

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПРИЖИЗНЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА И ВИТРЕОРЕТИНАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Кислицына Н.М.*¹, Новиков С.В.², Булдаков И.А.¹

DOI: 10.25881/20728255_2022_17_4_S1_42

¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»

им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

² ООО «НЭП МГ», Москва

Резюме. На сегодняшний день в традиционный перечень методов предоперационной диагностики изменений стекловидного тела и витреоретинального интерфейса входят ультразвуковые методы, ОКТ, конфокальная лазерная сканирующая офтальмоскопия, хромовитректомиа. Каждый из них имеет свои достоинства, но в силу ограниченных разрешающих способностей не могут обеспечить полноты клинической картины прижизненной визуализации стекловидного тела и витреоретинального интерфейса.

Цель. Провести сравнительный анализ методов прижизненной визуализации стекловидного тела и витреоретинального интерфейса.

Материалы и методы. Исследование проводилось 254 пациентам с патологией сетчатки и стекловидного тела при помощи интраоперационного метода диагностики - витреоконтрастострографии с использованием вещества «Витреоконтраст». Проанализирована эффективность данного метода в сравнении с другими стандартными методами визуализации по специальным апробированным методологическим принципам.

Результаты. Диагностическая эффективность метода витреоконтрастострографии составляет 93% от требуемого уровня эффективности визуализации стекловидного тела, что значительно превышает показатели методов УЗИ, ОКТ, конфокальной лазерной сканирующей офтальмоскопии, хромовитректомии.

Заключение. Витреоконтрастострография - новый вектор интраоперационной визуализации патоморфологии структур стекловидного тела и витреоретинального интерфейса, дающий широкие возможности пошагового определения особенностей структур стекловидного тела и имеющий значительные преимущества над прочими инструментальными методами визуализации.

Ключевые слова: витреоконтраст, стекловидное тело, витреоретинальный интерфейс, кортикальные слои.

Актуальность

В настоящее время в стандартную схему предоперационной диагностики изменений стекловидного тела и витреоретинального интерфейса входят ультразвуковые методы исследования (В-сканирование, ультразвуковая биомикроскопия), оптическая когерентная томография, офтальмобиомикроскопия, конфокальная сканирующая лазерная офтальмоскопия. В 2000 году Реутман предложил использовать суспензию триамцинолона с целью интраоперационной диагностики, положивший начало методу хромовитректомии. Однако метод ограничен возможностью визуализации только кортикальных слоев стекловидного тела [1]. Каждый из представленных методов инструментальной диагностики имеет свои разрешающие возможности, но, к сожалению, ни один из существующих методов не дает полноценной прижизненной визуализации структур стекловидного тела и полной картины изменений витреоретинального интерфейса. Далее кратко будут приведены основные

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS OF INTRAVITAL VISUALIZATION OF THE VITREOUS BODY AND VITREORETINAL INTERFACE

Kislitsyna N.M.*¹, Novikov S.V.², Buldakov I.A.¹

¹ S.N. Fedorov NMRC «MNTK «Eye Microsurgery», Moscow

² OOO «NEP MG», Moscow

Abstract. To date, the traditional list of methods for preoperative diagnosis of changes in the vitreous body and vitreoretinal interface includes ultrasound methods, OCT, confocal laser scanning ophthalmoscopy, and chromovitrectomy. Each of them has its own advantages, but due to limited resolution, they cannot provide the completeness of the clinical picture of intravital visualization of the vitreous body and vitreoretinal interface.

Target. To conduct a comparative analysis of the methods of intravital visualization of the vitreous body and the vitreoretinal interface.

Materials and methods. The study was conducted in 254 patients with pathology of the retina and vitreous using an intraoperative diagnostic method - vitreocontrastostography using the substance "Vitreokontrast". The effectiveness of this method was analyzed in comparison with other standard imaging methods according to special proven methodological principles.

Results. The diagnostic efficiency of the vitreocontrastostography method is 93% of the required level of vitreous imaging efficiency, which significantly exceeds the performance of ultrasound, OCT, confocal laser scanning ophthalmoscopy, and chromovitrectomy methods.

