

군날개절제술 전후의 각막 고위수차 비교

Comparison of Corneal Higher-order Aberration before and after Excision of Pterygium

김봉준 · 김선웅

Bong Jun Kim, MD, Sun Woong Kim, MD, PhD

연세대학교 원주의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

Purpose: To investigate the types of corneal higher-order aberration (HOA) induced by pterygium, residual corneal HOA after pterygium surgery, and correlations between corneal HOA and the length of the pterygium.

Methods: Fifty-three patients who underwent pterygium excision with conjunctival autograft were enrolled. Corneal HOA was measured by Pentacam® (Oculus Inc., Wetzlar, Germany) preoperatively and 3 months postoperatively in the 6-mm optical zone. Preoperative and postoperative HOAs of eyes with pterygium were compared with HOAs of the fellow eye to evaluate HOAs induced by pterygium and residual HOAs after pterygium surgery. Partial correlation analysis was performed to investigate the relationship between HOAs and the length of pterygium. A postoperative HOA less than 0.35 μm in size was defined as a favorable surgical outcome and the surgical indications were estimated using receiver operator characteristic (ROC) curve.

Results: Horizontal coma, root mean square (RMS) of coma, oblique trefoil, horizontal trefoil, RMS of trefoil, and total HOA were significantly greater in the eye with preoperative pterygium. Three months after pterygium excision, only RMS of coma and total HOA remained significantly greater in eyes with pterygium. Vertical coma, horizontal coma, RMS of coma, and oblique tetrafoil were correlated with pterygium length. Pterygium excision when pterygium length was less than 1.6 mm led to favorable surgical outcomes.

Conclusion: Pterygium induced greater than third-order corneal HOAs and these HOAs were corrected via pterygium surgery. Longer pterygium length was associated with larger RMS of coma and larger coma RMS persisted after pterygium surgery. A pterygium length of 1.6 mm should be considered the cutoff for pterygium excision for reducing postoperative corneal HOA. J Korean Ophthalmol Soc 2017;58(9):1023-1030

Keywords: Corneal aberration, Excision of pterygium, Higher-order aberration, Pentacam, Pterygium

군날개는 섬유혈관조직이 각막의 윤부를 넘어 각막으로 자라 들어가는 질환으로, 자외선, 각막의 퇴행성 변화, 기

후, 유전적 요인, 면역학적 요인 등이 군날개 발생의 원인 인자로 알려져 있다.^{1,2} 군날개는 각막의 광학부(optical zone)까지 자라 들어가지 않아도, 각막의 기계적인 당김이나,³ 군날개 머리 부위에 고이는 눈물 등에 의해⁴ 각막 굴절력의 변화를 일으킬 수 있으며, 수술적 제거를 통해 이러한 변화를 감소시킬 수 있다고 알려져 있다.⁵⁻¹⁴ 그뿐 아니라, 군날개는 시력의 질에 있어 중요한 인자로 알려진 각막의 고위수차에도 영향을 미치는 것으로 여러 연구들에서 확인되었으며, 이 역시 수술적 제거를 통하여 호전될 수 있다고 보고된 바 있다.¹⁵⁻²⁰

■ Received: 2017. 6. 15. ■ Revised: 2017. 7. 27.

■ Accepted: 2017. 8. 23.

■ Address reprint requests to **Sun Woong Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Wonju Severance Christian Hospital, #20 Ilsan-ro, Wonju 26426, Korea
Tel: 82-33-741-1346, Fax: 82-33-741-0460
E-mail: eyedockim@yonsei.ac.kr

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

© 2017 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.

Pentacam® HR (Oculus Inc., Wetzlar, Germany)은 360°로 회전하는 샤임플러그 카메라를 이용하는 각막형태검사기로 각막 전후면의 지형도 및 각막수차를 구할 수 있다.^{21,22} 저자들은 군날개의 진행 정도와 고위수차의 발생에 연관관계가 있고, 군날개절제술 후 잔류 고위수차가 수술 시 군날개의 길이와 연관이 있을 것으로 예상하였다. 그래서 저자들은 군날개가 있는 안구에서 술 전과 술 후에 측정된 고위수차를 반대쪽 정상안의 고위수차와 비교하여 술 전 군날개로 유발된 고위수차와 술 후 잔류 고위수차가 군날개의 길이와 상관관계를 갖는지 확인하고, 언제 군날개수술을 시행하는 것이 술 후 고위수차를 줄이는 데 효과적인지 알아보려고 하였다.

대상과 방법

2015년 3월부터 2015년 11월까지 단안 군날개로 본원에서 군날개절제술을 받은 환자 53명을 대상으로 후향적으로 연구를 진행하였다. 본 연구는 본원의 연구윤리위원회의 승인을 받았으며, 대상자들은 수술 전후 의무기록을 통한 연구진행에 동의하였다. 동일한 환자에서 군날개가 있는 안구를 대상안으로, 반대쪽의 군날개가 없는 정상안을 대조안으로 설정하였다. 각막 외상, 원추 각막, 각막혼탁 등의 과거력이 있거나, 백내장, 녹내장, 굴절교정수술 등 안과적 수술을 시행받은 과거력이 있는 환자는 대상에서 제외하였다.

