

펄토초레이저를 이용한 버섯모양 창상변형 각막이식술의 초기 임상성적

손병재 · 김홍균

경북대학교 의과대학 안과학교실

목적: 가토안과 적출된 돼지눈을 이용하여 '버섯모양(mushroom-shaped)' 창상변형 각막이식 모델을 만들었고 그 결과를 바탕으로 버섯모양 각막이식술을 6례 시행하여 그 결과를 보고하고자 한다.

대상과 방법: 가토안 3안과 적출된 돼지눈 10안을 이용하여 '버섯모양' 각막이식술을 시행하고 조직학적 소견과 안압에 대한 저항성을 관찰하였다. 환자 6명 6안을 대상으로 펄토초레이저를 이용한 '버섯모양' 창상변형 각막이식술을 시행하였다.

결과: 수술 후 가토안의 조직학적 검사상 안정적인 창상 구조를 관찰할 수 있었고 '버섯모양' 각막이식술을 시행한 돼지눈들에서 각막 봉합 후 안압에 대한 높은 방수 효과를 보였다. 대상 환자들의 경과관찰기간은 평균 11개월이었으며 모든 환자들에서 시력 향상을 보였다. 수술 후 평균 6개월까지 봉합사 제거를 완료 할 수 있었으며, 정확하고 안정적인 창상구조를 관찰할 수 있었다.

결론: 펄토초레이저와 기계적 절개를 이용한 창상변형 각막이식술은 각막간 접합부위의 층판 구조로 인하여 안정적인 창상, 상대적으로 적은 각막 난시, 빠른 봉합사 제거 및 시력 회복 등의 장점들을 보였다.

(대한안과학회지 2009;50(1):34-43)

전층각막이식술(penetrating keratoplasty, PKP)은 지난 수십년 동안 각막이식술에 있어서 표준적인 방법으로 여겨져 왔으며, 여러 수술기구들의 발달로 인해 공여 및 수여 각막의 천공방법이 개선되었고 수술 후 굴절이상을 최소화하고 조직의 왜곡(distortion)을 감소시키기 위해 다양한 봉합 방법들이 소개되었다.¹⁻¹¹ 그러나, 전층각막이식술은 안압을 견딜만큼 충분히 창상이 회복될 때까지 상대적으로 긴 시간이 필요하여 봉합사 제거가 늦고 시력 회복기간이 길며, 수술 후 굴절이상의 정도가 심하여 많은 경우에서 적절한 시력교정이 어려우며, 봉합사 제거 후에도 부등시나 고도난시 등의 굴절이상이 발생하기도 한다.¹²⁻¹⁷ 또한 수술 후 1년이 경과해서 봉합사를 제거 하더라도 환자의 약 4%에서 창상개열이 발생할 수 있다고 보고되었다.¹⁸⁻²¹

전층각막이식술의 이러한 단점들을 개선하기 위하여 층판이식술(lamellar keratoplasty)이나 창상변형 전층각막이식술(wound configurized penetrating keratoplasty)들이 보고되고 있다. 일반적인 전층각막이식술은 공여 각막과 수

여 각막간의 수직적인 'edge to edge' 창상구조를 만들지만 층판이식술은 수평적인 'surface to surface' 창상구조를 만든다. 그리하여 안압의 영향으로 각막간의 부착이 용이하고 단단한 봉합이 필요치 않아 수술 후 난시가 적고 일반적인 전층각막이식술보다 봉합사를 보다 빨리 제거할 수 있으며, 보다 빠른 시력 회복 및 창상 회복을 보인다.^{22,23} 하지만, 각막 중심부에 있는 조직간의 접촉면에서 창상회복시 섬유화가 일어나기 때문에 일반적인 전층각막이식술에 비해 시력의 질이 떨어질 수 있으며 전층 각막질환에서는 시행할 수 없다는 단점이 있다. Busin²⁴은 새로운 창상구조를 가진 창상변형 전층각막이식술을 보고하였다. 공여 각막편을 앞면의 지름이 뒷면보다 큰 '중절모자(top hat)' 모양으로 만들었고 수여 각막 또한 공여 각막의 모양에 적합하게 창상 모양을 만들어 이식함으로써 좋은 결과를 보고하였으며 이후 Busin and Arffa²⁵은 미세각막절개도(microkeratome)를 이용하여 큰 앞쪽 층판과 작은 뒤쪽 층판을 만들어 두 층을 따로 이식하는 창상변형 각막이식술(wound configurized keratoplasty)을 시행하였다. 이 수술 방법은 일반적인 전층각막이식술에 비해 보다 적은 공여각막내피세포를 이식함으로써 각막수여자의 건강한 내피세포를 최대한으로 살리고 이론적으로 각막내피세포에 의한 면역거부반응의 가능성을 줄일 수 있었으며, 양호한 술 후 난시와 교정시력을 보고하였다.

이와 같이 창상변형 전층각막이식술은 각막의 중심부에서는 일반적인 전층각막이식술처럼 각막전층을 이식함으로

■ 접 수 일: 2008년 6월 2일 ■ 심사통과일: 2008년 12월 23일

■ 통 신 저 자: 김 홍 균

대구시 중구 삼덕2가 50
경북대학교병원 안과
Tel: 053-420-5816, Fax: 053-426-6552
E-mail: okeye@hanmir.com

* 본 논문의 요지는 2007년 제97회 대한안과학회 춘계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

* 이 연구는 2007년도 경북대학교병원 생명의학연구소 연구비의 지원으로 이루어졌음.

써 우수한 시력 결과를 얻을 수 있으며 각막의 주변부에서는 층판 각막이식술과 같은 창상구조를 가지므로 안정된 창상으로 수술 후 굴절이상의 정도가 적고 봉합사의 제거가 빨라 수술 후 초기에 시력회복이 기대된다.

펄스초레이저(Femtosecond laser)는 최근 레이저 각막 절삭가공성형술(LASIK)에서 각막 피판 절개시 많이 사용되고 있을 뿐만 아니라 층판 각막이식술(lamellar keratoplasty), 다양한 형태의 창상변형 각막이식술, 술 후 고도 난시의 교정을 위한 궁상 켜기모양(arcuate wedge-shaped)의 각막절개, 각막 실질내 각막링 삽입술시 창상제작 등 여러 분야의 각막수술에서 사용되고 있다. 일 마이크로 파장의 레이저를 각막의 원하는 위치에 쉽고 정확하게 전달할 수 있어 다른 수술 기구들로는 만들 수 없는 복잡하고 다양한 창상모양의 각막을 원하는 크기대로 신속하게 절개할 수 있는 장점이 있다. 최근 펄스초레이저를 이용한 각막이식술에 대한 좋은 결과들이 보고되고 있으며,²⁶⁻²⁸ Hoffart et al²⁶는 펄스초레이저를 이용한 각막 천공시 전자현미경 소견상 수여각막 및 공여각막에서 주변 조직에 열손상 없이 곧고 부드러운 각막표면을 관찰할 있었고, 술 후 평균 2.9 ± 1.2 D의 난시, 빠른 창상 회복, 술 후 평균 20/69의 양호한 교정시력 등의 결과를 보고하였다.

