

DOI 10.29254/2077-4214-2017-4-3-141-224-230

УДК: 617.735-007.281-092-079-085

<sup>1</sup>Сергиенко А. Н., <sup>2</sup>Ткачук К. К., <sup>1</sup>Сергиенко В. В.**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМУЛЬГАЦИИ СИЛИКОНОВОГО МАСЛА  
ПРИ ЗАДНЕЙ ТАМПОНАДЕ СЕТЧАТКИ**<sup>1</sup>Медицинский центр «Офтальмологическая клиника  
профессора Сергиенко» (г. Винница)<sup>2</sup>Национальный технический университет  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Институт энергосбережения и энергоменеджмента (г. Киев)

vsiriachenko@ukr.net

Работа была выполнена в рамках НИР кафедры офтальмологии НМАПО имени П.Л. Шупика: «Диагностика и лечение нарушений оптической системы глаза» (№ государственной регистрации 0110U002363, даты выполнения 2010-2014 года), «Диагностика и лечение нарушений оптической системы, сосудистых и дистрофических изменений органа зрения» (№ государственной регистрации 0115U002167, даты выполнения 2015 год) и «Клиническое и экспериментальное обоснование диагностики, лечения и профилактики рефракционных, дистрофических, травматических и воспалительных заболеваний органа зрения» (№ государственной регистрации 0116U002821, даты выполнения 2016-2020 года).

**Вступление.** Совершенствование применяемых в медицине полимеров невозможно без исследования клинического опыта их применения и учета недостатков их структуры. В офтальмологии силиконовые масла (СМ) используются более 50 лет, но исследования, связанные с изучением их свойств и уменьшением нежелательных эффектов, продолжаются [1].

Большинство осложнений, вызванных применением силиконового масла, связано с его эмульгацией. Распространенным способом уменьшения эмульгации является использование более вязких масел. Было отмечено, что силиконовые масла с вязкостью 5000 сСт эмульгируют медленнее, чем масла с вязкостью 1000 сСт [4].

Увеличение вязкости отрицательно сказывается на надежности тампонады и увеличивает время операции при использовании в хирургии малых калибров. Масла с высокой вязкостью, обладая большей устойчивостью к диспергации, хуже повторяют контур сетчатки, особенно на глазах с высокой близорукостью и деформациями склеральной капсулы.

Создание силиконовых масел, отвечающих требованиям современной витреоретинальной хирургии идет по пути образования блэндных соединений полидиметилсилоксана различной длины и плотности для образования комбинаций с различными тампонирующими свойствами.

Осложнениями, патогенетически связанными с эмульгацией силикона являются офтальмогипертензия и пролиферативная витреоретинопатия [9].

Сложность патогенеза витреоретинальных процессов при взаимодействии с силиконовым маслом, часто, не позволяет индивидуально прогнозировать вероятность их возникновения. Моделирование эмульгации силикона может дать ключ к пониманию процессов, которые до этого были слабо предсказуемы.

**Цель исследования** – изучить изменения физико-химических свойств силиконового масла во время тампонады по поводу регматогенной отслойки сетчатки и их влияние на частоту послеоперационных осложнений.

**Объект и методы исследования.** Для воспроизведения модели взаимодействия силиконового масла и внутриглазных жидкостей, нами использовались эмульсии СМ-BSS (сбалансированный солевой раствор фирмы Baush&Lomb, Великобритания) разных концентраций (10,0%; 20,0%; 33,3%; 50%; 66,7% СМ). Для тампонады применялось силиконовое масло Oxane (Baush+Lomb, Великобритания) с вязкостью 1300 сСт.

Для интеграции результатов моделирования с клинической практикой использовались данные 23 пациентов, которые были прооперированы по поводу регматогенной отслойки сетчатки с использованием силиконового масла Oxane с вязкостью 1300сСт и показатели физико-химических свойств этого силиконового масла, извлеченного у этих же пациентов после завершения тампонады.

В качестве основных физико-химических показателей, характеризующих состояние модельной системы, были выбраны плотность и вязкость системы.

Предлагаемая, в качестве физико-химической модели, бинарная система силиконовое масло-иригационный сбалансированный солевой раствор (СМ-BSS), является типичным представителем прямой эмульсии типа «масло в воде» и предназначена для имитации *in vitro* изменений, происходящих в физико-химическом состоянии тампонирующего агента – силиконового масла в витреальной полости глаза пациента при длительной тампонаде в контакте с внутриглазной жидкостью.

