



능동적 수정체유화 역동학과 하방경사 첨단부를 이용한 백내장수술의 각막내피세포에 대한 안정성

Safety of Active Phacoemulsification Fluidics with Bevel-down Phaco-tip on Corneal Endothelial Cells

구형문 · 이한민 · 이성복 · 김창식 · 김경남

Hyung Moon Koo, MD, Han Min Lee, MD, Sung Bok Lee, MD, PhD, Chang-sik Kim, MD, PhD,
 Kyoung Nam Kim, MD, PhD

충남대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Chungnam University College of Medicine, Daejeon, Korea

Purpose: To evaluate the safety of active phacoemulsification fluidics with a bevel-down phaco-tip on corneal endothelial cells in patients with various corneal endothelial cell densities (ECDs).

Methods: One hundred and seventy-three eyes of 111 patients who underwent cataract surgery using active phacoemulsification fluidics with a bevel-down phaco-tip technique were consecutively enrolled. We analyzed the postoperative changes in corneal parameters including ECD and clinical factors associated with percent change in ECD.

Results: Preoperative mean ECD was $2,511.02 \pm 463.14$ cells/mm² (range, 540-3,390 cells/mm²). There was a significant change in postoperative ECD (-50.70 cells/mm², $p < 0.017$), and no significant change in hexagonality or coefficients of variation. A higher preoperative mean ECD ($B = -0.010$, $p < 0.001$), a higher grade of nucleus sclerosis ($B = -3.002$, $p < 0.001$), and a younger age ($B = 0.167$, $p = 0.040$) were associated with a larger percent change in ECD.

Conclusions: There was very low ECD loss after active phacoemulsification fluidics with a bevel-down phaco-tip. The lower preoperative ECD was not a risk factor for postoperative ECD loss. Therefore, we suggest that active phacoemulsification fluidics with a bevel-down phaco-tip technique can be performed safely in patients with low ECD when nuclear sclerosis is not severe. J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(10):1135-1142

Keywords: Bevel-down, Centurion[®], Corneal endothelial cell density, Specular microscopy phacoemulsification

각막내피는 각막의 후면을 형성하며 주로는 육각형인 다각형의 내피세포들이 단층으로 배열되어 있다. 각막내피세포는 측면 막에 있는 Na⁺/K⁺ ATPase에 의한 펌프 기능을

통해 각막기질 내의 수분을 전방 내로 이동시킴으로써 각막조직의 적당한 탈수 상태를 유지하며, 이는 각막의 투명도를 유지하는 데 매우 중요하다.¹⁻⁵ 각막내피세포의 밀도는 출생 시 약 3,000 cells/mm²로 가장 높고, 재생되지 않는 특성을 가지고 있어 출생 이후로는 연령이 증가함에 따라 밀도가 감소하는 것으로 알려져 있다.⁶⁻⁹ 각막내피세포의 밀도가 500 cells/mm² 이하로 감소하면 기능부전에 의한 각막의 부종 및 혼탁이 발생하고, 비가역적인 시력저하의 원인이 될 수 있다.¹⁰

다양한 안내수술 후 각막내피세포가 손상될 수 있으며, 그중에서도 초음파수정체유화술(phacoemulsification)은 각

- Received: 2020. 3. 12. ■ Revised: 2020. 4. 24.
- Accepted: 2020. 9. 22.
- Address reprint requests to **Kyoung Nam Kim, MD, PhD**
 Department of Ophthalmology, Chungnam University Hospital,
 #282 Munhwa-ro, Jung-gu, Daejeon 35015, Korea
 Tel: 82-42-280-8433, Fax: 82-42-255-3745
 E-mail: kknace@cnuh.co.kr

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

© 2020 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.

막내피세포를 유의하게 감소시킨다는 연구 결과들이 많이 보고되어 있다.^{8,9,10-13} 일반적으로 백내장수술 전 각막내피세포의 밀도가 2,000 cell/mm² 이하이면 수술 중 더욱 주의를 기울여야 하는 것으로 알려져 있으며, 낮은 각막내피세포의 밀도뿐만 아니라 세포 크기의 다양성(polymegathism) 및 다형성(pleomorphism)이 높은 경우도 수술 후 각막부종의 위험이 높아지는 것으로 알려져 있다.^{14,15}

수정체유화술 시 각막내피세포의 손상을 감소시키기 위한 방법으로 작은 각막 절개창, 초음파 사용 시간의 단축, 회전진동 방식의 초음파 첨단부(phaco-tip) 사용, 적절한 점탄물질의 사용 등이 보고되어 있다.¹⁶⁻²⁰ 이외에도 첨단부의 경사가 하방을 향하게 하는 하방경사(bevel-down) 첨단부 방식이 각막내피세포의 손상을 유의하게 낮추었다고 보고된 바 있다.^{19,20}

최근 도입된 Centurion[®] Vision System (Alcon, Fort Worth, TX, USA)은 능동적 수정체유화 역동학을 이용하는 장비로 관류용액 주머니에 능동적으로 압력을 가하여 수술 중 미리 설정된 안압을 유지시킬 수 있다. 이는 기존의 중력에 의존하는(gravity-based fluidics) 방식의 수정체유화기와는 달리 수술 중 흡입력에 변동이 있어도 안압을 일정하게 유지시킴으로써 전방이 안정적으로 유지되도록 도와주는 것으로 알려져 있다.²¹ Kong et al²²은 Centurion[®]와 중력에 의존하는 방식인 Infiniti[®] Vision System (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 비교하였는데 Centurion[®]이 수정체유화술의 효율이 더 좋았다고 하였으나 각막내피세포의 감소율은 Centurion[®]과 Infiniti[®]에서 각각 7.00 ± 9.73%와 7.75 ± 10.66%로 통계적으로 유의한 차이는 없었다고 하였다.

