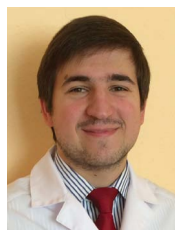


Программное обеспечение для автоматического расчета индивидуальной дозы антибиотиков при интравитреальном введении при лечении бактериального эндофтальмита на базе математического моделирования витреальной полости глазного яблока

В.Н. Казайкин¹В.О. Пономарев¹О.П. Пономарев²А.Г. Дудоров²Н.Т. Исрафилов²¹ АО «Екатеринбургский центр МНТХ «Микрохирургия глаза»
ул. Академика Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация² АО «Уральское производственное предприятие «Вектор»
ул. Гагарина, 28, Екатеринбург, 620078, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2020;17(1):63–69

Цель: математическое моделирование витреальной полости глазного яблока с анализом корреляционной зависимости объема витреальной полости от длины глазного яблока, разработка программного обеспечения для автоматического расчета индивидуальной дозы антибиотиков для интравитреального введения при лечении бактериального эндофтальмита. **Материалы и методы.** Исследование включало 3 последовательных этапа: 1-й этап — математическое моделирование витреальной полости глаза человека на 77 фантомных глазах методом наименьших квадратов на основе данных ультразвукографии (Tomey UD-8000 (Япония)), ультразвуковой биомикроскопии (VuMax Sonomed (США)); 2-й этап — исследование остаточного объема витреальной полости, свободной от силиконового масла, путем измерения объема введенного заместителя стекловидного тела у 64 артифичных пациентов, оперированных по поводу отслойки сетчатки методом витрэктомии; 3-й этап — разработка программы ЭВМ на основании данных зависимости объема витреальной полости от длины глаза, остаточного объема витреальной полости, объема передней камеры с описанием алгоритма разведения антибиотика для интравитреального введения, исходя из требуемой концентрации. **Результаты.** Витреальная полость глаза аппроксимировалась эллипсоидом. Статистический анализ показал линейную зависимость длины глазного яблока от объема витреальной полости, точность расчета объема витреальной полости не зависит от размера полости, относительная погрешность объема, рассчитанного по результатам однократного измерения координат точек поверхности полости, с вероятностью 0,866 не превышает 1 %. Средний остаточный объем витреальной полости при силиконовой тампонаде составил $332,36 \pm 0,02 \text{ мм}^3$, средний объем передней камеры — $246,36 \pm 0,06 \text{ мм}^3$. Полученные данные были экспортированы в «ядро» программы ЭВМ. **Заключение.** Разработанная оригинальная математическая модель глазного яблока позволила вычислить зависимость объема витреальной полости от длины глазного яблока и на ее основе построить градуировочные номограммы, которые дают возможность прецизионно рассчитывать индивидуальную дозу антибиотика при интравитреальном введении с обеспечением необходимой концентрации для подавления бактериальной микрофлоры и предупреждением токсического воздействия на внутренние оболочки глазного яблока.

Ключевые слова: математическое моделирование, эндофтальмит, ванкомицин

Для цитирования: Казайкин В.Н., Пономарев В.О., Пономарев О.П., Дудоров А.Г., Исрафилов Н.Т. Программное обеспечение для автоматического расчета индивидуальной дозы антибиотиков при интравитреальном введении при лечении бактериального эндофтальмита на базе математического моделирования витреальной полости глазного яблока. *Офтальмология*. 2020;17(1):63–69. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-63-69>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует

Mathematical Modeling of Eyeball Vitreous Cavity and Software Based Thereon for Automatic Calculation of Individual Doses of Antibiotics for Intravitreal Injection in Treating Bacterial Endophthalmitis

V.N. Kazaykin¹, V.O. Ponomarev¹, O.P. Ponomarev², A.G. Dudorov², H.T. Israfilov²

¹ Ekaterinburg Center "Eye Microsurgery"
Academician Bardin str., 4-A, Ekaterinburg, 620149, Russia

² JSC "Ural Manufacturing Enterprise "Vector"
Gagarin str., 28, Ekaterinburg, 620078, Russia