Плотность модельных систем определялась пикнометрическим методом с учетом поправки на потерю веса тел в воздухе (0,00129 г/см<sup>3</sup>). Относи-

Таблиця 1.

**Плотность ( $d_{20}$ , 20°C, г/см<sup>3</sup>) модельной системы силиконовое масло-сбалансированный солевой раствор (CM-BSS)**

№ п/п	Состав системы, объемная доля BSS	Экспериментальные величины плотности, $d_{20}$ , 20°C, г/см <sup>3</sup>	Расчетные величины плотности, $d_{20}$ , 20°C, г/см <sup>3</sup>	Литературные данные
1.	1.00	1.0593	1.0586	1.060** 1.0566**
2.	0.80	1.0427	1.0412	–
3.	0.707	1.0295	1.0296	–
4.	0.667	1.0298	1.0296	–
5.	0.50	1.0128	1.0151	–
6.	0.40	1.0049	1.0065	–
7.	0.286	0.9959	0.9966	–
8.	0.00	0.974**	0.9717	0.970* 0.9740 0.9710

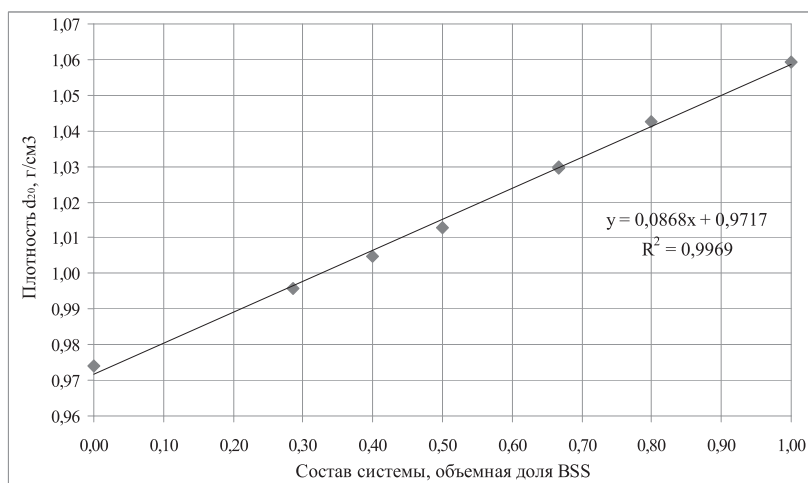
тельную вязкость модельных систем определяли методом вискозиметрии с использованием капиллярного вискозиметра Оствальда. Исследования проводились при температуре 20,00±0,05°C.

Расчеты и подбор адекватных математических моделей для описания полученных экспериментальных зависимостей выполнялись с помощью специально разработанного программного комплекса «DOXYMOD.exe» (Console Application), созданного на языке программирования C++ в среде Microsoft Visual Studio 2008 с использованием математической библиотеки ALGLIB. Построение графиков и промежуточные расчеты выполнялись с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel.

Направление связи между изучаемыми величинами определялось наличием прямого или обратного соотношения значений переменных. Если возрастанию значений одной переменной соответствовало возрастание значений другой переменной, то взаимосвязь принимали как прямую (или положительную). Если же возрастанию значений одной переменной соответствовало убывание значений другой переменной, то взаимосвязь принимали – обратную (или отрицательную). При проведении инструментальных исследований проводили статистическую обработку результатов. Определяли среднее значение показателя, стандартное отклонение, значимость полученных результатов с использованием критерия Стьюдента, считая результат значимым при уровне значимости  $\alpha < 0,05$  (доверительная вероятность  $p > 0,95$ ).

**Результаты исследования и их обсуждение.**

Результаты плотности системы CM-BSS при температуре 20°C представлены в **таблице 1**. На **рисунке**



**Рис. 1. Зависимость плотности модельной системы ( $d_{20}$ , 20°C, г/см<sup>3</sup>) CM-BSS от состава системы;  $R^2$  – коэффициент детерминации.**

**1** представлена зависимость  $d_{20} = f(x)$ . Как видно из **рисунка 1**, данная зависимость является линейной, то есть с хорошей точностью может быть описана полиномом 1-й степени.

С помощью программного комплекса «DOXYMOD.EXE» разработана математическая модель изменения плотности системы CM-BSS с изменением ее состава, количественно установлена теснота и значимость связи между зависимым признаком (плотностью) и факторным признаком (состав системы), описанная уравнением (1).

