

2.2 mm 및 2.8 mm 절개 백내장 수술에서 초음파 동역학이 술후 각막부종에 미치는 영향 비교

정진호 · 이혜진 · 이선호

제주대학교 의학전문대학원 안과학교실

목적: 2.2 mm와 2.8 mm 각막 절개 백내장 수술에서 초음파 동역학과 술후 각막 부종과의 관련성을 비교 분석하고자 하였다.

대상과 방법: 전향적 연구 방법으로 2.2 mm와 2.8 mm의 미세절개 백내장 수술을 각각 72안씩 총 144안을 시행하였으며, 수술시 총초음파시간(TUT), 누적분사에너지(CDE), 평균 비틀림진폭(ATA), 관류액 사용량, 수술 시간을 측정하였다. 술전과 술후 1일째, 1개월째에 빛간섭단층촬영기를 이용하여 중심각막두께를 측정하여, 각막부종의 정도를 계산하였다.

결과: 백내장 혼탁도, 수술중 측정인자, 그리고 술후 각막 부종의 평균치는 두 군간에 유의한 차이가 없었지만, 술후 각막 부종과 관련인자들 사이의 회귀분석에서 2.8 mm 절개군은 ATA ($p=0.028$)와 유의한 관련성을 보였고, 2.2 mm 절개군은 TUT ($p=0.001$), CDE ($p=0.001$), 관류액 사용량($p=0.021$), 그리고 수술시간($p=0.027$)과 유의한 관련성을 보였다.

결론: 백내장 술후 부종 발생에 2.2 mm 절개 수술에서는 초음파의 총 사용량 및 수술 시간이 유의한 영향을 끼치고, 2.8 mm 절개수술에서는 초음파 사용의 진폭(세기)이 유의한 영향을 미친다.

〈대한안과학회지 2013;54(5):709-715〉

현대 백내장 수술에서는 2.8-3.2 mm를 절개하는 백내장 초음파 유화술이 비교적 보편적으로 사용되어 왔다.¹ 관류와 흡입에 양측을 사용하는 미세절개 백내장 수술은 각막절개에 1.2-1.4 mm를 사용하며, 이는 절개 너비를 줄일 수 있다는 장점이 있으며, 일부의 경우에서 전방 유치가 불안정하거나, 초음파 바늘 주위로 관류액이 지나지 않기 때문에 절개부 화상이 발생하는 단점도 보고된 바 있다.^{2,3} 동측 미세절개 백내장 수술은 1.8-2.2 mm의 절개폭을 가지며, 표준 절개 동측 백내장 수술방법에서 적응이 쉽고, 전방 불안정성이 상대적으로 적은 편이며, 난시 유발이 적고, 창상 누출이 적다는 장점이 있지만, 수정체 조각을 지속적으로 당겨오는 힘이 상대적으로 부족하다는 보고도 있다.^{4,5}

최근 사용되는 비틀림 방식의 초음파 유화술(torsional phacoemulsification)은 초음파 첨단부를 32 kHz의 주파수로 회전 진동방식으로 움직여서 작동하며, 이러한 방법은 기존 전후 움직임을 사용한 초음파 유화기계가 가지는 단점인 유화술시의 반발과 떨림을 감소시켜서 각막 내피세포에 대한 보호 효과를 높이고, 초음파 에너지 사용량을 낮춤

으로써 안전성을 높였다.⁶⁻⁸

본 연구에서는 2.2 mm 미세절개군과 2.8 mm 절개군에서 동일하게 비틀림 방식의 초음파 유화수술을 시행하였을 때, 수술 중의 초음파 동역학 인자와 수술후 각막 부종이 차이가 발생하는지를 비교해보고자 하였으며, 두 절개 군에서 수술 후 각막 부종에 영향을 미치는 인자를 각각 찾아보고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 96인 144안에 대하여 전향적 무작위 방법으로 시행되었으며, 2.2 mm 미세 절개 백내장 수술의 충분한 경험에 있는 술자 1인(J.J)이 백내장 수술을 2.2 mm 절개군(72안) 및 2.8 mm 절개군(72안)으로 나누어 시행하였다. 수술 방법과 수술 중 측정요소에 대해 환자들에게 설명 및 동의를 구하였고, 동의서를 받았으며, 본 연구 계획은 병원 윤리위원회의 심의를 받았다. 수술전 각막 수술을 받은 병력이 있거나, 당뇨 망막 병증이나 홍채염이 있는 환자 및 기존에 각막 병증을 진단받은 환자는 제외되었다. 수술 중 후낭파열이 발생하거나, 유리체 소실이 있었던 경우는 연구에서 제외되었다. 백내장의 혼탁도는 수정체 혼탁도 분류 기준 III (the lens opacities classification system III, LOCS III)를 사용하여 분류하였다.

