라식수술과 스마일수술 후 안압의 변화 및 그에 영향을 미치는 인자들

Changes in Intraocular Pressure and Factors that Influence such Changes after FS-LASIK and SMILE

김부기¹ · 정영택²

Bu Ki Kim, MD¹, Young Taek Chung, MD, PhD²

온누리스마일안과의원¹, 온누리안과병원²

Onnuri Smile Eye Clinic¹, Seoul, Korea

Onnuri Eye Hospital², Jeonju, Korea

Purpose: We compared the intraocular pressure (IOP) changes and the relationships thereof with corneal biomechanics after small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK).

Methods: A total of 234 eyes of 117 patients who underwent FS-LASIK surgery and 244 eyes of 122 patients who underwent SMILE surgery were included in this retrospective study. Data were collected preoperatively, and at 1, 3, and 6 months postoperatively, including IOP measured via non-contact tonometry, central corneal thickness (CCT), and mean keratometry (Km), flat keratometry (Kf), and steep keratometry (Ks) data obtained using a dual Scheimpflug analyzer. Between-group differences were compared. Simple linear regression analysis was used to determine the relationship between changes in the IOP and the various parameters.

Results: The IOP changes were 5.41 ± 2.28 mmHg in the FS-LASIK group and 4.77 ± 2.38 mmHg in the SMILE group, thus significantly different ($p = 0.004$). The IOP did not change significantly from 1 to 6 months after FS-LASIK but increased significantly from 12.07 ± 1.77 mmHg at 3 months postoperatively to 12.77 ± 1.89 mmHg at 6 months postoperatively after SMILE ($p = 0.002$). All of the preoperative spherical equivalent and IOP, and changes in the Km, Kf, Ks, and CCT, were significantly associated with the IOP changes in both groups. The preoperative IOP evidenced the strongest relationship with the IOP changes in both groups ($R^2 = 0.414$ in the FS-LASIK group, $R^2 = 0.292$ in the SMILE group).

Conclusions: The IOP fell significantly after FS-LASIK and SMILE surgery, significantly more so after FS-LASIK than SMILE. The preoperative IOP exhibited the greatest influence on the IOP decreases after both FS-LASIK and SMILE.

J Korean Ophthalmol Soc 2021;62(10):1355-1363

Keywords: Femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis, Intraocular pressure, Small incision lenticule extraction

■ Received: 2021. 6. 7. ■ Revised: 2021. 7. 20.

■ Accepted: 2021. 9. 27.

■ Address reprint requests to **Young Taek Chung, MD, PhD**
Onnuri Eye Hospital, #325 Baekje-daero, Wansan-gu, Jeonju
54972, Korea
Tel: 82-63-227-2774, Fax: 82-63-278-8701
E-mail: ytchungc@daum.net

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

라식, 라섹, 스마일과 같은 각막굴절교정술은 각막중심부의 각막조직을 절삭함으로써 수술이 이루어지기 때문에 수술 후 각막의 생체역학적 변화가 나타나고, 많은 연구에서 각막굴절교정술 후 안압이 수술 전에 비하여 낮게 측정되었다고 보고하였다.¹⁻³ 그러나 여러 연구에 따르면 각막굴절교정술 전후 안압 측정값의 변화는 단순히 각막절삭량과 정비례하지 않았고, 수술 전후의 눈 상태, 수술 방법 등 다양한 인자들에 영향을 받는다고 하였다.^{4,5}

© 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.

근시는 녹내장의 위험 인자 중 하나이고, 각막굴절교정술 후 사용되는 스테로이드 점안액이 스테로이드 녹내장을 일으킬 위험성이 있다.^{6,8} 그리고 안압상승은 진행성 녹내장 손상의 가장 중요한 위험요소로 알려져 있는데, 각막굴절교정술 후 안압이 낮게 측정됨으로써 녹내장의 발견이 늦어져 말기 녹내장으로 진행된 경우들이 보고되었다.^{9,10} 그러므로 각막굴절교정술 후 환자 진료 시 안압이 실제보다 낮게 측정되었다는 것을 염두하고 녹내장의 위험성을 평가해야 할 것이다. 기존 라식수술과 라섹수술을 대상으로 한 여러 연구들에 따르면 안압은 라식수술 시 라섹수술에 비하여서, 근시교정이 원시교정에 비하여서 더 감소하였다고 하였고, 안압감소 정도는 어린 나이, 높은 술 전 안압, 높은 교정량 등과 연관이 있었다고 하였다.¹⁻⁵

스마일수술은 각막절편을 만들지 않고 펌토초레이저를 이용하여 절삭하고자 하는 양만큼 각막실질조각(lenticule)을 만들고 그것을 소절개부위를 통해 제거해서 근시 및 난시를 교정하는 수술 방법으로 2011년도에 임상적으로 시작된 이후 높은 효율성과 안전성, 빠른 시력회복, 적은 통증, 적은 건성안 유발 등의 장점으로 현재 국내외 널리 시행되고 있다.^{11,12} 스마일수술은 기계적 안정성이 높은 앞기질을 보존하기 때문에 각막절편을 만들고 시행하는 라식수술과 각막의 생체역학적 변화 양상이 다르리라 예상이 되고 실제로 안압 측정값의 변화가 다르게 나타났다는 보고가 해외에 몇 개의 연구에서 발표되었으나,^{13,14} 국내 연구 결과는 현재까지 발표된 바 없다. 본 연구에서는 라식수술과 스마일수술을 받은 환자를 대상으로 수술 전후 안압 측정값 변화 양상과 이에 영향을 주는 인자들을 비교 분석하고자 하였다.