모든 대상안에서 수술 전에 세극등 현미경을 이용하여 각막상태 확인 및 사진 촬영을 시행하였다. 또한 군날개 수술 전과 수술 3개월 후에 Pentacam® HR (Oculus Inc.)을 이용하여 같은 검사자에 의해 3차에서 6차까지의 고위수차 값을 측정하였다. 고위수차 측정값은 동공크기 6 mm로 표준화시켜 분석하였다. 코마수차, 트레포일수차, 전체고위수차에 대하여 root mean square (RMS) 값도 계산하여 분석에 이용했으며, 전체 고위수차의 RMS는 3차에서 6차까지 해당되는 고위수차들을 포함하여 계산하였다.

군날개의 계측

군날개 수술 전 각막의 지름을 caliper로 측정하고, 군날개를 세극등현미경을 이용하여 사진을 촬영하였다. 촬영된 군날개 사진에서 Image J (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 각막의 지름과 군날개의 길이의 비를 구하였으며, 이전에 측정된 각막의 지름을 이용하여 군날개의 실제 길이를 mm 단위로 환산하였다. 군날개의 길이는 각막 중심을 수평으로 지나는 선에서 군날개 두부에서 각막 윤부 사이의 거리로 정하였다(Fig. 1).

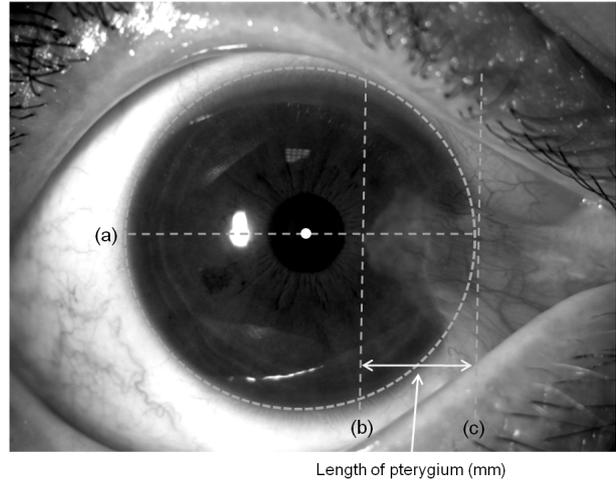


Figure 1. Preoperative slit-lamp photograph of the pterygium. Gray dashed lines were added to the image analysis for the measurement of length of pterygium. Length of pterygium (double-headed arrow): distance between the two vertical lines to the horizontal line passing through the corneal center (a), one line (b) tangent to the pterygium head and second line (c) tangent to the corneal limbus.

또한 Image J를 이용하여 군날개에 해당하는 면적을 계산하였다.

수술 방법

모든 대상자들은 군날개절제술과 자가 결막 이식술을 동일 술자에게 시행받았다. 군날개 두부에 리도카인-에피네프린(1:100,000, Yu-Han Corporation, Seoul, Korea)을 주사한 후 군날개 두부를 각막으로부터 들어올려 박리하고, 이어 결막과 테논낭을 박리하였다. 공막으로부터 군날개의 본체를 충분히 박리한 후 변성된 결막 및 테논낭을 완전히 제거하였다. 군날개가 제거되어 공막이 노출된 부위의 크기를 측정하여, 상측의 결막에서 이식할 결막편을 박리하였다. 이식결막편은 군날개를 제거한 부위에 옮겨와 각막 윤부 근처에 두 군데, 잔여 결막조직과 2-4군데에 10-0나일론으로 단속봉합을 시행 후 수술 1주 후에 모든 봉합사를 제거하였다.

통계 분석

대상안의 술 전 고위수차와 술 후 고위수차, 정상안의 술 전 고위수차를 분석에 이용하였다. 대상안의 술 전 고위수차와 정상안의 술 전 고위수차를 비교하여 군날개에 의해 유발된 고위수차를, 대상안의 술 후 고위수차와 정상안의 술 전 고위수차를 비교하여 군날개 제거술 후 잔류 고위수차를 분석하였다. 대상안에서 술 전과 술 후의 고위수차도 비교하여 군날개절제술을 통하여 고위수차가 유의하게 줄

어느정도 확인하였다. 대상안과 정상안의 고위수차 비교, 그리고 대상안의 술 전과 술 후 고위수차 비교에 대응표본 T-검정(paired T-test)을 사용하였다. 그리고 이 수치들이 군날개의 길이와 어떠한 상관관계가 있는지 확인하기 위하여 나이와 성별을 통제하는 조건에서 편상관분석을 시행하였다.

적절한 수술시점을 추정하기 위하여 receiver operator characteristic (ROC) 커브를 이용하였다. 시력의 질과 고위수차와의 관련성을 다룬 기존의 연구들^{15,23}을 참조하여 술 후 고위수차가 0.35 μm 이하인 경우를 효과적 수술결과로 정의하고, 군날개절제술 시의 군날개의 길이와 수술 후 효과적 수술결과 여부의 상관관계를 ROC 커브를 그려 분석하였다. 모든 통계학적 분석은 SPSS version 21 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 이루어졌으며, p 값은 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의하다고 보았다.

