

펄초레이저 백내장수술 도입 초기의 단기 임상경과 및 고식적 백내장수술과의 비교

Short-term Clinical Outcomes of Femtosecond Laser-assisted Cataract Surgery: Comparison with Conventional Phacoemulsification

최재환 · 양찬민 · 정나연 · 임동희 · 정태영

Jae Hwan Choi, MD, Chan Min Yang, MD, Na Yeon Chung, MD, Dong Hui Lim, MD, Tae-Young Chung, MD, PhD

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the short-term clinical outcome of femtosecond laser-assisted cataract surgery at the initial phase and to compare it with results from conventional phacoemulsification.

Methods: This retrospective study was performed on 50 eyes who underwent femtosecond laser-assisted cataract surgery and 50 eyes who underwent conventional phacoemulsification. The short-term outcomes included uncorrected and corrected distance visual acuity and spherical equivalent. The complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery were evaluated, and the prevalences of complications between the initial 25 eyes and latter 25 eyes of the cases were compared to evaluate the importance of the learning curve.

Results: There were no significant differences in uncorrected ($p = 0.78$) and corrected ($p = 0.89$) distance visual acuity between groups 1 month postoperatively. There was no difference in spherical equivalent ($p = 0.09$). The phacoemulsification time was not different between groups ($p = 0.15$). However, there was a significant decrease in cumulative dissipated energy in the femtosecond laser-assisted cataract surgery group ($p = 0.04$). There were complications during femtosecond laser-assisted cataract surgery, such as subconjunctival hemorrhage, miosis, early entry corneal incision, and incomplete corneal incision. The prevalence of complications in the latter 25 eyes was less than that of the first 25 eyes treated with femtosecond laser-assisted cataract surgery; the prevalence of subconjunctival hemorrhage was reduced significantly ($p = 0.02$).

Conclusions: The short-term clinical outcomes of the femtosecond laser-assisted cataract surgery group at the initial phase were not different, and in some cases, better than those of the conventional phacoemulsification group. A learning period is therefore required during the initial phase of femtosecond laser-assisted cataract surgery.

J Korean Ophthalmol Soc 2018;59(5):419-427

Keywords: Cataract surgery, Clinical outcomes, Femtosecond laser

■ Received: 2017. 9. 21. ■ Revised: 2018. 2. 1.

■ Accepted: 2018. 4. 19.

■ Address reprint requests to Tae-Young Chung, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, #81
Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea
Tel: 82-2-3410-3548, Fax: 82-2-3410-0074
E-mail: tychung@skku.edu

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

백내장수술은 가장 많이 시행되고 있는 안과적 수술 중 하나로, 성공적으로 수술을 할 경우 뚜렷한 시력의 호전이 있어 환자들의 수술 만족도가 높음과 동시에, 수술에 대한 기대치 또한 높은 수술이나, 각막 절개, 수정체낭 원형절개, 수력분리술, 렌즈 분할 및 수정체 초음파 유화술, 인공수정체 삽입 및 기질수화의 과정 중 한 과정에서라도 문제가 발생할 경우 시력예후가 좋지 않을 수 있다.

© 2018 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.

백내장수술의 안정성 및 시력 예후를 개선하기 위한 노력으로, 초음파 유화술 장비의 발달이 지속적으로 이루어지고 있으며, 수술 기구의 소형화 및 접합 인공수정체의 개발로 각막 절개창을 최소화하여 무봉합 수술이 가능하게 되었다.¹ 하지만 기구의 발전에도 불구하고 모든 과정에서 수술자의 숙련도를 요하며, 같은 술자가 수술을 하더라도 매 수술마다 각막 절개, 수정체낭 원형절개, 렌즈 분할에서 차이가 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 펄스초레이저를 이용한 백내장수술(femtosecond laser assisted cataract surgery, FLACS)이 도입되었으며, 각막 절개, 수정체낭 원형절개 및 렌즈 분할을 정확하고 일정하게 시행하여 수술의 정확도 및 안정성을 향상시킬 수 있게 되었다.^{2,3}

펄스초레이저를 이용한 백내장수술의 임상 결과 및 안정성이 최근 보고되고 있으며, 해외에서는 펄스초레이저를 이용한 백내장수술을 시행할 때 어느 정도의 학습기간이 필요함을 보고하였다.⁴ 국내에서도 펄스초레이저를 이용한 백내장수술이 도입되어 시행되고 있는 상황으로, 저자들은 펄스초레이저의 초기 도입 시 백내장수술을 시행받은 군과 고식적 백내장수술을 받은 군의 단기적인 수술결과를 비교하여, 펄스초레이저를 이용한 백내장수술의 초기단계에서의 안정성 및 임상 경과를 분석하였다. 또한 펄스초레이저 장비의 도입 직후 수술을 받은 25안과 그 이후 펄스초레이저를 이용한 백내장수술을 받은 25안의 수술 중 안정성 및 단기 임상 경과를 비교하여 도입 초기 학습기간의 영향을 분석하였다.

대상과 방법

2016년 1월부터 2017년 1월까지 삼성서울병원 안과에서 펄스초레이저 장비의 도입 초기 펄스초레이저 백내장수술(FLACS)을 받은 50안 및 같은 시기에 고식적 백내장수술을 시행받은 50안을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 수술은 한 명의 술자(TY Chung)에 의해 시행되었다.

수술 전 검사로 최대교정시력, 안압, 현성굴절검사를 시행하였으며, 산동상태에서 시행한 전안부 사진촬영(anterior segment photograph) 자료를 이용하여 백내장 정도를 평가하였다. 핵 경화(nucleosclerosis)는 Lens Opacities Classification

System III 분류⁵에 의해 0에서 6 단계로 나누었으며, 전낭하 백내장(anterior subcapsular cataract), 결절 백내장(cortical cataract) 및 후낭하 백내장(posterior subcapsular cataract)은 존재 유무를 평가하였다.