수술 전 각막 곡률을 측정하였으며, 수술시 각막 절개방

■ 접수 일: 2012년 9월 8일 ■ 심사통과일: 2013년 1월 11일
■ 게재허가일: 2013년 3월 25일

■ 책임저자: 정진호

제주특별자치도 제주시 아란13길 15
제주대학교병원 안과
Tel: 064-717-1362, Fax: 064-717-1102
E-mail: amario@naver.com

향은 각막 곡률이 가장 높은 방향에서 시행하였다. 수술 시 동공은 0.5% tropicamide와 0.5% phenylephrine 혼합 점안제(Midrin P, Santen, Osaka, Japan)를 사용하여 산동하였으며, Proparacaine hydrochloride 0.5% 점안제(Alcaine®, Alcon labs, TX, USA)를 사용하여 점안 마취를 시행하였다. 수술 중 전방 유지 및 내피세포 보호를 위하여 1.0% sodium hyaluronate (Healon, LG life science, Seoul, Korea) 점탄물질을 사용하였다. 21 게이지 주사바늘로 수정체 전낭을 천공한 다음 원형전낭절개용 포셉을 사용하여 5.5-6.0 mm의 원형 전낭 절개를 시행하였으며, Infiniti 시스템(Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 phaco-chop 방식으로 초음파 유화술을 시행하였다. 2.8 mm 절개를 사용한 동축 초음파 유화술은 0.9 mm 30도 경사의 mini-flared 초음파 팁에 0.9 mm 보라색 슬리브(microsmooth sleeve)를 끼워서 사용하였다. 2.2 mm 미세절개를 사용한 동축 초음파 유화술은 0.9 mm 30도 경사의 mini-flared 초음파 팁에 0.9 mm 적색 슬리브(microsmooth ultrasleeve)를 끼워서 사용하였다. 초음파 유화술은 두 군 모두 Infiniti의 pure torsional continual with linear amplitude 모드를 선택하여 시행하였다. 두군 모두 동일하게 최대 진공음압 한계는 360 mmHg, 흡인률은 37 ml/min, 기본 관류액 높이는 107 cm로 설정하였다. 2.8 mm 절개군에서는 Akreos-AO (Bausch & Lomb, Rochester, NY) 인공수정체를 낭내 삽입하였고, 2.2 mm 절개군에서는 MI-60 (Bausch & Lomb, Rochester, NY) 인공수정체를 낭내 삽입하였다. 이후 점탄물질을 제거하였으며, 절개부위에 관류액으로 기질부위 수화를 시행하였고, 봉합은 시행하지 않은 상태에서 창상의 유출은 없음을 확인하고 수술을 종료하였다.

수술에 사용된 초음파 동역학 인자는 total ultrasound time (TUT), cumulative dispersed energy (CDE), aver-

age torsional amplitude (ATA), 그리고 관류액의 양과 수술 시간을 측정하였다. TUT는 수술 동안 초음파의 총 사용 시간을 의미하며, ATA는 사용된 초음파의 평균적인 강도를 의미한다. CDE는 다음의 공식으로 계산되었다: $CDE = ATA \times TUT \times 0.4$. 수술 시간은 각막 절개 시점부터 각막 수화까지의 시간으로 측정하였다.

중심 각막 두께는 빛간섭 단층 촬영기(optical coherence tomography, OCT, Cirrus; Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)를 사용하여 수술 전과 수술 후 1일째 및 한 달째에 측정하였다(Fig. 1). 환자들은 0.5% levofloxacin (Cravit, Santen, Osaka, Japan)과 1% prednisolone acetate (Pred Forte, Allergan, Irvine, CA, USA)를 하루 4번 4주동안 점안하도록 하였으며, 수술 후 1달째 안압 검사를 포함한 자세한 세극등 검사를 시행하였다.

두 군 사이에 술전 생체 측정인자, 수술중 초음파 동역학 인자, 술후 각막 부종간의 차이가 있는지를 독립표본 *t* 검정을 통해 분석하였다. 두 군은 수정체의 핵 경화도를 기준으로 계층화하였고, 계층화된 세부군 끼리도 Mann-Whitney 검정을 통해 비교하였다.

수술 중 측정된 초음파 동역학 인자와 술후 1일째 부종의 관계를 선형 회귀분석 방법으로 분석하였다. 수술 후 부종이 심한 군과 수술 후 부종이 심하지 않은 군 사이에 초음파 동역학 인자가 차이가 있는지를 비교하기 위하여, 술후 1일째 측정된 각막 부종의 평균치인 64 μ m를 기준으로 하여, 수술 후 1일째 측정된 중심각막 두께의 부종이 그 이상인 군과 미만인 군으로 나누어 두 군간에 초음파 동역학 인자를 비교하였다.

통계분석은 SPSS 통계 분석 프로그램(version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 시행하였으며, 통계적으로 유의한 차이는 0.05 미만을 기준으로 하였다.