결 과

대상자 53명 중 남성은 26명, 여성은 27명이었고, 평균 연령은 59.21 ± 11.57 세였으며, 군날개의 평균 길이는 2.47

Table 1. Demographic characteristics of subjects who received excision of pterygium

	Measurement	Range
Sex (male:female)	26:27	
Age (years)	59.21 ± 11.57	34-85
Pterygium length (mm)	2.47 ± 1.36	0.79-5.18
Pterygium width (mm)	4.11 ± 1.39	1.54-6.94
Pterygium area (mm^2)	12.12 ± 7.73	1.21-29.57

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

Table 2. Bilateral comparison of higher-order aberration in pterygium eyes and control eyes before pterygium surgery

Zernike coefficient (μm)	Preoperative pterygium eye	Fellow control eye	p -value
Z_3^{-1} (Horizontal coma)	0.078 ± 0.168	0.004 ± 0.119	<0.001
Z_3^{-1} (Vertical coma)	0.072 ± 0.355	-0.005 ± 0.093	0.140
Total coma	0.361 ± 0.181	0.124 ± 0.085	<0.001
Z_3^3 (Horizontal trefoil)	0.078 ± 0.148	-0.004 ± 0.065	0.001
Z_3^{-3} (Oblique trefoil)	-0.088 ± 0.297	0.009 ± 0.066	0.024
Total trefoil	0.266 ± 0.228	0.073 ± 0.057	<0.001
Z_4^4 (Horizontal tetrafoil)	-0.275 ± 0.370	-0.021 ± 0.072	<0.001
Z_4^2 (Horizontal secondary astigmatism)	0.043 ± 0.141	-0.024 ± 0.073	0.006
Z_4^0 (Spherical aberration)	0.196 ± 0.089	0.229 ± 0.054	0.012
Z_4^{-2} (Oblique secondary astigmatism)	0.027 ± 0.127	0.005 ± 0.075	0.327
Z_4^{-4} (Oblique tetrafoil)	0.103 ± 0.476	0.010 ± 0.076	0.157
4th order	0.581 ± 0.441	0.272 ± 0.065	<0.001
5th order	0.228 ± 0.140	0.086 ± 0.062	<0.001
6th order	0.144 ± 0.092	0.054 ± 0.039	<0.001
Total HOA	0.822 ± 0.492	0.339 ± 0.100	<0.001

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

HOA = higher-order aberration.

± 1.36 mm, 평균 면적은 12.12 ± 7.73 mm^2 였다(Table 1). 모든 대상자에서 추적 관찰 기간 중 재발한 경우는 없었으며, 군날개절제술과 관련한 합병증이 발생한 경우도 없었다.

대상안과 정상안의 고위수차 비교

수술 전 대상안의 고위수차와 정상안의 고위수차를 비교하였을 때, 수평코마(Z_3^1 , horizontal coma) ($p<0.001$), 전체코마($p<0.001$), 수평트레포일(Z_3^3 , horizontal trefoil) ($p=0.001$), 경사트레포일(Z_3^{-3} , oblique trefoil) ($p=0.024$), 전체트레포일($p<0.001$), 수평테트라포일(Z_4^4 , horizontal tetrafoil) ($p<0.001$), 수평이차난시(Z_4^2 , horizontal secondary astigmatism) ($p=0.006$), 전체고위수차($p<0.001$)가 대상안에서 유의하게 컸다. 구면수차(Z_4^0 , spherical aberration)는 대상안에서 0.196 ± 0.089 μm , 정상안에서 0.229 ± 0.054 μm 로 정상안에서 더 컸다 ($p=0.012$) (Table 2).

수술 후 대상안의 고위수차와 정상안의 고위수차를 비교하였을 때는 전체코마($p=0.004$), 수평테트라포일(Z_4^4) ($p=0.009$), 경사테트라포일(Z_4^{-4} , oblique tetrafoil) ($p=0.034$), 전체고위수차($p=0.004$)가 대상안에서 더 컸고 다른 고위수차는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

대상안의 수술 전과 수술 후 고위수차 비교

대상안의 수술 전과 수술 후의 고위수차를 비교하였을 때, 수평코마(Z_3^1) ($p<0.001$), 전체코마($p<0.001$), 수평트레포일(Z_3^3) ($p=0.008$), 경사트레포일(Z_3^{-3}) ($p=0.028$), 전체트레포일($p<0.001$), 수평테트라포일(Z_4^4) ($p<0.001$), 수평이차난시(Z_4^2) ($p=0.006$), 전체고위수차($p<0.001$)가 수술 후 감소하였다. 구면수차(Z_4^0)는 수술 전 0.196 ± 0.089 μm , 수술

Table 3. Bilateral comparison of higher-order aberration in pterygium eyes following pterygium surgery and control eyes

