펄토초레이저 상피투과 활모양각막절개 시 절개부 개방이 난시교정에 미치는 영향

Astigmatism Correction during Femtosecond Laser-assisted Transepithelial Arcuate Keratotomy Using the Wound Open Method

정준교¹ · 한겨레² · 노 훈¹ · 임동희^{1,3} · 정태영¹

Joon Kyo Chung, MD¹, Gyu Le Han, MD², Hoon Noh, MD¹, Dong Hui Lim, MD, PhD^{1,3},
Tae-Young Chung, MD, PhD¹

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실¹, 천안김안과², 가톨릭대학교 예방의학교실³

Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine¹, Seoul, Korea
Cheonan Kim's Eye Clinic², Cheonan, Korea

Department of Preventive Medicine, Graduate School, The Catholic University of Korea³, Seoul, Korea

Purpose: The purpose of this study was to compare corneal astigmatism correction between “wound open” and “wound intact” methods during femtosecond laser-assisted transepithelial arcuate keratotomy.

Methods: From April 2016 to December 2018, a retrospective survey was conducted on patients undergoing femtosecond laser cataract surgery at the Ophthalmology Department of Samsung Medical Center. Size comparison and vector analysis of corneal astigmatism before and after surgery were performed in the wound open and wound intact groups.

Results: In the wound open and wound intact groups, the target-induced astigmatism (TIA) was 1.28 ± 0.55 ; and 1.26 ± 0.29 diopters, the surgically induced astigmatism (SIA) was 0.80 ± 0.52 ; and 0.53 ± 0.32 diopters, and the correction index (CI) was 0.63 ± 0.28 ; and 0.43 ± 0.26 , respectively. The astigmatism correction was superior in the wound open group ($p = 0.048$, $p = 0.025$). In a subgroup with TIA < 1.2 diopters, there were no significant differences in SIA or CI between the two groups; however, in the subgroup with a TIA > 1.2 diopters, the SIA was 1.09 ± 0.59 ; and 0.54 ± 0.37 diopters and the CI was 0.60 ± 0.28 ; and 0.36 ± 0.23 in the wound open and wound intact groups, respectively ($p = 0.022$, $p = 0.047$). Thus, astigmatism correction was superior in the wound open group.

Conclusions: The wound open method during femtosecond laser-assisted transepithelial arcuate keratotomy was superior for astigmatism correction compared to the wound intact method.

J Korean Ophthalmol Soc 2021;62(12):1592-1599

Keyword: Astigmatism

■ Received: 2021. 5. 13. ■ Revised: 2021. 8. 23.

■ Accepted: 2021. 11. 16.

■ Address reprint requests to Tae-Young Chung, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, #81
Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea
Tel: 82-2-3410-0945, Fax: 82-2-3410-0029
E-mail: taeyoung15.chung@samsung.com

* This study was supported by Alcon.

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

현대의 백내장수술은 교정시력의 회복뿐만 아니라 수술 후 근시, 난시 등의 굴절오차를 최소화하는 것을 목표로 하고 있다. 백내장수술을 시행받는 환자들 중 40% 이상에서 수술 전 1.0디옵터 이상의 난시가 확인된 바 있으며, 수술 후 잔여난시는 달무리, 단안복시 등의 시각적 불편감 및 시력저하를 일으킬 수 있다.^{1,2} 백내장수술을 통해 술 전 각막 난시를 교정하여 수술 후 환자들의 시각의 질을 높이고 안경교정의 필요성을 낮추어 삶의 질을 높일 수 있다.

© 2021 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.

백내장수술 중 난시를 교정하는 방법으로 대표적으로 토릭 인공수정체 사용, 윤부이완절개, 펄토초레이저를 이용한 활모양각막절개(femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy)가 있다. 고식적인 방법인 윤부이완절개의 경우 과교정 또는 저교정, 감염, 각막천공, 불규칙난시 등이 발생할 가능성이 있고 술자에 따라 효과가 다를 수 있다는 단점이 있다.^{3,4} 펄토초레이저를 이용한 활모양각막절개에 대해서는 이미 여러 연구들에서 난시교정 효과가 보고된 바 있고 고식적인 방법보다 정확한 위치, 길이 및 깊이로 각막절개가 가능하여 난시교정의 정확도를 높이고 합병증 가능성을 줄일 수 있는 장점이 있다.⁵⁻⁷