Conclusion. Vitreocontrastostography is a new vector of intraoperative visualization of the pathomorphology of the vitreous body structures and vitreoretinal interface, which provides ample opportunities for step-by-step determination of the features of the vitreous body structures and has significant advantages over other instrumental imaging methods.

Keywords: vitreocontrast, cortical layers, vitreous body, vitreoretinal interface.

преимущества и недостатки каждого метода. УЗИ — обеспечивает широкое поле захвата и обладает высокой принимающей способностью (возможность осмотра структур даже при непрозрачных оптических средах), но, к сожалению, невысокая разрешающая способность и идентификация структур лишь по косвенным признакам ограничивают использование данного метода в витреоретинальной патологии [2; 3]. ОКТ - высокая разрешающая способность (позволяет дифференцировать ультраструктурные изменения сетчатки и стекловидного тела), но нет полноты охвата окружающих тканей [4–6]. Конфокальная лазерная сканирующая офтальмоскопия (КСЛО) — гарант высокого качества осмотра структур глаза, высокая разрешающая способность, применение лазеров разного цветового спектра для осмотра стекловидного тела, сетчатки, нервных волокон, сосудов, построение трехмерных цифровых реконструкций. Недостатки: влияния субъективных факторов, глубина визуализации меньше чем на УЗИ, грубые помутнения оптических

* e-mail: natalikislitsin@yandex.ru

сред не дают четкой картины патологии [7; 8]. Хромовитрэктомия (ХР) — визуализация с контрастом. Данный метод обеспечивает визуализацию от центральной области почти до любой периферической зоны сетчатки. К сожалению, данный метод не обеспечивает трехмерную картину изменений, необходимость применения только водорастворимых красителей, отсутствие сохранности передних слоев стекловидного тела [9]. Соответственно в 2010 году была разработана совершенно новая комплексная технология визуализации стекловидного тела «Витреоконтрастография» с использованием новой контрастирующей композиции «Витреоконтраст» [10]. Данная методика имеет неоспоримые преимущества над всеми другими известными методами: 1) высокая адгезия, обеспечивающая окраску интравитреальных структур на протяжении долгого времени, 2) возможность выявления дефектов стекловидного тела, 3) определение средних размеров интравитреальных образований, 4) выявление различных анатомических вариаций каналов стекловидного тела, 5) соблюдение требований по безопасности, санитарно-химическим и токсикологическим нормам [11–16].

Цель

Провести сравнительный анализ методов прижизненной визуализации стекловидного тела и витреоретинального интерфейса.

Материалы и методы

В данной работе произведена оценка результатов интраоперационной диагностики методом витреоконтрастографии 254 пациентов с различной витреоретинальной патологией (идиопатический макулярный разрыв, пролиферативная диабетическая витреоретинопатия, отслойки сетчатки), а также сравнение между собой методов витреоконтрастографии, УЗИ, ОКТ, КЛСО и хромовитрэктомии в их эффективности и точности. Были разработаны четыре группы методологических принципов визуализации, которые апробированы в мировой литературе. Эти принципы следующие: 1) базовые принципы визуализации информации в технических системах (приникающая способность метода, разрешающая способность, широта поля охвата, применение цифрового анализа данных, стабильность и субъективность методов); 2) основные принципы прижизненной визуализации в клинической анатомии (возможность определения размеров интравитреальных структур, определение анатомических вариантов расположения интравитреальных структур, построение прогноза патологических процессов в сетчатке с позиции дефектов в стекловидном теле, а также идентификация нарушений внутри отдельно взятого слоя стекловидного тела); 3) основные принципы морфологических исследований в офтальмологии (эффективность визуализации при снижении прозрачности оптических сред глаза, с учетом прозрачности стекловидного тела, при труднодоступной

локализации или минимальных размерах патологических изменений, при идентификации нормальных и аномальных морфо-функциональных состояний стекловидного тела); 4) основные принципы построения апробированных в клинической практике систем визуализации витреоретинального интерфейса, включающие в себя: универсальность, этапность, структурность и стабильность проведения, реалистичность, управляемость и сегментация получаемого изображения с возможностью моделирования патологического процесса.

