

펄초레이저를 이용한 각막이식술과 일반적인 전층각막이식술의 임상결과 비교

정경인¹ · 최진아¹ · 나경선¹ · 정소향¹ · 차흥원² · 김응권³ · 주천기¹

가톨릭대학교 의과대학 안과 및 시과학교실¹, 울산대학교 의과대학 서울아산병원 안과학교실²,
연세대학교 의과대학 안과학교실 시기능연구소³

목적: 펄초레이저(IntraLase[®])를 이용하여 전층각막이식술을 시행하여 그 임상결과를 일반적인 전층각막이식술과 비교하여 보고하고자 한다.

대상과 방법: 일반적인 전층각막이식술을 받은 18안(17명), 펄초레이저를 이용한 창상변형 전층각막이식술을 받은 26안(25명)을 대상으로 의무기록을 후향적으로 조사하여 비교하였다.

결과: 펄초레이저군에서 최대교정시력(logMAR)은 2, 4, 6개월째 0.70, 0.58, 0.61로 일반적인 전층각막이식술군의 1.06, 1.01, 0.90과 비교하여 2, 4개월째에 유의한 차이가 있었다. 자동굴절검사상 평균난시는 2, 4, 6개월째 펄초레이저군에서 4.08, 4.01, 4.44 diopters (D)로 일반적인 전층각막이식술군의 5.75, 5.75, 5.21D보다 더 나은 결과를 보여주었으며 2, 4개월째에 유의한 차이가 있었다. 경과관찰 동안 합병증의 발생은 유의한 차이가 없었다.

결론: 펄초레이저를 이용한 전층각막이식술은 기존의 일반적인 전층각막이식술과 비교하여 시력 호전 및 난시에 있어 비교적 초기에 나은 결과를 보여주었으며 전층각막이식술 시에 고려할 수 있는 하나의 수술방법으로 생각된다.

〈대한안과학회지 2010;51(8):1054-1063〉

전층각막이식술은 저위험군에서 대략 80%의 이식성공률을 보여줄 정도로 발달해 왔으며 다른 조직의 이식에 비해 높은 성공률을 보여주고 있다.^{1,2} 그러나 수술 후 규칙적이거나 불규칙적인 굴절이상이 환자의 기능적인 시력 향상에 장애가 되고 있으며 그 원인으로 공여각막과 수여각막 간의 오정렬(misalignment), 공여각막의 부정확한 원형절제, 불균등하고 상대적으로 강한 봉합의 긴장력, 수술 후 창상 치유의 지연과 불규칙함 등이 있다.^{3,4} 정확한 정렬을 이루기 위해 공여각막 절편이 수여각막으로 가장 정확히 끼워 맞춰질 수 있는 수직 모양의 각막절편이 고안되어 보편적으로 사용되어 왔지만 수직 절편의 모양에서는 안압을 견디기 위해 상대적으로 강한 긴장력의 봉합이 필요하며 이 봉합을 제거하는 데는 적어도 1년이 걸린다.⁵⁻⁷ 수술 후 1년이 경과해서 봉합사를 제거하더라도 환자의 약 4%에서 창상개열이 발생할 수 있다는 보고도 있다.⁸⁻¹¹

이런 전층각막이식술의 이러한 단점들을 개선하기 위하여 각막내피세포이식술(endothelial keratoplasty)이나 심

부표층각막이식술(deep anterior lamellar keratoplasty) 같은 'surface to surface' 창상구조를 만드는 층판이식술(lamellar keratoplasty)이 시도되었다. 이 구조는 안압의 영향으로 수여각막과 공여각막 간의 부착이 용이하고 단단한 봉합이 필요하지 않아 수술 후 난시가 적고 일반적인 전층각막이식술보다 봉합사를 보다 빨리 제거할 수 있으며, 보다 빠른 시력 회복 및 창상 회복을 보인다.¹²⁻¹⁴ 하지만, 이식편의 이탈이 각막내피세포이식술에서 심각한 문제가 되고 있고, 각막 중심부에 있는 조직간의 접촉면에서 창상 회복 시 섬유화가 일어나기 때문에 일반적인 전층각막이식술에 비해 시력의 질이 떨어질 수 있으며 전층 각막질환에서는 시행할 수 없다는 단점이 있다.

이에 Busin¹⁵은 우수한 시력 결과를 위해 각막의 중심부에는 일반적인 전층각막이식술처럼 각막전층을 이식하고, 각막 간의 부착이 용이한 창상 구조를 위해 각막의 주변부에서는 층판각막이식술과 같은 창상구조를 가지는 창상변형 전층각막이식술(wound configurized penetrating keratoplasty)을 도입했다. 그러나 이 방법은 복잡하고 정교한 창상구조 형성에 시간이 오래 걸리고, 술자가 숙련되기 어려우며, 정확한 각막이식편의 절제가 어려운 제한점이 있다.¹⁶

최근 대두된 펄초레이저(Femtosecond laser)는 Nd:YAG 레이저와 비슷하나 초단파의 진동주기(ultra-short pulse

■ 접수 일: 2009년 9월 3일 ■ 심사통과일: 2010년 6월 15일

■ 책임저자: 주 천 기

서울시 서초구 반포동 505
가톨릭대학교 서울성모병원 안과
Tel: 02-2258-1188, Fax: 02-599-7405
E-mail: ckjoo@catholic.ac.kr

duration)를 가지고 있어 더 작은 충격파(shock wave)와 기포를 발생시킨다.¹⁷ 이것은 레이저를 각막의 원하는 위치에 다양한 깊이로 정확하게 전달 가능하며 원형으로 조사하여 앞충판, 뒷충판, 수평절개를 만들게 된다. 각 층판의 크기를 조절하여 버섯모양, 중절모자(top-hat), 수직형(vertical), Z-방형(Z-square) 등의 다양한 창상 모양의 각막을 원하는 크기대로 신속하게 절개할 수 있으며 재현성이 있다는 장점이 있다.^{4,5,16}

저자들은 본 연구에서 이러한 펄토초레이저를 이용한 각막이식술을 시행하고 술 후 임상양상을 일반적인 전층각막이식술을 시행한 환자들과 임상양상과 임상기록의 후향적 고찰을 통하여 비교 분석하고자 하였다.

