

전층각막이식술 후 각막 고위수차의 변화 양상

성미선 · 오한진 · 윤경철

전남대학교 의과대학 안과학교실

목적: 전층각막이식술 후 각막 고위수차의 변화 양상과 이에 영향을 미치는 인자를 분석하였다.

대상과 방법: 전층각막이식술을 시행 받고 1년 이상 경과 관찰이 가능하였던 48명 48안을 대상으로, 술 후 각막 고위수차의 변화 양상을 알아보았다. 성별, 원인질환, 봉합방법, 공여각막 크기에 따른 차이를 비교하였고, 수술 후 봉합사 제거에 따른 고위수차의 변화 양상을 알아보았다.

결과: 전층각막이식술 후 총 고위수차는 술 후 1개월, 3개월, 6개월, 12개월, 18개월째 각각 $1.67 \pm 0.49 \mu\text{m}$, $1.63 \pm 0.49 \mu\text{m}$, $1.64 \pm 0.51 \mu\text{m}$, $1.61 \pm 0.50 \mu\text{m}$ 그리고 $1.79 \pm 0.40 \mu\text{m}$ 로 대조안보다 지속적으로 높았다($p < 0.01$). 성별, 공여각막의 크기 및 봉합방법에 따른 각막 고위수차의 차이는 없었으며, 술 전 원인질환이 원추각막이었던 군은 각막혼탁군과 수포각막병증군에 비교하였을 때 높았다. 술 후 18개월째, 봉합사가 완전히 제거된 군은 봉합사가 남아있는 군에 비하여 높은 각막 고위수차를 보였다.

결론: 각막 고위수차는 전층각막이식술 후 지속적으로 증가되어 있으며, 봉합사가 완전히 제거 된 경우와 원인질환이 원추각막인 경우 더 높은 값을 갖는다.

〈대한안과학회지 2012;53(8):1088-1098〉

미세수술기구 및 봉합사의 개발, 공여각막 보존방법의 개선과 스테로이드, 면역억제제 발전의 영향으로 현재 전층각막이식술은 저위험군에서 약 80%의 이식성공률을 보여 줄 정도로 발달했다.^{1,2} 그러나 수술 후 규칙적이거나 불규칙적인 굴절이상인 환자의 기능적인 시력향상에 장애가 되고 있으며 이의 교정을 위한 여러 가지 굴절수술들이 시행되고 있다. 기술의 발달과 함께 최근에는 레이저각막절삭술(laser in situ keratomileusis, LASIK) 및 안내후방콘택트렌즈(implantable collamer lens)삽입술을 시행하여 시력의 향상을 기대할 수 있게 되었으나, 그 효과가 만족스럽지 못한 경우가 많다.³⁻⁵ 이러한 전층각막이식술의 단점들을 개선하기 위하여 각막내피세포이식술(endothelial keratoplasty)이나 심부표층각막이식술(deep anterior lamellar keratoplasty)과 같은 층판이식술이 시도되었지만, 그 적응증이 제한되어 있어 각막혼탁이나 원추각막과 같은 질환에서는 여전히 전층각막이식술이 일차적인 수술방법으로 선택되고 있다.

인간의 눈은 정교한 광학시스템으로, 여러 가지 광학적인 요소들은 눈으로 들어오는 빛이 망막의 한 점에 맺히도록 도와주는 역할을 한다. 안구의 광학적인 불완전성은 파면수차 오류(wave aberration errors)로 표현되는데 파면수차는 빛이 안구의 광학시스템을 통과하면서 어떠한 영향을 받는가로 정의되고, 수학적으로 저니케 함수(Zernike polynomial)를 이용하여 분석할 수 있다. 저위수차는 총 수차의 90%를 담당하고, 기본적인 굴절 이상을 나타내는 근시, 원시, 난시 등의 저니케 함수 2차까지로 정의되며 전층각막이식술 이후 발생한 저위수차는 기존의 굴절 교정법으로 교정이 가능하여 시력의 향상을 기대할 수 있다. 이에 반해, 고위수차는 구면수차, 코마수차, 세조각수차 등의 저니케 함수 3차 이상으로 분류되고 총 수차의 10%를 담당하지만 기존의 안경, 콘택트렌즈 등으로 교정이 어려워, 전층각막이식술 후 불량한 시력예후와 관련이 깊은 것으로 알려져 있다. Pantanelli et al⁶은 원추각막환자와 전층각막이식술을 시행받은 환자에서 정상 대조군에 비해 5.5배 이상의 높은 고위수차가 관찰됨을 보고한 바 있다. 따라서 전층각막이식술 후 시력의 평가를 위해서는 고위수차의 분석이 필요하며, 이를 교정하는 것은 저위수차의 교정으로 만족할 수 없는 시력의 질을 향상시킬 수 있을 것이다.^{7,8}

지금까지 전층각막이식술 후 각막 고위수차의 증가에 대한 보고는 일부 있었으나,^{9,10} 장기간의 변화양상 및 증가에

■ 접수 일: 2011년 11월 8일 ■ 심사통과일: 2012년 3월 27일
■ 게재허가일: 2012년 6월 24일

■ 책임저자: 윤 경 철

광주광역시 동구 제봉로 42
전남대학교병원 안과
Tel: 062-220-6741, Fax: 062-227-1642
E-mail: kcyoon@chonnam.ac.kr

* 이 논문의 요지는 2010년 대한안과학회 제104회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

영향을 미칠 수 있는 인자들에 대한 분석은 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전층각막이식술 후 각막 고위수차의 변화양상을 알아보고, 아직까지 국내외에서 보고된 바 없는 각막이식술 후 각막 고위수차를 증가시키는 요인에 대하여 알아보았다.

대상과 방법

2008년 6월부터 2009년 12월까지 본원에서 전층각막이식술을 시행 받고 18개월 이상 경과관찰이 가능하였던 48명 48안과 정상 대조안 21명 21안을 대상으로 후향적으로 분석하였다. 모든 환자에게 술 전 나안 및 최대교정시력, 굴절검사, 세극등현미경검사, 안압검사, 수동 각막곡률계(Bausch & Lomb, Rochester, New York, USA)를 통한 각막곡률검사를 시행하였으며 수차분석은 Pentacam (Oculus Inc., Dutenhofen, Germany)을 이용하여 측정하였다. 정상 대조안은 전층각막이식술을 시행 받았던 48명의 환자 중 반대안에 과거 안과적 수술을 받은 경험이 없으면서 각막이나 결막 질환이 없는 21안을 대상으로 하였다. 전층각막이식술 시행 시에 백내장 수술 등의 굴절에 영향을 미치는 수술을 받은 경우, 양막이식술, 각막윤부이식술 등 다른 수술을 동시에 시행한 경우, 거부반응이 발생한 경우, 수술 후 합병증으로 추가수술을 시행한 경우는 대상에서 제외시켰다. 또한 검사 협조도가 좋지 않은 경우, 이식편 혼탁 및 각막상피 미란이 있는 경우, 외상 등의 이유로 동공산대가 있는 경우, 콘택트렌즈를 착용하였던 경우는 Pentacam 검사 결과에 영향을 줄 수 있어 대상에서 제외하였다.

전층각막이식술은 한 술자에 의해 시행되었고, 전신마취 또는 구후마취 후 시행하였다. 기증각막은 진공각막전공기(Barron vacuum punch, Katena, Denville, USA)를 이용하여 수여각막의 직경과 같거나 0.25-0.50 mm 크게 절제하였고, 수여각막의 중심을 표시한 후 진공각막원형절제기(Barron radial vacuum trephine, Katena, Denville, USA)를 이용하여 직경이 7.0-7.5 mm가 되도록 절제하였다. 각막가위로 수여각막을 원형절개하고, 10-0 nylon로 단속봉합 또는 연속봉합과 단속봉합을 동시에 시행하였다. 수술 후 처치는 전신적 및 국소적 스테로이드 및 사이클로스포린 A, 항생제 치료를 시행하다가 경과 관찰하면서 감량하였다. 봉합사 완전 제거는 술 후 12개월 이후 1-3개월 간격으로 3-4회에 걸쳐 단계적으로 시행하였다.