Результаты

При сравнении методов УЗИ, ОКТ, КСЛО, ХР по разработанным критериям эффективности визуализации стекловидного тела получены следующие результаты (табл. 1).

Представленные в таблице данные наглядно показывают, что по разработанным критериям визуализации в технических системах эффективность оцениваемых методов практически идентична и составляет в среднем по всем критериям 2,2–2,3 балла. Сравнительная оценка критериев, разработанных в соответствии с основными принципами прижизненной визуализации в клинической анатомии, указывает на существенные преимущества методов ХР (средний балл — 1,5) и ОКТ (1,0 балла) по сравнению с КЛСО и УЗИ (0,25 и 0,5 балла соответственно). В рамках сравнительной оценки критериев, разработанных в соответствии с основными принципами морфологических исследований в офтальмологии, проведенный анализ также указывает на преимущества метода ХР (средний балл — 1,8) по сравнению с ОКТ (0,75 балла), КЛСО и УЗИ (1,0–1,25 балла соответственно). Обобщенный анализ представленных в таблице данных указывает на несомненные преимущества ХР (средний балл по всем оцениваемым критериям составляет 1,9) по сравнению с ОКТ (1,4 балла), УЗИ (1,3 балла) и КЛСО (1,2 балла).

Также был проведен анализ эффективности методик хромовитрэктомии и использование суспензии «Витреоконтраст» (таб. 2).

Представленные данные в таблице 2 свидетельствуют, что по разработанным критериям визуализации в технических системах эффективность оцениваемых методов практически идентична и составляет 2,5 балла. Сравнительная оценка критериев, разработанных в соответствии с основными принципами прижизненной визуализации в клинической анатомии, указывает на существенные преимущества методов комплексной технологии визуализации стекловидного тела (средний балл — 3,0) по сравнению с ХР (1,5). В рамках сравнительной оценки критериев, разработанных в соответствии с основными принципами морфологических исследований в офтальмологии, проведенный анализ также указывает на преимущества метода комплексной технологии визуализации стекловидного тела (средний балл — 3,0) по сравнению с ХР (1,8 балла). Обобщенный анализ представленных в таблице 2 оценок указывает на

Табл. 1. Сравнительная оценка применения методов УЗИ, ОКТ, КЛСО и ХР с позиций разработанных критериев эффективности визуализации СТ

Критерии эффективности визуализации	УЗИ	ОКТ	КЛСО	ХР
1. Базовые принципы визуализации информации в технических системах				
1.1. Проникающая способность метода	3	1	3	2
1.2. Разрешающая способность метода	1	3	3	2
1.3. Широта поля охвата метода	3	1	2	2
1.4. Возможность применения цифрового анализа данных	3	3	2	1
1.5. Стабильность метода	2	3	2	1
1.6. Субъективность метода	1	3	2	2
2. Основные принципы прижизненной визуализации в клинической анатомии				
2.1. Возможность определения размеров интравитреальных структур	0	1	1	2
2.2. Возможность определения анатомических вариантов расположения интравитреальных структур	0	1	0	2
2.3. Возможность прогнозирования патологических процессов в сетчатке с позиций дефектов в СТ	1	1	0	1
2.4. Возможность идентификации нарушений внутри отдельно взятого слоя СТ	1	1	0	1
3. Основные принципы морфологических исследований в офтальмологии				
3.1. Эффективность визуализации при снижении прозрачности оптических сред глаза	2	1	3	2
3.2. Эффективность визуализации с учетом прозрачности СТ	2	1	1	2
3.3. Эффективность визуализации при труднодоступной локализации или минимальных размерах патологических изменений	1	1	0	2
3.4. Эффективность визуализации при идентификации нормальных и аномальных морфо-функциональных состояния СТ	0	0	0	1

Примечание: «0 баллов» — эффективность отсутствует, «1 балл» — эффективность незначительная; «2 балла» — эффективность средняя; «3 балла» — эффективность высокая.