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2020;17(1):63–69

Purpose: Mathematical modeling of the eyeball vitreous cavity and analysis of the vitreous cavity volume vs. eyeball length correlation dependence; software for automatic calculation of individual doses of antibiotics for intravitreal injection in treating bacterial endophthalmitis. **Materials and methods:** The study included three sequential stages: 1st stage — mathematical modeling of the vitreous cavity of human eye based on data of 77 phakic eyes, by the least square method. The data were obtained by Tomey UD-8000 ultrasonography (Japan) and VuMax Sonomed ultrasound biomicroscopy (USA). 2nd stage — study of the vitreous cavity residual volume, free from silicon oil, by measuring a volume of vitreous body substitute injected to 64 pseudophakic patients who underwent a vitrectomy on account of detached retina. 3^d stage — development of a computer program based on the data of the vitreous cavity volume vs. eyeball length dependence, vitreous cavity residual volume, and anterior chamber volume, and description of an algorithm for diluting antibiotics for intravitreal injection, based on a required concentration. **Results.** Vitreous cavity of eyeball was approximated by ellipsoid. Statistical analysis has shown a linear dependence of eyeball length vs. vitreous cavity volume; vitreous cavity calculation accuracy does not depend on the cavity size, and a relative error of volume calculations that were performed from the resulting data of a single determination of the cavity surface point coordinates, with a probability of 0.866, does not exceed 1 %. Average residual volume of the vitreous cavity subjected to silicon oil tamponade was $332.36 \pm 0.02 \text{ mm}^3$, and average anterior chamber volume, $246.36 \pm 0.06 \text{ mm}^3$. The resulting data were exported to the computer program kernel. **Conclusion.** The developed original mathematical model of the eyeball made it possible to calculate a vitreous cavity volume vs. eyeball length dependence and whereby to plot calibration nomograms that allow individual doses of antibiotics for intravitreal injection to be precisely calculated, thus providing a desired concentration thereof to suppress bacterial microflora and preventing toxic effect on retinae.

Keywords: mathematical modeling, endophthalmitis, vancomycin

For citation: Kazaykin V.N., Ponomarev V.O., Ponomarev O.P., Dudorov A.G., Israfilov H.T. Mathematical Modeling of Eyeball Vitreous Cavity and Software Based Thereon for Automatic Calculation of Individual Doses of Antibiotics for Intravitreal Injection in Treating Bacterial Endophthalmitis. *Ophthalmology in Russia*. 2020;17(1):63–69. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-63-69>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned
There is no conflict of interests

ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эндофтальмит, являясь грозным осложнением хирургического вмешательства, способен привести к потере глаза как органа в короткие сроки. Современные технологии позволяют минимизировать риски, связанные с токсичностью антибиотиков и селекцией резистентных штаммов микроорганизмов, за счет персонализированного подхода и алгоритмизации лечебного процесса, тем самым улучшать анатомический и функциональный результат лечения.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Информационные технологии активно внедряются во все сферы человеческой жизнедеятельности, что является неотвратимой составляющей научно-технического прогресса. Медицина, в частности офтальмология, представляет особый интерес для алгоритмизации многих сфер лечебно-диагностического процесса в связи с анатомической доступностью, частой корреля-

ционной зависимостью анализируемых параметров, унифицированностью строения зрительной системы и глазного яблока человека в целом. Это открывает возможности математического описания и комплексного анализа экстра- и интраокулярных структур для их использования в разработке алгоритмов оптимизации лечебного процесса.

Острый бактериальный эндофтальмит как нозологическая единица, имеющая в настоящее время группу унифицированных алгоритмов лечения, заключающихся в выполнении субтотальной витрэктомии с забором содержимого витреальной полости и передней камеры на посев микрофлоры и интравитреальным введением двух антибиотиков — ванкомицина в дозе 1 мг и цефтазидима в дозе 2,25 мг [1–3], представляет особый интерес для анализа и математического описания из-за ряда существующих противоречий. Во-первых, доза антибиотиков для интравитреального введения всегда остается неизменным параметром, вне зависимости от факта

вариабельности объема витреальной полости у пациентов с разной длиной глазного яблока [4], что приводит к разной концентрации действующего вещества в точке его приложения, провоцируя риск или селекции резистентных штаммов микроорганизмов при недостаточной минимальной ингибирующей концентрации антибиотика в витреальной полости, или токсического повреждения интраокулярных структур при его избыточной концентрации. Во-вторых, в случае необходимости применения заместителя стекловидного тела на этапе лечения бактериального эндофтальмита, например при сочетании эндофтальмита с отслойкой сетчатки, не подразумевается перерасчет аликвоты антибиотика применительно к остаточному объему витреальной полости, свободной от заместителя стекловидного тела, например силиконового масла. В-третьих, изменение аликвоты разведения антибиотика для изменяющихся параметров витреальной полости автоматически влечет за собой необходимость разработки протоколов разведения действующего вещества для практикующих врачей, что минимизирует риск ятрогении при неправильном разведении лекарственного вещества.