Математическая модель (Model parameters):

$$d(x) = 0.0868x + 0.9717, \quad (1)$$

где  $x$  – объемная доля BSS;

коэффициент детерминации (coefficient of determination)  $R^2 = 0.9969$  – показывает, что факторный признак (состав системы) определяет 99.7% дисперсии зависимого признака (плотности);

RMS Error  $\sigma = 0.001431$ ;

Average relative error  $\delta = 0.001164$ ;

коэффициент корреляции (correlation coefficients)  $r = 0.9984$ .

Проверка значимости полученного для модели коэффициента корреляции с помощью критерия Стьюдента (критерий Стьюдента равен 43.589).

Таким образом, остаточная дисперсия составляет 0.3%, что указывает на высокую точность подбора модели (уравнения регрессии).

Расчитанные по модельному уравнению 1 величины плотности бинарной системы CM-BSS представлены в **таблице 2**.

Исходя из монотонности зависимости плотности модельной системы CM-BSS от ее состава сделан вывод, что при смешивании изучаемых компонентов (CM и BSS) не происходит химического взаимодействия, а также нет существенного изменения межмолекулярных взаимодействий. Это также подтверждается линейностью за-

Таблица 2.  
**Рассчитанные по модельному (аппроксимационному) уравнению (1) величины плотности ( $d_{20}$ , 20 °C, г/см<sup>3</sup>) системы CM–BSS**

№ п/п	Состав системы, объемная доля BSS	Модельные величины плотности, $d_{20}, 20^{\circ}\text{C}, \text{г/см}^3$
1.	0.00	0.9717
2.	0.10	0.9804
3.	0.20	0.9891
4.	0.30	0.9978
5.	0.40	1.0065
6.	0.50	1.0151
7.	0.60	1.0238
8.	0.70	1.0325
9.	0.80	1.0412
10.	0.90	1.0499
11.	1.00	1.0586

висимости  $d = f(x)$  и доказанной аддитивностью величин плотности модельной системы.

В зависимости от плотности масляной фазы силиконового масла в аспирированных пробах, пациенты были разделены на 4 группы:

1 группа – плотность масляной фазы (м.ф.) меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла ( $d_{20} = 0.9700\text{--}0.9799 \text{ г/см}^3$ );

2 группа – плотность м.ф. меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла ( $d_{20} = 0.9800\text{--}0.9981 \text{ г/см}^3$ );

3 группа – плотность м.ф. практически равна плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 0.9982\text{--}1.0049 \text{ г/см}^3$ );

4 группа – плотность м.ф. выше плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 1.0050\text{--}1.0100 \text{ г/см}^3$ ).

В **таблице 3** представлены осложнения, выявленные у пациентов с различной плотностью силиконового масла в аспирированных пробах.

Для интерпретации полученных результатов физико-химического и математического моделирования поведения тампонирующего агента – силиконового масла в витриальной полости глаза пациента при длительной его тампонаде предложена методика степени риска послеоперационных осложнений, обусловленных фактором эмульсификации силиконового масла.

Степень эмульсификации тампонирующего агента – силиконового масла, находящегося в витриальной полости глаз пациентов в длительном контакте с интраокулярной жидкостью и ее метаболическими составляющими, определяли с помощью последовательного двухстадийного приме-

нения специально разработанного программного комплекса «DOXYMOD.EXE».

Данная методика состоит в следующем:

1. На график зависимости кинематической вязкости модельной системы CM-BSS от ее плотности (в области, приближенной к 100%-му CM) наносим экспериментальные значения плотности и вязкости масляных фаз (м.ф.) проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов;

2. Далее по величинам кинематической вязкости (или значениям  $\lg v_{20}$ ) масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов (**табл. 3**), с помощью программного комплекса «DOXYMOD.exe» (обратная задача) находим соответствующие им плотности модельной системы CM-BSS;

3. По найденным величинам так называемой «условной» плотности (величинам плотности, соответствующим плотности модельной системы CM-BSS) с помощью повторного применения программного комплекса «DOXYMOD.exe» (обратная задача) находим состав модельной системы CM-BSS и, как следствие, степень эмульсификации силиконового масла, аспирированного из витреальной полости глаз пациентов (**табл. 4**).

