.24 ± 7.27	<0.001	<0.001	<0.001	0.168
	PSD (dB)	1.77 ± 0.52	7.17 ± 5.09	8.25 ± 4.76	<0.001	<0.001	<0.001	0.361
Adjusted CH (mmHg)		10.45 ± 0.13	9.60 ± 0.18	9.25 ± 0.17	<0.001	0.001	<0.001	0.486

Values are presented as mean ± standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma; P1 = p-value between group 1 and 2; P2 = p-value between group 1 and 3; P3 = p-value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

대상과 방법

부산대학교병원 안과에서 진료를 받은 547명의 환자를 대상으로 후향적으로 차트 조사를 시행하였다. 후향적 연구로 부산대학교병원 임상윤리위원회의 승인을 받았다. 각막의 생체역학인자에 영향을 줄 수 있는 당뇨나 포도막염, 안외상, 안과수술이나 레이저시술, 콘택트렌즈 착용의 과거력이 있거나 알려지나 건성안, 기타 각막질환으로 안과적 치료를 받은 환자는 모두 대상에서 제외하였다. 대상 환자의 녹내장 유무의 진단을 위해 경험이 풍부한 명의 전문의(J.W.L)에 의해 앞방각 폐쇄 여부, 시신경유두 관

찰, 망막신경섬유층 결손을 판단하였다. 앞방각경검사는 중등도 암실에서 최소한의 세극등 불빛을 이용하여 Sussman 4면경으로 실시하였으며 검사 시 인위적인 앞방각의 개방을 방지하고자 세극등의 불빛이 동공을 통과하여 안저에 도달하지 못하도록 주의하였다. 또한 시신경유두비 측정, 시신경유두테의 얇아짐 또는 패임, 시신경유두출혈, 망막신경섬유층 결손을 판단하였다. 정상 안압녹내장과 개방각녹내장을 구분하기 위한 안압 측정은 골드만 압평안압계를 이용하였으며 일중 변동을 고려해 9시 30분에서 17시 30분까지 총 6회 측정하였다. 안압 측정 시 2 mmHg 이상 차이가 날 경우 1회 더 추가 측정하여 측정값의 평균값을 이용

Table 4. Clinical and ocular parameters of moderate-myopia patient group

Moderate myopia		① Non glaucoma	② NTG	③ POAG	p-value	Bonferroni		
						P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (②-③)
Age (years)		42.00 ± 15.48	42.91 ± 11.85	43.72 ± 11.75	0.834			
Spherical equivalent (diopter)		-4.42 ± 0.80	-4.54 ± 0.87	-4.39 ± 0.77	0.625			
Corneal curvature (mm)		7.76 ± 0.37	7.77 ± 0.22	7.79 ± 0.31	0.908			
Axial length (mm)		25.45 ± 1.17	25.27 ± 0.89	25.61 ± 1.00	0.249			
Central corneal thickness (μm)		558.8 ± 28.6	554.7 ± 27.5	551.9 ± 36.9	0.600			
GAT (mmHg)		16.19 ± 2.75	15.45 ± 2.77	18.22 ± 5.15	0.001	1.000	0.045	0.001
ORA	IOPg (mmHg)	16.45 ± 3.91	15.61 ± 3.91	17.63 ± 5.27	0.077			
	IOPcc (mmHg)	16.82 ± 3.31	16.89 ± 3.58	19.12 ± 5.11	0.011	1.035	0.036	0.021
	CH (mmHg)	10.35 ± 1.02	9.65 ± 1.24	9.19 ± 1.51	<0.001	0.035	<0.001	0.235
	CRF (mmHg)	10.65 ± 1.60	9.81 ± 1.59	10.02 ± 1.85	0.059			
Visual field test	VFI (%)	98.9 ± 1.9	87.9 ± 13.2	73.2 ± 29.3	<0.001	0.021	<0.001	<0.001
	MD (dB)	-1.90 ± 1.92	-5.13 ± 4.47	-9.20 ± 10.03	<0.001	0.063	<0.001	0.007
	PSD (dB)	1.74 ± 0.51	6.67 ± 4.91	7.15 ± 4.96	<0.001	<0.001	<0.001	1.000
Adjusted CH (mmHg)		10.34 ± 0.21	9.61 ± 0.18	9.25 ± 0.20	0.001	0.027	0.001	0.564

Values are presented as mean ± standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma; P1 = *p*-value between group 1 and 2; P2 = *p*-value between group 1 and 3; P3 = *p*-value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

하였다.