Учитывая вышеописанное, оптимизация лечебного алгоритма бактериального эндофтальмита через введение в практику специализированного программного обеспечения, построенного на математическом моделировании глазного яблока, представляется наиболее рациональным способом улучшения качества лечебного процесса этого грозного заболевания.

Цель исследования: провести математическое моделирование витреальной полости глазного яблока с математическим анализом корреляционной зависимости объема витреальной полости от длины глазного яблока, на этой основе разработать программное обеспечение

для автоматического расчета индивидуальной дозы антибиотиков для интравитреального введения в лечении бактериального эндофтальмита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование было разделено на последовательные этапы, требующие вовлечения специалистов разного профиля и дифференцированных когорт пациентов.

Первый этап исследования заключался в математическом моделировании витреальной полости глаза человека. В группу исследования вошло 77 факичных глаз (37 мужчин, 40 женщин) с прозрачными оптическими средами, без органической патологии, которая могла бы существенно повлиять на аппроксимацию витреальной полости (стафиломы склеры, хориоидеи), без ранее перенесенных хирургических вмешательств. Возраст пациентов варьировал от 3 месяцев до 77 лет ($37,87 \pm 21,74$ года). Измерение основных показателей проводили в режиме реального времени с использованием аппарата для ультразвукографии Tomey UD-8000 (Япония). Выполняли ручное измерение глубины и объема передней камеры, толщины хрусталика, расстояния от передней и задней поверхности хрусталика до макулярной области в вертикальном и горизонтальном направлении. Серию последовательных измерений выполняли каждые 2 мм от поверхности макулярной области до точки аппроксимации (рис. 1).

Измерение среднего объема цилиарного тела проводили в режиме реального времени с помощью аппарата для ультразвуковой биомикроскопии VuMax Sonomed (США). Цилиарное тело рассматривали как объем, образованный вращением сечения вокруг своей оси. Цилиарное тело измеряли в трех положениях: область прикрепления, область выстояния в витреальную полость, угол выстояния (рис. 2).

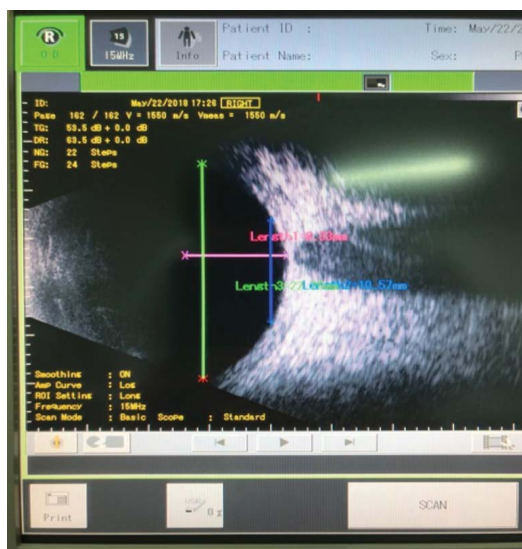


Рис. 1. Пример измерения размеров витреальной полости при использовании аппарата UD-8000

Fig. 1. Illustration to measure a vitreous cavity size by UD-8000 apparatus

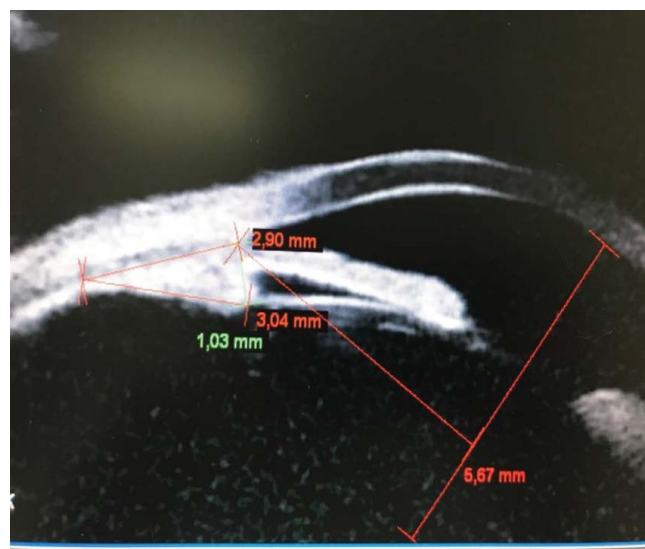


Рис. 2. Схема измерения цилиарного тела с помощью прибора VuMax Sonomed

Fig. 2. Diagram to measure a ciliary body by VuMax Sonomed instrument

Расчет объема витреальной полости и цилиарного тела осуществлялся с использованием метода наименьших квадратов по специально разработанной методике.