결 과

Table 1은 본 연구에 참가한 환자들의 생체 역학적 특징을 보여주고 있으며, 2.2 mm 절개군과 2.8 mm 절개군 사이에 성별이나 나이, 절개축 방향, 핵 경화도, 술전 각막 두께의 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 환자들의 나이는 핵경화도와 유의한 상관성($p < 0.001$)을 나타내었으나, 술전 각막 두께와는 유의한 상관성을 보여주지 않았다($p = 0.464$).

술후 1일째와 술후 한 달째 측정된 각막 두께의 평균치는 두 군간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. Table 2는 두 군을 핵경화도에 따라 층화 분류하였을 때, 두 군간에 핵경화도의 분포가 유의한 차이가 없음을 나타내어 주고 있다. 핵 경화도가 증가함에 따라 수술중에 측정된 모든 초음파

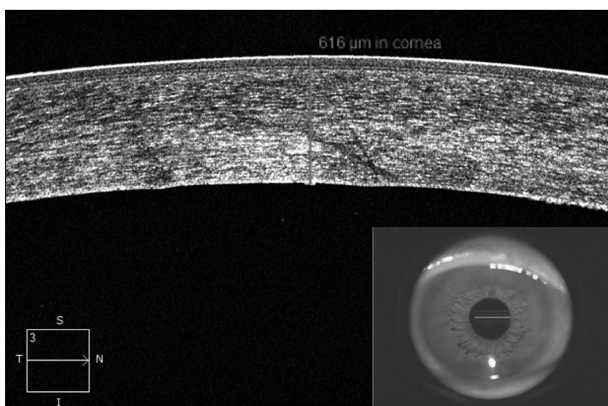


Figure 1. Measurement of central corneal thickness using spectral domain optical coherence tomography (Cirrus; Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA) with the anterior module.

Table 1. Demographic data and preoperative biometric data

	Standard coaxial	Micro-coaxial	p-value*
Gender ratio (M:F)	34:38	43:29	0.139
Age (year)	70.67 ± 8.27	72.30 ± 10.85	0.365
Wound orientation (temporal:superior)	51:17	56:16	0.783
Nucleus opacity	3.30 ± 0.72	3.26 ± 0.73	0.627
Preoperative corneal thickness (μm)	530.02 ± 32.61	534.86 ± 31.23	0.326

Values are presented by mean ± standard deviation.

Table 2. Comparison of the intraoperative phacodynamics parameters and the corneal edema at postoperative day 1 between 2.8 mm and 2.2 mm microincisional coaxial cataract surgical groups. Data were stratified by nuclear sclerosis as graded by the lens opacification classification system III

NO	Group	N	Total Ultrasound Time (second)	Cumulative Dispersed Energy (unit)	Average Torsional Amplitude (unit)	Fluid (ml)	Case time (second)	Increase of corneal thickness at post-op 1 day (μm)	Increase of corneal thickness at post-op 1 month (μm)
2	2.8 mm	4	22.63 ± 15.01	1.80 ± 1.23	21.60 ± 4.80	37.33 ± 3.21	462.00 ± 88.28	12.00 ± 1.73	4.73 ± 2.34
	2.2 mm	7	35.39 ± 14.61	3.30 ± 1.90	22.70 ± 8.18	51.33 ± 11.02	469.89 ± 58.34	43.08 ± 41.03	5.35 ± 5.28
	p-value		0.309	0.229	0.782	0.078	0.782	0.052	0.659
3	2.8 mm	46	38.82 ± 18.30	5.48 ± 3.32	34.10 ± 8.94	58.35 ± 14.43	474.85 ± 68.28	63.61 ± 29.40	8.09 ± 6.14
	2.2 mm	39	42.21 ± 21.29	6.14 ± 3.41	36.87 ± 9.01	61.26 ± 21.51	485.25 ± 68.29	56.67 ± 41.51	9.18 ± 6.45
	p-value		0.430	0.358	0.151	0.470	0.476	0.145	0.278
4	2.8 mm	18	60.77 ± 23.27	9.11 ± 3.82	37.73 ± 10.22	76.45 ± 24.55	513.45 ± 66.77	72.73 ± 66.11	12.09 ± 9.91
	2.2 mm	22	48.47 ± 15.51	7.70 ± 3.09	38.52 ± 7.03	69.50 ± 21.45	519.36 ± 72.25	79.64 ± 55.34	11.72 ± 10.34
	p-value		0.299	0.418	0.749	0.693	0.895	0.560	0.704
5	2.8 mm	4	83.20 ± 4.83	16.79 ± 2.42	51.97 ± 11.18	110.67 ± 48.81	595.00 ± 17.94	81.33 ± 54.27	14.12 ± 12.89
	2.2 mm	4	84.27 ± 26.10	15.59 ± 4.88	46.30 ± 2.45	101.33 ± 15.31	628.00 ± 84.87	112.00 ± 27.62	17.09 ± 16.93
	p-value		0.513	0.827	0.513	0.827	0.513	0.369	0.473
Total	2.8 mm	72	43.62 ± 22.22	6.40 ± 4.27	34.93 ± 10.12	62.66 ± 22.23	490.81 ± 70.31	63.94 ± 39.23	9.24 ± 8.34
	2.2 mm	72	44.98 ± 20.87	6.65 ± 3.90	36.01 ± 9.68	64.16 ± 22.13	498.25 ± 81.32	65.63 ± 48.01	10.02 ± 8.91
	p-value		0.795	0.799	0.580	0.759	0.496	0.819	0.798

Values are presented by mean ± standard deviation.