대상과 방법

2017년 1월부터 2019년 12월까지 온누리스마일안과의원에서 라식수술 받은 117명, 234안과 스마일수술을 받은 122명, 244안을 대상으로 의무기록을 후향적으로 조사하였다. 본 연구는 보건복지부 지정 공공기관 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받았고(승인 번호: P01-202105-21-012), 헬싱키선언(Declaration of Helsinki)을 준수하였다. 대상 환자 포함 기준으로는 만 18세 이상으로 1년 이상 굴절력의 변화가 없고, 현성굴절검사상 근시도수 9.0 diopters (D) 이하, 난시도수 4.0 D 이하, 술 후 예상되는 잔여 각막두께가 300 μ m 이상으로 하였고, 약시, 각막혼탁, 망막질환, 백내장, 녹내장 등의 안과적 질환이나 당뇨, 결체조직질환 같은 전신질환이 있는 경우는 연구에서 제외하였다.

수술 전 검사로는 나안시력, 최대교정시력, 세극등현미경 검사, 현성굴절검사, 조절마비굴절검사, 안압검사, 안저검사, 자동굴절검사기(KR-8900[®], Topcon Corp., Tokyo, Japan), 비접촉 경면현미경(noncom Robo-ca[®], Konan Medical Inc., Tokyo, Japan), 이중샤임플러그 전안부분석기(Galiei G6[®], Ziemer Ophthalmic System AG, Port, Switzerland) 등을 시행하였다. 안압검사는 비접촉안압계(CT-800[®], Topcon Corp., Tokyo, Japan)를 사용하였고, 연이어 두 번 측정된 안압의 차이가 2 mmHg 이하면 평균값으로 하였는데, 3 mmHg 이상이면 2회 더 측정하여 양측의 값을 버리고 남은 두 값의 차이가 2 mmHg 이하면 평균값을 취하였다. 만일 남은 두 값의 차이가 3 mmHg 이상이면 위의 과정을 반복하였으며 소수점 값은 버림으로 처리하였다. 중심각막두께는 이중샤임플러그 전안부분석기로 측정된 각막두께에서 가장 낮은 값으로 정의하였고, 수술 전후 중심각막두께의 차이를 절삭량으로 정의하였다. 수술 전 예상 각막절삭량은 라식수술은 Mel 90[®] 엑시머레이저(Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany), 스마일수술은 Visumax[®] 펌토초레이저(Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)에서 계상된 값을 사용하였다. 그리고 수술 전후 평균각막곡률(mean keratometry, Km), 편평각막곡률(flat keratometry, Kf), 가파른각막곡률(steepest keratometry, Ks) 값은 이중샤임플러그 전안부분석기에서 측정된 값을 사용하였다.

수술은 두 명의 술자(Y.T.C, B.K.K)에 의해 시행되었고, 모든 수술은 정시를 목표로 하였으며 수술 2-3분 전 0.5% proparacaine hydrochloride (Alcain[®], Alcon, Fort Worth, TX, USA)로 점안마취하였다. 라식수술은 먼저 Visumax[®] 펌토초레이저(Carl Zeiss Meditec AG)를 이용하여 각막절편을 만들었는데 절편두께는 110 μ m, 직경은 9.0 mm, 경첩의 위치는 12시 방향이었다. 미세등근주걱으로 각막절편을 박리 후 경첩 방향으로 들어올리고 광학부 직경을 6.0-6.7 mm로 하여서 Mel 90[®] 엑시머레이저(Carl Zeiss Meditec AG)를 이용하여 절삭하였다. 그 후 절삭면을 평형 염색(BSS[®], Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 이용하여 세척하고, 각막절편을 제 위치로 복원시킨 뒤 90초간 건조한 후 고정하였다.

스마일수술은 Visumax[®] 펌토초레이저를 이용하여 시행하였으며, 레이저 세팅은 500 kHz, 110 nJ laser pulse, 3.5 μ m spot spacing으로 하였고, 광학부 직경은 6.0-6.7 mm, 각막두께 직경은 광학부 직경에 0.8 mm 크게 하였으며, 각막두께 두께는 110-120 μ m로 하였다. 절개창은 각막의 11시 방향, 2.0 mm의 길이로 하였다. 레이저 시술이 끝난 후에는 미세등근주걱으로 각막실질조각의 전면과 후면을 박리하고 포셉을 이용하여 제거하였으며, 각막실질주머니를 평형

염액으로 세척한 뒤 수술을 마무리하였다.

두 수술 모두에서 술 후 환자는 점안 항생제 0.5% moxifloxacin (Vigamox[®], Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 5일 동안 하루 4번, 0.1% fluorometholone (Opti-V[®], Reyon Pham., Seoul, Korea)은 하루 4번 5주 동안 사용하도록 하였고, 0.1% sodium hyaluronate (Tearinfree[®], DHP Korea, Seoul, Korea)를 수시로 점안하도록 하였다. 수술 후 경과 관찰은 1, 3, 6개월에 하였고, 내원 시마다 비접촉안압계로 안압을 측정하였으며, 이중사임플러그 전안부분석기를 이용하여 각막두께 및 각막곡률을 측정하였다.

