

Научно-практический медицинский журнал

# ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА



# PRACTICAL MEDICINE

The scientific and practical medical journal

Офтальмология. Оториноларингология

Ophthalmology. Otorhinolaryngology

16+

Том 16, № 5. 2018

УДК 617.7

**Т.А. МОРОЗОВА<sup>1</sup>, А.Е. ТЕРЕНТЬЕВА<sup>2</sup>, Н.А. ПОЗДЕЕВА<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт медико-биологических проблем РАН РФ, 123007, г. Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А<sup>2</sup>Чебоксарский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова МЗ РФ, 428028,

г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 10

## 3D-технологии в офтальмохирургии: первый опыт

**Морозова Татьяна Анатольевна** — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, тел. +7-916-207-03-73, e-mail: tatianamorozovamd@gmail.com

**Терентьева Анна Евгеньевна** — врач-офтальмолог, тел. +7-917-654-81-43, e-mail: anyaterentieva@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7719-8778

**Поздеева Надежда Александровна** — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, тел. +7-835-236-46-96, e-mail: pozdeeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3637-3645

**Цель исследования** — оценить безопасность, эффективность, эргономичность 3D-технологии в офтальмохирургии, изучить субъективную оценку восприятия стереосистемы в зависимости от зрительных функций офтальмохирургов.

**Материал и методы.** Проанализированы функциональные результаты 43 микрохирургических вмешательств, выполненных с использованием 3D-технологии по поводу патологии переднего и заднего отрезков глазного яблока. Двум группам хирургов (всего 16 специалистов, средний возраст 1-й группы —  $34 \pm 5,3$  года, 2-й —  $55 \pm 2,3$  года), выполнившим микрохирургические вмешательства с использованием стереоплатформы, проведены исследования остроты зрения, рефрактометрии, характера зрения, запасов аккомодации и аккомодационного ответа, остроты стереоизрения и физионных резервов. Субъективная оценка методики проведена с использованием анкеты, включающей 35 вопросов и суммарную оценку по 5-балльной системе ключевых характеристик методики.

**Результаты и обсуждение.** Функциональные результаты, полученные после хирургического вмешательства, сопоставимы с таковыми после традиционной 2D-хирургии. Осложнение получено в одном случае. В 1-й и 2-й группах хирургов некорrigированная и корrigированная острота зрения не отличалась. Средние показатели остроты стереоизрения также оказались близкими в обеих группах. В 1-й группе —  $4,37 \pm 1,40$ , во 2-й группе —  $4,87 \pm 2,41$ . Коэффициенты корреляции составили  $0,13$  ( $p < 0,05$ ) и  $-0,3$  ( $p < 0,05$ ) соответственно, что указывает на низкую взаимосвязь остроты стереоизрения с возрастом. Показатели физионных резервов оказались несколько выше во 2-й группе. Средняя величина конвергентных резервов в 1-й группе составила  $41,7 \pm 10,8^\circ$ , во 2-й группе —  $42,9 \pm 8,2^\circ$ , а дивергентных —  $-11,6 \pm 3,08$  и  $-13,9 \pm 2,08$ , что значительно превышает средние показатели нормы. Средняя оценка эргономики новой методики составила 3,75 в первой группе и 3,37 баллов во второй группе. **Заключение.** 3D-технология зависит от функциональных особенностей зрительного анализатора хирурга и сферы хирургической деятельности. Расширение потенциала 3D-платформы должно быть направлено в сторону увеличения глубины фокуса, повышения четкости изображения и уменьшения времени формирования изображения.

**Ключевые слова:** 3D-технологии, офтальмохирургия, стереоизрение, физионные резервы.

DOI: 10.32000/2072-1757-2018-16-5-144-150

(Для цитирования: Морозова Т.А., Терентьева А.Е., Поздеева Н.А. 3D-технологии в офтальмологии: первый опыт. Практическая медицина. 2018. Том 16, № 5, С. 144–150)

**Т.А. MOROZOVA<sup>1</sup>, А.Е. TERENTJEVA<sup>2</sup>, Н.А. POZDEEVA<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences of the Russian Federation, 76A Khoroshevskoe highway, Moscow, Russian Federation, 123007<sup>2</sup>Cheboksary Branch of Federal State Autonomous Institution «Interbranch scientific and technical complex «Eye Microsurgery» the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution of the MH of RF, 10 Traktorostroiteley Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428028

## 3D technologies for ophthalmosurgery: early experience

**Morozova T.A.** — PhD (medicine), Senior Research Scientist, tel. +7-916-207-03-73, e-mail: tatianamorozovam@gmail.com  
**Terentjeva A.E.** — Ophthalmologist, tel. +7-917-654-81-43, e-mail: anyaterentieva@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7719-8778  
**Pozdeeva N.A.** — D. Sc. (medicine), Deputy Director for Science, tel. +7-835-236-46-96, e-mail: npozdeeva@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-3637-3645