이에 본 연구에서는 다양한 수술 전 각막내피세포밀도를 보이는 백내장 환자들에서 최근 도입된 Centurion[®]을 사용하면서 하방경사 첨단부 방식으로 백내장수술을 시행한 후 각막내피세포의 안정성을 평가하고자 하였다. 또한, 수술 후 각막내피세포의 손상에 영향을 미치는 임상 인자를 확인하고자 하였다.

대상과 방법

2018년 5월부터 2019년 4월까지 충남대학교병원에서 백내장에 대해 초음파수정체유화술 및 후방인공수정체삽입술을 시행 받은 111명 173안을 대상으로 하였다. 안과 수술의 과거력, 각막 질환이나 각막혼탁이 있는 경우, 백내장수술 시 다른 술기를 병행하거나 후방파열 또는 섬모체소대해리 등이 합병된 경우는 제외하였다. 본 연구는 충남대학교병원의 의학연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인하에 진행되었다(승인 번호: 201912-066).

대상 환자들은 수술 전 세극등현미경검사, 자동굴절검사, 안압검사, 안저검사, 안축장검사, 중심각막두께검사, 경면현미경검사를 포함한 전반적인 안과검사를 시행 받았다. 세극등현미경검사를 이용하여 백내장 정도를 확인하였으며 Wilmer식 분류법을 이용하여 핵경화 정도에 따라 1-4등급으로 분류하였다. 갈색백내장의 경우 4등급으로 분류하였다. 수술 전 1개월 이내 및 수술 후 3-4개월째에 비접촉식 경면현미경(NSP-9900 Konan specular microscope X, Konan Medical, Inc., Irvine, CA, USA)을 사용하여 단위면적당 각막내피세포의 수를 나타내는 각막내피세포의 밀도(endothelial cell density, cells/mm²) 및 내피세포 면적의 다양성을 나타내는 세포면적변이계수(coefficient of variation), 전체 내피세포 중 육각형인 내피세포의 비율을 나타내는 육각형성(hexagonality)을 측정하였다. 각막내피세포 밀도의 감소율은 수술 전에 대한 수술 후 변화를 백분율로 계산하였다.

모든 수술은 단일 술자에 의해 이루어졌으며, 2.2 mm 투명 각막절개를 통해 진행되었다. Alcaine[®] (propacaine hydrochloride 0.5%, Alcon, Fort Worth, TX, USA)으로 점안마취를 시행하였고, 우안에서는 11시, 좌안에서는 5시 방향에 전방천자를 시행한 후 각각 8시와 2시 방향에서 2.2 mm 투명 각막절개를 시행하였다. 점탄물질인 히알루 주사 1%[®] (sodium hyaluronate 1%; Hanmi Pharma Co., Seoul, Korea)를 삽입한 후 26게이지 바늘을 이용하여 연속곡선수정체낭원형절개를 시행하였다. 수력분리술을 시행한 후 초음파수정체유화술 및 후방인공수정체삽입술을 시행하였다. 관류 및 흡인을 시행하여 잔류 점탄물질을 제거한 후 각막 봉합 없이 수술을 마쳤다. Centurion[®]은 수술 중 유지 안압을 34 mmHg, 최대 초음파 출력은 핵경화도에 따라 40-65%로 설정하였다. 최대 진공 음압 한계는 400 mmHg, 흡입 유속은 40 mL/min으로 설정하였으며, 45°의 0.9 mm Intrepid Balanced tip[®] (Alcon)을 경사면이 아래로 향하도록 하여 수정체유화술을 시행하였다. 평균 초음파 세기(mean ultrasound power, mean US power), 총 초음파 시간(ultrasound time, UST), 총 초음파 사용량(cumulative dissipated energy [CDE] = mean US power × UST), 수술 중 사용한 총 평형염액(balanced salt solution [BSS][®]; Alcon) 관류량(total used BSS volume, mL)을 측정하였다. 수술 후 Cravit[®] (levofloxacin 1.5%, Santen Pharmaceutical Co., Ltd., Osaka, Japan), Fumeron[®] (fluorometholone 0.1%, Hanlim Pharmaceutical Co.)을 1일 4회, Bronuck[®] (bromfenac sodium, Taejoon Pharm, Seoul, Korea)을 1일 2회 4주간 점안하도록 하였다.

대상 환자들은 수술 후에도 수술 전과 동일한 장비를 사용하여 안과적 검사들을 진행하였으며 수술 후 시력, 안압,

각막내피세포밀도, 세포면적변이계수, 육각형성 그리고 중심각막두께를 수술 전과 비교 분석하였다. 또한, 각 환자에서 각막내피세포밀도의 변화율(%)을 분석하여 이와 관련 있는 임상인자들을 확인하였다. 통계적 분석은 SPSS for Windows statistical software (ver. 18.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였으며 수술 전과 후의 비교는 paired *t*-test를 이용하였으며, 각막내피세포밀도의 변화율과 관련 있는 임상인자들의 분석은 단변량 및 다변량 회귀분석을 이용하였다. *p*값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

결 과

전체 111명 173안이 분석에 포함되었다. 백내장의 핵경화 정도는 1-4등급으로 비교적 고른 분포를 보였으며, 수술 전 각막내피세포의 밀도는 540-3,390 cell/mm²로 다양한 분포를 보였다(Fig. 1). 평균 연령은 70.40 ± 9.41세였으며, 남성이 75명, 여성이 98명이 포함되었다. 최대교정시력은 0.44 ± 0.47 logarithm of minimal angle of resolution (logMAR)였으며, 중심각막두께는 548.63 ± 41.67 μm였고 백내장의 핵경화는 평균 2.40 ± 0.83등급(Wilmer식 분류)이었다. 수술 전 경면현미경검사서 각막내피세포의 밀도는 평균 2,511.02 ± 463.14 cell/mm²였으며 육각형성은 57.65 ± 11.87%였고, 세포면적변이계수는 32.15 ± 7.42%였다(Table 1).