통계학적 분석은 SPSS 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였으며, 수술 전 두 군 간의 차이는 chi-square test 또는 independent *t*-test를 사용하였고, 수술 전후 측정치 변화의 두 군 간의 차이는 independent *t*-test를 사용하였다. 수술 전후 차이는 'Δ' 기호를 사용하였고, 수술 전 수치에서 수술 후 6개월째 수치를 빼서 계산하였다. 수술 후 경과 관찰 기간 동안 결과치의 변화는 repeated measures analysis of variance를 사용하였다. 그리고 단순선형회귀분석을 통해 수술 전후 안압 변화와 관련된 인자들의 관련성을 분석하였다. 그래프는 Microsoft excel 2019 software (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA)를 이용하여 제작하였으며, 결과값은 평균 ± 표준편차의 형식으로 표시하였고, *p*-value가 0.05보다 작은 경우에 통계학적으로 유의한 것으로 간주하였다. 수술 전 환자에게 수술의 세부 사항 및 위험성, 기대되는 이익, 가능한 합병증 등에 대해 충분한 상담을 거쳤고, 사전 동의를 받았다.

결 과

모든 수술은 수술 중 특별한 합병증 없이 성공적으로 시행되었다. 라식군은 234안, 스마일군은 244안이었으며, 성별은 라식군 남자 128안, 여자 106안, 스마일군은 남자 134안, 여자 110안, 수술 전 구면렌즈대응치는 라식군 -3.82 ± 1.57 D, 스마일군 -3.99 ± 1.47 D, 안압은 라식군 17.78 ± 2.46 mmHg, 스마일군 17.54 ± 2.27 mmHg, 중심각막두께는 라식군 575.88 ± 24.89 μm, 스마일군 566.47 ± 27.57 μm, Km은 라식군 43.05 ± 1.38 D, 스마일군 43.08 ± 1.4 D, Kf

Figure 1. Changes in intraocular pressure (IOP) after femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) and small incision lenticule extraction (SMILE). Whereas IOP was not significantly changed from 1 month (M) to 6 months after FS-LASIK, IOP was significantly increased from 3 months to 6 months postoperatively after SMILE. *Paired *t*-test, *p* < 0.05.

Table 1. Baseline characteristics for eyes that had FS-LASIK or SMILE

	FS-LASIK	SMILE	<i>p</i> -value
Age (years)	27.82 ± 7.82	27.19 ± 6.94	0.315*
Sex (M/F) (n)	128/106	134/110	0.171 [†]
Myopia (D)	-3.32 ± 1.59	-3.51 ± 1.44	0.176*
Astigmatism (D)	-1.01 ± 0.77	-0.95 ± 0.7	0.373*
SE (D)	-3.82 ± 1.57	-3.99 ± 1.47	0.256*
IOP (mmHg)	17.78 ± 2.46	17.54 ± 2.27	0.290*
CCT (μm)	575.88 ± 24.89	566.47 ± 27.57	0.091*
Km (D)	43.05 ± 1.38	43.08 ± 1.4	0.797*
Kf (D)	42.21 ± 1.42	42.34 ± 1.39	0.367*
Ks (D)	43.88 ± 1.45	43.83 ± 1.51	0.710*
Expected AD/LT (μm)	67.9 ± 22.73	92.88 ± 19.49	<0.001*
OZD (mm)	6.48 ± 0.1	6.44 ± 0.16	0.745*

Values are presented as mean ± standard deviation unless otherwise indicated.

FS-LASIK = femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis; SMILE = small incision lenticule extraction; M/F = male/female; D = diopters; SE = spherical equivalent; IOP = intraocular pressure; CCT = central corneal thickness; Km = mean keratometry; Kf = flat keratometry; Ks = steep keratometry; AD = ablation depth; LT = lenticule thickness; OZD = optic zone diameter.

*Independent sample *t*-test; [†]chi-square test.

는 라식군 42.21 ± 1.42 D, 스마일군 42.34 ± 1.39 D, Ks는 라식군 43.88 ± 1.45 D, 스마일군 43.83 ± 1.51 D, 광학부는 라식군 6.48 ± 0.1 mm, 스마일군 6.44 ± 0.16 mm로 모두 두 군 간 유의미한 차이를 보이지 않았고, 예상 각막절삭량은 라식군 67.9 ± 22.73 μ m, 스마일군 92.88 ± 19.49 μ m로 유의미한 차이를 보였다($p < 0.001$) (Table 1).

두 군에서 수술 전과 수술 후 경과 관찰 동안 안압, Km, Kf, Ks, 중심각막두께를 비교하였는데, 모든 항목에서 모든

경과 관찰 시기에 수술 전에 비하여 유의미한 차이를 보였으며(모두 $p < 0.001$), 안압이 라식군에서는 술 후 경과 관찰 기간 동안 유의미한 변화를 보이지 않은 반면, 스마일군에서는 술 후 1개월째 12.15 ± 1.85 mmHg, 3개월째 12.07 ± 1.77 mmHg, 6개월째 12.77 ± 1.89 mmHg로 3월과 6개월 사이에 유의미한 상승을 보였다($p = 0.002$) (Fig. 1). 그리고 라식군과 스마일군의 비교에서는 모든 경과 관찰 기간 동안 Km, Kf, Ks, 중심각막두께가 스마일군에서 유의미하게