펄토초레이저를 이용한 활모양각막절개 시 상피투과각막절개(transepithelial arcuate keratotomy [AK]) 또는 기질내각막절개(intrastromal AK)가 가능하며 두 방법 모두 안전하고 효과적인 방법으로 알려져 있다.^{8,9} Ganesh et al⁸는 상피투과각막절개 방식과 기질내각막절개 방식의 correction index (CI) 값이 각각 0.95, 0.55로 두 방법 중 상피투과각막절개 방식이 난시교정 효과가 더 크다고 보고하였다. Lopes et al⁹은 각각 0.83 ± 0.71 , 0.68 ± 0.29 로 보고하여 상피투과각막절개 방식의 경우 난시교정률이 더 높지만 예측도는 기질내각막절개 방식이 더 뛰어난 것으로 보고하였다. 이렇듯 두 방식 중 어느 방법이 더 우월한 것인지에 대해서는 아직 논의가 이루어지고 있는 단계이다.

상피투과각막절개 시 레이저를 이용한 절개 시행 후 spatula 등의 기구를 사용하여 절개 부위를 한 번 더 넓혀주는 절개부 개방(wound open) 방법도 있고, 이러한 추가적인 처치 없이 절개부 유지(wound intact) 후 수술을 종료하는 방법도 있다. 두 가지 방법 모두 펄토초레이저를 이용한 활모양각막절개에 사용되나, 현재까지 두 가지 방법의 난시교정 효과에 대해 직접적으로 비교분석한 연구가 없기에 이에 대해 보고하고자 한다.

대상과 방법

2016년 4월부터 2018년 12월까지 삼성서울병원 안과 전 안부 외래에서 펄토초레이저 백내장수술을 받은 42명 42안을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 본 연구는 의학연구윤리강령인 헬싱키선언을 준수하였으며, 삼성서울병원 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인 후(IRB 승인번호: 2016-11-095) 진행되었다. 0.5디옵터 미만의 각막난시, 불규칙난시, 약시, 각막혼탁, 녹내장, 망막질환, 안구 내 염증의 과거력, 안구외상의 과거력, 이전 굴절교정수술 과거력이 있는 환자들은 본 연구에서 제외되었고, 활모양각막절개가 대칭적으로 한 쌍 시행

된 환자들로 구성하였다.

수술은 한 명의 술자(T.Y.C)에 의해 시행되었다. 수술 당일 Alcon Verion Image Guided System (Alcon, Fort Worth, TX, USA) 촬영으로 수술 전 안구의 해부학적 기준점들을 확보하여 수술 시 안구의 회선에 의한 오차를 방지하였다. 모든 수술은 점안마취(proparacaine hydrochloride 0.5%, Alcaine, Alcon, Fort Worth, TX, USA)로 진행되었고, LenSx (Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 이용하여 펄토초레이저를 각막 주 절개창 형성, 보조 절개창 형성, 활모양각막절개, 수정체낭 원형절개 및 수정체 사분할의 단계에서 시행하였다. 펄토초레이저 시행 후 각막 보조 절개창을 통하여 전방에 점탄물질 주입, 낭집계를 사용하여 수정체 절개창 제거를 시행하였고, Centurion (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 수정체유화술 및 피질제거술을 시행하였다. 단초점 비구면 인공수정체(Acrysof IQ, Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 후방에 삽입하였고, 잔여 점탄물질 흡인 후 각막 주 절개창 및 보조 절개창에 기질수화를 시행하였다. 수술 말미에 무작위로 환자에 따라 spatula를 이용하여 활모양각막절개 부위를 넓혀주거나 또는 시행하지 않고 수술을 종료하였다.

모든 경우에서 한 쌍의 대칭적인 활모양각막절개가 가파른 축 방향으로 각막 중심부로부터 9.0 mm 지점에 시행되었고 각막두께의 85%까지 절개를 가하였다. Alpíns 벡터분석 방법을 이용하여 수술 전 시행한 샤임플러그 각막지형도검사의 각막 전면난시와 후면난시의 벡터합인 전체각막난시를 계산하였고,^{10,11} 이를 target induced astigmatism (TIA)로 설정하여 술 전 전체각막난시의 100%를 교정 목표로 하였다. Donnenfeld nomogram을 기반으로 한 Alcon-LenSx에 내장된 고유 노모그램을 사용하여 활모양각막절개의 너비(width)를 정하였고, 2.75 mm의 각막 주 절개창 형성으로 유발되는 각막난시는 0.5디옵터로 가정하였다.