Table 3. Linear regression analysis of intraoperative phacodynamics parameters against corneal edema at post-operative day 1

Group		Total Ultrasound Time (second)	Cumulative Dispersed Energy (unit)	Average Torsional Amplitude (unit)	Fluid (ml)	Case time (second)
Corneal edema (μm)	2.8 mm	Cor [†] (sig.)	0.114 (0.355)	0.216 (0.076)	0.344 (0.004)*	0.148 (0.228)
	2.2 mm	Cor [†] (sig.)	0.392 (0.001)*	0.382 (0.001)*	0.123 (0.298)	0.269 (0.021)*

*Statistically significant ($p < 0.05$); [†]Pearson correlation.

동역학 인자는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 초음파 동역학 인자 가운데 CDE는 초음파 노출시간 및 강도의 곱으로 표현되는 인자이며, 핵 경화도가 증가함에 따라 가장 높은 증가도를 나타내었다. 술후 1일째 평균 각막 부종의 정도는 2.8 mm 절개군에서 $63.94 \pm 39.23 \mu\text{m}$, 2.2 mm 절개군에서 $65.63 \pm 48.01 \mu\text{m}$ 였다. 술후 1달째 평균 각막 두께의 증가치는 2.8 mm 절개군에서 $9.24 \pm 8.34 \mu\text{m}$, 2.2 mm 절개군에서 $10.02 \pm 8.91 \mu\text{m}$ 로 측정되어, 수술 전 각막 두께와 비교하였을 때 평균 1.8%의 증가를 나타내었다.

비록 두 군간에 초음파 동역학 인자나 술후 각막 두께의 평균치가 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 이를 회귀분석

으로 검정하였을 때 2.2 mm 절개군과 2.8 mm 절개군에서 술후 부종에 영향을 끼치는 인자는 서로 다른 것으로 나타났다. Table 3에서 보여주듯이, 선형 회귀분석 검사상 2.2 mm 절개군에서 술후 각막부종은 초음파 동역학 인자 가운데 TUT, CDE, 관류액의 양, 그리고 수술 시간과 비례하는 것으로 나타났으며, 수술중 사용된 초음파의 총 시간을 의미하는 TUT와 가장 높은 인과관계를 보여주었다($p < 0.001$). 이와는 다르게, 2.8 mm 절개군에서는 술후 각막 부종 발생에 대하여 수술 중 사용된 초음파의 평균 강도를 의미하는 ATA와 유의한 인과관계를 보여주었다($p = 0.004$).

술후 1일째 측정된 각막 두께의 증가치가 $64 \mu\text{m}$ 이상인

Table 4. Comparison of intraoperative and postoperative parameters between the mild and moderate corneal edema subgroups in 2.8 mm standard coaxial cataract surgery group. Cases were divided into 2 subgroups with a cut-off value of 64 μ m at postoperative day 1 for corneal edema

	Corneal thickness < 64 μ m (n = 48)	Corneal thickness \geq 64 μ m (n = 24)	p-value
Total ultrasound time (second)	43.05 \pm 23.59	44.19 \pm 21.10	0.835
Average torsional amplitude (unit)	32.24 \pm 9.83	37.62 \pm 9.82	0.028*
Cumulative dispersed energy (unit)	5.95 \pm 4.45	6.86 \pm 4.11	0.383
Fluid used (ml)	62.56 \pm 22.73	62.75 \pm 22.05	0.970
Case time (second)	497.15 \pm 99.07	499.35 \pm 65.42	0.930
Corneal edema at 1 day (μ m)	35.76 \pm 17.30	110.79 \pm 47.35	0.000*

Values are presented by mean \pm standard deviation.

*Statistically significant ($p < 0.05$).

Table 5. Comparison of intraoperative and postoperative parameters between the mild and moderate corneal edema subgroups in 2.2 mm micro-coaxial cataract surgery group. Cases were divided into 2 subgroups with a cut-off value of 64 μ m at postoperative day 1 for corneal edema

	Corneal thickness < 64 μ m (n = 45)	Corneal thickness \geq 64 μ m (n = 27)	p-value
Total ultrasound time (second)	39.16 \pm 19.08	52.06 \pm 21.63	0.010*
Average torsional amplitude (unit)	35.37 \pm 10.90	36.52 \pm 7.88	0.602
Cumulative dispersed energy (unit)	5.66 \pm 3.24	7.85 \pm 4.45	0.024*
Fluid used (ml)	58.98 \pm 20.78	70.52 \pm 22.66	0.029*
Case time (second)	471.51 \pm 68.17	514.26 \pm 67.88	0.010*
Corneal edema at 1 day (μ m)	32.09 \pm 14.42	115.28 \pm 35.59	0.000*

Values are presented by mean \pm standard deviation.

