

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-37-41>

# Математическое моделирование движения жидкостей внутри глазного яблока при интравитреальных инъекциях

Д.В. Липатов<sup>1</sup> ✉, С.А. Складчиков<sup>2</sup>, Н.П. Савенкова<sup>2</sup>, В.В. Новодерёжкин<sup>3</sup>, Ф.И. Высикайло<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Москва, 117036, Россия

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 52, Москва, 119991, Россия

<sup>3</sup> 15-я городская клиническая больница, ул. Вешняковская, д. 23, Москва, 111539, Россия

<sup>4</sup> МГОУ, ул. Веры Волошиной, д. 24, Мытищи, Московская область, 141014, Россия

*В настоящее время во всем мире наблюдается лавинообразный рост количества интравитреальных инъекций (ИВИ). Цели работы: 1) создать математическую модель глазного яблока и движения жидкости внутри глаза, приняв упрощенное строение стекловидного тела (СТ) (без цистерн); 2) оценить время нахождения лекарственного вещества (ЛВ) в полости СТ до его полного вымывания в зависимости от места инъекции; 3) рассмотреть и оценить пути движения ЛВ в полости СТ; 4) оценить разницу в продолжительности нахождения ЛВ в полости СТ в зависимости от наличия или отсутствия полной отслойки СТ. Результаты. При введении ЛВ ближе к центру глазного яблока время нахождения ЛВ выше, чем при пристеночном введении. При полной задней отслойке СТ время нахождения ЛВ в глазу возрастает по сравнению с нормальным его расположением, что способствует пролонгации терапевтического эффекта ЛВ. Заключение. Исследование носит пилотный характер, многие параметры для расчетов являются ориентировочными, поэтому полученные результаты нельзя механически экстраполировать на реальную ситуацию из-за сложности процессов, происходящих в глазном яблоке человека при ИВИ.*

**Ключевые слова:** интравитреальные инъекции; стекловидное тело; математическое моделирование

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Для цитирования:** Липатов Д.В., Складчиков С.А., Савенкова Н.П., Новодерёжкин В.В., Высикайло Ф.И. Математическое моделирование движения жидкостей внутри глазного яблока при интравитреальных инъекциях. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (2): 37-41. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-37-41>

## Mathematical modeling of fluid movement inside the eyeball during intravitreal injection

Dmitry V. Lipatov<sup>1</sup>, Sergey A. Skladchikov<sup>2</sup>, Nadezhda P. Savenkova<sup>2</sup>, Vladimir V. Novoderezhkin<sup>3</sup>, Philip I. Vysikailo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> National Endocrinology Research center, 11, Dmitry Ulyanov St., Moscow, 117036, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, 1, Bldg. 52, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

<sup>3</sup> City clinical hospital No. 15, 23, Veshnyakovskaya St., Moscow, 111539, Russia

<sup>4</sup> Moscow Regional State University, 24, Vera Voloshina St., Mytishchi, Moscow region, 141014, Russia  
glas1966@rambler.ru

*Intravitreal injections show an avalanche-like growth the world over. Purposes: 1) create a mathematical model of the eyeball and fluid movement inside the eye, assuming the simplified structure of the vitreous body (without tanks); 2) estimate the time span when the drug substance remains in the cavity of the vitreous body until it is completely washed out, depending on the injection site; 3) observe and evaluate the path of drug movement in the vitreous body cavity; 4) evaluate the variation of time when the drug is located in the vitreous body cavity, depending on the presence or absence of complete detachment of the vitreous body. Results. If the drug is injected closer to the center of the*

eyeball, the time when it is located in the vitreous is increased as compared to parietal injection. With full vitreous body detachment, the location time of the drug increases as compared to its normal location, which favorably affects the prolongation of the therapeutic effect. **Conclusion.** As this is a pilot study, many parameters are approximate, so the results obtained cannot be mechanically extrapolated to the live human eye subjected to intravitreal injections, due to the complexity of the processes occurring in eyeball.