Второй этап исследования заключался в изучении остаточного объема витреальной полости при использовании силиконовой тампонады. В группу исследования вошли 64 пациента с артифакцией (30 мужчин, 34 женщины), длина глазного яблока которых соответствовала длине глаза из когорты пациентов, включенных в группу по математическому моделированию глазного яблока и анализа объема витреальной полости (первый этап исследования). Все пациенты были оперированы по поводу отслойки сетчатки методом витрэктомии с тампонадой силиконовым маслом на базе Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» в период с 2014 по 2017 г. Возраст пациентов варьировал от 22 до 78 лет ($44,21 \pm 22,16$). В ходе исследования остаточный объем витреальной полости определялся путем наложения объема введенного в витреальную полость силиконового масла на математическую модель витреальной полости каждого конкретного пациента. Контроль объема тампонады осуществляли с помощью градуировочной линейки, промаркированной на шприце для введения СМ, стандартизацию уровня внутриглазного давления — с помощью возвратной индукционной тонометрии. После вычитания из математически моделированного объема витреальной полости объема силиконового масла, введенного в витреальную полость, получали остаточный объем витреальной полости при силиконовой тампонаде — пространство между пузырем силиконового масла и стенкой витреальной полости, заполненное внутриглазной жидкостью.

Третий этап исследования заключался в разработке программы ЭВМ.

Перед разработкой программы ЭВМ был выполнен расчет дозы и разработана унифицированная система разведения антибиотика, ориентированная на его необходимую концентрацию в витреальной полости не менее 128 мкг/мл (концентрация АБ, которая гарантированно

подавляет патогенную микрофлору, не оказывая токсического воздействия на сетчатку) [5]. Затем выполнялась стандартизация корреляционной зависимости ПЗО (переднезадняя ось) от объема витреальной полости для ее использования после программной интеграции. На основании данных зависимости объема витреальной полости от длины глаза, а также полученного остаточного объема витреальной полости, объема передней камеры был описан алгоритм разведения антибиотика для интравитреального введения исходя из требуемой концентрации. Программное обеспечение для автоматического расчета дозы антибиотика для интравитреального введения, в зависимости от изменяющихся параметров витреальной полости, было написано под платформу Java версии 1.7.0 для операционной системы Windows. Название программного обеспечения (ПО) — “Eye Treatment”. ПО написано на двух языках — русском и английском. Технические требования ПО представлены в таблице 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Витреальная полость глаза аппроксимировалась эллипсоидом, поверхность которого наилучшим образом соответствовала поверхности реальной полости. Критерием качества аппроксимации является функция

$$F(a, b, c) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^2}{a^2} + \frac{y_i^2}{b^2} + \frac{z_i^2}{c^2} - 1 \right)^2$$

$$\text{или } F(A, B, C) = \sum_{i=1}^n (Ax_i^2 + By_i^2 + Cz_i^2 - 1)^2, \quad (1)$$

где a, b, c — полуоси эллипсоида; x_i, y_i, z_i — координаты точек поверхности витреальной полости; полученные в результате измерений; n — количество измеренных точек.

Поиск полуосей эллипсоида, наилучшим образом аппроксимирующего витреальную полость глаза, сводится к вычислению параметров A, B, C , при которых функция (1) минимальна (метод наименьших квадратов [6, 7]). Из условий минимума этой функции:

$$\frac{\partial F}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial B} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial C} = 0$$

следует система уравнений относительно неизвестных параметров A, B, C :

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^n x_i^4 + B \sum_{i=1}^n (x_i y_i)^2 + C \sum_{i=1}^n (x_i z_i)^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ A \sum_{i=1}^n (x_i y_i)^2 + B \sum_{i=1}^n y_i^4 + C \sum_{i=1}^n (y_i z_i)^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 \\ A \sum_{i=1}^n (x_i z_i)^2 + B \sum_{i=1}^n (y_i z_i)^2 + C \sum_{i=1}^n z_i^4 = \sum_{i=1}^n z_i^2 \end{cases}$$

По значениям этих параметров рассчитываются полуоси и объем эллипсоида:

$$a = \frac{1}{\sqrt{A}}, \quad b = \frac{1}{\sqrt{B}}, \quad c = \frac{1}{\sqrt{C}}, \quad V = \frac{4}{3} \pi abc.$$

Объем эллипсоида является функцией координат точек поверхности витреальной полости,

Таблица 1. Системные требования ПО “Eye Treatment”