대상 환자는 안구반응 분석기를 4번 이상 측정하여 검사 신뢰도 지표인 waveform score가 5.0 이상이고, 내향 및 외향 압평지점의 곡선이 대칭적으로 비슷하게 솟은 검사 결과를 선택하였다. 굴절이상은 자동굴절 검사기(ARK-510A, Nidek, Tokyo, Japan)로 측정하였으며 안축장 측정은 접촉식 초음파(Aviso, Quantel medical, Rockwall, TX USA)로 3회 이상 측정하여 중심값과 편차가 큰 측정치는 제외하여 표준편차가 0.05 이하일 때의 평균 측정치를 이용하였다. 시야검사는 정적 자동 시야검사계(Carl Zeiss Meditec, Dublin, USA)를 사용하였다.

측정된 굴절이상의 구면렌즈 대응치에 따라 총 4개의 군으로 나누었다. -0.5디옵터 초과인 환자를 비근시군, -0.5디옵터 이하 -3 디옵터 초과인 환자를 경도 근시군, -3디옵터 이하 -6디옵터 초과인 환자를 중등도 근시군, -6디옵터 이하인 환자를 고도 근시군으로 정의하였다. 이 환자들은 다시 녹내장 유무에 따라 비녹내장군, 정상안압녹내장군, 원발개방각녹내장군으로 나누었다. 원발개방각녹내장은 측정한 일중 안압이 21 mmHg 초과이고 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 변화와 2회 이상에서 반복되는 비정상적인 시야검사 결과를 보이는 경우로 정의하였다. 비정상적인 시야검사 결과는 (1) glaucoma hemifield test에서 정상 범위를

Table 5. Clinical and ocular parameters of high-myopia patient group

High myopia		① Non glaucoma	② NTG	③ POAG	p-value	Bonferroni		
						P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (②-③)
Age (years)		38.14 ± 13.15	37.90 ± 12.02	19.52 ± 15.05	0.849			
Spherical equivalent (diopter)		-8.03 ± 1.88	-8.28 ± 2.14	-9.57 ± 4.16	0.051			
Corneal curvature (mm)		7.79 ± 0.26	7.89 ± 0.28	7.82 ± 0.28	0.233			
Axial length (mm)		27.19 ± 1.49	27.17 ± 1.38	27.36 ± 1.69	0.830			
Central corneal thickness (μm)		557.9 ± 31.1	557.7 ± 36.0	559.6 ± 37.3	0.970			
GAT (mmHg)		16.17 ± 2.59	14.92 ± 2.49	18.10 ± 4.51	<0.001	0.193	0.054	<0.001
ORA	IOPg (mmHg)	16.49 ± 2.82	14.97 ± 3.66	19.11 ± 5.26	<0.001	0.238	0.035	<0.001
	IOPcc (mmHg)	17.55 ± 2.18	16.69 ± 3.08	20.73 ± 5.20	<0.001	0.783	0.002	<0.001
	CH (mmHg)	9.74 ± 1.53	9.33 ± 1.39	8.84 ± 1.48	0.064			
	CRF (mmHg)	10.15 ± 1.87	9.35 ± 1.82	10.18 ± 1.72	0.041	0.140	1.000	0.119
Visual field test	VFI (%)	99.0 ± 1.1	83.2 ± 19.1	75.4 ± 25.4	<0.001	0.001	<0.001	0.169
	MD (dB)	-2.01 ± 1.37	-6.92 ± 6.43	-9.23 ± 6.66	<0.001	0.001	<0.001	0.212
	PSD (dB)	1.89 ± 0.54	6.87 ± 4.47	7.19 ± 4.19	<0.001	<0.001	<0.001	1.000
Adjusted CH (mmHg)		9.73 ± 0.27	9.37 ± 0.17	8.76 ± 0.28	0.027	0.809	0.039	0.220

Values are presented as mean ± standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma; P1 = *p*-value between group 1 and 2; P2 = *p*-value between group 1 and 3; P3 = *p*-value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

벗어난 경우, (2) pattern deviation plot에서 연속된 세 개 이상의 점의 역치가 정상의 5% 미만이면서 수평 중심선을 넘지 않는 경우, (3) pattern standard deviation에서 정상의 5% 이하인 경우로 정의하였다. 정상안압녹내장군은 측정한 일중 안압이 21 mmHg 이하이고, 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 변화와 2회 이상에서 반복되는 비정상적인 시야검사 결과를 보이는 경우로 정의하였다.