Zernike coefficient (μm)	Postoperative pterygium eye	Fellow control eye	p-value
Z_3^1 (Horizontal coma)	0.004 \pm 0.140	0.004 \pm 0.119	0.989
Z_3^{-1} (Vertical coma)	0.027 \pm 0.159	-0.005 \pm 0.093	0.167
Total coma	0.176 \pm 0.119	0.124 \pm 0.085	0.004
Z_3^3 (Horizontal trefoil)	0.004 \pm 0.091	-0.004 \pm 0.065	0.525
Z_3^{-3} (Oblique trefoil)	0.007 \pm 0.065	0.009 \pm 0.066	0.861
Total trefoil	0.090 \pm 0.067	0.073 \pm 0.057	0.120
Z_4^4 (Horizontal tetrafoil)	0.046 \pm 0.169	-0.021 \pm 0.072	0.009
Z_4^2 (Horizontal secondary astigmatism)	-0.031 \pm 0.095	-0.024 \pm 0.073	0.679
Z_4^0 (Spherical aberration)	0.238 \pm 0.052	0.229 \pm 0.054	0.333
Z_4^{-2} (Oblique secondary astigmatism)	0.009 \pm 0.091	0.005 \pm 0.075	0.870
Z_4^{-4} (Oblique tetrafoil)	-0.031 \pm 0.107	0.010 \pm 0.076	0.034
4th order	0.320 \pm 0.134	0.272 \pm 0.065	0.016
5th order	0.106 \pm 0.073	0.086 \pm 0.062	0.066
6th order	0.068 \pm 0.056	0.054 \pm 0.039	0.071
Total HOA	0.410 \pm 0.185	0.339 \pm 0.100	0.004

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.
HOA = higher-order aberration.

Table 4. Higher-order aberration of pterygium eyes before and after pterygium surgery

Zernike coefficient (μm)	Preoperative pterygium eye	Postoperative pterygium eye	p-value
Z_3^1 (Horizontal coma)	0.078 \pm 0.168	0.004 \pm 0.140	<0.001
Z_3^{-1} (Vertical coma)	0.072 \pm 0.355	0.027 \pm 0.159	0.451
Total coma	0.361 \pm 0.181	0.176 \pm 0.119	<0.001
Z_3^3 (Horizontal trefoil)	0.078 \pm 0.148	0.004 \pm 0.091	0.008
Z_3^{-3} (Oblique trefoil)	-0.088 \pm 0.297	0.007 \pm 0.065	0.028
Total trefoil	0.266 \pm 0.228	0.090 \pm 0.067	<0.001
Z_4^4 (Horizontal tetrafoil)	-0.275 \pm 0.370	0.046 \pm 0.169	<0.001
Z_4^2 (Horizontal secondary astigmatism)	0.043 \pm 0.141	-0.031 \pm 0.095	0.006
Z_4^0 (Spherical aberration)	0.196 \pm 0.089	0.238 \pm 0.052	<0.001
Z_4^{-2} (Oblique secondary astigmatism)	0.027 \pm 0.127	0.009 \pm 0.091	0.301
Z_4^{-4} (Oblique tetrafoil)	0.103 \pm 0.476	-0.031 \pm 0.107	0.060
4th order	0.581 \pm 0.441	0.320 \pm 0.134	<0.001
5th order	0.228 \pm 0.140	0.106 \pm 0.073	<0.001
6th order	0.144 \pm 0.092	0.068 \pm 0.056	<0.001
Total HOA	0.822 \pm 0.492	0.410 \pm 0.185	<0.001

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.
HOA = higher-order aberration.

후 0.238 \pm 0.052 μm 로 수술 후 증가하는 것으로 나타났다 ($p < 0.001$) (Table 4).

군날개 유발 고위수차, 군날개절제 후 잔류고위수차와 군날개의 길이, 너비와의 상관관계

나이와 성별을 통제한 후 시행한 편상관분석에서, 군날개에 의하여 유발된 고위수차 중 수평코마(Z_3^1), 수직코마(Z_3^{-1}), 전체코마, 전체고위수차는 군날개의 길이와 양의 상관관계를 나타냈다. 반대로 수평테트라포일(Z_4^4)은 군날개의 길이와 음의 상관관계를 나타냈다. 반면 군날개절제 후의 잔류고위수차 중에서는 전체코마, 전체고위수차가 군날

개의 길이와 양의 상관관계를 나타냈다(Table 5).

군날개 너비와 시행한 편상관분석에서는 수평코마(Z_3^1), 수직코마(Z_3^{-1}), 전체코마, 전체고위수차는 군날개의 길이와 유의한 상관관계가 나타났고, 추가로 경사테트라포일(Z_4^4) 또한 양의 상관관계를 나타냈다. 잔류 고위수차에서는 전체코마만이 유의하게 상관관계를 갖는 것으로 나타났다 (Table 6).