Операционная система	Windows 64 разрядная
Платформа	ПЭВМ класса IBM PC AT с Pentium 4, 1,5 ГГц и выше
ОЗУ	Не менее 1024 Мб
Объем свободного дискового пространства на ЖМД	Не менее 2 Мб
Принтер	Да
Дополнительное программное обеспечение	Платформа Java версии 1.7.0 и выше

Table 1. System requirements for Eye Treatment software

Operating system	Windows 64 bit
Platform	IBM PC AT с Pentium 4, 1,5 GHz
Ram	1024 Mb
Free disk space on a hard disk drive	2 Mb
Printer	Yes
Additional Software	Java 1.7.0

$$V = V(x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n). \quad (2)$$

Координаты одних и тех же точек, полученные при повторных измерениях на одной витреальной полости, несколько отличаются друг от друга, флуктуируя возле средних значений, то есть

$$x_i = \bar{x}_i + \delta x_i, y_i = \bar{y}_i + \delta y_i, z_i = \bar{z}_i + \delta z_i,$$

где $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ — средние значения координат i -й точки поверхности полости; $\delta x_i, \delta y_i, \delta z_i$ — малые случайные отклонения, распределенные по нормальному (гауссову) закону.

Если в окрестности средних значений координат функцию (2) можно заменить разложением

$$V = V(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n, \bar{z}_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \bigg|_{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}} \delta x_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial y_i} \bigg|_{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}} \delta y_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial z_i} \bigg|_{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}} \delta z_i, \quad (3)$$

то после усреднения этого равенства по флуктуациям будем иметь:

$$V(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n, \bar{z}_n) = \bar{V}. \quad (4)$$

Таким образом, отклонение объема V от среднего значения $\bar{V}$:

$$\delta V = V - \bar{V}$$

является линейной комбинацией статистически независимых случайных величин с нормальным распределением, и отклонение δV также распределено по нормальному закону. Расчеты показали, что равенство (4) выполняется с хорошей точностью, распределение расчетных значений объема полости V действительно можно считать нормальным и для оценки погрешности вычисления объема использовать стандартную методику статистической обработки экспериментальных данных [7]. Статистический анализ показал, что точность расчета объема витреальной полости не зависит от размера полости, и относительная погрешность объема, рассчитанного по результатам однократного измерения координат точек поверхности полости, с вероятностью 0,866 не превышает 1%.

В то же время при статистической обработке по 19 измерениям объема одной полости относительная погрешность объема не превышала 0,4 % при доверительной вероятности 0,866, что говорит о корректности предложенного подхода.

При вычислении объема цилиарного тела он рассматривался как результат вращения сечения S вокруг оси глаза OZ (рис. 3).

В качестве примера, для повышения точности расчета окружность радиусом r_0 разбивалась на $N = 15$ секторов с углом $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$ при вершине каждого сектора. Затем, полагая, что площадь сечения цилиарного тела вдоль дуги сектора не меняется, рассчитывались объемы V_i участков тела в пределах каждого сектора. Объем цилиарного тела V_c определялся по формуле:

$$V_c = \sum_{i=1}^N V_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{Ci}, \quad (5)$$

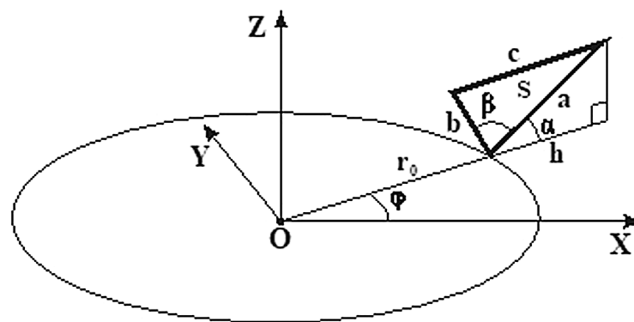


Рис. 3. Геометрическая модель цилиарного тела

Fig. 3. Geometric model of a ciliary body

где $V_{Ci} = \frac{1}{2} \pi a_i b_i \sin \beta_i \cdot (2r_{0i} + a_i \cdot \cos \alpha_i + b_i \cos(\alpha_i + \beta_i))$ (6)

— объем, образованный вращением сечения i -го сектора вокруг оси глаза;

$$\beta_i = \arccos \left(\frac{a_i^2 + b_i^2 - c_i^2}{2a_i b_i} \right), \quad \alpha_i = \arccos \left(\frac{h_i}{a_i} \right),$$

Параметры r_0, h, a, b, c считались случайными величинами с нормальным распределением. Если параметры распределены по Гауссу, тогда величины V_{Ci} как функции от них, также имеют гауссово распределение. В этом случае случайную и относительную погрешность объема цилиарного тела V_c , который, согласно выражению (5), вычисляется как средняя по выборке величина, можно оценить стандартными методами [8].