저자들은 창상변형 전층각막이식술을 시행하기 위하여 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’의 창상이식구조를 고안하였고 계획된 모양의 정확한 공여 각막제작을 위하여 펄스초레이저를 이용하여 공여각막의 각막절개를 시행하였다. 이러한 창상변형 각막이식술의 유효성과 안전성을 관찰하기 위하여 토끼 및 돼지를 이용한 동물 모델에서 창상 구조를 확인한 후 각막내피세포가 비교적 건강한 6예의 전층각막이식 적응 환자에서 ‘버섯모양 창상변형 각막이식술’을 시행하였으며 그 결과를 보고하고자 한다.

대상과 방법

‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술(wound configurized keratoplasty) 후 각막의 부착 구조를 관찰하기 위해 3마리의 가토를 희생하여 각각 우안을 적출한 후 펄스초레이저를 이용하여 앞쪽 층판은 8 mm, 뒤쪽 층판은 6 mm 크기의 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 공여각막 이식편을 제작하였다. 다른 3마리의 가토에서 우안을 7.75 mm 크기의 흡입각막천공기로 200 μ m 정도의 깊이의 절개를 만든 후 층판 분리를 시행하고 6 mm의 흡입각막천공기로 전층각막절개를 시행한 후 미리 제작된 공여각막편을 이식하였다. 이식안은 수술 후 1개월 뒤에 안구 적출 후 Hematoxyline & Eosine 염색법을 이용하여 조직학적 소견

을 관찰하였다.

또한 일반적인 전층각막이식술과 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술의 창상 안정성을 비교하기 위해 적출된 돼지는 10안을 이용하여 전방 안압에 대한 저항과 망수 효과를 비교하였다.

5안은 흡입각막천공기를 이용하여 공여각막은 8 mm, 수여각막은 7.75 mm 크기로 절개한 후 전층각막이식술을 시행하였고 5안은 흡입각막천공기, 각막절개도(corneal scissors), 초승달모양절개도(crescent knife) 등을 이용하여 기계적인 절개를 통해 가토안에서와 같은 크기의 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 공여각막과 수여각막을 제작하여 단속 봉합을 통해 각막이식술을 시행하였다. 모든 돼지 눈들은 인공전방(artificial anterior chamber, Ketana, Inc, USA) 위에 얻은 다음 평형염액(Balanced Salt Solution: BSS)을 전방에 주입하여 각막이식술을 시행하였다. 각각의 돼지 눈들은 인공전방의 한쪽 입구로 평형염액을 주입하면서 다른 입구를 통해 전자 압력측정계(Universal biometer DPM3, Fluke biomedical, Corp, USA)로 안압을 측정하였고 4, 8, 16개의 봉합 후 안압을 서서히 높혀 창상 누출이 일어날 때의 안압을 기록하였다(Fig. 1).

2006년 9월부터 2007년 6월까지 6명 6안을 대상으로 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술을 시행하였다. 나이는 18~40세로 평균 29.3세였고 모두 남자로 우안이 2안, 좌안이 4안이었으며 각막외상 후 발생한 각막혼탁이 2안, 원추각막병증이 4안이였다(Table 1).

모든 환자에서 수술 전 및 수술 후 경과관찰 기간동안 최대교정시력, 세극등현미경검사, 안저검사, 자동굴절검사(Auto Kerato-refractometer KR-8100, Topcon, Inc, Japan), 현성굴절검사, 중심각막두께측정(Pachymetric Analyzer Medel P55, Paradigm Medical, Inc, USA), 각막지형도검사(Orbscan II version 3.12, Bausch & Lomb, Inc, USA), 각막내피 경면현미경검사(Konan noncon specular microscope, Konan, Inc, Japan), 초음파 생체 현미경검사(Hi-scan, Optikon, Canada), 각막 빛간섭단층촬영(Visante OCT, Carl Zeiss Meditec, Germany), 안압검사 등을 시행하였다.

모든 공여각막 및 수여각막들의 앞층판은 펄스초레이저(Intralase FS60, Intralase, Corp, USA)로 각막절개를 시행하였다. 우선 공여각막을 인공전방(artificial anterior chamber, Ketana, Inc, USA) 위에 얻은 다음 평형염액(Balanced Salt Solution: BSS)을 전방에 주입하여 적당한 안압을 유지하였다. 각막 중심부에 표시를 하고 레이저의 압평 렌즈아래 흡입없이 중심을 맞춘 후 앞층판의 크기가 평균 8.3 mm (8.2 mm-8.6 mm)이 되도록 수직절개(cylindrical cut)를 시행한 후 평균 323 μ m (300-350 μ m)의 깊이에서 안쪽