통계학적 분석에서 각 군 간의 비교는 분산분석(analysis of variance)을 이용하였으며 사후 검정으로는 Bonferroni 방법을 이용하였다. 각 군 간에 교란변수가 존재 시 공변량분석(analysis of covariance)을 이용하여 보정된 corneal hysteresis 측정값을 계산하였다. 연속형 변수들의 상관성은 피어슨 상관분석을 이용하였다. 모든 분석에서 IBM SPSS ver. 18.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였으며 p 값이 0.05 미만인

Table 6. Clinical and ocular parameters of non-glaucoma patient group

Non glaucoma		① Non myopia	② Mild myopia	③ Moderate myopia	④ High myopia	p -value	Bonferroni		
							P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (①-④)
							P4 (②-③)	P5 (②-④)	P6 (③-④)
Age (years)		57.42	48.25	42.00	38.14	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 11.08	± 13.80	± 15.48	± 13.15		0.054	0.001	1.000
Spherical equivalent (diopter)		0.61	-1.32	-4.42	-8.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 0.89	± 0.67	± 0.80	± 1.88		<0.001	<0.001	<0.001
Corneal curvature (mm)		7.72	7.73	7.76	7.79	0.480			
		± 0.25	± 0.29	± 0.37	± 0.26				
Axial length (mm)		23.18	23.88	25.45	27.19	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 0.71	± 0.86	± 1.17	± 1.49		<0.001	<0.001	<0.001
Central corneal thickness (μm)		555.7	559.6	558.8	557.9	0.711			
		± 29.7	± 29.9	± 28.6	± 31.1				
GAT (mmHg)		14.81	15.30	16.19	16.17	0.003	0.728	0.022	0.059
		± 2.71	± 2.59	± 2.75	± 2.59		0.521	0.751	1.000
ORA IOPg (mmHg)		14.69	15.18	16.45	16.49	0.003	1.000	0.022	0.046
		± 3.51	± 3.17	± 3.91	± 2.82		0.325	0.425	1.000
IOPcc (mmHg)		14.57	15.44	16.82	17.55	<0.001	0.103	<0.001	<0.001
		± 3.24	± 2.70	± 3.31	± 2.18		0.123	0.007	1.000
CH (mmHg)		11.06	10.65	10.35	9.74	<0.001	0.035	0.008	<0.001
		± 1.15	± 1.41	± 1.02	± 1.53		1.000	0.003	0.285
CRF (mmHg)		10.73	10.53	10.65	10.15	0.254			
		± 1.46	± 1.74	± 1.60	± 1.87				
Visual field test VFI (%)		98.5	99.0	98.9	99.0	0.055			
		± 1.9	± 1.2	± 1.9	± 1.1				
MD (dB)		-1.90	-1.43	-1.90	-2.01	0.172			
		± 2.20	± 1.28	± 1.92	± 1.37				
PSD (dB)		1.95	1.77	1.74	1.89	0.030	0.064	0.251	1.000
		± 0.64	± 0.52	± 0.51	± 0.54		1.000	1.000	1.000
Adjusted CH (mmHg)		11.10	10.62	10.25	9.61	<0.001	0.010	0.002	<0.001
		± 0.08	± 0.13	± 0.21	± 0.24		0.769	0.001	0.230

Values are presented as mean ± standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; POAG = primary open angle glaucoma; P1 = p -value between group 1 and 2; P2 = p -value between group 1 and 3; P3 = p -value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

경우를 통계학적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

547명 905안은 근시 정도에 따라 4개의 군으로 녹내장의 유무 및 종류에 따라 3개의 군으로 나누어 총 12개의 군으로 분류되었다(Table 1). 비근시군에서 보정된 corneal hysteresis 측정치

는 비녹내장군, 정상안압녹내장군, 원발개방각녹내장군에서 각각 10.86 ± 0.08 mmHg, 9.53 ± 0.11 mmHg, 9.65 ± 0.14 mmHg 이었다($p < 0.001$) (Table 2). 경도 근시군에서는 각각 10.45 ± 0.13 mmHg, 9.60 ± 0.18 mmHg, 9.25 ± 0.17 mmHg이었다($p < 0.001$) (Table 3). 중등도 근시군에서는 각각 10.34 ± 0.21 mmHg, 9.61 ± 0.18 mmHg, 9.25 ± 0.20 mmHg이었다($p = 0.001$) (Table 4). 고도 근시군에서 보정된 corneal hysteresis 측정치는 각각 9.73 ± 0.27