4. Исходя из данных о степени эмульсификации CM в витреальной полости глаз пациентов при длительной его тампонаде, делаем выводы о степени эмульсификации силиконового масла по каждой из выделенных нами групп пациентов.

В первой группе пациентов степень эмульсификации силиконового масла незначительна (до 1%). Риск послеоперационных осложнений, обусловленный фактором его эмульсификации, невелик.

Во второй группе пациентов силиконовое масло после тампонады эмульсифицировано (степень эмульсификации составляет 3-8%). Следовательно, есть риск послеоперационных осложнений, обусловленный фактором эмульсификации силиконового масла.

В третьей группе пациентов силиконовое масло после тампонады достаточно сильно эмульсифицировано (степень эмульсификации составляет от 10-

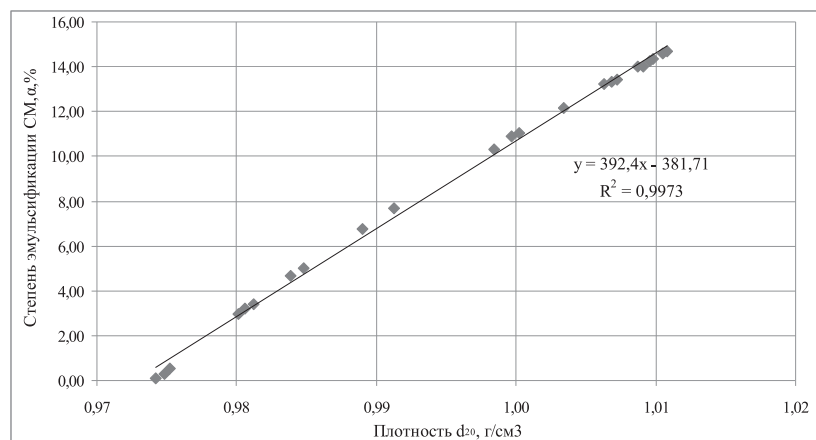


Рис. 2. Зависимость степени эмульсификации  $\alpha$  CM, находящегося в витреальной полости глаз пациентов, от плотности ( $d_{20}$ , г/см<sup>3</sup>) масляных фаз аспирированных проб.

12%), что обуславливает достаточно высокий риск послеоперационных осложнений.

В четвертой группе пациентов силиконовое масло после тампонады очень сильно эмульсифицировано. Степень эмульсификации в данной группе составила 13-15%. Послеоперационные осложнения у пациентов данной группы наблюдались во всех случаях.

Основываясь на полученных экспериментальных данных плотности и вязкости модельной системы CM-BSS, а также плотности и вязкости масляных фаз, аспирированных из витреальной полости глаза проб пациентов, и проведенных математических расчетах для прогнозирования физико-химических параметров тампонирующего агента – силиконового масла после его длительной тампонады, пред-

лагается **денсиметрическая математическая модель**, состоящую из 2-х взаимосвязанных уравнений:

$$I_{g_{v_{20}}}(d_{20}) = -10.158d_{20} + 13.008 \quad (2)$$

$$\alpha(d_{20}) = 392.4d_{20} - 381.71 \quad (3)$$

позволяющая по значениям плотности масляной фазы, аспирированной пробы пациента (легко и достаточно точно определяемый параметр) рассчитать (рис. 2) степень эмульсификации силиконового масла  $\alpha$  (рис. 2) после длительного пребывания в витреальной полости глаза пациента, даже при отсутствии достаточного количества аспирированного материала для анализа.

Предложенная денсиметрическая математическая модель на изучаемом участке значений плотности и вязкости системы описываются линейными зависимостями, представленными на рисунке 2.

**Таблица 3.**

**Плотность ( $d_{20}$ , 20°C, г/см<sup>3</sup>) масляных фаз (м.ф.) проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов**