*The purpose of the study was to evaluate the safety, effectiveness, ergonomics of 3D technology in ophthalmosurgery, study the subjective evaluation of the perception of the stereosystem in relation to the visual functions of ophthalmic surgeons.*

**Material and methods.** Functional results of 43 microsurgical interventions using 3D technology for the pathology of the anterior and posterior segments of the eyeball have been analyzed. Two groups of surgeons (16 specialists in total, average age of the 1<sup>st</sup> — 34 ± 5,3 y.o., of the 2<sup>nd</sup> group — 55 ± 2,3 y.o.) who performed microsurgical interventions using stereoplatforms, carried out studies of visual acuity, refractometry, vision, accommodative response, sharpness of stereo vision and fusional reserves. Subjective evaluation of the methodology was carried out using a questionnaire that included 35 questions and a summary assessment of the five-point system of key characteristics of the methodology.

**Results and discussion.** Functional results obtained after surgery are comparable with those after traditional 2D surgery. Complication happened in one case. In the 1<sup>st</sup> and the 2<sup>nd</sup> groups of surgeons the uncorrected and corrected visual acuity did not differ. The average parameters of the sharpness of the stereo vision were also close in both groups. In the first group — 4.37 ± 1.40, in the second group — 4.87 ± 2.41. Correlation coefficients were 0.13 ( $p < 0.05$ ) and -0.3 ( $p < 0.05$ ), respectively, which indicates a low correlation of the severity of stereoscopic vision with age. The indicators of fusional reserves were slightly higher in the 2<sup>nd</sup> group. The average value of convergent reserves in the 1<sup>st</sup> group was 41.7 ± 10.8°, in the 2<sup>nd</sup> group — 42.9 ± 8.2°, and divergent reserves — 11.6 ± 3.08 and -13.9 ± 2.08, which significantly exceeds the average values of the norm. The average assessment of the ergonomics of the new technique was 3.75 in the 1<sup>st</sup> group and 3.37 in the 2<sup>nd</sup> group.

**Conclusion.** 3D technology is dependent on the functional features of the visual analyzer of the surgeon and the scope of surgical activity. The expansion of the 3D platform's potential should be directed towards increasing the depth of focus, increasing the clarity of the image and reducing the time of image formation.

**Key words:** three-dimensional procedures, ophthalmosurgery, stereoscopic vision, fusional amplitude.

**(For citation:** Morozova T.A., Terentjeva A.E., Pozdeeva N.A. 3D Technologies for ophthalmosurgery: early experience. Practical Medicine. 2018. Vol. 16, no. 5, P. 144–150)

Последние два десятилетия офтальмохирургия характеризуется стремительным развитием новых технологий. Прогресс коснулся и совершенствования визуализации при использовании хирургических микроскопов. Вынужденное положение и нагрузка на позвоночник при традиционном использовании операционных микроскопов может приводить к серьезному риску развития патологии шейного и поясничного отделов позвоночника у хирургов [1]. По данным зарубежных коллег, частота патологии позвоночника среди офтальмохирургов достигает 62 % [2, 3].

Термин «хирургия поднятой головы» описывает микрохирургическую технологию проведения операций с визуализацией изображения не через микроскоп, а с помощью 3D-монитора (на который передается изображение через 3D-камеру) [4]. С точки зрения разработчиков, эта технология должна снять ограничения, обусловленные использованием стандартного микроскопа, увеличить свободу действий и минимизировать усталость хирурга за счет более физиологичной позиции без потери качества изображения операционного поля.

3D-дисплеи были первоначально разработаны для авиации и вооруженных сил. В последующем технология стала использоваться в медицине, в частности после разработки системы визуализации для микрохирургии TrueVision 3D Visualization System for Microsurgery (TrueVision Systems, Inc, SantaBarbara, California) в различных специальностях.

В 3D-мониторах используются как пассивный, так и активный способ формирования стереообра-

з. Одноэкранные устройства обеспечивают показ частей трехмерного изображения на одном экране. При этом используется специальное оборудование для разделения (селекции) изображений, составляющих стереопару. Существуют активный и пассивный метод селекции.

- Пассивный одновременный (поляризационная и анаглифная селекция). На один экран одновременно проецируются два изображения, образующие стереопару, причем каждое изображение имеет различную поляризацию световой волны. В поляризационные очки наблюдатель может видеть стереоскопическое изображение. Такой способ применяется в стереокино, а также в мультимедийных 3D-проекторах. В последнем случае одновременно используются два проекционных аппарата, изображения от которых должны быть тщательно совмещены на экране.

Анаглифный способ основан на использовании цветных фильтров в очках для просмотра. Основным недостатком данного метода является низкое качество цветопередачи, которое еще больше снижается по мере износа анаглифных стереоочков.