수술 전 및 수술 후 3개월에 현성굴절검사, 샤임플러그 각막지형도검사(Pentacam HR, Oculus, Wetzlar, Germany), 비접촉경면현미경검사(Non-Con Robo SP 6000, Konan Medical Inc., Irvine, CA, USA)를 시행하였고, 이를 통한 수술 전후의 굴절오차, 각막난시, 각막내피세포밀도를 계산하였다. 샤임플러그 각막지형도검사에서의 각막 전면난시 및 후면난시를 모두 고려하여 총 각막난시를 계산하였고, 각막난시 변화에 대한 수술 전후 벡터분석은 Alpíns 방법을 사용하여 시행하였다.¹² 수술 전 각막난시벡터를 TIA로 설정하였고, TIA와 수술 후 잔여난시벡터의 벡터 차이를 surgically induced astigmatism (SIA)로 두었다. Difference vector (DV)는 수술 후 잔여난시벡터가 되며, CI는 SIA를 TIA로 나눈 값으로 1을 초과하면 과교정을 의미하고 1 미

만일 경우 저교정을 의미한다. Magnitude of error (ME)는 SIA의 절대값에서 TIA의 절대값을 뺀 값, angle of error (AE)는 SIA 벡터에서 TIA 벡터를 뺀 벡터의 방향이며, index of success (IOS)는 DV를 TIA로 나눈 값이다.

통계분석은 IBM SPSS ver 23.0 for Window (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용하였으며, 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 하였다. 두 군 간의 굴절오차, 각막난시,

각막내피세포밀도 및 상기 벡터분석 지표들을 student t test를 이용하여 비교하였고, 다만 absolute angle of error 표본은 정규성을 띄지 않는 것으로 나타나 Mann-Whitney test로 비교하였다. 빈도 변수에 대해서는 카이제곱 검정을 시행하였다. TIA 변화에 따른 SIA 변화에 군 간 차이를 확인하기 위하여 선형회귀분석을 사용하였으며 절개부 개방군에 1, 절개부 유지군에 0의 값을 설정하였다.

Table 1. Preoperative patient demographics and baseline values of wound open and wound intact group

	Wound open (n = 21)	Wound intact (n = 21)	p-value*
Mean age (years)	58.19 ± 12.69 (25 to 76)	64.14 ± 17.53 (26 to 85)	0.216
Sex (female)	12 (57.1)	12 (57.1)	1.000
Eyes (right)	12 (57.1)	6 (28.6)	0.061
SE manifest refractive error (D)			
Arithmetic mean	-2.59 ± 2.62 (-8.5 to +0.75)	-1.04 ± 2.48 (-6.13 to +3.25)	0.056
Absolute mean	2.70 ± 2.50 (0 to 8.5)	1.99 ± 1.77 (0.13 to 6.13)	0.300
Cylindrical manifest			
Refractive error (D)	-1.23 ± 0.59 (-2.5 to -0.25)	-0.96 ± 0.63 (-2.25 to 0)	0.170
Axial length (mm)	24.78 ± 2.07 (21.36 to 29.29)	24.26 ± 1.22 (21.82 to 26.64)	0.327
Central corneal thickness (μm)	554 ± 38 (474 to 612)	553 ± 37 (499 to 640)	0.925
Mean corneal keratometry (D)	43.89 ± 1.76 (40.04 to 48.35)	43.45 ± 1.69 (39.49 to 46.75)	0.409
Mean corneal astigmatism (D)	1.28 ± 0.55 (0.51 to 2.30)	1.26 ± 0.29 (0.83 to 1.90)	0.872
ECD (cells/mm ²)	2,849 ± 324 (2,370 to 3,521)	2,774 ± 382 (1,887 to 3,559)	0.494

Values are presented as mean ± standard deviation (range) or number (%).

D = diopter; ECD = endothelial cell density.

*Student t -test.

Table 2. Comparison of postoperative astigmatism change between wound open and wound intact group