대상과 방법

1. 대상

2008년 11월부터 2009년 3월까지 전층각막이식술을 받은 46안(44인) 중 심부표층 각막이식술을 시행받은 환자 와 테리엔 변연각막변성으로 전층각막이식술을 받은 환자를 제외하고 일반적인 전층각막이식술을 받은 18안(17인) 또는 펄토초레이저(IntraLase FS laser, IntraLase, Corp, USA)를 이용한 전층각막이식술을 받은 26안(25인)을 대상으로 하였으며 수술방법은 무작위로 결정되었다. 수술 후 효과 및 임상경과를 비교하기 위해 의무기록을 후향적으로 조사하였다. 이전에 방사상 각막절개술(radial keratotomy)을 받았거나, 각막이 극도로 얇아져 있거나(extreme thinning), 천공이 임박했거나 활동성의 염증(active inflammation)이 관찰되거나 9 mm 주변부(peripheral zone)에서 각막 두께가 1,200 μ m 이상인 환자는 제외되었다. 모든 공여각막은 기증자 사망 후 Optisol (Chiron Ophthalmics, Irvine, CA, USA) 보존액에 보존하기까지의 시간이 1주일 이내인 것을 사용하였다.

2. 수술방법

마취는 일반적인 전층각막이식술을 받은 안에서는 전신 마취가 8안, 구후마취가 10안, 펄토초레이저를 이용한 군에서는 전신마취가 16안, 구후마취가 10안에서 시행되었다.

펄토초레이저군에서는 외래굴절수술실(Refractive suite)에서 수여각막과 공여각막 모두 60-kHz 펄토초레이저(IntraLase[®], USA)를 이용하여 각막을 절제하였으며 원주 각막안과 각막혼탁이 전층에 있지만 비교적 각막중심부 일부에 국한되어 있던 1안에서는 버섯모양으로, 각막내피세

포 부전으로 인한 각막부종에는 중절모자형으로 일부 시행하였으며 나머지 각막부종안 일부와 각막혼탁이나 이식실패 안에서는 수직형이나 Z-방형으로 전층각막이식술을 시행하였다.

펄토초레이저(IntraLase[®], USA)로 각막이식술을 시행한 군의 수여각막은 외래굴절수술실(Refractive suite)에서 각각의 계획된 창상모양에 따라 에너지 파(pulse)를 전달하도록 기계에 설정하고 공통적으로 각막 표면에 뒤쪽부터 절개를 시행하였고 각막 천공을 막기 위해 뒤쪽 부위에 50 μ m를 남겨놓았다. 수직형에서는 각막표면과 90도 각도로 평균 8.40 mm 직경의 수직절개를 시행하였고, 중절모자형과 버섯모양에서는 뒤충판에 수직절개를 시행한 뒤 각막 앞쪽 표면으로부터 300 μ m 깊이에서 0.7 mm 폭의 층판 원형절개(lamellar cut)를 시행하였다. 그리고 앞충판에 중절모자형에서는 평균 8.35 mm 직경, 버섯모양에서는 평균 8.66 mm 직경의 수직절개를 시행하였다. 중절모자형에서는 뒤충판을 앞충판보다 크게, 버섯모양에서는 앞충판을 뒤충판보다 크게 만들었다. Z-방형에서는 뒤쪽측면절개(posterior side cut)를 각막표면과 90도로 각을 이루게 하여 시행하고, 이어서 각막 앞쪽 표면으로부터 300 μ m 깊이에서 0.7 mm 폭의 층판원형절개를 시행하였으며 가장자리를 향해 30도의 각도로 평균 8.32 mm 직경의 앞쪽측면절개를 시행하였다(Fig. 1). 그리고 수술방으로 환자를 옮겨

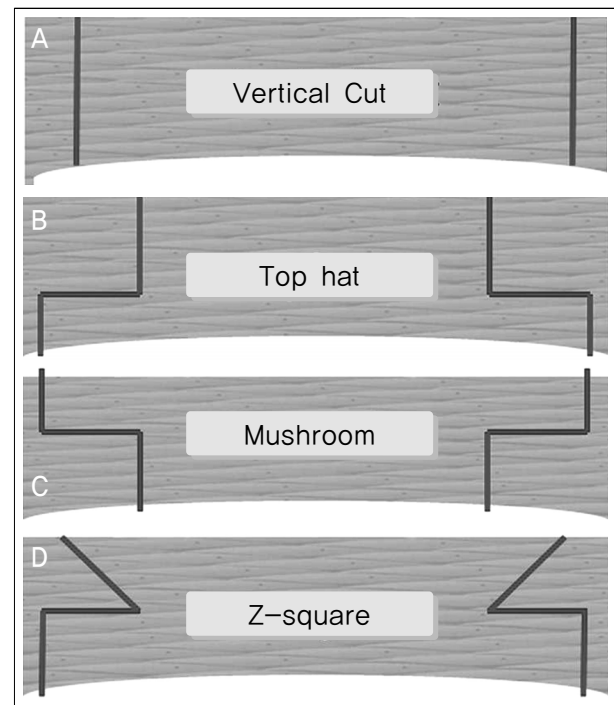


Figure 1. Illustration of the 4 wound configurations created in this study by the IntraLase-enabled keratoplasty (IEK) software: traditional, straight vertical cut (A), Top hat (B), mushroom (C), Z-square (D).

표준각막가위나 날카로운 칼로 수여각막의 뒤쪽 층판에 수직절개를 추가로 시행하여 각막절개를 완성하였다.

또한 수여각막과 같은 창상구조를 만들기 위해 공여각막을 인공전방(artificial anterior chamber) 위에 올려놓은 후 평형염액(Balanced Salt solution: BSS)을 전방에 주입하여 적당한 안압을 유지하였다. 각막중심부에 표시를 하고 레이저의 압평 렌즈 아래 흡입 없이 중심을 맞춘 후 계획된 각각의 창상 모양에 따라 수여각막과 같은 방식으로 앞층판이 수여각막보다 0.2~0.5 mm 정도로 크게 레이저로 각막절개를 시행하였다.

절개된 공여각막 이식편은 Optisol (Chiron Ophthalmics, Irvine, CA, USA) 보존액에 보관하였다. 그리고 공여각막을 수여각막 위에 정확하게 위치시킨 뒤 10-0 nylon으로 16개의 단속 봉합을 시행하였다.

전층각막이식술을 시행한 군은 일반적인 각막이식 방법으로 시행하였고 봉합은 펌토초레이저군과 마찬가지로 16개의 단속 봉합을 시행하였다.

일반적인 전층각막이식군의 원형절제 크기(trephine size)와 펌토초레이저군의 앞층판의 크기는 수여각막보다 공여각막을 0.2~0.5 mm 정도로 크게 만들었으며, 특히 무수정체안에서는 0.5 mm 차이가 나도록 하고 원추각막에서는 0.2 mm 차이가 나도록 하였다. 수술 후 1% prednisolone acetate (Pred forte®, Allergan, USA), 0.3% Gatifloxacin (Gatiflo®, Handok Pharmaceuticals, Korea)을 점안하였다.

3. 측정변수

두 군의 모든 환자에서 수술 전 경과관찰 기간 동안 최대 교정시력, 세극등현미경검사 및 자동굴절계를 통한 굴절검사, 각막두께 측정계(SP-3000, Tomey corporation, Japan)로 각막두께, 수동각막곡률계(OM-4, Topcon, Japan)로

수직방향과 수평방향의 굴절값을 측정하였으며 골드만 압평 안압계(GAT Haag-Streit, Switzerland)로 안압검사를 시행하였다. 또한 수술 전 빛간섭단층촬영(Visante anterior segment Optical coherence tomography, Carl Zeiss Meditech, Germany)를 이용하여 수여각막의 절개방법과 도안을 결정하는 데 참고하였다. 술 후 2개월, 4개월, 6개월째 최대교정시력을 측정하였고, 굴절력 안정성 및 난시를 평가하기 위해 자동굴절계를 통한 굴절검사, 수동각막곡률계로 굴절값을 측정하였다. 술 후 방문 시 마다 세극등현미경검사를 시행하고 술 후 합병증의 발생 양상을 비교 분석하였으며 각막두께 검사를 시행하였고 6개월째 두 군을 비교하였다. 술 후 1일, 1주일, 1개월째, 6개월째 두 군에서 각각 자동굴절검사 측정이 가능한 안과 불가능한 안의 비율을 조사하였다. 또 술 후 구조적 안정성을 평가하기 위해 빛간섭단층촬영으로 공여각막과 수여각막의 접합부를 관찰하였으며 전안부 사진(anterior segment photo)을 촬영하였다.

4. 통계방법

통계학적 처리는 SPSS 17.0 for Window (SPSS Inc.)을 이용하였으며 대상안의 수적인 한계점으로 비모수적인 방법을 사용하였다. 연속변수에 대해서 두 군 간의 차이를 비교하기 위해 Mann-Whitney U test를 사용하였다. 비연속변수에 대해서는 Pearson's chi-square test를 사용하였고 p 값이 0.05 미만일 경우 통계적으로 유의하다고 평가하였다.

결 과

20~78세의 일반적인 전층각막이식술을 받은 18안(17인)과 35~86세의 펌토초레이저를 이용한 창상변형 전층각막이식술을 받은 환자 26안(25인)의 기본적인 특성들을

Table 1. Summary of preoperative and intraoperative characteristics in the two study groups, IntraLase-enabled keratoplasty and conventional penetrating keratoplasty

	IEK* (n=26)	C-PKP† (n=18)	P value [‡]
Proportion of males	13 (50.0%)	7 (39.0%)	0.467
Proportion of right eye	13 (50.0)	9 (50.0%)	1.000
Age (yr)	52.6 ± 16.7	61.4 ± 13.6	0.644
Mean preop BSCVA‡ (log MAR)	1.61 ± 0.50	1.54 ± 0.64	0.699
Mean preop IOP§ (mmHg)	13.4 ± 3.0	15.12 ± 5.28	0.132
Donor trephine size (mm)	8.46 ± 0.33	8.25 ± 0.29	0.125
Recipient trephine size (mm)	8.16 ± 0.35	8.08 ± 0.17	0.169
Oversize (mm)	0.29 ± 0.06	0.28 ± 0.08	0.371

*IEK=IntraLase-enabled keratoplasty; †C-PKP=conventional penetrating keratoplasty; ‡BSCVA=best spectacle-corrected visual acuity; §IOP=intraocular pressure; [‡]P Value: Statistical differences between group of IntraLase-enabled keratoplasty, conventional penetrating keratoplasty were performed by Fisher's exact test for categorical data and Mann-Whitney U test for continuous variables. A P-value less than 0.05 is statistically significant. Values are expressed as mean ± SD (standard deviation) for continuous variables.

Table 2. The indications of transplants in the two groups, IntraLase-enabled keratoplasty and conventional penetrating keratoplasty

	IEK* (n=26)	C-PKP† (n=18)	P value‡
Bullous keratopathy	9 (34.6%)	4 (22.2%)	0.514
Corneal scar	13 (50.0%)	10 (55.6%)	0.428
Keratoconus	1 (3.8%)	2 (11.1%)	0.555
Graft failure	3 (11.5%)	2 (11.1%)	1.000

*IEK=IntraLase-enabled keratoplasty, †C-PKP=conventional penetrating keratoplasty, ‡p Value: Statistical differences between group of IntraLase-enabled keratoplasty, conventional penetrating keratoplasty were performed by Fisher's exact test. A P-value less than 0.05 is statistically significant.

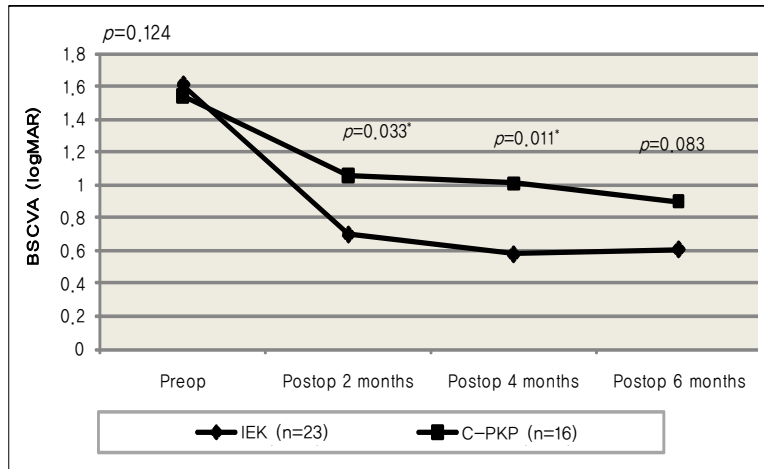


Figure 2. Postoperative changes of logMAR mean best-spectacle corrected visual acuity (BSCVA) after IntraLase-enabled keratoplasty (IEK) versus conventional penetrating keratoplasty (C-PKP); Postoperative BSCVA improved gradually in both groups. BSCVA in IEK group was better than C-PKP group postoperatively, but the differences between two groups were statistically significant at 2 months ($p=0.033$), and 4 months ($p=0.011$) postoperatively. The statistical analysis was performed using Mann-Whitney U test. A P-value less than 0.05 is statistically significant.

정리하였다(Table 1). 환자의 나이, 성별, 술 전 최대교정시력 및 안압은 각 군별로 유의한 차이가 없었다. 공역각막 및 수역각막에 쓰인 원형절제 크기는 펌토초레이저군에서는 앞층판 수직절개의 지름을 나타내며, 두 군 사이에 유의한 차이는 없었다. 각막이식을 하게 된 적응증을 각 군별로 보여주고 있으며 각막혼탁이 두 군 모두에서 가장 높은 비율을 차지하고 있었고 각막수포병증이 두번째로 많았으며, 적응증에서 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 2). 펌토초레이저군에서 각막이식술은 창상구조별로 중절모자형은 4안, 버섯모양은 2안, Z-방형은 6안, 수직형은 14안에서 시행되었다.

술 후 6개월째 임상결과 및 합병증의 발생 양상을 비교 분석하였으며 펌토초레이저군의 1안에서 6개월째 병원을 방문하지 않아 경과관찰이 되지 않았다. 또 본 연구에서 시력에 영향을 줄 수 있는 요소로 펌토초레이저군에서는 2안에서는 말기 녹내장, 1안에서는 당뇨병성 황반부종, 일반적인 전층각막이식군에서는 2안에서는 말기 녹내장이 있어 최대교정시력의 결과 분석에서 제외하였다.

두 군에서 각각 술 후 최대교정시력의 변화를 술 후 2개월, 그리고 4개월, 6개월로 나누어 살펴본 결과 지속적으로 펌토초레이저군에서 높은 시력을 유지하였다(Fig. 2). 술 후 2개월, 4개월째 각각의 logMAR 최대교정시력은 펌토초레이저를 이용한 창상변형 전층각막이식술을 받은 환자는

0.70 ± 0.45 , 0.58 ± 0.43 , 일반적인 전층각막이식술을 받은 환자는 1.06 ± 0.50 , 1.01 ± 0.48 로 펌토초레이저군에서 유의하게 좋았다($p=0.033$, $p=0.011$) (Table 3). 술 후 6개월째 logMAR 최대교정시력은 펌토초레이저군에서 0.61 ± 0.46 , 일반적인 전층각막이식술 군에서는 0.90 ± 0.42 로 펌토초레이저군에서 시력이 좋았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.083$) (Table 3).

수술 후 6개월째 평균각막두께는 펌토초레이저군에서 $563.10 \pm 106.20 \mu\text{m}$, 일반적인 전층각막이식군에서 $581.8 \pm 102.44 \mu\text{m}$ 로 두 군 간에 유의한 차이는 없었다($p=0.632$) (Table 3).

수술 후 평균 구면렌즈대응치(spherical equivalent)는 펌토초레이저군에서 $0.02 \pm 4.46\text{D}$ (Diopters), 일반적인 전층각막이식군에서 $-0.29 \pm 3.93\text{D}$ 로 유의한 차이가 없었다($p=0.835$) (Table 3).

수술 후 2개월, 4개월, 6개월째 난시는 자동굴절검사나 수동각막곡률계에 의한 검사 결과는 지속적으로 펌토초레이저군에서 일반적인 전층각막이식술군보다 낮았으나 유의한 차이는 술 후 2개월, 4개월째 자동굴절검사계에 의한 비교에서만 나타났다. 자동굴절검사에 의한 난시는 2개월, 4개월째 펌토초레이저군에서 $4.08 \pm 2.46\text{D}$, $4.01 \pm 2.24\text{D}$ 였고, 일반적인 전층각막이식군에서는 $5.75 \pm 2.28\text{D}$, $5.75 \pm 2.40\text{D}$ 였다($p=0.037, 0.027$) (Fig. 3). 술 후 6개월째 평균각막난시는 수동각막곡률계에 의한 측정값은 펌토초레이저

Table 3. Comparison of outcomes of IntraLase-enabled keratoplasty and conventional penetrating keratoplasty

		IEK* (n=26)	C-PKP† (n=18)	P value [‡]
Mean BSCVA [‡] (logMAR)	Postop 6 months	0.61 ± 0.46	0.90 ± 0.42	0.083
Mean IOP [§] (mmHg)		15.47 ± 4.76	14.92 ± 4.27	0.730
Corneal thickness (μm)		563.10 ± 106.20	581.80 ± 102.44	0.632
Mean spherical equivalent (diopters)		0.02 ± 4.46	-0.29 ± 3.93	0.835
Mean refractive cylinder (diopters)		4.44 ± 2.90	5.21 ± 2.55	0.425
Keratometric cylinder (diopters)		5.50 ± 3.10	5.96 ± 2.97	0.672
Keratometric reading (diopters)		42.84 ± 1.82	42.27 ± 3.96	0.579
Number of the eyes with measurable autorefractive value, other than "error" (proportion)	Postop 1 day	6 (23.0%)	1 (0.06%)	0.046
	Postop 1 week	10 (38.4%)	4 (22.22%)	0.256
	Postop 1 month	18 (69.2%)	7 (38.89%)	0.051
	Postop 6 months	24 (92.3%)	15 (83.3%)	0.319

*IEK = IntraLase-enabled keratoplasty; †C-PKP = conventional penetrating keratoplasty; ‡BSCVA = best spectacle-corrected visual acuity; §IOP = intraocular pressure; [‡]P Value: Statistically significant differences between group of IntraLase-enabled keratoplasty, conventional penetrating keratoplasty ($p < 0.05$) by Fisher's exact test for categorical data and Mann-Whitney U test for continuous variables were marked in bold strokes. Values are expressed as mean ± SD (standard deviation) for continuous variables.

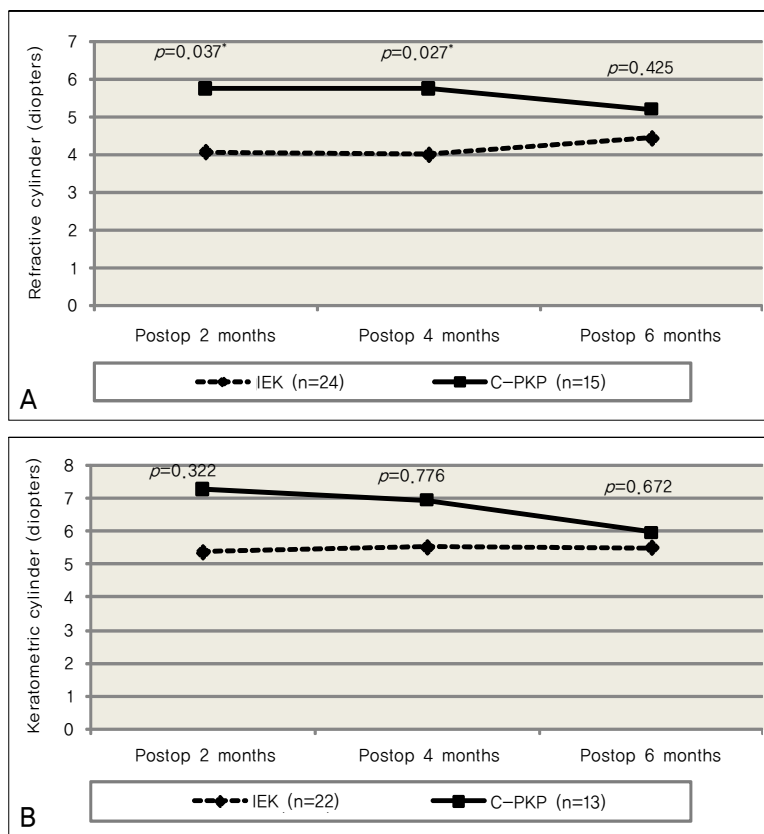


Figure 3. The cylinder measured using autorefractor in both groups of IntraLase-enabled keratoplasty (IEK) and conventional penetrating keratoplasty (C-PKP) at 2, 4 and 6 months postoperatively. The refractive cylinder showed lower value in IEK during follow up periods, and the difference was statistically significant at 2 months ($p=0.037$), and 4 months ($p=0.027$) postoperatively (A). The keratometric cylinder measured using manual keratometer showed lower value in IEK than C-PKP, but the difference was not statistically significant during follow up periods (B). The statistical analysis was performed using Mann-Whitney U test. A P-value less than 0.05 is statistically significant.