№	Шифр пробы	Экспериментальные величины плотности проб пациентов (м.ф.), $d_{20}$ , 20°C, г/см <sup>3</sup>	Артифакция	Наличие рецидива отслоения сетчатки, повышения ВГД
Первая группа пациентов – плотность м. ф. аспирированной пробы меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла ( $d_{20} = 0.9700-0.9799$ г/см <sup>3</sup> )				
24	6/2	0.9742	-	-
1	1/3	0.9748	+	-
22	2/2	0.9752	-	-
Вторая группа пациентов – плотность м. ф. аспирированной пробы меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла ( $d_{20} = 0.9800-0.9981$ г/см <sup>3</sup> )				
17	10/1	0.9801'	-	-
7	7/3	0.9806	+	Рецидив
6	6/3	0.9812'	-	-
13	5/1	0.9839	+	-
9	1/1	0.9848	-	Рецидив, ВГД
26	4/2	0.9890	-	-
20	4/1	0.9913	-	-
Третья группа пациентов – плотность м. ф. аспирированной пробы практически равна плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 0.9982-1.0049$ г/см <sup>3</sup> )				
25	5/2	0.9984	-	-
19	11/1	0.9997'	+	ВГД
5	5/3	1.0002	+	Рецидив, ВГД
15	8/1	1.0034	+	ВГД
Четвертая группа пациентов – плотность м. ф. аспирированной пробы выше плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 1.0050-1.0100$ г/см <sup>3</sup> )				
21	1/2	1.0063'	-	ВГД
4	4/3	1.0068	-	ВГД
23	3/2	1.0072	-	Рецидив
11	2/1	1.0087'	+	ВГД
3	3/3	1.0091	-	ВГД
2	2/3	1.0096	+	Рецидив; ВГД
16	9/1	1.0098	-	ВГД
14	6/1	1.0105	+	Рецидив
18	7/1	1.0108'	+	Рецидив

На эмульгацию силиконового масла при задней тампонаде сетчатки оказывает влияние много факторов. В экспериментальных исследованиях *in vitro* было замечено, что эмульгация зависит от размеров и формы глаза, и соотношения внутриглазная жидкость-силиконовое масло при задней тампонаде. Провоцирующим фактором, приводящим к эмульгации, является движения глаза, вызывающее сотрясение и деформацию молекул силиконового масла [4]. Устойчивость к эмульгации зависит от эластических свойств масла, проявляющихся в способности, восстанавливать форму после сжатия.

В проведенных исследованиях склонности к эмульгации силиконовых масел разных фирм, вязкости и удельного веса было отмечено, что меньше всего эмульгируют масла к которым добавляются длинные молекулярные цепи [3]. Во время тампонады в клинике на силиконовое масло воздействуют как внутренние, так и наружные сурфактанты. К внутренним сурфактантам относятся биологические вещества, выделяющиеся в месте воспаления или кровоизлияния. Наружные сурфактанты образуются при производстве самого силиконового масла.



Таблица 4.

**Степень эмульсификации силиконового масла (м.ф.), аспирированного из витреальной полости глаз пациентов после длительной тампонады**

В исследовании загрязняющие вещества вошли в хирургический процесс, как стерилизационные моющие средства и химические вещества, присутствующие в хирургических тьюбах [6,7].

Вязкость и молекулярный вес – два важных физических фактора, влияющих на скорость эмульсификации [8,12].

Crisp A., E. de Juan, J. Trederman установили, что силиконовые масла с меньшей вязкостью эмульгируют быстрее, чем силиконовые масла с большей вязкостью [5].

Наше исследование выявило сектор кривой плотность/вязкость, при попадании в который увеличивается уровень эмульсации и связанные с ней осложнения.

В использованной нами модели эмульгатором являлись соли, входящие в состав BSS. В отличие от других видов эмульгаторов (сыворотка, плазма и другие) BSS является стандартизированным раствором и может применяться для построения стандартизированных моделей эмульсации с другими маслами [2,3].

Следует также отметить, что преимуществом примененной модели является возможность определения в клинике степени эмульсации силикона и связанного с этим индивидуального прогнозирования возникновения осложнений. Кроме того, установлено диапазон изменений плотности, при котором резко возрастает риск эмульсации. Вероятным является построение моделей масел с другими заданными свойствами для прогнозирования опасных изменений в составе масел.

**Выводы.** Наши исследования продемонстрировали, что при физико-химическом моделировании бинарной системы CM-BSS выявлено линейную зависимость между плотностью модельной системы и объемной долей сбалансированного солевого раствора.

Денсиметрическая математическая модель, состоящая из двух взаимосвязанных уравнений, позволяет на интервале значений плотности, аспирированного из глаз пациентов силиконового масла, предсказать изменения вязкости и степень эмульсификации силиконового масла после длительного контакта с биологической интраокулярной жидкостью.

При эмульсификации силиконового масла от 12 до 15% риск послеоперационных осложнений, таких как офтальмогипертензия, развитие пролиферативной витреоретинопатии, составляет 100%.