Cylindrical manifest	Wound open (n = 21)	Wound intact (n = 21)	p-value*
Refractive error (D)			
Preop	-1.23 ± 0.59 (-2.5 to -0.25)	-0.96 ± 0.63 (-2.25 to 0)	0.170
Postop	-0.63 ± 0.51 (-1.5 to 0)	-0.60 ± 0.60 (-2.0 to 0)	0.836
p-value (postop vs. preop)	0.001*	0.059*	
Corneal astigmatism (D)			
Preop	1.28 ± 0.55 (0.51 to 2.30)	1.26 ± 0.29 (0.83 to 1.90)	0.872
Postop	0.81 ± 0.44 (0.10 to 1.70)	0.92 ± 0.40 (0.20 to 1.60)	0.385
p-value (postop vs. preop)	0.004*	0.003*	
Vector analysis			
TIA (D)	1.28 ± 0.55 (0.51 to 2.30)	1.26 ± 0.29 (0.83 to 1.90)	0.872
SIA (D)	0.80 ± 0.52 (0.15 to 2.12)	0.53 ± 0.32 (0.09 to 1.29)	0.048
DV (D)	0.81 ± 0.44 (0.10 to 1.70)	0.92 ± 0.40 (0.20 to 1.60)	0.385
CI	0.63 ± 0.28 (0.20 to 1.23)	0.43 ± 0.26 (0.08 to 1.15)	0.025
Absolute AE	18.90 ± 14.94 (0.00 to 64.00)	22.19 ± 22.60 (0.00 to 90.00)	0.990†
ME (D)	-0.49 ± 0.45 (-1.60 to 0.23)	-0.73 ± 0.36 (-1.24 to 0.12)	0.068
IOS	0.68 ± 0.32 (0.06 to 1.60)	0.74 ± 0.27 (0.15 to 1.15)	0.476
ECD (cells/mm ²)			
Preop	2,849 ± 324 (2,370 to 3,521)	2,774 ± 382 (1,887 to 3,559)	0.494
Postop	2,565 ± 482 (1,504 to 3,236)	2,521 ± 480 (1,280 to 3,145)	0.765
p-value (postop vs. preop)	0.032*	0.066*	

Values are presented as mean ± standard deviation (range).

D = diopters; TIA = target-induced astigmatism; SIA = surgically induced astigmatism; DV = difference vector; CI = correction index; AE = angle of error; ME = magnitude of error; IOS = index of success; ECD = endothelial cell density.

*Student t -test; †Mann-Whitney test.

결 과

Table 3. Linear regression analysis between wound type, target induced astigmatism, and surgically induced astigmatism

Dependent variable	Independent variable	β	p -value*
SIA	Wound open (1)/intact (0)	0.293	0.025
($R^2 = 0.388$, $p < 0.001$)	TIA	0.543	<0.001
SIA = surgically induced astigmatism; TIA = target-induced astigmatism.			
*Linear regression analysis.			

총 42안(42명)을 대상으로 하였고, 활모양각막절개 부위의 절개부 개방군 21안, 절개부 유지군 21안이였다. 절개부 개방군에서 평균 연령은 58.19 ± 12.69 세였으며, 9안(42.9%)은 남자, 12안(57.1%)은 여자였다. 절개부 유지군에서 평균 연령은 64.14 ± 17.53 세였으며, 9안(42.9%)은 남자, 12안(57.1%)은 여자였다. 현성굴절검사상 절개부 개방군이 절개부 유지군보다 근시성 굴절오차가 더 큰 것으로 나타났으나 안축장은 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이외 중심

Table 4. Linear regression analysis between preoperative patient factors and surgically induced astigmatism

Dependent variable	Independent variable	β	p -value*
SIA ($R^2 = 0.563$, $p = 0.006$)	Wound open (1)/intact (0)	0.355	0.049
	Age	0.016	0.923
	Sex-female (0)/male (1)	0.137	0.382
	Laterality-right (0)/left (1)	0.039	0.801
	SE manifest refractive error	-0.150	0.639
	SE manifest refractive error, absolute mean	-0.244	0.334
	Cylindrical manifest refractive error	0.087	0.667
	Axial length	-0.005	0.987
	Central corneal thickness	0.067	0.673
	Mean corneal keratometry	-0.387	0.054
	Mean corneal astigmatism (TIA)	0.590	0.001
	ECD	0.165	0.321

SIA = surgically induced astigmatism; SE = spherical equivalent; TIA = target-induced astigmatism; ECD = endothelial cell density.

*Linear regression analysis.