Табл. 2. Сравнительная оценка применения методов ХР и витреоконтрастографии с позиций разработанных критериев эффективности визуализации СТ

Критерии эффективности визуализации	ХР	КТВСТ
1. Базовые принципы визуализации информации в технических системах		
1.1. Проникающая способность метода	2	3
1.2. Разрешающая способность метода	2	3
1.3. Широкое поле охвата метода	2	2
1.4. Возможность применения цифрового анализа данных	1	2
1.5. Стабильность метода	1	2
1.6. Субъективность метода	2	3
2. Основные принципы прижизненной визуализации в клинической анатомии		
2.1. Возможность определения размеров интравитреальных структур	2	3
2.2. Возможность определения анатомических вариантов расположения интравитреальных структур	2	3
2.3. Возможность прогнозирования патологических процессов в сетчатке с позиций дефектов в СТ	1	3
2.4. Возможность идентификации нарушений внутри отдельно взятого слоя СТ	1	3
3. Основные принципы морфологических исследований в офтальмологии		
3.1. Эффективность визуализации при снижении прозрачности оптических сред глаза	2	3
3.2. Эффективность визуализации с учетом прозрачности СТ	2	3
3.3. Эффективность визуализации при труднодоступной локализации или минимальных размерах патологических изменений	2	3
3.4. Эффективность визуализации при идентификации нормальных и аномальных морфо-функциональных состояния СТ	1	3

Примечание: «0 баллов» — эффективность отсутствует, «1 балл» — эффективность незначительная; «2 балла» — эффективность средняя; «3 балла» — эффективность высокая.

несомненные преимущества КТВСТ (средний балл по всем оцениваемым критериям составляет 2,8) по сравнению ХР (1,9 балла). Таким образом, в соответствии с разработанными критериями диагностическая эффективность метода витреоконтрастографии составляет 93% от требуемого уровня эффективности визуализации стекловидного тела и витреоретинального интерфейса, что значительно превышает показатели стандартных методов визуализации.

Клинический пример. Пациентка 3. 75 лет обратилась в МНТК МГ г. Москвы с жалобами на снижение зрения на обоих глазах. При полном обследовании был поставлен диагноз: OS Макулярный разрыв. Было принято решение провести на левом глазу микроинвазивную субтотальную витрэктомия + удаление ВПМ + газ. Далее хотим продемонстрировать использование новой технологии визуализации стекловидного тела при помощи суспензии «Витреоконтраст».

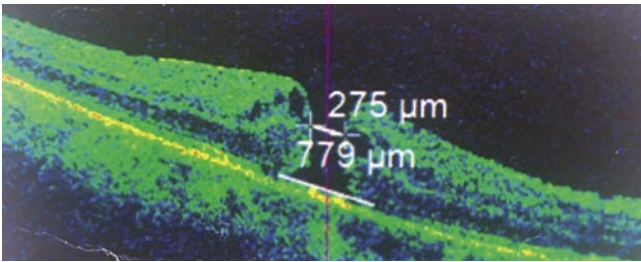


Рис. 1. Макулярный разрыв ОС на OCT. Оценка витреоретинального интерфейса методом Витреоконтрастографии.

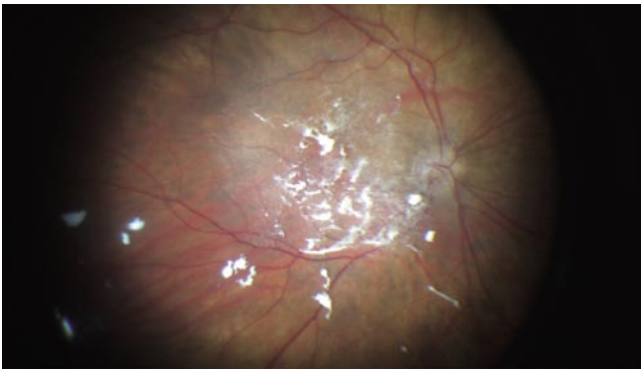


Рис. 2. После интраоперационной индукции ЗОСТ на поверхности сетчатки в макулярной зоне виден слой стекловидного тела с четкими границами.