- Последовательный (затворный метод). Элементы стереопары отображаются на экране монитора по очереди, при этом между каждым глазом и экраном располагается специальное устройство в виде «шторки», или «затвора» (shutter), которое синхронно со сменой элементов стереопары становится непрозрачным, перекрывая поле зрения одному глазу. Наиболее часто в качестве таких «шторок» используются специальные электронно-управляемые очки (Shutterglasses — очки затворного типа).

В качестве управляющего сигнала для таких очков, называемых также активными поляризационными очками, используется выходной сигнал видеoadаптера РС.

Впервые о применении 3D-технологии в хирургии катаракты и переднего отрезка глаза сообщил д-р Weinstock в 2010 году на ежегодном конгрессе Американского общества катарактальных и рефракционных хирургов (ASCRS) в Бостоне [5, 6]. В его докладе был представлен ретроспективный анализ сравнительного исследования стандартного бинокулярного микроскопа и микроскопа, оснащенного стереоскопической системой TrueVision 3D. Weinstock доложил о высоких функциональных результатах, достигнутых с применением обеих методик микрохирургического вмешательства и незначительной разницей во времени операций между группами. Интересным оказался тот факт, что время проведения витрэктомий с системой True Vision в ходе факоэмульсификации оказалось, по наблюдениям исследователя, в три раза меньше, чем при выполнении витрэктомии по стандартной методике.

В TrueVision 3D хирургической системе видеокамера ассоциирована со стандартным хирургическим микроскопом, передающим стереоскопическое изображение на монитор высокого разрешения, находящийся рядом с хирургом и передающий информацию в режиме реального времени. С момента своего создания система претерпела множество изменений. В 2016 году Alcon и True Vision создали платформу визуализации для витреоретинальной хирургии NGENTIY.

Первоначально US Food and Drug Administration (FDA) предоставило разрешение для разработки True Vision Refractive Cataract Toolset, применение которой дало возможность использовать 3D графический оверлей для повышения визуализации в хирургии катаракты. Позднее группа TrueVision разработала приложения TrueGuide и TruePlan для детального планирования хирургического вмешательства и достижения целевой рефракции, в том числе и после имплантации торических интраокулярных линз [7]. В одном из своих исследований д-р Solomon J. сообщил о результатах имплантации торических ИОЛ с применением приложения TrueGuide. По его данным в 83,3 % клинических случаев цилиндрический компонент рефракции после операции < 0,50 D, и в 100% случаев < 1,00 D. В добавление в 80 % случаев острота зрения после операции достигла 1,0 (20/20), в 100% - 0,8 (20/25) и выше [7].

Позднее другие офтальмохирурги переднего отрезка глаза сообщили о возможности использования 3D-системы, включая пересадку амниотической мембранны [7]. Y.H. Mohamed с соавторами впервые сообщил о первом применении технологии в роговичной хирургии [8]. После проведения операции DSAEK при посттравматической буллезной кератопатии был достигнут хороший функциональный результат и отмечена отличная эргономика. Однако авторы пришли к выводу о необходимости более четкой визуализации при фокусировке на структурах роговицы и трансплантата.

Стереоскопическая система в витреоретинальной хирургии с применением 3D-дисплея высокого разрешения и поляризационных очков была исследована С. Eckardt и Е.В. Paulo [4]. В своей работе авторы обнаружили существенные преимущества технологии в сравнении с традиционной микрохирургией, включая превосходную эргономику и от-

сутствие дополнительных трудностей при выполнении манипуляций. В ходе исследования были прооперированы 43 пациента с макулярными разрывами. В послеоперационном периоде закрытие отверстий наблюдалось в 97,7 % случаев. Отдельно оценивались возможности сенсора усиливать световой сигнал с целью обеспечить качественное изображение без дополнительного освещения, минимизировать эндоиллюминацию и снизить фототоксичность в ходе витрэктомии.

Увеличение яркости операционного поля может быть особенно полезно в ситуации кровотечения, непрозрачности сред и повышенной пигментации.

В других работах [9, 10] также исследовалась возможность усиления цифрового сигнала с целью уменьшения эндоиллюминации и сообщалось о возможности витреальной хирургии с уровнем эндоиллюминации менее чем 5 % от максимально возможного, что исключительно трудно с традиционным микроскопом.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день апробировано уже несколько стереотехнологий для офтальмохирургии, включая систему виртуальной реальности, которая является абсолютно новой методикой [11]. Последняя представлена операционным микроскопом Haag-Streit H.S.Hi-R NEO 900 (Haag-Streit Surgical GmbH) и шлемами виртуальной реальности Sony Head-Mounted System HMS-3000MT, которые может использовать как хирург, так и его ассистент в ходе хирургического вмешательства. Система виртуальной реальности отличается от классической 3D-технологии, при которой изображения от правого и левого глаза могут конкурировать друг с другом, благодаря созданию одновременных изображений в глазах. Кроме того, она позволяет создать максимальное разрешение и цвет стереоскопического изображения.