Table 5. The result of subgroup analysis

	Wound open (n = 21)	Wound intact (n = 21)	p -value*
TIA < 1.2 D			
Vector analysis			
TIA (D)	0.83 ± 0.29 (0.51 to 1.00)	1.00 ± 0.16 (0.83 to 1.16)	0.092
SIA (D)	0.54 ± 0.27 (0.15 to 1.23)	0.52 ± 0.25 (0.17 to 0.95)	0.970
DV (D)	0.68 ± 0.38 (0.23 to 1.60)	0.74 ± 0.24 (0.37 to 1.20)	0.676
CI	0.65 ± 0.28 (0.21 to 1.23)	0.53 ± 0.29 (0.17 to 1.15)	0.344
Absolute AE	24.90 ± 17.56 (0.00 to 64.00)	22.89 ± 15.46 (5.00 to 54.00)	0.503 [†]
ME (D)	-0.30 ± 0.28 (-0.59 to 0.23)	-0.48 ± 0.28 (-0.83 to 0.12)	0.169
IOS	0.80 ± 0.34 (0.23 to 1.60)	0.74 ± 0.23 (0.35 to 1.15)	0.609
TIA $\geq$ 1.2 D			
Vector analysis			
TIA (D)	1.78 ± 0.37 (1.20 to 2.60)	1.46 ± 0.29 (1.20 to 2.68)	0.179
SIA (D)	1.09 ± 0.59 (0.34 to 2.12)	0.54 ± 0.37 (0.09 to 1.29)	0.022
DV (D)	0.96 ± 0.47 (0.10 to 1.70)	1.07 ± 0.44 (0.20 to 2.30)	0.591
CI	0.60 ± 0.28 (0.20 to 1.06)	0.36 ± 0.23 (0.08 to 0.85)	0.047
Absolute AE	12.30 ± 7.79 (1.00 to 47.00)	21.67 ± 27.46 (0.00 to 90.00)	0.974 [†]
ME (D)	-0.70 ± 0.52 (-1.60 to 0.12)	-0.91 ± 0.30 (-2.13 to -0.20)	0.277
IOS	0.54 ± 0.24 (0.06 to 1.05)	0.75 ± 0.31 (0.15 to 1.14)	0.090

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation (range).

D = diopters; TIA = target-induced astigmatism; SIA = surgically induced astigmatism; DV = difference vector; CI = correction index; AE = angle of error; ME = magnitude of error; IOS = index of success.

*Student t -test; [†]Mann-Whitney test.

각막두께, 평균각막곡률, 각막난시, 각막내피세포밀도 모두 두 군에서 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

수술 전후로 현성굴절검사상 난시성 굴절오차 및 각막지형도상 각막난시는 두 군에서 모두 유의미하게 감소하였다. TIA는 절개부 개방군에서 1.28 ± 0.55 디옵터, 절개부 유지군에서 1.26 ± 0.29 디옵터였고 두 군에서 유의미한 차이는

없었으며($p=0.872$), SIA는 각 군에서 0.80 ± 0.52 , 0.53 ± 0.32 디옵터, CI는 각각 0.63 ± 0.28 , 0.43 ± 0.26 으로, 절개부 개방군이 절개부 유지군보다 난시교정 효과가 컸다($p=0.048$, $p=0.025$). 이외 DV, AE의 절대값, ME, IOS에서는 두 군간의 유의미한 차이가 없었다. 각막내피세포밀도는 두 군 모두에서 수술 전후로 유의미한 밀도 감소가 나타났으나

Figure 1. Double-angle plot of preoperative and postoperative corneal astigmatism in wound open and wound intact groups. D = diopters.

두 군 간의 유의미한 차이는 없었다(Table 2).

SIA에 대해 TIA와 절개부 종류에 따른 선형회귀분석 시, 결정계수(R^2)는 0.388이었고($p < 0.001$), TIA에 대한 기울기(β)는 0.543 ($p < 0.001$), 절개부 개방 또는 유지 여부에 대한 기울기는 0.293 ($p = 0.025$)으로, 절개부 유지군보다 절개부 개방군의 난시교정 효과가 유의미하게 높은 것으로 회귀분석에서 나타났다(Table 3, 4).

두 군에서 SIA 및 CI 차이의 유의성이 달라지는 TIA를 탐색하였고, TIA 1.2디옵터를 기준으로 나누어 하위집단분석을 시행하였다. TIA가 1.2디옵터 미만인 하위집단에서는 절개부 개방 및 절개부 유지군에서 SIA가 각각 0.54 ± 0.27 , 0.52 ± 0.25 디옵터, CI는 각각 0.65 ± 0.28 , 0.53 ± 0.29 로 두 군 간에 유의미한 차이가 나지 않았다. TIA가 1.2디옵터 이상인 하위집단에서는 SIA는 각각 1.09 ± 0.59 , 0.54 ± 0.37 디옵터, CI는 각각 0.60 ± 0.28 , 0.36 ± 0.23 으로 절개부 개방군이 유의미하게 난시교정 효과가 높은 것으로($p = 0.022$, $p = 0.047$) 나타났다(Table 5).