안저검사 및 빛간섭단층촬영(Spectralis®, Heidelber Engineering GmbH, Heidelberg, Germany)을 시행하여 황반 변성, 당뇨 망막병증, 망막 전막과 같이 백내장 외 시력저하를 일으킬 수 있는 질환을 가진 환자는 제외하였다. 인공수정체 도수 분석을 위하여 IOL master® (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)를 이용하였으며, A-scan (OTI-Scan 3000®, OPKO instrumentation, Miami, FL, USA) 및 manual keratometry (OM-4®, Topcon, Tokyo, Japan)를 시행하여 IOL master® (Carl Zeiss Meditec)의 검사 결과와 비교 검증하였다. 인공수정체 도수는 Haigis 공식을 이용하여 결정하였다.

비접촉현미경(NSP-9900®, Konan Medical Inc., Hyogo, Japan)을 이용하여 수술 전 및 수술 한 달 뒤의 각막내피세포밀도(endothelial cell density)를 측정하여 수술 전후의 각막내피세포밀도 변화를 비교하였으며, 각막지형도 검사는 Orbscan® (Bausch and Lomb, Rochester, NY, USA), Pentacam® (Oculus, Wetzlar, Germany)을 이용하였으며, 수술 전 각막난시, 각막 고위 수차를 평가하였다.

펄스초레이저는 LenSX® (Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 이용하여 시행하였으며, 각막 절개창 형성, 보조 절개창 형성, 수정체낭 원형절개 및 수정체 사분할의 단계에서 사용되었다. 각막 절개창의 크기 및 수정체낭 원형절개의 직경 및 펄스초레이저 설정은 Table 1과 같이 시행하였다. 펄스초레이저의 시행 후 각막 절개창 및 보조 절개창의 위치 및 절개가 완전히 이루어졌는지를 확인하였으며, 낭집계를 이용하여 수정체낭 원형절개가 완전히 시행되었는지를 평가하고 전낭을 제거하였다. 고식적 백내장수술에서도 각막 절개창의 크기, 보조 절개창의 길이를 펄스초레이저군과 동일하게 하였으며, 수정체낭 원형절개 또한 동일하게 4.9 mm를 목표로 시행하였다.

펄스초레이저 수술 시 수술 장비의 인터페이스를 환자의 각막과 접촉시키는 데까지 걸리는 도킹 시간(docking time), 도킹 후 레이저 조사를 마칠 때까지 인터페이스와 각막의 접촉 유지를 위해 음압이 걸리는 흡인 시간(suction time),

Table 1. Treatment parameters for femtosecond laser

	Primary incision	Side-port incision	Anterior capsulotomy	Nuclear fragmentation
Energy (μJ)	2.5	2.5	5	6
Configuration	3 plane reverse trapezoid	Single plane	4.9 mm diameter	5.6 mm diameter
Spot/layer	4/4	4/4	5/4	10/10
Length (mm)	2.8	1.5	-	-
Delta value (μm)	-	-	200 (anterior) 400 (posterior)	500 (anterior) 800 (posterior)

그리고 펄초레이저가 조사된 펄초레이저 조사 시간 (laser time)을 측정하였다. 펄초레이저 조사 시간은 술자의 숙련도보다 장비의 설정과 관련이 있으므로, 흡인 시간 중 펄초레이저가 조사되지 않은 시간(suction time-laser time)을 측정하여 초기 25안과 후기 25안 간의 차이를 분석하였다.

펄초레이저 수술 중 불완전한 각막 절개창 형성 및 수정체낭 원형절개, 축동, 결막하 출혈, 부정확한 각막 절개창 위치 등이 발생하였다는 보고가 있어,^{4,6} 펄초레이저 수술 중 발생한 합병증을 관찰하였으며, 수술 결과에 대한 영향 또한 분석하였다. 불완전한 각막 절개창 형성(incomplete corneal incision)은 각막 절개창의 불완전 형성으로 각막 절개도 혹은 super-sharp blade로 추가 절개를 한 경우로 정의하였고, 불완전한 수정체낭 원형절개(incomplete continuous curvilinear capsulorhexis)는 레이저 수정체낭 원형절개가 완전히 일어나지 않아 낭집계를 이용하여 추가 절개를 이용한 경우, 축동(miosis)은 펄초레이저 후 홍채가 수정체낭 원형절개 변연부를 가릴 정도로 축동이 일어난 경우 및 수술 중 산동을 위하여 전방 내 epinephrine을 주입한 경우로 정의하였다. 각막 절개창의 위치 이상(early entry corneal incision)은 레이저 각막 절개창 형성 위치가 계획된 위치보다 훨씬 각막 중심에 가깝게 발생한 경우로 정의하였다.

모든 수술에서 초음파 유화기는 Centurion[®] (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 수정체유화술 및 피질 제거술을 시행하였다. Target intraocular pressure (IOP)는 44 mmHg, 최대 진공 흡압은 550 mmHg, 최대 흡입 유속은 45 mL/min으로 설정하였으며, 회전진동방식으로 최대 초음파 출력(torsional amplitude)은 100%로 설정하여 초음파 유화술을 시행하였다. 고식적 백내장수술에서 렌즈 사분할은 phaco chop technique으로 시행하였다. 수술 중 점탄물질로 전방을 유지하였으며, 수술 말미에는 점탄물질을 흡인한 후 각막 절개창 및 보조 절개창에 기질수화를 시행하여 가능한 창상 봉합을 시행하지 않았으며, 모든 수술에서 절개창을 통한 누출이 없음을 확인하고 수술을 종료하였다.