**Перспективы дальнейших исследований.** Проведенный анализ литературы свидетельствует о том, что моделирование эмульсации силиконового масла при задней тампонаде сетчатки является актуальной задачей офтальмологии, и это объясняет стремление офтальмологов к усовершенствованию

известных и разработке новых силиконовых масел для проведения тампонады по поводу регматогенной отслойки сетчатки с целью профилактики развития послеоперационных осложнений. Поэтому актуальным и своевременным представляется провести углубленное изучение изменений физико-химических свойств силиконового масла во время тампонады по поводу регматогенной отслойки сетчатки и их влияние на частоту послеоперационных осложнений, а также научно обосновать качественно новую модель организации высокоспециализированной офтальмологической помощи таким пациентам.

№	Шифр пробы	$1 g v_{20}$	Плотность м.ф. проб пациентов, $d_{20}, 20^{\circ}C, г/см^3$	Степень эмульсификации силиконового масла, $\alpha, \%$
Первая группа пациентов – плотность м.ф. аспирированной пробы меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла ( $d_{20} = 0.9700-0.9799 г/см^3$ )				
24	6/2	3.1119	0.9742	0.10
1	1/3	3.1058	0.9748	0.31
22	2/2	3.1017	0.9752	0.54
Вторая группа пациентов – плотность м.ф. аспирированной пробы меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла ( $d_{20} = 0.9800-0.9981 г/см^3$ )				
17	10/1	3.0519	0.9801*	2.96
7	7/3	3.0468	0.9806	3.19
6	6/3	3.0407	0.9812*	3.42
13	5/1	3.0133	0.9839	4.68
9	1/1	3.0041	0.9848	5.03
26	4/2	2.9615	0.9890	6.76
20	4/1	2.9381	0.9913	7.68
Третья группа пациентов – плотность м.ф. аспирированной пробы практически равна плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 0.9982-1.0049 г/см^3$ )				
25	5/2	2.8659	0.9984	10.33
19	11/1	2.8527	0.9997*	10.90
5	5/3	2.8476	1.0002	11.02
15	8/1	2.8151	1.0034	12.17
Четвертая группа пациентов – плотность м.ф. аспирированной пробы выше плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 1.0050-1.0100 г/см^3$ )				
21	1/2	2.7857	1.0063*	13.21
4	4/3	2.7806	1.0068	13.32
23	3/2	2.7765	1.0072	13.43
11	2/1	2.7613	1.0087*	14.01
3	3/3	2.7585	1.0091	14.01
2	2/3	2.7521	1.0096	14.25
16	9/1	2.7501	1.0098	14.36
14	6/1	2.7430	1.0105	14.59
18	7/1	2.7399	1.0108*	14.71

### Литература

1. Volkov V.V. Ophthalmochirurgia s ispolzovaniem polimerov / V.V. Volkov, V.V. Brzheskiy, N.A. Ushakof. – Sankt-Peterburg, «Hippocrat», 2003. – 416 s.
2. Ruban A.N. Emulsificacii rastvorov sivorotochnogo albumina cheloveka i gialuronovoy kisloti v polidimetilsiloxane PMS-1000 / A.N. Ruban [i dr.] // Biotechnologia Acta. – 2014. – Vol. 7 (2). – S. 70-78.
3. Caramoy A. In vitro emulsification assessment of new silicone oils / A. Caramoy, S. Shroder, S. Fauser [et al.] // British Journal of Ophthalmology. – 2010. – Vol. 94 (4). – P. 509-512.
4. Chang Y.K. Emulsification of silicone oil and eye movements / Y.K. Chang, C.O. Ng, P.S. Knox // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2011. – Vol. 52. – P. 9721-9727.
5. Crisp A. Effect of silicone oil viscosity on emulsification / A. Crisp, E de Juan, J. Trederman // Arch. Ophthalmol. – 1987. – Vol. 105 (4). – P. 546-550.
6. Dresch J.H. Preparation and processing of vitreoretinal instrumentation and equipment as a risk factor for silicone oil emulsification / J.H. Dresch, D.H. Menz // Retina. – 2004. – Vol. 24 (1). – P. 110-115.
7. Dresch J.H. Interaction of different ocular endotamponades as a risk factor for silicone oil emulsification / J.H. Dresch, D.H. Menz // Retina. – 2005. – Vol. 25. – P. 902-910.
8. Heidenkummer H.P. Emulsification of silicone oils with specific physicochemical characteristics / H.P. Heidenkummer, A. Kampik, S. Thierfelder // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 1991. – Vol. 229 (1). – P. 88-94.
9. Komman H.L. Glaucoma after vitreoretinal surgeries / H.L. Komman, S.J. Gedde // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 27 (2). – P. 125-131.
10. Shwartz S.G. Tamponade in surgery for retinal detachment associated with proliferative vitreoretinopathy / S.G. Shwartz, H.W. Flynn, W.H. Lee, X. Wang // Cochrane Database Syst.Rev. – 2014. – Vol. 14 (2). – P. 104-108.
11. Toklu Y. Time course of silicone oil emulsification / Y. Toklu, B. Hasan, Cakmak, B. Sule, Ergun [et al.] // Retina. – 2012. – Vol. 32. – P. 2039-2044.
12. Tomlins P.J. Nuclear magnetic resonance analysis of emulsified silicone oil RMN-3 (Oxane HD) / P.J. Tomlins, M.G. Woodcock, N. Spencer [et al.] // British Journal of Ophthalmology. – 2007. – Vol. 91 (10). – P. 1379-1381.
13. Yilmaz T. The role of nystagmus in silicone oil emulsification after pars plana vitrectomy and silicone oil injection for complex retinal detachment / T. Yilmaz, M. Guler // Eur J Ophthalmol. – 2008. – Vol. 18. – P. 150-154.