술 후 경과 관찰은 1, 3, 6, 12, 18개월에 시행하였고, 동공크기 4 mm로 표준화한 Pentacam을 이용하여 산동하지 않은 상태에서 눈의 조절을 막기 위해 암실에서 측정하였다.^{11,12} 각막 고위수차는 측정값에 각 매질의 굴절계수 차이

를 곱하여 각막 전면과 후면의 수차를 구하였고, 이때 공기와 각막전면부의 굴절계수차는 1.376, 각막후면과 방수의 굴절계수차는 1.336을 사용하였다. 각막전체의 구면수차는 이렇게 계산된 전면과 후면의 수차를 합하여 구하였다. 고위수차는 임상적 유용성을 고려하여 저니케 다항식(Zernike polynomials)에서 동경차수가 3차인 코마수차(coma, Z31) 및 세조각수차(trefoil, Z33)와 4차인 구면수차(spherical aberration, Z40)로 제한하였으며 총 고위수차(total HOAs)는 동경차수 3차부터 8차까지 값들을 계산하여 root mean square (RMS)를 지표로 사용하여 비교하였다. 봉합사 제거가 시작되기 전인 술 후 12개월째 각막 고위수차와 연령간의 상관관계를 분석하였고, 성별에 따른 차이를 비교하였다. 또한 환자들의 수술 전 임상진단 중에서 가장 흔한 질환을 기준으로 하여 원인질환이 각막염으로 인한 각막혼탁인 경우, 수포각막병증인 경우, 원추각막인 경우의 세 군으로 분류한 후 각 군 간의 고위수차 변화를 평가하였다.¹³ 공여각막의 크기에 따라 7.5 mm 이하인 경우와 7.5 mm보다 큰 경우로 나누어 각 시기별 각막 고위수차를 비교하였고, 전층각막이식술 시에 시행한 봉합방법의 차이에 따라 16개에서 24개까지 단속봉합만을 시행한 군과 단속봉합과 연속봉합을 동시에 시행한 군으로 나누어 비교하였다. 또 술 후 12개월 이후에 봉합사 제거를 시행하여, 술 후 18개월에 봉합사가 완전 제거된 군과 봉합사가 남아 있는 군으로 나누어 고위수차의 변화를 비교하였다.

통계학적 분석은 SPSS 17.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 술 후 최대교정시력, 평균 각막곡률, 구면렌즈대응치 및 각막 고위수차의 시기별 분석은 Repeated measures ANOVA, 정규분포를 따르지 않는 두 군 간의 비교는 Mann-Whitney *U* test를 사용하였고, 원인질환별로 분류하였을 경우 세 군 간의 비교는 Kruskal-Wallis test 후 Bonferroni 교정을 통한 Mann-Whitney *U* test를 이용하여 사후분석을 시행하였다. 정규분포를 따르지 않는 군의 술 후 고위수차의 변화는 Friedman test를 사용하여 분석하였으며, 연령에 따른 상관관계는 Spearman correlation analysis를 이용하여 평가하였다. 통계학적 유의성은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

전층각막이식술을 시행 받은 총 48명 중 남자는 25명, 여자는 23명이었고, 나이는 19세에서 75세까지 평균 40.6 ± 16.10 세였다. 정상 대조안으로 선별된 21명 중 남자는 9명, 여자는 12명이었으며 나이는 20세에서 73세까지 평균 46.1 ± 15.10 세로 양 그룹 간의 연령($p=0.20$) 및 성별

($p=0.50$)에 유의한 차이는 없었다. 술 전 임상진단에 따라 분류하였을 때 감염성 각막염에 의한 각막혼탁이 원인인 경우가 15안, 원추각막이 16안이었고 수포각막병증이 17안이었다. 공여각막에 따른 분류 시 공여각막의 크기가 7.5 mm 이하였던 군은 26안, 7.5 mm보다 컸던 군은 22안이었 고, 봉합 방법에 따라 분류하였을 때 단속봉합만을 실시한 경우가 27안, 단속봉합과 연속봉합을 모두 실시한 경우가 21안이었다. 술 후 18개월째 봉합사의 존재유무에 따라 분 류하였을 경우 봉합사가 남아있었던 경우가 27안, 모든 봉 합사가 제거된 경우가 21안이었다(Table 1).

전층각막이식술을 시행 받은 안의 최대교정시력, 평균각 막곡률, 구면렌즈대응치를 조사하였을 때, 최대교정시력은 통계적인 유의성 없이 비교적 일정하게 유지되었으나 평균 각막곡률과 구면렌즈대응치는 술 후 18개월째 유의한 변화 를 보였다($p=0.01$, $p<0.01$)(Fig. 1).

전층각막이식술을 시행 받은 안의 총 고위수차는 술 후 1개월, 3개월, 6개월, 12개월, 18개월째 각각 $1.67 \pm 0.49 \mu\text{m}$, $1.63 \pm 0.49 \mu\text{m}$, $1.64 \pm 0.51 \mu\text{m}$, $1.61 \pm 0.50 \mu\text{m}$

그리고 $1.79 \pm 0.40 \mu\text{m}$ 였고 대조안에서는 각각 $0.42 \pm 0.19 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.43 \pm 0.16 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.44 \pm 0.09 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.43 \pm 0.12 \mu\text{m}$ ($p<0.01$) 그리고 $0.42 \pm 0.20 \mu\text{m}$ ($p<0.01$)으로 전층각막이식술을 시행 받 은 안에서 지속적으로 높았다. 구면수차의 경우 전층각막이 식술을 시행 받은 안에서 술 후 1개월, 3개월, 6개월, 12개 월, 18개월째 각각 $0.62 \pm 0.35 \mu\text{m}$, $0.61 \pm 0.36 \mu\text{m}$, $0.59 \pm 0.31 \mu\text{m}$, $0.59 \pm 0.37 \mu\text{m}$, $0.69 \pm 0.40 \mu\text{m}$ 였고 대조안에서는 $0.21 \pm 0.11 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.22 \pm 0.15 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.22 \pm 0.09 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.23 \pm 0.10 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $0.22 \pm 0.10 \mu\text{m}$ ($p<0.01$)로 비슷한 결과를 보 여주었다. 전층각막이식술을 시행 받은 안에서의 코마수차, 세조각수차 역시 술 후 1개월째 $1.10 \pm 0.49 \mu\text{m}$, $0.85 \pm 0.42 \mu\text{m}$, 3개월째 $1.07 \pm 0.45 \mu\text{m}$, $0.84 \pm 0.42 \mu\text{m}$, 6개 월째 $1.09 \pm 0.45 \mu\text{m}$, $0.82 \pm 0.41 \mu\text{m}$, 12개월째 $1.07 \pm 0.45 \mu\text{m}$, $0.82 \pm 0.39 \mu\text{m}$, 18개월째 $1.21 \pm 0.45 \mu\text{m}$, $0.98 \pm 0.41 \mu\text{m}$ 으로 총 고위수차 및 구면수차에서와 마찬가지로 대조안에 비하여 지속적으로 높은 수치를 보였다

Table 1. Demographics of 48 patients underwent penetrating keratoplasty

		No. (%) n = 48
Age (yr)	Mean \pm SD	40.6 \pm 16.10
	Range	19-75
Sex	Male	25 (52%)
	Female	23 (48%)
Underlying disease	Infectious keratitis	15 (31%)
	Keratoconus	16 (34%)
	Bullous keratopathy	17 (35%)
Trephine size of donor	≤ 7.5 mm	26 (54%)
	> 7.5 mm	22 (46%)
Suture methods	Interrupted	27 (56%)
	Combined	21 (44%)
Suture state at post. op 18 mon	Suture removed	27 (56%)
	Suture remained	21 (44%)

Combined suture = interrupted suture + continuous suture.

