

# 능동적 및 중력 기반의 수정체유화 역동학을 이용한 양안 백내장 동시수술 후 임상결과 비교

## Comparison between Active and Gravity-based Phacoemulsification Fluidics Systems in Immediate Sequential Bilateral Cataract Surgery

공석준 · 장철원 · 임태형 · 최기용 · 조범진

Seok Joon Kong, MD, Cheolwon Jang, MD, Tae Hyung Lim, MD, PhD,  
Kee Yong Choi, MD, PhD, Beom Jin Cho, MD, PhD

한길안과병원

HanGil Eye Hospital, Incheon, Korea

**Purpose:** To compare the clinical outcomes during phacoemulsification when using active fluidics (Centurion®) and gravity-based fluidics (Infiniti®) in immediate sequential bilateral cataract surgery.

**Methods:** From January 2015 to September 2015, 68 eyes of 34 patients with bilateral cataract were assigned to receive immediate sequential bilateral cataract surgery by Centurion® in one eye and Infiniti® in the other eye. We measured and compared intraoperative factors, including cumulative dissipated energy (CDE), ultrasound time, mean amount of balanced salt solution (BSS) used, and pain using a scale. Best corrected visual acuity (BCVA), central corneal thickness (CCT), and endothelial cell density (ECD) were also evaluated preoperatively and 1 month postoperatively.

**Results:** Intraoperative measurements showed significantly less CDE ( $5.05 \pm 2.18$  vs.  $7.05 \pm 3.82$ ), ultrasound time ( $24.65 \pm 9.68$  vs.  $34.95 \pm 17.95$  seconds), and mean amount of BSS used ( $37.06 \pm 10.25$  vs.  $44.88 \pm 16.38$  mL) in the Centurion® group than in the Infiniti® group ( $p = 0.011$ ,  $p = 0.005$ ,  $p = 0.021$ , respectively). The intraoperative pain scale was  $0.26 \pm 0.51$  in the Centurion® group and  $0.50 \pm 0.71$  in the Infiniti® group, and was not significantly different ( $p = 0.121$ ). BCVA, increase of CCT and decrease of ECD were not significantly different between the two groups at 1 month postoperatively.

**Conclusions:** The efficacy of phacoemulsification in the Centurion® group was superior to that in the Infiniti® group. The level of intraoperative pain and clinical outcomes 1 month after surgery were not significantly different between the two groups.

J Korean Ophthalmol Soc 2017;58(1):27-33

**Keywords:** Active fluidics, Cumulative dissipated energy, Gravity-based fluidics, Immediate sequential bilateral cataract surgery, Pain

Kelman<sup>1</sup>에 의해 최초로 수정체 초음파유화술이 도입된

이후, 백내장 수술을 위한 여러 장치 및 기술의 발전이 이루어졌고, 이는 절개창의 크기 감소, 초음파유화술 에너지의 감소, 각막내피세포 소실의 감소 등과 함께 초음파유화술의 효율을 높이는 방향으로 초점이 맞추어져 왔으며 이를 위하여 백내장 수술 시 전방의 안정적인 유지가 중요시되고 있다.<sup>2-5</sup> 현재 많이 사용되고 있는 초음파유화술 기계 중 하나인 Infiniti® Vision System (Alcon, Fort Worth, TX, USA)은 평형염액 높이로 인해 발생하는 중력에 의한 수동

■ Received: 2016. 8. 18.      ■ Revised: 2016. 11. 23.

■ Accepted: 2016. 12. 28.

■ Address reprint requests to **Beom Jin Cho, MD, PhD**  
HanGil Eye Hospital, #35 Bupyeong-daero, Bupyeong-gu,  
Incheon 21388, Korea  
Tel: 82-32-503-3322, Fax: 82-32-504-3322  
E-mail: chobjn@empas.com

© 2017 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.