В таблице 2 представлены параметры r_0, h, a, b, c для 15 сечений цилиарного тела и величины объемов V_{Ci} , рассчитанные по формуле (6).

Расчеты показали, что объем цилиарного тела с учетом случайной погрешности, вычисленный для $N = 15$ при доверительной вероятности $\alpha = 0,866, t(\alpha; N) = 1,8$

Таблица 2. Значения параметров модели цилиарного тела

Table 2. Parameters of the model of the ciliary body

Сечение / Section	r_0 , мм	h , мм	a , мм	b , мм	c , мм	V_{Ci} , мм ³
1	6,42	2,24	3,28	1,04	2,84	66,24
2	6,00	2,82	3,68	1,08	2,79	46,59
3	6,54	2,51	3,27	0,99	2,94	69,14
4	6,31	2,30	3,37	0,85	2,86	48,98
5	6,21	2,42	3,44	1,08	2,69	55,04
6	6,29	2,69	3,48	0,99	2,90	60,88
7	5,92	2,57	3,54	1,14	2,61	46,14
8	6,27	2,51	3,37	0,85	3,02	57,37
9	6,17	2,46	3,48	1,03	2,88	60,91
10	6,58	2,34	3,27	0,95	3,00	67,30
11	6,52	2,26	3,40	1,06	2,82	64,77
12	6,27	2,48	3,27	0,89	2,96	59,89
13	6,52	2,55	3,40	1,04	2,88	68,02
14	6,27	2,59	3,52	0,93	2,90	52,61
15	6,36	2,57	3,37	0,95	2,88	60,24

и $\epsilon(\alpha) = 1,5$, равен $VC = 58 \pm 5 \text{ мм}^3$, и относительная погрешность расчета объема составляет $\delta = 9\%$.

На основании статистической обработки полученных данных были сформированы корреляционные таблицы для расчета объема витреальной полости в зависимости от длины глазного яблока, которые приняли следующий вид:

1. ПЗО = $16,0 - 16,5 - V(\text{полости}) = 1700 \text{ мм}^3$
2. ПЗО = $16,5 - 17,5 - V(\text{полости}) = 1900 \text{ мм}^3$
3. ПЗО = $17,5 - 18,5 - V(\text{полости}) = 2000 \text{ мм}^3$
4. ПЗО = $18,5 - 19,5 - V(\text{полости}) = 2200 \text{ мм}^3$
5. ПЗО = $19,5 - 20,5 - V(\text{полости}) = 2300 \text{ мм}^3$
6. ПЗО = $20,5 - 21,5 - V(\text{полости}) = 2500 \text{ мм}^3$
7. ПЗО = $21,5 - 22,0 - V(\text{полости}) = 2600 \text{ мм}^3$
8. ПЗО = $22,0 - 22,5 - V(\text{полости}) = 3200 \text{ мм}^3$
9. ПЗО = $22,5 - 23,5 - V(\text{полости}) = 3500 \text{ мм}^3$
10. ПЗО = $23,5 - 24,5 - V(\text{полости}) = 4500 \text{ мм}^3$
11. ПЗО = $24,5 - 25,0 - V(\text{полости}) = 4800 \text{ мм}^3$

12. ПЗО = $25,0 - 25,5 - V(\text{полости}) = 5500 \text{ мм}^3$
13. ПЗО = $25,5 - 26,5 - V(\text{полости}) = 5800 \text{ мм}^3$
14. ПЗО = $26,5 - 27,0 - V(\text{полости}) = 6500 \text{ мм}^3$
15. ПЗО = $27,0 - 27,5 - V(\text{полости}) = 6700 \text{ мм}^3$
16. ПЗО = $27,5 - 28,5 - V(\text{полости}) = 7000 \text{ мм}^3$
17. ПЗО = $28,5 - 29,5 - V(\text{полости}) = 7300 \text{ мм}^3$
18. ПЗО = $29,5 - 30,5 - V(\text{полости}) = 7700 \text{ мм}^3$
19. ПЗО = $30,5 - 31,5 - V(\text{полости}) = 8000 \text{ мм}^3$
20. ПЗО = $31,5 - 32,5 - V(\text{полости}) = 8400 \text{ мм}^3$

В результате проведенных математических вычислений средний остаточный объем витреальной полости при силиконовой тампонаде составил $332,36 \pm 0,02 \text{ мм}^3$, средний объем передней камеры — $246,36 \pm 0,06 \text{ мм}^3$. Полученные данные были экспортированы в «ядро» программы ЭВМ.