Впервые об использовании такой системы сообщила группа исследователей во главе с Dutra-Medeiros [11]. Хирурги провели различные вмешательства, включая витрэктомию parsplana, изолированную или в комбинации с факоэмульсификацией и имплантацией интраокулярных линз, экстракцию люксированных ИОЛ, пилингэпиретиальных и внутренней пограничной мембран, эндолазеркоагуляцию, тампонаду силиконового масла и введение газа в полость стекловидного тела. Несмотря на значительный вес шлема, хирурги не испытывали неудобств при его использовании, в том числе при необходимости рассмотрения инструментов при наклоне головы. Параллельно исследователи отмечали очень короткую «кривую обучения», превосходную глубину разрешения, возможность пространственной ориентации и эксклюзивные возможности при обучении и проведении «живой хирургии».

Таким образом, стереоскопические системы в офтальмохирургии переднего и заднего отрезка продемонстрировали очень обнадеживающие результаты уже при первых экспериментах.

Однако встает целый ряд вопросов. Обеспечивает ли новая технология лучшие функциональные результаты, не увеличивается ли время хирургического вмешательства и риск интраоперационных осложнений и каковы сферы ее рационального применения, т.е. насколько безопасна, эффективна и эргономична новая технология микрохирургического вмешательства. Ведь при ее использовании действуют иные механизмы создания зрительного образа у хирурга. После опыта стереокинете-

атров стало очевидным, что достаточно большая часть людей испытывает дискомфорт при просмотре стереофильмов вплоть до полной непереносимости. Физиологи ставят вопрос о необходимости предварительной диагностики зрителей перед просмотром стереофильмов. Кроме того, длительный отрезок времени сложно работать со стереообразом, поскольку это достаточно быстро приводит к утомлению зрительной системы. Существуют и вопросы по вариантам формирования стереообраза. При анагlyphном способе сепарации стереопары страдает цветовосприятие изображения. При пассивных методах сепарации изображения от различных глаз могут существенно конкурировать друг с другом, повышая зрительную утомляемость вплоть до непереносимости.

В последнее время появляется все больше статей об использовании 3D-технологии офтальмохирургами, которые достаточно быстро адаптируются к новой методике. Может быть, причина такой быстрой адаптации находится в другой плоскости и ответ будет достаточно неожиданным. Самые офтальмохирурги в большинстве своем обладают уникальным стереозрением.

**Цель:** оценить безопасность, эффективность, эргономичность 3D-технологии в офтальмохирургии, изучить субъективную оценку восприятия стереосистемы в зависимости от зрительных функций офтальмохирургов.

### Материал и методы

Проанализированы первые функциональные результаты 43 микрохирургических вмешательств, выполненных с использованием технологии 3D по поводу разнообразной глазной патологии: 23 факоэмульсификации катаракты (ФЭК), 5 витрэктомий, удаление силикона-1, удаление ПФОС-1, замена ПФОС на силикон-1, эписклеральное пломбирование при отслойке сетчатки -3, витреальная хирургия с удалением ВПМ по поводу макулярного разрыва-1, эпиретинального фиброза-3, ПДР-1, операции по поводу глаукомы (МНГСЭ)-2, косоглазия-1, хирургия слезных путей-3.

В настоящем исследовании приняло участие 16 хирургов, впервые выполнивших микрохирургические вмешательства с использованием стереоплатформы, в возрасте от 28 до 59 лет. Всех хирургов разделили на 2 группы. В 1-ю группу вошли 8 человек в возрасте от 28 до 42 лет (в среднем  $34 \pm 5,3$  лет), у которых сохранялся аккомодационный ответ, во 2-ю группу вошли 8 человек с пресбиопией и отсутствием аккомодационного ответа в возрасте от 52 до 59 лет (в среднем  $55 \pm 2,3$  года).

Всем хирургам провели следующие обследования: определение остроты зрения без коррекции и с коррекцией по стандартной методике с использованием визометрической таблицы Головина-Сивцева (Россия), рефрактометрию на автоматическом авторефрактометре RC-5000 фирмы Tomey (Япония), определение характера зрения с помощью метода цветовой гаплоскопии на тест-проекторе испытательных знаков (Россия), определение межзрачкового расстояния на автоматизированном цифровом пупиллометре. Наряду со стандартными методами обследования оценивали запасы аккомодации и аккомодационный ответ с помощью бинокулярного авторефрактометра «открытого поля» GrandSeiko WR-5100K (Япония) и компьютерной аккомодографии на приборе Speedy-KverMF-1(Япония).

Острота стереозрения оценивалась с помощью тестовых таблиц «Бино», разработанных в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (г. Москва), не требующих использования стереоскопических очков. Применялся тест «Бино-2», представленный фоновыми фигурами разной формы (ромб, круг, квадрат) из случайно-точечных текстур с элементами трех различных размеров: мелких, средних, крупных. В каждой из этих фигур был закодирован тест-объект. Таблица диспаритетов тест-объектов в каждом ряду при трех расстояниях наблюдения (30 см, 50 см, 100 см) приведена в самом teste. Острота стереозрения соответствовала наименьшему тест-объекту, различаемому испытуемым.