수술 시 초음파시간(phacoemulsification time, PT) 및 누적분사에너지(cumulative dissipated energy, CDE)를 측정하여 두 군 간을 비교하였다. 모든 환자들은 술 후 다음 날 비접촉 안압계(CT-80[®], Topcon, Tokyo, Japan) 및 세극등 현미경 검사를 시행하여 수술 직후 발생할 수 있는 합병증이 없음을 확인하였으며, 수술 1주 및 1개월 후 원거리 나안시력(uncorrected distance visual acuity, UDVA) 및 현성 굴절검사를 통해 구면 대응치(spherical equivalent) 및 원거리 최대교정시력(corrected distance visual acuity, CDVA)을 측정하여 비교하였다. 또한 수술 전 예측한 굴절력과 실제 굴절력의 차이의 절대값을 절대오차(absolute error)로

Table 2. Preoperative characteristics of patients with FLACS, and conventional cataract surgery group

Characteristics	FLACS group	Conventional group	p-value
Number of eyes (n)	50	50	
Number of patient (n)	35	33	
Mean age (SD)	60.00 (10.45)	62.88 (11.01)	0.18 [†]
Gender (n, %)			0.32 [*]
Male	20 (57.1)	16 (48.5)	
Female	15 (42.9)	17 (51.5)	
Cataract grade (n, %)			
ASC	12 (24.0)	4 (8.0)	0.03 [*]
NS			0.87 [*]
Grade 0	1 (2.0)	1 (2.0)	
Grade 1	3 (6.0)	5 (10.0)	
Grade 2	21 (42.0)	17 (34.0)	
Grade 3	15 (30.0)	18 (36.0)	
Grade 4	9 (18.0)	6 (12.0)	
Grade 5	1 (2.0)	2 (4.0)	
Grade 6	0 (0.0)	0 (0.0)	
Mean grade (SD)	2.62 (0.98)	2.59 (1.03)	
CC	31 (62.0)	32 (64.0)	0.90 [*]
PSC	23 (46.0)	23 (46.0)	0.91 [*]
IOP (mmHg) (SD)	15.04 (2.76)	15.92 (2.68)	0.11 [†]

Values are presented as n (%) unless otherwise indicated.

FLACS = femtosecond laser assisted cataract surgery; SD = standard deviation; ASC = anterior subcapsular cataract; NS = nucleosclerosis; CC = cortical cataract; PSC = posterior subcapsular cataract; IOP = intraocular pressure.

*Chi-square test; [†]Student t-test.

정의하여 두 군 간의 절대오차를 비교 분석하였다. 자료의 분석은 SPSS ver 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 시행하였으며, 두 군 간의 측정치의 비교는 연속 변수의 경우 student T test를 이용하였고, 빈도 변수는 카이 제곱 검정 및 Fisher's exact test를 시행하였으며, 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

총 100안(68명)을 대상으로 하였다. 펌토초레이저를 이용한 수술을 시행받은 군은 50안(35명)이었으며, 고식적 백내장수술을 시행받은 군은 50안(33명)이었다. 펌토초레이저를 시행받은 군에서 평균 연령은 60.00 ± 10.45 세였으며, 남자 20명(28안), 여자 15명(22안)이었다. 고식적 백내장수술을 시행받은 환자의 평균 연령은 62.88 ± 11.01 세였으며, 남자 16명(20안), 여자 17명(30안)이었다. 수술 전 백내장 정도를 평가하였으며, 전낭하 백내장($p=0.03$, chi-square test) 외에는 두 군 간의 유의한 차이가 없었다(Table 2).

인공수정체(intraocular Lens, IOL)는 펌토초레이저를 이용한 군의 경우 다초점 인공수정체가 37안(74.0%)으로 가장 많이 삽입되었으며, 그 다음으로 다초점 토릭 인공수정체가 8안(16.0%)에서 삽입되었다. 고식적 백내장수술군에서는 단초점 인공수정체가 30안(60.0%)으로 가장 많이 삽입되었다.

술 전 최대 교정시력은 펌토초레이저를 시행받은 군의 경우 logMAR 시력 0.36 ± 0.45 였으며, 고식적 백내장수술

을 받은 군은 0.37 ± 0.41 이었다. 수술 1주 및 1개월 뒤의 최대교정시력을 측정하였으며, 각 군에서 수술 1주 뒤 최대 교정시력은 0.05 ± 0.09 및 0.02 ± 0.04 , 수술 1개월 뒤의 최대교정시력은 0.05 ± 0.13 및 0.05 ± 0.16 으로, 펌토초레이저를 시행받은 군 및 고식적 백내장수술을 받은 군에서 백내장수술 후 최대교정시력의 호전을 보였으며 수술 1주 및 1개월 뒤의 최대교정시력의 유의한 차이는 없었다. 술 전 및 수술 한 달 후의 평균 각막내피세포밀도 또한 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 3).

술 전 구면 대응치(spherical equivalent)는 펌토초레이저를 시행받은 군의 경우 -1.54 ± 3.59 디옵터, 고식적 백내장수술을 받은 군은 -0.48 ± 1.44 디옵터였으며, 수술 1개월 뒤에는 각각 -0.07 ± 0.42 디옵터, -0.27 ± 0.60 디옵터였다. 절대오차(absolute error)는 펌토초레이저를 시행받은 군에서 0.35 ± 0.24 디옵터였으며, 고식적 백내장수술을 받은 군은 0.37 ± 0.26 디옵터로 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 3).

초음파시간(PT)은 펌토초레이저군에서 12.98 ± 12.32 초였으며, 고식적 백내장수술군에서 17.80 ± 19.88 초로, 펌토초레이저를 시행받은 군에서 27.07% 감소하였으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다($p=0.15$). 누적분사에너지(CDE)의 경우, 펌토초레이저를 시행받은 군은 평균 2.72 ± 3.62 였으며, 고식적 백내장수술을 시행받은 군은 4.74 ± 5.56 로 펌토초레이저를 시행받은 군에서 42.62% 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.04$) (Fig. 1). 수술 중 사용한 평형 염액(balanced salt solution,

Table 3. Pre and postoperative visual outcomes, endothelial cell density in FLACS and conventional cataract surgery group