적인 힘에 의해서 실제 수술 시 눈에 가해지는 관류압과 그에 의한 안압이 결정된다(gravity-based fluidics). 전방의 안정적인 유지를 위해서는 안압을 일정하게 유지하는 것이 중요하나, 중력에 의한 수동적 시스템에서는 수술 중 안압의 큰 변동이 있을 수 있다.<sup>6,7</sup> 안압이 낮은 경우, 전방이 불안정해지고 허탈이 일어날 수 있으며, 각막이나 수정체낭 등의 손상이 발생할 수 있다.<sup>8</sup> 낮은 안압에 의한 전방 불안정을 개선하기 위해 평형염액 높이를 올려 관류를 증가시키면 안압이 상승하게 되고, 지나친 상승은 눈의 불편감 혹은 통증, 안구 혈액 순환 장애, 녹내장성 시신경 손상의 증가 등을 초래할 수 있다.<sup>9</sup> 또한 진공 음압과 흡입 유속을 줄여서 전방 불안정을 개선할 수 있으나, 이 경우 수술의 효율성이 떨어지게 되는 단점이 있다. Gravity-based fluidics를 이용하는 경우 흡입 유속이 점점 증가 혹은 감소하게 되면, 안압은 반대로 점점 감소 혹은 증가하게 되어 일정한 안압을 유지하는 데 제한이 있을 수 있다. 최근에 도입된 Centurion<sup>®</sup> Vision System (Alcon, Fort Worth, TX, USA)은 관류용액이 들어있는 주머니에 능동적으로 압력을 가하여 술자에 의하여 정해진 일정한 안압을 수술 중에 유지하도록 되어 있다(active fluidics).<sup>10</sup> 이 경우 gravity-based fluidics와는 달리 흡입 유속이 변하여도 일정한 안압을 유지할 수 있으며, 수술 중 비교적 안정적인 전방 유지가 가능한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 양안의 백내장 정도가 비슷한 동일한 환자에서 한 눈은 active fluidics를 이용한 Centurion<sup>®</sup>을, 반대편 눈은 gravity-based fluidics를 이용한 Infiniti<sup>®</sup>를 사용하여 양안 백내장 동시수술(immediate sequential bilateral cataract surgery)을 시행하고, 두 군의 수술 중 초음파 역동 인자와 수술 중 안압과 관련될 수 있는 통증 정도, 수술 결과를 비교하고자 하였다.

## 대상과 방법

본 연구는 2015년 1월부터 9월까지 양안 백내장 동시수술을 받은 34명 68안의 환자를 대상으로 의무기록을 후향적으로 조사하였으며 본원의 인증된 연구윤리 심의위원회(institutional review board, IRB)의 심사 및 승인을 얻은 뒤 시행하였다(한글 IRB-16014). 양안 중 우안을 먼저, 좌안을 나중에 수술하였으며 두 개의 수술 방에 Centurion<sup>®</sup>과 Infiniti<sup>®</sup>가 각각 있어서 한 방에서 우안 수술을 한 후 나중에 다른 방에서 좌안 수술을 한 환자를 대상으로 하였다. 모든 수술은 한 사람의 술자에 의하여 이루어졌다. 술 전 고도근시, 과숙 백내장, 외상성 백내장의 경우, 기존에 녹내장, 망막질환 등의 안과적 질환이 있거나, 수술에 영향을

줄 수 있는 각막 미란이나 각막혼탁 등의 각막 병변과 수술 전 각막내피세포밀도가 2,000 cells/mm<sup>2</sup> 미만인 경우는 연구에서 제외하였다. 또한 한쪽 눈이라도 수술 중 합병증이 일어난 경우, 대상에서 제외하였으며, 안축장 길이는 22.0-25.0 mm인 환자를 대상으로 하였다.

모든 백내장수술은 0.5% tropicamide와 0.5% phenylephrine (Mydrin P, Taejoon Pharm, Seoul, Korea)으로 점안하여 산동하였으며, 국소 점안 마취(4% lidocaine and 0.5% proparacaine hydrochloride [Alcaine<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA])하에 진행하였다. 각막 난시의 가파른 경선축 윤부에 2.2 mm 크기의 절개창을 만들고 점탄물질(Discovisc<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 전방에 채운 후 전방 원형절개의 크기는 5.5 mm 내외로 하였으며, 관류액으로 평형염액(balanced salt solution, BSS<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 수력분리술과 수력분층술을 시행하였다. 그 후 초음파유화술 및 후방 인공수정체를 삽입하였다. 관류 및 흡입을 시행하여 남은 점탄물질을 제거하고 각막 봉합 없이 수술을 마무리하였다. 환자는 첫 번째 눈을 수술한 후 수술실에서 나와 병실로 이동하여 2시간 이후 절개창의 안정성, 전방의 염증 상태 및 인공수정체 위치를 세극등검사로 확인한 후 다시 수술실로 이동하며 첫 번째 수술한 눈과 동일한 방법으로 반대편 눈 수술을 진행하였다. 수술 후 1개월간 0.5% moxifloxacin hydrochloride (Vigamox<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA)와 1% prednisolone acetate (Predforte<sup>®</sup>, Allergan, Inc., Irvine, CA, USA)를 하루 4회 점안하였다.