각 군에서 수술 전후 각막난시 분포를 double angle plot으로 나타냈다(Fig. 1). TIA를 x축, SIA를 y축으로 하여 분포도를 그렸을 때, SIA가 TIA보다 큰 경우는 절개부 개방군에서 2안(9.5%), 절개부 유지군에서 1안(4.8%)이었고, SIA가 TIA보다 1디옵터 이상 작은 경우는 절개부 개방군에서 3안(14.3%), 절개부 유지군에서 7안(33.3%)이었다(Fig. 2).

모든 수술에서 각막절개는 술 전 계획대로 시행되었고, 데스메막천공 등의 합병증은 발생하지 않았다. 초음파수정

체유화술 및 후방인공수정체삽입 과정에서도 후낭파열 등의 합병증은 없었으며 수술 후 상처누출, 안내염 등도 확인되지 않았다.

고 찰

백내장수술 시 각막난시를 교정하는 방법으로 펌토초레이저를 이용한 활모양각막절개는 이미 여러 기관에서 사용하고 있는 방법이며 그 효과에 대한 보고도 여러 차례 이루어진 바 있다. 하지만 상피투과각막절개에서 절개부를 열어주는 술기의 난시교정 효과에 대해서는 아직 연구가 아직 많이 이루어지지 않았고, 본 연구에서는 이를 확인하여 실제 임상인들의 술기에 도움을 주고자 한다.

수술 후 3개월째 검사에서 원주굴절오차, 각막난시는 두 군 모두에서 수술 전보다 통계적으로 유의하게 감소하였고 이는 펌토초레이저를 이용한 활모양각막절개의 난시교정 효과를 나타낸다. Alpíns 방법을 이용한 벡터분석 결과, 본 연구에서는 CI 값이 절개부 개방군에서 0.63 ± 0.28 , 절개부 유지군에서 0.43 ± 0.26 으로 두 군 간의 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다($p = 0.025$). 기존 보고들에서의 CI 값을 참고한다면, Chan et al⁶의 보고에서는 Victus 펌토초레이저 장비를 사용하여 자체적인 nomogram으로 각막중심부로부터 8 mm 지점에 상피투과각막절개를 시행하였고 절개부 유지로 남겨두었을 때 CI 값이 0.86 ± 0.52 로 보고되었다. Lopes et al⁹의 보고에서는 Catalys 펌토초레이저 장비를 사용하여 Donnenfeld nomogram에 따라 각막중심

Figure 2. Scatterplot of target induced astigmatism vs. surgically induced astigmatism in wound open (A) group and wound intact (B) group. D = diopters.

부로부터 9 mm 지점에 상피투과각막절개를 절개부 유지로 시행, CI 값은 0.83 ± 0.51 로 보고되었다. 한편 Ganesh et al⁸의 보고에서는 Catalys 펄초레이저 장비를 사용하여 각막중심부로부터 8 mm에 상피투과절개를 Donnenfeld nomogram에서 20% 감량된 양으로 시행하였고, 절개부 개방 방식으로 CI 값 0.95를 얻었다. 국내 보고 중에서는 Bang et al¹³의 보고가 본 연구의 조건과 유사했고, LenSx 펄초레이저 장비, Donnenfeld nomogram을 사용, 절개부 유지로 진행하여 2년 경과 관찰 시 CI 값 0.68 ± 0.45 로 보고하였다. 절개부 개방을 시행한 Ganesh et al⁸의 보고에서 가장 높은 CI 값이 얻어지고 본 연구에서는 타 보고들보다 낮은 CI 값을 얻었으나, 각 연구에서 사용한 장비, 각막중심부로부터의 각막절개 위치, nomogram, 표본집단의 나이, TIA 등의 조건들이 다르기 때문에 직접 비교에는 어려움이 있다. 추후 더 높은 교정률을 얻기 위해 nomogram 조정이 필요할 것으로 생각된다.

TIA는 두 군에서 차이가 없었으나 SIA는 절개부 개방군이 더 큰 것으로 나타났다($p=0.048$). 다만 SIA는 TIA와 유의한 상관관계가 있으므로, TIA 변화에 따른 SIA의 변화에 대한 다중선형회귀분석을 시행하였고 그 결과 절개부 개방 여부가 유의한 변수로 나타났으며, 절개부 개방군의 변화 기울기가 더 높은 것으로 나타났다($\beta=0.293$, $p=0.025$).