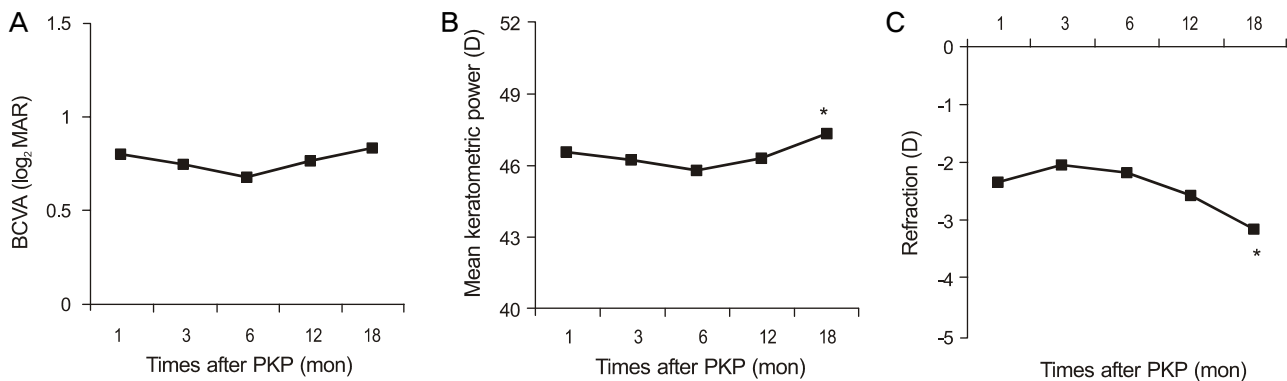


Figure 1. Changes in best corrected visual acuity (A), mean keratometric power (B), spherical equivalent (C) after penetrating keratoplasty. D = diopter. * $p < 0.05$ compared with other periods, repeated measures ANOVA.

($p < 0.01$). 총 고위수차, 코마수차, 세조각수차는 12개월까지 큰 변화양상을 보이지 않다가 18개월째 유의하게 증가($p = 0.01$, $p = 0.04$, $p = 0.04$)하였으나 구면수차($p = 0.07$)는 통계적으로 유의한 증가를 보이지 않았다(Fig. 2).

전층각막이식술 후 12개월째 각각의 고위수차와 연령과의 상관관계를 분석하였을 때, 총 고위수차($R = -0.13$, $p = 0.38$), 코마수차($R = 0.19$, $p = 0.20$), 세조각수차($R = 0.05$, $p = 0.73$), 구면수차($R = 0.02$, $p = 0.92$) 모두 연령과 유의한 상관관계

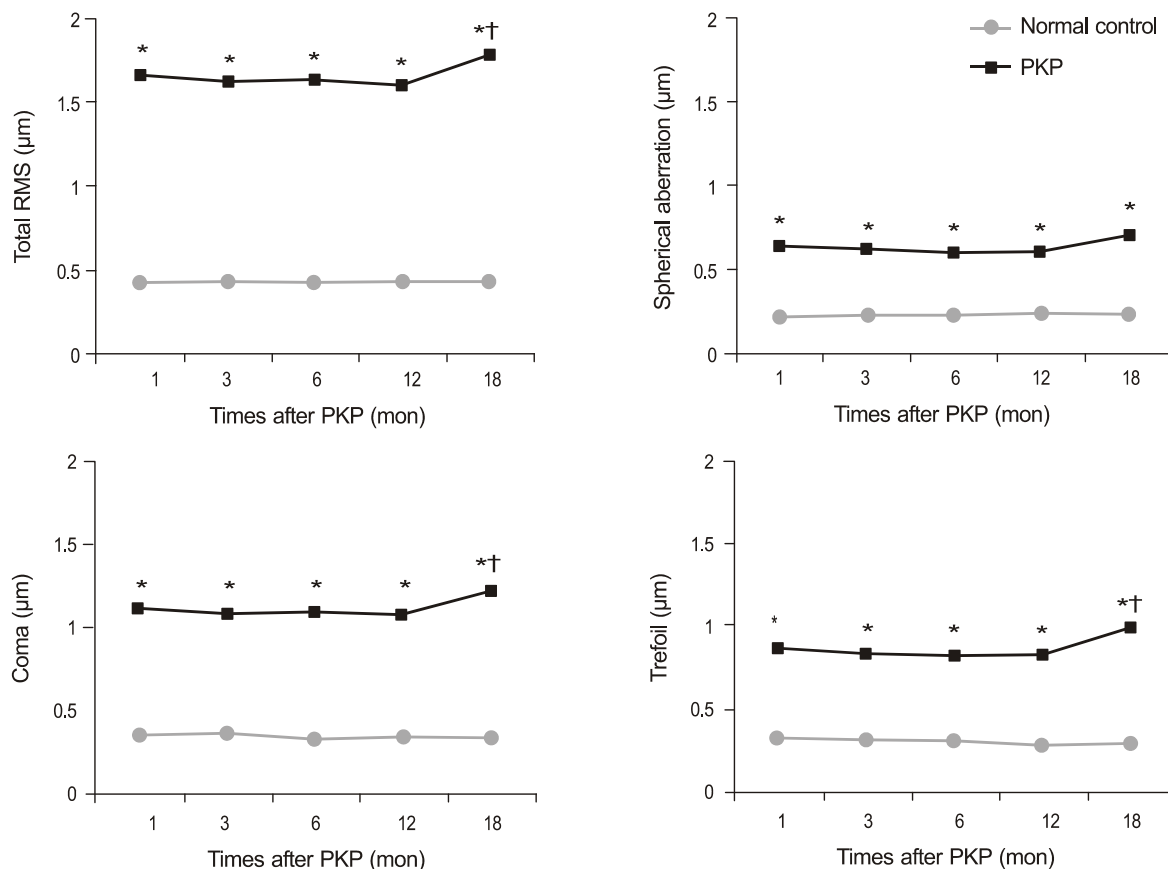


Figure 2. The changes of higher-order aberrations in the penetrating keratoplasty and control group. RMS = root mean square; PKP = penetrating keratoplasty. * $p < 0.01$ compared with the control group, paired t -test; † $p < 0.05$ compared with other periods, repeated measures ANOVA.

Table 2. Comparison of total RMS, coma, trefoil and spherical aberration in the male and female groups after penetrating keratoplasty

	Higher-order aberrations (μm)			
	Total RMS	Spherical aberration	Coma	Trefoil
Male				
1 mon	1.74 \pm 0.54	0.68 \pm 0.31	1.20 \pm 0.46	0.89 \pm 0.46
3 mon	1.71 \pm 0.51	0.62 \pm 0.33	1.11 \pm 0.47	0.88 \pm 0.48
6 mon	1.61 \pm 0.54	0.63 \pm 0.33	1.20 \pm 0.52	0.80 \pm 0.48
12 mon	1.60 \pm 0.48	0.59 \pm 0.38	1.14 \pm 0.47	0.78 \pm 0.46
18 mon	1.86 \pm 0.37	0.74 \pm 0.40	1.25 \pm 0.48	1.00 \pm 0.42
Female				
1 mon	1.57 \pm 0.41	0.59 \pm 0.40	1.00 \pm 0.40	0.85 \pm 0.40
3 mon	1.58 \pm 0.45	0.61 \pm 0.40	1.02 \pm 0.42	0.82 \pm 0.38
6 mon	1.66 \pm 0.46	0.55 \pm 0.29	1.00 \pm 0.35	0.87 \pm 0.34
12 mon	1.59 \pm 0.54	0.60 \pm 0.36	1.00 \pm 0.42	0.88 \pm 0.33
18 mon	1.74 \pm 0.43	0.63 \pm 0.40	1.16 \pm 0.43	1.00 \pm 0.44

Values are presented as mean \pm SD.