술 후 고위수차를 줄일 수 있는 군날개의 길이 기준

군날개절제술 후 전체고위수차가 0.35 μm 이하로 측정되는 경우를 효과적인 수술결과로 보았을 때, 효과적인 수

Table 5. Partial correlation analysis between higher-order aberration and length of pterygium

	Induced HOA		Remained HOA	
	R	p	R	p
Z ₃ ¹ (Horizontal coma)	0.378	0.007	-0.128	0.376
Z ₃ ⁻¹ (Vertical coma)	0.441	0.001	-0.053	0.714
Total coma	0.592	<0.001	0.393	0.005
Z ₃ ³ (Horizontal trefoil)	0.273	0.055	0.246	0.085
Z ₃ ⁻³ (Oblique trefoil)	0.009	0.953	0.142	0.326
Total trefoil	0.231	0.107	0.077	0.597
Z ₄ ⁴ (Horizontal tetrafoil)	-0.538	<0.001	0.053	0.716
Z ₄ ² (Horizontal secondary astigmatism)	-0.102	0.483	0.057	0.694
Z ₄ ⁰ (Spherical aberration)	0.082	0.572	0.061	0.673
Z ₄ ⁻² (Oblique secondary astigmatism)	0.109	0.452	0.174	0.228
Z ₄ ⁻⁴ (Oblique tetrafoil)	0.271	0.057	-0.166	0.250
4th order	0.632	<0.001	0.295	0.037
5th order	0.426	0.002	0.082	0.569
6th order	0.422	0.002	0.079	0.584
Total HOA	0.682	<0.001	0.334	0.018

Controlled by age and sex.

HOA = higher-order aberration; Induced HOA = preoperative HOA of pterygium eyes – HOA of control eyes; Remained HOA = post-operative HOA of pterygium eyes – HOA of control eyes.

Table 6. Partial correlation analysis between higher-order aberration and width of pterygium

	Induced HOA		Remained HOA	
	R	p	R	p
Z ₃ ¹ (Horizontal coma)	0.417	0.003	-0.110	0.447
Z ₃ ⁻¹ (Vertical coma)	0.434	0.002	-0.122	0.399
Total coma	0.610	<0.001	0.183	0.205
Z ₃ ³ (Horizontal trefoil)	0.215	0.134	0.075	0.606
Z ₃ ⁻³ (Oblique trefoil)	-0.134	0.354	-0.080	0.578
Total trefoil	0.287	0.043	-0.035	0.812
Z ₄ ⁴ (Horizontal tetrafoil)	-0.340	0.016	0.007	0.962
Z ₄ ² (Horizontal secondary astigmatism)	0.049	0.737	0.003	0.984
Z ₄ ⁰ (Spherical aberration)	-0.063	0.664	-0.228	0.111
Z ₄ ⁻² (Oblique secondary astigmatism)	-0.205	0.153	0.006	0.966
Z ₄ ⁻⁴ (Oblique tetrafoil)	0.311	0.028	-0.086	0.552
4th order	0.460	0.001	-0.067	0.643
5th order	0.447	0.001	-0.050	0.732
6th order	0.331	0.019	-0.050	0.733
Total HOA	0.549	<0.001	-0.017	0.905

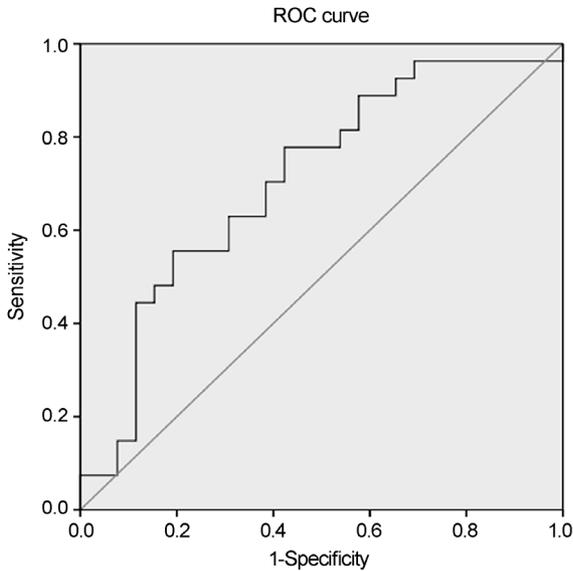
Controlled by age and sex.

HOA = higher-order aberration; Induced HOA = preoperative HOA of pterygium eyes – HOA of control eyes; Remained HOA = post-operative HOA of pterygium eyes – HOA of control eyes.

술결과와 그렇지 않은 수술결과를 군날개의 길이와 연관하여 ROC 곡선을 그려 분석을 시행하였다. 수술결과와 군날개의 길이로 그린 ROC 곡선에서 area under curve (AUC)는 0.708이었으며 p값은 0.009로 통계학적으로 유의하였다. ROC 커브에서 민감도와 특이도의 총합이 클 때를 수술결과가 가장 좋은 것으로 정의하였을 때, 군날개의 길이가 1.6 mm 이하일 때 수술을 진행하는 것이 술 후 고위수차를 효과적으로 0.35 μm 이하로 줄일 수 있었다(Fig. 2, Table 7).

고 찰

수차는 렌즈 등의 광학계에서 상을 맺을 때 원거리에서 오는 평행광선이 광학계를 지난 다음 한 점에 맺혀야 하지만, 한 점에 모이지 않아 빛 번짐이 있거나 일그러져 보이는 현상을 말하며, 이 중 고위수차는 시력의 질과 연관이 있는 것으로 알려져 있다.¹⁵ 군날개는 각막 표면을 불규칙하게 만듦으로써 고위수차를 유발하며, 군날개절제술을 시



Area	Std. Error	Asymptotic sig.	Asymptotic 95% confidence interval	
			Lower bound	Upper bound
0.708	0.072	0.009	0.566	0.850

Figure 2. Receiver operator characteristic (ROC) curve for postoperative higher-order aberration under $0.35 \mu\text{m}$ versus length of pterygium. Std. = standard; Sig. = significance.

