

## 초음파유화술의 높고 낮은 유체 역동학 지표들에 따른 수술 결과 비교

### Comparison of Clinical Outcomes between High and Low Fluid-Dynamic Parameters during Phacoemulsification

허원재<sup>1</sup> · 이진영<sup>2</sup> · 김홍균<sup>1</sup>

Won Jae Heo, MD<sup>1</sup>, Jin Young Lee, MD<sup>2</sup>, Hong Kyun Kim, MD, PhD<sup>1</sup>

경북대학교 의학전문대학원 안과학교실<sup>1</sup>, 메트로 안과<sup>2</sup>

Department of Ophthalmology, Kyungpook National University School of Medicine<sup>1</sup>, Daegu, Korea  
Metro Eye Center<sup>2</sup>, Daegu, Korea

**Purpose:** To compare the clinical outcomes between high and low fluid-dynamic parameter settings during phacoemulsification.

**Methods:** In this retrospective study we analyzed 183 consecutive eyes with senile cataracts that underwent cataract surgery between October 2010 and January 2015. The phacoemulsifications were performed with high and low fluidic parameter settings, which were designated by different fluid heights, aspiration flow rates, and vacuum settings. We measured and compared the intraoperative factors including fluid consumption, cumulative dissipated energy (CDE), ultrasound time, intraoperative complications, and pupil size changes during the phacoemulsification. Central corneal thickness (CCT), endothelial cell density (ECD), uncorrected visual acuity (UCVA), and best corrected visual acuity (BCVA) were measured and compared preoperatively and postoperatively.

**Results:** There was no statistically significant difference in the fluid consumption, CDE, or ultrasound time during phacoemulsification between the 2 groups. The frequencies of intraoperative complications were not statistically significant. UCVA, BCVA, and ECD were not statistically significantly different between the 2 groups during the postoperative follow-up. The low parameter group showed the lower increase in CCT on postoperative day 30.

**Conclusions:** The phacoemulsifications with low fluid-dynamic parameter resulted in less damage to intraocular tissue without any significantly different postoperative findings. The phacoemulsification with low fluid-dynamic parameter setting is more advantageous due to stable and safe aspects.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(12):1860-1866

**Key Words:** Cataract surgery, Fluid-dynamic parameters, Phacodynamics, Phacoemulsification

초음파유화술을 이용한 백내장 적출술은 1967년 Kelman<sup>1</sup>에 의해 발표된 이후 많은 발전을 거듭해 왔으며, 백내장

초음파유화술 및 후방 인공수정체 삽입술은 가장 널리 이용되는 백내장 치료법이 되었다.<sup>2,3</sup> 초음파유화술 기구뿐만 아니라 인공수정체, 점탄 물질 등의 발전은 보다 안전하고 효과적인 백내장 수술의 시행을 가능하게 하였다. 백내장 수술을 위한 이러한 여러 기술들의 발전으로 인하여 백내장 수술 시행 자체를 넘어서 수술 후의 보다 나은 시력 결과와 보다 적은 합병증을 달성하는 것이 술자들의 큰 관심사가 되었다. 백내장 수술 중에 홍채감입, 후낭파열, 방사상

■ Received: 2015. 5. 29.      ■ Revised: 2015. 7. 8.

■ Accepted: 2015. 9. 25.

■ Address reprint requests to Hong Kyun Kim, MD, PhD  
Department of Ophthalmology, Kyungpook National University  
Hospital, #130 Dongdeok-ro, Jung-gu, Daegu 41944, Korea  
Tel: 82-53-200-5816, Fax: 82-53-426-6552  
E-mail: okeye@knu.ac.kr

© 2015 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.

찢김 등의 수술 중 합병증이 발생하면 좋은 예후를 위한 성공적인 수술을 완성하기가 어려워진다.<sup>2,4</sup> 또한 백내장 수술 중 사용한 초음파에 의한 각막내피 손상으로 수술 후 각막 내피세포밀도가 감소된다는 것은 알려져 있으며, 그 정도에 따라 장기간의 각막부종, 늦은 시력회복, 나쁜 시력 결과를 초래할 뿐만 아니라 각막 부전을 야기할 수도 있다.<sup>5,6</sup> 이러한 수술 중 합병증의 빈도는 초음파유화술 기계의 유속인자와 밀접한 연관이 있으며, 많은 진공압, 관류 유속 등의 초음파유화술 기기의 설정을 조절하여 보다 효과적인 수술을 위한 시도들을 하였다.<sup>7-11</sup> 초음파 사용량을 줄이고 수술 시간을 줄이거나, 수정체핵 조각내기를 시도할 때 효과적인 수정체 핵의 고정을 위하여 높은 유체 역동학 지표 설정을 사용하기도 하였고, 초음파유화술의 유체안정성을 높이고 주변조직들의 손상을 줄이며 합병증을 줄이기 위하여 유체 역동학 지표를 낮게 설정하기도 하는 다양한 시도가 시행되었지만 적합한 역동학지표 설정값을 찾기 위한 비교 연구는 드물었다.<sup>8,12-15</sup>