**Keywords:** intravitreal injections; vitreous body; mathematic computing

**Conflict of interests:** there is no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**For citation:** Lipatov D.V., Skladchikov S.A., Savenkova N.P., Novoderezhkin V.V., Vysikailo F.I. Mathematical modeling of fluid movement inside the eyeball during intravitreal injection. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (2): 37-41 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-37-41>

В настоящее время во всем мире наблюдается лавинообразный рост интравитреальных инъекций (ИВИ). Так, по данным Medicare, в 2016 г. в США выполнено более 5,9 млн ИВИ. Предполагается, что в 2020 г. их число превысило 10 млн. Закономерно увеличивается и число лекарственных препаратов, применяемых интравитреально, растет число перспективных направлений, в частности создание комбинированных медикаментов и разработка препаратов длительного терапевтического действия.

В последние годы многие заболевания: возрастная макулярная дегенерация (ВМД), диабетический макулярный отек (ДМО), тромбоз центральной вены сетчатки (ЦВС) и ее ветвей, воспалительные заболевания глаза (увеиты) и некоторые дегенеративные заболевания сетчатки (осложненная миопия высокой степени) — эффективно лечатся препаратами, которые доставляются прямо в стекловидное тело (СТ) глазного яблока.

**Анатомия стекловидного тела.** СТ представляет собой бесцветную прозрачную массу, напоминающую по консистенции желе [1]. СТ располагается позади хрусталика и цинновой связки и составляет большую часть содержимого глазного яблока (65 %), соприкасаясь снаружи с плоской частью цилиарного тела, а на всем остальном протяжении — с сетчаткой; сзади СТ соприкасается с диском зрительного нерва (ДЗН).

Средний вес СТ составляет около 4 г при общем весе глазного яблока 7 г. В основном СТ имеет шарообразную форму и немного сплющено в сагитальном направлении в зависимости от общей формы глазного яблока. На передней поверхности СТ имеется углубление соответственно месту прилегания к нему задней поверхности хрусталика. Край углубления образуют низкий вал и соединяются волокнистой связкой с капсулой хрусталика на протяжении его экваториальной части. Между хрусталиком и СТ имеется капиллярная щель — захрусталиковое, или ретролентальное, пространство [2]. Связь СТ с оболочками глаза является наиболее прочной спереди от ora serratae, вдоль плоской части цилиарного тела. Эта зона называется основанием СТ. При задней отслойке СТ (ЗОСТ) оно увлекает за собой и цилиарный эпителий.

В СТ топографически различают три зоны [3]: 1) позади — хрусталиковая часть (pars retro lenticularis); 2) цилиарная часть (pars ciliaris); 3) задняя часть (pars posterior).

При осторожной отсепаровке оболочек глаза обнаженное СТ не растекается, сохраняет свою форму даже при наложении на него груза. Это указывает на наличие собственной наружной оболочки СТ. Нежность структуры СТ создавала до сих пор ряд затруднений при его микроскопическом изучении: СТ, легко сморщиваясь при фиксации, значительно деформировалось, что искажало его истинную структуру.

Современные прижизненные методы исследования СТ (с применением фазово-контрастного микроскопа,

ультрамикроскопа и электронного микроскопа) позволили установить его фибриллярную структуру. Межфибриллярные промежутки заполнены жидким, вязким, аморфным содержимым. Периферические уплотненные слои СТ состоят из длинных, очень тонких и нежных субмикроскопических прозрачных фибрилл. В области основания СТ они расположены более густо, что соответствует заднему пограничному слою, и постепенно истончаются кзади. Спереди СТ также уплотнено, что соответствует его переднему пограничному слою и формирует переднюю пограничную мембрану. Последняя сильно истончается в центре по направлению к хрусталику и сходит почти на нет к заднему полюсу линзы. С возрастом пограничный слой все более уплотняется.