Table 7. Clinical and ocular parameters of normal tension glaucoma patient group

NTG		① Non myopia	② Mild myopia	③ Moderate myopia	④ High myopia	p-value	Bonferroni		
							P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (①-④)
							P4 (②-③)	P5 (②-④)	P6 (③-④)
Age (years)		62.95	52.81	42.91	37.90	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 8.66	± 13.03	± 11.85	± 12.02		<0.001	<0.001	0.069
Spherical equivalent (diopter)		0.70	-1.63	-4.54	-8.28	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 0.78	± 0.86	± 0.87	± 2.14		<0.001	<0.001	<0.001
Corneal curvature (mm)		7.75	7.75	7.77	7.89	0.003	1.000	1.000	0.004
		± 0.23	± 0.32	± 0.22	± 0.28		1.000	0.024	0.061
Axial length (mm)		23.49	24.35	25.27	27.17	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 0.84	± 1.20	± 0.89	± 1.38		<0.001	<0.001	<0.001
Central corneal thickness (μ m)		539.0	534.5	554.7	557.7	<0.001	1.000	0.012	<0.001
		± 30.2	± 26.1	± 27.5	± 36.0		0.004	<0.001	1.000
GAT (mmHg)		14.39	15.08	15.45	14.92	0.041	0.496	0.040	0.813
		± 2.28	± 1.86	± 2.77	± 2.49		1.000	1.000	1.000
ORA	IOPg (mmHg)	13.94	14.29	15.61	14.97	0.026	1.000	0.030	0.335
		± 3.41	± 3.38	± 3.91	± 3.66		0.330	1.000	1.000
	IOPcc (mmHg)	15.70	16.28	18.89	16.69	0.083			
		± 3.33	± 2.55	± 3.58	± 3.08				
	CH (mmHg)	9.41	9.16	9.65	9.33	0.251			
		± 1.23	± 1.26	± 1.24	± 1.39				
	CRF (mmHg)	9.10	8.99	9.81	9.35	0.032	1.000	0.055	1.000
		± 1.39	± 1.79	± 1.59	± 1.82		0.055	1.000	0.692
Visual field test	VFI (%)	82.5	81.9	87.9	83.2	0.382			
		± 24.0	± 20.3	± 13.2	± 19.1				
	MD (dB)	-6.80	-7.34	-5.13	-6.92	0.295			
		± 7.35	± 6.72	± 4.47	± 6.43				
	PSD (dB)	5.63	7.17	6.67	6.87	0.125			
		± 3.94	± 5.09	± 4.91	± 4.47				
Adjusted CH (mmHg)		9.39	9.29	9.55	9.36	0.696			
		± 0.13	± 0.16	± 0.17	± 0.16				

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation or number unless otherwise indicated.

NTG = normal tension glaucoma; P1 = p -value between group 1 and 2; P2 = p -value between group 1 and 3; P3 = p -value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

mmHg, 9.37 ± 0.17 mmHg, 8.76 ± 0.28 mmHg이었다($p=0.027$) (Table 5).

비근시군, 경도 근시군, 중등도 근시군에서는 두 녹내장군에서 비녹내장군보다 유의하게 낮은 corneal hysteresis 측정치를 나타냈으나($p<0.001$, $p<0.001/p=0.001$, $p<0.001/p=0.027$, $p=0.001$), 녹내장군 사이에서는 유의한 차이가 없었다($p=1.000/p=0.486/p=0.564$) (Tables 2-4). 고도 근시군에서 보정된 corneal hysteresis 측정치는 비녹내장군과 원발개방각녹내장 군에서만 유의한 차이를 보였다($p=0.039$) (Table 5).

비녹내장군에서는 보정된 corneal hysteresis 측정치는 비근시군, 경도 근시군, 중등도 근시군, 고도 근시군에서 각각 11.10 ± 0.08 mmHg, 10.62 ± 0.13 mmHg, 10.25 ± 0.21 mmHg, 9.61 ± 0.24 mmHg로 근시 정도에 따라 각 군 간에 유의한 차이가 있었다($p<0.001$, Table 6). Bonferroni 사후검정을 이용한 각 군 간

Table 8. Clinical and ocular parameters of primary angle closure glaucoma patient group