Физионные резервы определялись при помощи интерактивной компьютерной программы «Фузия» (компьютерный измерительный модуль программного комплекса 3D-бис, версия 1.0), также разработанной в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (г. Москва). Программа «Фузия» обеспечивает возможность раздельного предъявления стимулов левому и правому глазу на основе любого из двух методов сепарации: цветового и поляризационного. В данном исследовании применяли поляризационный метод. В качестве зрительных стимулов использовали случайно точечные стереограммы (СТС) на поле  $8,2 \times 8,3$  см, содержащие закодированные диспаритетом стереообъекты, генерируемые на экране монитора (размер пикселя монитора 0,51 мм) и воспринимаемые только при успешной фузии через поляризационные очки. Размер отдельных элементов-точек СТС составлял 3x3 пикселя, угловой размер стимулов — большой, угловой размер зерна СТС — большой, скорость стимула — средняя.

Субъективная оценка микрохирургами 3D-технологии проведена с использованием разработанной нами анкеты, включающей 35 вопросов, анализирующих качество визуализации, стабильность 3D-образа, глубину фокуса и поле зрения, яркость изображения, скорость формирования стереообраза, изменение характера микрохирургических манипуляций, комфортность работы, риск хирургического вмешательства в сравнении с 2D-технологией, изменение локализации и взаимоотношения структур глазного яблока, комфортное время работы с системой, необходимость обучения технологии, степень зрительного дискомфорта, мышечное напряжение в спине и шейном отделе позвоночника у хирурга, предпочтительную сферу применения стереоплатформы, а также примечания и суммарную оценку по 5-балльной системе ключевых характеристик методики.

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ Statistica 10 («StatSoft», США) и MicrosoftOfficeExcel 2007 («Microsoft», США). Использовали традиционные показатели описательной статистики — число наблюдений ( $n$ ), среднее арифметическое ( $M$ ), стандартное отклонение ( $SD$ ).

### Результаты

Функциональные результаты, достигнутые после хирургических вмешательств, были сопоставимы с таковыми после традиционной 2D-хирургии. Интраоперационное осложнение было получено в одном случае. Это был разрыв задней капсулы хрусталика при проведении факоэмульсификации, который, по мнению хирурга, был связан с недостаточной визу-

ализацией и задержкой времени передачи сигнала и формирования изображения.

Объективный анализ зрительных функций у микрохирургов выявил следующие параметры. В 1-й группе некорригированная (НКОЗ) и корригированная острота зрения (КОЗ) не отличалась от таковой во 2-й группе (табл. 1). Сферический компонент рефракции в 1-й группе имел отрицательный знак, во 2-й группе — положительный. Цилиндрический компонент в 1-й группе имел одинаковые значения на обоих глазах, во 2-й группе несколько различался. Характер зрения у испытуемых в обеих группах — бинокулярный.

При исследовании аккомодографии анализировали коэффициент аккомодационного ответа (КАО), характеризующий степень напряжения цилиарной мышцы, коэффициент роста аккомодограммы (КР), коэффициент микрофлюктуаций (КМФ) для оценки напряженности аккомодационного ответа и коэффициент устойчивости аккомодационного ответа (КУС) (табл. 1). В 1-й группе у всех хирургов имелся запас аккомодации, который в среднем составил  $-3,25 \pm 1,45$ , и аккомодационный ответ  $-1,7 \pm 0,6$ . Во 2-й группе запасы аккомодации отсутствовали, что связано с наличием пресбиопии у хирургов данной возрастной группы.

Для определения влияния возраста на аккомодационный ответ остроту стереозрения и фусионные резервы был проведен корреляционный анализ с использованием критерия Спирмена. По результатам была выявлена прямая взаимосвязь между возрастом и запасом аккомодации, где коэффициент корреляции составил 0,87.

Средние показатели остроты стереозрения оказались близкими в обеих группах. В 1-й группе —  $4,37 \pm 1,40$  и  $4,87 \pm 2,41$  — во 2-й группе. Коэффициенты корреляции составили 0,13 ( $p < 0,05$ ) и  $-0,3$  ( $p < 0,05$ ) соответственно, что указывает на низкую взаимосвязь остроты стереозрения с возрастом.

В ходе проведенного анализа данных показатели фусионных резервов оказались несколько выше во 2-й группе. Средняя величина конвергентных резервов в 1-й группе составила  $41,7 \pm 10,8^\circ$ , во 2-й группе —  $42,9 \pm 8,2^\circ$ , а дивергентных —  $-11,6 \pm 3,08$  и  $-13,9 \pm 2,08$  соответственно, что значительно превышает средние показатели нормы. По литературным данным, нормативные значения для конвергентных (положительных) резервов находятся в пределах  $20-25^\circ$ , а для дивергентных (отрицательных) —  $3-5^\circ$  [12].