*Statistically significant ($p < 0.05$).

군과 미만인 군으로 나누어 초음파 동역학 인자와의 관련성을 선형 회귀 분석하였을 때, 2.2 mm 절개군에서는 TUT와 총 수술시간이 유의한 관련성을 나타내었고, 2.8 mm 절개군에서는 ATA가 가장 유의한 관련성을 나타내었다 (Table 4, 5).

수술 후 1개월째 측정된 교정시력(log MAR)은 2.8 mm 절개군에서 0.020 \pm 0.006이고, 2.2 mm 절개군에서 0.019 \pm 0.005으로, 두 군간에 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=0.917$). 수술 후 1개월까지 시행한 세극등 검사에서 각막의 창상 화상 등의 합병증은 관찰된 바 없었으며, 술후 감염이나 지속되는 염증 소견 역시 관찰되지 않았다.

고 찰

미세절개 백내장 수술은 각막의 절개창의 크기를 줄인다는 장점이 있지만, 3-4단계의 핵경화도를 가진 백내장에서 수술 시간이 지연되고, 초음파 사용시간이 길어지며, 초음파 바늘의 움직임에 의한 장력으로 인해 수술 후 절개창의 크기가 일시적으로 늘어나는 단점이 보고되기도 하였다. 반면, 핵경화도 2단계 이하의 백내장에서는 대부분의 연구에서 절개창의 크기가 줄어든 것이 수술 결과에 영향을 끼치

지 않는 것으로 보고되었다.^{3,9}

기존의 연구는 대부분 핵경화도 4단계를 넘는 백내장은 연구에서 제외시켰지만,^{4,5,9,10} 본 연구는 Table 2에 기술한 바와 같이 핵 경화도 5단계인 8예를 포함하여 좀더 다양한 정도의 핵 경화도를 가진 환자군을 대상으로 하였다. 2.2 mm 절개군과 2.8 mm 절개군 사이에 백내장 핵 경화도의 차이는 없었으며, 또한 두 군사이에 초음파 동역학 수치의 평균치는 유의한 통계적 차이가 발견되지 않았다. 다만 수술 시간면에서 볼 때 통계적으로 유의한 차이는 아니지만 2.2 mm 절개군에서 평균적으로 10초 정도 수술 시간이 길었다. 핵경화도 5단계인 군에서는 2.2 mm 절개군에서 대략 30초 정도 수술 시간이 길게 측정되었고, 술후 1일째 중심각막 두께도 2.2 mm 절개군에서 2.8 mm 절개군보다 30 μ m 가량 증가한 양상이 관찰되었다. 이는 2.2 mm 미세절개 백내장 수술이 핵 경화도가 심한 군에서 효율성이 저하된다는 기존의 보고와 관련이 있을 것으로 생각한다.^{7,9} 다만 5단계인 환자군의 수가 8안으로 통계적인 의미를 가지기 위해서는 좀더 많은 개체수가 포함되어야 할 것이다.

본 연구에서는 수술중에 기록된 초음파 동역학 수치가 수술의 효율성과 함께 각막에 가해지는 스트레스를 나타내는 지표로 활용될 수 있을 것이라고 판단하였다. Li et al¹¹