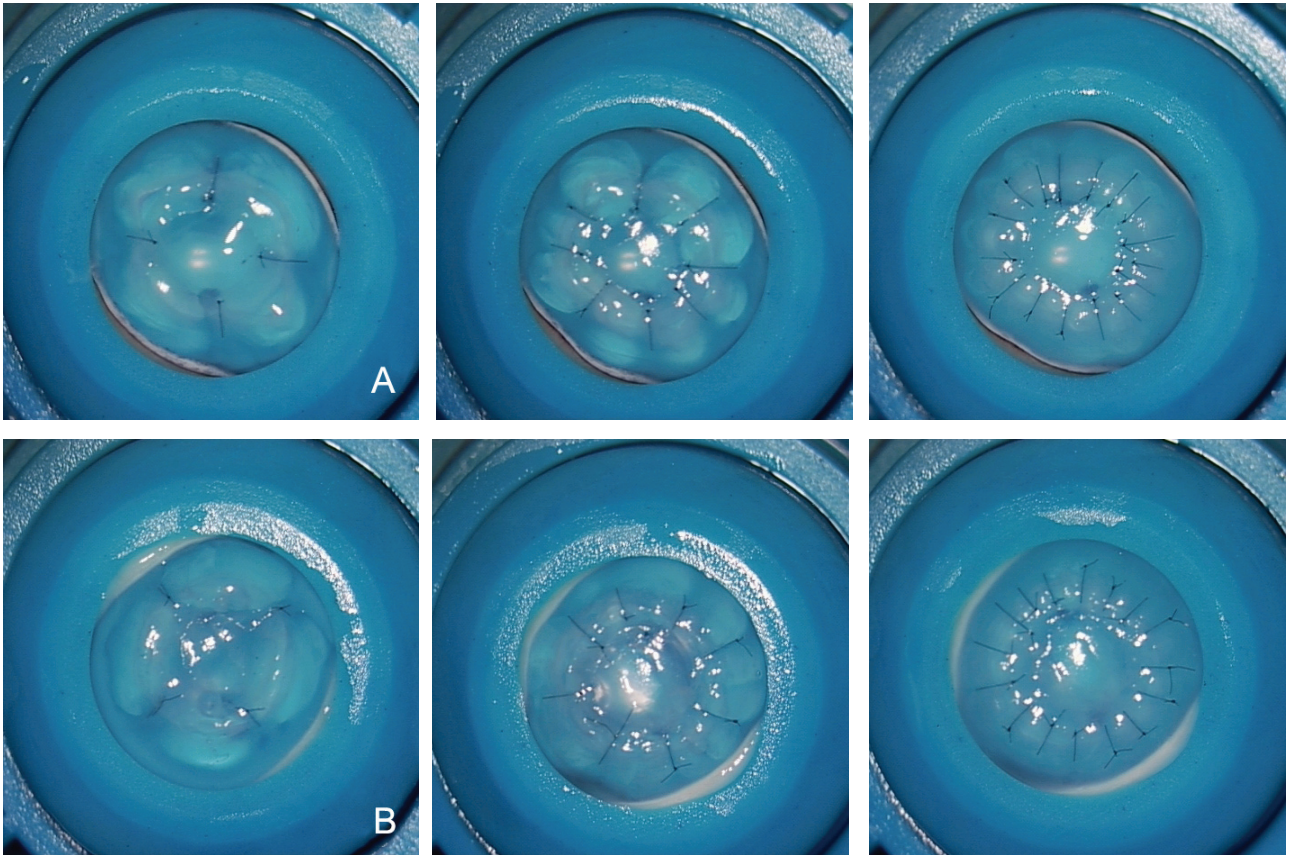


Figure 1. In porcine eyes on artificial chamber, wound burst pressures were recorded by digital manometer after 4, 8, 16 sutures. (A: Conventional PKP, B: Mushroom-shaped keratoplasty)

Table 1. Summary of age, gender, treated eye, diagnosis, preoperative BCVA, data of donor corneal cut of patients

Patient No.	Sex /Age (yr)	Diagnosis	Treated eye	Preoperative BCVA* (LogMAR)	design of donor graft (Anterior/Posterior/depth)(mm)
1	M/36	Corneal opacity d/t corneal injury	Right	0.4	8.2 / 6 / 0.32
2	M/27	Keratoconus Hydrops	Left	2	8.6 / 6 / 0.3
3	M/40	Corneal opacity d/t corneal injury	Left	1.6	8.2 / 6 / 0.35
4	M/28	Keratoconus Hydrops	Left	2	8.6 / 6 / 0.32
5	M/18	Keratoconus	Right	1.1	8.2 / 6 / 0.3
6	M/27	Keratoconus	Left	1	8.2 / 7 / 0.35

* BCVA=best corrected visual acuity.

으로 평균 6.17 mm (6~7 mm) 크기의 원까지 수평절개 (lamellar cut)를 시행하고 뒷충판을 만들기 위해 각막절개도를 이용하여 주변부 각공막링에서 버섯모양의 공여각막을 완전히 분리하였다(Fig. 2, 3).

모든 수직절개(cylindrical cut)는 각막표면과 90도 각도로 시행하였으며 절개된 공여각막 이식편은 Optisol (Chiron Ophthalmics, Irvine, CA, USA) 보존액에 보관하였다.

수여각막 또한 공여각막과 같은 창상구조를 만들기 위해 펌프레이저를 이용하여 우선 공여각막의 앞쪽 충판보다 약 0.2 mm 크게 수직절개(cylindrical cut)을 시행하고 대

략 300 μ m 깊이에서 수평절개(lamellar cut)을 시행하여 수여각막에서 앞충판을 완전히 분리하였다. 이후 남아있는 각막중심부에 표시를 한 후 공여각막의 뒤쪽 충판과 크기가 동일한 흡입각막천공기로 전충각막 수직절개(cylindrical cut)를 시행하였다. 이후 공여각막을 수여각막 위에 정확하게 위치시킨 뒤 10-0 nylon으로 단속봉합을 시행하였다. 수술후 0.5% Moxifloxacin (Vgamox[®], Alcon, USA), 1% prednisolone acetate (Pred forte[®], Allergan, USA), 0.1% hyaluronic acid (Hyalein mini[®], Santen, Japan)을 점안하였다.

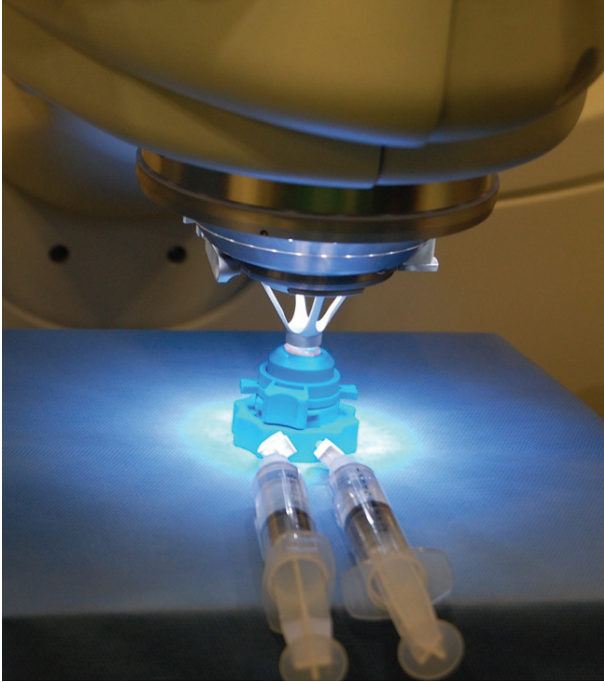


Figure 2. Donor cornea mounted in an artificial chamber under the femtosecond laser and applanation was done.