POAG		① Non myopia	② Mild myopia	③ Moderate myopia	④ High myopia	<i>p</i> -value	Bonferroni		
							P1 (①-②)	P2 (①-③)	P3 (①-④)
							P4 (②-③)	P5 (②-④)	P6 (③-④)
Age (years)		65.33	59.65	43.72	39.52	<0.001	0.070	<0.001	<0.001
		± 9.08	± 15.67	± 11.75	± 15.05		<0.001	<0.001	0.965
Spherical equivalent (diopter)		0.96	-1.54	-4.39	-9.57	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		± 0.78	± 0.73	± 0.77	± 4.16		<0.001	<0.001	<0.001
Corneal curvature (mm)		7.70	7.66	7.79	7.82	0.022	1.000	0.520	0.293
		± 0.27	± 0.20	± 0.31	± 0.28		0.106	0.066	1.000
Axial length (mm)		23.44	23.86	25.61	27.36	<0.001	0.128	<0.001	<0.001
		± 0.85	± 0.75	± 1.00	± 1.69		<0.001	<0.001	<0.001
Central corneal thickness (μ m)		533.6	550.5	551.9	559.6	0.001	0.030	0.025	0.003
		± 31.9	± 31.5	± 36.9	± 37.3		1.000	1.000	1.000
GAT (mmHg)		16.75	16.58	18.22	18.10	0.157			
		± 3.92	± 4.75	± 5.15	± 4.51				
ORA	IOPg (mmHg)	15.71	15.69	17.63	19.11	0.002	1.000	0.190	0.007
		± 4.50	± 4.26	± 5.27	± 5.26		0.249	0.011	1.000
	IOPcc (mmHg)	17.49	17.21	19.12	20.73	0.003	1.000	0.379	0.009
		± 4.33	± 4.46	± 5.11	± 5.20		0.248	0.007	0.845
	CH (mmHg)	9.18	9.31	9.19	8.84	0.615			
		± 1.55	± 1.54	± 1.51	± 1.48				
	CRF (mmHg)	9.44	9.58	10.02	10.18	0.131			
		± 1.80	± 1.56	± 1.85	± 1.72				
Visual field test	VFI (%)	69.7	74.0	73.2	75.4	0.722			
		± 28.8	± 24.7	± 29.3	± 25.4				
	MD (dB)	-11.18	-9.24	-9.20	-9.23	0.453			
		± 8.63	± 7.27	± 10.03	± 6.66				
	PSD (dB)	7.27	8.25	7.15	7.19	0.551			
		± 4.18	± 4.76	± 4.96	± 4.19				
Adjusted CH (mmHg)		9.34	9.18	9.17	8.70	0.340			
		± 0.18	± 0.19	± 0.22	± 0.28				

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation or number unless otherwise indicated.

POAG = primary open angle glaucoma; P1 = *p*-value between group 1 and 2; P2 = *p*-value between group 1 and 3; P3 = *p*-value between group 2 and 3; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOPg = Goldmann correlated intraocular pressure; IOPcc = corneal compensated intraocular pressure; CH = corneal hysteresis; ORA = ocular response analyzer; CRF = corneal resistance factor; VFI = visual field index; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

의 비교에서 비근시군은 다른 세 군보다 유의하게 높은 corneal hysteresis 측정치를 보였고(각각 $p=0.010$, $p=0.002$, $p<0.001$), 경도 근시군은 고도 근시군보다 유의하게 높은 corneal hysteresis 측정치를 나타냈다($p=0.001$). 경도 근시군과 중등도 근시군 사이, 중등도 근시군과 고도 근시군 사이에는 corneal hysteresis는 유의한 차이는 없었다(각각 $p=0.769$, $p=0.230$).

정상안압녹내장군에서 보정된 CH 측정치는 각각 9.39 ± 0.13 mmHg, 9.29 ± 0.16 mmHg, 9.55 ± 0.17 mmHg, 9.36 ± 0.16 mmHg이었다($p=0.696$) (Table 7). 원발개방각녹내장군에서는 각각 9.34 ± 0.18 mmHg, 9.18 ± 0.19 mmHg, 9.17 ± 0.22 mmHg, 8.70 ± 0.28 mmHg로 녹내장을 가진 환자들에게서 근시 정도에 따른 corneal hysteresis 측정치의 유의한 차이는 관찰되지 않았다($p=0.340$) (Table 8). 피어슨 상관분석을 통한 corneal hysteresis와 각막중심두께는 비녹내장군, 정상안압녹내장군, 원발개방각녹내장군 모두에서 유의한 상관관계를 보였다($p<0.001$) (Fig. 1).