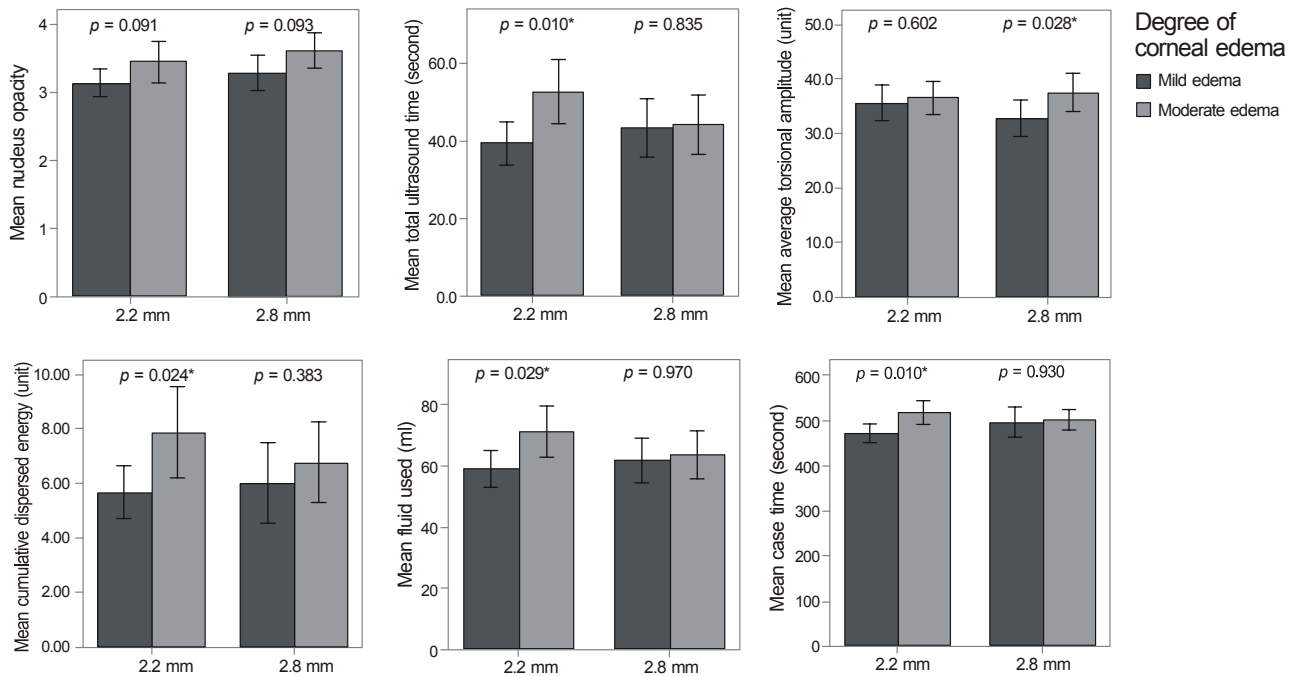


Figure 2. Comparison of preoperative and intraoperative parameters between the mild and moderate postoperative corneal edema subgroups. Mild corneal edema group means corneal edema at postoperative day 1 $\leq 64 \mu\text{m}$, Moderate corneal edema group means corneal edema at postoperative day 1 $> 64 \mu\text{m}$. *Statistically significant by the Mann-Whitney test.

이 시행한 연구에서는 CDE나 각막 부종의 평균값이 2.2 mm 절개군에서 2.8 mm 절개군보다 낮게 나타났으나, 본 연구에서는 동역학 수치와 각막 부종의 수치의 평균값이 두 군 사이에서 유의한 차이를 보이지는 않았다. 다만 선형 회귀 분석 결과 초음파 동역학 수치는 2.2 mm 절개군과 2.8 mm 절개군에서 다른 양상으로 각막 부종의 형성에 영향을 끼치고 있음을 확인하였다. 선형 회귀분석 결과 2.8 mm 절개군에서는 수술 중 사용된 초음파의 평균 강도를 의미하는 ATA가, 2.2 mm 절개군에서는 초음파의 총 사용 시간 및 에너지 총량을 의미하는 TUT 및 CDE와 수술 시간이, 각각 수술 후 각막 부종에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 수술 후 부종이 심한 군과 수술 후 부종이 심하지 않은 군 사이에 초음파 동역학 인자가 차이가 있는지를 비교하기 위하여, 술후 1일째 측정된 각막 부종의 평균치인 $64 \mu\text{m}$ 를 기준으로 하여, 수술 후 1일째 측정된 중심각막 두께의 부종이 그 이상인 군과 미만인 군으로 나누어 두 군 간에 초음파 동역학 인자를 비교하였을 때도 동일한 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 2).

여기에서 특이한 사실은, 초음파 에너지의 총 사용시간 (TUT) 및 수술 시간이 2.8 mm 절개군에서는 수술 1일째 각막 부종에 상대적으로 유의한 영향을 주지 않았다는 것이다. 이는 각막에 가해지는 스트레스와 이에 의한 수술 후 각막 부종을 조절하기 위해서 신경써야 할 인자가 무엇인지를 보여준다. 2.8 mm 절개 백내장 수술시에는 초음파를

사용할 때의 평균 강도(ATA)가 수술 후 1일째 각막 부종에 영향을 좀더 끼치는 것으로 나타났으므로, 초음파 유화술을 시행할 때 초음파 강도를 무리하게 높이지 않고, 수정체를 작게 조각내어 높은 음압을 사용하여 흡입하는 방법 등을 병행하여 사용해 보는 것이 바람직할 것이다.