Outcomes	FLACS group	Conventional group	p-value*
UDVA (logMAR)			
Preoperative	0.76 ± 0.58	0.46 ± 0.34	0.08
1 week postoperative	0.09 ± 0.14	0.08 ± 0.14	0.72
1 month postoperative	0.07 ± 0.09	0.07 ± 0.10	0.78
CDVA (logMAR)			
Preoperative	0.36 ± 0.45	0.37 ± 0.41	0.97
1 week postoperative	0.05 ± 0.09	0.02 ± 0.04	0.44
1 month postoperative	0.05 ± 0.13	0.05 ± 0.16	0.89
Spherical equivalent (D)			
Preoperative	-1.54 ± 3.59	-0.48 ± 1.44	0.07
1 week postoperative	-0.09 ± 0.35	-0.20 ± 0.67	0.13
1 month postoperative	-0.07 ± 0.42	-0.27 ± 0.60	0.09
Absolute error (D)	0.35 ± 0.24	0.37 ± 0.26	0.78
ECD (cells/mm ²)			
Preoperative	$2,789.04 \pm 251.69$	$2,786.78 \pm 257.98$	0.97
1 month postoperative	$2,785.42 \pm 270.12$	$2,780.01 \pm 283.88$	0.98

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

FLACS = femtosecond laser assisted cataract surgery; UDVA = uncorrected distance visual acuity; CDVA = corrected distance visual acuity; D = diopter; ECD = endothelial cell density.

*Student t-test.

BSS)의 양은 펄스초레이저를 시행받은 군에서 41.86 ± 10.60 mL, 고식적 백내장수술을 시행받은 군에서 45.96 ± 13.42 mL로, 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p=0.11$).

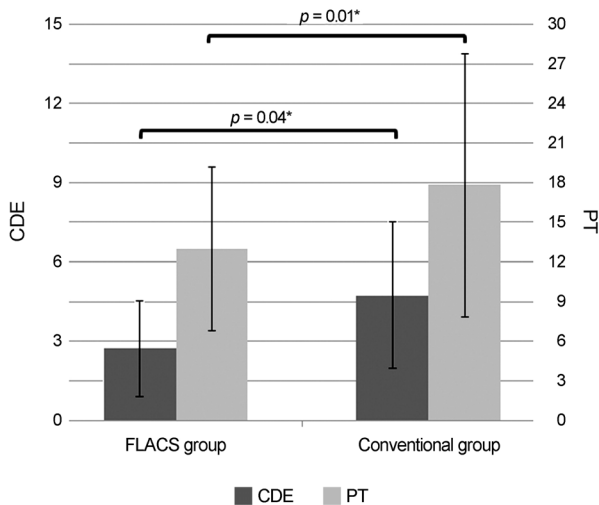


Figure 1. The phacoemulsification time (PT) and cumulative dissipated energy (CDE) between femtosecond laser assisted cataract surgery (FLACS) group and conventional cataract surgery group. The CDE and PT of the FLACS group were significantly lower than those of the Conventional group ($p = 0.04, 0.01$, respectively). *Student *t*-test.

펄스초레이저 백내장수술의 시행 중 결막하 출혈(subconjunctival hemorrhage)은 총 16안(32.0%)에서 나타났으며, 펄스초레이저 장비와의 접촉면을 따라 나타났다. 결막하 출혈은 모든 환자에서 일주일 추적 관찰 시 호전되었다. 펄스초레이저 시행 후 동공 수축(pupil constriction)이 4안(8.0%)에서 발생하였으며, 2안은 수술 중 전방 내 epinephrine 주입을 시행하였다. 2안(4.0%)에서 수정체낭 원형절개가 불완전하게 나타나 낭집계를 이용하여 추가적으로 절개를 시행 후 수술을 진행하였다(Fig. 2). 각막 절개창의 불완전 형성(incomplete incision)은 총 10안(20.0%)에서 발생하였으며, 상측 절개를 시행한 17안에서 9안(52.9%)이 발생하였고, 이측 절개를 시행한 33안에서 1안(3.0%)이 발생하였다. 해당 안에 대해서는 각막 절개도(keratome), 혹은 super-sharp blade를 이용하여 각막 절개창을 완전히 형성한 후 수술을 진행하였다. 각막 절개창의 위치 이상(early entry corneal incision)은 총 3안(6.0%)에서 발생하였다. 불완전한 렌즈 사분할(lens fragmentation failure)은 전방하 백내장이 있는 1안(2.0%)에서 발생하였고, 흡착부 분리(suction break)는 1안(2.0%)에서 발생하였다. 후낭 파열은 1안(2.0%)에서 발생하였으며, 수정체낭 원형절개 후 발생한 전방 태그(anterior capsular tag)가 후낭(posterior capsule)으로 연장되어 발생하였다.