Centurion<sup>®</sup>은 target intraocular pressure (IOP)를 50 mmHg (동등한 관류액 높이=68 cmH<sub>2</sub>O), 최대 초음파 출력(torsional amplitude)은 100%, 최대 진공 음압 한계는 380 mmHg, 흡입 유속은 36 mL/min으로 설정하였으며, 경사면 45°의 0.9 mm Intrepid Balanced tip<sup>®</sup> (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하였다. Infiniti<sup>®</sup>는 관류액 높이를 90 cmH<sub>2</sub>O, 최대 초음파 출력은 100%, 최대 진공 음압 한계는 350 mmHg, 흡입 유속은 36 mL/min으로 설정하였으며, 경사면 45°의 0.9 mm mini-flared Advanced Bypass System tip<sup>®</sup> (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하였다. 백내장 수술 중 사용된 누적소비에너지(cumulative dissipated energy), 수술 중 초음파 시간, 평형염액 사용량을 조사하였다. Centurion<sup>®</sup>군과 Infiniti<sup>®</sup>군에서의 수술 시 통증 정도를 비교하기 위해 초음파 팁이 눈에 들어가는 시간부터 피질흡인세척술까지(인공수정체 삽입 이전)의 수술 과정에서의 통증 정도를 환자에게 물어보았다. 통증의 평가는 5단계의 척도로 진행하였으며(0=통증 없음, 1=경도 통증, 2=중등도 통증, 3=심한 통증, 4=매우 심한 통증) 수술 전 미리 환자에게 통증 조사에

대하여 설명한 후 답하도록 하였다.<sup>11,12</sup> 모든 환자는 백내장 수술 전에 세극등검사, 원거리 최대교정시력, 현성굴절검사, 안압측정, 안저검사, 중심각막두께와 각막내피세포밀도검사를 포함한 전반적인 안과검사를 시행 받았고, 수술 1개월 후 원거리 최대교정시력, 중심각막두께와 각막내피세포밀도를 측정하였다. 중심각막두께와 각막내피세포밀도는 경면현미경(CEM-530, NIDEK, Aichi, Japan)을 이용하여 측정하였다. 각막내피세포감소율은 술 전 각막내피세포밀도에서 술 후 각막내피세포밀도를 뺀 것을 술 전 각막내피세포밀도로 나눈 후 100을 곱하여 백분율로 계산하였다. 또한 중심각막두께증가율은 술 후 중심각막두께에서 술 전 중심각막두께를 뺀 것을 술 전 중심각막두께로 나눈 후 100을 곱하여 백분율로 계산하였다. 통계학적인 검증을 위하여 SPSS ver. 18.0 for windows (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 검정을 시행하였으며 *p*-value가 0.05 이하인 경우 통계학적으로 유의미한 것으로 간주하였다.

## 결 과

본 연구는 34명의 환자 68안을 대상으로 이루어졌으며, 대상환자의 평균연령은  $65.2 \pm 11.9$ 세, 남자는 10명, 여자는 24명이었다. Lens Opacities Classification System III

(LOCS III) 분류에 의한 백내장 정도는 두 군 간에 통계학적인 차이는 없었다. 수술 전 최대 교정시력, 안축장 길이, 전방 깊이, 중심각막두께, 각막내피세포밀도에서 두 군 간에 유의한 차이가 없었으며 환자의 양안은 비슷한 수술 전 조건을 가지고 있었다(Table 1).

백내장 초음파유화술 중 누적소비에너지는 Centurion<sup>®</sup>군에서  $5.05 \pm 2.18$ , Infiniti<sup>®</sup>군에서  $7.05 \pm 3.82$ 로 측정되어 Centurion<sup>®</sup>군에서 통계적으로 유의하게 적었고( $p=0.011$ ), 수술 중 초음파 시간은 Centurion<sup>®</sup>군에서  $24.65 \pm 9.68$ 초, Infiniti<sup>®</sup>군에서  $34.95 \pm 17.95$ 초로 측정되어 Centurion<sup>®</sup>군에서 통계적으로 유의하게 적었다( $p=0.005$ ). 평형염액 사용량은 Centurion<sup>®</sup>군에서  $37.06 \pm 10.25$  mL, Infiniti<sup>®</sup>군에서  $44.88 \pm 16.38$  mL로 측정되어 Centurion<sup>®</sup>군에서 유의하게 더 적은 평형염액이 사용되었다( $p=0.021$ ). 두 군 간에 수술 시 통증 정도를 비교하였을 때, Centurion<sup>®</sup>군에서의 통증 척도는  $0.26 \pm 0.51$ , Infiniti<sup>®</sup>군에서의 통증 척도는  $0.50 \pm 0.71$ 로 측정되어 Centurion<sup>®</sup>군에서 더 적은 통증을 호소하였으나 이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.121$ ) (Table 2).