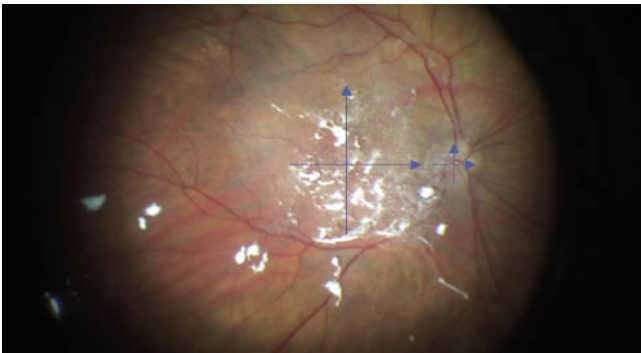


Рис. 3. Витреоконтрастография позволяет точно установить площадь зоны адгезии слоя стекловидного тела вокруг макулярного разрыва (площадь зона аномальной ЗОСТ). Диск 0,85x0,88; Слой кортикальных волокон СТ 2,96x2,6.

Таким образом метод визуализации Витреоконтрастография позволяет прижизненно визуализировать, измерять размер и площадь слоев стекловидного тела, выполнять послойное микропрепарирование стекловидного тела, выполнять макулорексис индивидуально только в пределах границ измененных тканей (в зоне плотной адгезии с кортикальным слоем стекловидного тела). Это делает микрохирургические манипуляции четко визуализированными и абсолютно управляемыми на любом этапе витреоретинального вмешательства.

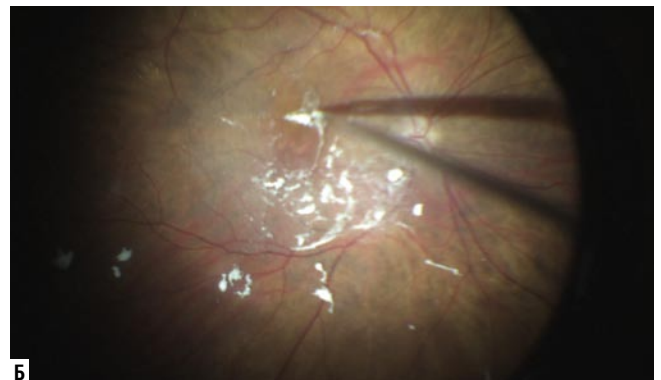
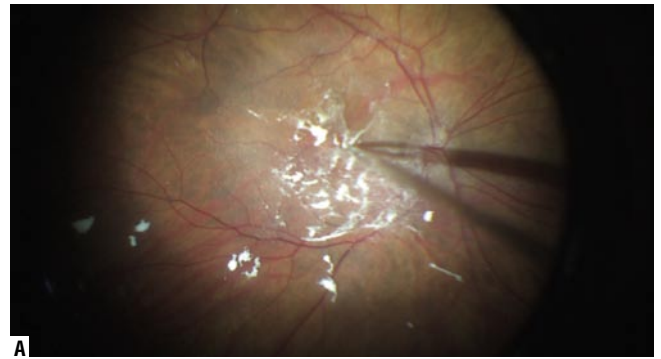


Рис. 4. (А, Б) Удаление витреоретинальным пинцетом кортикального слоя СТ вокруг макулярного разрыва.

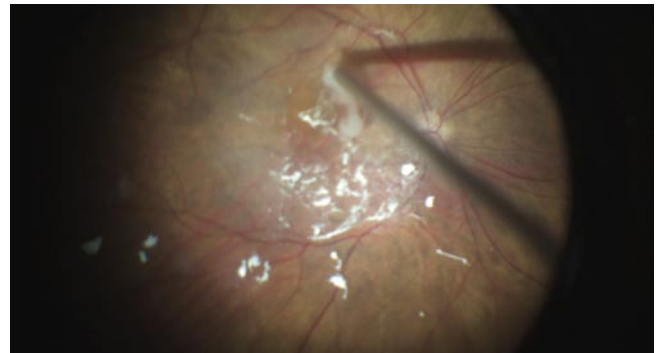


Рис. 5. Повторное контрастирование после удаления слоя СТ, который не визуализировался методом OCT на дооперационном этапе.