Несколько назально от центральной оси глаза через СТ проходит так называемый клокетов канал, заключающий у эмбриона гиалоидную артерию. Клокетов канал начинается в виде расширения у ДЗН. Окончание его расположено немного ближе к носу от заднего полюса хрусталика. Канал лучше выражен у детей. Наличие его у взрослых оспаривается некоторыми авторами. Однако появление экссудата на соске ДЗН при иридоциклите может быть объяснено только наличием клокетова канала.

По своей химической природе СТ представляет гидрофильный гель органического происхождения, содержащий 98–99 % воды.

С развитием электронной микроскопии стало доступным детальное изучение строения передних и задних кортикальных слоев СТ. W. Jongbloed, J. Worst [4] в 1987 г., а позднее и J. Stephen и соавт. [5] в 2013 г. выяснили, что передние кортикальные слои делятся на ретролентальную и зонулярную части, границей между которыми является связка Weiger, идущая от передних кортикальных слоев СТ к задней капсуле хрусталика [4–6]. По данным некоторых авторов, передние кортикальные слои СТ, выстилающие плоскую часть цилиарного тела и заднюю поверхность хрусталика, представляют собой организованную пленчатую многослойную структуру, особенно плотно связанную с задними волокнами цинновой связки [7]. Этот факт свидетельствует о возможном участии СТ в акте аккомодации.

Ключевым моментом в изучении структуры СТ стали труды J. Worst, L. Los [8], которые вводили в изолированное СТ человека красители и впервые описали мешкообразные полости, назвав их «цистернами». В зависимости от локализации ими были выделены ретроцилиарные, экваториальные и петалиформные (лепестковые) цистерны. В заднем полюсе глаза описаны важные в функциональном отношении образования: премакулярная сумка и преоптическая цистерна. Премакулярная сумка была впервые описана в 1975 г. как мешкообразная полость грушевидной формы, находящаяся в непосредственной близости от желтого пятна сетчатки.

С внешней стороны эти образования окружены плотным кольцом кортикального кооуха, покрытого снаружигиалоидной мембраной.

З.А. Махачевой [2] установлено, что переднюю стенку премакулярной сумки образует интравитреальная мембрана с многочисленными отверстиями, придающими ей вид сита. Задняя стенка образована тонкой пограничной мембраной, которая внутри покрыта губчатым слоем, за исключением участка, соответствующего фовеальной зоне сетчатки. Губчатое вещество легко удаляется с поверхности задней стенки премакулярной сумки при трансквитреальном подходе.

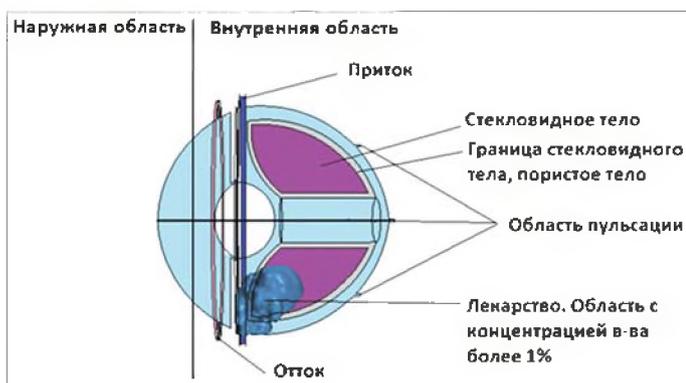
Наличие в СТ постоянного тока жидкости подтверждено результатами радиографических исследований: установлено передвижение в витреальных массах индифферентных красок или радионуклидных изотопов, введенных экстраокулярно. Продуцируемая цилиарным телом жидкость поступает в основание СТ, откуда движется по путям оттока кпереди — в переднюю камеру и кзади — в периваскулярные пространства зрительного нерва. В первом случае жидкость смешивается с камерной влагой и отводится вместе с ней, во втором из заднего отдела СТ, граничащего с оптической частью сетчатки, жидкость оттекает по периваскулярным пространствам.