Table 7. Specificity, sensitivity identified by cutoff points of length of pterygium

Cutoff point (mm)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
1.0	96.3	11.5
1.2	96.3	23.1
1.4	85.2	42.3
1.6	77.8	57.7
1.8	70.4	61.5
2.0	63.0	65.4
2.2	55.6	69.2

행함으로써 고위수차를 감소시킬 수 있다는 것이 여러 연구에서 보고되어 있다.

Pesudovs and Figueiredo¹⁶는 군날개 수술 전과 수술 6개월 후의 각막 고위수차를 5 mm 광학부에서 측정하여, 군날개가 있는 경우 수술 전 모든 고위수차가 증가해 있고 그중 트레포일이 가장 증가량이 컸으며, 수술 6개월 후에 모든 고위수차가 감소한다고 보고하였다. 그리고 수술 후 잔류하는 고위수차는 술 전 고위수차가 클수록, 군날개의 길이가 길수록 커지기 때문에 군날개가 4 mm 이하일 때 수술을 권장하였다. Zare et al¹⁸은 5 mm 광학부에서 측정된 고위수차를 군날개가 있는 대상군과 대조군의 정상안을 비교하여 구면 수차를 제외한 고위수차가 증가해 있었고, 전체코마, 전체트레포일이 가장 상관관계가 크다고 보고했다.

또한 각막의 반지름에서 군날개의 길이를 뺀 값으로 군을 나누는 후 군 간에 비교하였을 때 군날개가 많이 침범한 군에서 구면 수차를 제외한 고위수차가 유의하게 높다고 보고했다. Kwon et al¹⁹은 대상군을 군날개의 길이 3 mm를 기준으로 두 군으로 나누는 후 수술 전후의 6.5 mm, 4 mm 광학부에서 측정된 코마수차, 구면수차, 전체고위수차를 비교하여 수술 후 1주, 3달 후에 수술 전에 비해 고위수차가 유의하게 감소함을 밝혔고, 3 mm 이하의 군에서 수술 후 고위수차가 더 많이 감소하기 때문에 군날개의 크기가 3 mm 이상 되기 전에 수술을 시행할 것을 권유하였다. Han et al²⁴은 6 mm 광학부에서 고위수차를 측정하여 군날개의 길이가 2 mm 이상인 그룹에서 2 mm 이하인 그룹보다 코마, 트레포일, 구면수차, 전체고위수차가 크게 증가하며, 군날개 절제술을 통한 고위수차의 감소가 더 크다고 보고하였다.

본 연구에서는 동일 개체 내에서 대상군과 대조군을 선정하여 술 전 대상안과 정상안, 술 후 대상안과 정상안을 비교함으로써 군날개에 의하여 유발된 고위수차와 군날개 절제술 후 남아있는 고위수차를 분석하였다. 군날개에 의하여 유발된 고위수차는 수평코마(Z_3^1), 전체코마, 수평트레포일(Z_3^3), 경사트레포일(Z_3^{-3}), 전체트레포일, 수평테트라포일(Z_4^4), 수평이차난시(Z_4^2)가 있었다. 군날개절제술을 받은 후의 잔류 고위수차는 전체코마, 수평테트라포일(Z_4^4), 경사테트라포일(Z_4^{-4})이 있었다. 전체코마와 전체트레포일이 가장 큰 상관관계를 가지고 있었으며, 둘 중에서도 트레포일이 정상안에 비하여 더 크고, 군날개절제술 후 감소하는 양도 더 많았는데, 이는 위 연구들^{16,18,24}에서 보고한 것과 동일하였다. 4차 이상의 고위수차를 자세히 살펴보면, 수평테트라포일(Z_4^4), 수평이차난시(Z_4^2), 수평펜타포일(Z_5^5), 수평이차트레포일(Z_5^3)이 군날개에 의하여 유발되는 고위수차였으며, 수평테트라포일(Z_4^4)을 제외한 나머지 고위수차들은 군날개절제술 후 정상안과 유사한 정도로 교정되었다. 군날개에 의하여 유발되는 고위수차는 개별 Zernike 계수에는 차이가 있으나, 수평축을 갖는 고위수차가 주를 이루고 있으며, 이는 군날개가 수평축의 각막곡률을 감소시키는 것과 일맥상통한다.