Коэффициенты корреляции были достаточно низкими в обеих группах:  $-0,20$  ( $p < 0,05$ ) для конвергентных значений и  $-0,28$  ( $p < 0,05$ ) для дивергентных значений в 1-й группе,  $-0,25$  ( $p < 0,05$ ) и  $0,08$  ( $p < 0,05$ ) во 2-й группе.

При анализе характера стереозрения у 8 офтальмических хирургов (50%) выявлен достаточно редкий стереографический тип стереозрения, указывающий на большее влияние бинокулярных механизмов в формировании стереозрения хирургов.

По данным субъективной оценки 6 хирургов, отметили недостаточную визуализацию и глубину фокуса при проведении катаректальных и витреоретинальных вмешательств. Флюктуацию картины отметили 3 хирурга, искажение изображения — 2 врача, изменение привычных анатомо-топографических параметров — 3 специалиста в катаректальной, витреоретинальной и глаукомной хирургии.

Кроме того, хирурги отмечали задержку во времени передачи изображения на монитор. Все это привело к затруднению манипуляций на этапах, требующих максимальной визуализации: выполнение разрезов, капсулорексис, факофрагментация, удаление ядра, подшивание ИОЛ, работа на фоне миоза, манипуляции в зоне шлеммова канала, работа на периферических отделах сетчатки и стекловидного тела, манипуляции на слезных путях. В одном случае вследствие недостаточной визуализации и увеличения времени передачи сигнала произошел

**Таблица 1**  
Средние значения зрительных функций и параметры аккомодографии в 2 группах (n=16)  
**Table 1.**  
Average values of visual functions and parameters of accommodography in 2 groups (n=16)

Показатели	1-я группа (n=8)		2-я группа (n=8)	
	M±SD		M±SD	
Параметры	OD	OS	OD	OS
НКОЗ	$0,68 \pm 0,39$	$0,68 \pm 0,38$	$0,65 \pm 0,38$	$0,67 \pm 0,37$
КОЗ	$1,025 \pm 0,07$	$1,025 \pm 0,07$	$1,0 \pm 0$	$1,0 \pm 0$
Sph	$-0,03 \pm 1,4$	$-0,1 \pm 0,9$	$0,3 \pm 1,63$	$0,25 \pm 1,9$
Cyl	$-0,4 \pm 0,31$	$-0,4 \pm 0,29$	$-0,7 \pm 0,47$	$-0,6 \pm 0,29$
СЭ	$-0,25 \pm 1,54$	$-0,4 \pm 0,95$	$-0,01 \pm 1,73$	$0,93 \pm 1,74$
Аккомодационный ответ	$-1,69 \pm 0,63$	$-1,78 \pm 0,64$	-	-
КАО	$0,42 \pm 0,17$	$0,42 \pm 0,22$	$-0,07 \pm 0,29$	$0,03 \pm 0,04$
КУС	$0,20 \pm 0,10$	$0,20 \pm 0,12$	$0,17 \pm 0,28$	$0,1 \pm 0,07$
КР	$0,62 \pm 0,11$	$0,62 \pm 0,05$	$0,57 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,04$
КМФ	$55,5 \pm 4,42$	$56,03 \pm 3,95$	$57,21 \pm 7,15$	$57,7 \pm 4,29$

разрыв задней капсулы. Все доктора пришли к выводу, что технология, особенно в период ее освоения, не снижает, а увеличивает риск возможных осложнений в ходе вмешательства. 6 хирургов в ходе исследования заключили, что стереотехнология труднее классического 2D-микрохирургического вмешательства. Причем это были специалисты различного профиля: катарактальной, витреоретинальной, глаукомной хирургии.

В большинстве случаев хирурги не отмечали изменения яркости изображения, за исключением 2 случаев, когда отмечалось снижение яркости изображения и одного комментария по снижению насыщенности цвета. Все отметили существенное увеличение времени операции. Однозначным было заключение о необходимости определенного отрезка времени для обучения технологии.

Что касается напряжения в спине в ходе работы, 6 докторов пришли к выводу, что этот параметр не изменился в сравнении с традиционной методикой 2D-хирургии, в 2 случаях отмечено повышение мышечного напряжения. 9 хирургов зафиксировали зрительное утомление при работе со стереоплатформой, в одном случае — переходящее в выраженную головную боль.

Офтальмохирурги кардинально разошлись в вопросе оптимального комфорtnого времени работы с 3D-технологией: в большинстве случаев оно серьезно ограниченно (40 мин — 1 час), а иногда и вообще отсутствует, только в трех случаях неограниченно. Такая вариабельность параметра лишний раз заставляет сделать вывод об индивидуальных особенностях восприятия стереоизображения.

При анализе предпочтительной сферы применения новой технологии 9 хирургов указали живую хирургию, 5 хирургов — симуляционное обучение.