고찰

본 연구에서, 비근시군, 경도, 중등도 근시군에서 정상안압녹내장, 원발성개방각녹내장 두 군 모두 정상인에 비해 유의한 corneal hysteresis의 감소를 보였다. 고도 근시군에서 녹내장환자가 정상인에 비해 유의한 corneal hysteresis의 감소를 보였으나, 정상안압 녹내장군과 정상안 사이에 corneal hysteresis값의 유의한 차이는 없었다. 정상안에서 근시 정도에 따라 통계적으로 유의한 corneal hysteresis의 감소가 있었으나, 녹내장군에서 근시 정도에 따른 CH값의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

기존의 근시에 따른 corneal hysteresis 측정치의 차이에 대한 연구들 중 Shen et al²⁷은 0에서 -3디옵터의 비근시 90안과 -9디옵터 이하의 고도 근시 45안을 비교하여 두 군 사이에 중심각막두

께와 corneal resistance factor의 차이는 없으나, 고도 근시군에서 corneal hysteresis 측정치가 유의하게 낮음을 보고하였다. 또한 Jiang et al²⁸은 연구대상을 비근시군, 경도 근시군, 중등도 근시군, 고도 근시군으로 나누어 corneal hysteresis 측정치가 고도 근시군에서 낮음을 확인하였다. 본 연구에서도 비녹내장군에서 근시 정도가 심해짐에 따라 corneal hysteresis 측정치가 더욱 감소하는 양상을 보여 이러한 기존의 보고와 일치하였고,^{23,24} 이를 통해 근시가 심할수록 녹내장 발생의 위험이 증가할 것으로 생각되며 근시의 진행과 녹내장의 발생은 같은 위험인자를 공유한다고 유추할 수 있다. 본 연구에서 실시한 녹내장군에서 근시 정도에 따른 CH 측정치 변화는 통계적 유의성을 보이지 않았다. 이는 모든 녹내장군의 corneal hysteresis 측정치가 이미 비녹내장군의 최저치(고도 근시군의 9.61)보다 낮으므로 근시에 따른 corneal hysteresis 측정치의 추가적인 차이는 나타나지 않은 것으로 생각된다.

각막 변형에 대한 저항성은 각막을 구성하는 세포외기질의 구조를 반영하고 이는 녹내장성 손상과 연관 있는 사상판이나 시신경유두 주위 공막과 같은 후극부 안조직의 세포외기질과 관련이 있다.^{29,30} 즉 각막 변형이 쉬운 안구일수록 시신경이 높은 안압으로 인한 손상에 더욱 민감하다고 할 수 있으며 이는 낮은 corneal hysteresis 측정치를 통해 알 수 있다. 기존의 corneal hysteresis 측정치와 녹내장과 연관성 연구에서 낮은 corneal hysteresis 측정치가 녹내장과 관련이 있다고 밝혀졌다.^{31,32} 비록 낮은 corneal hysteresis 측정치가 녹내장 발생 및 진행과 관련된 진정한 위험인자인지 또는 녹내장성 손상이나 안압하강제의 사용에 따른 이차적 결과인지 논란이 있지만, 최근의 후속 연구들은 전자를 지지하는 결과를 보여준다.³³

녹내장 유무에 따른 corneal hysteresis 측정치를 비교하였을 때 비근시군에서 녹내장이 동반 시 유의하게 낮은 corneal hys-

Figure 1. Scatter plots between CH against CCT in normal controls (A), normal tension glaucoma group (B), and primary open angle glaucoma group (C). CH = corneal hysteresis; CCT = central corneal thickness.

esis 측정치를 보였는데 이는 기존의 보고와 동일한 결과를 보였다.^{22,25,26} Morita et al²⁶은 정상안압녹내장 환자 83명과 정상인 83명 간에 안구반응분석기를 이용하여, 안압과 corneal hysteresis를 비교 연구하였다. 그 결과, 정상안압녹내장 환자의 corneal hysteresis (9.2 ± 1.3 mmHg)는 정상인의 corneal hysteresis (10.8 ± 1.3 mmHg)에 비하여, 유의하게 낮은 값으로 나타났다. 또한, Kaushik et al²⁵은 정상안압녹내장 환자뿐만 아니라, 원발개방각 녹내장 환자도 포함하여, 정상인과 corneal hysteresis값을 비교한 연구에서, 정상안압녹내장 환자와 원발개방각녹내장 환자의 corneal hysteresis가 각각 8.0 ± 1.6 mmHg, 7.9 ± 2.8 mmHg로 정상인의 9.5 ± 1.4 mmHg에 비하여 각각 유의하게 낮았다(각각 $p=0.034$, $p=0.030$). 하지만 기존의 연구에서는 대상군 선정 시 근시가 있는 녹내장 환자를 제외하여, 근시안에서 녹내장과 각막생체역학인자의 관계에 대해 평가할 수 없는 한계가 있다. 반면에 이전 연구와 다르게 본 연구에서는 근시군을 포함하였고, 또한 근시군을 근시 정도에 따라 나누어 분석하였다. 따라서 기존의 안구반응분석기를 이용한 각막생체역학인자 연구의 경우 근시와 녹내장이 미치는 영향에 대해 독립적으로 분석하였던 반면 녹내장의 유무 및 종류, 그리고 근시의 정도에 따라 두 인자가 각막생체역학인자에 미치는 영향에 대해 함께 조사, 분석한 측면에서 본 연구가 의미가 있다고 볼 수 있다.