지금까지 고위수차와 군날개의 길이를 연관시킨 연구는 일부 있었으나, 대부분이 군날개의 길이를 그룹화하여 분석한 연구였다.^{17,19,24} 본 연구에서는 군날개의 길이를 연속 변수로 두고 고위수차와 편상관분석을 시행하였으며, 이가 본 연구만이 갖는 특별함이다. 이 분석에서 군날개의 길이가 길어질수록 전체코마가 증가하였지만, 반면 전체트레포일은 연관성을 보이지 않았다. 이를 통하여 군날개가 코마와 트레포일을 유발하지만, 코마가 트레포일에 비하여 군날개의 길이에 더 연관되어 발생함을 유추할 수 있다. 군날

개의 너비와도 편상관분석을 시행하였는데, 전반적으로 군날개의 길이에 비하여 r값이 크지 않게 보고되었다. 이는 군날개가 주로 수평 방향으로 각막의 편평화를 유발하기 때문으로 사료된다.⁷

언제 군날개 수술을 진행하는 것이 좋은가에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직도 명확하게 밝혀진 바가 없다. 기존 연구들^{16,19,24}에서는 2 mm에서 4 mm까지 다양한 수치를 제시하였는데, 본 연구에서는 ROC curve를 이용하여 분석을 진행했을 때 군날개의 길이가 1.6 mm일 때 수술 후 고위수차를 효과적으로 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구를 포함하였을 때 수술의 지표가 되는 군날개 길이의 기준이 점차 줄어드는 양상이 관찰되는데, 이는 고위수차를 측정하는 기기들이 발전하면서 군날개가 있는 안구에서의 고위수차 측정이 보다 정확해지고, 고위수차의 작은 변화까지도 측정해내기 때문으로 생각된다.

본 연구를 통하여 상기한 바와 같은 결론을 이끌어 내었으나, 이에 대하여 고려하여야 할 점들이 있다. 본 연구에서는 대상자의 수가 53명으로 적은 편에 속하고, 술 후 어느 시점에 고위수차가 교정되는지에 대한 정보가 포함되어 있지 않다. 하지만 이전 연구들에서도 고위수차의 교정시점에 대해서 명확하게 보고된 바가 없으며, 이를 위하여 경과관찰을 자주 하는 것은 현실적으로 어려울 수 있다. 대규모 인원을 대상으로, 군날개절제술 후 보다 많은 술 후 시점에 고위수차를 측정하는 추가 연구가 본 연구의 결론을 보충해 줄 수 있을 것이다. 군날개의 길이를 각막 중심을 지나는 수평선에서 군날개의 두부와 각막 윤부의 거리로 정한 것도 오차를 유발할 수 있다. 저자들은 군날개가 주로 수평 방향의 편평화를 일으키기 때문에⁷ 수평 방향의 길이가 고위수차를 유발하는 데에 중요하다고 보았기 때문에 그렇게 정하였다. 그리고 대부분의 군날개가 각막의 비측에서 중심부를 향하여 자라나기 때문에, 상기한 군날개의 길이가 실제 이상편의 최대 길이와 동일한 경우가 많다. 하지만 그렇지 않은 경우 또한 있을 수 있기 때문에 이러한 설정으로 인한 오차가 있을 수 있다. 그리고 Zernike 다항식이 군날개가 있는 눈의 고위수차를 잘 반영할 수 있는지에 대하여 의견이 분분하다는 점 또한 고려하여야 하겠다.^{16,25,26}

결론적으로 군날개는 3차 이상의 고위수차 대부분을 유발하며, 군날개절제술을 통하여 고위수차를 유의하게 감소시킬 수 있다. 군날개의 길이가 길수록 전체 코마와 전체 고위수차가 크게 증가하고, 군날개절제술 후 잔류고위수차도 컸다. 그리고 군날개의 길이가 1.6 mm 이하일 때에 수술을 시행하는 것이 술 후 고위수차를 효과적으로 줄일 수 있다.