Рис. 6. Удаление ВПС сетчатки вокруг макулярного разрыва. На поверхности ВПМ виден тонкий слой волокон стекловидного тела.

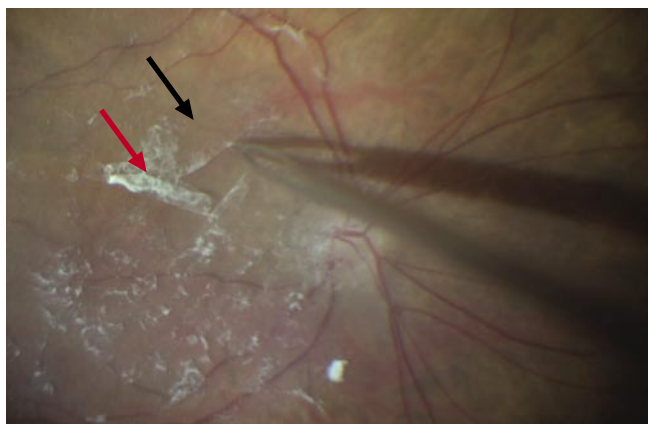


Рис. 7. На поверхности ВПМ возможно четко визуализировать участки с отсутствием слоя волокон СТ (обозначено черной стрелкой) и зоны с наличием второго кортикального слоя вокруг макулярного разрыва (обозначено красной стрелкой) и возможным определением его границ.

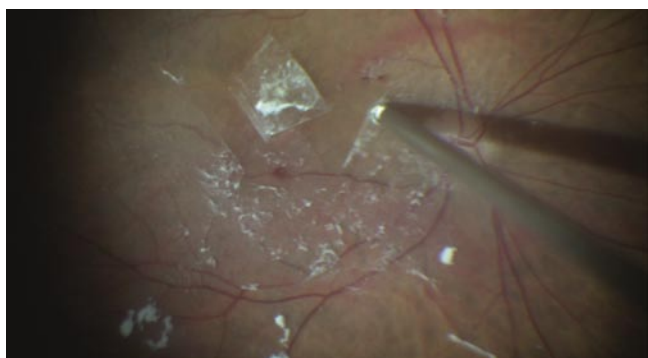


Рис. 8. Закрытие макулярного разрыва инвертированным лоскутом ВПМ.

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют нам эффективность и практичность комплексной технологии визуализации стекловидного тела при помощи витреоконтрастострографии в сочетании с алгоритмом «шаг за шагом». Данная методика в полном объеме сочетает в себе все главные принципы построения систем визуализации витреоретинального интерфейса: принципы универсальности, этапности, структурности, стабильности, реалистичности и управляемости, сегментации получаемого изображения, моделирования патологического процесса. Соответственно ее использование поможет быстрому росту и развитию витреоретинального направления в офтальмологии, существенному повышению качества анализа и постановки диагноза, снижению врачебных ошибок, высоким стандартам хирургического лечения заболеваний стекловидного тела и сетчатки.

Выводы

Метод витреоконтрастострографии — новое направление интраоперационной прижизненной визуализации патологии структур стекловидного тела, оценки задней

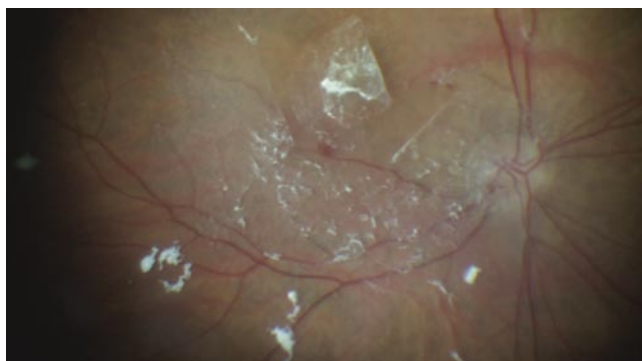


Рис. 9. Лоскут ВПМ удерживается в нужном анатомическом положении без использования воздушной тампонады.