RMS = root mean square.

* $p > 0.05$ between the male and female group, Mann-Whitney U test.

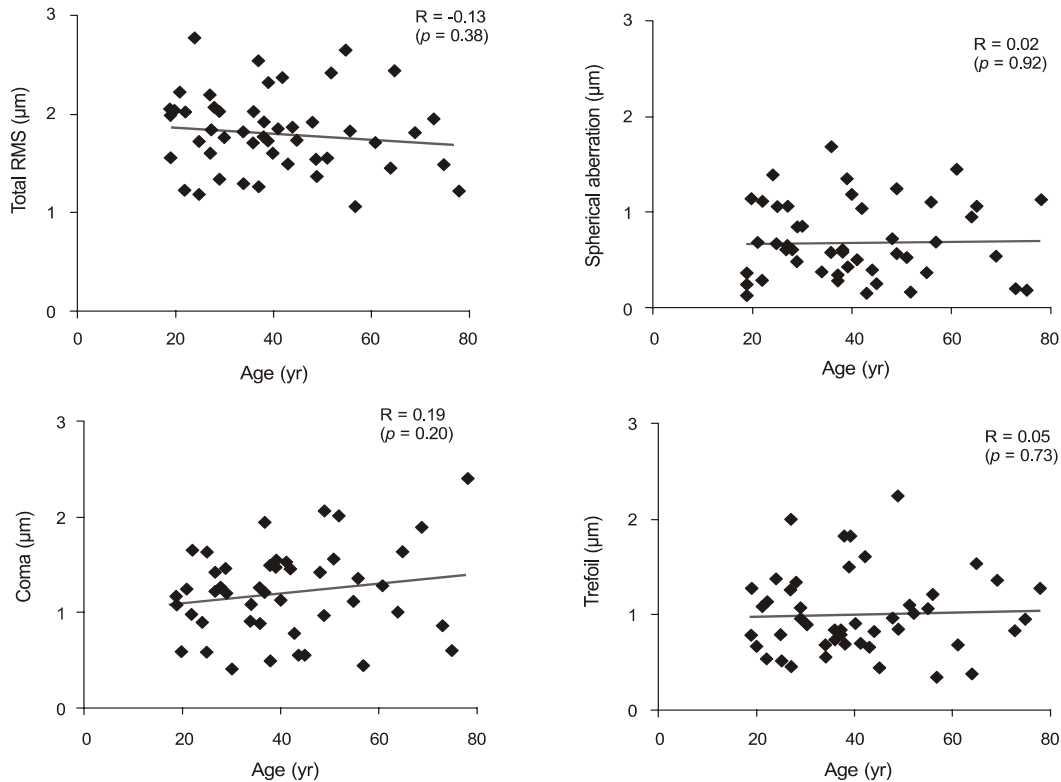


Figure 3. Correlation between age and higher-order aberrations including total RMS, coma, trefoil and spherical aberration at 12 months after penetrating keratoplasty. RMS = root mean square.

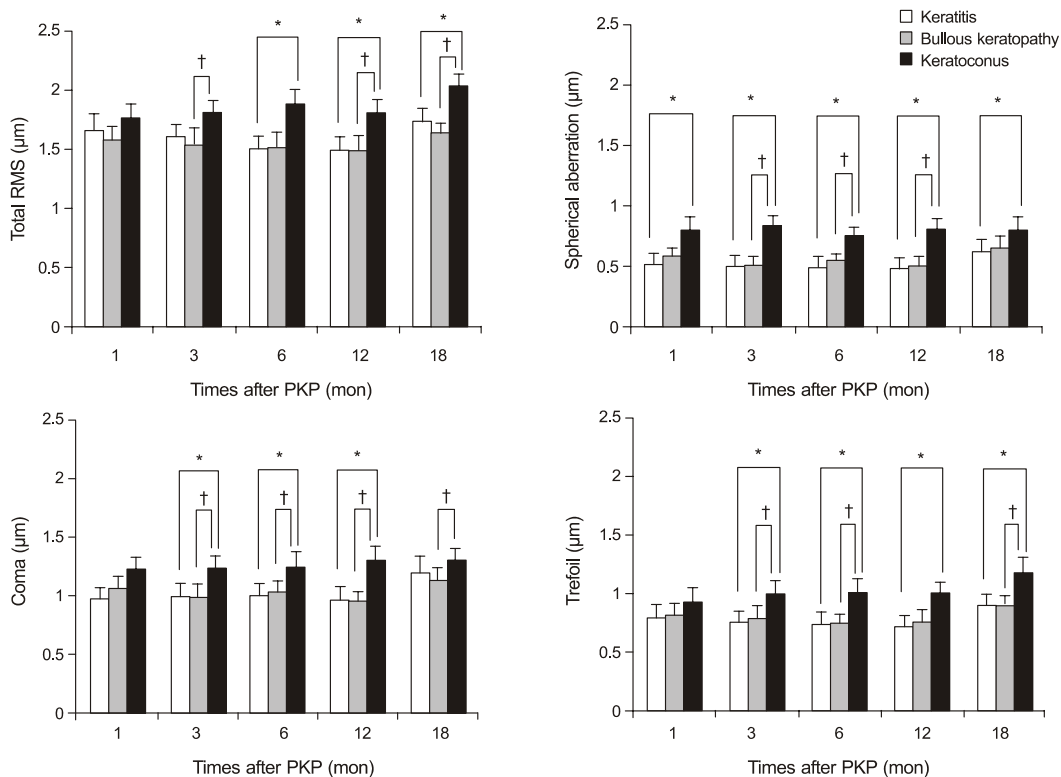


Figure 4. Comparison of the higher-order aberrations after penetrating keratoplasty according to the original diseases. RMS = root mean square. * $p < 0.05$ compared with the keratitis group; † $p < 0.05$ compared with the bullous keratopathy group, Kruskal-Wallis test followed by Mann-Whitney U test with Bonferroni correction.

를 보이지 않았다(Fig. 3). 성별에 따라 분류하였을 때 술 후 18개월까지 두 군 간에 각막 고위수차의 변화양상 및 각 시기별 고위수차 값에 유의한 차이는 없었다(Table 2).

전층각막이식술을 시행 받은 안을 원인질환에 따라 각막염에 의한 각막혼탁, 수포각막병증, 원추각막의 세 군으로 분류하였을 경우, 원추각막인 군에서의 총 고위수차는 술 후 1개월, 3개월, 6개월, 12개월, 18개월째 각각 $1.78 \pm 0.47 \mu\text{m}$, $1.83 \pm 0.41 \mu\text{m}$, $1.91 \pm 0.46 \mu\text{m}$, $1.82 \pm 0.42 \mu\text{m}$, $2.06 \pm 0.40 \mu\text{m}$ 으로 각막염에 의한 각막혼탁에서의 $1.65 \pm 0.54 \mu\text{m}$ ($p=0.35$), $1.60 \pm 0.37 \mu\text{m}$ ($p=0.2$), $1.50 \pm 0.38 \mu\text{m}$ ($p=0.01$), $1.44 \pm 0.42 \mu\text{m}$ ($p=0.04$), $1.66 \pm 0.33 \mu\text{m}$ ($p=0.03$)와 수포각막병증에서의 $1.57 \pm 0.47 \mu\text{m}$ ($p=0.22$), $1.53 \pm 0.61 \mu\text{m}$ ($p<0.01$), $1.52 \pm$

$0.56 \mu\text{m}$ ($p=0.03$), $1.49 \pm 0.57 \mu\text{m}$ ($p=0.04$), $1.63 \pm 0.39 \mu\text{m}$ ($p<0.01$)에 비교하였을 때 높았으며, 코마수차, 세조각수차, 구면수차 역시 술 후 원추각막인 군에서 높은 경향을 보였다(Fig. 4).