#### МОДЕЛЮВАННЯ ЕМУЛЬГАЦІЇ СИЛІКОНОВОЇ ОЛІЇ ПРИ ЗАДНІЙ ТАМПОНАДІ СІТКІВКИ

**Сергієнко А. М., Ткачук К. К., Сергієнко В. В.**

**Резюме.** Для відтворення моделі взаємодії силіконової олії та внутрішньоочної рідини використовувались емульсії збалансованого сольового розчину і силіконової олії (CO-BSS) різних концентрацій (10,0%; 20,0%; 33,3%; 50%; 66,7% CO), і проби 23-х пацієнтів, прооперованих з приводу регматогенного відшарування сітківки.

Щільність фізико-хімічних модельних систем визначалась пікнометричним методом. В'язкість модельних систем визначали методом віскозіметрії з використанням капілярного віскозіметра Оствальда. Ступінь емульгації силіконової олії порівнювали з кількістю післяопераційних ускладнень. За ускладнення, пов'язані з силіконовою тампонадою прийняли офтальмогіпертензію та розвиток проліферативної вітреоретинопатії. При фізико-хімічному моделюванні бінарної системи CO-BSS виявлено, що щільність модельної системи має лінійну залежність від об'ємної частки збалансованого сольового розчину.

Для визначення ступеня емульсифікації силіконової олії після довготривалого контакту з інтраокулярною рідиною, була запропонована денсиметрична математична модель. Вона складається з двох взаємозв'язаних рівнянь, і дозволяє на інтервалі значень щільності, аспірованої з очей пацієнтів, силіконової олії, передбачити зміни в'язкості і ступінь емульсифікації силіконової олії після довготривалого контакту з біологічною інтраокулярною рідиною. Безпечним для виникнення ускладнень, пов'язаних з силіконовою олією, є ступінь емульгації від 1 до 3%. Виявлено, що при емульсифікації силіконової олії від 12 до 15% ризик післяопераційних ускладнень (офтальмогіпертензія, розвиток проліферативної вітреоретинопатії) складає 100%.

**Ключові слова:** силіконове масло, емульсифікація, регматогенне відшарування сітківки.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМУЛЬГАЦИИ СИЛИКОНОВОГО МАСЛА ПРИ ЗАДНЕЙ ТАМПОНАДЕ СЕТЧАТКИ

**Сергиенко А. Н., Ткачук К. К., Сергиенко В. В.**

**Резюме.** Для воспроизведения модели взаимодействия силиконового масла и внутриглазных жидкостей использовались эмульсии сбалансированного солевого раствора и силиконового масла (CM-BSS) разных концентраций (10,0%; 20,0%; 33,3%; 50%; 66,7% CM), и пробы 23-х пациентов, прооперированных по поводу регматогенной отслойки сетчатки.