수술 중 총 초음파 사용량은 평균 6.72 ± 4.62였고, 총 초음파 시간은 43.60 ± 24.39 seconds, 총 평형염액 관류량은 57.47 ± 16.06 mL였다(Table 2). 수술 후 시력은 수술 전에 비해 0.34 ± 0.43 logMAR의 유의한 시력의 개선을 보였으

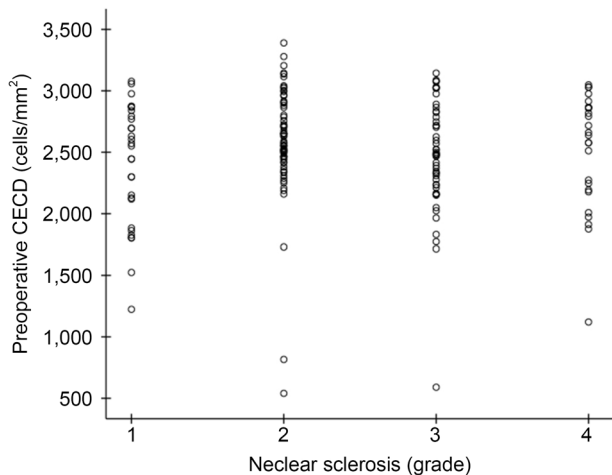


Figure 1. Distribution of the patients according to nuclear sclerosis and preoperative corneal endothelial cell density (CECD) of the eyes (n = 173).

며(*p*<0.001), 안압은 수술 전보다 1.60 ± 4.28 mmHg 감소하였다(*p*<0.001). 수술 후 각막내피세포의 밀도는 50.70 ± 277.52 cell/mm² 감소하였다(*p*<0.017). 하지만, 육각형성과 세포면적변이계수, 중심각막두께에는 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 3).

수술 후 각막내피세포밀도의 감소율은 평균 -1.46 ± 10.73% (*p*=0.339, Table 3)였으며, 단변량 회귀분석 결과에서는 나이가 적을수록, 수술 전 안압이 높을수록, 전방 깊이가 얇을수록, 수정체의 핵경화 등급이 높을수록, 수술 전 각막내피세포의 밀도가 높을수록 수술 후 각막내피세포 밀도의 감소율이 커지는 것으로 나타났다. 하지만, 다변량 회귀분석을 시행한 후에는 수술 전 안압은 각막내피세포 밀도의 감소와 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 전방이 얇은 것은 경계 수준의 통계적 유의성을 보였다(B=2.714, *p*=0.054). 나이가 적은 것(B=0.167, *p*=0.040)과 핵경화 등급이 높은 것(B=-3.002, *p*<0.001) 그리고 수술 전

Table 1. Characteristics of the patients

Characteristic	Eyes (n = 173)
Age (years)	70.40 ± 9.41 (34-86)
Sex (M:F)	75:98 (43.4:56.6)
DM	56 (32.4)
HTN	96 (55.5)
BCVA (logMAR)	0.44 ± 0.47 (0.00-2.00)
Intraocular pressure (mmHg)	17.78 ± 4.06 (10-32)
Axial length (mm)	23.61 ± 1.12 (21.45-28.19)
Anterior chamber depth (mm)	3.12 ± 0.51 (2.04-4.88)
Central corneal thickness (μm)	548.63 ± 41.67 (414-671)
Nuclear sclerosis (grade)	2.40 ± 0.83 (1-4)
Corneal specular microscopy	
Endothelial cell density	2,511.02 ± 463.14 (540-3,390) (cells/mm ²)
Hexagonality (%)	57.65 ± 11.87 (25-96)
Coefficient of variability (%)	32.15 ± 7.42 (16-84)

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

M:F = male:female; DM = diabetes mellitus; HTN = hypertension; BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of minimal angle of resolution.

Table 2. Parameters of the phacoemulsification and operation time

Parameter	Value
Cumulative dissipated energy	6.72 ± 4.62 (1.89-26.16)
Ultrasound time (seconds)	43.60 ± 24.39 (6.5-140.9)
Total used BSS volume (mL)	57.47 ± 16.06 (39-114)
Operation time (minutes)	19.81 ± 7.37 (9-60)

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

BSS = balanced salt solution.

각막내피세포밀도가 높은 것(B=-0.010, $p<0.001$)은 통계적인 유의성을 유지하였다(Table 4, Fig. 2).