공여각막의 크기에 따른 분류 시, 두 군 간에 유의한 고위수차 변화양상 차이는 없었고(Table 3), 봉합방법에 따른 고위수차의 차이 또한 없었다(Table 4). 봉합사가 완전히 제거된 군과, 완전히 제거되지 않은 두 군은 술 후 12개월까지 각막 고위수차에 유의한 차이를 보이지 않았으나 술 후 18개월째, 봉합사를 제거한 군에서의 총 고위수차, 코마수차, 세조각수차는 $1.88 \pm 0.42 \mu\text{m}$, $1.30 \pm 0.46 \mu\text{m}$, $1.15 \pm 0.34 \mu\text{m}$ 으로 봉합사가 완전히 제거되지 않은 군에서의 $1.69 \pm 0.40 \mu\text{m}$ ($p=0.04$), $1.09 \pm 0.43 \mu\text{m}$ ($p=0.01$),

Table 3. Comparison of total RMS, coma, trefoil and spherical aberration after penetrating keratoplasty according to donor trephine size

	Higher-order aberrations (μm)			
	Total RMS	Spherical aberration	Coma	Trefoil
Donor trephine size ≤ 7.5 mm				
1 mon	1.62 ± 0.56	0.63 ± 0.34	1.12 ± 0.43	0.83 ± 0.42
3 mon	1.56 ± 0.49	0.64 ± 0.29	1.12 ± 0.40	0.77 ± 0.30
6 mon	1.69 ± 0.54	0.61 ± 0.29	1.04 ± 0.44	0.76 ± 0.32
12 mon	1.60 ± 0.54	0.57 ± 0.32	1.07 ± 0.50	0.83 ± 0.40
18 mon	1.88 ± 0.42	0.76 ± 0.42	1.18 ± 0.39	0.94 ± 0.37
Donor trephine size > 7.5 mm				
1 mon	1.72 ± 0.39	0.65 ± 0.38	1.10 ± 0.45	0.91 ± 0.45
3 mon	1.74 ± 0.47	0.58 ± 0.44	1.01 ± 0.49	0.95 ± 0.54
6 mon	1.57 ± 0.44	0.58 ± 0.34	1.15 ± 0.48	0.92 ± 0.50
12 mon	1.60 ± 0.46	0.61 ± 0.42	1.07 ± 0.40	0.84 ± 0.41
18 mon	1.70 ± 0.35	0.61 ± 0.37	1.24 ± 0.52	1.10 ± 0.49

Values are presented as mean \pm SD.

RMS = root mean square.

* $p > 0.05$ between the donor trephine size ≤ 7.5 mm and donor trephine size > 7.5 mm group, Mann-Whitney U test.

Table 4. Comparison of total RMS, coma, trefoil and spherical aberration for eyes after penetrating keratoplasty in combined suture group and interrupted suture group

	Higher-order aberrations (μm)			
	Total RMS	Spherical aberration	Coma	Trefoil
Interrupted suture				
1 mon	1.69 ± 0.48	0.67 ± 0.40	1.10 ± 0.51	0.82 ± 0.41
3 mon	1.70 ± 0.35	0.61 ± 0.37	1.10 ± 0.48	0.84 ± 0.35
6 mon	1.70 ± 0.54	0.61 ± 0.31	1.11 ± 0.55	0.85 ± 0.44
12 mon	1.61 ± 0.50	0.58 ± 0.38	1.15 ± 0.54	0.81 ± 0.41
18 mon	1.86 ± 0.43	0.72 ± 0.45	1.21 ± 0.50	1.04 ± 0.49
Combined suture				
1 mon	1.63 ± 0.50	0.59 ± 0.29	1.11 ± 0.33	0.92 ± 0.46
3 mon	1.58 ± 0.61	0.61 ± 0.35	1.00 ± 0.41	0.87 ± 0.52
6 mon	1.55 ± 0.44	0.57 ± 0.31	1.10 ± 0.31	0.82 ± 0.40
12 mon	1.58 ± 0.51	0.51 ± 0.36	0.97 ± 0.28	0.86 ± 0.40
18 mon	1.73 ± 0.35	0.66 ± 0.34	1.21 ± 0.39	0.94 ± 0.33

Values are presented as mean \pm SD.

RMS = root mean square.

* $p > 0.05$ between the interrupted suture and combined suture group, Mann-Whitney U test.

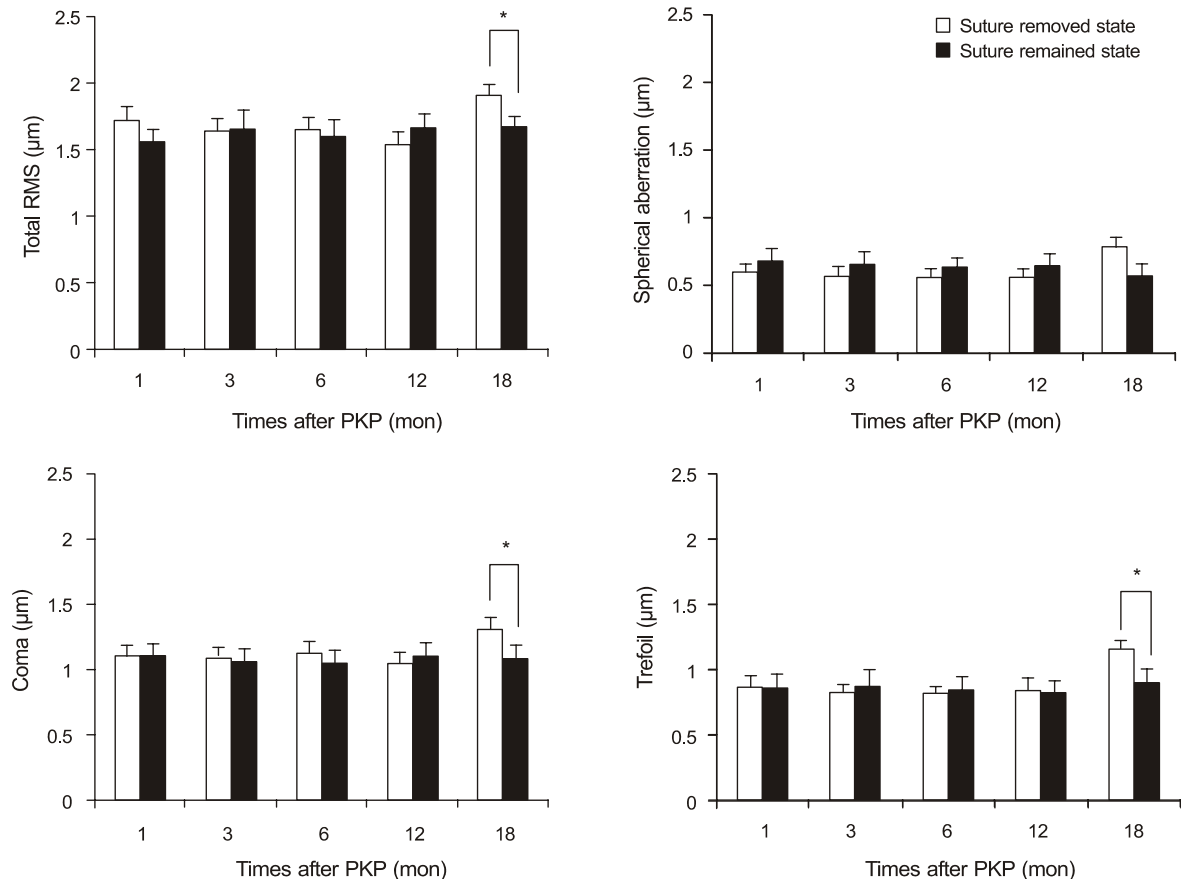


Figure 5. Comparison of the higher-order aberrations after penetrating keratoplasty according to the suture state at post-operative 18 months. RMS = root mean square. * $p < 0.05$ compared with the group that suture remained, Mann-Whitney U test.