Программа ЭВМ представляет собой аналоговое окно, в котором осуществляется введение информации о пациенте, вводятся данные о враче, информация о планировании силиконовой тампонады в конце операции (рис. 4).

В случае выбора тампонады силиконовым маслом (СМ) в качестве завершающего этапа операции ПЗО глаза и объем витреальной полости перестают иметь значение и программа выдает расчетную дозу антибиотика и методику его разведения исходя только из остаточного объема витреальной полости и передней камеры (за вычетом объема пузыря СМ).

В случае планирования операции без использования тампонады СМ или при неопределенности с ответом на этот вопрос, выставляется «клик» — «нет» или «неизвестно» в соответствующем подокне. После этого программа просит ввести длину глазного яблока в диапазоне от 16 до 32 мм и после выполнения этого этапа производит автоматический расчет дозы АБ, которая коррелирует с объемом витреальной полости при данной длине глазного яблока (рис. 5).

На завершающем этапе выполняются распечатка полученных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная оригинальная математическая модель глазного яблока позволила вычислить зависимость объема витреальной полости от длины глазного яблока и на ее основе построить градуировочные номограммы, позволяющие прецизионно рассчитывать индивидуальную дозу антибиотиков для интравитреального введения, обеспечивая их необходимую концентрацию

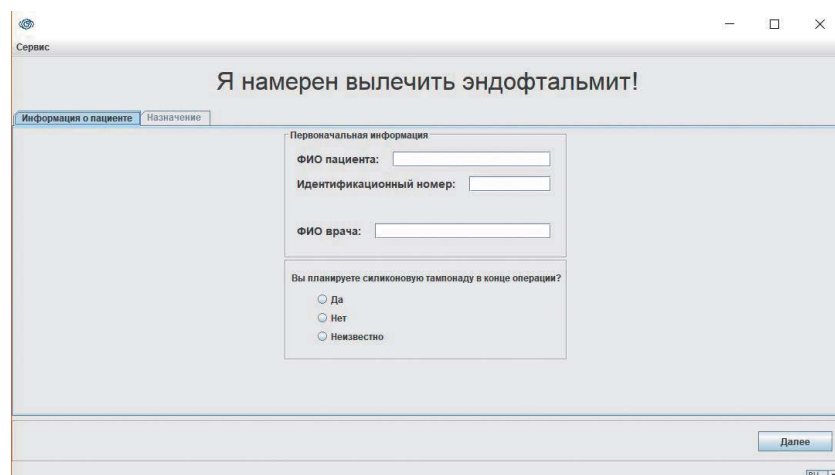


Рис. 4. Внешний вид первого аналогового окна ПО "Eye Treatment"

Fig. 4. Appearance of the first analog window of Eye Treatment software

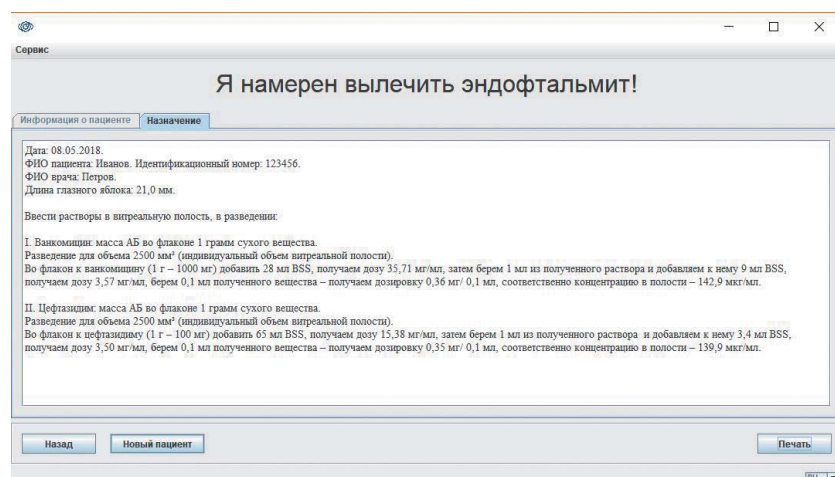


Рис. 5. Внешний вид аналогового окна ПО "Eye Treatment", этап введения длины глазного яблока, равной 21 мм, и пример расчета дозы и метода разведения

Fig. 5. Appearance of Eye Treatment software analog window, the stage of inputting an eyeball length of 21 mm and illustration of dose calculation and dilution method