이에 비하여 2.2 mm 미세 절개 백내장 수술 시에는, 위와는 반대로 초음파의 평균 강도(ATA)보다는, 초음파 에너지의 총 사용시간(TUT) 및 수술 시간이 길어질수록, 수술 후 심한 각막 부종을 유발하는 것으로 나타났다. Infiniti system을 이용한 2.2 mm 미세절개 백내장 수술시에 보편적으로 사용되는 구성은, 초음파 바늘의 직경은 그대로 유지하고, 초음파를 덮는 슬리브(sleeve)의 직경을 줄여서 작아진 절개창에 대응하는 것으로 알려졌다. 그러나 슬리브의 직경 감소는 유입되는 관류 흐름의 감소를 유발하며, 제조사의 사용 설명서에 따르면 2.8 mm 절개에 사용되는 microsmooth 슬리브의 경우 분당 유입 관류량이 69.7 ml/min 이지만, 2.2 mm 미세절개에 사용되는 ultrasmooth 슬리브의 경우 분당 유입 관류량이 60.6 ml/min 으로 줄어든다. 이는 백내장의 수정체 조각을 당기는 힘을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 또한 초음파 바늘의 직경은 그대로 유지되는데 비하여 분당 유입 관류량이 13% 가량 줄어들게 되므로, 유입 관류량의 한계치와 유출 관류량의 한계치에 차이가 발생하여, 이론적으로는 전방에 와류를 좀더 발생시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다.⁵ 또한 초음파 바늘

의 직경은 그대로인데, 절개창의 크기가 작아지므로, 초음파 바늘을 움직이는 데에 있어서 좀더 제한이 발생할 수 있고, 초음파 바늘을 움직일 때 각막 절개창이 물리적으로 좀더 스트레스를 받을 수 있다는 단점이 있다. 백내장 수술 도중 초음파의 강도가 높을 경우 전방에 와류를 유발할 수 있지만, 이는 초음파 바늘의 직경에 비례하며, 절개창의 크기와는 상관성이 떨어진다. 그렇기 때문에 2.2 mm 미세절개 초음파 유화술은 2.8 mm 절개 초음파 유화술보다 수술 시간이나 초음파 사용시간이 길어질수록 각막에 스트레스를 유발하는 것으로 보여진다.

이러한 결과를 바탕으로 할 때, 2.2 mm 미세 절개 동축 초음파 유화술 시에는, 상대적으로 초음파의 강도를 조금 높더라도, 수정체 조각을 빠른 시간에 유화시켜 수술 시간을 감소시키도록 하고, 절개창의 크기는 상대적으로 줄여 들었으나 초음파 바늘의 크기는 그대로임을 감안하여, 초음파 바늘의 움직임을 조심스럽게 하여 각막 절개창이 물리적으로 스트레스를 덜 받도록 하는 것이, 수술 후 1일째 각막 부종을 줄이는 데 도움이 될 것으로 보인다. 최근 Infiniti system은 단속적으로 초음파를 사용하는 burst 모드의 일종인 intelligent-phaco (IP)[®] 모드를 사용할 수 있도록 향상되었기 때문에, 초음파 강도를 높일 때에도 IP 모드를 사용한다면 수술 후 각막 부종을 감소시키는 데에 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다. 이와는 다르게 2.8 mm 절개 동축 초음파 유화술 시에는 초음파의 강도가 수술 후 각막 부종에 직접적인 영향을 끼치는 것이 확인되었기 때문에, 초음파 사용시 이를 단속적으로 발사해주는 IP 모드를 사용하는 것이 큰 도움이 될 것으로 판단되며, 그 외에도 높은 음압을 사용하여 수정체 조각을 완전하게 유화되기 전의 상태에서 제거하는 mini-chop 방법도 수술 후 각막 부종의 감소에 도움이 되는 전략이 될 수 있을 것이다.

한편 중심각막의 두께를 측정할 때 OCT를 사용하는 방법을 사용하였는데, 이는 비접촉방법으로 각막 두께를 측정할 수 있어, 수술 후 각막이 부어있는 상태에서 접촉방법인 초음파 방법으로 각막 두께를 측정하는 것보다 좀더 정확한 측정이 되었다고 생각한다.

결론적으로 본 연구에서는 2.2 mm 미세절개 동축 초음파 유화술과 2.8 mm 절개 동축 초음파 유화술 시에, 수술 중 측정된 초음파 동역학 인자가 수술 후 각막 부종에 각각 다른 방식으로 관여한다는 것을 처음으로 증명하였으며, 2.2 mm 미세절개 동축 초음파 유화술 시에는 초음파 노출 시간 및 수술 시간이, 2.8 mm 절개 동축 초음파 유화술 시에는 초음파의 평균 강도가 수술 1일째 각막 부종에 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 다음과 같은 단점을 지니고 있다. 수술 후 각

막 스트레스를 평가하는데, 내피세포의 밀도를 측정하는 것과 각막 절개창부위의 두께 및 회복 양상을 측정하는 것이 도움이 될 수 있는데, 수술 1일째 중심각막 부종이 있는 경우 내피세포 측정에 어려움이 있어서, 본 연구에서는 이를 제외하였다는 제한점이 있다. 또한 절개창의 크기가 다른 두군에서 각막 절개창 부위의 구조변화를 측정하는 것이 수술법의 침습성을 비교할 수 있는 방법으로 사용되고 있는데, 본 연구에서는 이러한 분석을 시행하지 못하였다는 제한을 가진다.^{10,11}

현대의 백내장 수술 시 대부분은 한 달 정도 경과하면 수술 후 각막 부종은 미미한 수준으로 회복되기 때문에, 수술 1일째 각막 부종에 끼치는 영향을 분석하는 것이 큰 의미가 없어 보일 수도 있지만, 이러한 연구를 통하여 수술 중 각막에 스트레스를 끼치는 미세한 인자들을 확인하여, 이를 점진적으로 줄여나가는 것도 환자과 술자 모두에 도움이 될 것이라고 기대한다.