비녹내장군, 정상안압녹내장군, 원발개방각녹내장군 모두에서 CH 측정치는 중심각막두께와 유의한 양의 상관관계를 보였는데 이는 기존의 연구들과 일치하는 결과였다.^{34,35} Shah et al³⁵은 정상안압녹내장, 원발개방각녹내장, 고안압 환자를 대상으로 안구반응분석기를 이용하여 각막생체역학인자 비교 및 중심각막두께와의 상관관계에 대한 연구를 시행하였다. 정상안압녹내장, 원발개방각녹내장 환자에 비해 고안압 환자에서 더 높은 corneal hysteresis, 중심각막두께값을 보였으며, 전체 환자를 대상으로 corneal hysteresis, 중심각막두께 상관관계 분석에서 corneal hysteresis가 중심각막두께와 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다($r=0.3$, $p<0.001$). 얇은 각막중심두께는 안압 측정에 오차를 발생시키는 것과 별개로 녹내장의 독립적인 위험인자로 인식되었는데 이는 넓은 의미로 corneal hysteresis 측정치와 같이 각막의 점탄성을 반영한다고 생각해 볼 수 있다.

본 연구의 제한점으로 일부 군에서 대상안이 충분하지 못하였기 때문에 고도 근시안에서 시행한 본 연구의 결과에 대해서 향후 더 많은 대상을 가지고 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되며, 이를 바탕으로 고도 근시에서 녹내장안에 대한 CH의 변화가 좀 더 명확히 분석될 것으로 생각된다. 또한 공변량 보정을 하였어도 corneal hysteresis 측정치에 영향을 줄 수 있는 나이가 각

군마다 통제되지 못한 것이 또 다른 제한점이라고 할 수 있다.

본 연구를 통해 낮은 corneal hysteresis 측정치는 근시의 정도 및 녹내장의 발생과 관련이 있음을 확인할 수 있었으며 두 질환이 공통된 위험 요소를 가지고 있다고 생각된다. 본 연구에서 비녹내장안에서 근시 정도에 따라 통계적으로 유의한 corneal hysteresis의 감소가 있었으나, 녹내장 환자에서 근시 정도에 따른 corneal hysteresis 측정치의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 또한 비근시군뿐만 아니라 근시군에서도 녹내장안이 비녹내장안에 비해 corneal hysteresis가 통계적으로 유의하게 낮았다. 이러한 결과를 종합하여 근시안에서 녹내장 발생의 병태생리에서 낮은 corneal hysteresis가 의미 있는 영향을 미칠 것으로 생각된다.

References

1. Saw SM, Zhang MZ, Hong RZ, et al. Near-work activity, night-lights, and myopia in the Singapore-China study. *Arch Ophthalmol* 2002;120:620-7.
2. Pärssinen O, Lyyra AL. Myopia and myopic progression among schoolchildren: a three-year follow-up study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1993;34:2794-802.
3. Sperduto RD, Seigel D, Roberts J, Rowland M. Prevalence of myopia in the United States. *Arch Ophthalmol* 1983;101:405-7.
4. Wensor M, McCarty CA, Taylor HR. Prevalence and risk factors of myopia in Victoria, Australia. *Arch Ophthalmol* 1999;117:658-63.
5. Rahi JS, Cumberland PM, Peckham CS. Myopia over the lifecourse: prevalence and early life influences in the 1958 British birth cohort. *Ophthalmology* 2011;118:797-804.
6. Thorn F, Cruz AA, Machado AJ, Carvalho RA. Refractive status of indigenous people in the northwestern Amazon region of Brazil. *Optom Vis Sci* 2005;82:267-72.
7. Seet B, Wong TY, Tan DT, et al. Myopia in Singapore: taking a public health approach. *Br J Ophthalmol* 2001;85:521-6.
8. Wong TY, Foster PJ, Hee J, et al. Prevalence and risk factors for refractive errors in adult Chinese in Singapore. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:2486-94.
9. He M, Zeng J, Liu Y, et al. Refractive error and impairment in urban children in southern China. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:793-9.
10. Qiu M, Wang SY, Singh K, Lin SC. Association between myopia and glaucoma in the united states population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:830-5.
11. Chen SJ, Lu P, Zhang WF, Lu JH. High myopia as a risk factor in primary open angle glaucoma. *Int J Ophthalmol*