$0.91 \pm 0.50 \mu\text{m}$ ($p < 0.01$)보다 높았다. Friedman test를 통하여 두 군의 고위수차 변화양상을 분석하였을 때, 봉합사가 완전히 제거된 경우에는 총 고위수차, 코마수차, 세조각수차의 술 후 시기별 변화가 통계적으로 유의하였으나 ($p=0.02$, $p=0.03$, $p<0.01$) 봉합사가 남아있었던 군은 유의한 변화가 없었다(Fig. 5).

고 찰

전층각막이식술은 보편화된 수술방법으로 우수한 시력예후를 보이지만 술 후 발생하는 난시 및 부등시는 수술 후 저시력의 중요한 원인 중의 하나로 알려졌다. Farid et al¹⁴은 공여각막과 수여각막 간의 오정렬, 공여각막의 부정확한 원형절제, 불균등하고 상대적으로 강한 봉합의 긴장력, 수술 후 창상치유의 지연과 불규칙함을 그 원인으로 지적하였으며 Ignacio et al¹⁵은 펌토초레이저를 이용한 정교하고 복잡한 창상변형 각막이식술을 시도하여 술 후 발생하는 난시를 극복하고자 하였다. 최근에는 광각막절제술과 레이

저각막절제술과 같은 레이저굴절교정수술,^{4,16} 안내렌즈,¹⁷ 기질내 각막고리 삽입술¹⁸ 그리고 콘택트렌즈를 사용하여 각막이식술 후 발생하는 저위수차의 교정이 어느 정도 가능하게 되었다. 반면 고위수차의 경우 눈부심, 불빛 번짐, 야간시력 저하의 중요한 원인이지만 그 교정이 쉽지 않으며, 이에 전층각막이식술 환자에서의 고위수차 측정이 중요하게 여겨지고 있다. 각막지형도검이나 웨이브프런트측정을 통하여, 각막이식술을 받은 환자들은 대조군에 비하여 현저히 높은 각막 고위수차를 가진다는 사실이 밝혀진 바 있고,^{9,19} Hindman et al²⁰은 데스메막박리 각막내피층판 이식술이 전층각막이식술에 비하여 더 낮은 고위수차를 보인다고 하였다. 본 연구에서는 Pentacam을 이용하여 21명의 정상 대조안과, 각막이식술을 시행 받은 48안의 각막 고위수차를 조사하였으며 기존결과와 마찬가지로 각막이식술을 시행 받은 안에서 4배 이상 높은 각막 고위수차가 관찰되었다. 이는 Pantanelli et al⁶이 발표한 5.5배보다는 낮은 수치인데 측정방법의 차이 및 인종적인 차이로 인한 결과일 것이다.

본 연구에서 술 후 최대교정시력의 경우 고위수차의 변

화양상과는 달리 비교적 일정하게 유지되는 모습이었다. 이는 환자의 망막상태 및 백내장의 정도에 대한 통제가 이루어지지 않았고 최대교정시력에 중요한 영향을 미치는 거부반응, 이식편 혼탁 및 각막상피 미란이 발생한 경우에는 분석에서 제외되었기 때문에 발생한 결과로 생각되며, 고위수차의 변화와 최대교정시력의 상관 관계에 대한 분석을 위해서는 향후 이러한 인자들까지 고려한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

반면 평균각막곡률, 구면렌즈대응치 및 각막 고위수차의 변화는 비슷한 양상을 보였는데, 세 가지 지표 모두 술 후 12개월까지 일정하게 유지되다가 18개월째 의미 있는 변화를 나타내었다. 1개월부터 12개월까지 유의한 변화가 없었던 것은 추후 언급할 원추각막, 각막염 및 수포각막병증과 같이 술 후 고위수차의 변화양상이 다른 질환 군이 섞여 있었기 때문에 발생한 오류로 생각한다. 18개월째의 변화는 봉합사의 제거가 12개월과 18개월 사이에 일어났기 때문에 발생했기 때문일 것이다. 전층각막이식술 후 봉합사를 제거하면 각막곡률 및 난시, 고위수차의 변화가 발생하게 됨은 이미 여러 보고들에서 밝혀진 바 있다.^{21,22} Solano et al²³은 단속봉합으로 전층각막이식술을 시행 받은 환자에서 봉합사 제거 이후 평균 1.7D의 각막난시가 증가함을 보고하였다. 하지만 Kim and Joo²⁴는 단속봉합과 연속봉합을 한 53안에서 모든 봉합사를 제거한 후 각막난시가 감소하였다고 하였고, Lin et al²⁵과 Shimazaki et al²⁶은 봉합사 제거 이후 각막지형도 검사상 각막표면의 불규칙성이 감소함을 보고하기도 하였다. 본 연구에서는 술 후 18개월째 평균 각막곡률 $47.32 \pm 2.58D$ 로 12개월째의 46.24 ± 2.64 보다 유의한 증가를 보였으며, 이 중 봉합사가 완전히 제거된 경우가 $48.39 \pm 2.80D$, 봉합사가 남아있었던 경우가 $46.12D \pm 1.68D$ 로 봉합사가 완전히 제거된 경우의 평균각막곡률 증가가 두드러졌다. 이를 통하여 봉합사의 완전제거는 각막표면을 가파르게 변화시킬 수 있겠다. 하지만 술자의 봉합사 제거위치의 결정에 있어서 난시의 정도 및 방향이 중요하게 작용하였기 때문에 부분적인 봉합사의 제거가 각막곡률에 어떠한 영향을 미쳤는지에 대한 여부는 판단하기는 어려울 것이다.

여러 보고에서는 연령과 각막 고위수차가 양의 상관관계를 보인다고 하였으나 각막이식술을 시행 받은 환자들을 대상으로 시행한 본 연구에서는 고위수차와 연령 사이에 의미있는 상관관계는 보이지 않았다.²⁷⁻²⁹ 물론 연령과 각막 고위수차의 상관관계의 정도에 대한 연구가 아직 많지 않고 또한 학자들마다 이견이 있지만, 연령이 증가함에 따라 각막 고위수차가 증가한다는 사실을 지지하는 연구결과가 많음을 고려할 때²⁷⁻²⁹ 이는 기존의 보고들과 차이가 있는

결과임에 분명하다. 연령에 따른 각막지형도의 변화 양상을 전층각막이식술을 시행 받은 환자에게 적용할 수 없으며, 연령 외에 다른 인자들의 작용이 관여함을 추측해 볼 수 있겠다. 또한 본 연구에서는 각막 고위수차의 남녀간 차이는 보이지 않았는데, 이는 기존의 보고와 일치하는 결과이다.³⁰

원추각막은 각막이 점점 얇아지면서 원추체 모양으로 돌출되는 것이 특징적인 질환으로, 이러한 특성 때문에 높은 각막 고위수차를 갖는다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다.^{31,32} Pantanelli et al⁶과 Atchison et al³³은 대조안에 비하여 고위수차가 두드러지게 증가해 있음을 발표한 바 있다. 본 연구에서는 각막이식술 이후에도 기저질환이 원추각막이었던 환자군은 각막염이나 수포성각막병증이었던 환자군에 비하여 모든 각막 고위수차가 높은 경향을 보였고 특히 수술 3개월부터 두드러졌는데, 이는 각막이 얇아지는 질환의 특성 때문에 공여각막과 수여각막간의 각막 두께 부등성이 증가하였기 때문으로 생각한다. 추후 공여각막과 수여각막간의 두께 차이에 따른 각막 고위수차의 변화에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 원추각막의 진행 정도에 따른 각막 고위수차의 예측에 도움이 될 것이다.