본 연구에서는 유체 역동학 지표 설정값의 차이가 수술에 미치는 영향을 알아보기 위해 유체 역동학 지표의 설정값을 높은 지표와 낮은 지표의 두 군으로 나누어 수술을 시행하고, 수술 중 및 수술 후에 측정된 여러 인자들을 비교 분석하였다.

## 대상과 방법

2010년 10월부터 2015년 1월까지 단일 술자(HKK)에 의하여 동일한 기기 및 술기에 의해 초음파유화술 및 인공수정체 삽입술을 받은 Lens Opacities Classification System III (LOCS III) 분류상 3-4등급의 핵 경화도를 가진 백내장 환자 162명의 183안을 대상으로 후향적으로 분석하였다. 시력에 영향을 주는 망막이나 각막질환을 가진 환자, 녹내장 혹은 홍채염의 과거력을 가진 환자, 안과적 수술력을 가진 환자, -6.0D 이상의 고도 근시, 홍채유착, 섬모체소대 해리, 늘어진 홍채의 경우 제외하였다.

초음파유화술의 설정값은 평형염액 높이, 흡입 유속, 진공값을 다르게 하여 그 설정에서 안전하게 시행할 수 있는

지표 설정값을 임상적으로 지속적으로 조절하여 최종 확정된 값이며, 술자에 맞춰진 안전한 범위의 최소값과 최대값에 해당하는 수치로 높은 지표와 낮은 지표로 나누어 설정하였다(Table 1). 총 183안에서 수술이 시행되었으며, 2010년 10월부터 2013년 6월까지 65안이 높은 지표를 사용하여 먼저 시행되었고, 2013년 7월부터 2015년 1월까지 낮은 지표를 이용한 118안에 수술이 시행되었다. 기간에 상관없이 심한 핵경화 등으로 높은 지표를 사용하여야 하는 환자거나 섬모체 소대의 이상 등으로 낮은 지표를 사용하여야만 하는 환자들은 제외하고 연구에 등록하였다. 모든 환자는 수술 전 세극등 검사, 안압, 안저 검사, 나이, 성별, LOCS III 등급, 나안 시력, 최대 교정시력 중심각막두께, 각막내피세포밀도를 측정하였다.

수술은 수술 전 환자의 각막에 0.5% proparacaine hydrochloride (Alcaine<sup>®</sup>; Alcon, Fort Worth, TX, USA) 점안 마취나 테논낭하 국소 마취를 시행하였고, 수술 중 전방 유지 및 내피세포 보호를 위해 점탄물질(Discovisc<sup>®</sup>; Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하였으며 평형염액으로 BSS Plus<sup>®</sup> (Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 사용하였다. 수술은 2.2 mm 투명 각막 절개를 통하여 23게이지 주사바늘로 수정체 전낭을 천공한 다음 원형전낭절개용 포셉을 사용하여 수정체 낭 원형절개를 시행하였다. 평형염액을 이용하여 수력분리술과 수력분출술을 시행하고, 초음파유화기(Infiniti System<sup>®</sup>; Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 이용하여 동일하게 표준화한 방법으로 초음파유화술을 시행하였다. 초음파유화술 중에 시행한 수정체핵 조각내기는 prechop 혹은 phaco chop의 기법을 이용하였으며, 각 군의 미리 설정된 역동학 지표는 변동되지 않고 일정하게 유지하였다. 초음파출력방식에 Ozil을 사용하였고 두 군에서 모두 동일하게 continuous linear mode로 설정하였으며, torsional amplitude의 범위는 60-100%로 설정하였다. 인공수정체는 Acrysof SN60WF (Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 주입기를 사용하여 낭내 삽입하였다. 점탄물질을 제거하고 모든 절개부위에 평형염액으로 기질부위 수화를 시행 후 창상의 유출이 없음을 확인하고 수술을 종료하였다.