결 과

수술을 시행한 모든 가토안에서 세극등 현미경 검사 및 조직학적 검사상 공여각막과 수여각막간의 정확한 부착과 안정적인 창상 구조를 관찰할 수 있었다(Fig. 4). ‘버섯모양 (mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술을 시행한 돼지

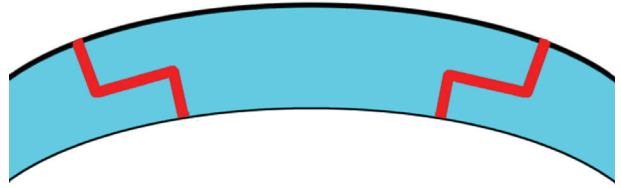


Figure 3. Illustration of the femtosecond laser-shaped penetrating keratoplasty “Mushroom-shaped” graft configuration.

눈들은 4, 8개의 봉합 후에 창상누출이 일어나는 안압이 평균 2.4 ± 0.55 mmHg, 27.4 ± 7.37 mmHg로서 일반적인 전층각막이식술을 시행한 경우의 평균 1.2 ± 1.1 mmHg, 16.6 ± 6.23 mmHg와 통계학적으로 차이점이 없었다($P > 0.05$). 하지만 16개의 봉합 후에는 평균 133 ± 24.6 mmHg 에서 창상누출이 일어남으로서 일반적인 전층각막이식술 후의 평균 78.4 ± 19.71 mmHg 보다 안압에 대해 높은 저항성을 보여주었다($P = 0.008$)(Table 2).

모든 환자에서 수술 중 어떠한 합병증도 발생하지 않았고 수술 직후에도 수여각막과 공여각막간의 균일하고 단단한 부착을 보여 창상 누출 및 개열 등의 합병증들이 관찰되지 않았다(Fig. 5). 공여각막상피결손 부위가 완전히 회복되기까지 평균 2.7 ± 0.8 일이 걸렸다. 수술 후 평균 15.8 ± 6.2 주부터 봉합사 제거를 시작하였고 수술 후 평균 24.2 ± 3.2 주까지 모든 봉합사들을 제거하였다.



Figure 4. Histologic examination of rabbit's cornea show accurate and stable wound structure.

Table 2. Mean burst pressure for traditional PKP and mushroom keratoplasty in porcine corneas

No. stitches	Traditional PKP* (n=5)	Mushroom keratoplasty (n=5)	P-value
4	1.2 ± 1.1	2.4 ± 0.55	0.10
8	16.6 ± 6.23	27.4 ± 7.37	0.10
16	78.4 ± 19.71	133 ± 24.6	0.008

* PKP=penetrating keratoplasty; Values are mean \pm SD burst pressure (mmHg).

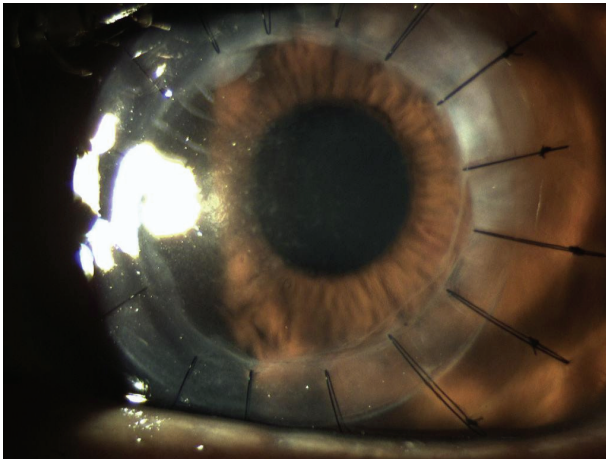


Figure 5. Postoperative slit-lamp photograph of patient 2 after 'mushroom-shaped' keratoplasty. Note the clear central cornea with well attached peripheral flange.

봉합사 제거 후에도 창상 미끄러짐, 개열 및 누출 등의 합병증은 추적관찰기간 동안 관찰 되지 않았다. 수술 전 공여각막의 내피세포수는 평균 2430 ± 182 cells/mm² 이었고 수술 후 경과관찰 중 최종방문시 측정된 내피세포수는 평균 1786 ± 345 cells/mm² 로 검사되었다(Table 3). 경과관찰 기간은 평균 45.8±13주이었고 최대 교정시력은 수술 전에 비해 수술 후 호전되는 양상을 보였고 수술 전 최대 교정

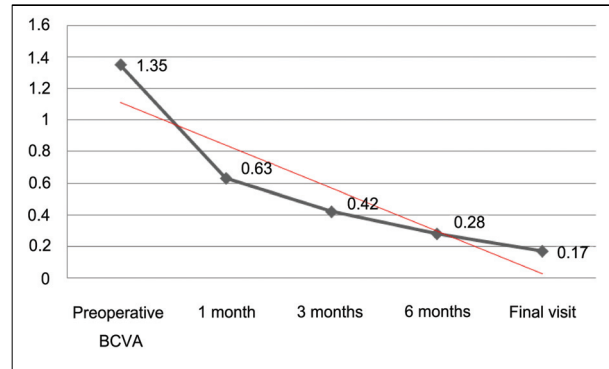


Figure 6. Changes of mean best corrected visual acuity (BCVA) after Femtosecond laser-assisted 'mushroom-shaped' wound-configurized keratoplasty.

시력은 평균 1.35 ± 0.63 LogMAR, 수술 후 최종 최대 교정시력은 평균 0.17 ± 0.1 LogMAR로 향상되었다(Fig. 6). 경과 관찰 중 수술 후 3개월과 6개월간에 유의한 시력 호전을 보였지만($P=0.023$), 6개월 이후부터 최종 내원시 까지는 시력의 변동이 거의 없었다. 모든 환자에서 수술 후 안압은 평균 15.4 ± 4.2 mmHg으로 정상이었으며 마지막 내원시 측정한 각막두께는 평균 559 ± 50 μm이었다. 수술 후 봉합사를 완전히 제거된 이후 내원시 시행한 각막지형도검사상 Sim K's astigmatism은 평균 3.0 ± 0.9 D이었고 현성굴절검사상 굴절이상은 평균 -4.79 ± 5.7 D이었다(Table 4).