고 찰

본 연구에서는 다양한 수술 전 각막내피세포밀도를 보이는 백내장 환자들을 대상으로 Centurion®의 능동적 수정체유화 역동학을 사용하여 수술 중 전방을 보다 안정적으로 유지하면서 하방경사 첨단부 방식을 사용하는 수술 방법인 수술 후 각막내피세포에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 결과적으로 수술 후 각막내피세포밀도의 감소율은 평균 $1.46 \pm 10.73\%$ ($p=0.339$)였으며 이는 이전 연구 결과들에서 보고한 6.3-16.1%에 비해 상당히 낮은 수치였다.^{10,22,23}

지난 수십 년간 백내장의 수술 방법은 급격하게 발전하였다.^{24,25} 일반적으로 사용되는 가장 최신의 백내장수술 방법은 초음파수정체유화술이며, 다양한 수술 장비와 수술

기법들이 도입됨으로써 수술의 안정성과 효율성이 매우 높아졌다.^{16,17,19,20,26,27} 하지만 초음파수정체유화술을 시행하는 경우 초음파 에너지에 의한 각막내피세포의 손상은 잘 알려져 있으며, 특히 핵경화도가 높은 환자에서는 심각한 각막내피세포의 손상을 유발할 수 있다고 보고된 바 있다.¹⁰ 수술 중 사용한 초음파의 사용 시간이 길수록, 총 초음파 사용량이 많을수록 각막내피세포 손상이 심한 것으로 알려져 있다.²⁸ 이외에도 각막에 대한 수정체 핵조각의 마찰이나 충돌과 같은 물리적인 접촉, 음압, 흡입 유속 등의 유체 에너지도 각막내피세포의 손상을 유발할 수 있다고 알려져 있다.²⁹⁻³¹

본 연구에서 수술 후 각막내피의 손상 정도가 기존의 연구 결과들보다 낮았던 이유 중 하나로는 먼저 Centurion®을 사용한 점을 생각해 볼 수 있다. Centurion®은 기존의 초음파수정체유화기들이 평형염액의 높이를 조절하여 관류압을 조절했던 것과는 달리 평형염액 주머니에 능동적으로 압력

Table 3. Postoperative changes in visual acuity, intraocular pressure, and parameters of the specular microscopy

Characteristic	Changes (%)	p-value*
BCVA (logMAR)	-0.34 ± 0.43	<0.001
Intraocular pressure (mmHg)	-1.60 ± 4.28	<0.001
Central corneal thickness (μm)	4.82 ± 36.2	0.102
Corneal specular microscopy		
Endothelial cell density (cell/mm ²)	-50.70 ± 277.52 (-1.46 ± 10.73)	0.017 (0.339)
Hexagonality (%)	0.92 ± 14.64 (6.50 ± 19.62)	0.407 (0.005)
Coefficient of variability (%)	0.04 ± 7.58 (4.32 ± 14.00)	0.944 (0.019)

Values are presented as mean ± standard deviation.

BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of minimal angle of resolution.

*p-values were estimated by paired t-test.

Table 4. Clinical factors associated with percent change in corneal endothelial cell density

Characteristic	Univariate analysis		Multivariate analysis	
	B (95% confidence interval)	p-value	B (95% confidence interval)	p-value
Age (years)	0.186 (0.011 to 0.360)	0.036	0.167 (0.007 to 0.327)	0.040
Sex (male)	1.227 (-2.107 to 4.561)	0.467		
DM	-2.175 (-5.697 to 1.347)	0.223		
HTN	2.624 (-0.683 to 5.931)	0.118		
BCVA (logMAR)	-1.743 (-5.275 to 1.789)	0.330		
Intraocular pressure (mmHg)	-0.473 (-0.875 to -0.071)	0.021	-0.188 (-0.533 to 0.157)	0.281
Axial length (mm)	1.332 (-0.131 to 2.795)	0.073		
Anterior chamber depth (mm)	3.487 (0.242 to 6.732)	0.035	2.714 (-0.058 to 5.486)	0.054
Central corneal thickness (μm)	-0.016 (-0.596 to 0.028)	0.451		
Nuclear sclerosis (grade)	-2.530 (-4.264 to -0.796)	0.004	-3.002 (-4.552 to -1.452)	<0.001
Corneal specular microscopy				
Endothelial cell density (cells/mm ²)	-0.011 (-0.015 to -0.007)	<0.001	-0.010 (-0.014 to -0.006)	<0.001
Hexagonality (%)	-0.026 (-0.167 to 0.115)	0.711		
Coefficient of variability (%)	0.117 (-0.107 to 0.341)	0.299		
Operation time (minutes)	-0.030 (-0.258 to 0.198)	0.798		

DM = diabetes mellitus; HTN = hypertension; BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of minimal angle of resolution.

을 가하여 수술 중 흡입 유속이 변하더라도 안압을 일정하게 유지시켜 준다.²¹ 또한, Sharif-Kashani et al³²은 실험실 연구를 통해 Centurion[®]은 이전 모델보다 유순도가 낮은 배관을 사용하였기 때문에 작동 중 급류의 발생이 적다고 하였는데, 백내장수술 중 급류의 발생이 적은 것은 핵조각들이 각막내피에 직접 접촉될 위험을 낮출 수 있어 각막내피의 보호에 도움이 될 것으로 기대할 수 있다.³³ 수술 중 안압을 일정하게 유지시키고 급류의 발생이 적은 특성은 전방을 안정적으로 유지시켜 수정체유화술의 효율을 높이는 데 도움이 되며, 본 연구에 사용된 Intrepid Balanced tip[®] (Alcon)은 회전진동 운동이 가능한 초음파 첨단부로 기존의 회전진동 초음파 첨단부에 비해 회전진동 운동들이 더 증가하여 초음파 에너지의 효율이 더욱 높은 것으로 알려

져 있다.²⁶ 최근 Kong et al²²은 Centurion[®]이 중력 기반의 수정체유화 역동학을 이용하는 Infiniti[®]에 비해 수술 중 사용한 총 초음파 사용량과 초음파 사용 시간이 짧아 수정체유화술의 효율이 좋다고 보고하였다. 이 연구에서 Centurion[®]을 사용한 군의 총 초음파 사용량과 초음파 사용 시간은 각각 평균 5.05와 24.65초였으며, 각막내피세포밀도의 감소율은 $7.00 \pm 9.33\%$ 로 Infiniti[®]를 사용한 군의 $7.75 \pm 10.66\%$ 보다 약간 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않다고 하였다. 이에 비해 본 연구에서는 6.72로 더 많은 총 초음파 사용량과 43.60초로 더 긴 초음파 사용 시간을 소비하여 술 후 각막내피세포의 손상이 더 심할 것으로 예상할 수 있으나 실제 수술 후 각막내피세포의 감소율은 $1.46 \pm 10.73\%$ 로 더 적은 손상을 보였다. 두 연구에 포함된 환자들의 특성에 차

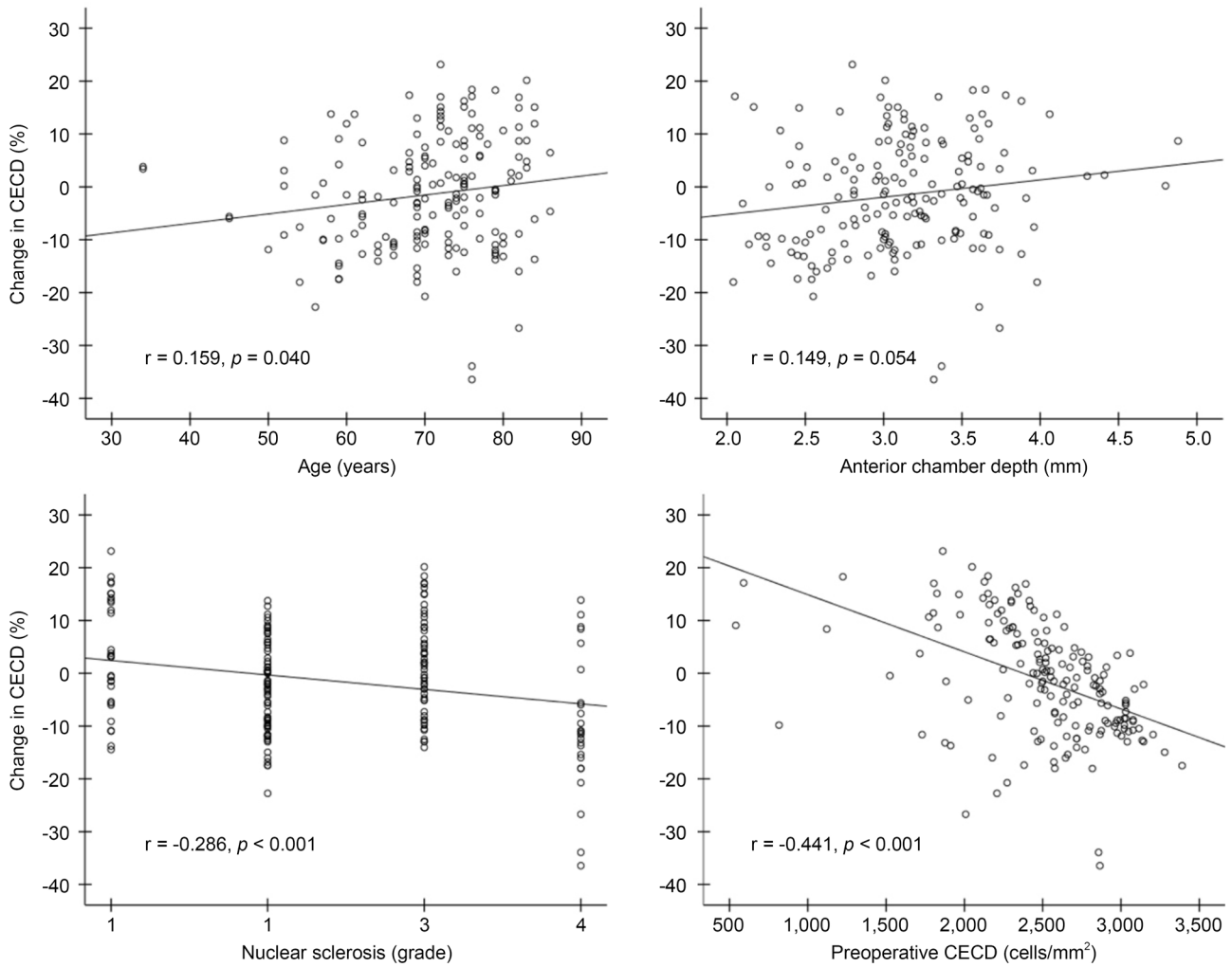


Figure 2. Correlations between change in corneal endothelial cell density (CECD) and clinical factors showing statistical significance with change in CECD. Age, nuclear sclerosis, and preoperative CECD were significantly associated with postoperative change in CECD. There was borderline statistical significance between anterior chamber depth and postoperative change in CECD. *p*-values were estimated by multivariate regression analysis. *r* = partial correlation coefficient.

이가 있기 때문에 결과를 직접 비교하기는 어려울 수 있으나 본 연구에서 사용한 하방경사 첨단부 방식이 각막손상을 낮추는 데 도움이 되었을 것으로 생각한다. 일반적으로 수정체유화술 시 첨단부의 경사면은 상방의 각막을 향하게 위치시키지만 본 연구에서 술자는 첨단부 경사면을 하방의 수정체를 향하도록 유지하면서 수술을 시행하였다. 몇몇 연구들에서 첨단부의 하방경사 방식과 상방경사 방식을 비교한 결과를 보고한 바 있다.^{19,20,27,34} 수정체유화술 후 3개월째 각막내피세포밀도의 감소율이 하방경사 방식에서는 3.6%였고 상방경사 방식에서는 6.9%였다고 보고한 Raskin et al²⁷의 연구를 포함한 대부분의 보고에서는 하방경사 방식이 상방경사 방식에 비해 각막내피세포의 손상이 덜하다고 하였다.^{19,20,24} 반면, Faramarzi et al¹⁹은 수술 후 각막내피세포밀도의 감소율이 하방경사 방식에서 $13.6 \pm 15.2\%$ 로, 상방경사 방식의 $5.9 \pm 5.8\%$ 에 비해 손상이 더 심했다고 보고하였는데, 이에 대해 저자들은 술자가 하방경사 방식의 수술에 상대적으로 덜 익숙했던 점을 연구의 주요한 제한점 중 하나로 제시하여 결과의 해석에 유의할 필요가 있어 보인다. 하방경사 첨단부는 각막에 대한 핵 조각의 마찰이나 충돌 같은 물리적인 접촉과 음압 및 흡입 유속 등의 유체 에너지의 방향이 직접 각막내피세포를 향하지 않게 하여 각막내피세포의 손상을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.²⁷

각막내피세포는 외상이나 수술 등에 의해 손상되면 재생되지 않으며, 주변의 정상적인 내피세포들이 손상 부위로 이동 및 재배열되고, 세포의 크기가 커지는 등의 적응을 통해서 다각형의 형태학적 특성과 각막기질의 부종을 제거하는 기능을 회복하게 된다.³⁴ 따라서 수술 전 각막내피세포밀도가 낮은 환자에서는 수술 중 각막내피세포가 더 손상되면 완전한 회복이 어렵고 지속적인 각막부종 및 시력저하로 연결될 위험이 있어 수술의 시기와 방법 선택에 대해서 아직까지 논란이 있다. 최근에는 몇몇 연구들에서 각막내피세포밀도가 낮은 환자를 대상으로 수정체유화술을 시행한 결과를 보고하였는데, 각막내피세포밀도가 정상 범위인 대조군에 비해 수술 후 각막내피세포의 감소율에 차이는 없었으며 비교적 안전하게 수술을 시행할 수 있다고 하였다.³⁵⁻³⁷ Choi et al³⁵은 전층각막이식의 기왕력을 포함한 다양한 안질환에 의해 각막내피세포밀도가 $1,000 \text{ cell/mm}^2$ 이하인 19명 19안을 대상으로 수정체유화술을 시행하였는데, 수술 후 1개월째 $9.6 \pm 11.9\%$ 의 감소율을 보였다고 하였다. 수술 전 내피세포밀도가 367 cell/mm^2 였던 1안에서만 수술 후 수포각막병증이 발생하였으며 다른 환자들에서는 수술 후 6개월째부터는 중심각막두께도 수술 전 수준으로 회복되었다고 하였다. Yamazoe et al³⁶도 다양한 안질환

으로 각막내피세포밀도가 $1,000 \text{ cell/mm}^2$ 미만인 53명 61안을 대상으로 수정체유화술을 진행하였다. 9안(14.8%)에서 수포각막병증이 발생하였지만 각막내피세포의 감소율은 $11.5 \pm 23.4\%$ 로 정상인을 대상으로 한 이전 연구들에서 보고한 감소율과 차이가 없었기 때문에 각막내피세포밀도가 낮은 환자에서도 비교적 안전하게 수정체유화술을 시행할 수 있겠다는 결론을 내렸다. 본 연구에서는 수술 전 각막내피세포밀도가 낮을수록 오히려 술 후 각막내피세포의 감소율이 낮은 것으로 나왔는데 이는 술자가 환자들의 각막내피세포밀도를 알고 있는 상태에서 수술을 진행하였기 때문에 이들에게서 초음파 에너지를 더 적게 사용하려고 노력하고, 핵 조각이 전방으로 나오지 않도록 더 주의하면서 수술을 시행했을 것으로 예상된다. 본 연구에서 각막내피세포밀도가 $1,000 \text{ cell/mm}^2$ 미만인 환자의 수가 너무 적어(3안) 나머지 환자와 직접 통계적으로 비교 분석하지는 못하였으나 이전의 연구들에서 각막내피세포밀도가 낮아도 술 후 감소율은 정상인에서와 비슷한 것으로 나온 점을 고려하면, 본 연구의 수술 방법을 각막내피세포밀도가 $1,000 \text{ cell/mm}^2$ 보다 낮은 환자들에게 적용했을 때에도 각막내피세포의 감소율이 더 높지는 않았을 것으로 예상된다.

수술 후 각막내피세포의 손상과 연관된 환자 요인으로서는 각막내피세포밀도 뿐만 아니라 세포 크기의 다양성(polymegathism) 및 다형성(pleomorphism)도 고려해야 할 대상으로 알려져 있다.³⁴ Krachmer et al¹⁵은 경면현미경검사서 제시하는 세포면적면이계수가 40%를 초과하거나 육각형성이 50% 미만인 경우 수술 후 각막부종의 위험이 높아진다고 하였다. 하지만 최근 Kim and Jung³⁸은 수술 전 세포면적면이계수 40%와 육각형성 50%를 기준으로 환자군을 나누어 각막내피세포의 감소율을 비교하였으나 환자군 사이에 유의한 차이가 없었다고 하였고, 극단적으로 세포면적면이계수가 60% 이상인 경우와 10% 미만인 경우, 그리고 육각형성이 80% 이상인 경우와 10% 미만인 경우를 비교했을 때에도 술 후 각막내피세포밀도의 감소율에는 유의한 차이가 없었다고 하였다. 본 연구에서도 세포면적면이계수와 육각형성은 수술 후 각막내피세포밀도의 감소율과 연관성이 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서 수술 전 각막내피세포밀도 외에도 나이가 젊은 것, 핵경화도가 높은 것이 각막내피세포밀도의 감소율을 높이는 인자로 나타났다. 이전 연구 결과에 따르면 Minassian et al²⁴은 높은 핵 경화도와 함께 고령의 나이가 수술 후 각막내피세포 감소의 위험요인이라고 하였고, Kim and Jung³⁸도 환자의 나이가 많을수록 각막내피세포의 감소율이 높다고 하였다. 이에 반해 Yamazoe et al³⁶은 나이는 술 후 각막내피세포의 감소율과 연관이 없다고 하였다.

본 연구에서 전방이 얇은 것은 경계 수준의 통계적 유의성을 보였는데, Yamazoe et al³⁶의 연구에서도 안축장이 짧은 것이 각막내피세포밀도의 감소율을 높인다고 보고한 바 있다. 전방이 얇으면 수술 기구와 핵 조각이 움직일 수 있는 공간이 좁고, 인공수정체의 삽입 시 각막에 접촉될 위험도 높아질 수 있을 것으로 보인다.

본 연구의 한계로는 첫째, 단일 환자군을 대상으로 하였기 때문에 Centurion[®]을 사용한 하방경사 첨단부 방식이 각막내피세포 손상을 대조군에 비해 어느 정도나 낮추는지를 직접 비교해볼 수 없었다. 하지만 기존에 보고된 연구들에서 제시한 감소율과 비교해볼 때 상당히 낮은 수치의 감소율을 보였다. 둘째, 본 연구에서는 기존에 각막 질환이나 수술력이 있는 경우는 제외하였기 때문에 이러한 요인이 있으면서 각막내피세포 밀도가 낮은 환자에서도 Centurion[®]을 사용한 하방경사 첨단부 방식이 유용할 지는 알 수 없다. 하지만 직관적으로 볼 때 각막 질환 또는 수술력의 요인이 있는 군에서 특별히 효용성이 떨어질 위험은 없을 것으로 예상된다. 셋째, 수술 전과 수술 후에 시행한 경면현미경검사가 정확히 동일한 각막 위치에서 시행되지 못했을 수 있다. 하지만 수술 후 각막내피세포밀도 변화의 표준편차가 이전에 보고된 연구 결과들과 유사하게 나타난 점으로 미루어 볼 때 검사 간 변동성은 이전 연구 결과들과 차이가 없을 것으로 예상된다. 넷째로 본 연구의 술자는 하방경사 첨단부 방식의 술기에 능숙한 상태에서 연구를 진행하였기 때문에 그렇지 않은 술자에서는 다른 결과를 보일 수 있을 것으로 예상된다.

결론적으로 능동적 수정체유화 역동학을 이용한 Centurion[®] 및 하방경사 첨단부 방식으로 초음파수정체유화술을 시행하는 것은 이전의 여러 연구들에서 보고된 각막내피세포밀도의 감소율에 비해 상당히 낮은 감소율을 보여 수술 후 각막내피세포의 손상을 줄이는 데 도움이 될 것으로 기대된다. 술 전 각막내피세포밀도가 매우 낮은 환자에서도 핵경화 정도가 심하지 않고 전방이 매우 얇지 않다면 비교적 안전하게 시행할 수 있는 수술 방법이 될 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Hodson S. Evidence for a bicarbonate-dependent sodium pump in corneal endothelium. *Exp Eye Res* 1971;11:20-9.
- 2) Maurice DM. The location of the fluid pump in the cornea. *J Physiol* 1972;221:43-54.
- 3) Dikstein S, Maurice DM. The metabolic basis to the fluid pump in the cornea. *J Physiol* 1972;221:29-41.
- 4) Fischbarg J, Lim JJ. Role of cations, anions and carbonic anhydrase in fluid transport across rabbit corneal endothelium. *J Physiol* 1974;241:647-75.
- 5) Geroski DH, Matsuda M, Yee RW, Edelhauser HF. Pump function of the human corneal endothelium. Effects of age and cornea guttata. *Ophthalmology* 1985;92:759-63.
- 6) American Academy of Ophthalmology. Corneal endothelial photography. Three-year revision. *Ophthalmology* 1997;104:1360-5.
- 7) Waring GO 3rd, Bourne WM, Edelhauser HF, Kenyon KR. The corneal endothelium. Normal and pathologic structure and function. *Ophthalmology* 1982;89:531-90.
- 8) Bourne WM, Kaufman HE. Specular microscopy of human corneal endothelium in vivo. *Am J Ophthalmol* 1976;81:319-23.
- 9) Bourne WM, O'Fallon WM. Endothelial cell loss during penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1978;85:760-6.
- 10) Bourne RR, Minassian DC, Dart JK, et al. Effect of cataract surgery on the corneal endothelium: modern phacoemulsification compared with extracapsular cataract surgery. *Ophthalmology* 2004;111:679-85.
- 11) Smith DL, Skuta GL, Lindenmuth KA, et al. The effect of glaucoma filtering surgery on corneal endothelial cell density. *Ophthalmic Surg* 1991;22:251-5.
- 12) Eom Y, Kim SW, Ahn J, et al. Comparison of cornea endothelial cell counts after combined phacovitrectomy versus pars plana vitrectomy with fragmentation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251:2187-93.
- 13) Smith J, Whitted P. Corneal endothelial changes after argon laser iridotomy. *Am J Ophthalmol* 1984;98:153-6.
- 14) Kim MS. Clinical corneal endothelium, 1st ed. Vol. 1. Goyang: Naewahaksool, 2014;224-5.
- 15) Krachmer J, Mannis M, Holland E. Cornea, 3rd ed. Vol. 1. St. Louis: Mosby, 2010;188.
- 16) Van den Bruel A, Gailly J, Devriese S, et al. The protective effect of ophthalmic viscoelastic devices on endothelial cell loss during cataract surgery: a meta-analysis using mixed treatment comparisons. *Br J Ophthalmol* 2011;95:5-10.
- 17) Lee EK, Kim MK, Wee WR, Lee JH. Short-term outcome of cataract surgery using torsional-mode phacoemulsification for patients with low endothelial cell counts. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:434-41.
- 18) Kim EC, Byun YS, Kim MS. Microincision versus small-incision coaxial cataract surgery using different power modes for hard nuclear cataract. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1799-805.
- 19) 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.
- 20) Coelho RP, Raskin E, Paula JS, Cruz AA. Tip position during phaco [letter]. *Ophthalmology* 2008;115:2315.
- 21) 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.
- 22) Kong SJ, Jang C, Lim TH, et al. Comparison between active and gravity-based phacoemulsification fluidics systems in immediate sequential bilateral cataract surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2017;58:27-33.
- 23) Dick HB, Kohnen T, Jacobi FK, Jacobi KW. Long-term endothelial cell loss following phacoemulsification through a temporal clear corneal incision. *J Cataract Refract Surg* 1996;22:63-71.
- 24) Minassian DC, Rosen P, Dart JK, et al. Extracapsular cataract extraction compared with small incision surgery by phacoemulsifica-

- tion: a randomised trial. Br J Ophthalmol 2001;85:822-9.
- 25) Steinert RF. Cataract surgery: technique, complications & management, 2nd ed. Vol. 1. Philadelphia: W.B. Saunders, 1995;185-91.
- 26) 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.
- 27) Raskin E, Paula JS, Cruz AA, Coelho RP. Effect of bevel position on the corneal endothelium after phacoemulsification. Arq Bras Oftalmol 2010;73:508-10.
- 28) 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.
- 29) Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 1996;22:1079-84.
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) Sharif-Kashani P, Fanney D, Injev V. Comparison of occlusion break responses and vacuum rise times of phacoemulsification systems. BMC Ophthalmol 2014;14:96.
- 33) 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.
- 34) Yang J, Lee JK. Long-term endothelial cell changes after angle-supported anterior chamber lens implantation in phakic eyes. J Korean Ophthalmol Soc 2012;53:208-14.
- 35) Choi JH, Oh HJ, Yoon KC. Long-term results after cataract surgery in patients with low corneal endothelial cell density. J Korean Ophthalmol Soc 2013;54:602-9.
- 36) Yamazoe K, Yamaguchi T, Hotta K, et al. Outcomes of cataract surgery in eyes with a low corneal endothelial cell density. J Cataract Refract Surg 2011;37:2130-6.
- 37) 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.
- 38) Kim P, Jung MS. Influence of preoperative corneal endothelial status on postoperative corneal endothelium density after cataract surgery. J Korean Ophthalmol Soc 2017;58:131-9.

= 국문초록 =

능동적 수정체유화 역동학과 하방경사 첨단부를 이용한 백내장수술의 각막내피세포에 대한 안정성

목적: 다양한 각막내피세포밀도를 보이는 백내장 환자들에서 능동적 수정체유화 역동학을 이용한 Centurion® Vision System (Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 하방경사 첨단부 방식으로 백내장수술을 시행한 후 각막내피세포의 안정성을 평가하고자 하였다.

대상과 방법: 백내장수술을 시행한 111명 173안에서 수술 전과 후의 각막내피세포밀도와 형태 지표들을 비교하였으며, 수술 후 각막내피세포밀도의 감소율과 연관된 인자들을 분석하였다.

결과: 수술 전 각막내피세포밀도는 평균 $2,511.02 \pm 463.14$ cells/mm² (range, 540–3,390 cells/mm²)였다. 각막내피세포밀도는 수술 후 유의한 감소를 보였으며(-50.70 cells/mm², $p < 0.017$) 육각형성과 세포면적변이계수, 그리고 중심각막두께에는 유의한 변화를 보이지 않았다. 수술 전 각막내피세포밀도가 높을수록(regression coefficient, $B = -0.010$, $p < 0.001$), 백내장의 핵경화도가 높을수록($B = -3.002$, $p < 0.001$), 나이가 적을수록($B = 0.167$, $p = 0.040$) 각막내피세포밀도의 감소율(%)은 커졌다.

결론: Centurion®을 사용한 하방경사 첨단부 방식은 매우 낮은 각막내피세포밀도의 감소율을 보였으며, 수술 전 각막내피세포밀도가 낮은 것은 술 후 각막내피세포밀도 감소의 위험요인이 아니었다. 따라서, 술 전 각막내피세포밀도가 낮은 환자에서도 핵경화도가 심하지 않은 경우에는 비교적 안전하게 시행할 수 있는 수술 방법이 될 수 있을 것으로 보인다.

<대한안과학회지 2020;61(10):1135–1142>

구형문 / Hyung Moon Koo

충남대학교 의과대학 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Chungnam University College of Medicine