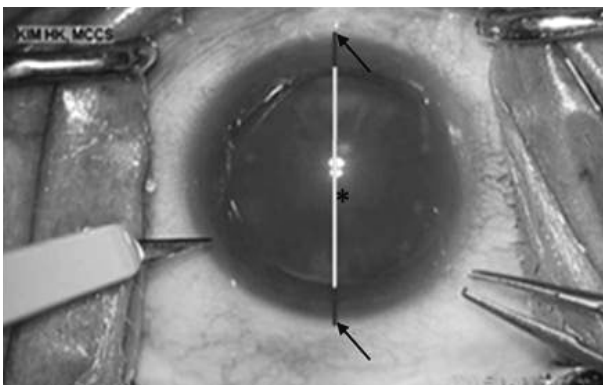
백내장 수술 중에는 평형염액 소비량, 초음파유화기(Infiniti

Table 1. High and low fluid-dynamic parameter\*

Group	Mode	Fluid height (cm)	Aspiration flow (mL/min, mode)	Vacuum (mm Hg, mode)
Low parameter	Sculpting	70	22, linear	90, fixed
	Chopping & quadrant removal	70	27, linear	240, linear
High parameter	Sculpting	90	22, linear	90, fixed
	Chopping & quadrant removal	110	38, linear	380, linear

\*Infiniti system<sup>®</sup> (Alcon, Fort Worth, TX, USA).

System<sup>®</sup>)에 기록되는 초음파 사용 시간, cumulated dissipated energy (CDE), 수술 중 합병증(홍채감입, 후낭 파열, 방사상 찢김), 수술 전후 동공크기의 변화를 비교하였다. 수술 중 홍채감입은 수술과정에서 일어나는 주 및 부절개창에 홍채가 끼인 상황이 발생한 경우로 정의하여 기록하였다. 수술 전후 동공크기는 수술현미경에 부착된 카메라(Exwave, Sony, Tokyo, Japan)로 촬영된 수술동영상에서 캡처하여 얻은 사진을 Image J 프로그램(<http://rsbweb.nih.gov/ij/>; open source, public domain software)을 통하여, 수술 전 동공크기는 초음파유화술 전의 동공크기를 측정하였고, 수술 후 동공크기는 초음파유화술 직후의 장면에서 이미지를 확보하여 측정하였다. 동공크기 감소율은 수술 전후의 동공수평길이와 각막연의 길이 비율의 차이를 술 전 동공 수평길이와 각막연의 길이 비율로 나눈 후 100을 곱하여 백분율로 계산하였다(Fig. 1). 이때 노인환, 군날개, 에피네프린을 평형염액에 섞은 경우, 홍채 손상이 있는 경우는 추가적으로 제외하



**Figure 1.** Analysis of the the pupil size changes. The pupil size changes were analyzed with the ratio of the horizontal length of pupil (\*) and the length between the limbus of cornea (arrows) using Image J program.

였다.

수술 전 및 수술 후 7일, 30일에 나안시력과 최대교정시력을 측정하여 비교하였고, 수술 전 및 수술 후 30일에 각막내피세포밀도, 중심각막두께를 측정하여 비교하였다. 각막내피세포밀도는 경면 현미경(Noncon Robo-CA; Konan Medical Inc., Hyogo, Japan)을 사용하여 측정하였고, 각막내피세포감소율은 술 전 각막내피세포밀도에서 술 후 각막내피밀도를 뺀 것을 술 전 각막내피세포밀도로 나눈 후 100을 곱하여 백분율로 계산하였다. 중심각막두께는 Ultrasound pachymetry (Model P55, Paradigm medical industries Inc., Salt Lake City, UT, USA)로 측정하였고, 중심각막두께증가율은 술 후 중심각막두께에서 술 전 중심각막두께를 뺀 것을 술 전 중심각막두께로 나눈 후 100을 곱하여 백분율로 계산하였다. 수술 후 1일, 7일, 30일의 추적관찰 시에 포괄적인 세극등 현미경 검사, 안저검사, 안압검사를 시행하였고, 특이사항을 비교하였다.

통계적 분석은 SPSS ver. 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고, 두 군 사이의 환자통계 값들의 비교와 수술 전후의 측정 평균값들의 비교는 정규성 검정을 통하여 모수성을 확인한 후 독립표본 *t*-test를 시행하였고, 두 군의 남녀 성별 빈도 및 수정체핵 조각내기 방법 빈도 차이를 분석하기 위해서 Chi-square test를 사용하였다. *p*값은 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다.