Важной проблемой, дополнительно отмеченной специалистами, стало снижение контроля за счет диссоциации действий (направление взора — в монитор, манипуляции в зоне операционного поля). Это определенный когнитивный конфликт, требующий дополнительного осмысления.

Тестирование хирургов с использованием стандартной анкеты по 5-балльной шкале с оценкой ключевых параметров технологии представлены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Средние параметры субъективной оценки 3D-технологии офтальмохирургами  
**Table 2.**

Average parameters of subjective evaluation of 3D technology by ophthalmic surgeons

	1 группа (n=8)	2 группа (n=8)
Параметры	(M)	(M)
Эффективность	4	4,4
Безопасность	3,75	4,25
Точность	3,75	3,75
Эргonomичность	3,75	3,37
Удобство	3,87	3,5
Комфорт	3,62	3,37
Изменение статической нагрузки на позвоночник	3,62	3,87
Стабильность 3D-образа	4,75	4,6
Зрительное утомление в ходе операции	4,25	4,62
Общая оценка	3,68	3,87

Во 2-й группе хирурги отмечали эффективность данной технологии на 10 % больше, в сравнении с 1-й группой, безопасность на 12 %, изменение статической нагрузки на позвоночник на 6 %, а также меньшее зрительное утомление.

Суммарная субъективная оценка составила 3,87 балла, что на 7 % выше значений у лиц с наличием аккомодации в 1-й группе.

Очень незначительное количество работ на сегодняшний день демонстрирует потенциальную возможность 3D-хирургии и одновременно выявляют проблемы технологии, требующие решения. Целью одной из таких работ M.K.Adam и A.C. Но [13] был анализ всех интраоперационных характеристик и исходов при проведении хирургического лечения по поводу витреоретинальной патологии: макулярных разрывов, эпителиальных мембран и отслоек сетчатки.

Во многом в нашем исследовании мы получили схожие результаты. Авторы особо отмечали большую вовлеченность всего коллектива операционного блока, которые использовали стереоочки, и особенно молодых врачей, которым при применении стереоплатформы гораздо проще понимать методы и цели лечения. В нашей работе хирурги также определили приоритетные зоны применения технологии в демонстрационной хирургии и симуляционном обучении.

Использование 3D-платформы при лечении патологии макулярной области и отслойки сетчатки на фоне диабетической ретинопатии, по мнению M.K. Adam и A.C. Но дает возможность получить прекрасное изображение при широком поле зрения, особенно при большом увеличении. Это важно при проведении витреоретинальных манипуляций. При диабетической тракционной отслойке сетчатки на периферических зонах отслойку легче обнаружить, что дает дополнительную уверенность хирургу и снижает риск ятрогенных разрывов. Дополнительно цифровое усиление сигнала определяет возможность снизить эндоиллюминацию. Интеграция с ОСТ интерфейсом обеспечивает возможность анализа сканов макулярной области с высоким разрешением.

В нашем исследовании ни в одном из клинических случаев хирурги не успели оценить увеличе-

ния яркости изображения в сравнении с традиционной микрохирургической методикой. Очевидно, что на первых этапах работы с платформой более приоритетной является четкая визуализация и достаточная глубина фокуса, которые требуют дополнительных настроек.

Также и наши зарубежные коллеги в ходе работы с 3D-системой отмечали неожиданные проблемы снижения четкости изображения по периферии поля зрения и размытого изображения при проведении эндолазеркоагуляции.

3D-система имеет ограничение модуляционной экспозиции и глубины фокуса. В случае миопии высокой степени требуется дополнительное исследование периферических зон на заключительных этапах операции с целью не пропустить малых разрывов.

Контроль фокуса с возможными на сегодняшний день настройками крайне чувствителен к перефокусировке и может быть обременительным.

По мнению M.K. Adam с соавт., при традиционной хирургии аккомодационные способности хирурга определяют дополнительное преимущество системы, являясь ее частью [13].

Все предыдущие исследования также отмечают высокую степень комфорта при работе в полости стекловидного тела, сопоставимую с традиционной хирургией. Задержка формирования цифрового изображения не является проблемой в витреоретинальной хирургии, поскольку все манипуляции осуществляются медленнее в сравнении с передним отрезком. Однако при работе на переднем отрезке хирург вынужден оперировать намного медленнее привычного, чтобы компенсировать эту проблему.

Кроме того, поле зрения при работе на переднем отрезке меньше в сравнении со стандартным микроскопом. Этот фактор ведет к неудобству при осуществлении разрезов, наложении роговичных, конъюнктивальных и склеральных швов, особенно при протяженных разрезах.

В ближайшем будущем ожидается значительный прогресс технологии, когда 3D-платформы последнего поколения должны интегрировать все параметры витреотома, предоперационные и интраоперационные данные, полностью модернизировать микроскоп в цифровой с дополнительными цифровыми фильтрами.