참고문헌

- 1) Kurz S, Krummenauer F, Gabriel P, et al. Biaxial microincision versus coaxial small-incision clear cornea cataract surgery. *Ophthalmology* 2006;113:1818-26.
- 2) Weikert MP. Update on bimanual microincisional cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17:62-7.
- 3) Kim HK, Lee HS, Park SH, Joo CK. Comparison between bimanual microincisional cataract surgery and conventional coaxial phacoemulsification. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:537-41.
- 4) Berdahl JP, Jun B, DeStafeno JJ, Kim T. Comparison of a torsional handpiece through microincision versus standard clear corneal cataract wounds. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:2091-5.
- 5) Can I, Takmaz T, Yildiz Y, et al. Coaxial, microcoaxial, and biaxial microincision cataract surgery: prospective comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:740-6.
- 6) Oh TH, Lee SJ, Kim HS. Clinical outcomes of cataract surgery using torsional mode phacoemulsification and soft shell technique. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1313-8.
- 7) Zeng M, Liu X, Liu Y, et al. Torsional ultrasound modality for hard nucleus phacoemulsification cataract extraction. *Br J Ophthalmol* 2008;92:1092-6.
- 8) Liu Y, Zeng M, Liu X, et al. Torsional mode versus conventional ultrasound mode phacoemulsification: randomized comparative clinical study. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:287-92.
- 9) Lee KM, Kwon HG, Joo CK. Microcoaxial cataract surgery outcomes: comparison of 1.8 mm system and 2.2 mm system. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:874-80.
- 10) Elkady B, Piñero D, Alió JL. Corneal incision quality: microincision cataract surgery versus microcoaxial phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:466-74.
- 11) Li YJ, Kim HJ, Joo CK. Early changes in corneal edema following torsional phacoemulsification using anterior segment optical coherence tomography and Scheimpflug photography. *Jpn J Ophthalmol* 2011;55:196-204.

=ABSTRACT=

Comparison of Phacodynamic Effects on Postoperative Corneal Edema Between 2.8 mm and 2.2 mm Microcoaxial Torsional Phacoemulsification

Jin Ho Jeong, MD, PhD, Hye Jin Lee, MD, Sun Ho Lee, MD

Department of Ophthalmology, Jeju National University School of Medicine, Jeju, Korea

Purpose: To compare the effects of phacodynamic parameters on postoperative corneal edema between 2.8 mm and 2.2 mm microincisional coaxial cataract surgery.

Methods: A prospective randomized study design was conducted and included 144 cases randomly divided into 2 coaxial cataract surgery groups based on incision size, a 2.8 mm incision ($n = 72$) or a 2.2 mm microincision ($n = 72$). The cataract was graded using the lens opacity classification system (LOCS III). The total ultrasound time (TUT), cumulative dispersed energy (CDE), average torsional amplitude (ATA), fluid amount, and case time were measured for each surgery. Central corneal thickness (CCT) was measured preoperatively, and 1 day and 1 month postoperatively. Intraoperative parameters were correlated with postoperative corneal edema.

Results: The average nuclear opacity, intraoperative parameters, and postoperative corneal edema did not differ significantly between the 2 surgical groups. Regression analysis showed corneal edema to be significant in ATA ($p = 0.028$) in the standard (2.8-mm incision) coaxial group, whereas edema was significantly different with TUT ($p = 0.001$), CDE ($p = 0.001$), fluid amount ($p = 0.021$), and case time ($p = 0.027$) in the microcoaxial (2.2-mm microincision) group. CCT returned to baseline with an increase of 1.8% at 1 month.

Conclusions: In the microcoaxial group, sustained ultrasound exposure and prolonged case time caused moderate postoperative corneal edema, while ATA was a significant factor in the standard coaxial group. These data can be used to devise an effective surgical strategy for cataract treatment.

J Korean Ophthalmol Soc 2013;54(5):709-715

Key Words: Coaxial microincisional cataract surgery, Corneal edema, Phacodynamics

Address reprint requests to **Jin Ho Jeong, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Jeju National University Hospital
#15 Aran13-gil, Jeju 690-767, Korea
Tel: 82-64-717-1362, Fax: 82-64-717-1102, E-mail: amario@naver.com