## 결 과

총 183안 중 낮은 지표군이 118안, 높은 지표군이 65안 이었고 낮은 지표군의 평균 나이는  $69.9 \pm 9.6$ 세, 높은 지표군의 평균 나이는  $70.0 \pm 8.5$ 세였다. 나이와 성별, 수술 전 측정된 수정체 백내장 등급(LOCS III 등급), 나안시력, 최

**Table 2.** Patient baseline characteristics

	Low parameter group	High parameter group	<i>p</i> -value
Eyes	118	65	
Age (years)	$69.9 \pm 9.6$	$70.0 \pm 8.5$	0.946*
Gender (male:female)	63:55	28:37	0.182†
Lens opacity			
Nuclear opalescence (NO)	$3.46 \pm 0.50$	$3.52 \pm 0.50$	0.399*
Nuclear color (NC)	$3.46 \pm 0.50$	$3.52 \pm 0.50$	0.399*
Cortical (C)	$2.53 \pm 1.35$	$2.35 \pm 1.43$	0.400*
Posterior subcapsular (P)	$1.75 \pm 1.73$	$1.88 \pm 1.74$	0.647*
UCVA (log MAR)	$0.53 \pm 0.18$	$0.59 \pm 0.15$	0.411*
BCVA (log MAR)	$0.43 \pm 0.19$	$0.48 \pm 0.18$	0.520*
Endothelial cell density (cells/mm <sup>2</sup> )	$2,511.6 \pm 351.9$	$2,530.3 \pm 305.4$	0.651*
Central corneal thickness (μm)	$530.9 \pm 31.6$	$528.1 \pm 35.1$	0.658*

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

UCVA = uncorrected visual acuity; BCVA = best corrected visual acuity.

\*Independent two sample *t*-test; †Chi-square test.

대교정시력, 중심각막두께, 각막내피세포밀도는 두 군 간 유의한 차이가 없었다(Table 2).

초음파유화술 중 측정된 평형염액 소모량은 낮은 지표군에서  $105.3 \pm 72.5$  mL, 높은 지표군에서  $101.3 \pm 57.1$  mL로 각각 측정되었고, 두 군의 평형염액 소모량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.783$ ). 수술 중 초음파 사용 시간은 낮은 지표군에서  $52.9 \pm 31.1$ 초로 높은 지표군의  $48.8 \pm 28.9$ 초보다 길었으나 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.421$ ). CDE는 낮은 지표군에서  $16.00 \pm 8.86$ 초, 높은 지표군에서  $15.19 \pm 9.29$ 초로 측정되어, 높은 지표군의 CDE가 낮았으나 두 군에서 유의한 차이는 없었다( $p=0.562$ ). 수술 중 시행한 수정체핵 조각내기 방법의 비율(prechop: phaco chop)은 낮은 지표군에서 28:90, 높은 지표군에서 17:48로 확인되었고, 두 군 간에 유의한 차이는 없었다( $p=0.715$ ). 수술 중 홍채 감입은 낮은 지표군에서 8안(6.8%), 높은 지표군에서 8안(12.3%)이 발생하여 높은 지표군에서 발생 빈도가 높았으나 통계적으로 유의하지 않았으며( $p=0.205$ ), 두 군 모두에서 후낭 파열과 후낭의 방사형 찢김의 합병증은 없었다. 낮은 지표군의 동공크기 감소율은  $11.70 \pm 7.25\%$ , 높은 지표군의  $17.25 \pm 4.81\%$ 보다 낮게

확인되었으며 통계적으로 유의하였다( $p=0.043$ ) (Table 3).