Знание особенностей циркуляции внутриглазной жидкости позволяет представить характер распределения лекарственных веществ в полости глаза [1]. Это стало особенно актуально в последнее время в связи с лавинообразным ростом ИВИ, в том числе из-за ДМО у пациентов с сахарным диабетом. Как же распределяется лекарственное вещество (ЛВ) в полости глаза после введения в СТ? В какую область СТ лучше делать инъекцию для более длительного нахождения ЛВ в глазу? Как быстро вымывается ЛВ?

Все эти вопросы побудили нас поставить перед собой следующие **ЦЕЛИ** исследования: 1) создать математическую модель глазного яблока и движения жидкости внутри глаза, приняв упрощенное строение СТ (без цистерн); 2) оценить время нахождения ЛВ в полости СТ до его полного вымывания в зависимости от места инъекции; 3) рассмотреть и оценить пути движения ЛВ в полости СТ; 4) оценить разницу в продолжительности нахождения ЛВ в полости СТ в зависимости от наличия или отсутствия полной отслойки СТ.

**Математическое моделирование движения ЛВ в полости стекловидного тела.** Для создания математической модели ИВИ ЛВ в полость СТ были приняты некоторые допущения (рис. 1):

— ЛВ распространяется в полости СТ равномерно (без учета наличия цистерн из-за их индивидуального расположения у каждого человека);



**Рис. 1.** Математическая модель глазного яблока: введение лекарственного вещества в стекловидное тело

**Fig. 1.** Mathematical model of the eyeball: injection of the drug into the vitreous body

— полная ЗОСТ создает в заднем полюсе глаза полость, где ЛВ распространяется быстрее, чем в самом СТ (из-за наличия цистерн в последнем);

— модель учитывает наличие клокетова канала — пространства, по которому ЛВ распространяется с большей скоростью, чем в полости СТ;

— наличие незначительной пульсации глазного яблока в месте выхода из него четырех вортикозных вен;

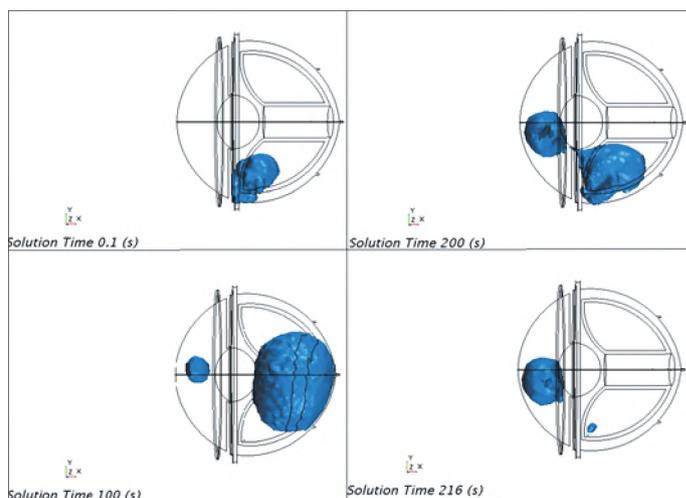
— образование внутриглазной жидкости в зоне проекции цилиарного тела;

— выход внутриглазной жидкости в области угла передней камеры глаза, в области проекции трабекулы и шлеммова канала.

Рассматриваются два варианта введения ЛВ: пристеночно и в центр СТ — и два варианта расположения СТ: без изменений (СТ занимает весь объем витреальной полости) и при полной ЗОСТ. Таким образом, возможны четыре варианта распространения ЛВ:

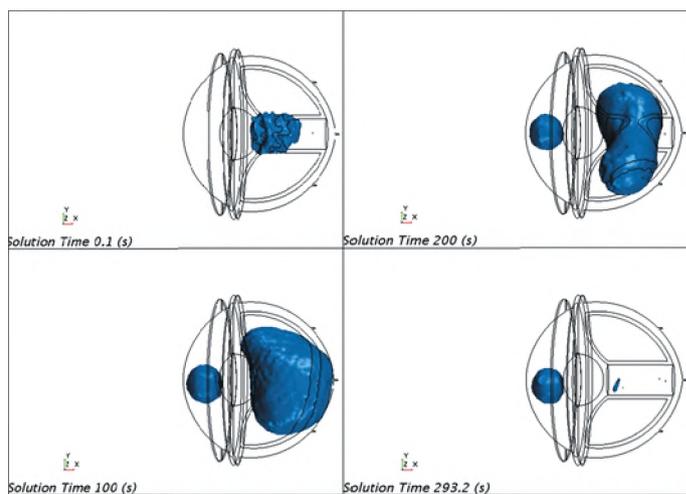
1) укол через плоскую часть цилиарного тела (pars plana) при нормальном расположении СТ и введение ЛВ около места вкола (рис. 2);