수술 후 1달째 최대 교정시력을 로그 대응치(logarithm of minimum angle of resolution, logMAR)로 전환하여 비교해 보면, Centurion<sup>®</sup>군에서  $0.042 \pm 0.056$ , Infiniti<sup>®</sup>군에서  $0.040$

Table 1. Patient baseline characteristics

	Centurion <sup>®</sup>	Infiniti <sup>®</sup>	<i>p</i> -value <sup>*</sup>
Eyes	34	34	
Age (years)	$65.2 \pm 11.9$	$65.2 \pm 11.9$	
Sex (male:female)	10:24 (n = 34)	10:24 (n = 34)	
Lens opacity			
Nuclear opalescence	$2.11 \pm 0.81$	$2.14 \pm 0.82$	0.882
Nuclear color	$2.11 \pm 0.81$	$2.14 \pm 0.82$	0.882
BCVA (logMAR)	$0.27 \pm 0.20$	$0.27 \pm 0.22$	0.959
Axial length (mm)	$23.76 \pm 1.45$	$23.76 \pm 1.48$	0.991
Anterior chamber depth (mm)	$2.68 \pm 0.51$	$2.69 \pm 0.48$	0.905
Central corneal thickness (μm)	$532.82 \pm 28.20$	$534.44 \pm 30.74$	0.822
Endothelial cell density (cells/mm <sup>2</sup> )	$2531.2 \pm 267.9$	$2599.3 \pm 237.5$	0.271

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

BCVA = best corrected visual acuity.

\*Student's *t*-test.

Table 2. Comparison of intraoperative parameters and pain scale between the Centurion<sup>®</sup> and Infiniti<sup>®</sup> group

	Centurion <sup>®</sup>	Infiniti <sup>®</sup>	<i>p</i> -value <sup>*</sup>
CDE	$5.05 \pm 2.18$	$7.05 \pm 3.82$	0.011
Ultrasound time (sec)	$24.65 \pm 9.68$	$34.95 \pm 17.95$	0.005
Total used BSS volume (mL)	$37.06 \pm 10.25$	$44.88 \pm 16.38$	0.021
Pain scale	$0.26 \pm 0.51$	$0.50 \pm 0.71$	0.121

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

CDE = cumulative dissipated energy; BSS = balanced salt solution.

\*Student's *t*-test.

**Table 3.** Comparison of postoperative outcomes between the Centurion® and Infiniti® group at postoperative 1 month

	Centurion®	Infiniti®	p-value*
BCVA (logMAR)	0.042 ± 0.056	0.040 ± 0.062	0.880
Increase of CCT (%)	0.51 ± 2.87	0.27 ± 2.29	0.697
Decrease of ECD (%)	7.00 ± 9.73	7.75 ± 10.66	0.761

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

BCVA = best corrected visual acuity; CCT = central corneal thickness; ECD = endothelial cell density.

\*Student's *t*-test.

± 0.062로 두 군 간에 유의한 차이는 없었다( $p=0.880$ ). 수술 전 평균 중심각막두께는 Centurion®군에서  $532.82 \pm 28.20 \mu\text{m}$ , Infiniti®군에서  $534.44 \pm 30.74 \mu\text{m}$ 였고, 수술 후 1달째 평균 중심각막두께는 Centurion®군에서  $535.74 \pm 34.95 \mu\text{m}$ , Infiniti®군에서  $535.91 \pm 33.90 \mu\text{m}$ 였다. 두 군 모두 수술 후 1달째에 평균 중심각막두께가 증가하였으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.274$ ,  $p=0.501$ ). 수술 후 1달째에 Centurion®군과 Infiniti®군의 평균 중심각막두께증가율은 각각  $0.51 \pm 2.87\%$ ,  $0.27 \pm 2.29\%$ 였고 이는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.697$ ). 수술 전 평균 각막내피세포밀도는 Centurion®군에서  $2,531.2 \pm 267.9 \text{ cells/mm}^2$ , Infiniti®군에서  $2,599.3 \pm 237.5 \text{ cells/mm}^2$ 였고, 수술 후 1달째 평균 각막내피세포밀도는 Centurion®군에서  $2,345.0 \pm 284.4 \text{ cells/mm}^2$ , Infiniti®군에서  $2,386.3 \pm 265.6 \text{ cells/mm}^2$ 였다. 두 군 모두 수술 전후를 비교하였을 때 수술 후 1달째에 평균 각막내피세포밀도가 유의하게 감소하였다( $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ). 수술 후 1달째에 Centurion®군과 Infiniti®군의 평균 각막내피세포감소율은 각각  $7.00 \pm 9.73\%$ ,  $7.75 \pm 10.66\%$ 였고 이는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.761$ ) (Table 3).

## 고 찰

초음파를 이용한 수정체유화술이 개발된 이후 백내장 수술의 기구 및 장비에 대한 많은 발전이 이루어져 왔고, 최근 개발된 백내장 기계들은 최소한의 에너지로 효율적인 초음파유화가 가능하도록 고안되고 있다.<sup>1</sup> 본 연구에서 사용된 Infiniti®는 기계에 장착된 높이 조절 가능한 기둥에 평형염액을 달아서 이로 인해 발생하는 중력으로 관류압이 정해지며, Centurion®은 기계 안에 들어있는 평형염액 주머니에 움직이는 두 개의 판이 능동적으로 압력을 가하거나 줄여서 흡입유속이 변하여도 술자가 설정한 안압을 수술 중에 일정하게 유지하게 하고 있다.<sup>10</sup> 본 연구에서는 active fluidics를 이용한 Centurion®과 gravity-based fluidics를 이용한 Infiniti®를 사용하여 동일한 사람의 양안에 서로 다른 기계의 초음파유화술 방식을 적용하여, 누적 소비에너지, 수술 중 초음파 시간, 평형염액 사용량, 수술 중 안압과 관련될 수 있는

통증 정도 및 수술 후 각막내피세포밀도, 중심각막두께, 최대교정시력을 비교하였다.