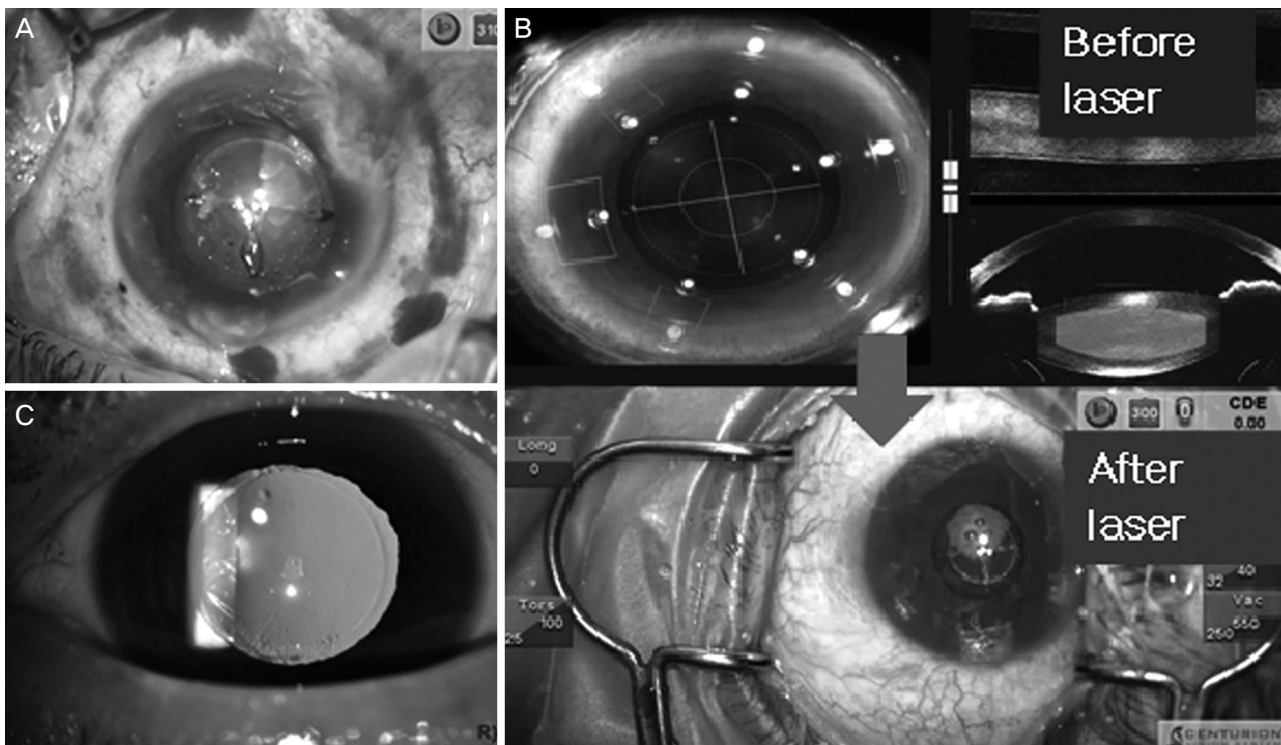


Figure 2. Intraoperative complications. (A) Subconjunctival hemorrhage occurred as ring-shaped, corresponded with the place suction take place. (B) Miosis occurred after femtosecond laser. (C) Irregular continuous curvilinear capsulorrhexis margin also observed. CDE = cumulative dissipated energy.

Table 4. The comparison between first 25 eyes taken FLACS and later 25 eyes taken FLACS

Characteristics	First 25 eyes	Later 25 eyes	p-value
Docking time (s)	26.10 ± 10.11	24.12 ± 9.90	0.81 [†]
Suction time (s)	142.12 ± 30.70	118.36 ± 27.21	0.04 [†]
Laser time (s)	43.20 ± 7.25	35.19 ± 6.22	0.03 [†]
Suction time-Laser time (s)	98.92 ± 21.27	83.17 ± 19.66	0.04 [†]
CDE	3.15 ± 4.36	2.04 ± 1.92	0.30 [†]
PT (s)	15.20 ± 11.99	10.76 ± 12.48	0.21 [†]
Subconjunctival hemorrhage (n, %)	12 (48.0)	4 (12.0)	0.02 [*]
Incomplete corneal incision (n, %)	6 (24.0)	4 (16.0)	0.48 [*]
Miosis (n, %)	6 (24.0)	3 (12.0)	0.46 [*]
Early entry corneal incision (n, %)	3 (12.0)	0 (0.0)	NA
Incomplete CCC (n, %)	2 (8.0)	0 (0.0)	NA
Suction break (n, %)	1 (4.0)	0 (0.0)	NA
Lens fragmentation failure (n, %)	1 (4.0)	0 (0.0)	NA
PCR (n, %)	1 (4.0)	0 (0.0)	NA

Values are presented as mean ± SD or n (%) unless otherwise indicated.

FLACS = femtosecond laser assisted cataract surgery; CDE = cumulative dissipated energy; PT = phacoemulsification time; CCC = continuous curvilinear capsulorrhexis; PCR = posterior capsular rupture; NA = non-available.

^{*}Fisher's exact test; [†]Student *t*-test.

펄초레이저 백내장수술을 받은 군을 시행받은 순서에 따라 초기 25안 및 후기 25안으로 나누어 수술 후 원거리 최대교정시력(CDVA), 초음파시간(PT), 누적분사에너지(CDE) 및 수술 중 합병증의 발생 빈도를 비교하였다. 수술 일주일 및 한 달 뒤 원거리 최대교정시력의 차이는 없었으며, 초음파시간은 초기 25안에서 15.20 ± 11.99초 및 후기 25안에서 10.76 ± 12.48초로 감소하였으나 통계적으로 유의하지는 않았고($p=0.21$), 누적분사에너지는 후기 25안에서 35.2% 감소하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다($p=0.30$). 수술 중 합병증은 후기 25안에서 전체적으로 감소하였으며, 결막하출혈은 후기 25안에서 통계적으로 유의하게 감소하였다($p=0.02$). 각막 절개창 위치 이상은 초기 25안에서 3건 (6.0%) 발생하였으나, 후기 25안에서는 발생하지 않았고, 흡착부 분리, 불완전한 렌즈 사분할 및 후낭 파열은 초기 25안에서 각 1건씩 발생하였으나, 후기 25안에서는 발생하지 않았다(Table 4).

펄초레이저 백내장수술을 시행받은 군의 도킹 시간(docking time), 흡인 시간(suction time), 펄초레이저 조사 시간(laser time)을 분석하였으며, 도킹 시간은 평균 25.10 ± 10.11초, 흡인 시간은 130.20 ± 26.21초, 펄초레이저 조사 시간은 39.21 ± 8.21초였다. 초기 25안 및 후기 25안을 비교하였을 때, 도킹 시간은 유의한 차이가 없었으나, 흡인 시간은 후기 25안에서 16.72% ($p=0.04$) 감소하였으며, 흡인 시간 중 펄초레이저 조사 시간을 제외한 흡인 시간(suction time-laser time)은 15.92% ($p=0.04$) 감소하였다(Table 4).

고 찰

백내장수술은 수술의 여러 과정에서 수술의 편의성 및 안정성, 그리고 합병증을 최소화하기 위해 수술 장비의 지속적인 발전 및 개선이 이루어지고 있으며, 펄초레이저를 이용한 백내장수술은 기존의 고식적 백내장수술에서 수술자에 의해 직접 이루어지는 각막 절개창 형성, 수정체낭 원형절개, 렌즈 분할 과정을 자동화하여 보다 정교하고 안전하게 수술을 시행할 수 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 펄초레이저 백내장수술의 도입 직후 수술을 시행받은 초기 50안의 임상 결과를 고식적 백내장수술을 받은 군과 비교하고, 펄초레이저 백내장수술 시 발생한 합병증을 분석하여, 펄초레이저 백내장수술의 도입 초기의 임상 결과 및 안정성을 분석해 보았다.