Table 2. Preoperative and postoperative IOP and relevant variables

		Preoperative	Post 1 M	Post 3 M	Post 6 M	<i>p</i> -value*					
						Pre-post 1 M	Pre-post 3 M	Pre-post 6 M	Post 1-3 M	Post 3-6 M	Post 1-6 M
IOP (mmHg)	FS-LASIK	17.78 ± 2.46	12.49 ± 2.15	12.28 ± 2.04	12.38 ± 2.02	<0.001	<0.001	<0.001	0.812	0.974	0.967
	SMILE	17.54 ± 2.27	12.15 ± 1.85	12.07 ± 1.77	12.77 ± 1.89	<0.001	<0.001	<0.001	0.980	0.002	0.010
	<i>p</i> -value [†]	0.290	0.080	0.260	0.022						
Km (D)	FS-LASIK	43.05 ± 1.38	40.13 ± 1.95	40.32 ± 1.86	40.2 ± 1.93	<0.001	<0.001	<0.001	0.999	0.981	0.993
	SMILE	43.08 ± 1.4	39.42 ± 1.81	39.52 ± 1.74	39.58 ± 1.74	<0.001	<0.001	<0.001	0.940	0.991	0.818
	<i>p</i> -value [†]	0.797	<0.001	<0.001	0.001						
Kf (D)	FS-LASIK	42.21 ± 1.42	39.48 ± 1.96	39.71 ± 1.9	39.6 ± 1.96	<0.001	<0.001	<0.001	0.999	0.974	0.960
	SMILE	42.34 ± 1.39	38.73 ± 1.85	38.84 ± 1.75	38.89 ± 1.76	<0.001	<0.001	<0.001	0.925	0.992	0.797
	<i>p</i> -value [†]	0.367	<0.001	<0.001	<0.001						
Ks (D)	FS-LASIK	43.88 ± 1.45	40.78 ± 1.99	40.93 ± 1.87	40.8 ± 1.94	<0.001	<0.001	<0.001	0.991	0.982	0.999
	SMILE	43.83 ± 1.51	40.12 ± 1.86	40.21 ± 1.81	40.26 ± 1.8	<0.001	<0.001	<0.001	0.959	0.992	0.860
	<i>p</i> -value [†]	0.710	<0.001	<0.001	0.004						
CCT (μm)	FS-LASIK	575.88 ± 24.89	509.42 ± 32.54	511.24 ± 31.62	514.59 ± 32.87	<0.001	<0.001	<0.001	0.956	0.775	0.427
	SMILE	566.47 ± 27.57	477.87 ± 33.24	482.88 ± 33.53	484.33 ± 33.94	<0.001	<0.001	<0.001	0.434	0.973	0.209
	<i>p</i> -value [†]	0.091	<0.001	<0.001	<0.001						

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

IOP = intraocular pressure; M = month(s); FS-LASIK = femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis; SMILE = small incision lenticule extraction; Km = mean keratometry; D = diopters; Kf = flat keratometry; Ks = steep keratometry; CCT = central corneal thickness.

*Changes over time by repeated measures analysis of variance test; †inter-group difference by independent sample *t*-test.

Table 3. The Δ IOP, Δ CCT, and Δ IOP/ Δ CCT at 6 months between FS-LASIK and SMILE

	FS-LASIK	SMILE	p-value*
Δ IOP (mmHg)	5.41 ± 2.28	4.77 ± 2.38	0.004
Δ CCT (μ m)	61.65 ± 23.95	82.14 ± 20.33	<0.001
Δ IOP/ Δ CCT (mmHg/ μ m)	0.1 ± 0.06	0.06 ± 0.03	<0.001
Δ IOP/ Δ SE (mmHg/D)	1.6 ± 0.85	1.26 ± 0.82	<0.001

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

IOP = intraocular pressure; CCT = central corneal thickness; FS-LASIK = femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis; SMILE = small incision lenticule extraction; SE = spherical equivalent; D = diopters.

*Independent *t*-test.

낮았고, 안압은 1개월, 3개월에는 유의미한 차이를 보이지 않다가 6개월째 스마일군에서 유의미하게 높았다($p=0.022$) (Table 2).

수술 전과 술 후 6개월째 안압의 변화(Δ)는 라식군에서 5.41 ± 2.28 mmHg, 스마일군에서 4.77 ± 2.38 mmHg로 스마일군에서 유의하게 적었고($p=0.004$), Δ 중심각막두께는 라식군에서 61.65 ± 23.95 μ m, 스마일군에서 82.14 ± 20.33 μ m로 스마일군에서 유의하게 높았으며($p<0.001$), Δ 중심각막두께 당 Δ 안압은 라식군에서 0.1 ± 0.06 mmHg/ μ m,

스마일군에서 0.06 ± 0.03 mmHg/ μ m ($p<0.001$), Δ 구면렌즈대응치 당 Δ 안압은 라식군에서 1.6 ± 0.85 mmHg/D, 스마일군에서 1.26 ± 0.82 mmHg/D ($p<0.001$)로 유의하게 스마일군에서 낮았다(Table 3).