본 연구에서 Centurion®군과 Infiniti®군에서 누적소비에너지는 각각  $5.05 \pm 2.18$ ,  $7.05 \pm 3.82$ , 수술 중 초음파 시간은 각각  $24.65 \pm 9.68$ 초,  $34.95 \pm 17.95$ 초, 평형염액 사용량은 각각  $37.06 \pm 10.25 \text{ mL}$ ,  $44.88 \pm 16.38 \text{ mL}$ 로 측정되어 모두 Centurion®군에서 통계적으로 유의하게 적었다. 수술 중 총 초음파 에너지 사용량이 많을수록, 또한 초음파 사용 시간이 길수록 각막내피세포 손상이 크다고 알려져 있다.<sup>13,14</sup> 또한 각막에 대한 수정체 핵조각의 마찰이나 충돌, 진공 음압, 흡입 유속 및 관류액 높이에 의한 유체에너지 또한 각막내피세포의 손상을 유발할 수 있다.<sup>15-17</sup> 누적소비에너지와 수술 중 초음파 시간이 Centurion®군에서 유의하게 적었다는 점은 수술 예후에 영향을 줄 수 있는 각막내피세포소실의 가능성이 그만큼 줄어들 수 있으며 수술 직후의 더 나은 시력회복을 보일 수 있다는 데 의미가 있다.<sup>2</sup> Chen et al<sup>18</sup>의 연구에서 Centurion®과 Infiniti®에서의 누적소비에너지 값을 비교하였는데 Centurion®군에서 Infiniti®군보다 평균적으로 38% (5.088) 정도 적은 누적소비에너지 값을 보였다. 이 연구에서 총 5명의 술자를 대상으로 하였는데 누적소비에너지 감소는 29-49%의 분포를 보였다.<sup>18</sup> 본 연구에서는 28% 정도의 누적소비에너지 감소를 보여 이와 유사한 결과를 보였다. Centurion®군에서 누적소비에너지가 더 감소한 원인으로 두 군에서 각기 사용된 초음파 팁의 차이를 들 수 있다. 본 연구의 Centurion®에서 사용된 Intrepid Balanced tip®은 기존의 Infiniti®에서 사용된 초음파 팁보다 팁 끝부분의 회전진동운동(torsional movement)이 50% 더 증가하여 초음파유화 효과가 향상되었으며, 절개부위에서의 팁의 움직임은 줄어 열손상을 줄이는 효과가 있다고 보고되었다.<sup>18</sup> Boulter et al<sup>19</sup>의 연구에서 Centurion®을 사용하여 사람의 갈색백내장(brunescent cataract) 정도의 경화도를 가진 돼지 눈을 초음파로 유화한 시간을 측정하여 기존의 0.9 mm Kelman 팁과 0.9 mm Intrepid Balanced tip®을 비교하였는데, Intrepid Balanced tip®이 기존의 Kelman 팁보다 30% 정도 더 향상된 초음파효율을 보였다고 하였다. 이러한 향상된 초음파효율이 초음파에너지 사용량 및 시간을 줄

이는 데 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 각막내피세포를 손상시킨다고 알려진 hydroxyl radical은 평형염액과 같은 aerobic solution에서 초음파유화술 시 발생하고, 평형염액 사용량이 많으면 전방 내 유체의 흐름에서 난류로 인한 각막내피세포 손상이 커질 수 있다는 점에서, 평형염액 사용량도 유의하게 적었던 Centurion®군에서 각막내피세포 손상의 가능성이 줄어 들 수 있다.<sup>20,21</sup>