- 2012;5:750-3.
12. Poostchi A, Sharp JA, Baxter JM, Vernon SA. Myopia and open angle glaucoma. *Ophthalmology* 2012;119:1941; author reply 1942.
 13. Mitchell P, Hourihan F, Sandbach J, et al. The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology* 1999;106:2010-5.
 14. Perera SA, Wong TY, Tay WT, et al. Refractive error, axial dimensions, and primary open-angle glaucoma: the Singapore Malay Eye Study. *Arch Ophthalmol* 2010;128:900-5.
 15. Kuzin AA, Varma R, Reddy HS, et al. Ocular biometry and open-angle glaucoma: the Los Angeles Latino Eye Study. *Ophthalmology* 2010;117:1713-9.
 16. Marcus MW, de Vries MM, Junoy Montolio FG, Jansonius NM. Myopia as a risk factor for open-angle glaucoma: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2011;118:1989-94.
 17. Xu L, Wang Y, Wang S, et al. High myopia and glaucoma susceptibility: the Beijing Eye Study. *Ophthalmology* 2007;114:216-20.
 18. Sergienko NM, Shargorogskaya I. The scleral rigidity of eyes with different refractions. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250:1009-12.
 19. Wang J, Freeman EE, Descovich D, et al. Estimation of ocular rigidity in glaucoma using ocular pulse amplitude and pulsatile choroidal blood flow. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:1706-11.
 20. Lari DR, Schultz DS, Wang AS, et al. Scleral mechanics: comparing whole globe inflation and uniaxial testing. *Exp Eye Res* 2012;94:128-35.
 21. Clemmensen K, Hjortdal J. Intraocular pressure and corneal biomechanics in Fuchs' endothelial dystrophy and after posterior lamellar keratoplasty. *Acta Ophthalmol* 2014;92:350-4.
 22. Kozobolis V, Sideroudi H, Giarmoukakis A, et al. Corneal biomechanical properties and anterior segment parameters in forme fruste keratoconus. *Eur J Ophthalmol* 2012;22:920-30.
 23. Altan C, Demirel B, Azman E, et al. Biomechanical properties of axially myopic cornea. *Eur J Ophthalmol* 2012;22 Suppl 7:S24-8.
 24. Shen M, Fan F, Xue A, et al. Biomechanical properties of the cornea in high myopia. *Vision Res* 2008;48:2167-71.
 25. Kaushik S, Pandav SS, Banger A, et al. Relationship between corneal biomechanical properties, central corneal thickness, and intraocular pressure across the spectrum of glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2012;153:840-9.e2.
 26. Morita T, Shoji N, Kamiya K, et al. Corneal biomechanical properties in normal-tension glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2012;90:e48-53.
 27. Shen M, Fan F, Xue A, et al. Biomechanical properties of the cornea in high myopia. *Vision Res* 2008;48:2167-71.
 28. Jiang Z, Shen M, Mao G, et al. Association between corneal biomechanical properties and myopia in Chinese subjects. *Eye (Lond)* 2011;25:1083-9.
 29. Edmund C. Corneal elasticity and ocular rigidity in normal and keratoconic eyes. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1988;66:134-40.
 30. McBrien NA, Gentle A. Role of the sclera in the development and pathological complications of myopia. *Prog Retin Eye Res* 2003;22:307-38.
 31. Congdon NG, Broman AT, Bandeen-Roche K, et al. Central corneal thickness and corneal hysteresis associated with glaucoma damage. *Am J Ophthalmol* 2006;141:868-75.
 32. De Moraes CV, Hill V, Tello C, et al. Lower corneal hysteresis is associated with more rapid glaucomatous visual field progression. *J Glaucoma* 2012;21:209-13.
 33. Medeiros FA, Meira-Freitas D, Lisboa R, et al. Corneal hysteresis as a risk factor for glaucoma progression: a prospective longitudinal study. *Ophthalmology* 2013;120:1533-40.
 34. Broman AT, Congdon NG, Bandeen-Roche K, Quigley HA. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure. *J Glaucoma* 2007;16:581-8.
 35. Shah S, Laiquzzaman M, Mantry S, Cunliffe I. Ocular response analyser to assess hysteresis and corneal resistance factor in low tension, open angle glaucoma and ocular hypertension. *Clin Exp Ophthalmol* 2008;36:508-13.