Fig. 2는 두 군에서 수술 후 안압의 변화와 관련된 인자들을 관계를 산점도와 단순회귀분석을 통해 나타내었는데, 두 군 모두에서 수술 전 구면렌즈대응치, 수술 전 안압, Δ Km, Δ Ks, Δ Kf, Δ 중심각막두께와 유의미한 연관성을 보였고, 수술 후 중심각막두께는 라식군에서 연관성을 보였

Figure 2. Scatterplots and results for simple linear regression analysis between changes in Δ intraocular pressure (IOP) and age, preoperative spherical equivalent (SE), preoperative IOP, Δ mean keratometry (Km), Δ steep keratometry (Ks), Δ flat keratometry (Kf), preoperative central corneal thickness (CCT), Δ CCT, or postoperative CCT between femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) and small incision lenticule extraction (SMILE). Δ IOP was significantly related to preoperative SE, preoperative IOP, Δ Km, Δ Ks, Δ Kf, Δ CCT in both groups, and Δ IOP was significantly related to Δ postoperative CCT only in FS-LASIK group (A-I). D = diopters.

으나 스마일군에서는 연관성을 보이지 않았다. 그리고 결정계수(R^2)가 라식군에서 0.414, 스마일군에서 0.292로 두 군 모두에서 수술 전 안압이 수술 후 안압 변화와 가장 높은 연관성을 보였다.

고 찰

안압측정법의 기준(gold standard)은 골드만압평안압계로 받아들여졌으나 안압 측정 시 각막에 대한 직접 접촉이 이루어지고 비교적 측정 시간이 긴 단점이 있는데,¹⁵ 비접촉 안압계는 각막 접촉 없이 안압 측정이 가능하여 술 후 감염 위험을 낮추고 측정이 간편하면서 측정 시간이 짧은 장점이 있으며 골드만압평안압계의 측정값과 비슷하게 측정된다는 연구 결과들이 있다.^{16,17} 최근 굴절교정수술 후 안압 변화에 대한 연구가 안구반응분석기(ocular response analyzer)나 동적 샤임플러그 분석장비(dynamic scheimpflug analyzer) 등 비교적 최신장비를 이용한 연구들이 주를 이루고 있으나,^{3,4,14} 국내 굴절교정수술을 하는 많은 병원에서 안압의 1차 검사 장비로 비접촉안압계가 주로 사용되고 있는 현실을 고려하였을 때 라식수술과 스마일수술 후 안압 변화를 비접촉안압계를 이용하여 비교한 본 연구는 의미가 있으리라 생각된다.

본 연구에서 라식군과 스마일군 두 군 모두에서 유의미한 안압감소가 관찰되었다. 그리고 스마일군에서 안압감소가 4.77 ± 2.38 mmHg로 라식군에서 안압감소인 5.41 ± 2.28 mmHg보다 유의미하게 적었고($p=0.004$), 특히 Δ 중심 각막두께당 Δ 안압은 라식군에서 0.1 ± 0.06 mmHg/ μ m, 스마일군에서 0.06 ± 0.03 mmHg/ μ m로 큰 차이를 보였다($p<0.001$). 이는 기존 연구 결과들과 일치하는 결과였는데, Chen et al¹³의 연구에서 라식수술과 스마일수술 후 안압의 변화를 비교하였는데 골드만압평안압계로 측정한 안압과 안구반응분석기로 측정한 corneal-compensated intraocular pressure (IOP) 감소는 유의미하게 스마일수술 후 적었다고 하였고, Li et al¹⁴의 연구에서 역시 단위 각막절삭량당 골드만압평안압계로 측정한 안압의 변화가 라식군에서 0.08 ± 0.03 mmHg/ μ m, 스마일군에서 0.06 ± 0.03 mmHg/ μ m로 유의미하게 스마일군에서 적었다고 하였다. 이는 각막의 조직학적 특성 때문이라 생각되어지는데, 각막을 이루고 있는 앞쪽 1/3부위의 기질 부위에 있는 콜라겐 섬유들이 뒤쪽 2/3 부위의 기질에 있는 콜라겐 섬유에 비하여 작고, 덜 정렬되어 있으며, 더 치밀하여서, 이 때문에 각막기질의 앞 1/3 부분이 뒤 2/3보다 약 두 배의 인장 강도를 보인다고 하였다.^{18,19} Knox Cartwright et al²⁰은 펄토초레이저를 이용하여 각막절편을 만든 군과 절편 형성 과정 중 중심부 수평절

개만 시행한 군, 그리고 주변부 수직절개만 시행한 군에서의 각막의 전방이동 정도를 비교하여 각막의 약화 정도를 평가하였는데, 수직절개만 시행한 군과 온전히 각막절편을 만든 군에서 각각 32%, 33%의 비슷한 수준의 각막약화가 관찰된 반면, 수평절개만 시행한 군에서는 5%의 약화만 관찰되었다고 하였다. 그리고 Schallhorn et al⁵는 100-130 μ m 두께의 각막절편 형성만으로 안압이 0.94 mmHg 감소되었다고 보고하였다. 종합해보면 라식수술 시 시행하는 각막절편 형성 과정 중 수직절개가 각막의 기계적 강도에 중요한 역할을 하는 앞기질의 손상을 일으키고, 이 때문에 안압 저하가 발생한다고 생각할 수 있다. 스마일수술의 특성상 각막의 수직절개 길이가 2-4 mm로 라식수술의 수직절개 길이인 20-24 mm에 비하여 적고, 본 연구에서는 스마일수술 시 2 mm 절개창을 사용하였기 때문에 안압감소가 라식수술 후 보다 유의미하게 적었으리라 생각된다.