Table 3. Summary of preoperative and postoperative endothelial cell count, time of suture removal and follow-up period

Patient	Preoperative Donor corneal endothelial cell count (cells/mm ²)	endothelial cell count at last visit (cells/mm ²)	Complete removal (week)	Follow-up period (week)
1	2375	1400	20	68
2	2157	1916	24	47
3	2364	1431	28	45
4	2577	1645	25	40
5	2427	2188	27	28
6	2680	2136	21	47
Mean±SD	2430±182	1786±345	24.2±3.2	45.8±13

Table 4. Summary of refractive results, spherical equivalent, postoperative BCVA, corneal thickness, intraocular pressure after keratoplasty

Patient	6 months Sim K's astigmatism (Diopter)	Spherical equivalent at final visit (Diopter)	Postoperative BCVA* at final visit (LogMAR)	Corneal thickness at final visit (μm)	Postoperative IOP (mmHg)
1	3.1	1.25	0.2	554	11~22
2	1.5	-4	0.1	610	12~20
3	4	1.75	0	543	10~15
4	3.8	-10	0.2	511	12~18
5	2.8	-5.75	0.2	509	11~19
6	2.9	-12	0.3	630	15~20
Mean±SD	3.0±0.9	-4.79±5.7	0.17±0.1	559±50	15.4±4.2

*BCVA=best corrected visual acuity.

수술 후 3개월 뒤에 시행한 초음파 생체현미경 검사상 가
토안의 조직학적 소견에서와 같이 각막간의 정확한 부착과
안정적인 창상구조를 관찰할 수 있었고 수술 후 약 11개월
뒤에 시행한 각막 빛간섭단층촬영(OCT)상에서도 안정적
인 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’의 창상구조를 확인 할
수 있었다(Fig. 7).

고 찰

전통적인 전층각막이식술(penetrating keratoplasty, PKP)
은 보편화된 수술방법으로 우수한 시력 예후를 보이지만
창상회복을 위해 단단한 봉합을 필요로 하여 고도의 굴절
이상이 발생할 수 있고 창상 회복에 1년 이상이 걸려 시력

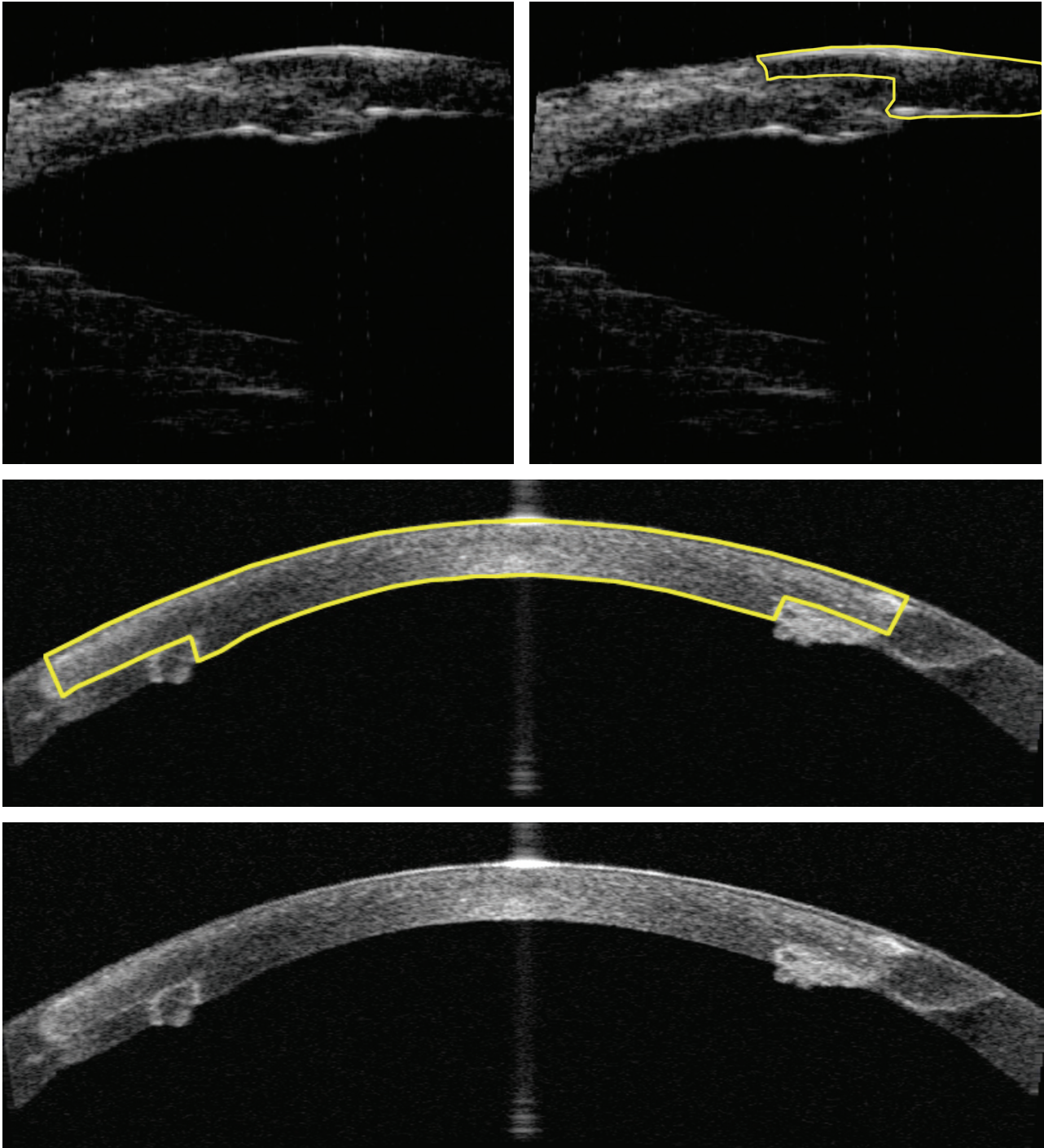


Figure 7. Ultrasound biomicroscopic finding (above) and anterior OCT (below) of patient's cornea show well attached stable wound structure as in rabbits' model