한 가지 주목할 만한 점은 원인 질환이 각막염이었던 경우와 수포성각막병증이 있던 경우의 고위수차가 수술 이후 감소하다가 봉합사 제거 이후 증가하는 경향을 보인 것과는 달리 원추각막이었던 환자 군은 수술 이후 각막 고위수차가 지속적으로 증가하다가 봉합사 제거 이후 더욱 증가하는 양상을 보였다는 점이다. 원추각막 군의 평균연령이 36.13 ± 12.38 세, 다른 두 질환 군의 평균연령이 42.5 ± 17.39 로 의미 있는 연령의 차이가 없었고($p=0.11$), 봉합방법 및 공여각막의 크기 분포와 술 후 18개월째 봉합사의 제거 정도 역시 차이가 없었던 점을 고려할 때($p=0.50$, $p=0.35$, $p=0.26$), 이는 다른 요소의 작용에 의한 결과로 생각한다. 즉 원추각막은 전층각막이식술 이후에도 주변부 수여각막의 조직학적 변화로 인한 각막얇아짐의 진행이 지속적으로 일어나고,³⁴ 여러 가지 숙주인자들이 이식편의 조직학적 변화에 관여하여 술 후 원추각막의 재발에 영향을 미친다는 기존의 보고처럼,³⁵ 이러한 변화의 과정들이 술 후 고위수차를 지속적으로 증가하는 방향으로 이끌었을 것이다. 또한 원추각막이 진행된 경우 얇아진 원추의 정점이 하방으로 치우치기 때문에 수직코마수차가 두드러지게,^{6,32} 술 후에는 원추형의 각막이 이식편으로 교체되기 때문에 이러한 경향성은 관찰되지 않았다.

Seitz et al³⁶은 공여각막의 직경이 작을수록 각막지형도 검사상 불규칙성이 더 심해짐을 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 공여각막의 직경에 따른 고위수차의 차이는 없었고, 이는 아마도 술자가 공여각막의 직경을 결정하는 데

있어서 술 전 수여자의 임상진단, 공여각막의 상태 등을 고려하였기 때문일 것이다.

봉합은 그 방법과 장력의 정도에 따라 다양한 정도의 각막난시와 수차를 유발하는 것으로 알려졌다. 봉합 방법에 따른 각막난시의 차이에 대한 연구는 많으나 보고자마다 그 결과가 다양하며,^{37,38} 아직 특정 봉합방법이 각막이식술 후 발생하는 난시에 있어서 더 우월하다는 대규모 연구는 나와있지 않다. Filatov et al³⁷은 연속봉합을 시행한 경우, 연속봉합과 단속봉합을 동시에 시행한 경우보다 평균 1.2D 정도 적은 각막난시가 발생한다고 하였고, 또 다른 연구에서는 두 방법 간에 난시발생 정도는 유의한 차이가 없음이 보고되기도 하였다.³⁸ 본 연구에서는 연속봉합과 단속봉합을 동시에 시행한 군에서 더 적은 각막 고위수차를 보이는 경향이 있었지만 통계적으로 유의하지 않았다.

McLaren et al¹⁰은 봉합사가 모두 제거된 군과 봉합사가 남아있는 군 사이에 각막난시 및 각막곡률의 차이는 없었으나 각막 고위수차는 유의하게 증가함을 보고하였다. 본 연구에서도 술자의 평균 봉합사 제거 시점인 12개월까지는 각막 고위수차의 의미있는 변화가 없었으나 18개월째에 총 고위수차, 코마수차, 세조각수차의 3가지 지표가 통계적으로 유의한 변화를 보였다. 환자군을 다시 술 후 18개월째 봉합사가 남아있는 군과 봉합사가 완전히 제거된 군으로 나누어서 분석하였을 때 총 고위수차, 코마수차, 세조각수차에서 술 후 고위수차의 변화가 유의하였고, 이를 통해 본 연구에서 전층각막이식술 후 18개월째 각막 고위수차의 증가는 봉합사가 완전히 제거된 군의 고위수차 증가에 기인함을 알 수 있었다. 이는 McLaren et al¹⁰이 설명하였던 것처럼 봉합사가 남아있는 경우 이식편 표면의 곡선이 보다 완만한 모양을 유지하고 있지만 봉합사가 제거되는 경우 수여각막과 이식편 경계의 변형으로 인하여 국소적인 이완이 발생하게 되고 이로 인하여 각막표면의 곡선이 가파르게 변화하기 때문으로 생각한다. 한편 구면수차의 경우에는 봉합사가 위치해 있는 이식편 변연부의 가파른 정도가 중요하게 작용하므로 봉합사 제거 시 발생하는 변연부 각막 기질의 구축에 의하여 그 증가 폭이 더 클 것으로 여겨졌으나 실제 결과는 이와 차이가 있었는데, 봉합 횟수 및 장력의 차이가 더 중요하게 영향을 끼쳤기 때문일 것으로 여겨진다.

본 연구의 제한점은 대상 환자의 수가 적다는 점이다. 또한 각막혼탁이 심하여 pentacam 측정이 불가능하였던 경우가 많아 수술 전 각막 고위수차는 분석에서 제외시켰는데, 술전 각막 고위수차 측정이 가능한 환자군들을 대상으로 연구를 시행한다면 전층각막이식술에 의한 각막 고위수차의 증가가 어느 정도인지 예상하는 데 도움이 될 것이다.

봉합사 제거가 각막 고위수차에 미치는 영향에 대한 분석에 있어서 환자마다 봉합사를 제거한 횟수와 기간이 다르지만 의무기록이 불충분하여 이를 고려하지 못했던 점도 후향적 의무기록 분석의 한계라고 하겠다. 봉합사 제거 후 각막곡률 및 난시의 변화는 10년 이상에 걸쳐 장기간 나타날 수 있다는 보고가 있듯이³⁹ 각막 고위수차 역시 수여각막과 공여각막부의 지속적인 상처치유 과정을 통해 변화할 수 있어, 장기간의 경과관찰을 시행한다면 고위수차의 변화양상을 아는 데 보다 도움이 될 것이다. 또한 봉합사 주위 감염이나 느슨한 봉합사로 인한 환자의 불편감 때문에 봉합사 제거된 경우가 포함되어 있었기 때문에 오류가 발생하였을 가능성도 있어, 추후 이러한 점에 대한 보완을 통하여 봉합사 제거와 각막 고위수차와의 상관관계에 대한 고찰이 필요할 것이다.

결론적으로 전층각막이식술 후 각막 고위수차는 술 후 지속적으로 증가되어 있었으며, 연령과 성별, 공여각막의 크기 및 봉합방법에 따른 고위수차의 차이는 없었지만 기저질환이 원추각막인 경우와 봉합사가 제거된 경우 그 증가가 더 현저하였다. 이는 전층각막이식술 후 각막 고위수차의 변화양상을 알아보는 데 도움이 될 것이다.

참고문헌

- 1) Ing JJ, Ing HH, Nelson LR, et al. Ten-year postoperative results of penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1998;105:1855-65.
- 2) Thompson RW Jr, Price MO, Bowers PJ, Price FW Jr. Long-term graft survival after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 2003;110:1396-402.
- 3) Jung KI, Choi JA, Na KS, et al. Comparison of outcomes of femto-second laser-assisted keratoplasty and conventional penetrating keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:1054-63.
- 4) Akcay L, Kaplan AT, Kandemir B, et al. Toric intraocular collamer lens for high myopic astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:2161-3.
- 5) Donnenfeld ED, Kornstein HS, Amin A, et al. Laser in situ keratomileusis for correction of myopia and astigmatism after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1999;106:1966-74.
- 6) Pantanelli S, MacRae S, Jeong TM, Yoon G. Characterizing the wave aberration in eyes with keratoconus or penetrating keratoplasty using a high-dynamic range wavefront sensor. *Ophthalmology* 2007;114:2013-21.
- 7) Pesudovs K, Coster DJ. Penetrating keratoplasty for keratoconus: the nexus between corneal wavefront aberrations and visual performance. *J Refract Surg* 2006;22:926-31.
- 8) Yagci A, Egrilmez S, Kaskaloglu M, Egrilmez ED. Quality of vision following clinically successful penetrating keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1287-94.
- 9) Shah S, Naroo S, Hosking S, et al. Nidek OPD-scan analysis of normal, keratoconic, and penetrating keratoplasty eyes. *J Refract Surg* 2003;19(2 Suppl):S255-9.
- 10) McLaren JW, Patel SV, Bourne WM, Baratz KH. Corneal wave-