기존 연구에서 스마일수술이 라식수술에 비하여 절삭량이 많았다는 보고들이 있었는데, Chen et al¹³은 잔여각막두께를 술 전 각막두께로 나눈 값이 라식군에서 0.64 ± 0.03 , 스마일군에서 0.57 ± 0.04 로 스마일군에서 유의미하게 절삭량이 많았다고 하였고, Lazaridis et al²¹의 연구에서 역시 각막절삭량이 라식군에서 99 ± 38 μ m, 스마일군에서 116 ± 28 μ m로 스마일군에서 유의미하게 많았다. 본 연구에서도 스마일군에서 라식군에 비하여 6개월간의 경과 관찰 기간 동안에 중심각막두께는 유의미하게 얇았으며, Km, Kf, Ks는 유의미하게 낮았다.

Li et al¹⁴은 라식수술과 스마일수술 후 안압의 변화를 비교하였는데, 안구반응분석계로 측정한 Goldmann-correlated IOP (IOP g)가 라식수술 후 1개월에서 3개월, 그리고 3개월에서 6개월까지 유의미하게 감소한 반면 스마일수술 후 IOP g가 1개월에서 3개월에 유의미하게 감소하였으나 3개월에서 6개월에 유의미한 감소 없이 오히려 증가하는 소견을 보였다고 하였다. Li et al¹⁴의 연구에서 술 전 구면렌즈 대응치가 라식군 -5.95 ± 1.78 D, 스마일군 -5.6 ± 1.43 D로 저자들의 경우보다 높았고, 나이 및 안압 측정 장비 등이 달라서 일률적으로 비교할 수 없지만, 저자들의 연구 결과에서 술 후 라식군에서 안압이 감소하여 6개월간 유의미한 변화를 보이지 않은 반면 스마일군에서 술 후 3개월에서 6개월째에 유의미한 안압상승을 보인 것은 유사한 양상이다. 이 같은 결과가 나타난 원인을 유추해보면 스마일수술 시 라식수술과 비교했을 때 각막두께 직경이 상대적으로 좁으면서 앞기질이 보존되기 때문에 술 후 시간 경과에 따른 유착이 더 잘 이루어져 각막의 강도가 증가했고 이 때문에 유의미한 안압상승이 이루어졌으리라 생각된다(Fig. 3). 이 외에도 라식수술이 스마일수술에 비하여 각막간질세포

세포 자멸사 및 염증이 많은 것으로 알려져 있는데 수술 후 각막의 조직학적 안정성 또한 안압의 변화 양상에 영향을 줄 수 있으리라 생각되고,²² Chihara et al²³은 라식수술 후 유발된 건성안이 눈의 모세혈관압을 감소시켜서 안압이 저하될 수 있다는 가능성을 제시하였는데, 스마일수술이 라식수술에 비하여 건성안 유발이 덜 심하고 회복이 빠르기 때문에 이 역시 저자들의 결과에 부합되는 기전이나 정확한 인과관계에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 사료된다.²⁴

기존 여러 연구에 따르면 각막굴절교정술 후 안압의 감소는 굴절교정을 위한 각막의 절삭 및 이로 인한 각막의 생체역학적 약화 때문에 발생되기 때문에 교정되는 굴절력, 각막절삭량과 양의 상관관계가 있다고 보고되었다.¹⁻⁵ 저자들의 결과도 이와 비슷하였는데 라식군과 스마일군 모두에서 안압의 감소와 술 전 구면평균대응치, ΔK_m , ΔK_s , ΔK_f , Δ 중심각막두께와 유의미한 연관성을 보였다. 흥미로운 것은 두 군 모두에서 위와 같은 교정량과 관계있는 인자들보다 수술 전 안압이 술 후 안압감소와 가장 높은 연관성을 보인 것이다. 기존 연구들 중 저자들과 비슷한 결과를 보고한 경우가 있었는데, Chihara et al²³은 라식수술 후 안압감소는 술 전 안압이 높을수록 많이 감소하였다고 하였고, Schallhorn et al⁵는 라식수술 또는 라섹수술 시행 받은 174,666안을 대상으로 한 대규모 후향적 연구에서 술 전 안압은 술 후 안압하강 정도를 예측할 수 있는 가장 강력한 예측 인자라고 하였다. 이와 같은 결과에 대한 정확한 기전은 알려져 있지 않으나 Schallhorn et al⁵는 각막의 타고난 탄성력의 차이 때문일 것이라고 설명하였고, 이에 대한 추가적 연구가 필요하리라 생각된다. 또 하나의 흥미로운 결과는 술 후 중심각막두께가 안압 변화량과 스마일군에서는 연관성을 보이지 않았으나, 라식군에서는 유의미한 연관성을 보인 것이다. 이는 스마일군에 비하여 라식군에서 술 후 각막의 생체역학적 약화가 더 심하게 나타났고, 약화된 각

막에서는 잔여각막두께가 얇을수록 더 안압 변화가 심하였던 것으로 유추할 수 있다. 역시 이에 대한 추가적 연구가 필요하리라 사료된다.