군에서 $5.50 \pm 3.10D$, 일반적인 전층각막이식 군에서 $5.96 \pm 2.97D$ 로 펌토초레이저군이 낮았으나 유의한 차이는 없었다($p=0.672$). 자동 굴절검사에 의한 술 후 6개월째 평균 각막난시는 펌토초레이저군에서 $4.44 \pm 2.90D$, 일반적인 전층각막이식군에서 $5.21 \pm 2.55D$ 로 펌토초레이저군에서 난시도수가 낮았지만 통계학적으로 유의하지는 않았다($p=0.425$) (Table 3).

수술 후 1일, 1주, 1개월, 6개월 째 자동굴절검사가 가능

하였던 안을 조사한 결과 펌토초레이저군은 자동굴절검사가 각각 6안(23.0%), 10안(38.4%), 19안(69.2%), 24안(92.3%)에서 가능하였고 일반적인 전층각막이식군에서는 1안(0.06%), 4안(22.22%), 7안(38.89%), 15안(83.3%)에서 가능하였으며, 술 후 1일째에만 두 군간에 유의한 차이가 있었다($p=0.046$) (Table 3). 그리고 수술 후 6개월째 수동각막곡률계 측정이 가능하였던 안은 펌토초레이저군에서 22안, 일반적인 전층각막이식군에서 13안이었다.

Table 4. Complications of IntraLase-enabled keratoplasty and conventional penetrating keratoplasty

	IEK* (n=26)	C-PKP† (n=18)	P value‡
Graft failure	2 (7.6%)	3 (16.7%)	0.356
Induced glaucoma	1 (3.8%)	2 (11.1%)	0.347
Choroidal detachment	-	1 (5.6%)	0.224
Infectious keratitis	1 (3.8%)	-	0.400

*IEK=IntraLase-enabled keratoplasty; †C-PKP=conventional penetrating keratoplasty; ‡P Value=Statistical differences between group of IntraLase-enabled keratoplasty, conventional penetrating keratoplasty were performed by Fisher's exact test. A P-value less than 0.05 is statistically significant.

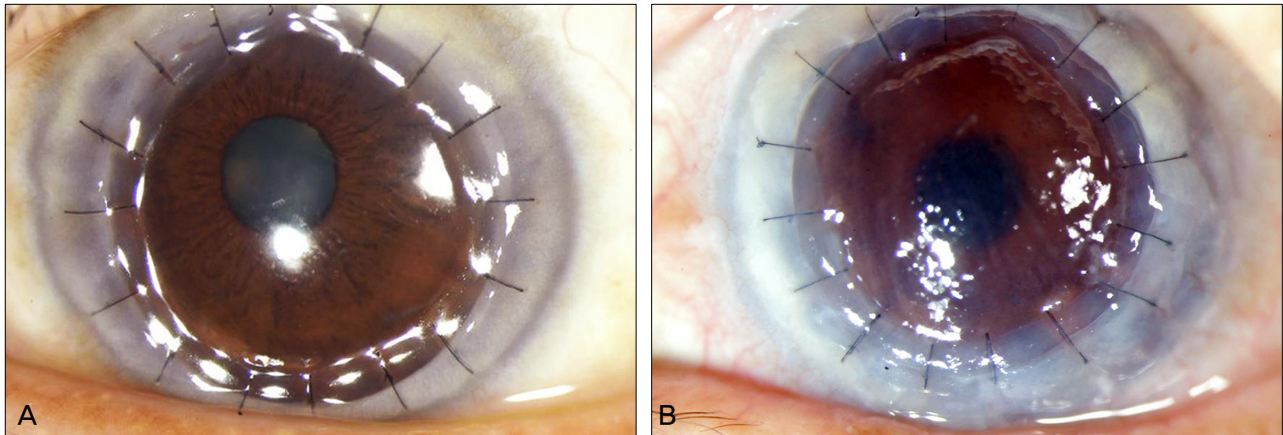


Figure 4. Anterior segment photographs of the patients at 1 month after surgery show the clear central cornea with well attached peripheral flange in IntraLase-enabled keratoplasty (vertical cut) (A), and moderately edematous cornea with well attached graft in conventional penetrating keratoplasty (B).

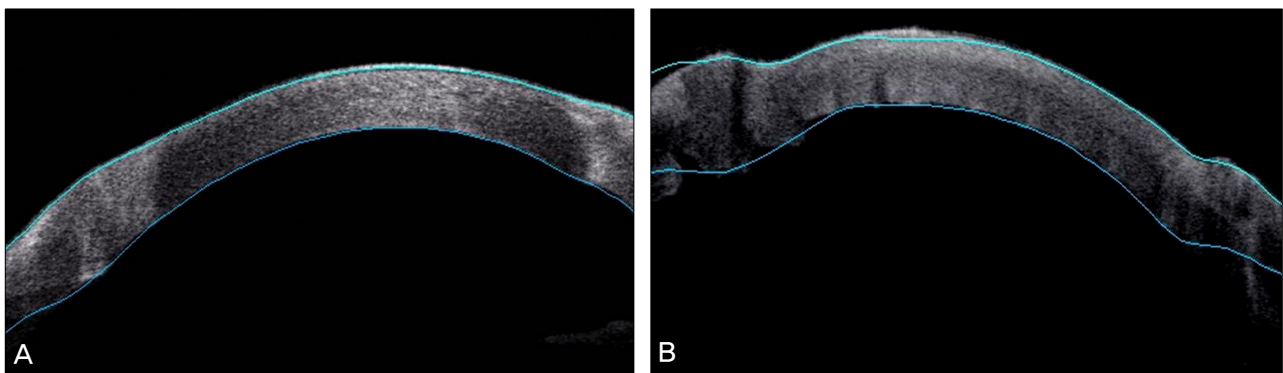


Figure 5. Two months postoperatively, Visante optical coherence tomography of IntraLase-enabled keratoplasty (vertical type) (A), demonstrating the perfect match of the recipient to the donor. In contrast, conventional penetrating keratoplasty (B) may show the lack of precise match of cut between the two pieces of tissues and protrusions such as hills.