회복이 늦고 봉합사 제거 후에도 창상개열 등의 문제점이 발생할 수 있는 단점이 있다.¹²⁻¹⁶

펄초레이저(Femtosecond laser)를 이용하여 만든 층판형태의 창상구조를 가지는 각막이식편은 기계적인 각막 천공기를 이용한 일반적인 각막이식편보다 안압에 대한 저항과 방수효과가 더 우수하다는 보고가 있다.²⁹ Steinert et al²⁹은 실험에서 일반적인 각막이식편은 38 ± 11 mmHg의 안압에서 창상누출이 일어나는 반면 층판형태의 창상구조를 가지는 각막이식편은 훨씬 높은 240 ± 69 mmHg의 안압에서 창상누출이 일어나는 것을 관찰하였다. 이는 안압에 의해 수여각막의 중심부 테두리가 공여각막으로 밀려서 자동적으로 막히는 밸브역할을 하기 때문으로 여겨진다. 창상의 안정성을 높이는 다른 요소로 각막절개 각도가 중요한 역할을 한다. Seitz et al³⁰은 각막절개 형태가 확산형일 경우, 또한 그 각이 클수록 각막의 물리적 안정성이 증가한다고 보고하였다. 그래서 펄초레이저를 이용하여 각막표면에 90°로 각막절개를 하는 ‘중절모자(top-hat)’, ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술 외에도 창상의 안정성을 보다 더 높이기 위해 비스듬한 각막절개를 하는 ‘지그재그(zig zag)’, ‘크리스마스 나무모양(christmas tree)’, ‘zig squared’ 등 다양한 모양의 각막이식술이 소개되었다.^{31,32} 한편, Bahar et al³³은 일반적인 전층각막이식술, ‘지그재그(zig zag)’, ‘크리스마스 나무모양(christmas tree)’ 각막이식술보다 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’, ‘중절모자(top-hat)’ 각막이식술에서 안압에 대한 저항력이 유의하게 높았고 수술 중 소수의 각막봉합으로도 창상 누출을 막을 수 있었다고 보고하였다. 본 연구에서도 마찬가지로 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술을 시행한 돼지눈들에서 일반적인 전층각막이식술을 시행한 경우보다 안압에 대한 방수효과가 우수하였다. 또한 임상적으로 수술 중 초기 8개의 각막봉합만으로도 전방내 안압을 쉽게 견디고 창상 누출을 막을 수 있어 이후의 추가적인 봉합 시에는 일반적인 각막이식술에서와 같이 창상누출을 막기 위한 단단한 봉합이 필요치 않아 각막간의 적절한 부착을 만들 정도의 상대적으로 느슨한 봉합을 시행할 수 있었다. 또한 펄초레이저를 이용하여 각막표면에 90°로 각막절개를 시행하였음에도 수술 후 초음파 생체 현미경 검사 및 각막 빛간섭단층촬영에서 각막간의 정확하고 넓은 부착면을 보였고 밸브 역할을 할 수 있는 접합구조를 관찰 할 수 있어 충분히 안정적이었음이 확인 되었다. 이후 다양한 형태의 창상변형 각막이식술에서 장기간의 비교연구가 이루어져야 하겠다.

층판형태의 창상구조를 가지는 각막이식술은 보다 안정된 창상회복을 보여 빠른 봉합사 제거가 가능하다. 일반적

인 전층각막이식술에서 수술 후 1년이 지나더라도 40%의 환자에서 봉합사가 남아 있었다는 보고가 있다.³⁴ 그러나, Busin et al²⁴의 보고에서 창상변형 이식술을 시행한 경우 수술 후 2개월에서 4개월까지 봉합사를 제거하였으나 창상에는 별다른 이상을 보이지 않았다고 하였는데 본 연구에서는 수술 후 평균 15.8주부터 봉합사 제거를 시작하여 수술 후 평균 24.2주에 완전한 봉합사 제거가 가능하여 전통적인 전층각막이식술보다 수개월 이상 빠른 봉합사 제거를 보여 주었고 제거 후에도 창상 미끄러짐이나 창상개열 등은 보이지 않았다.

이와 같은 빠른 창상회복은 보다 빠른 굴절력 안정을 유도하여 빠른 시력회복에 기여할 수 있다. 본 연구에서 모든 환자들은 수술 후 3개월과 6개월간에 많은 시력 변화가 있었으며 그 이후에는 안정적인 시력을 보였는데 유의한 시력변화가 있었던 3개월에서 6개월 사이의 시기는 봉합사를 제거한 시기와 일치하는 것으로 일반적인 전층각막이식술보다 수 개월 빠른 봉합사 제거로 인해 빠른 굴절력 안정과 시력 회복을 보여주었다.

각막이식술 후 발생하는 난시는 수술 후 저시력의 중요한 원인 중의 하나로서 수여 각막의 불규칙한 두께, 공여각막 및 수여각막의 원형 절제, 각막간 봉합, 술후 불규칙한 창상 치유 등에 의해 발생할 수 있고 수술 후 선택적인 봉합사 제거나 이차적인 수술이 필요할 수 있다. Kim et al¹¹에서 일반적인 전층각막이식술 후 평균 15.6개월에 봉합사를 완전히 제거하였고 수술 후 평균 24.7개월 뒤 난시는 평균 3.02D이었다. Filatov et al³⁵에서 일반적인 전층각막이식술 후 6개월 뒤 난시는 평균 3.0 ± 2.4 D 였으나 환자 중 56%에서 1~4개의 봉합사 장력조절이 필요하였다.

Clasesson and Armitage³⁶는 1161안에서 수술 후 2년 뒤 평균 난시가 4.56D 라고 보고하였다. 본 연구에서는 수술 후 6개월 뒤에 봉합사를 완전히 제거한 후 시행한 각막 지형도검사상 Sim K's astigmatism은 평균 3.0 ± 0.9 D으로 이전의 보고에 비해 상대적으로 적은 난시와 빠른 굴절력 회복을 보여 주었으며 이는 일반적인 전층각막이식술보다 정확하고 넓은 각막간의 부착으로 창상이 안정적이고 누출이 적어 이로 인해 상대적으로 느슨하게 봉합을 시행할 수 있었기 때문으로 생각된다.

수여각막내피세포가 건강한 환자에서 시행하는 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 창상변형 각막이식술(wound configurized keratoplasty)은 본 연구에서와 같이 수여각막에서 6 mm 크기의 내층판 각막절개를 시행할 경우 이식거부반응의 주된 표적이 되는 공여 각막내피세포의 양이 상대적으로 적어서 이론적으로 면역학적 거부반응의 확률이 줄어 들 수 있고 면적상 70% 이상의 건강한 수여각막내피