- front errors 24 months after deep lamellar endothelial keratoplasty and penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 2009;147:959-65.
- 11) Miranda MA, O'Donnell C, Radhakrishnan H. Repeatability of corneal and ocular aberration measurements and changes in aberrations over one week. *Clin Exp Optom* 2009;92:253-66.
 - 12) Muftuoglu O, Prasher P, Bowman RW, et al. Corneal higher-order aberrations after Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty. *Ophthalmology* 2010;117:878-84.
 - 13) Choi SH, Lee YW, Kim HM, et al. Epidemiologic studies of keratoplasty in Korea. *J Korean Ophthalmol Soc* 2006;47:538-47.
 - 14) Farid M, Kim M, Steinert RF. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zigzag incision initial report. *Ophthalmology* 2007;114:2208-12.
 - 15) Ignacio TS, Nguyen TB, Chuck RS, et al. Top hat wound configuration for penetrating keratoplasty using the femtosecond laser: a laboratory model. *Cornea* 2006;25:336-40.
 - 16) Webber SK, Lawless MA, Sutton GL, Rogers CM. LASIK for post penetrating keratoplasty astigmatism and myopia. *Br J Ophthalmol* 1999;83:1013-8.
 - 17) Tahzib NG, Cheng YY, Nuijts RM. Three-year follow-up analysis of Artisan toric lens implantation for correction of postkeratoplasty ametropia in phakic and pseudophakic eyes. *Ophthalmology* 2006;113:976-84.
 - 18) Arriola-Villalobos P, Díaz-Valle D, Güell JL, et al. Intrastromal corneal ring segment implantation for high astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1878-84.
 - 19) Hjortdal JØ, Ehlers N. Treatment of post-keratoplasty astigmatism by topography supported customized laser ablation. *Acta Ophthalmol Scand* 2001;79:376-80.
 - 20) Hindman HB, McCally RL, Myrowitz E, et al. Evaluation of deep lamellar endothelial keratoplasty surgery using scatterometry and wavefront analyses. *Ophthalmology* 2007;114:2006-12.
 - 21) Son JH, Tchah H, Kim YJ. Suture tension adjustment of single running suture in penetrating keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 1993;34:198-201.
 - 22) Goren MB, Dana MR, Rapuano CJ, et al. Corneal topography after selective suture removal for astigmatism following keratoplasty. *Ophthalmic Surg Lasers* 1997;28:208-14.
 - 23) Solano JM, Hodge DO, Bourne WM. Keratometric astigmatism after suture removal in penetrating keratoplasty: double running versus single running suture techniques. *Cornea* 2003;22:716-20.
 - 24) Kim KE, Joo CK. Changes in astigmatism after suture removal in penetrating keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 2003;44:284-8.
 - 25) Lin DT, Wilson SE, Reidy JJ, et al. Topographic changes that occur with 10-0 running suture removal following penetrating keratoplasty. *Refract Corneal Surg* 1990;6:21-5.
 - 26) Shimazaki J, Tsubota K. Analysis of videokeratography after penetrating keratoplasty: topographic characteristics and effects of removing running sutures. *Ophthalmology* 1997;104:2077-84.
 - 27) Amano S, Amano Y, Yamagami S, et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. *Am J Ophthalmol* 2004;137:988-92.
 - 28) Sicam VA, Dubbelman M, van der Heijde RG. Spherical aberration of the anterior and posterior surfaces of the human cornea. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2006;23:544-9.
 - 29) Guirao A, Redondo M, Artal P. Optical aberrations of the human cornea as a function of age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2000;17:1697-702.
 - 30) Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A. Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1514-21.
 - 31) Spadea L, Cifariello F, Bianco G, Balestrazzi E. Long-term results of penetrating keratoplasty using a single or double running suture technique. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2002;240:415-9.
 - 32) Maeda N, Fujikado T, Kuroda T, et al. Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. *Ophthalmology* 2002;109:1996-2003.
 - 33) Atchison DA, Mathur A, Read SA, et al. Peripheral ocular aberrations in mild and moderate keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:6850-7.
 - 34) de la Paz MF, Sibila GR, Montenegro G, et al. Wedge resection for high astigmatism after penetrating keratoplasty for keratoconus: refractive and histopathologic changes. *Cornea* 2010;29:595-600.
 - 35) Patel SV, Malta JB, Banitt MR, et al. Recurrent ectasia in corneal grafts and outcomes of repeat keratoplasty for keratoconus. *Br J Ophthalmol* 2009;93:191-7.
 - 36) Seitz B, Langenbucher A, Kuchle M, Naumann GO. Impact of graft diameter on corneal power and the regularity of post-keratoplasty astigmatism before and after suture removal. *Ophthalmology* 2003;110:2162-7.
 - 37) Filatov V, Steinert RF, Talamo JH. Postkeratoplasty astigmatism with single running suture or interrupted sutures. *Am J Ophthalmol* 1993;115:715-21.
 - 38) Karabatsas CH, Cook SD, Figueiredo FC, et al. Combined interrupted and continuous versus single continuous adjustable suturing in penetrating keratoplasty: a prospective, randomized study of induced astigmatism during the first postoperative year. *Ophthalmology* 1998;105:1991-8.
 - 39) Raecker ME, Erie JC, Patel SV, et al. Long-term keratometric changes after penetrating keratoplasty for keratoconus and Fuchs Endothelial dystrophy. *Am J Ophthalmol* 2009;147:227-33.

=ABSTRACT=

Changes in Higher-Order Aberrations after Penetrating Keratoplasty

Mi Sun Sung, MD, Han Jin Oh, MD, Kyung Chul Yoon, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Chonnam National University Hospital, Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

Purpose: To evaluate the changes in corneal higher-order aberrations (HOAs) after penetrating keratoplasty (PKP) and to investigate the factors affecting the changes in corneal HOAs.

Methods: Forty-eight eyes of 48 patients with three different underlying diseases who underwent PKP were retrospectively reviewed. The changes in corneal higher-order aberrations (total root mean square (RMS), coma, trefoil, and spherical aberration) were evaluated with Pentacam (Oculus Inc., Dutenhofen, Germany) at 1, 3, 6, 12, and 18 months postoperatively. Sex, age, underlying disease, suturing method, trephine size of donor, and suture state were analyzed as factors affecting the HOAs changes.

Results: Total RMS values in the PKP eyes were $1.67 \pm 0.49 \mu\text{m}$ at 1 month, $1.63 \pm 0.49 \mu\text{m}$ at 3 months, $1.64 \pm 0.51 \mu\text{m}$ at 6 months, $1.61 \pm 0.50 \mu\text{m}$ at 12 months, and $1.79 \pm 0.40 \mu\text{m}$ at 18 months after surgery ($p < 0.01$). The values were higher compared with those in the control eyes. Sex, donor trephine size and suture method did not correlate with the HOAs changes. The HOAs in the keratoconus group were higher than those in the corneal opacity group or bullous keratopathy group. At 18 months, HOAs in the suture removed group were higher than those in the suture-remaining group.

Conclusions: Corneal HOAs after PKP were persistently higher than those in the control eyes. The HOAs were higher in patients with keratoconus and in the suture-removed group.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(8):1088-1098

Key Words: Higher-order aberration, Penetrating keratoplasty

Address reprint requests to **Kyung Chul Yoon, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Chonnam National University Hospital
#42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea
Tel: 82-62-220-6741, Fax: 82-62-227-1642, E-mail: kcyoon@chonnam.ac.kr