для подавления бактериальной микрофлоры и предупреждения токсического воздействия на внутренние оболочки глазного яблока. Реализация подобных расчетов через программу ЭВМ является безопасным, надежным, легко воспроизводимым помощником хирурга для эффективного лечения бактериального эндофтальмита.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Казайкин В.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование;
Пономарев В.О. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста;
Пономарев О.П. — сбор и обработка материала, редактирование;
Исрафилов К.Т. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных;
Дудоров А.Г. — статистическая обработка данных, написание текста.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Barry P, Cordoves L., Gardner S. ESCRS Guidelines for Prevention and Treatment of Endophthalmitis Following Cataract Surgery. Co Dublin: Temple House, Temple Road, Blackrock, 2013. P. 21–22.
- Абдхиш Р. Бхавсар. Витреоретинальная хирургия. М.: Логосфера, 2013. 259 с. [Abdhis R. Bhavsar. Vitreoretinal Surgery. Moscow: Logosfera, 2013. 259 p. (In Russ.).]
- Малюгин Б.Э., Шпак А.А., Морозова Т.А. Фармакологическое сопровождение современной хирургии катаракты. М.: Офтальмология, 2010. 15 с. [Maljugin B.E., Shpak A.A., Morozova T.A. Pharmacological support of modern cataract surgery. Moscow: Oftal'mologija, 2010. 15 p. (In Russ.).]
- Tanaka H., Nitoh K., Atsuhiko A., Shimada Y., Kuze M., Nakamura A., Horiguchi M. Measurement of Volume of Vitreous Space During Vitrectomy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* April 2009;50:3169.
- Казайкин В.Н., Пономарев В.О. Патент RU 2610408, 09.02.17. Способ лечения острых бактериальных послеоперационных эндофтальмитов. [Kazajkin V.N., Ponomarev V.O. RU 2610408, 09.02.17. A method for the treatment of acute bacterial postoperative endophthalmitis (In Russ.).] <http://www.findpatent.ru/patent/261/2610408.html>
- Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. М.: Мир, 1975. 312 с. [Brandt Z. Statistical methods for the analysis of observations. Moscow: Mir, 1975. 312 p. (In Russ.).]
- Яворский В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных. М.: Изд-во МФТИ, 2011. 45 с. [Javorskij V.A. Planning a scientific experiment and processing experimental data. Moscow: Izd-vo MFTI, 2011. 45 p. (In Russ.).]
- Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Л.: Наука, 1985. 112 с. [Zajdel' A.N. Errors of physical quantities. Leningrad: Nauka, 1985. 112 p. (In Russ.).]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Екатеринбургский центр «МНТК «Микрохирургия глаза»
Казайкин Виктор Николаевич
доктор медицинских наук, врач-офтальмохирург, заведующий витреоретинальным отделением
ул. Академика Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

Екатеринбургский центр «МНТК «Микрохирургия глаза»
Пономарев Вячеслав Олегович
врач-офтальмохирург, заведующий диагностическим отделением
ул. Академика Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

Уральское производственное предприятие «Вектор»
Пономарев Олег Павлович
доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по НТР — главный конструктор
ул. Гагарина, 28, Екатеринбург, 620078, Российская Федерация

Уральское производственное предприятие «Вектор»
Дудоров Андрей Геннадиевич
кандидат физико-математических наук, ведущий инженер-конструктор
ул. Гагарина, 28, Екатеринбург, 620078, Российская Федерация

Уральское производственное предприятие «Вектор»
Исрафилов Константин Тельманович
инженер-программист
ул. Гагарина, 28, Екатеринбург, 620078, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Ekaterinburg Center "Eye Microsurgery"
Kazaykin Viktor N.
MD, eye surgeon, Head of Vitreoretinal Department
Academician Bardin str., 4-A, Ekaterinburg, 620149, Russia

Ekaterinburg Center "Eye Microsurgery"
Ponomarev Vyacheslav O.
ophthalmosurgeon, Head of Diagnostic Department
Academician Bardin str., 4-A, Ekaterinburg, 620149, Russia

Ural Manufacturing Enterprise "Vector"
Ponomarev Oleg P.
D.Sc.Eng., professor Deputy Director
Gagarin str., 28, Ekaterinburg, 620078, Russia

Ural Manufacturing Enterprise "Vector"
Dudorov Andrey G.
Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Principal design engineer
Gagarin str., 28, Ekaterinburg, 620078, Russia

Ural Manufacturing Enterprise "Vector"
Israfilov Konstantin T.
software engineer
Gagarin str., 28, Ekaterinburg, 620078, Russia