Плотность физико-химических модельных систем определялась пикнометрическим методом. Вязкость модельных систем определяли методом вискозиметрии с использованием капиллярного вискозиметра Оствальда. Степень эмульгации силиконового масла сравнивали с количеством послеоперационных осложнений. За осложнения, связанные с силиконовой тампонадой приняты офтальмогипертензия и развитие пролиферативной витреоретинопатии. При физико-химическом моделировании бинарной системы CM-BSS выявлено, что плотность модельной системы имеет линейную зависимость от объемной доли сбалансированного солевого раствора.

Для определения степени эмульсификации силиконового масла после длительного контакта с интраокулярной жидкостью была предложена денсиметрическая математическая модель. Она состоит из двух взаимосвязанных уравнений, и позволяет на интервале значений плотности, аспирированного из глаз пациентов, силиконового масла, предсказать изменения вязкости и степень эмульсификации силиконового масла после длительного контакта с биологической интраокулярной жидкостью. Безопасным для возникновения осложнений, связанных с силиконовым маслом, является степень эмульсации силиконового масла от 1 до 3%.

Выявлено, что при эмульсификации силиконового масла от 12 до 15% риск послеоперационных осложнений (офтальмогипертензия, развитие пролиферативной витреоретинопатии) составляет 100%

**Ключевые слова:** силиконовое масло, эмульсификация, регматогенная отслойка сетчатки.

### MODELING OF SILICONE OIL EMULSIFICATION FOR POSTERIOR RETINAL TAMPONADE

**Serhienko A. N., Tkachuk K. K., Serhienko V. V.**

**Abstract.** We reproduced a model of silicone oil interaction with intraocular fluids using an emulsion of silicone oil and balanced salt solution (SO-BSS) of different concentrations (10.0%, 20.0%, 33.3%, 50%, and 66.7% of SO). To bring together the results of simulations and clinical practice, we used the data of 23 patients who had passed surgery for rhegmatogenous retinal detachment using a 1300 cST viscosity Oxane silicone oil and physicochemical indicators of the silicone oil retrieved from the post-tamponade patients.

The density of model systems was measured by a pycnometric method with due account to adjustment for a body weight loss in the air ( $0.00129 \text{ g/cm}^3$ ).

We measured the relative viscosity of the model systems by the viscometry method using Ostwald capillary viscometer. The studies were carried out at a temperature of  $20.00 \pm 0.05^\circ\text{C}$ .

The special DOXYMOD.exe Console Application developed on the basis of C++ programming language in the Microsoft Visual Studio 2008 environment using the ALGLIB mathematical library was applied for calculations and selection of adequate mathematical models for describing revealed experimental dependencies.

Depending on the oil phase density of the silicone oil in aspirated samples, the patients were divided into 4 groups: Group 1 –  $d_{20} = 0.9700\text{-}0.9799 \text{ g/cm}^3$ ; Group 2 –  $d_{20} = 0.9800\text{-}0.9981 \text{ g/cm}^3$ ; Group 3 –  $d_{20} = 0.9982\text{-}1.0049 \text{ g/cm}^3$ ; and Group 4 –  $d_{20} = 1.0050\text{-}1.0100 \text{ g/cm}^3$ .

We compared a degree of silicone oil emulsification with a number of post-surgery complications. Ocular hypertension and development of proliferative vitreoretinopathy were taken as the complications associated with silicone tamponade. In the course of physico-chemical simulation of the SO-BSS binary system, we found that the density of the model system had a linear dependence on the volume fraction of the balanced salt solution.

We proposed a densimetric mathematical model to determine a degree of silicone oil emulsification after continuous contact with the intraocular fluid. It consisted of two coupled equations and allowed, within an interval of density values of silicone oil aspirated from the patients' eyes, predicting changes of viscosity and a degree of the silicone emulsification after continuous contact with the biological intraocular fluid.

Proceeding from the data on SO emulsification in the patients' vitreal cavity under continuous tamponade, we made conclusions on the silicone oil emulsification degree for all group of patients managed by us.

1 – 3% silicone oil emulsification was assessed as safe in terms of complications associated with the silicone oil.

We also revealed that 12 – 15% silicone oil emulsification caused a 100% risk of postoperative complications (ocular hypertension and development of proliferative vitreoretinopathy).

**Keywords:** silicone oil, emulsification, retinal detachment.

*Рецензент – проф. Безкоровайна І. М.*

**Стаття надійшла 28.10.2017 року**