비접촉안압계는 각막에 공기를 분사하고 각막의 압평을 광학적으로 측정하여 안압값을 산출하는데, 다른 각막을 통해 측정하는 안압 측정 장비와 마찬가지로 각막두께에 영향을 받는다. Chen et al²⁵은 골드만압평안압계, 리바운드 안압계, 비접촉안압계를 이용해 측정한 안압값과 중심각막두께와의 연관성을 분석하였는데 비접촉안압계가 중심각막두께에 가장 영향을 많이 받는다고 하였다. El Danasoury et al²⁶은 라식수술 전후 안압의 변화를 비접촉안압계와 골드만압평안압계로 측정하였는데 안압의 평균 감소가 비접촉안압계로 측정 시 6.1 ± 2.3 mmHg, 골드만압평안압계로 측정 시 4.3 ± 2.1 mmHg였다고 하였다. Li et al¹⁴의 연구에서는 안구반응분석계와 비접촉안압계를 이용하여 라식수술과 스마일수술 전후 안압변화량을 측정하였는데 Δ 중심각막두께당 Δ 안구반응분석계로 측정한 안압(corneal-compensated IOP)이 라식수술 후 0.04 ± 0.02 mmHg, 스마일수술 후 0.03 ± 0.03 mmHg, Δ 중심각막두께당 Δ 비접촉안압계로 측정한 안압이 라식수술 후 0.05 ± 0.03 mmHg, 스마일수술 후 0.05 ± 0.02 mmHg로 두 수술 모두에서 비접촉안압계로 측정한 안압변화량이 더 컸다. 기존 연구들의 결과를 종합해보면 비접촉안압계는 다른 안압계에 비하여 중심각막두께에 영향을 많이 받고, 이로 인해 굴절교정수술 전후 안압변화량도 다른 안압계에 비하여 높을 것으로 생각된다. 다양한 안압계를 이용하여 종류별 특성에 따른 결과 차이도 함께 조사하는 추후 연구가 필요하리라 사료된다.

본 연구의 한계점으로는 첫째, 안압을 여러 번 측정하여 오류를 줄이려 하였으나 한차례 방문 시 측정한 값을 사용한 점이다. 안압은 날마다 차이가 있을 수 있고, 일중 변화도 있을 수 있으므로 측정치의 정확도가 떨어질 가능성이

Figure 3. Schematic of (A) femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) and (B) small incision lenticule extraction (SMILE). Although lenticule thickness of SMILE is bigger than ablation depth of FS-LASIK, in SMILE the anterior corneal stroma is preserved and only horizontal damage to cornea occurs, resulting in good postoperative corneal adhesion.

있다. 둘째, 술 후 경과 관찰 기간이 6개월로 비교적 짧은 것이다. 더 긴 경과 관찰을 통한 비교 연구가 필요하리라 생각된다. 셋째, 라식군에서 각막절편의 두께를 110 μm 로만 하였으나 스마일군에서는 각막뚜껑의 두께를 110-120 μm 로 통일하지 않은 것이다. 각막절편 형성의 차이를 더 확실하게 보려면 각막뚜껑 두께를 각막절편 두께와 같게 해서 비교하는 것이 더 정확했으리라 생각된다.

결론적으로 저자들의 연구에서 라식수술과 스마일수술 후 안압은 술 전에 비하여 유의미하게 감소하였는데, 스마일수술에서 각막절삭량이 더 많았음에도 불구하고 안압감소 정도는 라식수술과 비교해서 유의미하게 더 낮았다. 그리고 두 수술 모두에서 술 전 안압이 술 후 안압감소에 가장 중요한 예측 인자였다.