모든 군에서 백내장 외에 안과적 과거력 및 안과적 질환은 없었으며, 수술 전 백내장의 정도는 전낭하 백내장(anterior subcapsular cataract)을 제외하면 두 군 간의 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 수술 전 최대교정시력, 안압, 각막 내피세포 밀도 및 나이, 성별에도 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

수술 일주일 및 한 달 뒤의 최대교정시력은 두 군 간의 유의한 차이가 없었으며, 구면 대응치(spherical equivalent) 및 target diopter 간의 차이인 절대오차(absolute error) 또한 두 군 간에 유의한 차이가 없었다. 기존의 논문들에서도 펄초레이저를 시행받은 군과 고식적 백내장수술을 받은 군에서 최대교정시력의 유의한 차이가 없거나,^{7,8} 일부 논문에서는 펄초레이저를 시행받은 군에서 최대교정시력이 조금 더 개선되는 것으로 나타났다.⁹

수술 시 누적분사에너지(cumulative dissipated energy)는 펌토초레이저를 시행받은 군에서 고식적 백내장수술과 비교하여 42.62% 감소하였다. 이는 동물 실험에서의 비교¹⁰ 및 사람을 대상으로 한 여러 논문에서의 결과^{11,12}와 일치하며, 본 논문에서는 펌토초레이저를 이용하여 렌즈를 사분할하였지만, 수정체를 격자 형태로 잘게 분할하게 되면 누적분사에너지를 더 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.¹³ 초음파시간(phacoemulsification time)은 펌토초레이저를 이용한 군에서 27.07% 감소하였으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 기존 연구에서 펌토초레이저를 이용한 백내장수술 시 초음파시간이 유의하게 감소함이 보고되었고,¹⁴ 본 연구에서도 초음파시간이 감소하는 경향을 보였으나, 통계적으로는 유의한 차이가 없었다. 수술 중 사용한 평형 염색(BSS)의 양은 펌토초레이저를 이용한 군에서 8.92% 적었으나, 통계적으로 유의한 차이가 있지는 않았다.

백내장수술 후 발생하는 각막내피세포 손상은 수정체유화술 시 발생하는 초음파에너지에 의한 손상 및 열 손상에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며,¹⁵ 펌토초레이저를 이용한 백내장수술에서는 초음파에너지를 감소시켜 각막내피세포 손상을 최소화할 수 있을 것으로 생각되나, 본 연구에서는 고식적 백내장수술군 및 펌토초레이저 백내장수술군에서 수술 전후의 각막내피세포밀도의 유의한 차이는 없었다. 펌토초레이저 수술 전후의 각막내피세포밀도 변화를 분석한 다른 여러 연구에서도 수술 한 달 뒤의 각막내피세포 밀도의 변화는 고식적 백내장수술군과 비교하여 유의한 차이가 없었다.¹⁶

펌토초레이저 백내장수술 시 가장 많이 발생한 합병증은 결막하 출혈(subconjunctival hemorrhage)이었으며(32.0%), 그 다음으로 각막 절개창의 불완전한 형성(20.0%)이었다. 결막하 출혈은 펌토초레이저 조사 중 결막에 가해지는 흡인(suction)과 연관되어 있는 것으로 보이며, 실제로 흡인 시간(suction time)이 감소한 후기 25안에서는 발생률이 현저히 감소하였다. 결막하 출혈은 수술 일주일 뒤 모든 환자에서 호전되었으며, 수술 후 시력에 영향을 미치지 않았다.

각막 절개창의 불완전한 형성은 1안을 제외하면 상측 절개 시에 발생하였으며, 이는 각막 상측부의 노인환 혹은 각막주변부신생혈관에 의해 절개창이 형성되기에 충분한 에너지가 전달되지 않았던 것으로 보인다. 각막 절개창의 불완전한 형성을 예방하기 위해 수술 전 검사에서 노인환 및 각막주변부신생혈관 정도를 평가하고, 이 경우 절개창의 위치를 조금 더 중심 쪽으로 조절하여 각막 절개창의 불완전한 형성을 예방할 수 있을 것으로 보이며, 본 연구에서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 후기 25안에서 각막 절개창의 불완전한 형성이 줄어든 것으로 보아, 펌

토초레이저 백내장수술의 경험이 쌓이면 발생을 줄일 수 있을 것으로 보인다. 각막 절개창 위치 이상은 펌토초레이저 시행 시 환자의 안구가 완전히 수평으로 놓여져 있지 않아 계획된 위치보다 중심부로 레이저가 조사되어 발생한 것으로 보이며, 펌토초레이저의 조사 전 안구가 완전히 수평으로 위치하고 있는 것을 확인하고 진행해야 할 것으로 보인다.

흡착부 분리(suction break)는 1안(2.0%)에서 나타났으며, 펌토초레이저 조사 중 환자가 머리를 움직여 발생한 경우로, 펌토초레이저 시행 시 환자가 움직이지 않도록 충분히 교육을 해야 할 것으로 보인다. 펌토초레이저 시행 후 동공 수축(miosis) 및 불완전한 수정체낭 원형절개(incomplete continuous curvilinear capsulorhexis)는 각 9안(18.0%) 및 2안(4.0%)에서 나타났으며, 동공 수축은 레이저 조사 중 안내조직(수정체 피질, 수정체 핵, 홍채, 각막)에서 전방 내로 프로스타글란딘E₂ (prostaglandin E₂)가 방출되어 발생하는 것으로 보고되어 있다.¹⁷ 이는 총 레이저 조사 시간, 연령, 수정체낭 원형절개부-동공 변연부 간 거리에 비례하여 위험도가 증가하는 것으로 보고되어 있으며, 비스테로이드성 항염증제 점안액(topical nonsteroidal anti-inflammatory drug)을 수술 전 점안할 경우 발생률을 낮출 수 있을 것으로 보인다.¹⁸ Nagy et al⁴은 펌토초레이저 도입 초기 100안에 대한 분석에서 불완전한 레이저 수정체낭 원형절개 및 흡착부 분리, 각막 내피세포의 손상이 나타날 수 있으나, 상기 부작용들은 펌토초레이저 자체의 문제보다는, 도입 초기 숙련도의 문제로 보고하였다.