세포를 보존할 수 있어 거부반응으로 공여각막 내피세포가 대부분 소실된다 하더라도 창상경계를 지나 수여각막내피 세포가 이동하여 공여각막의 데스메막을 회복시키고 각막의 투명도를 유지시킬 수 있을 것으로 기대된다.³⁷⁻³⁹ 본 연구에서도 경과 관찰기간 동안 이식거부반응은 발생하지 않았으나 시술 예가 적고 보다 단기 관찰 연구로서 실제로 이식 거부반응이 상대적으로 적게 일어나는 지는 장기적인 비교 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Patel et al⁴⁰은 일반적인 전층각막이식술을 시행한 393안을 대상으로 15년간 각막내피세포수 감소를 관찰한 결과 1년후 평균 34%의 각막내피세포가 소실되는 것으로 보고하였다. Gil et al⁴¹에서는 전층각막이식술을 시행한 36안을 대상으로 관찰한 결과 수술 후 6~9개월에 각막질환에 따라 평균 15.9~26.4%의 각막내피세포 소실을 보였다. 본 연구에서는 펌토초레이저를 이용하여 공여각막을 절개하기 위해 각막에 많은 조작을 가하고, 절개시 비교적 공여각막 내피세포층의 중심부에 가깝게 위치하여 많은 내피세포손상이 예상됨에도 불구하고 수술 전 2430 ± 182 cells/mm²에서 수술 후 11개월 뒤 1786 ± 345 cells/mm²로 약 27%의 감소를 보여 이전의 전통적인 전층각막이식술과 비슷한 수준을 보였다. 하지만 이는 수술 후 공여각막의 중심부에서 측정된 각막내피세포수로서 주변부의 건강한 수여각막의 내피세포를 포함하여 전체적인 내피세포수를 측정할 경우 일반적인 전층각막이식술보다 각막내피세포양은 더 높은 수치를 보여 줄 것으로 생각된다. 또한 1, 3, 4번 환자에서는 다른 환자들보다 각막내피세포 소실이 상대적으로 많았는데 이는 공여각막의 뒷충판을 만들 때 펌토초레이저를 사용하지 않고 각막절개도를 이용하여 기계적 절개를 시행함으로써 술자의 조작 정도에 따라 각막내피세포 손상의 차이가 발생한 것으로 생각되고 각막간의 내피세포층의 접합구조에 따른 내피세포간의 이동 정도에도 영향을 받았을 것으로 생각된다.

펌토초레이저를 이용한 ‘버섯모양(mushroom-shaped)’ 각막이식술은 펌토초레이저를 이용하여 정확하고 부드러운 창상을 가진 각막이식편을 만들 수 있었고, 각막간 접합부위의 충판 구조로 인하여 안정적인 창상, 상대적으로 적은 각막 난시, 빠른 봉합사 제거 및 시력 회복 등을 보였으며 각막 중심부는 전층으로 이식함으로써 우수한 술 후 시력 향상을 보여주었다. 또한 Price and Price⁴²에서와 같이 주변부 수여각막의 두께가 얇을 경우 주변부에 공여각막을 상대적으로 두껍게 이식하여 수술 후 정상 두께의 각막상태를 만들수 있고, 전안부 이형성증 환자처럼 각막홍채유착이 있을 경우 뒤쪽 충판의 크기가 상대적으로 작아 각막이식술시 홍채유착부위를 피할 수 있어 수술로 인한 전방출

혈 및 전방각구조의 변형을 예방할 수 있다. Shimmura⁴³는 환자에게 필요한 부분만 이식하여 주는 ‘component surgery’의 개념을 제안하였는데, 창상변형 전층각막이식술은 이보다 한발 더 나아가 환자의 각막의 상태에 따라 환자에 필요한 부분(component)뿐 아니라 맞춤형으로 창상구조의 크기와 모양까지 바꾸는 것이 가능하여 ‘환자 맞춤형 각막이식술 (customized keratoplasty)’의 개념의 도입의 기초가 될 것으로 저자들은 기대한다.

본 연구에서는 60 kHz 펌토초레이저를 사용함으로써 15 kHz 펌토초레이저나 미세각막절개도(microkeratome)보다 부드러운 각막의 절개면을 만들 수 있었다. 하지만 펌토초레이저에서 전층각막절개를 가능하게 해주는 프로그램의 부재로 공여각막 및 수여각막의 앞쪽 충판은 펌토초레이저를 이용하여 절개를 시행할 수 있었지만 각막의 뒤쪽 충판은 기계적인 절개가 필요하여 상대적으로 불규칙한 창상접촉면을 만들었다. 또한, 중례수가 적어 통계학적 의미가 다소 적었으며 약 11개월간의 짧은 경과 관찰 기간을 가지는 등의 제한점을 가지고 있다. 향후 기계적인 절개를 가능한 한 최소화하고 펌토초레이저를 이용하여 각막 전층을 절개함으로써 보다 정확하고 부드러운 창상 표면을 가진 창상변형 각막이식술에 대한 연구가 필요하다. 또한 다양한 형태의 각막이식편에 대한 장기간, 많은 중례에서의 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- 1) McNeill JI, Kaufman HE. A double running suture technique for keratoplasty: earlier visual rehabilitation. *Ophthalmic Surg* 1977;8:58-61.
- 2) Davison JA, Bourne WM. Results of penetrating keratoplasty using a double running suture technique. *Arch Ophthalmol* 1981;99:1591-5.
- 3) McNeill JI, Wessels IF. Adjustment of single continuous suture to control astigmatism after penetrating keratoplasty. *Refract Corneal Surg* 1989;5:216-23.
- 4) Musch DC, Meyer RF, Sugar A, Soong HK. Corneal astigmatism after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1989;96:698-703.
- 5) Van Meter WS, Gussler JR, Solomon KD, Wood TO. Postkeratoplasty astigmatism control. *Ophthalmology* 1991;98:177-83.
- 6) Assil KK, Zarnegar SR, Schanzlin DJ. Visual outcome after penetrating keratoplasty with double continuous or combined interrupted and continuous suture wound closure. *Am J Ophthalmol* 1992;114:63-71.
- 7) De Molfetta V, Brambilla M, De Casa N, et al. Residual corneal astigmatism after perforating keratoplasty. *Ophthalmologica* 1980;179:316-21.
- 8) Perlman EM. An analysis and interpretation of refractive errors after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1981;88:

- 39-45.
- 9) Samples JR, Binder PS. Visual acuity, refractive error, and astigmatism following corneal transplantation for pseudophakic bullous keratopathy. *Ophthalmology* 1985;92:1554-60.
- 10) Oh JW, Hahn TW, Park CK, Kim JH. Comparison of Corneal Astigmatism after Keratoplasty with 3 Kinds of Suture Techniques. *J Korean Ophthalmol Soc* 1998;39:2569-74.
- 11) Kim KE, Joo CK. Changes in Astigmatism after Suture Removal in Penetrating Keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 2003;44:284-8
- 12) Musch DC, Meyer RF, Sugar A. The effect of removing running sutures on astigmatism after penetrating keratoplasty. *Arch Ophthalmol* 1988;106:488-92.
- 13) Binder PS. The effect of suture removal on postkeratoplasty astigmatism. *Am J Ophthalmol* 1988;105:637-45.
- 14) Lin DT, Wilson SE, Reidy JJ, et al. Topographic changes that occur with 10-0 nylon suture removal following keratoplasty. *Refract Corneal Surg* 1990;6:21-5.
- 15) Mader TH, Yuan R, Lynn MJ, et al. Changes in keratometric astigmatism after suture removal more than one year after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1993;100:119-27.
- 16) Davis EA, Azar DT, Jakobs FM, Stark WJ. Refractive and keratometric results after triple procedure: experience with early and late suture removal. *Ophthalmology* 1998;105:624-30.
- 17) Kim KS, Kim MS. The Effect of PRK and LASIK for the Correction of Postkeratoplasty Astigmatism. *J Korean Ophthalmol Soc* 2004;45:376-82.
- 18) Binder PS, Abel R Jr, Polack FM, Kaufman HE. Keratoplasty wound separations. *Am J Ophthalmol* 1975;80:109-15.
- 19) Farley MK, Pettit TH. Traumatic wound dehiscence after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1987;104:44-9.
- 20) Rehany U, Rumelt S. Ocular trauma following penetrating keratoplasty. *Arch Ophthalmol* 1998;116:1282-6.
- 21) Tseng SH, Lin SC, Chen FK. Traumatic wound dehiscence after penetrating keratoplasty. *Cornea* 1999;18:553-8.
- 22) 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.
- 23) Alio JL, Shah S, Barraquer C, et al. New techniques in lamellar keratoplasty. *Curr Opin Ophthalmol* 2002;13: 224-9.
- 24) Busin M. A new lamellar wound configuration for penetrating keratoplasty surgery. *Arch Ophthalmol* 2003;121:260-5.
- 25) Busin M, Arffa RC. Microkeratome-assisted Mushroom keratoplasty with minimal endothelial replacement *Am J Ophthalmol* 2005;140:138-40.
- 26) Hoffart L, Proust H, Matonti F, et al. Short-term results of penetrating keratoplasty performed with the Femtec femtosecond laser. *Am J Ophthalmol* 2008;146:50-5.
- 27) Por YM, Cheng JY, Parthasarathy A, et al. Outcomes of femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 2008;145:772-4.
- 28) Cheng YY, Tahzib NG, van Rij G, van Cleynenbreugel H, Pels E, Hendrikse F, Nuijts R. Femtosecond laser-assisted inverted mushroom keratoplasty. *Cornea* 2008;27:679-85.
- 29) Steinert RF, Ignacio TS, Sarayba MA. "Top Hat"-shaped penetrating keratoplasty using the femtosecond laser. *Am J Ophthalmol* 2007;143:689-91.
- 30) Seitz B, Behrens A, Langenbucher A, et al. Experimental 193-nm excimer laser trephination with divergent angles in penetrating keratoplasty. *Cornea* 1998;17:410-6.
- 31) Farid M, Kim M, Steinert RF. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zigzag incision initial report. *Ophthalmology* 2007;114:2208-12.
- 32) Slade SG. Applications for the femtosecond laser in corneal surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2007;18:338-41.
- 33) Bahar I, Kaiserman I, McAllum P, Rootman D. Femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty: stability evaluation of different wound configurations. *Cornea* 2008;27:209-11.
- 34) Price MO, Price FW Jr. Efficacy of topical cyclosporine 0.05% for prevention of cornea transplant rejection episodes. *Ophthalmology* 2006;113:1785-90
- 35) Filatov V, Steinert RF, Talamo JH. Postkeratoplasty astigmatism with single running suture or interrupted sutures. *Am J Ophthalmol* 1993;115:715-21.
- 36) Claesson M, Armitage WJ. Astigmatism and the impact of relaxing incisions after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg* 2007;23:284-9.
- 37) Imaizumi T. Movement of corneal endothelium after penetrating keratoplasty. Observation of sex chromatin as a cell marker. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 1990;94:928-36.
- 38) Groh MJ, Seitz B, Kuchle M, Naumann GO. Clearing of the host cornea after penetrating keratoplasty for pseudophakic bullous keratopathy. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1999;215:275-80.
- 39) Langenbucher A, Seitz B, Nguyen NX, Naumann GO. Corneal endothelial cell loss after nonmechanical penetrating keratoplasty depends on diagnosis: a regression analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2002;240:387-92.
- 40) Patel SV, Hodge DO, Bourne WM. Corneal endothelium and postoperative outcomes 15 years after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 2005;139:311-9.
- 41) Gil SY, Park CK, Hahn TW. Evaluation of Donor Corneal Endothelium after Keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 2006;47:519-24.
- 42) Price FW Jr, Price MO. Femtosecond laser shaped penetrating keratoplasty: one-year results utilizing a top-hat configuration. *Am J Ophthalmol* 2008;145:210-4.
- 43) Shimmura S. Component surgery of the cornea. *Cornea* 2004;23:S31-5.

=ABSTRACT=

Early Results of Femtosecond Laser-Assisted Mushroom-Shaped Wound-Configurized Keratoplasty

Byung Jae Sohn, MD, Hong Kyun Kim, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Kyungpook National University School of Medicine, Daegu, Korea

Purpose: To report the results of femtosecond laser-assisted 'mushroom-shaped wound-configurized keratoplasty' in 6 patients based on the results of experimental models in rabbits' and enucleated porcine eyes.

Methods: Mushroom-shaped donor corneal grafts were designed and transplanted in 3 rabbit eyes and 10 enucleated porcine eyes. The histologic findings were observed and wound burst pressure compared between penetrating keratoplasty (PKP) and mushroom-shaped keratoplasty. The 'mushroom-shaped wound-configurized keratoplasty' was subsequently performed in 6 eyes of 6 patients.

Results: In all eyes of the rabbits, histologic findings showed stable wound structure. In the porcine models, mushroom-shaped keratoplasty showed a better resistance to IOP than PKP after complete suture. Patients who underwent the surgery showed an improvement of over 2 lines in Snellen visual acuity after the operation. The mean follow-up period was approximately 11 months. Complete suture removal was performed within 6 months and accurate and stable wound structure was identified.

Conclusions: Wound-configurized keratoplasty with femtosecond laser and mechanical dissection' has shown several advantages in the lamellar structure of the wound. Stable wound structure, less astigmatism, rapid suture removal and visual rehabilitation was achieved.

J Korean Ophthalmol Soc 2009;50(1):34-43

Key Words: Femtosecond laser, Mushroom-shaped keratoplasty

Address reprint requests to **Hong Kyun Kim, MD**

Department of Ophthalmology, Kyungpook National University

#50 Samduk-2ga, Jung-gu, Daegu, 700-721, Korea

Tel: 82-53-420-5816, Fax: 82-53-426-6552, E-mail: okeye@hanmir.com