REFERENCES

- Cacho I, Sanchez-Naves J, Batres L, et al. Comparison of Intraocular pressure before and after laser in situ keratomileusis refractive surgery measured with Perkins tonometry noncontact tonometry, and transpalpebral tonometry. *J Ophthalmol* 2015;2015: 683895.
- Garzozzi HJ, Chung HS, Lang Y, et al. Intraocular pressure and photorefractive keratectomy: a comparison of three different tonometers. *Cornea* 2001;20:33-6.
- Shen Y, Su X, Liu X, et al. Changes in intraocular pressure values measured with noncontact tonometer (NCT), ocular response analyzer (ORA) and corvis scheimpflug technology tonometer (CST) in the early phase after small incision lenticule extraction (SMILE). *BMC Ophthalmol* 2016;16:205.
- Lee H, Roberts CJ, Kim TI, et al. Changes in biomechanically corrected intraocular pressure and dynamic corneal response parameters before and after transepithelial photorefractive keratectomy and femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1495-503.
- Schallhorn JM, Schallhorn SC, Ou Y. Factors that influence intraocular pressure changes after myopic and hyperopic LASIK and photorefractive keratectomy: a large population study. *Ophthalmology* 2015;122:471-9.
- Sihota R, Angmo D, Ramaswamy D, Dada T. Simplifying "target" intraocular pressure for different stages of primary open-angle glaucoma and primary angle-closure glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2018;66:495-505.
- Perkins ES, Phelps CD. Open angle glaucoma, ocular hypertension, low-tension glaucoma, and refraction. *Arch Ophthalmol* 1982;100:1464-7.
- Chihara E, Liu X, Dong J, et al. Severe myopia as a risk factor for progressive visual field loss in primary open-angle glaucoma. *Ophthalmologica* 1997;211:66-71.
- The AGIS Investigators. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 7. The relationship between control of intraocular pressure and visual field deterioration. *Am J Ophthalmol* 2000; 130:429-40.
- Shaikh NM, Shaikh S, Singh K, Manche E. Progression to end-stage glaucoma after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:356-9.
- Blum M, Lauer AS, Kunert KS, Sekundo W. 10-year results of small incision lenticule extraction. *J Refract Surg* 2019;35:618-23.
- Kim JR, Kim HS, Mun SJ, Chung YT. Outcomes of small incision lenticule extraction: mild to moderate myopia versus high myopia. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:963-8.
- Chen S, Lopes BT, Huang W, et al. Effectiveness of 4 tonometers in measuring IOP after femtosecond laser-assisted LASIK, SMILE, and transepithelial photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2020;46:967-74.
- Li H, Wang Y, Dou R, et al. Intraocular pressure changes and relationship with corneal biomechanics after SMILE and FS-LASIK. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57:4180-6.
- Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
- Kim WK, Cho EY, Kim HS, et al. Analysis of postoperative intraocular pressure underestimation measured with non contact tonometry after corneal refractive surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:167-72.
- Cho P, Lui T. Comparison of the performance of the Nidek NT-2000 noncontact tonometer with the Keeler Pulsair 2000 and the Goldmann applanation tonometer. *Optom Vis Sci* 1997;74:51-8.
- Randleman JB, Dawson DG, Grossniklaus HE, et al. Depth-dependent cohesive tensile strength in human donor corneas: implications for refractive surgery. *J Refract Surg* 2008;24:S85-9.
- Abahussin M, Hayes S, Knox Cartwright NE, et al. 3D collagen orientation study of the human cornea using X-ray diffraction and femtosecond laser technology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50:5159-64.
- Knox Cartwright NE, Tyrer JR, Jaycock PD, Marshall J. Effects of variation in depth and side cut angulations in LASIK and thin-flap LASIK using a femtosecond laser: a biomechanical study. *J Refract Surg* 2012;28:419-25.
- Lazaridis A, Drouzas K, Sekundo W, et al. Corneal clarity and visual outcomes after small-incision lenticule extraction and comparison to femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis. *J Ophthalmol* 2017;2017:5646390.
- Dong Z, Zhou X, Wu J, et al. Small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK: comparison of corneal wound healing and inflammation. *Br J Ophthalmol* 2014;98:263-9.
- Chihara E, Takahashi H, Okazaki K, et al. The preoperative intraocular pressure level predicts the amount of underestimated intraocular pressure after LASIK for myopia. *Br J Ophthalmol* 2005; 89:160-4.
- Shen Z, Shi K, Yu Y, et al. Small incision lenticule extraction (SMILE) versus femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis (FS-LASIK) for myopia: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2016;11:e0158176.
- Chen M, Zhang L, Xu J, et al. Comparability of three intraocular pressure measurement: iCare pro rebound, non-contact and Goldmann applanation tonometry in different IOP group. *BMC Ophthalmol* 2019;19:225.
- El Danasoury MA, El Maghraby A, Coopender SJ. Change in intraocular pressure in myopic eyes measured with contact and non-contact tonometers after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 2001;17:97-104.

= 국문초록 =

라식수술과 스마일수술 후 안압의 변화 및 그에 영향을 미치는 인자들

목적: 라식수술과 스마일수술 후 안압 측정값의 변화 양상과 그에 영향을 미치는 인자들을 비교해보고자 하였다.

대상과 방법: 라식수술을 받은 117명, 234안과 스마일수술을 받은 122명, 244안을 대상으로 후향적으로 조사하였다. 각 군의 수술 전, 수술 후 1개월, 3개월, 6개월에 비접촉안압계로 측정한 안압과 이중사임플러그 전안부분석기로 측정한 중심각막두께, 평균각막곡률, 편평각막곡률, 가파른각막곡률 등의 변화의 차이를 비교하였고, 단순선형회귀분석을 통해 수술 전후 안압 변화와 관련된 인자들의 관련성을 분석하였다.

결과: 술 후 6개월째 안압감소는 라식군에서 5.41 ± 2.28 mmHg, 스마일군에서 4.77 ± 2.38 mmHg로 스마일군에서 유의하게 적었고 ($p=0.004$), 안압이 라식군에서 수술 후 1개월부터 6개월간 유의미한 변화가 없었던 반면 스마일군에서 안압은 술 후 3개월째 12.07 ± 1.77 mmHg에서 6개월째 12.77 ± 1.89 mmHg로 유의미하게 상승하였다($p=0.002$). 두 군 모두에서 안압감소량은 수술 전 구면렌즈 대응치, 수술 전 안압, 평균각막곡률 변화, 편평각막곡률 변화, 가파른각막곡률 변화, 중심각막두께 변화와 유의미한 연관성을 보였고, 두 군 모두에서 수술 전 안압이 술 후 안압감소량과 가장 높은 상관관계를 보였다(라식군 $R^2=0.414$, 스마일군 $R^2=0.292$).

결론: 라식수술과 스마일수술 후 안압은 술 전에 비하여 유의미하게 감소하였는데 그 정도는 라식군에서 더 높았으며, 두 수술 모두에서 술 전 안압이 술 후 안압감소에 가장 중요한 예측 인자였다.

〈대한안과학회지 2021;62(10):1355-1363〉

김부기 / Bu Ki Kim
온누리스마일안과의원
Onnuri Smile Eye Clinic