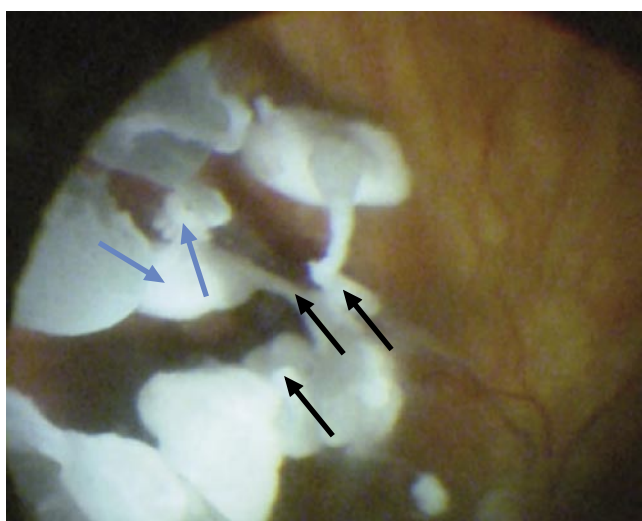


Рис. 10. Визуализация структур стекловидного тела: определение их размера (стрелки голубого цвета), определение сохранности стенок структур, ориентируясь на выход суспензии Витреоконтраст за пределы полостей (стрелки черного цвета), т.о. оценка степени деструкции цистерн стекловидного тела.

отслойки стекловидного тела, изменений витреоретинального интерфейса. Данное направление позволяет пошагово, послойно, управляемо визуализировать индивидуальные особенности изменений стекловидного тела, что определяет его преимущества перед существующими инструментальными методами визуализации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Peyman G.A., Cheema R., Conway M.D. Triamcinolone acetonide as an aid to visualization of the vitreous and the posterior hyaloid during pars plana vitrectomy. *Retina*. 2000;20(5):554–5.
2. Э.В. Бойко, А.А. Анисимов, С.В. Чурашов, А.В. Ян, Р.С. Бареева. Современные возможности визуализации витреоретинальных структур: проблемы и перспективы // Тихоокеанский медицинский журнал — 2016 №3. — стр. 5-11; 2. [E.V. Boyko, A.A. Anisimov, S.V. Churashov, et al. Modern possibilities of visualization of vitreoretinal structures: problems and prospects // Pacific Medical Journal — 2016 No. 3. — pp. 5-11. (In Russ.)] DOI: 10.17238/PmJ1609-1175.2016.3.5–11