각 군에서 측정된 수술 전, 수술 후 7일, 수술 후 30일의 나안시력 및 최대 교정시력은 낮은 지표와 높은 지표의 두 군 간 유의한 통계학적 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ ). 수술 전 평균 각막내피세포밀도는 낮은 지표군에서  $2,511.6 \pm 351.9$  cells/mm<sup>2</sup>, 높은 지표군에서  $2,530.3 \pm 305.4$  cells/mm<sup>2</sup>였고, 수술 후 30일에 평균 각막내피세포밀도는 낮은 지표군에서  $2,295.1 \pm 367.4$  cells/mm<sup>2</sup>, 높은 지표군에서  $2,209.4 \pm 340.0$  cells/mm<sup>2</sup>였다. 낮은 지표군, 높은 지표군 모두 수술 전후를 비교했을 때 수술 후 30일에 각막내피세포 밀도가 통계적으로 유의하게 감소하였다( $p=0.00012$ ,  $p=0.0028$ ). 수술 후 30일에 낮은 지표군과 높은 지표군의 평균 각막내피세포감소율은 각각  $8.19 \pm 6.12\%$ ,  $10.28 \pm 6.87\%$ 였고, 이는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.063$ ). 수술 전 평균 중심각막두께는 낮은 지표군에서  $530.9 \pm 31.6$   $\mu$ m, 높은 지표군에서  $528.1 \pm 35.1$   $\mu$ m였고, 수술 후 30일 평균 중심각막두께는 낮은 지표군에서  $538.8 \pm 38.3$   $\mu$ m, 높은 지표군에서  $548.0 \pm 54.8$   $\mu$ m였다. 두 군 모두 수술 후 30일에 중심각막두께가 증가하였으나, 통계적으로 유의하지 않았다( $p=0.137$ ,  $p=0.061$ ). 수술 후 30일에 낮은 지표군과 높

Table 3. Comparison of intraoperative parameters and outcomes

	Low parameter group	High parameter group	p-value
Fluid consumption (mL)	$105.3 \pm 72.5$	$101.3 \pm 57.1$	0.783*
Ultrasound time (seconds)	$52.9 \pm 31.1$	$48.8 \pm 28.9$	0.421*
CDE (seconds)	$16.0 \pm 8.9$	$15.2 \pm 9.3$	0.562*
Nucleus fragmentation method (prechop:phaco chop)	28:90	17:48	0.715†
Intraoperative complication			
Iris incarceration (number of eyes)	8 (6.8%)	8 (12.3%)	0.205*
PC rupture	0	0	
Radial tear during CCC	0	0	
Mean decrease of the pupil size (%) $\pm$ SD	$11.70 \pm 7.25$	$17.25 \pm 4.81$	0.043*

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

CDE = cumulative dissipated energy; PC rupture = posterior capsule rupture; CCC = continuous curvilinear capsulorhexis; SD = standard deviation.

\*Independent two sample *t*-test; †Chi-square test.

Table 4. Comparison of postoperative parameters and outcomes

	Examination time	Low parameter group	High parameter group	p-value*
UCVA (log MAR)	POD 7	$0.169 \pm 0.092$	$0.180 \pm 0.093$	0.606
	POD 30	$0.141 \pm 0.065$	$0.150 \pm 0.084$	0.602
BCVA (log MAR)	POD 7	$0.094 \pm 0.060$	$0.103 \pm 0.054$	0.572
	POD 30	$0.065 \pm 0.039$	$0.077 \pm 0.045$	0.302
Decrease of ECD (%)	POD 30	$8.19 \pm 6.12$	$10.28 \pm 6.87$	0.063
Increase of CCT (%)	POD 30	$1.55 \pm 1.47$	$3.62 \pm 2.21$	0.026

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

UCVA = uncorrected visual acuity; BCVA = best corrected visual acuity; POD = postoperative day; ECD = endothelial cell density; CCT = central corneal thickness.

\*Independent two sample *t*-test.

은 지표군의 평균 중심 각막두께증가율은 각각  $1.55 \pm 1.47\%$ ,  $3.62 \pm 2.21\%$ 였고, 이는 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p=0.026$ ) (Table 4). 수술 후 1일, 7일, 30일에 시행한 포괄적인 세극등검사, 안저검사, 안압검사에 서는 양 군 간 특이사항 및 유의한 차이를 보이지 않았다.

## 고 찰

초음파유화술을 이용한 백내장 수술이 개발된 이후 백내장 수술의 장비와 소모품 및 수술 기법 등은 아주 큰 발전을 이루어 왔다.<sup>1</sup> 초음파유화술을 이용한 백내장 적출술은 점차 초음파 전체 사용량의 감소와 각막내피세포손상을 줄이는 것에 중점이 되어 계속되는 발전을 거듭하고 있다. 하지만 수정체 초음파유화술 시에 발생하는 각막내피세포의 손상은 여전히 피할 수 없으며, 비가역적이면서 수술 후에도 지속적인 각막내피세포밀도 감소가 있을 수 있기에 백내장 수술 후의 예후를 결정짓는 주요 요소들 중 하나이다. 초음파유화술 시 전방 내에서 사용한 초음파의 전체 사용량은 각막내피세포손상의 중요인자이며 또한 전방 내 유체 흐름도 내피세포 손상에 영향을 미칠 수 있다.<sup>5,6,16,17</sup> 전방 내 유체 흐름은 초음파와 진공 설정, 흡입 유속, 관류액의 높이와 같은 초음파유화술 기기의 역동학 지표의 설정을 통해 조절할 수 있다. Chopping technique이 알려지게 된 후, 초음파유화술 시 핵을 단단하게 고정하기 위해서 초음파유화술 기기의 각 유체 역동학 지표들을 점차 높게 설정하여, 높은 진공압과 높은 흡입 유속으로 수정체 핵을 단단히 고정시켜 최소한의 초음파를 사용하여 수술을 시행하는 높은 지표를 이용한 초음파유화술이 많이 시행되었다. 이후 초음파 사용량을 현저히 줄일 수 있는 초음파유화술 방식들 (Ozil<sup>®</sup> torsional system, pulse mode와 burst mode를 기반에 둔 user customized setting 등이 개발되어 높은 지표를 사용하지 않아도 충분히 핵을 단단히 고정시키고 적은 초음파 사용량으로 핵을 분쇄할 수 있게 되어, 각막내피세포 손상을 줄이는 것에 도움을 주게 되었다. 따라서 초음파유화술 기기의 역동학 지표 설정들을 조절하여 수술 후 좋은 시력 결과뿐 아니라 합병증을 줄이며 효율적이고 안전한 수술 결과를 위한 여러 시도들이 이루어져 왔다.<sup>7,11-13,16-20</sup>

Baradaran-Rafii et al<sup>21</sup>은 초음파유화술 시의 유속과 진공압과 각막내피세포의 소실에 관해 연구하기 위해 유속과 진공압을 각각 낮은 지표군과 높은 지표군으로 나누어 비교 분석하여, 두 군 간의 초음파 사용량은 유의한 차이가 없었으나, 수술 중 사용한 총 초음파사용량은 각막내피세포 소실과 유의하게 관련있다고 보고하였다. Vasavada et al<sup>22</sup>은 흡입 유속, 진공압을 각각 낮은 지표와 높은 지표로

나누어 초음파유화술을 이용한 백내장 수술을 시행하고, 두 군을 비교하여 CDE, 수술 시간, 수술 중 관류액 소모량은 낮은 지표군에서 유의하게 높았고, 술 후 1일, 7일에 중심각막두께 증가는 낮은 지표군에서 유의하게 낮았다고 보고하였다. 또한 술 후 1일째 전방 내 염증소견과 각막 부종의 정도는 낮은 지표군에서 유의하게 낮았다고 보고하며, 낮은 역동학 지표를 이용한 초음파유화술이 보다 안전하고 전방 조직에 대한 영향이 적다고 설명하였다. 이 연구에서는 술 후 90일에 검사를 시행하여 두 군을 비교하였는데 중심각막두께 및 각막내피세포 밀도는 수술 전과 수술 후 90일에 유의한 차이를 보이지 않았다.

낮은 역동학 지표를 이용한 초음파유화술은 수술이 비교적 느려지고 긴장감이 소실될 수 있으며, 초음파 침단부에 핵이 끼여서 흡입되지 않을 확률이 높아진다. 이전의 일부 보고들에서는 사용된 평형염액의 양, 초음파 사용 시간과 CDE 등의 수술 중 측정 인자들의 값이 차이를 나타내었으나,<sup>21,22</sup> 본 연구에서는 낮은 지표군과 높은 지표군 간 BBS의 소모량, 초음파 사용 시간과 CDE의 값들이 차이를 보이지 않았고 수술 후 시력 결과도 비슷하였는데, 이는 높은 지표를 쓰면 단위시간당 사용되는 평형염액의 양은 많아지지만 수술 시간이 전체적으로 짧아지는 경향으로 인한 것으로 추정되며, Ozil<sup>®</sup> Torsional system과 같은 초음파 사용량을 줄일 수 있는 새로운 방식들의 개발과 초음파기구들의 개선에 의한 것으로 생각된다.

본 연구에서는 수술 후 30일에 두 군의 각막내피세포밀도는 감소하였으며, 각막내피세포감소율은 낮은 지표군에서 8.19%, 높은 지표군에서는 10.28%로 확인되었으나 두 군 간의 유의한 차이는 없었으며( $p=0.063$ ), 수술 후 30일에 낮은 지표군과 높은 지표군의 평균 중심 각막두께증가율은 각각 1.55%, 3.62%로 유의한 차이를 보였다( $p=0.026$ ). Hayashi et al<sup>19</sup>은 초음파유화술 중 수정체 핵 조각들이 물리적으로 각막 내피에 접촉하여 각막내피 손상이 일어난다고 설명하였다. 낮은 역동학 지표를 이용한 초음파유화술은 전방 내 관류액의 유입과 유출이 적어 안정된 전방이 유지되고, 핵의 조각들을 비교적 안전하게 흡입할 수 있으며, 전방 내 유체의 흐름에서 난류와 급류를 적게 일으킴으로써 핵의 조각들의 각막내피에 물리적인 접촉을 최소화할 수 있다. 또한 본 연구에서는 수술 전후의 동공크기 변화는 낮은 지표군에서 유의하게 더 적었는데 이는 높은 지표를 이용한 초음파유화술 시 고진공압과 고흡입 유속으로 인한 급격한 전방의 불안정성이 동공의 크기 변화에 영향을 주었기 때문으로 생각된다.

본 연구는 연구방법상에서 후향적 연구로 진행되어 무작위 배정을 통한 전향적인 연구에 비하여 방법적으로 비교

분석에 열등한 한계점을 가지고 있다. 그리고 기존 자료의 분석을 통하여 진행되어 수술 후 1일, 7일에 각막내피세포 밀도나 각막두께 측정이 미리 시행되지 않아 비교하지 못하였고, 수술 후 1개월의 검사만을 비교하여 더 긴 추적관찰 후 검사에 대한 비교가 이루어지지 않은 한계점이 있다. 향후 무작위 배정을 통한 전향적인 연구 방법으로 안정성에 대한 인자를 보다 세밀하게 미리 설정하여 장기간의 추적관찰 및 검사를 통해 얻은 자료로 비교 분석이 이루어진다면 역동학지표에 따른 초음파유화술에 대한 이해와 보다 효율적인 백내장 수술을 위한 설정에 도움이 될 것이라고 생각한다.

백내장 수술 시에는 핵 조각이 초음파 첨단부에서 밀려나가도록 하는 초음파 에너지 효과, 핵 조각을 초음파 첨단부로 끌어당기는 흡입 효과, 초음파 첨단부에서 핵 조각을 끌어당기는 진공 등 세 가지 요소의 균형을 잡는 일이 중요하다. 임상적으로는 수술 중 흡입 유속과 진공 압력을 어느 수준에서 결정하는 것이 좋은가에 대한 고민이 필요하다. 일반적으로 수술에 소모되는 시간을 줄이고 초음파 사용을 감소시키기 위해 높은 유속의 설정이 좋다는 의견이 있고 유체의 난류나 급류로 인한 외상을 줄이고 주위 조직의 안정을 위해서는 낮은 유속의 설정이 좋다는 의견이 있다. 초음파유화술 기구들이 점차 발전하면서 낮은 지표군에서도 안정적인 수술을 할 수 있게 되었으며 더 이상 유체 역동학 지표들을 높일 필요가 없어지고 있다. Baradaran-Rafii et al<sup>21</sup>은 경험이 적은 의사는 낮은 지표를 이용한 수술을, 경험이 많은 의사는 높은 지표를 이용한 수술을 하기를 제안하였다. 초음파유화술 시에 낮은 지표군과 높은 지표군에서 임상적으로 수술 결과에서 유의한 차이를 보이지 않고 낮은 지표군에서 전방의 불안정성, 급류의 발생 가능성, 주변 조직에 대한 영향이 적어, 저자들도 보다 안전하고 효율적인 낮은 지표를 이용한 초음파유화술을 먼저 고려하기를 제안한다. 효율적이고 안전한 백내장수술을 위해서 최적의 설정값을 찾는 노력과 연구는 계속적으로 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 1) Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 1967;64:23-35.
- 2) Allen D, Vasavada A. Cataract and surgery for cataract. *BMJ* 2006;333:128-32.
- 3) Zacharias J. Role of cavitation in the phacoemulsification process. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:846-52.
- 4) Hoffman RS, Fine IH, Packer M. New phacoemulsification technology. *Curr Opin Ophthalmol* 2005;16:38-43.
- 5) Jung CS, Myong YW, Woo HM. Penetrating keratoplasty for bullous keratopathy following cataract extraction. *J Korean Ophthalmol Soc* 1999;40:2723-7.
- 6) 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.
- 7) Vasavada AR, Raj S. Step-down technique. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1077-9.
- 8) Fine IH, Packer M, Hoffman RS. Power modulations in new phacoemulsification technology: improved outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1014-9.
- 9) Ward MS, Georgescu D, Olson RJ. Effect of bottle height and aspiration rate on postocclusion surge in Infiniti and Millennium peristaltic phacoemulsification machines. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1400-2.
- 10) 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.
- 11) Lee JE, Choi SH. Comparison of clinical results between Ellips and Ozil modes in phacoemulsification. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:1161-6.
- 12) Wong T, Hingorani M, Lee V. Phacoemulsification time and power requirements in phaco chop and divide and conquer nucleofractis techniques. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1374-8.
- 13) Verges C, Cazal J, Lavin C. Surgical strategies in patients with cataract and glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol* 2005;16:44-52.
- 14) Adams W, Brinton J, Floyd M, Olson RJ. Phacodynamics: an aspiration flow vs vacuum comparison. *Am J Ophthalmol* 2006;142:320-2.
- 15) Cho KJ, Lee HS, Joo CK. The effectiveness and safety of the phaco prechopper technique before lens phacoemulsification in cataract surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:1917-22.
- 16) Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 1996;22:1079-84.
- 17) Faramarzi A, Javadi MA, Karimian F, et al. Corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: bevel-up versus bevel-down phaco tip. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1971-6.
- 18) Osher RH. Slow motion phacoemulsification approach. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:667.
- 19) Hayashi K, Yoshida M, Manabe S, Hirata A. Cataract surgery in eyes with low corneal endothelial cell density. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1419-25.
- 20) Wong MM, Shukla AN, Munir WM. Correlation of corneal thickness and volume with intraoperative phacoemulsification parameters using Scheimpflug imaging and optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:2067-75.
- 21) Baradaran-Rafii A, Rahmati-Kamel M, Eslani M, et al. Effect of hydrodynamic parameters on corneal endothelial cell loss after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:732-7.
- 22) Vasavada AR, Praveen MR, Vasavada VA, et al. Impact of high and low aspiration parameters on postoperative outcomes of phacoemulsification: randomized clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:588-93.

= 국문초록 =

## 초음파유화술의 높고 낮은 유체 역동학 지표들에 따른 수술 결과 비교

**목적:** 백내장 수술 장비의 유체 역동학 지표의 설정값 차이에 따른 술 중 및 술 후 결과를 비교 분석하고자 한다.

**대상과 방법:** 2010년 10월부터 2015년 1월까지 Lens Opacities Classification System III (LOCS III) 등급 3-4에 해당하는 노인성백내장을 가진 환자 162명의 183안을 대상으로 후향적으로 분석하였다. 초음파유화술의 역동학 지표의 설정값을 낮은 지표와 높은 지표의 두 군으로 나누어 초음파유화술을 시행하였다. 술 전 나이, 성별, 백내장 등급, 나안시력, 최대교정시력, 중심각막두께, 각막내피세포 밀도를 측정하였고, 술 중 cumulative dissipated energy (CDE), 평형염액 소모량, 초음파 사용 시간, 동공크기 변화, 수술 중 합병증들을 비교하였다. 수술 후에 나안시력, 최대교정시력, 중심각막두께, 각막내피세포밀도를 측정하여 분석하였다.

**결과:** 초음파유화술 중 사용된 평형염액 소모량, 초음파 사용 시간, CDE는 두 군 간에 유의한 차이가 없었다. 수술 중 합병증의 발생은 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았으며, 낮은 지표군에서 수술 후 동공크기 변화는 유의하게 더 작았다. 두 군 간의 수술 후 7일, 30일에 측정한 나안시력, 교정시력은 차이가 없었고, 수술 후 30일에 두 군 간의 각막내피세포 감소율은 차이가 없었고, 중심각막두께 증가율은 낮은 지표군에서 낮았다.

**결론:** 낮은 지표를 이용한 초음파유화술은 수술 결과에서 유의한 차이를 보이지 않으면서 안정된 전방이 유지되어 보다 안전한 수술을 시행할 수 있다.

〈대한안과학회지 2015;56(12):1860-1866〉