Возможно, именно это позволит перейти на другой уровень эволюции стереотехнологии и улучшить результаты лечения при максимальной его безопасности. Но нельзя не учитывать, что данная технология в большой степени зависит от функциональных особенностей зрительного анализатора хирурга и сферы хирургической деятельности. Скорость же адаптации офтальмохирургов к новым технологиям во многом определяется уникальными характеристиками их зрения.

### **Заключение**

Применение 3D-технологии в большинстве случаев обеспечивает эффективность лечения, сопоставимую с 2D-технологией. Степень риска на этапе обучения несколько выше в сравнении с традиционной хирургией, что связано в большинстве случаев с недостаточно четким изображением и глубиной фокуса, а также задержкой передачи сигнала во времени. Уменьшение скорости переда-

чи цифрового сигнала увеличивает риск осложнений, в особенности при катарактальной хирургии, затрудняет манипуляции на ответственных этапах и увеличивает время операций. Расширение потенциала 3D-платформы должно быть направлено в сторону увеличения глубины фокуса, повышения четкости изображения и уменьшения времени формирования изображения. Необходимо дополнительное расширение поля зрения при работе на переднем отрезке глазного яблока. На сегодняшний день технология в большей степени адаптирована для витреоретинальной хирургии. Использование 3D-платформы зачастую приводит к зрительному утомлению у хирургов. Технология очень зависит от индивидуальных особенностей зрительного анализатора хирургов (рефракции, формы стереозрения и в наибольшей степени от величины физионных резервов). Офтальмохирурги обладают в большинстве своем уникальными параметрами стереозрения и объемов физионных резервов, которые увеличиваются с возрастом. Очевидно, характер работы направлен на тренировку монокулярных механизмов стереозрения. Возможно индивидуальное прогнозирование восприятия 3D-технологии у хирургов на основе данных зрительных функций, включающих анализ стереозрения и физионных резервов специалиста.

Выражаем благодарность за помощь в проведении исследования физионных резервов д.б.н. Надежде Николаевне Васильевой (ФГБУ Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН, Москва).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Mendez B.M., Chiodo M.V., Vandevender D., et al. Heads-up 3D microscopy: an ergonomic and educational approach to microsurgery // PlastReconstr Surg Glob. — 2016. — №4(5). — e717.
2. Dhimitri K.C., McGwin G., McNeal S.F., et al. Symptoms of musculoskeletal disorders in ophthalmologists // Am J Ophthalmol. — 2005. — №139. — P. 179–81.
3. Hyer J.N., Lee R.M., Chowdhury H.R., Smith H.B., Dhitai A., Khandwala M. National survey of back & neck pain amongst consultant ophthalmologists in the United Kingdom // Int Ophthalmol. — 2015. — №35.-P. 769–75.
4. Eckardt C., Paulo E.B. Heads-up surgery for vitreoretinal procedures: an experimental and clinical study // Retina. — 2016. — №36. — P. 137–147.
5. Weinstock R.J., Desai N. Surgical Techniques in Ophthalmology — Cataract Surgery. Heads up cataract surgery with the TrueVision 3D Display System In: Garg A., Alio J.L., eds. // New Dehli, India: Jaypee Medical Publishers — 2010. — P. 124–127.
6. Weinstock R.J. Operate with your head up // Cataract Refract Surg Today. — 2011. — №8. — P.66-74.
7. Moura-Coelho N., Patel A.S., Dutra-Medeiros M. Three-Dimensional displaysystemsfor surgeryinophthalmology.- May 30 2017http://ao.org/Three-Dimensional DisplaySystemsforSurgeryinOphthalmology
8. Mohamed Y.H. et al. "First Experience of nDSAEK with Heads-up Surgery: A Case Report." Ed. Samantha Martin // Medicine 96.19. — 2017. — e6906.
9. Adam M.K., Thornton S., Regillo C.D., Park C., Ho A.C., Hsu J. Minimalendoilluminationlevelsanddisplayluminousemittanceduringthree-dimensionalheads-up vitreoretinal surgery // Retina. — 2017. — Vol. 37. — P. 1746–1749.
10. Kunikata H., Abe T., Nakazawa T. Heads-up macular surgery with a 27-gauge microincision vitrectomy system and minimal illumination // CaseRepOphthalmol. — 2016. — №7(3). — P. 265–269.
11. Dutra-Medeiros M., Nascimento J., Henriques J., Barrão S., Fernandes-Fonseca A., Aguiar-Silva N., Moura-Coelho N., Ágoas V. Three-Dimensional head-mounted display system for ophthalmic surgical procedures // Retina. — Jan 16 2017. — Vol. 37(7). — P. 1411–1412.
12. Розенблум Ю.З. Оптометрия. — СПб.: Гиппократ, 1996. — 2-е изд., испр. и доп. — 320 с.
13. Adam M.K., Ho A.C. The Pros and Cons of Heads-up Surgery // Review of Ophthalmology. — 2017. — №12. — P. 53–55.