2) укол через плоскую часть цилиарного тела при нормальном расположении СТ и введение ЛВ ближе к центру глазного яблока (рис. 3);



**Рис. 2.** Результаты расчета варианта 1 (объяснение в тексте)

**Fig. 2.** Results of the calculation of option 1 (explanation in the text)

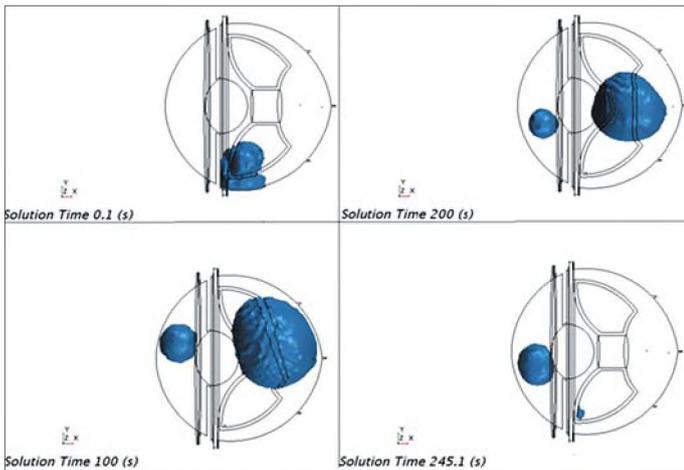


**Рис. 3.** Результаты расчета варианта 2 (объяснение в тексте)

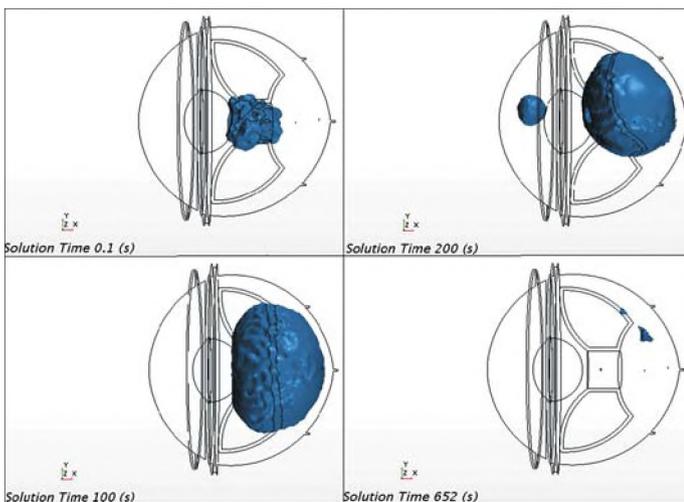
**Fig. 3.** Results of the calculation of option 2 (explanation in the text)

3) укол через плоскую часть цилиарного тела при полной ЗОСТ и введение ЛВ около места вкола (рис. 4);

4) укол через плоскую часть цилиарного тела при полной ЗОСТ и введение ЛВ ближе к центру глазного яблока (рис. 5).



**Рис. 4.** Результаты расчета варианта 3 (объяснение в тексте)  
**Fig. 4.** Results of the calculation of option 3 (explanation in the text)



**Рис. 5.** Результаты расчета варианта 4 (объяснение в тексте)  
**Fig. 5.** Results of the calculation of option 4 (explanation in the text)

**Математическая модель.** Общий вид математической постановки задачи представляет собой двухфазную (фаза внутриглазной жидкости и фаза лекарства) трехмерную математическую модель гидродинамики, описывающую перемещение и взаимодействие жидкостей. Математическая модель учитывает тензор вязких напряжений, силу тяжести, условия оттока и притока жидкости, а также температурные особенности среды.