3. Pulse-encoded ultrasound imaging of the vitreous with an annular array/ R.H. Silverman// *Ophthalmic. Surg. Lasers Imaging.* — 2012. — Vol.43 №1. — pp. 82-86
4. Rahman R., Verification of posterior hyaloid status during pars plana vitrectomy, after preoperative evaluation on optical coherence tomography / R. Rahman, R. Chaudhary, N. Anand// *Retina.* — 2012. — Vol.32, №4. — pp. 706-710
5. Restori M. Imaging the vitreous: optical coherence tomography and ultrasound imaging / M. Restori // *Eye.* — 2008. — Vol.22 №10. — pp. 1251-1256
6. Taneja N. Optical coherence tomography in patients with decreased visual acuity after successful surgery for proliferative vitreoretinopathy / N. Taneja, A. Mathai // *Arch. Ophthalmol.* — 2007. — Vol.125, №6 — p.855
7. Sebag J. To see the invisible: the quest of imaging vitreous / J. Sebag // *Dev.Ophthalmol.* -2008. — Vol.42. — pp. 5-28
8. Vitreoschisis in macular diseases /P. Gupta [et al.] // *Br. J. Ophthalmol.*-2011. — Vol 95, №3 . — pp. 376-380
9. Кислицына Н.М., Новиков С.В., Перова Н.В., Колесник С.В., Колесник А.И., Веселкова М.П. Экспериментальное сравнительное исследование цито- и фототоксичности различных агентов для хромовитректомии в условиях in vitro. *Офтальмология.* 2020;17(3):473–480. [Kislitsyna N.M., Novikov S.V., Perova N.V, et al. Experimental in vitro Comparative Study of Chromovitrectomy Agents Cyto- and Phototoxicity. *Ophthalmology.* 2020;17(3):473–480. (In Russ.)] DOI: 10.18008/1816-5095-2020-3-473-480
10. Кислицына Н.М., Новиков С.В., Беликова С.В. Применение нового контрастного вещества для визуализации структур стекловидного тела (экспериментальное исследование) // *Офтальмохирургия.* — 2010. — №1. — С. 54-57.; 10. [Kislitsyna N.M., Novikov S.V., Belikova S.V. Application of a new contrast agent for visualization of vitreous body structures (experimental study) // *Ophthalmosurgery.* — 2010. — No. 1. — S. 54-57. (In Russ.)]
11. Belikova, S.V.; Kislitsyna, N.M.; Novikov, S.V. (Беликова С.В., Кислицына Н.М., Новиков С.В.) Using of a new dye “vitreocontrast” for the vitreous body visualization// *Joint Congress of SOE/AAO.* — Geneva, 2011. — P. 174
12. Н.М. Кислицына, С.В. Новиков, А.В. Шацких, С.В. Колесник Исследование структур стекловидного тела с помощью суспензии «Витреоконтраст» // *Офтальмохирургия.* — 2013. — №4. — С.66-71.; 12. [N.M. Kislitsyna, S.V. Novikov, A.V. Shatskikh, et. al. Study of the structures of the vitreous body using the suspension “Vitreocontrast” // *Ophthalmosurgery.* — 2013. — No. 4. — P.66-71. (In Russ.)]
13. Кислицына Н.М., Колесник С.В., Новиков С.В., Колесник А.И., Веселкова М.П. Современные Возможности контрастирования витреоретинального интерфейса (экспериментальное исследование)// *Офтальмология.* — 2018. -Т.15. — № 2S. — С. 231-238. [Kislitsyna N.M., Kolesnik S.V., Novikov S.V., et. al. Modern Possibilities for the Vitreoretinal Interface Contrasting (Experimental Study). *Ophthalmology in Russia.* 2018;15(2S): 231–238. (In Russ.)] DOI: 10.18008/1816-5095-2018-2S-231-238
14. Кислицына Н.М, Новиков С.В., Колесник С.В., Колесник А.И., Веселкова М.П. Анатомо-топографические особенности витреоретинального интерфейса при пролиферативной диабетической витреоретинопатии. *Офтальмология.* 2020;17(2):249–257. [Kislitsyna N.M., Novikov S.V., Kolesnik S.V., et. al. Anatomic and Topographic Vitreous and Vitreoretinal Interface Features in Proliferative Diabetic Vitreoretinopathy. *Ophthalmology.* 2020;17(2):249–257. (In Russ.)] DOI:10.18008/1816-5095-2020-2-249-257
15. Кислицына Н.М., Шацких А.В., Дибирова С.М., Султанова Д.М., Веселкова М.П., Новиков С.В. Макромикроскопическое исследование топографической анатомии стекловидного тела.. *Офтальмология.* 2022;19(1):123–132. [Kislitsyna N.M., Shatskikh A.V., Dibirova S.M., et. al. Macromicroscopic Method for Vitreous Body Anatomy Studying. *Ophthalmology.* 2022;19(1):123–132. (In Russ.)] DOI:10.18008/1816-5095-2022-1-123-132
16. N.M. Kislitsyna, S.V. Novikov. Anatomic and Topographic Vitreous and Vitreoretinal Interface Features during Chromovitrectomy of A, B, C Stages of Proliferative Diabetic Vitreoretinopathy (P. Kroll’s Classification of Proliferative Diabetic Vitreoretinopathy, 2007): *Fyodorov’s Eye Micro. Diabetic Eye Disease.* 2022; doi:10.5772/intechopen.101724