수술 후 각 군에서 발생한 합병증은 이식실패가 펌토초레이저군에서 2안(7.6%), 일반적인 전층각막이식군에서 3안(16.7%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 그외 전층각막이식군에서 맥락막박리가 1안(5.6%), 녹내장이 2안(11.1%)에서 발생하였고 펌토초레이저군에서 녹내장이 1안(3.8%), 감염성 각막염이 1안(3.8%)에서 발생하였다 (Table 4). 술 후 6개월까지 느슨해진 봉합사는 관찰되지 않았으며 두 군 모두에서 봉합사 제거는 시행하지 않았다.

펌토초레이저로 각막이식술을 시행한 군의 공여각막 2안에서 펌토초레이저로 각막혼탁으로 인해 절제되지 않는 부분이 있어 Vannas (수술용 가위)로 제거하였다.

펌토초레이저수술을 받은 후 1개월째 전안부 소견에서 공여각막이 수여각막에 잘 부착되어 있었고(Fig. 4A), 약간의 각막 부종을 보여주고 있으며, 일반적인 전층각막이식군에서도 공여각막과 수여각막은 잘 부착된 편이며 중등도의 각막 부종을 보여주고 있다(Fig. 4B).

수직절개로 펌토초레이저수술을 받은 후 2개월째 Visante 빛간섭단층촬영에서 공여각막과 수여각막간의 안정적이고 정확한 부착을 보여주고 있다(Fig. 5A). 반면 일반적인 전층각막이식군에서는 수여각막과 공여각막의 부착부위가 전방으로 튀어나와 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 5B).

고 찰

수십년간 각막이식 후 조직의 왜곡(distortion)을 유발시키는 원인들을 해결하기 위해 다양한 각막의 천공방법과 봉합기술들이 시도되어 왔다. 일반적인 전층각막이식술은 보편화된 수술방법으로 우수한 시력 예후를 보이지만 창상 회복을 위해 단단한 봉합을 필요로 하여 고도의 굴절이상 발생할 수 있다. 이의 개선을 위해 고안된 창상변형 전층각막이식술(wound configurized penetrating keratoplasty)은 수여각막과 공여각막 간의 부착이 용이하여 단단한 봉합이 필요하지 않다. 그러나 수작업에 의해 이루어지기 때문에 복잡하고 정교한 창상구조 형성에 시간이 오래 걸리고 정확한 절제가 어려우며 원형절제기(trephine)의 제한된 크기 때문에 변형가능한 창상이 제한되어 있는 단점이 있다.¹⁶

그후 펌토초레이저를 이용하여 정교하고 복잡한 창상변형 각막이식을 하게 된 것은 각막이식에 있어 최근의 획기적인 변화 중 하나이다.⁵ 펌토초레이저를 이용한 각막이식은 술자가 다양한 각도와 깊이로 이식편을 형성할 수 있어 버섯모양, 중절모자(top-hat), 수직형(vertical), Z-방형(Z-square)등의 다양한 창상 모양을 만들 수 있으며 이중 특히 Z-방형은 펌토초레이저 같은 자동화된 컴퓨터 장치가 없이는 모양 형성이 어렵다.¹⁸ 그리고 펌토초레이저를 이용한 버섯모양 또는 중절모자형 각막이식은 봉합 후에 창상누출이 시작되는 압박이 일반적인 전층각막이식술보다 더 높아 압박에 대해 일반적인 각막이식보다 더 높은 방수효과를 보여주었다.¹⁹ 펌토초레이저를 이용한 각막이식에서는 일반적인 전층각막이식에서 나타나지 않는 섬유창상치유반응이 각막절개의 수직면을 따라 일어난다고 하며 이것에 대한 이유는 아직 확실히 밝혀지지는 않았지만 Price and Price¹⁹는 레이저에 의해 더 부드러운 표면이 형성되고 각막세포가 활성화되어 창상치유가 빠르게 일어나는 것이라고 하였다.

일반적인 전층각막이식술과 펌토초레이저를 이용한 창상변형각막이식술을 비교한 Bahar et al²⁰의 연구에서 수술 후 6개월째 최대교정시력(logMAR)이 펌토초레이저군에서 0.32 ± 0.31 , 일반적인 전층각막이식군에서 0.39 ± 0.30 으로 유의한 차이가 없었다. 본 연구에서도 술 후 6개월째 술

후 최종 시력에 영향을 미칠 수 있는 질환을 가진 환자들을 제외한 두 군 간의 최대교정시력의 비교에서 유의한 차이는 없었지만 수술 후 비교적 초기인 2개월, 4개월째 최대교정시력(logMAR)은 펌토초레이저를 이용한 창상변형 전층각막이식술을 받은 환자는 각각 0.70 ± 0.45 , 0.58 ± 0.43 , 일반적인 전층각막이식술을 받은 환자는 1.06 ± 0.50 , 1.01 ± 0.48 로 펌토초레이저군에서 유의하게 우수한 결과를 보였다($p=0.033$, $p=0.011$). 일반적인 전층각막이식술을 받은 군에서는 18안 중 5안에서 백내장수술과 동시에 하였으며 펌토초레이저군에서는 27안 중 3안에서 백내장수술, 1안에서 초자체전절제술과 동시에 시행하였다. 병합수술이 수술 후 시력에 영향을 미쳤을 수 있으나 두 군 간에 큰 차이는 없었다. 두 군에 대해 동시수술 여부에 대해서는 살펴보았으나 시력에 영향을 미칠 수 있는 다양한 다른 요소에 대한 비교 분석은 하지 못하였다. 그리고 다른 문헌에서도 일반적인 전층각막이식술과 펌토초레이저를 이용한 창상변형 각막이식술에 대한 비교 연구가 많이 이루어져 있지 않으며, 앞으로 시력 비교에 관해서는 교란요소에 대한 분석 및 반복적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