Infiniti®처럼 기존의 gravity-based fluidics를 이용하는 경우 수술 중 흡입 유속이 증가할수록 안압이 떨어지게 되어, 평형염액 기둥의 높이를 높여 흡입 유속이 0 mL/min일 경우의 안압을 높게 설정하여야 수술이 진행되면서 예상되는 안압 하강에 대비할 수 있었다. 실제로 Nicoli et al<sup>10</sup>은 아크릴로 만든 전방(anterior chamber) 모델을 이용하여 실험을 한 결과, Infiniti®의 경우 흡입 유속이 15 mL/min이어도 0 mL/min일 때보다 상당한 안압 하강을 보였으며, 흡입 유속이 증가할수록 안압 하강 정도는 더 커지는 경향을 보였고, 반면 Centurion®의 경우 흡입 유속이 증가하여도 처음 설정하였던 안압이 지속적으로 유지된다고 하였다. 높은 안압은 수술 중 통증 등의 부작용을 유발할 수 있고, 낮은 안압은 각막내피세포에 대한 손상이 적을 수 있으므로, 처음부터 높은 안압을 설정할 필요 없이 낮고 일정하게 지속되는 안압으로 계속 수술을 진행할 수 있다는 점은 Centurion®이 Infiniti®에 비해 지니는 장점이라고 할 수 있다.<sup>9,10,22</sup> 본 연구에서도 Centurion®은 target IOP를 50 mmHg (동등한 관류액 높이=68 cmH<sub>2</sub>O), Infiniti®는 관류액 높이를 90 cm H<sub>2</sub>O (동등한 IOP=67 mmHg)로 정하여, Centurion®에서 더 적은 설정 안압으로 수술을 진행할 수 있었다.

Sharif-Kashani et al<sup>23</sup>은 실험실 연구에서 Centurion®이 Infiniti®에 비해서 더 적은 급류가 발생하며, 진공 음압이 커질수록 그 차이는 더 벌어진다고 하였다. 이는 Centurion®에서 전반적으로 Infiniti®보다 더 적은 compliance를 가진 tubing를 사용하기 때문이며, 또한 Centurion®은 active fluidics를 이용하므로 급류 과정에서 일어나는 안압의 변동을 최소화할 수 있다고 하였다.

Centurion®에서 보이는 일정한 안압의 지속적 유지 및 급류의 감소는 수술 중 안정적인 전방의 유지를 가능하게 하여 수술의 효율성 및 안정성이 증가되고 이는 보다 나은 수술 결과를 기대할 수 있는 요인이 될 수 있다.<sup>6,7,23</sup> 또한 급류가 적으면 핵 조각들의 각막내피에의 물리적 접촉을 최소화할 수 있어 각막내피세포의 손상도 줄일 수 있다.<sup>24</sup>

상승된 안압은 눈의 통증을 유발할 수 있고 이는 백내장 수술 중 환자의 순응도를 저하시키고, 전반적으로 불안정한 상태에서 수술이 진행될 수 있다.<sup>9</sup> Centurion®은 active fluidics를 이용하므로 gravity-based fluidics를 이용하는

Infiniti®보다 수술 중 낮은 안압을 지속적으로 유지 가능하여 이러한 차이가 실제로 수술 중 환자가 느끼는 통증의 차이로 나타나는지 본 연구에서는 알아보고자 하였다. Centurion®군과 Infiniti®군에서 통증 척도는 각각  $0.26 \pm 0.51$ ,  $0.50 \pm 0.71$ 로 측정되어 Centurion®군에서 더 적은 통증을 호소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 양안의 백내장 수술에서 통증 비교는 연구에 따라 다소 다른 결과를 보인다.<sup>25-29</sup> Hari-Kovacs et al<sup>25</sup>과 Bardocci et al<sup>26</sup>은 각각 187명과 73명을 대상으로 한 연구에서 첫 번째 백내장 수술과 두 번째 수술 사이에서 통증 척도의 유의한 차이를 보이지 않았다고 하였으며 이는 본 연구의 결과와 일치하였다. 반면 Adata et al<sup>27</sup>과 Aslan et al<sup>28</sup>은 각각 280명과 60명을 대상으로 한 연구에서 수술 중 통증 척도가 두 번째 수술에서 더 큰 값을 보였으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다고 하였다. 이러한 차이의 두 가지 원인으로 첫 수술에 대한 통증의 기억이 어느 정도 사라진 상황에서 두 번째 수술을 진행하기 때문에 두 번째 수술의 통증 척도가 더 클 수 있다는 점과, 첫 수술을 받고 나서 어느 정도 백내장 수술에 익숙해진 상황에서 두 번째 수술에 대한 걱정이 줄어들고, 이에 따라 더 각성된 상태에서 두 번째 수술을 받기 때문에 더 큰 통증을 느낄 가능성이 크다는 점을 들 수 있다.<sup>27-29</sup> 이러한 점은 앞선 연구들에서 첫 수술과 두 번째 수술 사이에 어느 정도 간격이 있었기 때문에 발생할 수 있겠지만, 본 연구에서는 양안을 2시간 정도 간격을 두고 같은 날 수술을 하였기 때문에 이러한 점에 의한 영향을 거의 받지 않았던 것이 양안 수술 간에 통증 척도의 차이가 나지 않는데 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 기존 연구들은 수술에 따른 통증 평가에 있어서 수술을 마친 후 수술 전 과정을 종합하여 통증을 수치화하도록 한 반면, 본 연구는 인공수정체 삽입 과정에서의 통증을 배제하고 순수하게 수술 중 안압 차이에 의한 통증 차이를 알아보고자, 초음파 탐이 눈에 들어가는 시간부터 피질흡인세척술까지의 통증을 알아본 것이 차이점이라고 할 수 있다.<sup>25-29</sup>