REFERENCES

- 1) Dushku N, John MK, Schultz GS, Reid TW. Pterygia pathogenesis: corneal invasion by matrix metalloproteinase expressing altered limbal epithelial basal cells. *Arch Ophthalmol* 2001;119:695-706.
- 2) Threlfall TJ, English DR. Sun exposure and pterygium of the eye: a dose-response curve. *Am J Ophthalmol* 1999;128:280-7.
- 3) Hansen A, Norn M. Astigmatism and surface phenomena in pterygium. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1980;58:174-81.
- 4) Yasar T, Ozdemir M, Cinal A, et al. Effects of fibrovascular traction and pooling of tears on corneal topographic changes induced by pterygium. *Eye (Lond)* 2003;17:492-6.
- 5) Cinal A, Yasar T, Demirok A, Topuz H. The effect of pterygium surgery on corneal topography. *Ophthalmic Surg Lasers* 2001;32:35-40.
- 6) Ozdemir M, Cinal A. Early and late effects of pterygium surgery on corneal topography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2005;36:451-6.
- 7) Lin A, Stern G. Correlation between pterygium size and induced corneal astigmatism. *Cornea* 1998;17:28-30.
- 8) Stern GA, Lin A. Effect of pterygium excision on induced corneal topographic abnormalities. *Cornea* 1998;17:23-7.
- 9) Fong KS, Balakrishnan V, Chee SP, Tan DT. Refractive change following pterygium surgery. *CLAO J* 1998;24:115-7.
- 10) Tomidokoro A, Miyata K, Sakaguchi Y, et al. Effects of pterygium on corneal spherical power and astigmatism. *Ophthalmology* 2000;107:1568-71.
- 11) Tomidokoro A, Oshika T, Amano S, et al. Quantitative analysis of regular and irregular astigmatism induced by pterygium. *Cornea* 1999;18:412-5.
- 12) Lindsay RG, Sullivan L. Pterygium-induced corneal astigmatism. *Clin Exp Optom* 2001;84:200-3.
- 13) Mohammad-Salih PA, Sharif AF. Analysis of pterygium size and induced corneal astigmatism. *Cornea* 2008;27:434-8.
- 14) Oner FH, Kaderli B, Durak I, Cingil G. Analysis of the pterygium size inducing marked refractive astigmatism. *Eur J Ophthalmol* 2000;10:212-4.
- 15) Villegas EA, Alcón E, Artal P. Optical quality of the eye in subjects with normal and excellent visual acuity. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:4688-96.
- 16) Pesudovs K, Figueiredo FC. Corneal first surface wavefront aberrations before and after pterygium surgery. *J Refract Surg* 2006;22:921-5.
- 17) Gumus K, Erkilic K, Topaktas D, Colin J. Effect of pterygia on refractive indices, corneal topography, and ocular aberrations. *Cornea* 2011;30:24-9.
- 18) Zare M, Zarei-Ghanavati S, Ansari-Astaneh MR, et al. Effects of pterygium on ocular aberrations. *Cornea* 2010;29:1232-5.
- 19) Kwon SM, Lee DJ, Jeung WJ, Park WC. Power error and aberrations using corneal topographer and wavefront aberrometer before and after pterygium surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:1737-45.
- 20) Gumus K, Topaktas D, Göktas A, et al. The change in ocular higher-order aberrations after pterygium excision with conjunctival autograft: a 1-year prospective clinical trial. *Cornea* 2012;31:1428-31.
- 21) Miranda MA, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Repeatability of oculus pentacam metrics derived from corneal topography. *Cornea*

2009;28:657-66.

22) Swartz T, Marten L, Wang M. Measuring the cornea: the latest developments in corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 2007; 18:325-33.

23) Levy Y, Segal O, Avni I, Zadok D. Ocular higher-order aberrations in eyes with supernormal vision. *Am J Ophthalmol* 2005;139: 225-8.

24) Han HC, Kim JH, Lee DH. The changes of corneal higher-order aberrations after surgery according to pterygium size. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:32-9.

25) Oie Y, Maeda N, Kosaki R, et al. Characteristics of ocular higher-order aberrations in patients with pellucid marginal corneal degeneration. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1928-34.

26) Smolek MK, Klyce SD. Zernike polynomial fitting fails to represent all visually significant corneal aberrations. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:4676-81.

= 국문초록 =

군날개절제술 전후의 각막 고위수차 비교

목적: 군날개 환자에서 군날개로 유발되는 고위수차와 술 후 잔류고위수차의 종류를 확인하고 군날개의 길이와 연관이 있는 고위수차를 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 군날개절제술과 자가 결막 이식술을 시행받은 53안을 대상으로 술 전과 술 후 3개월에 Pentacam[®] HR (Oculus Inc., Wetzlar, Germany)을 이용하여 광학부 6 mm에서 고위수차를 측정하였다. 대상안의 술 전 고위수차와 정상안의 고위수차를 비교하여 군날개로 유발된 고위수차를, 대상안의 술 후 고위수차와 정상안의 고위수차를 비교하여 수술 후 잔류 고위수차를 구하였다. 군날개로 유발된 고위수차와 술 후 잔류고위수차가 군날개의 길이와 어떠한 상관관계가 있는지 알아보기 위해 편상관분석을 시행하였다. 그리고 술 후 고위수차를 0.35 μm 이하로 감소시킬 수 있는 경우를 효과적 수술결과로 정의하고, receiver operator characteristic (ROC) 커브를 이용하여 적절한 수술 시기를 추정하였다.

결과: 대상안과 정상안을 비교하였을 때 술 전에는 대상안에서 수평코마, 전체코마, 경사트레포일, 수평트레포일, 전체트레포일, 전체 고위수차가 유의하게 컸다. 군날개절제술 후에는 전체코마와 전체고위수차만이 정상안에 비하여 크게 나타났다. 편상관분석에서 군날개의 길이와 유의한 상관관계가 있는 고위수차는 수평코마, 수직코마, 전체코마, 경사테트라포일이 있었다. ROC 커브를 이용하여 술 전 군날개의 길이와 술 후 고위수차를 분석한 결과, 군날개가 1.6 mm 이하일 때 수술을 시행하는 것이 좋은 수술결과를 보였다.

결론: 군날개에 의하여 3차 이상의 고위수차 대부분이 발생하며, 군날개절제술 후 고위수차를 크게 줄일 수 있었다. 군날개의 길이가 길수록 전체코마가 크게 유발되었고, 술 후 잔류코마수차도 컸다. 술 후 고위수차를 효과적으로 줄이기 위해서는 군날개가 1.6 mm 이하일 때 수술하는 것이 권장된다.

<대한안과학회지 2017;58(9):1023-1030>