

doi: 10.25005/2074-0581-2025-27-3-640-650

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРЁХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ КОНТРАСТИРОВАНИЯ ПЕРЕДНЕЙ КАПСУЛЫ ХРУСТАЛИКА В КАТАРАКТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ИНВАЗИВНОМУ КРАСИТЕЛЮ ТРИПАНОВОМУ СИНЕМУ

А.В. ЖУРАВЛЁВ, В.С. СТЕБНЕВ

Кафедра глазных болезней Института профессионального образования, Самарский государственный медицинский университет, Самара Российская Федерация

Цель исследования: оценка клинической эффективности и безопасности применения нового метода визуализации передней капсулы хрусталика (ПКХ) для выполнения переднего капсулорексиса с использованием трёхмерной системы визуализации без применения инвазивного красителя трипановый синий.

Материал и методы: материал исследования состоял из основной (ОГ) и контрольной групп (КГ) пациентов. ОГ состояла из 250 человек и была прооперирована с использованием системы трёхмерной визуализации; для контрастирования ПКХ при капсулорексисе использовался авторский способ визуализации с использованием системы трёхмерной визуализации, программных цветофильтров и сниженной мощности света операционного микроскопа. КГ (250 человек) прооперирована с использованием стандартной аналоговой визуализации, для контрастирования ПКХ был использован инвазивный краситель трипановый синий 0,05%.

Результаты: ОГ и КГ пациентов продемонстрировали низкое количество интра- и послеоперационных осложнений (8 случаев из 500 глаз, что составляет 1,6%). Статистически значимые отличия между ОГ и КГ по показателям максимальной корригированной (МКОЗ) и некорригированной остроты зрения (НКОЗ) не обнаружены ($p>0,05$). Средняя продолжительность оперативного вмешательства в ОГ составила 10,2 минут, в КГ – 11,1 минут ($p>0,05$). Статистически значимо увеличилась длительность выполнения этапа капсулорексиса в ОГ ($p<0,05$), а также время имплантации интраокулярной линзы (ИОЛ) в КГ ($p<0,05$). В ОГ использовалась значительно меньшая мощность света операционного микроскопа. В среднем в ОГ мощность используемого света операционного микроскопа составила 17,2%, в КГ – 47,9% ($p<0,05$). В ОГ было зафиксировано статистически значимо меньшее количество радиальных разрывов ПКХ – 0,8% пациентов, в КГ – 4,0% ($p<0,05$). Уход капсулорексиса на периферию наблюдался у 0,4% пациентов ОГ и у 1,6% пациентов КГ ($p>0,05$).

Заключение: метод визуализации ПКХ с использованием системы трёхмерной визуализации и цветофильтров актуален для использования в хирургии катаракты и может рассматриваться как альтернатива стандартному методу её визуализации с использованием красителя трипанового синего.

Ключевые слова: офтальмохирургия, трёхмерная визуализация, катаракта, капсулорексис.

Для цитирования: Журавлёв АВ, Стебнев ВС. Использование системы трёхмерной визуализации для контрастирования передней капсулы хрусталика в катарактальной хирургии как альтернатива инвазивному красителю трипановому синему. *Вестник Авиценны*. 2025;27(3):640-50. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-3-640-650>

UTILIZING A 3D MODEL AS AN ALTERNATIVE TO TRYPAN BLUE STAINING FOR THE VISUALIZATION OF THE ANTERIOR LENS CAPSULE DURING CATARACT SURGERY

A.V. ZHURAVLYOV, V.S. STEBNEV

Department of Eye Diseases, Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

Objective: To assess the clinical efficacy and safety of a new technique for visualizing the anterior lens capsule (ALC) during the anterior capsulorhexis maneuver. This method utilizes a three-dimensional (3D) visualization system and does not require the use of the technically invasive trypan blue (TB) dye staining.

Methods: The study population was divided into two groups: the main group (MG) and the control group (CG). The MG consisted of 250 patients who underwent cataract surgery using a 3D visualization system. This system employs black-and-white filters and reduced color saturation to improve visibility during capsulorhexis. In contrast, in the CG, which also consisted of 250 patients, conventional microscope imaging with TB dye (0.05%) staining for ALC visualization was utilized.

Results: The patients in the MG and the CG exhibited a low rate of intraoperative and postoperative complications, with only 8 cases out of 500 eyes operated, resulting in a complication rate of 1.6%. There were no statistically significant differences between the MG and CG regarding best-corrected visual acuity (BCVA) and uncorrected visual acuity (UCVA) ($p>0.05$). The average surgical time was 10.2 minutes for the MG and 11.1 minutes for the CG ($p>0.05$). However, there was a statistically significant increase in the capsulorhexis time in the MG ($p<0.05$), as well as in the intraocular lens (IOL) implantation time in the CG ($p<0.05$). Additionally, significantly lower light intensity was used in the operating microscope for the MG, averaging 17.2%, compared to 47.9% for the CG ($p<0.05$). In the MG, there was a significantly lower incidence of the capsulorhexis radial tear at 0.8% of patients, compared to 4.0% in the CG ($p<0.05$). The peripheral runaway capsulorhexis was observed in 0.4% of patients in the MG, while it occurred in 1.6% of patients in the CG ($p>0.05$).

Conclusion: The visualization of the ALC using a 3D system and black-and-white filters is currently of interest for cataract surgery, serving as an alternative to the standard visualization method that employs TB dye.

Keywords: *Ophthalmic surgery, three-dimensional visualization, cataract, capsulorhexis.*

For citation: Zhuravlyov AV, Stebnev VS. Ispol'zovanie sistemy tryokhmernoy vizualizatsii dlya kontrastirovaniya peredney kapsuly khrustalika v kataraktal'noy khirurgii kak al'ternativa invazivnomu krasitel'ny tripanovomu sinemu [Utilizing a 3D model as an alternative to trypan blue staining for the visualization of the anterior lens capsule during cataract surgery]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2025;27(3):640-50. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-3-640-650>

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день золотым стандартом лечения катаракты является факоэмульсификация катаракты [1]. От проведения этапа капсулорексиса при выполнении факоэмульсификации катаракты зависят как дальнейшая тактика хирургического вмешательства, так и функциональные результаты операции. Для хорошего, прогнозируемого результата при хирургии катаракты капсулорексис должен быть непрерывным, нужного диаметра и центрации. Для успешного проведения непрерывного кругового капсулорексиса необходима хорошая визуализация передней капсулы хрусталика (ПКХ), достаточная ширина зрачка и хороший розовый рефлекс глазного дна [2]. В случаях хирургии осложнённых, плотных катаракт визуализация ПКХ бывает затруднена, в связи с чем используют её подкрашивание красителем трипановый синий 0,05%, что позволяет улучшить её визуализацию и облегчает выполнение капсулорексиса. Способ был запатентован в 1999 году профессором Minas Theodore Coroneo. С тех пор радикально способ визуализации не менялся, изменялся лишь вид используемых красителей, однако самым безопасным себя зарекомендовал раствор трипанового синего 0,05% [3, 4].

С недавним появлением в практике офтальмохирургов систем трёхмерной визуализации появились новые возможности для оптимизации хирургии заднего и переднего отрезка глаза. В настоящее время на рынке представлены несколько 3D («heads-up») платформ, ориентированных на офтальмохирургические вмешательства, среди которых самые популярные – это ARTEVO 800 Digital Microscope (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany), Ngenuity 3D Visualization System (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA), Beyeonics One (Beyeonics Vision Ltd., Haifa, Israel) и SeeLuma (Bausch & Lomb, Vaughan, Ontario, Canada). Прямых сравнительных исследований с участием всех четырёх систем в рецензируемой литературе пока не представлено, однако отдельные публикации и доклады освещают отличия между ними.

ARTEVO 800 Digital Microscope характеризуется возможностью интегрирования данных оптической когерентной томографии и различными режимами «digital overlay», облегчающими навигацию и позиционирование при имплантации интраокулярной линзы (ИОЛ). В одном из исследований проводилось прямое сравнение ARTEVO 800 Digital Microscope и Ngenuity 3D Visualization System при факоэмульсификации катаракты. Авторы отметили сопоставимые показатели безопасности и степени визуализации у данных систем [5].

Платформа Beyeonics One выделяется тем, что выполнена в формате «шлема» (head-mounted display), а не стационарного 3D-экрана. Первые сообщения (преимущественно тезисы конференций ESCRS) указывают на хорошую визуализацию, а также отмечают независимость хирурга от расположения дисплея системы и комфортное положение головы и шеи во время работы, но

INTRODUCTION

The current gold standard for treating cataracts is cataract phacoemulsification [1]. The quality of the capsulorhexis significantly influences the effectiveness of surgical interventions and the functional outcomes of cataract phacoemulsification. To achieve good and predictable results in cataract surgery, capsulorhexis needs to be continuous, adequately sized, and well-centered over the visual axis. Successful continuous circular capsulorhexis requires clear visualization of the anterior lens capsule (ALC), adequate pupil dilation, and a strong red reflex from the fundus [2]. In complicated cases of dense cataract surgery, visualizing the ALC can be challenging. To enhance its visibility and facilitate the capsulorhexis, a 0.05% trypan blue dye is used for staining. This method was patented in 1999 by Professor Minas Theodore Coroneo. Since then, the basic visualization technique has mainly remained the same, although the types of dyes used have evolved. However, a 0.05% trypan blue (TB) solution has consistently proven to be the safest option [3, 4].

The recent introduction of 3D visualization systems in ophthalmic surgery has opened new opportunities for optimizing procedures in both the posterior and anterior segments of the eye. Currently, several heads-up 3D visualization systems are available on the market, specifically designed for ophthalmic surgery. The most popular systems include the ARTEVO 800 Digital Microscope (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany), Ngenuity 3D Visualization System (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA), Beyeonics One (Beyeonics Vision Ltd., Haifa, Israel), and SeeLuma (Bausch & Lomb, Vaughan, Ontario, Canada). As of now, no direct comparative studies involving all four systems have been published in peer-reviewed literature, though individual studies and reports have highlighted the differences among them.

The ARTEVO 800 Digital Microscope offers the capability to integrate optical coherence tomography (OCT) data along with various digital overlay modes, assisting in navigation and positioning during intraocular lens (IOL) implantation. A study that directly compared the ARTEVO 800 Digital Microscope and Ngenuity 3D Visualization System during cataract phacoemulsification found that both systems exhibited comparable safety and visualization rates [5].

The Beyeonics One platform's unique design as a head-mounted display distinguishes it from traditional stationary 3D surgical screens. Initial reports suggest that head-mounted displays used in eye surgery offer good visualization and allow for comfortable head and neck positioning during procedures, as highlighted in abstracts presented at ESCRS conferences, particularly emphasizing flexibility in display placement. However, these reports also note that surgeons need time to adapt to the weight and specific characteristics of the headset itself.

также подчёркивают необходимость адаптации хирурга к весу и особенностям гарнитуры.

Ещё одним новым продуктом в сфере цифровых систем трёхмерной визуализации является SeeLuma, который был представлен относительно недавно [6]. На сегодняшний день практически отсутствуют полноценные сравнительные исследования, позволяющие сопоставить SeeLuma с другими 3D-платформами. Согласно обзорам и сообщениям производителя, данная система отличается высоким разрешением, функцией гибкой настройки цветопередачи и совместимостью с рядом хирургических платформ компании. Однако объективных сравнительных данных об эффективности SeeLuma в сравнении с другими 3D-установками пока не опубликовано.

Система трёхмерной визуализации Ngenuity 3D Visualization System обеспечивает повышенную контрастность изображения, увеличенную глубину резкости, позволяет использовать меньшую мощность коаксиального освещения у операционного микроскопа, а также даёт возможность использования программных цветофильтров, что в совокупности позволяет отказаться от применения красителя в случаях осложнённых катаракт.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить клиническую эффективность и безопасность применения нового метода визуализации ПКХ для выполнения переднего капсулорексиса с использованием трёхмерной системы визуализации без применения красителя.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 500 пациентов (500 глаз), с установленным диагнозом «возрастная катаракта». Всем пациентам выполнялась фактоэмульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы AcrySof IQ или AcrySof IQ PanOptix (Alcon Laboratories, Fort Worth, TX, USA). В основной группе (ОГ) пациентов (250 пациентов, 250 глаз) при проведении этапа переднего капсулорексиса использовался метод визуализации ПКХ без использования красителей с помощью системы трёхмерной визуализации. Для осложнённых катаракт использовался авторский метод визуализации ПКХ (патент № 2810370) с использованием чёрно-белого фильтра, который настраивался программно, за счёт снижения показателя насыщенности с 90-100% (стандартное значение) до 0%. Также снижалась яркость освещения операционного микроскопа до 10-15%. В контрольной группе (КГ: 250 пациентов, 250 глаз) использовался классический метод визуализации ПКХ с использованием красителя трипанового синего 0,05%.

Обе группы пациентов прооперированы с использованием операционного микроскопа LEICA M844 (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany). Возрастной показатель ОГ пациентов в среднем достигал $63 \pm 4,1$ года, а для КГ этот показатель составил $64 \pm 3,7$ лет. Из общего количества участников ОГ, 120 (48%) были мужчинами, а 130 (52%) – женщинами. В КГ мужчины составляли 46,4% (116 человек), а женщины – 53,6% (134 человека).

В рамках исследования проведено комплексное офтальмологическое обследование пациентов, включающее в себя микропериметрию, визометрию, биомикроскопию переднего и заднего отрезков глаза, оптическую биометрию, пахиметрию, пневмотонометрию, кераторефрактометрию, эндотелиальную микроскопию, топографию роговицы, оптическую когерентную томографию макулярной зоны, а также диагностическое исследование на

Another recent innovation in digital 3D visualization systems is SeeLuma, which has been introduced relatively recently [6]. SeeLuma is praised for its high resolution, adjustable color rendering, and compatibility with various surgical platforms offered by the company. However, objective comparative data regarding the efficacy of SeeLuma compared to other 3D systems have not yet been published to substantiate these claims.

In contrast, the Ngenuity 3D Visualization System enhances cataract surgery by improving image quality and potentially reducing the need for dyes. It offers increased image contrast and depth of field, enabling the use of lower-power illumination and software BW filters, which together make it possible to avoid using dye in cases of complicated cataracts.

PURPOSE OF THE STUDY

To assess the clinical efficacy and safety of a new ALC visualization method for anterior capsulorhexis utilizing a dye-free 3D visualization system.

METHODS

The study involved 500 patients diagnosed with age-related cataract, resulting in a total of 500 eyes being examined. All patients received cataract phacoemulsification with the implantation of either the AcrySof IQ or AcrySof IQ PanOptix intraocular lens (Alcon Laboratories, Fort Worth, TX, USA). In the MG, which comprised 250 eyes of 250 patients, the anterior capsulorhexis stage was performed using a dye-free 3D visualization system. A specialized technique for visualizing cataracts during surgery, particularly those considered complicated, involved using a black-and-white (BW) filter, which decreased the saturation of the digital camera from 90% (standard color) to 0%. This method, detailed in patent number 2810370, was employed to enhance visualization during cataract removal procedures, while simultaneously lowering the illumination brightness to 10-15%. In the CG, also comprised 250 eyes of 250 patients, the conventional method of visualizing ALC using 0.05% TB dye was employed.

Both groups of patients were operated on using the LEICA M844 surgical microscope (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany). The average age of patients in the MG was 63 ± 4.1 years, while in the CG, it was 64 ± 3.7 years. In the MG, 120 participants (48%) were men, and 130 (52%) were women. In the CG, men represented 46.4% (116 patients), while women accounted for 53.6% (134 patients).

Comprehensive ophthalmic examinations were performed on all patients, incorporating various diagnostic tests. These included retinal microperimetry, visometry, anterior and posterior ocular biomicroscopy, optical biometry, corneal pachymetry, pneumotonometry, refractometry, corneal specular microscopy, corneal topography, macular optical coherence tomography, and a diagnostic study utilizing the VERION image-guided system (Alcon, Fort Worth, TX, USA).

All operations were performed by the same surgeon under local anesthesia. In the MG, the Ngenuity 3D Visualization System replaced a traditional analogue microscope with a digital camera that provides a high-resolution 3D image displayed on a screen. Surgeons view this image using polarized 3D glasses, allowing them to operate while looking at a monitor instead of directly through the microscope. In the CG, a standard binocular microscope was used. If pharmacological dilation of the pupil proved

системе VERION image-guided system (Alcon, Fort Worth, TX, USA).

Операции проводил один и тот же хирург под местной анестезией. В ОГ использовалась камера Ngenuity 3D Visualization System вместо окуляров микроскопа, а хирург руководствовался изображением на экране системы с поляризованными 3D очками. В КГ применялись стандартные бинокляры микроскопа. В случае неэффективности медикаментозного расширения зрачка использовался четырёхугольный ирис-ретрактор («кольцо Мalyугина»). Для проведения операции использовались вискоэластики Viscoat® и ProVisc (Alcon, Fort Worth, TX, USA), а также сбалансированный физиологический раствор BSS+.

Период наблюдения после операции составил 3 месяца. В результате оценивались и анализировались такие параметры, как некорректируемая (НКОЗ) и максимально корректируемая острота зрения (МКОЗ), послеоперационная рефракция, затраченное на этапы операции время, количество осложнений, а также мощность используемого коаксиального освещения микроскопа.

Для статистической обработки данных использовалось программное обеспечение Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) и Microsoft Office Excel, версия 2112 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Перед сравнительным анализом проверялась нормальность распределения количественных показателей с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Проверка показала отсутствие нормального распределения, поэтому абсолютные данные были представлены в виде медианы, нижнего и верхнего квартилей (Me [Q1; Q3]). Сравнение двух независимых выборок проводилось по U-критерию Манна-Уитни. Дихотомные переменные были представлены в виде долей (%). Дихотомные данные сравнивались с помощью точного критерия Фишера. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Исследование прошло этическое одобрение (протокол № 220 заседания этической комиссии Биоэтического комитета Самарского госмедуниверситета от 21.03.2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общее количество интра- и послеоперационных осложнений было низким (8 случаев из 500 глаз, что составило 1,6%) (табл. 1)

В случае разрыва задней капсулы была имплантирована трёхчастная ИОЛ AcrySof Multipiece MA60MA (Alcon, Fort Worth, TX, USA). Послеоперационный отёк роговицы у пациентов ОГ и КГ контрольной группы купировался в течение 6-7 дней с помощью медикаментозной терапии. В результате проведённых хирургических вмешательств в ОГ зарегистрировано 2 (0,8%), в КГ – 6 (2,4%) осложнений. В ходе всех операций, проведённых в ОГ, отсутствовала необходимость возвращаться к использованию опти-

ineffective, a type of iris retractor, Malyugin rings, was employed. Additionally, Viscoat® and ProVisc ophthalmic viscosurgical devices and a (BSS+) Sterile Irrigating Solution (Alcon, Fort Worth, TX, USA) were used during the procedure.

The postoperative follow-up period lasted three months. The study evaluated several parameters, including uncorrected visual acuity (UCVA) and best-corrected visual acuity (BCVA), postoperative refraction, the duration of each surgical step, the number of complications, and the light intensity required from the operating microscope.

Statistical data processing was conducted using TIBCO Statistica software (TIBCO Statistica, v. 13.3; TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) and Microsoft Office Excel, version 2021 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Before comparative analysis, the normality of distribution for quantitative indicators was checked using the Kolmogorov-Smirnov test. As there was no normal distribution observed, absolute data were presented as medians with lower and upper quartiles (Me [Q1; Q3]). Comparison of two independent samples was performed using the Mann-Whitney U-test, while dichotomous variables were expressed as proportions (%). The Fisher's exact test was used to compare dichotomous data. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

The study received ethical approval (Protocol No. 220 from the meeting of the Ethics Commission of the Bioethics Committee of Samara State Medical University, Russia, dated March 21, 2021).

RESULTS

The study revealed a low incidence of post- and intraoperative complications, with only 8 cases reported out of 500 eyes, representing 1.6% as shown in Table 1.

In the case of a posterior capsule rupture during cataract surgery, a three-piece IOL, the AcrySof Multipiece MA60MA (Alcon, Fort Worth, TX, USA), was implanted. Postoperative corneal edema in patients from both the MG and CG was resolved within 6 to 7 days using pharmacological therapy. Following the surgical procedures, two complications (0.8%) were reported in the MG, while six complications (2.4%) were observed in the CG. Throughout all surgeries conducted in the MG, there was no necessity to revert to using the traditional analogue microscope. A 3D visualization system was successfully used during surgery to guide the execution of planned tasks, even when faced with unexpected complications. The Ngenuity 3D Visualization System (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA), known for its high image

Таблица 1 Интра- и послеоперационные осложнения, % (n)

Осложнения Complications	ОГ/MG, n=250	КГ/CG, n=250	p
Разрыв задней капсулы хрусталика Posterior capsule rupture	–	0.4 (1)	
Послеоперационный отёк роговицы Postoperative corneal edema	0.4 (1)	1.2 (3)	>0.05
Макулярный отёк в раннем послеоперационном периоде Early postoperative cystoid macular edema	0.4 (1)	0.8 (2)	>0.05

Примечание: p – статистическая значимость различий между ОГ и КГ (по критерию Фишера)

Note: p – statistical significance of differences between MG and CG (according to Fisher's test)

Table 1 Intra- and postoperative complications, % (n)

ческих окуляров микроскопа. Применяемая система трёхмерной визуализации обеспечивала возможность успешного выполнения всех запланированных хирургических манипуляций, основываясь на изображении на экране, даже при появлении операционных осложнений. Система Ngenuity 3D Visualization System (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA) с её высокой чёткостью изображения и глубиной фокусировки облегчала преодоление возникших осложнений и достижение оптимальных результатов. Во время хирургической работы без использования окуляров не возникло проблем, связанных с задержкой изображения. Различия между группами по частоте отдельных осложнений были статистически незначимыми. Данные полученной рефракции представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, статистически значимых различий между методами по полученной рефракции нет.

Показатели НКОЗ и МКОЗ до и после операции не имели нормального распределения, поэтому были представлены в виде медианы и межквартильного размаха. Сравнение между группами проводилось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Различия в НКОЗ и МКОЗ между ОГ и КГ на всех этапах наблюдения оказались статистически незначимы ($p > 0,05$) (табл. 3).

Как видно из табл. 3 статистически значимые отличия между ОГ и КГ по показателям МКОЗ и НКОЗ также не обнаружены.

Анализировалась как общая длительность процедуры от старта до завершения, так и время выполнения отдельных, технически значимых этапов операции. Результаты данного анализа представлены в табл. 4. Параметры длительности операции и её этапов также не соответствовали нормальному распределению, поэтому представлены медианой и межквартильным размахом. Сравнение проведено U-критерием Манна-Уитни.

Как видно из табл. 4, статистически значимо увеличилась длительность выполнения этапа капсулорексиса в ОГ, а также время имплантации ИОЛ в КГ. Средняя продолжительность оперативного вмешательства в ОГ составила 10,2, в то время как в КГ – 11,1

clarity and depth of focus, effectively managed complications and achieved optimal surgical results during procedures conducted without using the traditional analogue microscope. There were no reported issues with image delay. The differences between the groups in the frequency of specific complications were statistically insignificant. The refraction data obtained are presented in Table 2.

As shown in Table 2, there are no statistically significant differences between the methods regarding the resulting refraction states. The UCVA and BCVA values before and after surgery were not normally distributed; therefore, they are presented as medians with interquartile ranges. Group comparisons were conducted using the Mann-Whitney U-test. The differences in UCVA and BCVA between the MG and CG at all follow-up periods were statistically insignificant ($p > 0.05$), as shown in Table 3.

The analysis presented in Table 3 shows that there were no statistically significant differences between the MG and the CG regarding BCVA and UCVA.

Additionally, we examined the total surgical time and duration of each technically significant surgical step. The results of this analysis are summarized in Table 4. Since the duration of the operation and its steps did not follow a normal distribution, the results are reported as medians and interquartile ranges. The comparisons were performed using the Mann-Whitney U-test.

As shown in Table 4, capsulorhexis and IOL implantation time in patients of both the MG and the CG significantly increased. The average total surgical time in the MG was 10.2 minutes, compared to 11.1 minutes in the CG. Specifically, the capsulorhexis lasted an average of 1.8 minutes in the MG and 1.3 minutes in the CG.

In cases where cataract visualization was insufficient, especially with complex cataracts, additional visualization techniques were employed. For patients in the MG, we implemented a proprietary method utilizing the Ngenuity 3D visualization system.

Таблица 2 Рефракция после оперативного вмешательства, % (n)

Показатель Refractive state	ОГ/MG, n=250	КГ/CG, n=250	p
Эмметропия Emmetropia	95.6 (239)	93.6 (234)	>0.05
Миопия Myopia	3.2 (8)	4.8 (12)	>0.05
Гиперметропия Hypermetropia	1.2 (3)	1.6 (4)	>0.05

Примечание: p – статистическая значимость различий между ОГ и КГ (по критерию Фишера)

Note: p – statistical significance of differences between MG and CG (according to Fisher's criterion)

Table 2 Refraction states after surgery is the study population, % (n)

Таблица 3 Значения НКОЗ и МКОЗ, Ме [Q1; Q3]

Период Period	НКОЗ, ОГ UCVA, MG	НКОЗ, КГ UCVA, CG	p	МКОЗ, ОГ BCVA, MG	МКОЗ, КГ BCVA, CG	p
До операции Before surgery	0.12 [0.08; 0.16]	0.09 [0.05; 0.14]	>0.05	0.23 [0.17; 0.31]	0.29 [0.20; 0.37]	>0.05
7 дней после операции 7 days after surgery	0.41 [0.32; 0.50]	0.38 [0.29; 0.46]	>0.05	0.81 [0.75; 0.87]	0.78 [0.72; 0.83]	>0.05
1 месяц после операции 1 month after surgery	0.45 [0.36; 0.53]	0.39 [0.31; 0.48]	>0.05	0.83 [0.77; 0.89]	0.81 [0.75; 0.86]	>0.05
3 месяца после операции 3 month after surgery	0.47 [0.38; 0.55]	0.41 [0.33; 0.50]	>0.05	0.87 [0.81; 0.92]	0.82 [0.77; 0.88]	>0.05

Примечание: p – статистическая значимость различий между ОГ и КГ (по критерию Манна-Уитни)

Note: p – statistical significance of differences between MG and CG (according to the Mann-Whitney test)

Table 3 UCVA and BCVA distribution preoperatively and across different follow-up periods, Me [Q1; Q3]

минут. Этап капсулорексиса занимал в среднем 1,8 минуты в ОГ и 1,3 минуты – в КГ.

В случаях, когда было недостаточно визуализации ПКХ при сложных катарактах, применялась дополнительная её визуализация. Для пациентов ОГ такая визуализация в сложных случаях осуществлялась с использованием нашего авторского метода, основанного на возможностях системы трёхмерной визуализации Ngenuity. Он включал в себя использование цветофильтров, в частности чёрно-белого фильтра за счёт снижения уровня сатурации с 90-100% до 0%. Кроме того, проводилась регулировка яркости света операционного микроскопа, что в сочетании с высокой глубиной резкости, высоким разрешением и контрастностью изображения, позволяло визуализировать ПКХ без применения красителя. В КГ для визуализации ПКХ использовался стандартный метод, включавший окрашивание ПКХ введением в переднюю камеру глаза раствора трипанового синего.

Факофрагментация и факоэмульсификация хрусталика в ОГ и КГ проводилась методом Phaco chop и quick chop и длилась 5,2 мин в ОГ и 5,6 мин в КГ. Вымывание вискоэластика из передней камеры, а также полировка задней капсулы заняли 2,13 мин в ОГ и 2,0 мин в КГ. Время имплантации ИОЛ составило 1,1 мин и 1,7 мин соответственно.

Интенсивность света от операционного микроскопа в ходе операций уменьшалась до минимально необходимого уровня, обеспечивающего качественную визуализацию. Мощность коаксиального освещения операционного микроскопа была значительно ниже ($p < 0,05$) в ОГ. В среднем, в ОГ мощность используемого света составила 17,2%, в КГ – 47,9%. Снижение интенсивности коаксиального освещения микроскопа в ОГ было обусловлено применением системы трёхмерной визуализации с высокочувствительной матрицей камеры. Высокочувствительная матрица HDR (High dynamic range) камеры способна эффективно работать при низкой освещённости, обеспечивая при этом качественное изображение.

При анализе эффективности нового метода визуализации учитывались также осложнения, напрямую связанные с выполнением переднего капсулорексиса. К ним относились лучевые (радиальные) разрывы ПКХ, а также случаи «ухода» края капсулы на периферию (табл. 5).

Как видно из табл. 5, лучевые разрывы ПКХ статистически значимо чаще возникли у пациентов КГ ($p = 0,03$), что свидетельствовало о более надёжном контроле над краем капсулорексиса

This approach involved the use of BW filters that reduced saturation from 90-100% down to 0%. Additionally, we adjusted the illumination brightness of the operating microscope. This combination, along with the system's high depth of field, resolution, and image contrast, enabled effective visualization of the cataract without the need for dye. In contrast, the CG relied on a standard method, which involved staining the cataract with a TB solution injected into the anterior chamber of the eye.

Both phacofragmentation and phacoemulsification of the lens were performed using the Phaco chop and quick chop techniques. The duration for these procedures was 5.2 minutes in the MG and 5.6 minutes in the CG. The process of washing out viscoelastic material from the anterior chamber and polishing the posterior capsule took an average of 2.13 minutes in the MG and 2.0 minutes in the CG. The IOL implantation took 1.1 minutes in the MG and 1.7 minutes in the CG.

During the operations, the illumination brightness in the operating microscope was reduced to the minimum required for high-quality visualization. The light intensity required from the operating microscope was significantly lower ($p < 0.05$) in the MG, averaging 17.2%, compared to 47.9% in the CG. This reduction was a consequence of implementing a 3D visualization system equipped with a highly sensitive camera matrix. The HDR (High Dynamic Range) matrix is effective in low-light conditions, providing high-quality images without the need for intense lighting.

In analyzing the effectiveness of the new visualization method, we also considered complications directly related to the anterior capsulorhexis. These included radial anterior capsular tear and peripheral runaway capsulorhexis, as shown in Table 5.

The data presented in Table 5 indicate that radial anterior capsular tears occurred significantly more often in the CG ($p = 0.03$). This finding suggests that using 3D visualization and BW filters provides more reliable control over the edges of the capsulorhexis. However, no statistically significant differences were found regarding the peripheral runaway capsulorhexis between the groups ($p = 0.17$).

Fig. 1 illustrates the differences among three methods of ALC visualization in a patient with a dense cataract: a standard analog microscope dye-free visualization, 3D digital visualization with a BW filter, and analog microscope visualization using TB capsule staining. The first photograph shows poor visibility of the ALC due to the absence of a fundus red reflex in the patient.

Таблица 4 Длительность оперативного вмешательства и его этапов, Ме [Q1; Q3], мин

Table 4 Overall duration of surgical intervention and its steps, Me [Q1; Q3], min

Этап операции Operation stage	ОГ/MG, n=250	КГ/CG, n=250	p
Общая продолжительность операции Total surgical time	10.2 [8.5; 12.3]	11.1 [9.0; 13.4]	>0.05
Передний капсулорексис Anterior capsulorhexis	1.8 [1.5; 2.0]	1.3 [1.1; 1.6]	=0.04
Факоэмульсификация хрусталика Phacoemulsification	5.2 [4.0; 6.5]	5.6 [4.3; 7.0]	>0.05
Вымывание вискоэластика, полировка задней капсулы Viscoelastic washout, posterior capsule polishing	2.1 [1.8; 2.4]	2.5 [2.1; 2.8]	=0.05
Имплантация ИОЛ IOL implantation	1.1 [0.8; 1.4]	1.7 [1.2; 2.3]	=0.03

Примечание: p – статистическая значимость различий между ОГ и КГ (по критерию Манна-Уитни)

Note: p – statistical significance of differences between MG and CG (according to the Mann-Whitney criterion)

Таблица 5 Интраоперационные осложнения, связанные с передним капсулорексисом, % (n)

Осложнение Complication	ОГ/МГ, n=250	КГ/СГ, n=250	p
Лучевые (радиальные) разрывы ПКХ Radial anterior capsular tear	0.8 (2)	4.0 (10)	=0.03
«Уход» рексиса на периферию Peripheral runaway capsulorhexis	0.4 (1)	1.6 (4)	>0.05

Примечание: p – статистическая значимость различий между ОГ и КГ (по критерию Фишера)
Note: p – statistical significance of differences between EG and CG (according to Fisher's criterion)

при использовании трёхмерной цифровой визуализации и цветофильтров. По осложнению «уход» капсулорексиса на периферию статистической значимости по группам выявлено не было ($p=0,17$).

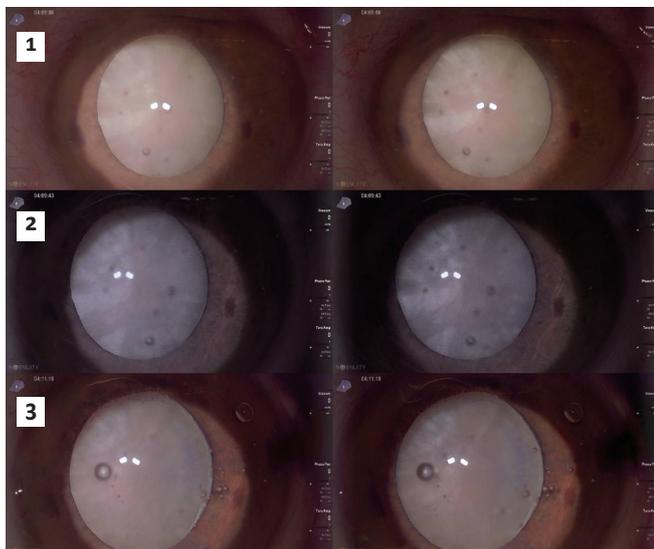
Рис. 1 наглядно демонстрирует различия между стандартной аналоговой визуализацией без красителя, трёхмерной цифровой визуализацией с цветофильтром и аналоговой визуализацией с прокрашиванием капсулы трипановым синим у одного пациента с плотной катарактой. Можно отметить плохую видимость ПКХ на первой фотографии на фоне отсутствия розового рефлекса у пациента и улучшенную контрастность на второй и третьей фотографиях, но в случае использования красителя наблюдается неравномерность прокрашивания капсулы, снижающая качество контрастирования.

На рис. 2 представлено выполнение капсулорексиса и визуализация увеличенного края капсулорексиса при использовании трёхмерной цифровой системы с цветофильтром (левая панель) и стандартной аналоговой визуализации без фильтра (правая панель).

Как видно из иллюстрации, применение цветофильтра существенно улучшает видимость краёв капсулорексиса, обеспечи-

Рис. 1 Сравнение 3 методов визуализации ПКХ (сверху вниз соответственно: 1 – стандартная аналоговая визуализация без красителя; 2 – использование цифрового цветофильтра без красителя; 3 – стандартная аналоговая визуализация с окрашенной ПКХ)

Fig. 1 ALC visualization in a patient with a dense cataract (from top to bottom, respectively: 1 – a standard analog microscope, noninvasive/dye-free visualization; 2 – 3D digital visualization with a BW filter; 3 – analog microscope visualization using TB capsule staining)

**Table 5** Intraoperative complications associated with anterior capsulorhexis, % (n)

In contrast, the second and third photographs demonstrate improved contrast. However, in the dye utilization method, uneven capsule staining is observed, which reduces the overall quality of visualization.

Using a BW filter provides a more precise and detailed visualization of the capsule structure, significantly enhancing the visibility of the capsule edges during the capsulorhexis.

DISCUSSION

In the MG, the light intensity required from the operating microscope was significantly lower, at $17.2 \pm 2.5\%$, compared to $47.9 \pm 5.2\%$. Previous studies have shown that 3D visualization systems used in vitreoretinal surgery allow for lower light intensity while providing improved visualization of the retina and its structures. Thus, the Ngenuity 3D Visualization System's adjustable settings and parameters provide precision, depth, and detail during vitreoretinal procedures, potentially reducing the risk of phototoxicity during surgery [7].

Until recently, 3D visualization systems have been rarely used in lens surgery, and data on their application in cataract surgery are limited. However, one study that compared the light intensity of operating microscopes found that significantly less light intensity was required for good visualization in patients operated on using a 3D visualization system. Additionally, the visual acuity the day after surgery was higher in the group that received surgery with the 3D system. The authors attribute this improvement to the effect of light on the retina and cornea, suggesting that lower light intensity levels with the 3D system may reduce potential light-induced damage [8].

Light from surgical microscopes can cause phototoxicity that affects visual acuity in the postoperative period, potentially lead-

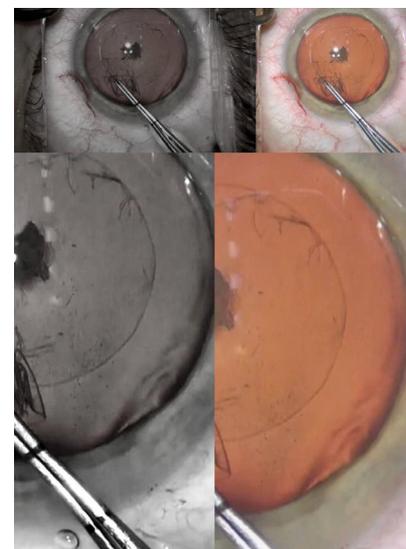


Рис. 2 Капсулорексис с цветофильтром и без него

Fig. 2 The BW filter enhanced the visualization of ALC during capsulorhexis (left panel) compared to the visualization without the BW filter (right panel)

вая более чёткую и детализированную визуализацию структуры капсулы.

ОБСУЖДЕНИЕ

В ОГ значительно снизилась используемая интенсивность коаксиального освещения операционного микроскопа ($17,2 \pm 2,5\%$ против $47,9 \pm 5,2\%$). Ранее было выявлено, что системы трёхмерной визуализации в витреоретинальной хирургии позволяют использовать меньшее количество света и лучше визуализировать сетчатку и её отделы. Так, для Ngenuity была предложена система параметров и настроек, с помощью которых можно достичь лучших уровней контрастности при использовании её для лечения витреоретинальной патологии [7].

До недавних пор системы трёхмерной визуализации практически не применялись в хирургии хрусталика, данные об их использовании в хирургии катаракты ограничены. Однако в одном из исследований, где сравнивалась мощность используемого освещения операционного микроскопа, показало значительно меньшую мощность света, необходимую для хорошей визуализации в группе пациентов, оперированных с использованием системы трёхмерной визуализации. Кроме того, острота зрения на следующий день после операции была выше в группе, оперированной с трёхмерной визуализацией, что авторы объясняют влиянием света на сетчатку и роговицу [8].

Фототоксичность от света операционных микроскопов может влиять на остроту зрения в послеоперационном периоде, а также оказывать долгосрочные последствия на макулярную зону сетчатки [9]. Возможность использования значительно меньшего количества света операционного микроскопа является важным преимуществом системы трёхмерной визуализации относительно аналогового способа визуализации, дающим в перспективе лучшие результаты в раннем и отдалённом послеоперационном периодах [10].

У пациентов КГ для визуализации ПКХ был применён стандартный способ подкрашивания с введением раствора трипанового синего в переднюю камеру глаза. При использовании этого метода подкрашивание ПКХ не всегда происходило равномерно, что приводило к ухудшению визуализации участков передней капсулы, уходу капсулорексиса на периферию, разрыву непрерывного кругового капсулорексиса. При использовании цифрового метода визуализации ПКХ у пациентов ОГ количество случаев ухода капсулорексиса на периферию и разрывов было меньше. ПКХ была визуализирована равномерно и не зависела от интенсивности прокрашивания её эпителия. Но использование данного метода визуализации в среднем немного увеличило время проведения этапа капсулорексиса.

В отличие от традиционных оптических фильтров, которые препятствуют прохождению определённых длин волн, цифровой черно-белый фильтр камеры в системе Ngenuity функционирует путём снижения цветовой насыщенности изображения. Снижение насыщенности ведёт к обеднению цвета, оставляя в основном компоненты в оттенках серого. Цвет с насыщенностью в 100% не включает в себя белый цвет, в то время как цвет с нулевой насыщенностью соответствует серому оттенку [11]. Снижение насыщенности цвета подразумевает внесение большего количества белизны в цветовой спектр. К примеру, при снижении цветовой насыщенности тёмные оттенки красного становятся более светлыми, превращаясь в средний серый, тогда как светлый красный цвет сосудов конъюнктивы приближается к белому, делая эти сосуды едва различимыми.

Чёрно-белый фильтр преобразует красный цвет в ярко-серый оттенок. Ткани приобретают серую окраску с различной

интенсивностью, что может приводить к долгосрочным последствиям для макулярной области сетчатки [9]. Способность использовать значительно меньшую интенсивность света от хирургического микроскопа является ключевым преимуществом системы 3D визуализации по сравнению с аналоговой визуализацией, потенциально приводя к лучшим результатам в обоих ранних и поздних послеоперационных периодах [10].

В CG, стандартный метод окраски с использованием TB был использован для визуализации АЛС во время операции. Этот метод включает инъекцию раствора TB в переднюю камеру глаза. Однако, этот метод не всегда производил равномерную окраску АЛС, что приводило к трудностям в визуализации определённых областей передней капсулы, радиальных капсулорехисных разрывов, и капсулорехисных разрывов на периферии. В отличие от этого, пациенты в MG, получившие операцию с использованием цифровой визуализации, испытали меньше радиальных капсулорехисных разрывов и капсулорехисных разрывов на периферии. АЛС была визуализирована равномерно, и эффективность визуализации не зависела от интенсивности окраски. Важно отметить, что этот цифровой метод визуализации немного увеличил время, затраченное на этап капсулорехиса.

В отличие от обычных оптических фильтров, которые блокируют конкретные длины волн, цифровой BW-фильтр камеры системы 3D Visualisation System работает за счёт снижения насыщенности цвета изображения. Уменьшение насыщенности удаляет цвет, оставляя только компонент серого. Цвет с 100% насыщенностью не имеет белого, тогда как цвет с 0% насыщенностью соответствует оттенку серого [11]. Уменьшение насыщенности подразумевает добавление больше белизны к цвету. Например, при снижении насыщенности, тёмно-красные цвета становятся серыми, а светло-красные цвета конъюнктивных сосудов приближаются к белому, что делает эти сосуды едва заметными.

Фильтр BW преобразует красный цвет в светлый, яркий серый рефлекс. Ткани приобретают серый цвет различных оттенков. Интересно, что контуры структур усиливаются, становясь тёмно-серыми до чёрных, что делает их более заметными. Это улучшение контраста позволяет более точно визуализировать капсулорехис, даже в случаях белого или "молочного" катаракты. Это также обеспечивает постоянный контраст для АЛС во время операции, превосходя эффективность окраски трипановым синим для визуализации капсулы [12].

Не было статистически значимых различий в данных о рефракции или остроте зрения между MG и CG в разные периоды. Наши результаты согласуются с данными крупного систематического обзора и мета-анализа, который оценил 11 исследований, проведённых между 2019 и 2022 годами, с участием в общей сложности 8,842 глаза. Этот обзор сравнил системы 3D визуализации с традиционными микроскопами в хирургии катаракты. Авторы не обнаружили статистически значимых различий между двумя методами в отношении послеоперационной остроты зрения, частоты интраоперационных осложнений, или продолжительности процедур. Однако, отдельные исследования, включённые в мета-анализ, предложили потенциальные 3D эргономические преимущества и снижение интенсивности освещения, необходимого для оптимальной хирургической эффективности [13].

Подобный подход к усилению контраста и улучшению визуализации во время хирургии катаракты описан в исследовании, где авторы использовали BW-фильтр в системе 3D визуализации, снизив насыщенность цвета до нуля. Их результаты показали, что преобразование изображения в серую шкалу может значительно улучшить видимость краёв капсулы, кортикальных масс, и краёв хирургических инструментов, особенно в случаях недостаточной окраски или помутнений роговицы. В частности, BW-фильтр увеличил деталирование во время капсулорехиса и границ ядерных фраг-

градацией серого. Границы структур становятся более чёткими, приобретая оттенки от тёмно-серого до чёрного, что увеличивает их видимость. Эти преимущества в контрастности позволяли видеть край капсулорексиса даже в случаях молочных катаракт, а также обеспечивали равномерность контрастирования ПКХ, в отличие от контрастирования капсулы раствором трипанового синего [12].

Статистически значимых различий в ОГ и КГ по полученной рефракции, а также остроте зрения в разные периоды выявлено не было. Полученные нами данные согласуются с результатами более масштабного систематического обзора и метаанализа. В упомянутой работе было проанализировано 11 исследований с 2019 по 2022 год (всего 8842 глаза), в которых сравнивались системы трёхмерной визуализации «heads-up» и стандартные микроскопы в катарактальной хирургии. Авторы не выявили статистически значимых различий между трёхмерной визуализацией и стандартными микроскопами ни по показателям послеоперационной остроты зрения, ни по частоте интраоперационных осложнений, ни по продолжительности вмешательства. При этом отдельные исследования, вошедшие в метаанализ, указывали на потенциальные преимущества трёхмерной визуализации с точки зрения эргономики и снижения интенсивности освещения, необходимого для качественной работы хирурга [13].

Пожокий способ повышения контрастности и улучшения визуализации в ходе катарактальной хирургии представлен авторами одного из исследований, которые применили чёрно-белый цифровой фильтр в трёхмерной системе визуализации путём снижения цветовой насыщенности до нуля. Как показали их наблюдения, перевод изображения в градации серого способен существенно улучшить видимость краёв капсулы, кортикальных масс и инструментов при недостаточном розовом рефлексе или наличии роговичных помутнений. В частности, BW-режим повышал детализацию при выполнении капсулорексиса и облегчал идентификацию границ ядерных фрагментов в условиях, когда цветовая информация была недостаточно контрастна. При этом хирурги субъективно отмечали упрощение ряда этапов, включая гидродиссекцию (улучшение восприятия «fluid wave») и визуализацию инструментов при фако-чопе. Авторы отметили, что в некоторых ситуациях снижение цветовой насыщенности, напротив, оказывалось менее удобным. Определение глубины борозды ядра было затруднено без привычных цветовых оттенков, а видимость сосудов лимба при формировании разреза снижалась, что потенциально могло повысить риск травматизации сосудов лимбальной зоны. Таким образом, авторы указывают на необходимость сбалансированного и селективного использования BW-фильтра только на тех этапах, где выигрыш в контрасте действительно важен и превышает потерю цветовых ориентиров [14].

Результаты данного исследования во многом согласуются с нашим опытом применения трёхмерных цифровых систем визуализации и программных цветофильтров. В частности, мы также наблюдали, что модификация цветовых профилей в ходе капсулорексиса способна компенсировать слабый рефлекс и облегчать визуализацию передней капсулы, уменьшая необходимость в инвазивных красителях. При этом, мы согласны с мнением вышеупомянутых авторов, что полная десатурация (BW-режим) может быть полезной лишь в конкретных клинических ситуациях (плотное ядро, помутнение роговицы, невыраженный рефлекс глазного дна) и должна применяться с осторожностью.

ments, where visualization is generally poor. Surgeons also reported that the BW filter optimized the tissue visibility of capsulorhexis contours, hydrodissection fluid wave perception, and the contrast of instruments through a nucleus during phacochope. However, the authors noted that reducing color saturation could be less advantageous in some situations. Thus, standard color images were found to be better for localizing the limbal area during incision, making it easier to avoid the limbal vessels during incision, and for nucleus sculpture to assess groove depth. Therefore, the authors emphasized the importance of a balanced and selective use of the BW filter, recommending its application only at those stages where the improvement in contrast is significant enough to outweigh the loss of color data [14].

The findings of this study align closely with our experiences using 3D visualization systems and software BW filters. Specifically, we observed that modifying color profiles during capsulorhexis can enhance visualization of the anterior capsule when the red reflex is weak, thereby reducing the need for invasive dyes. We agree with the previously mentioned authors that complete desaturation (black-and-white mode) is a helpful technique for specific clinical situations, including dense cataracts, corneal opacities, or a weak or absent red reflex. Therefore, it should be applied with caution.

CONCLUSION

Using a 3D visualization system during anterior capsulorhexis for complicated cataracts is both safe and effective. This system can serve as an alternative to or supplement for the traditional method, which typically involves the intracameral injection of ophthalmic dyes. Moreover, employing a 3D visualization system in lens surgery allows for a significant reduction in the light intensity required from the operating microscope, which helps to reduce the risk of iatrogenic retinal phototoxicity.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование системы трёхмерной визуализации для улучшения визуализации при проведении переднего капсулорексиса в случаях осложнённых катаракт безопасно и эффективно и может использоваться как альтернатива или дополнение классическому

способу с внутрикамерным введением витальных красителей. Использование системы трёхмерной визуализации в хирургии хрусталика позволяет использовать значительно меньшую мощность коаксиального освещения операционного микроскопа, что снижает проявления ятрогенной ретиальной фототоксичности.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

- Cionni RJ, Snyder ME, Osher RH. *Cataract surgery. In: Duane's Clinical Ophthalmology.* 1998;6:6. 36 p.
- Sanders DR, Higginbotham RW, Opatowsky IE, Confino J. Hyperopic shift in refraction associated with implantation of the single-piece Collamer intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(12):2110-2. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.07.030>
- Chang YS, Tseng SY, Tseng SH. Comparison of dyes for cataract surgery. Part 2: Efficacy of capsule staining in a rabbit model. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(5):799-804. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.09.029>
- Eckardt C, Paulo EB. Heads-up surgery for vitreoretinal procedures: An experimental and clinical study. *Retina.* 2016;36(1):137-47. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000000689>
- Savastano A, Ripa M, Savastano MC, De Vico U, Caporossi T, Kilian R, et al. Comparison of novel digital microscope using integrated intraoperative OCT with Ngenuity 3D visualization system in phacoemulsification. *Can J Ophthalmol.* 2023;58(2):162-7. <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2021.08.017>
- Nielsen E. Innovation in 3D ophthalmic visualization: B&L's SeeLuma digital surgical microscope. *Ophthalmology Times.* 2022;4:87-9.
- Gonzalez-Saldivar G, Chow DR. Comparison of simulated surgical skills using different camera aperture settings for digitally assisted vitreoretinal surgery. *J Vitreoretin Dis.* 2019;3(5):328-31. <https://doi.org/10.3928/23258160-20200401-02>
- Rosenberg ED, Nuzbrokh Y, Sippel KC. Efficacy of 3D digital visualization in minimizing coaxial illumination and phototoxic potential in cataract surgery: Pilot study. *J Cataract Refract Surg.* 2021;47(3):291-6. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000448>
- Dogra M, Singh SR, Dogra MR. Operating microscope and endoilluminator-induced retinal phototoxic maculopathy after trans-scleral sutured posterior chamber intraocular lens. *Indian J Ophthalmol.* 2019;67(5):692-4. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1233_18
- Gonzalez-Saldivar G, Chow DR. Optimizing visual performance with digitally assisted vitreoretinal surgery. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2020;51(4):S15-S21. <https://doi.org/10.3928/23258160-20200401-02>
- Agranat JS, Miller JB, Douglas VP, Douglas KAA, Marmalidou A, Cunningham MA, et al. The scope of three-dimensional digital visualization systems in vitreoretinal surgery. *Clin Ophthalmol.* 2019;13:2093-6. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S213834>
- Melo AGR, Conti TF, Hom GL, Greenlee TE, Cella WP, Talcott KE, et al. Optimizing visualization of membranes in macular surgery with heads-up display. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2020;51(10):584-7. <https://doi.org/10.3928/23258160-20201005-06>
- Ripa M, Kopsacheilis N, Kanellopoulou K. Three-dimensional heads-up vs. standard operating microscope for cataract surgery: A systematic review and meta-analysis. *Diagnostics.* 2022;12(9):2100. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12092100>
- Sandali O, Tahiri JHR, Balamoun AA, Duliere C, El Sanharawi M, Borderie V. Use of black-and-white digital filters to optimize visualization in cataract surgery. *J Clin Med.* 2022;11(14):4056. <https://doi.org/10.3390/jcm11144056>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Журавлёв Антон Владимирович, аспирант кафедры глазных болезней Института профессионального образования, Самарский государственный медицинский университет

ORCID ID: 0000-0003-4536-8098

SPIN-код: 4507-8301

E-mail: zhuranton@inbox.ru

Стебнев Вадим Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры глазных болезней Института профессионального образования, Самарский государственный медицинский университет

ORCID ID: 0000-0002-4539-7334

E-mail: vision63@yandex.ru

Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

Конфликт интересов: отсутствует

AUTHORS' INFORMATION

Zhuravlyov Anton Vladimirovich, Postgraduate Student, Department of Eye Diseases, Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University

ORCID ID: 0000-0003-4536-8098

SPIN: 4507-8301

E-mail: zhuranton@inbox.ru

Stebnev Vadim Sergeevich, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Eye Diseases, Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University

ORCID ID: 0000-0002-4539-7334

E-mail: vision63@yandex.ru

Information about support in the form of grants, equipment, medications

The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest

✉ АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Журавлёв Антон Владимирович

аспирант кафедры глазных болезней Института профессионального образования, Самарский государственный медицинский университет

443099, Российская Федерация, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

Тел.: +7 (987) 9129582

E-mail: zhuranton@inbox.ru

✉ ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

Zhuravlyov Anton Vladimirovich

Postgraduate Student, Department of Eye Diseases, Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University

443099, Russian Federation, Samara, Chapaevskaya str., 89

Tel.: +7 (987) 9129582

E-mail: zhuranton@inbox.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: ЖАВ, СВС

Сбор материала: ЖАВ

Статистическая обработка данных: ЖАВ

Анализ полученных данных: ЖАВ, СВС

Подготовка текста: ЖАВ

Редактирование: СВС

Общая ответственность: ЖАВ, СВС

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: ZhAV, SVS

Data collection: ZhAV

Statistical analysis: ZhAV

Analysis and interpretation: ZhAV, SVS

Writing the article: ZhAV

Critical revision of the article: SVS

Overall responsibility: ZhAV, SVS

Поступила 14.11.24

Принята в печать 28.08.25

Submitted 14.11.24

Accepted 28.08.25