각막이식술 후 발생하는 난시는 수술 후 저시력의 중요한 원인 중의 하나로서 공여각막과 수여각막 간의 오정렬(misalignment), 공여각막의 부정확한 원형절제, 불균등하고 상대적으로 강한 봉합의 긴장력, 수술 후 창상 치유의 지연과 불규칙함에 의해 발생할 수 있다.⁴ 일반적인 전층각막이식술과 펌토초레이저를 이용한 창상변형각막이식술을 비교한 Bahar et al²⁰의 연구에서 수술 1년 뒤 난시는 일반적인 전층각막이식술군은 $4.1 \pm 1.8D$, 펌토초레이저군은 $3.6 \pm 1.9D$ 로 유의한 차이는 없었으며 Claesson and Armitage²¹의 연구에서는 1,161안에서 일반적인 전층각막이식술 2년 뒤 평균 난시가 4.56D라고 보고하였다. 본 연구에서는 수술 후 6개월째 수동각막곡률계에 의한 측정값은 펌토초레이저군에서 $5.50 \pm 3.10D$, 일반적인 전층각막이식군에서 $5.96 \pm 2.97D$ 였고, 자동 굴절검사에 의한 난시는 펌토초레이저군에서 $4.44 \pm 2.90D$, 일반적인 전층각막이식군에서 $5.21 \pm 2.55D$ 로 두 측정값 모두 통계학적으로 유의하지는 않았지만 펌토초레이저군에서 낮았다. 그리고 술 후 비교적 초기인 2개월, 4개월째 자동굴절계에 의한 난시가 통계학적으로 유의 있게 펌토초레이저군에서 일반적인 전층각막이식군보다 낮은 것은 펌토초레이저군의 수술 후 자동굴절검사에 의한 각막난시가 이전의 다른 연구들의 일반적인 전층각막이식술의 결과보다 상대적으로 더 작은 수치를 보여준 것과 더불어 일반적인 전층각막이식술보다 창상이 안정적이고 부드럽게 형성되며 창상의 치유가 빠르기 때문에 상대적으로 강한 긴장력의 봉합이 필요하지 않

기 때문인 것으로 생각된다. 수동각막곡률계에 의한 난시가 자동굴절검사에 의한 난시보다 상대적으로 크게 측정된 것은 펄토초레이저군 26안 중에서 4안, 일반적인 전층각막이식수술군 18안 중에서 5안에서 측정되지 않아 그 평균 값이 전체 평균을 대변하지 못한 것이 원인으로 추정된다. 그리고 수술 후 1일째, 1주째, 1개월, 6개월째 자동굴절검사를 시행한 결과 대체로 일반적인 전층각막이식군보다 펄토초레이저군에서 자동굴절검사 측정이 가능한 안의 수가 많았으며, 특히 술 후 1일째 유의하게 차이가 있었다 ($p=0.046$). 동공에 대한 조작을 하지 않은 상태에서 자동굴절검사 측정은 각막 투명도에 일부 영향을 받게 된다. 단순히 자동굴절검사 측정이 가능하였다고 하여 술 후 결과가 더 양호하다고 평가할 수는 없으나 각막투명도 회복을 평가하는 데 있어 비교해 보는 것은 의의가 있을 것으로 사료된다.

술 후 6개월째 각막두께는 일반적인 전층각막이식술보다 펄토초레이저를 이용한 군에서 더 얇았으나 유의한 차이는 없었다. 두 군에서 술 후 6개월째 안압이 유의한 차이가 없었으므로 각막 두께를 각막내피세포의 기능을 나타내는 지표로 어느 정도 참고할 수 있겠다.

Bahar et al²⁰은 일반적인 전층각막이식수술군보다 펄토초레이저수술군에서 수술 후 1년째 거부반응 발생률이 더 낮았으나 통계학적 의의는 없었으며 이것은 수여각막과 공여각막이 정확히 부착되어 공여각막의 조직 항원이 전방으로 노출되는 것을 최소화하기 때문이라고 하였고, Sohn and Kim²²이 발표한 연구에서도 평균 11개월의 관찰 기간 동안 펄토초레이저에 의한 각막이식술을 받은 6안 모두에서 거부반응이 발생하지 않았다고 하였으며, 본 연구에서는 두 군 모두에서 6개월까지 거부반응이 발생하지 않았다. 이는 대상수가 적었기 때문일 수 있으며 장기적 추적관찰이 필요할 것으로 보인다. 합병증 중 녹내장은 전층각막이식수술군에서 2안(11.1%), 펄토초레이저수술군에서는 1안(3.7%)에서 발생하였으며 두 군의 발생률의 차이는 펄토초레이저수술군에서 보다 더 적은 긴장력의 봉합이 필요해서 앞방각이 좁아지는 정도가 작기 때문으로 추정된다.

Price et al²³은 펄토초레이저에 의해 불완전한 각막절제 후 수술실에서 각막절개를 하여 우수한 성공률을 보여주었다. 본 연구에서도 굴절수술실에서 펄토초레이저로 수여각막을 불완전하게 절제한 후 수술방으로 환자를 옮겨서 나머지 각막절개를 완성하였으며 이송 도중 불완전한 창상이 자발적으로 완전히 개열된 경우는 없었다. 불완전한 각막절개를 하는 방법에는 각막의 앞쪽 층판을 남겨 두는 경우와 뒤쪽 층판을 남겨 두는 방법이 있는데 앞쪽 층판을 남겨 두는 경우 정확한 중심잡기가 어려울 수 있다.²³ 그래서 본 연

구에서는 뒤쪽 층판을 불완전하게 남겨 두었고 수술방에서 뒤층판 각막절개를 완성하기 전에 전방을 유심히 관찰하였으며, 레이저 초점이 전방으로 맞추어져 있을 때 발생할 수 있는 기포는 발견되지 않았다. 그리고 펄토초레이저로 각막이식술을 시행한 군의 공여각막 2안에서 펄토초레이저로 각막혼탁으로 인해 절제되지 않는 부분이 있어 Vannas (수술용 가위)로 제거하였으며 수여각막에서 부종이 심하더라도 레이저 절제가 불완전하게 된 경우는 없었고 표준각막가위로 날카로운 칼로 수여각막의 뒤쪽 부위에 추가로 절제를 시행하여 각막절개를 완성하는 데 무리는 없었다.

본 연구는 국내에서 펄토초레이저를 이용한 창상변형 각막이식술을 시행하고 안전성과 굴절력을 평가하여 일반적인 전층각막이식술과 비교한 최초의 논문이다. 수동의 원형절제기 사용 시 비스듬하게 절개될 수 있고, 또 안내 구조에 손상을 줄 수도 있다. 이에 반해 펄토초레이저를 이용한 창상변형각막이식술은 자동화된 기계를 사용하기 때문에 술자의 숙련된 기술을 요구하지 않으며 재현성이 높고 정량화된 수여 및 공여 각막편을 만들 수 있다는 장점이 알려져 있다. 실제 본 연구에서 기존의 일반적인 전층각막이식술과 비교해서 수술 후 초기에 시력 회복과정이 빠르고 굴절력 안정성 측면에서도 더 나은 결과를 보였고, 구조적으로도 안정적인 창상을 유지하였지만 6개월째에는 최대교정시력 및 난시에서 두 군 간에 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 본 연구에서 난시 감소의 효과가 펄토초레이저군에서 유의하게 높지 않은 것은 수직형으로 각막이식술을 시행한 비율이 높은 것도 영향을 미쳤을 가능성을 배제할 수는 없기 때문에 앞으로 펄토초레이저를 이용한 전층각막이식술시 각각의 창상 모양에 따른 비교 연구가 필요할 것으로 보인다.