Данный способ математического моделирования хорошо зарекомендовал себя и подробно отображен во многих работах [9–13]. Эта математическая модель имеет множество упрощений по сравнению с реальным глазом — в частности, авторам не известны точные значения плотностей и вязкостей жидкостей, находящихся в глазу (в модельной задаче соответствуют параметрам воды). Поэтому не совсем корректно оценивать соответствие полученных результатов реальной клинической практике, где процесс нахождения ЛВ в глазном яблоке исчисляется неделями.

Авторам также не известны реальные скорости поступления как ЛВ, так и внутриглазной жидкости (скорость поступления лекарства в модельной задаче равна 0,0001 кг/с, скорость поступления жидкости различна в различные моменты времени, так как зависит от фазы пульсации, поэтому варьирует от 0,00005 до 0,0002 кг/с). Отток через зону трабекулы в данной задаче приближается к модели пористого тела, в которой авторам не известна реальная вязкостная и внутренняя сопротивляемость вещества.

По описанным выше причинам данная математическая модель претендует только на качественное описание результатов, т. е. на соотношение времени нахождения вещества в задней камере глаза в различных рассматриваемых случаях. Количественные значения могут отличаться от реальных значений в несколько раз.

**Постановка задачи и граничные условия.** Учитывается давление, инициированное пульсацией кровяных сосудов на поверхности внутренней области, и задается температура тела. Для всей поверхности расчетной области, кроме притока и оттока, ставится условие непротекания. В области притока задается скорость поступления внутриглазной жидкости в расчетную область. В области оттока задается давление на выходе из расчетной области. На наружной поверхности расчетной области задается температура окружающей среды и условие непротекания.

В момент укола внутри расчетной области в точке вкола задается массовая скорость поступления ЛВ в течение всего процесса введения лекарства. После окончания процесса введения ЛВ место вкола не имеет каких-либо особенностей по отношению к остальным пространственным точкам расчетной области.

**Построение сетки.** Для моделирования внутри расчетной области строится трехмерная неравномерная шестигранная сетка, т. е. вся расчетная область разбивается на элементарные объемы, в каждом из которых на каждом шаге по времени производится численное решение системы уравнений математической модели. Количество ячеек сетки для данной задачи составляет порядка 400 000. Шаг разбиения сетки подбирался с учетом условия Куранта.

**Результаты численного моделирования и их обсуждение.** Численное моделирование вышеописанных ситуаций по разработанной нами математической модели показало, что местоположение введения ЛВ, а также наличие/отсутствие отслоения СТ оказывает значительное влияние на время нахождения ЛВ в глазу.

**Вариант 1.** Укол через плоскую часть цилиарного тела (pars plana) при нормальном расположении СТ и введение ЛВ около места вкола: к 216-й секунде почти все ЛВ выведено из полости СТ; ЛВ глубоко в полость СТ не проходит, а омывает хрусталик и быстро переходит в переднюю камеру глаза; начиная с 10-й секунды эксперимента небольшая доля ЛВ перетекает из витреальной полости глаза в переднюю камеру.

**Вариант 2.** Укол через pars plana при нормальном расположении СТ и введение ЛВ ближе к центру глазного яблока: к 293-й секунде почти все ЛВ выведено из полости СТ; ЛВ равномерно и симметрично движется по всему объему СТ; начиная с 10-й секунды эксперимента небольшая доля ЛВ перетекает из витреальной полости глаза в переднюю камеру.

**Вариант 3.** Укол через pars plana при полной ЗОСТ и введение ЛВ около места вкола: почти к 245-й секунде все ЛВ выведено из полости глазного яблока; ЛВ глубоко в полость СТ не проходит, но длительно находится в области за хрусталиком; начиная с 10-й секунды эксперимента небольшая доля ЛВ перетекает из витреальной полости в переднюю камеру глаза.