후낭 파열은 펌토초레이저 수술을 받은 총 50안 중 1안(2.0%)에서 발생하였고, 레이저 수정체낭 원형절개 후 전낭 태그(anterior capsular tag)가 후낭으로 연장되어 발생하였다. 따라서 레이저 수정체낭 원형절개 후 전낭 태그의 발생 유무를 확인해야 할 것으로 보인다.

Abell et al¹⁴과 Grewal et al¹⁹은 펌토초레이저를 이용한 백내장수술의 학습 곡선(learning curve)을 분석하기 위해 펌토초레이저 백내장수술 도입 초기 수술을 받은 군과 그 이후 수술을 받은 군을 비교하였으며, 도입 초기 수술을 받은 군보다 후기에 수술을 받은 군에서 유효 초음파 시간 및 총 수술시간이 단축되었음을 보고하였다. 또한 Bali et al⁶은 펌토초레이저 백내장수술의 경험이 늘어날수록 도킹 시도 횟수, 레이저 시행 후 축동의 발생이 유의하게 감소하였으며, 수정체낭 원형절개가 더 완전하게 일어남을 보고하였다. 본 연구에서도 펌토초레이저 백내장수술의 경험이 늘어날수록 누적분사에너지의 감소를 보였으며, 도킹 시간, 흡인 시간 및 펌토초레이저 조사 시간의 감소를 보였다. 펌토초레이저 조사 시간은 술자의 숙련도가 아닌 레이저 설

정과 연관이 있는 지표로, 펄토초레이저 조사시간을 빼 흡인 시간을 추가로 비교하였으며, 흡인 시간-펄토초레이저 조사시간 또한 후기 25안에서 유의하게 감소하였음을 알 수 있었다. 수술 중 합병증은 결막하 출혈(subconjunctival hemorrhage)만 후기 25안에서 통계적으로 유의하게 감소하였으나, 다른 합병증 또한 후기 25안에서 발생빈도가 감소하였다. 이는 발생한 증례의 수가 많지 않아 통계적 검정을 정확하게 시행하지 못한 것으로, 추후 증례가 추가되면 이에 대한 추가적인 분석이 요할 것으로 보인다.

결론적으로, 펄토초레이저는 백내장수술의 여러 단계 중 각막 절개창 형성, 수정체낭 원형절개 및 렌즈 분할을 정확하고 일정하게 시행하여 수술의 안정성을 향상시키며, 레이저를 통한 렌즈 분할을 통해 수술 중 각막 및 주변 안구조직에 가해지는 초음파 에너지를 감소시켜 백내장수술 후 발생할 수 있는 각막 부종 및 황반 부종의 위험성을 감소시킬 수 있을 것으로 보이나, 본 연구는 후향적 연구로서 초음파 에너지 감소에 따른 수술 후 각막 두께의 차이 및 황반 부종의 발병률, 그리고 수술 후의 수정체낭 원형절개의 크기를 비교하지는 못하여 추후 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

펄토초레이저 백내장수술을 시행받은 군과 고식적 백내장수술을 시행받은 군의 백내장 정도는 전낭하 백내장(anterior subcapsular cataract)을 제외하면 차이가 없었으며, 환자의 연령 및 각막내피세포 밀도의 차이도 없었으나, 펄토초레이저 백내장수술을 시행받은 환자의 45안(90.0%)은 다초점 혹은 다초점 토릭 인공수정체를 삽입한 반면, 고식적 백내장수술을 받은 군은 13안(26.0%)만 다초점 혹은 다초점 토릭 인공수정체를 삽입하였으며, 30안(60.0%)에서 단초점 인공수정체를 삽입하여 인공수정체 종류가 두 군간에 큰 차이를 보였다. 추후 증례를 추가로 확보하여 삽입한 인공수정체 종류에 따른 비교 분석이 필요할 것으로 보인다.

펄토초레이저 백내장수술의 도입 초기의 단기적인 임상 결과는 고식적 백내장수술과 비교하여 최대교정시력에는 차이가 없었으며, 레이저를 이용한 렌즈 분할을 통해 수술 중 안구에 가해지는 초음파 에너지는 감소하였다. 레이저를 이용한 각막 절개창 형성, 수정체낭 원형절개, 수정체 분할 및 이로 인한 초음파 에너지의 감소는 과숙 백내장(hypermature cataract), 얇은 전방(shallow anterior chamber), 섬모체 소대 해리(zonular dialysis) 등을 동반한 백내장에서 수술의 안정성을 향상시킬 것으로 생각되며, 추후 이러한 환자에서 펄토초레이저 백내장수술과 고식적 백내장수술의 임상 결과를 비교 분석해 볼 필요가 있을 것으로 보인다.

펄토초레이저 백내장수술 시행 중 결막하 출혈, 각막 절개창의 불완전한 형성 등의 합병증이 나타날 수 있으며, 이는 펄토초레이저 백내장수술의 안정적인 시행에는 어느 정도의 경험이 필요함을 보여주나, 고식적 백내장수술과 비교하여 단기적인 임상 결과에는 차이가 없어 수술의 결과에는 영향을 크게 미치지 않으며, 후기 25안에서 합병증의 발생이 감소한 것으로 볼 때 학습에 필요한 기간이 길지는 않은 것으로 보인다.