활모양각막절개 방식에 대해 비교한 기존 문헌으로는 Ganesh et al⁸와 Lopes et al⁹의 보고가 있으나 두 문헌 모두 상피투과각막절개와 기질내각막절개의 난시교정 효과를 비교한 것으로 본 연구와는 차이가 있다. Ganesh et al⁸의 연구에서는 CATALYS Precision femtosecond laser system을 이용하여 활모양각막절개를 시행하였고, 상피투과각막절개(절개부 개방)를 시행한 25안과 기질내각막절개를 시행한 25안을 비교하였다. 그 결과로 상피투과각막절개군에서 CI 값 0.95, ME 값 0.07디옵터, 기질내각막절개군에서는 CI 값 0.55, ME 값 -0.42디옵터로 계산되어 상피투과각막절개군에서 난시교정 효과가 더 뛰어났다고 보고하였다.⁶ Lopes et al⁹의 연구에서도 Catalys 장비를 사용하였고 20명의 환자에서 한쪽 눈은 상피투과각막절개(절개부 유지), 반대안은 기질내각막절개를 시행하여 비교하였고, CI 값이 각각 0.83 ± 0.51 , 0.68 ± 0.29 로 상피투과각막절개군에서 더 높은 난시교정 효과를 보였다. 기질내각막절개군에서는 보우만층의 절개가 이루어지지 않아 각막의 변형이 상대적으로 적게 일어나나, 상피투과각막절개 방식에서는 보우만층과 각막상피층에도 절개가 가해지므로 각막곡률을 감소시키는 효과가 더 클 것으로 생각된다. 본 연구의 절개부 개방 및 intact군의 비교에서도, 각막상피, 보우만층, 각막기질에 레이저만으로 절개를 가한 상태에서 절개부 개방을

시행할 시 물리적으로 절개 부위를 추가 박리해주는 효과가 나타나 난시교정 효과가 더 클 것으로 생각된다. 이러한 효과는 절개 부위가 길수록 더 크게 나타나 난시교정량이 많은 경우에 절개부 개방과 유지의 차이가 더욱 커질 것이다. 본 연구의 하위집단분석에서 TIA가 1.2디옵터 이하인 하위집단에서는 벡터분석에서 두 군 간의 난시교정 효과가 유의미한 차이를 보이지 않은 모습이 이를 보여준다.

절개부 개방 시 절개부 유지 방식에 비해 활모양각막절개 상처 부위로의 누출, 감염, 상피눈속증식(epithelial ingrowth) 등의 수술 후 합병증 발생 가능성이 더 높을 것으로 고려되나 본 연구에서는 이와 같은 합병증 발생은 관찰되지 않았다. 각막내피세포밀도는 수술 후 두 군에서 감소하였으나 두 군 간의 유의한 차이는 없었다. 본 연구에서 다뤄진 다른 연구들에서도 모두 합병증 발생은 없었다고 보고하고 있다.^{6,8,9,13} 상피투과각막절개 방식의 경우 상피층이 절개되기에 기질내각막절개에 비해 감염, 상처벌어짐, 상피눈속증식 등이 호발할 수 있다고 알려져 있으며,¹⁴ 이는 마찬가지로 절개부 유지에 비해 절개부 개방 방식에서 더 호발할 가능성이 있다. 이러한 합병증 발생률 비교에 대해서도 추후 다루어져야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서의 제한점으로는 관찰 기간이 3개월로 길지 않다는 점이 있다. Chan et al¹⁵의 보고에서는 상피투과각막절개를 이용한 활모양각막절개 후 2개월과 2년 관찰 후 그 결과를 비교하였는데, 각막난시에 대한 벡터분석에서 2개월째와 2년째에서 유의미한 차이가 없었다고 보고하여, 본 연구의 관찰 기간 3개월도 충분히 의미가 있을 것으로 생각된다. 또한, TIA 1.2디옵터를 기준으로 하위집단분석을 했을 때 각 집단의 크기가 10안, 13안으로 줄어들어 통계적 검정력에 한계가 있다. 추후 더 큰 규모의 분석을 통해 본 보고의 결과를 한번 더 확인하는 것이 도움이 되겠다.