본 연구에서 수술 후 1달째 Centurion®군과 Infiniti®군 간에 최대 교정시력, 평균 중심각막두께증가율, 평균 각막내피세포감소율은 유의한 차이를 보이지 않았다. Centurion®에 관련된 기존 연구들이 주로 실험실에서 진행되었던 연구인데 반해 본 연구는 실제 백내장 환자를 대상으로 하였고, 술 후의 임상결과에 대해 추가적으로 언급한 데에 의미가 있다고 할 수 있겠다.<sup>10,18,19,23</sup> 본 연구의 특징 중 하나로 양안 백내장 동시수술을 시행한 점을 들 수 있는데, Kim et al<sup>30</sup>의 연구에서와 마찬가지로 수술 후 안내염 등의 합병증은 발생하지 않았다.

본 연구는 술 후 경과 관찰 기간이 1개월로 비교적 짧아

더 긴 추적 관찰 후의 두 군 간의 비교가 이루어지지 않은 한계점이 있으며 추후 장기적 추적 관찰 및 연구가 필요할 것으로 생각된다. Jensen et al<sup>31</sup>의 연구에 의하면 돼지 눈에서 Centurion<sup>®</sup>을 이용하여 초음파 세기(torsional power)를 점진적으로 올렸을 때, 60%의 세기에서 최대의 초음파 효율을 보였고 그 이상의 세기에서는 차이가 없었다고 하였으며, 수정체 떨림(chatter)도 60%의 세기에서 최소를 보였다고 하였다. 본 연구에서는 최대 초음파 세기를 100%로 하였는데 보다 다양하게 초음파 세기, 진공 음압, 흡입 유속을 설정하여 추후 연구를 할 필요성이 있으며, 수술 중 통증에 더 민감할 수 있는 고도근시 백내장 수술, 전방이 비교적 불안정할 수 있는 유리체절제술 후 눈의 백내장 수술 등에 대한 Centurion<sup>®</sup>과 Infiniti<sup>®</sup>의 비교 연구도 이루어져야 할 것으로 생각된다.<sup>32,33</sup> 결론적으로 Centurion<sup>®</sup>군이 Infiniti<sup>®</sup>군보다 수정체유화술의 효율이 더 좋은 것으로 나타났다. 두 군 사이에 수술 중 통증 정도 및 술 후 1달째의 임상결과에서는 차이가 없었다.

## REFERENCES

- Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 1967;64:23-35.
- 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.
- Christakis PG, Braga-Mele RM. Intraoperative performance and postoperative outcome comparison of longitudinal, torsional, and transversal phacoemulsification machines. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:234-41.
- Ataş M, Demircan S, Karatepe Haşhaş AS, et al. Comparison of corneal endothelial changes following phacoemulsification with transversal and torsional phacoemulsification machines. *Int J Ophthalmol* 2014;7:822-7.
- Zeng M, Liu X, Liu Y, et al. Torsional ultrasound modality for hard nucleus phacoemulsification cataract extraction. *Br J Ophthalmol* 2008;92:1092-6.
- Seibel BS. Phacodynamics: mastering the tools and techniques of phacoemulsification surgery, 4th ed. Thorofare: Slack, 2005; 122-3.
- Zhao Y, Li X, Tao A, et al. Intraocular pressure and calculated diastolic ocular perfusion pressure during three simulated steps of phacoemulsification in vivo. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:2927-31.
- Seibel B. Phacodynamic links to complications. In: Fishkind WJ, ed. *Complications in Phacoemulsification: Avoidance, Recognition, and Management*, 1st ed. New York: Thieme, 2002; chap. 25.
- Findl O, Strenn K, Wolzt M, et al. Effects of changes in intraocular pressure on human ocular haemodynamics. *Curr Eye Res* 1997;16:1024-9.
- Nicoli CM, Dimalanta R, Miller KM. Experimental anterior chamber maintenance in active versus passive phacoemulsification fluidics systems. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:157-62.
- Yaylali V, Yildirim C, Tatlipinar S, et al. Subjective visual experience and pain level during phacoemulsification and intraocular lens implantation under topical anesthesia. *Ophthalmologica* 2003;217:413-6.
- Apil A, Kartal B, Ekinci M, et al. Topical anesthesia for cataract surgery: the patients' perspective. *Pain Res Treat* 2014;2014:827659.
- 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.
- Holladay JT, Cravy TV, Koch DD. Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:429-43.
- Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 1996;22:1079-84.
- Rekas M, Montés-Micó R, Krix-Jachym K, et al. Comparison of torsional and longitudinal modes using phacoemulsification parameters. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1719-24.
- 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.
- Chen M, Anderson E, Hill G, et al. Comparison of cumulative dissipated energy between the Infiniti and Centurion phacoemulsification systems. *Clin Ophthalmol* 2015;9:1367-72.
- Boulter T, Jensen JD, Christensen MD, et al. Comparison of a torsional and a standard tip with a monitored forced infusion phacoemulsification system. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:613-7.
- Cameron MD, Poyer JF, Aust SD. Identification of free radicals produced during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:463-70.
- Fernández de Castro LE, Solomon KD, Hu DJ, et al. Comparison of the Infiniti vision and the series 20,000 Legacy systems. *Ophthalmologica* 2008;222:96-9.
- Suzuki H, Oki K, Shiwa T, et al. Effect of bottle height on the corneal endothelium during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:2014-7.
- Sharif-Kashani P, Fanney D, Injev V. Comparison of occlusion break responses and vacuum rise times of phacoemulsification systems. *BMC Ophthalmol* 2014;14:96.
- Heo WJ, Lee JY, Kim HK. Comparison of clinical outcomes between high and low fluid-dynamic parameters during phacoemulsification. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:1860-6.
- Hari-Kovacs A, Lovas P, Facsko A, Crate ID. Is second eye phacoemulsification really more painful? *Wien Klin Wochenschr* 2012;124:516-9.
- Bardocci A, Ciucci F, Lofoco G, et al. Pain during second eye cataract surgery under topical anesthesia: an intraindividual study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249:1511-4.
- Adatia FA, Munro M, Jivraj I, et al. Documenting the subjective patient experience of first versus second cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:116-21.
- Aslan L, Aslankurt M, Cekic O, et al. The pain experience and co-operation of patients in consecutive cataract surgery. *Eur J Ophthalmol* 2013;23:339-43.
- Ursea R, Feng MT, Zhou M, et al. Pain perception in sequential cataract surgery: comparison of first and second procedures. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1009-14.

- 30) Kim JH, Kong SJ, Kim JW, et al. Efficacy and safety of immediate sequential bilateral cataract surgery. J Korean Ophthalmol Soc 2015;56:1854-9.
- 31) Jensen JD, Shi DS, Robinson MS, et al. Torsional power study using CENTURION phacoemulsification technology. Clin Exp Ophthalmol 2016;44:710-3.
- 32) Lofoco G, Ciucci F, Bardocci A, et al. Efficacy of topical plus intracameral anesthesia for cataract surgery in high myopia: randomized controlled trial. J Cataract Refract Surg 2008;34:1664-8.
- 33) Sachdev N, Brar GS, Sukhija J, et al. Phacoemulsification in vitrectomized eyes: results using a 'phaco chop' technique. Acta Ophthalmol 2009;87:382-5.

---

= 국문초록 =

## 능동적 및 중력 기반의 수정체유화 역동학을 이용한 양안 백내장 동시수술 후 임상결과 비교

**목적:** 양안 백내장 동시수술 환자에서 능동적 초음파 역동학을 이용한 Centurion®과 중력 기반의 초음파 역동학을 이용한 Infiniti®를 사용하여 수정체유화술을 시행한 후의 임상결과를 비교하고자 하였다.

**대상과 방법:** 2015년 1월부터 2015년 9월까지 양안 백내장 동시수술 환자 34명 68안을 대상으로 한쪽 눈은 Centurion®을, 다른 쪽 눈은 Infiniti®를 이용하여 수정체유화술을 시행하였다. 누적소비에너지, 수술 중 초음파 시간, 평형염액 사용량 및 통증 정도를 조사하였다. 술 전과 술 후 1달째의 최대교정시력, 중심각막두께, 각막내피세포밀도를 비교하였다.

**결과:** Centurion®군과 Infiniti®군에서 누적소비에너지는 각각  $5.05 \pm 2.18$ ,  $7.05 \pm 3.82$ , 수술 중 초음파 시간은 각각  $24.65 \pm 9.68$  초,  $34.95 \pm 17.95$ 초, 평형염액 사용량은 각각  $37.06 \pm 10.25$  mL,  $44.88 \pm 16.38$  mL였으며, 모두 Centurion®군에서 Infiniti®군에 비해 유의하게 낮았다( $p=0.011$ ,  $p=0.005$ ,  $p=0.021$ , respectively). 수술 중 통증 정도는 Centurion®군에서  $0.26 \pm 0.51$ , Infiniti®군에서  $0.50 \pm 0.71$ 로 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.121$ ). 술 후 1달째 두 군 간에 최대교정시력, 평균 중심각막두께증가율, 평균 각막내피세포감소율은 유의한 차이를 보이지 않았다.

**결론:** Centurion®군이 Infiniti®군보다 수정체유화술의 효율이 더 좋은 것으로 나타났으며, 두 군 사이에 수술 중 통증 정도 및 술 후 1달째의 임상결과에서는 차이가 없었다.

〈대한안과학회지 2017;58(1):27-33〉

---