본 연구에서는 고식적 백내장수술에 숙련된 술자에 의해 백내장수술이 진행되었으며, 숙련된 술자에 의해 수술이 시행된 경우 및 펄토초레이저 백내장수술이 시행된 경우 최대교정시력에는 차이가 없었으나, 수술 중 가해지는 초음파에너지가 감소하였고, 펄토초레이저 백내장수술의 학습기간도 짧은 것으로 나타났다. 고식적 백내장수술에 익숙하지 않은 초심자들의 경우 각막 절개창 형성, 수정체낭 원형절개, 수정체 분할과 같이 숙련이 필요한 주요 과정을 펄토초레이저를 이용하여 안전하게 시행할 수 있을 것으로 보여, 추후 백내장수술의 경험이 적은 술자를 대상으로 펄토초레이저 백내장수술과 고식적 백내장수술의 임상 결과를 비교해 볼 필요가 있을 것으로 보인다.

REFERENCES

- 1) Fine IH. Architecture and construction of a self-sealing incision for cataract surgery. J Cataract Refract Surg 1991;17 Suppl:672-6.
- 2) Alio JL, Soria F, Abdou AA. Femtosecond laser assisted cataract surgery followed by coaxial phacoemulsification or microincisional cataract surgery: differences and advantages. Curr Opin Ophthalmol 2014;25:81-8.
- 3) Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G, et al. Femtosecond laser capsulotomy. J Cataract Refract Surg 2011;37:1189-98.
- 4) Nagy ZZ, Takacs AI, Filkorn T, et al. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2014;40:20-8.
- 5) Chylack LT Jr, Wolfe JK, Singer DM, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. Arch Ophthalmol 1993;111:831-6.
- 6) Bali SJ, Hodge C, Lawless M, et al. Early experience with the femtosecond laser for cataract surgery. Ophthalmology 2012;119:891-9.
- 7) Lee WS, Han SY, Lee KH. Comparison of laser refractive cataract surgery with a femtosecond laser versus conventional phacoemulsification. J Korean Ophthalmol Soc 2013;54:1227-35.
- 8) Mastropasqua L, Toto L, Mastropasqua A, et al. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. J Refract Surg 2014;30:27-33.
- 9) Uy HS, Edwards K, Curtis N. Femtosecond phacoemulsification: the business and the medicine. Curr Opin Ophthalmol 2012;23:33-9.
- 10) Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. J Refract

- Surg 2009;25:1053-60.
- 11) Chang JS, Chen IN, Chan WM, et al. Initial evaluation of a femtosecond laser system in cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2014;40:29-36.
 - 12) Yesilirmak N, Diakonis VF, Sise A, et al. Differences in energy expenditure for conventional and femtosecond-assisted cataract surgery using 2 different phacoemulsification systems. J Cataract Refract Surg 2017;43:16-21.
 - 13) Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, Dick HB. Effect of femtosecond laser fragmentation of the nucleus with different softening grid sizes on effective phaco time in cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2012;38:1888-94.
 - 14) Abell RG, Darian-Smith E, Kan JB, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center. J Cataract Refract Surg 2015;41:47-52.
 - 15) Walkow T, Anders N, Klebe S. Endothelial cell loss after phacoemulsification: relation to preoperative and intraoperative parameters. J Cataract Refract Surg 2000;26:727-32.
 - 16) Chen X, Xiao W, Ye S, et al. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract: a meta-analysis of randomized controlled trials. Sci Rep 2015;5:13123.
 - 17) Schultz T, Joachim SC, Kuehn M, Dick HB. Changes in prostaglandin levels in patients undergoing femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Refract Surg 2013;29:742-7.
 - 18) Jun JH, Hwang KY, Chang SD, Joo CK. Pupil-size alterations induced by photodisruption during femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2015;41:278-85.
 - 19) Grewal DS, Dalal RR, Jun S, et al. Impact of the learning curve on intraoperative surgical time in femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Refract Surg 2016;32:311-7.

= 국문초록 =

펌토초레이저 백내장수술 도입 초기의 단기 임상경과 및 고식적 백내장수술과의 비교

목적: 펌토초레이저를 이용한 백내장수술 도입 초기의 단기적인 임상 경과를 고식적 백내장수술과 비교하고, 안정성에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 2016년 1월부터 2017년 1월까지 삼성서울병원 안과에서 펌토초레이저 장비의 도입 초기 펌토초레이저 백내장수술을 받은 50안 및 같은 시기에 고식적 백내장수술을 시행받은 50안을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 펌토초레이저 백내장수술을 받은 군의 수술 전후의 시력, 구면 대응치를 포함한 단기 임상 경과를 고식적 백내장수술을 받은 군과 비교하였으며, 펌토초레이저 백내장수술 중 발생한 합병증을 분석하고, 도입 직후 수술을 받은 25안과, 그 이후 수술을 받은 25안의 합병증 발생을 비교 분석하여 펌토초레이저 수술 초기 학습의 영향을 분석하였다.

결과: 펌토초레이저 백내장수술을 받은 군과 고식적 백내장수술을 받은 군의 수술 1개월 후 나안시력($p=0.78$) 및 교정시력($p=0.89$)의 차이는 없었으며, 구면 대응치의 차이도 없었다($p=0.09$). 초음파시간에는 유의한 차이가 없었으나($p=0.15$), 누적분사에너지는 펌토초레이저 백내장수술 군에서 유의하게 작았다($p=0.04$). 펌토초레이저 백내장수술 중 결막 충혈, 축동, 부정확한 각막 절개창 위치 및 불완전한 각막 절개창 형성 등의 문제를 경험하였으며, 초기 25안과 비교하여 후기 25안에서 그 비율이 전체적으로 감소하는 경향을 보였고, 결막하 출혈은 통계적으로 유의한 감소를 보였다($p=0.02$).

결론: 펌토초레이저 백내장수술의 도입 초기의 단기적인 임상 결과는 고식적 백내장수술과 비교하여 수술 후 최대교정시력의 차이는 없었으며, 안구에 가해지는 초음파 에너지는 감소하였다. 또한 펌토초레이저 백내장수술의 도입 초기 학습기간이 필요하지만, 학습에 걸리는 시기는 비교적 길지 않았다.

〈대한안과학회지 2018;59(5):419-427〉