Вариант 4. Укол через pars plana при полной ЗОСТ и введение ЛВ ближе к центру глазного яблока: даже к 652-й секунде эксперимента небольшое количество ЛВ продолжает находиться в полости глаза; ЛВ равномерно и симметрично движется по всему объему СТ; ЛВ начинает попадать из витреальной полости в переднюю камеру глаза только к 170-й секунде эксперимента. Общая доля ЛВ, попавшего в переднюю камеру, в несколько раз меньше, чем в предыдущих случаях.

## ВЫВОДЫ

1. При введении ЛВ ближе к центру глазного яблока продолжительность его нахождения в СТ возрастает по сравнению с пристеночным введением ЛВ.

2. При полной ЗОСТ продолжительность нахождения ЛВ в глазу выше, чем при нормальном расположении СТ, что способствует пролонгации терапевтического эффекта ЛВ.

3. Результаты проведенного моделирования нельзя механически переносить на реальную ситуацию, связанную с ИВИ. Исследование носит пилотный характер, многие параметры для расчетов являются ориентировочными, на данном этапе не учитывался весь комплекс сложных процессов, происходящих в глазном яблоке человека при ИВИ.

## Литература/References

1. Алексеев И.Б., Белкин В.Е., Самойленко А.И. и др. Стекловидное тело. Строение, патология и методы хирургического лечения (обзор литературы). Новости глаукомы. 2015; 33 (1): 69–73. [Alexeev I.B., Belkin V.E., Samoylenko A.I., et al. The vitreous body. Structure, pathology and methods of surgical treatment (literature review). Glaucoma News. 2015; 33 (1): 69–73 (in Russian)].
2. Махачева З.А. Анатомия стекловидного тела: учебное пособие для системы послевузовского профессионального образования врачей. Москва:

Руспринт; 2006. [Makhacheva Z.A. Anatomy of the vitreous body: a textbook for the system of postgraduate professional education of doctors. Moscow: Rusprint; 2006 (in Russian)].

3. Старков Г.Л. Патология стекловидного тела. Москва: Медицина; 1967. [Starkov G.L. Pathology of the vitreous body. Moscow: Meditsina; 1967 (in Russian)].
4. Jongebloed W.L., Worst J.G.F. The cisternal anatomy of the vitreous body. Doc. Ophthalmol. Sep-Oct 1987; 67 (1–2): 183–96. doi: 10.1007/BF00142712
5. Stephen J.R., Schachar A.P., Wilkinson C.P., et al. Retina (5-th Edition). 2013; New York: Elsevier. 1: 2568.
6. Worst J.G.F. The bursa intravitrealis premacularis: new developments in ophthalmology. In: Documenta Ophthalmologica Proceeding Series. 1975: 275–9.
7. Кислицына Н.М., Новиков С.В., Колесник С.В. Анатомо-топографические особенности передних кортикальных слоев стекловидного тела. Современные технологии в офтальмологии. 2014; 1: 60–1. [Kislitsyna N.M., Novikov S.V., Kolesnik S.V. Anatomical and topographic features of the anterior cortical layers of the vitreous body. Modern technologies in ophthalmology. 2014; 1: 60–1 (in Russian)].
8. Worst J.G.F., Los L.I. Cisternal Anatomy of the Vitreous. Kugler Pub. Amsterdam, 1995.
9. Yusupaliev U., Savenkova N., Skladchikov S., et al. Vortex rings and plasma toroidal vortices in homogeneous unbounded media. ii. the study of vortex formation process. Bulletin of Lebedev Physics Institute. 2011; 38: 275–82.
10. Yusupaliev U., Savenkova N., Skladchikov S., et al. Computer simulation of vortex self-maintenance and amplification. Bulletin of Moscow University. Physics. 2013; 68 (4): 317–9.
11. Yusupaliev U., Vinke E., Yusupaliev P.U., et al. Vortex rings and plasma toroidal vortices in a homogeneous infinite medium. Bulletin of Lebedev Physics Institute. 2010; 37 (8):227–33.
12. Anpilov S.V., Bychkov V.L., Savenkova N.P., et al. Gas dynamics of gatchinsky discharge plasmoid. In: 9th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT-9). Saint-Petersburg. 2014; 1: 79–81.
13. Bychkov V.L., Anpilov S.V., Savenkova N.P. Gas dynamics modeling of a plasmoid created by the gatchina discharge. Russian Journal of Physical Chemistry. 2014; 8 (1): 50–5. <https://doi.org/10.1134/S1990793114010102>

**Вклад авторов в работу:** Д.В. Липатов — идея и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, окончательное одобрение статьи для публикации; С.А. Складчиков — идея и дизайн исследования, выполнение математического моделирования, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи к публикации; Н.П. Савенкова, Ф.И. Высикайло — идея и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, выполнение математического моделирования и его проверка, окончательное одобрение статьи для публикации; В.В. Новодерезкин — замысел и дизайн исследования, подготовка статьи к публикации.

**Благодарности.** Авторский коллектив выражает благодарность д-ру физ.-мат. наук А.А. Вороненко за техническое содействие в написании статьи.

**Authors' contribution:** D.V. Lipatov — idea and design of the study, data analysis and interpretation, final approval of the article for publication; S.A. Skladchikov — idea and design of the study, the implementation of mathematical modeling, data analysis and interpretation, the preparation of the article for publication; N.P. Savenkova, F.I. Vysikailo — idea and design of the study, data analysis and interpretation, implementation of mathematical modeling and its verification, final approval of the article for publication; V.V. Novoderezhkin — idea and design of the study, preparation of the article for publication.

**Acknowledgments:** The team of authors is grateful to Dr.of Phys.-Math. Sci. A.A. Voronenko for technical assistance in writing the article.

Поступила: 27.02.2021. Переработана: 26.04.2021. Принята к печати: 28.04.2021

Originally received: 27.02.2021. Final revision: 26.04.2021. Accepted: 28.04.2021

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Москва, 117036, Россия

**Дмитрий Валентинович Липатов** — д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением диабетической ретинопатии и офтальмохирургии МГУ им. М.В. Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 52, 119991, Москва, Россия

**Сергей Андреевич Складчиков** — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник факультета вычислительной математики и кибернетики

**Надежда Петровна Савенкова** — д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник факультета вычислительной математики и кибернетики 15-я городская клиническая больница, ул. Вешняковская, д. 23, Москва, 111539, Россия

**Владимир Владимирович Новодерезкин** — канд. мед. наук, врач-офтальмолог

МГОУ, ул. Веры Волошиной, д. 24, Мытищи, Московская область, 141014, Россия

**Филипп Иванович Высикайло** — д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики

**Для контактов:** Дмитрий Валентинович Липатов, [glas1966@rambler.ru](mailto:glas1966@rambler.ru)

National Endocrinology Research center, 11, Dmitry Ulyanov st., Moscow, 117036, Russia

**Dmitry V. Lipatov** — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of diabetic retinopathy and ophthalmic surgery

Lomonosov Moscow State University, 1, bldg. 52, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

**Sergey A. Skladchikov** — Cand. of Phys.-Math. Sci., research associate of chair of computational mathematics and cybernetics

**Nadezhda P. Savenkova** — Dr. of Phys.-Math. Sci., principal researcher of faculty of computational mathematics and cybernetics

City clinical hospital No.15, 23, Veshnyakovskaya St., Moscow, 111539, Russia

**Vladimir V. Novoderezhkin** — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist

Moscow Regional State University, 24, Vera Voloshina str., Mytishchi, Moscow region, 141014, Russia

**Philip I. Vysikailo** — Dr. of Phys.-Math. Sci., professor of chair of theoretical physics.

**Contact information:** Dmitry V. Lipatov, [glas1966@rambler.ru](mailto:glas1966@rambler.ru)