한편 펄토초레이저를 사용하여 전층각막이식수술을 하게 하였을 때 환자가 외래굴절수술실에서 수술실로 옮기는 과정 중 수여각막이 예기치 않게 천공된 적은 없었으나 환자의 이동 동선을 짧게 해야 하는 것은 추후 개선되어야 할 과제이며, 추가로 소모되는 비용이 있는 것이 단점이며 추후 봉합사제거 후 창상개열 등에 대한 장기적인 연구가 수반되어야 할 것이다.

결론적으로, 본 연구에서 시행한 펄토초레이저를 이용한 전층각막이식술은 기존의 일반적인 전층각막이식술과 비교해 수술 후 초기 시력 회복과정이 빠르고 안정적인 창상을 가지는 장점이 있고 6개월째 굴절력의 안정성 측면에서는 일반적인 전층각막이식술과 비슷한 결과를 보여 전층각막이식술 시에 고려할 수 있는 하나의 수술방법으로 사료된다.

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) Kaiserman I, Bahar I, Rootman DS. Corneal wound malapposition after penetrating keratoplasty: an optical coherence tomography study. *Br J Ophthalmol* 2008;92:1103-7.
- 4) Farid M, Kim M, Steinert RF. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond Laser zigzag incision initial report. *Ophthalmology* 2007;114:2208-12.
- 5) 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.
- 6) Frost NA, Wu J, Lai TF, Coster DJ. A review of randomized controlled trials of penetrating keratoplasty techniques. *Ophthalmology* 2006;113:942-9.
- 7) Barraquer JI Jr. Technique of penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1950;33:6-17.
- 8) Binder PS, Abel R Jr, Polack FM, Kaufman HE. Keratoplasty wound separations. *Am J Ophthalmol* 1975;80:109-15.
- 9) Farley MK, Pettit TH. Traumatic wound dehiscence after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1987;104:44-9.
- 10) Rehany U, Rumelt S. Ocular trauma following penetrating keratoplasty: incidence, outcome, and postoperative recommendations. *Arch Ophthalmol* 1998;116:1282-6.
- 11) Tseng SH, Lin SC, Chen FK. Traumatic wound dehiscence after penetrating keratoplasty: clinical features and outcome in 21 cases. *Cornea* 1999;18:553-8.
- 12) Melles GR, Lander F, van Dooren BT, et al. Preliminary clinical results of posterior lamellar keratoplasty through a sclerocorneal pocket incision. *Ophthalmology* 2000;107:1850-6.
- 13) Alio JL, Shah S, Barraquer C, et al. New techniques in lamellar keratoplasty. *Curr Opin Ophthalmol* 2002;13:224-9.
- 14) Mearza AA, Qureshi MA, Rostron CK. Experience and 12-month results of Descemet-stripping endothelial keratoplasty (DSEK) with a small-incision technique. *Cornea* 2007;26:279-83.
- 15) Busin M. A new lamellar wound configuration for penetrating keratoplasty surgery. *Arch Ophthalmol* 2003;121:260-5.
- 16) Malta JB, Soong HK, Shtein R, et al. Femtosecond Laser-assisted keratoplasty: laboratory studies in eye bank eyes. *Curr Eyes Res* 2009;34:18-25.
- 17) Stern D, Schoenlein RW, Puliafito CA, et al. Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers at 532 and 625 nm. *Arch Ophthalmol* 1989;107:587-92.
- 18) Bahar I, Kaiserman I, McAllum P, Rootman D. Femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty stability evaluation of different wound configurations. *Cornea* 2008;27:209-11.
- 19) Price FW, Price MO. Adult keratoplasty: has the prognosis improved in the last 25 years? *Int Ophthalmol* 2008;28:141-6.
- 20) Bahar I, Kaiserman I, Lange AP, et al. Femtosecond laser versus manual dissection for top hat penetrating keratoplasty. *Br J Ophthalmol* 2009;93:73-8.
- 21) Claesson M, Armitage WJ. Astigmatism and the impact of relaxing incisions after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg* 2007;23:284-9.
- 22) Sohn BJ, Kim HK. Early results of Femtosecond laser-assisted mushroom-shaped wound-configurized keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:34-43.
- 23) Price FW Jr., Price MO, Jordan CS. Safety of incomplete incision patterns in femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:2099-103.

=ABSTRACT=

Comparison of Outcomes of Femtosecond Laser-assisted Keratoplasty and Conventional Penetrating Keratoplasty

Kyoung In Jung, MD¹, Jin A Choi, MD¹, Kyung Sun Na, MD¹, So Hyang Chung, MD, PhD¹,
Hungwon Tchah, MD, PhD², Eung Kweon Kim, MD, PhD³, Choun-Ki Joo, MD, PhD¹

Department of Ophthalmology and Visual Science, Seoul St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea School of Medicine¹, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine², Seoul, Korea

The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine³, Seoul, Korea

Purpose: To compare the outcomes of IntraLase femtosecond laser-enabled keratoplasty (IEK) versus conventional penetrating keratoplasty (C-PKP).

Methods: This retrospective study included 18 eyes of 17 patients who underwent C-PKP and 26 eyes of 25 patients who underwent IEK. Postoperative clinical results were compared between two groups.

Results: The mean logMAR best spectacle-corrected visual acuity (BSCVA) was 0.70, 0.58, and 0.61 in the IEK group, and 1.06, 1.01, and 0.90 in the C-PKP group at postoperative 2, 4, and 6 months respectively. The difference between the two groups was statistically significant at 2 and 4 months postoperatively ($p=0.033$, 0.011). The mean refractive cylinder was 4.08 diopters (D), 4.01D, and 4.44D in the IEK group, while 5.75D, 5.75D, and 5.21D in the C-PKP group for each month, and the difference between the groups was statistically significant at 2 and 4 months postoperatively ($p=0.037$, 0.027). The complication rate showed no significant differences up to 6 months of follow-up between the two groups.

Conclusions: The IEK showed better results in BSCVA and refractive astigmatism in the early postoperative period, in comparison with the C-PKP, and can be considered as a valuable method in penetrating keratoplasty.

J Korean Ophthalmol Soc 2010;51(8):1054-1063

Key Words: Conventional penetrating keratoplasty, Femtosecond laser-assisted keratoplasty

Address reprint requests to **Choun-Ki Joo, MD, PhD**

Department of Ophthalmology, Seoul St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea

#505 Banpo-dong, Seocho-gu, Seoul 137-040, Korea

Tel: 82-2-2258-1188, Fax: 82-2-599-7405, E-mail: ckjoo@catholic.ac.kr