본 연구에서 펄초레이저 상피투과 활모양각막절개 시 절개부를 개방하는 방식이 절개부를 유지하는 방식보다 더 큰 난시교정 효과를 보였다. 절개부 개방과 절개부 유지 방식을 직접 비교한 연구에 대해서는 저자들이 아는 한에서는 첫 번째 보고로 그 의미가 있다. 현재 펄초레이저의 사용이 조금씩 더 보편화되어가는 상황으로 이를 사용하는 임상 의들에게 본 연구 결과가 도움이 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Khan MI, Muhtaseb M. Prevalence of corneal astigmatism in patients having routine cataract surgery at a teaching hospital in the United Kingdom. J Cataract Refract Surg 2011;37:1751-5.
- 2) Yuan X, Song H, Peng G, et al. Prevalence of corneal astigmatism in patients before cataract surgery in northern China. J Ophthalmol

- 2014;2014:536412.
- 3) Hardten DR, Lindstrom RL. Surgical correction of refractive errors after penetrating keratoplasty. *Int Ophthalmol Clin* 1997;37:1-35.
 - 4) Haripriya A, Smita A. A case of keratitis associated with limbal relaxing incision. *Indian J Ophthalmol* 2016;64:936-7.
 - 5) Abbey A, Ide T, Kymionis GD, Yoo SH. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *Br J Ophthalmol* 2009;93:1566-9.
 - 6) Chan TC, Cheng GP, Wang Z, et al. Vector analysis of corneal astigmatism after combined femtosecond-assisted phacoemulsification and arcuate keratotomy. *Am J Ophthalmol* 2015;160:250-5.e2.
 - 7) Day AC, Lau NM, Stevens JD. Nonpenetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:102-9.
 - 8) Ganesh S, Brar S, Reddy Arra R. Comparison of astigmatism correction between anterior penetrating and intrastromal arcuate incisions in eyes undergoing femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2020;46:394-402.
 - 9) Lopes D, Loureiro T, Carreira R, et al. Transepithelial or intrastromal femtosecond laser arcuate keratotomy to manage corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *Arch Soc Esp Oftalmol (Engl Ed)* 2021;96:408-14.
 - 10) Park DY, Lim DH, Hwang S, et al. Comparison of astigmatism prediction error taken with the Pentacam measurements, Baylor nomogram, and Barrett formula for toric intraocular lens implantation. *BMC Ophthalmol* 2017;17:156.
 - 11) Alpíns NA. A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:524-33.
 - 12) Alpíns NA, Goggin M. Practical astigmatism analysis for refractive outcomes in cataract and refractive surgery. *Surv Ophthalmol* 2004;49:109-22.
 - 13) Bang CW, Choi JW, Han SY. Long-term results of arcuate keratotomy in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2019;60:946-52.
 - 14) Chang JSM. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy: a review. *Eye Vis (Lond)* 2018;5:6.
 - 15) Chan TC, Ng AL, Cheng GP, et al. Corneal astigmatism and aberrations after combined femtosecond-assisted phacoemulsification and arcuate keratotomy: two-year results. *Am J Ophthalmol* 2016;170:83-90.

= 국문초록 =

펌토초레이저 상피투과 활모양각막절개 시 절개부 개방이 난시교정에 미치는 영향

목적: 각막난시교정을 위한 펌토초레이저 상피투과 활모양각막절개 시 절개부를 그대로 유지하는 방법에 비해 절개부를 개방하는 방법에서의 난시교정 효과를 살펴보고자 하였다.

대상과 방법: 2016년 4월부터 2018년 12월까지 삼성서울병원 안과에서 펌토초레이저 백내장수술을 받을 환자를 대상으로 후향적으로 조사하였다. 절개부 개방군, 절개부 유지군에 대해 수술 전후로 각막난시의 크기 비교 및 벡터분석을 시행하였다.

결과: 절개부 개방군과 절개부 유지군에서 target induced astigmatism (TIA)가 각각 1.28 ± 0.55 , 1.26 ± 0.29 디옵터, surgically induced astigmatism (SIA)가 각각 0.80 ± 0.52 , 0.53 ± 0.32 디옵터, correction index (CI)가 각각 0.63 ± 0.28 , 0.43 ± 0.26 으로, 절개부 유지군보다 절개부 개방군에서 난시교정 효과가 더 큰 것으로 나타났다($p=0.048$, $p=0.025$). TIA가 1.2디옵터 미만인 하위집단에서는 두 군의 SIA 및 CI가 유의한 차이가 없었으나, TIA가 1.2디옵터 이상인 하위집단에서는 SIA가 절개부 개방군, 유지군에서 각각 1.09 ± 0.59 , 0.54 ± 0.37 디옵터, CI는 0.60 ± 0.28 , 0.36 ± 0.23 으로 절개부 개방군에서 난시교정 효과가 큰 것으로 나타났다($p=0.022$, $p=0.047$).

결론: 펌토초레이저 상피투과 활모양각막절개 시 절개부를 개방하는 방식이 절개부를 유지하는 방식보다 더 큰 난시교정 효과를 보였다. <대한안과학회지 2021;62(12):1592-1599>

정준교 / Joon Kyo Chung

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine