

hood of the disease (OR=2.01; 95 % CI=1.01–4.01) in patients of the 4th group in comparison with the control. The “zero” allele of the GSTT1 gene in the control group was detected in 31 %, the increase in the GSTT1-null allele frequency was also noted in II–IV stages of the POAG: from 41 % to 54 %. The statistically significant differences in the frequencies of alleles of the GSTT1 gene between the control group and all patients with POAG ( $\chi^2=4.43$ ,  $p=0.03$ ), between the control group and the 4th group ( $\chi^2=7.64$ ,  $p=0.01$ ) and between the 1-st and 4-th groups ( $\chi^2=5.52$ ,  $p=0.02$ ). For the deletion polymorphism of the GSTT1 gene, association with the development of POAG ( $\chi^2=4.43$ ,  $p=0.03$ ) was determined when comparing the control group with the data of all patients with POAG (1–4 groups). When stratification by stages of POAG (i.e., by groups of patients), association with the development of POAG was determined only for patients of the 4th group ( $\chi^2=7.64$ ,  $p=0.01$ ) in comparison with the control group.

**Conclusions.** As a result of the study, the association of the “zero” allele of the GSTT1 gene with POAG ( $p=0.03$ ) was established. The presence of the allele GSTT1-null significantly increased the risk of developing POAG (OR=1.75, CI=1.04–2.96) compared with the control group. The presence of “null” alleles (GSTM1-null and GSTT1-null) of deletion polymorphism of the GST gene increased the risk of development of stage IV of POAG (OR=2.01; CI=1.01–4.01 and OR=2.66; CI=1,32–5,37, respectively) compared with the control group, which indicated the effect of “zero” alleles on the rate of progression of the disease.

**Key words:** *primary open-angle glaucoma, polymorphism of the glutathione-S-transferase gene (GSTM1 i GSTT1).*

Стаття надійшла до редакції 31.10.2017 р.

**С. А. Рыков<sup>1</sup>, А. Н. Сергиенко<sup>2,3</sup>, К. К. Ткачук<sup>4</sup>, В. В. Сергиенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Национальная медицинская академия последипломного образования имени П. Л. Шупика МЗ Украины  
– Киев, Украина,

<sup>2</sup> Винницкий национальный медицинский университет имени Н. И. Пирогова МЗ Украины  
– Винница, Украина,

<sup>3</sup> Медицинский центр «Офтальмологическая клиника профессора Сергиенко»  
– Винница, Украина,

<sup>4</sup> Национальный технический университет «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины,  
Институт энергосбережения и энергоменеджмента  
– Киев, Украина

УДК 617.735–007.281–089.45–06:678.83–084:615.8

## ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОНОВОГО МАСЛА ВО ВРЕМЯ ТАМПОНАДЫ СЕТЧАТКИ

Изменения основных физико-химических свойств силиконового масла во время тампонады при проведении витреоретинальной хирургии изучены недостаточно. В статье представлено исследование 23 проб силиконового масла, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов после завершения тампонады по поводу регматогенной и тракционной отслойки сетчатки. Средний срок нахождения силиконового масла в глазу составлял 3,5 месяца. Во всех случаях тампонады использовалось силиконовое масло Oxane (Baush&Lomb, Великобритания) с вязкостью 1300 сСт. Все пробы были стабилизированы, в результате чего получены коллоидные системы, состоящие из двух насыщенных друг другом жидких фаз – водной и масляной (прямая эмульсия). Плотность аспирированных из глаза пациентов проб определялась при температуре  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$  пикнометрическим методом с учетом поправки на потерю веса тел в воздухе ( $0,00129 \text{ г/см}^3$ ). Методом вискозиметрии с использованием капиллярного вискозиметра Оствальда (при температуре  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$ ) определяли относительную вязкость проб, трижды калибруя вискозиметр для водных фаз по дистиллированной воде (с проверкой результатов измерения вязкости по 96 % этиловому спирту и ацетону), а вискозиметр для масляных фаз – по 100 % диметилполисилоксану (с проверкой результатов измерения вязкости по глицерину).

Критериями осложнений было развитие пролиферативной витреоретинопатии с развитием рецидива отслойки сетчатки или повышение внутриглазного давления выше 21 мм рт.ст. в послеоперационном периоде. В зависимости от плотности масляной фазы, пациенты были разделены на 4 группы: 1-я группа – плотность масляной фазы (м.ф.) меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла ( $d_{20}=0.9700-0.9799 \text{ г/см}^3$ ); 2-я группа – плотность м.ф. меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла ( $d_{20}=0.9800-0.9981 \text{ г/см}^3$ ); 3-я группа – плотность м.ф. практически равна плотности дистиллированной воды ( $d_{20}=0.9982-1.0049 \text{ г/см}^3$ ); 4-я группа – плотность м.ф. выше плотности дистиллированной воды ( $d_{20}=1.0050-1.0100 \text{ г/см}^3$ ). Установлено, что в процессе тампонады и длительного пребывания силиконового масла в витреальной полости глаза у большинства пациентов происходит изменение физико-химических свойств силиконового масла – увеличение его плотности и снижение вязкости. Плотность масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов, связана с вязкостью экспоненциальной кривой. Количество послеоперационных осложнений – таких, как развитие пролиферативной витреоретинопатии с формированием рецидива отслойки сетчатки, повышение внутриглазного давления, – зависит от плотности силиконового пузыря.

**Ключевые слова.** Сетчатка, силиконовое масло, отслойка сетчатки, тампонада сетчатки, витреоретинопатия.

Силиконовое масло находит все более широкое применение в витреоретинальной хирургии, особенно в осложненных случаях [1]. Однако с его применением связывают типичные осложнения: кератопатии, повышение внутриглазного давления, катаракты, специфические оптикнейропатии и ретинопатии [2, 4, 5, 10, 18, 19]. Осложнения, связанные с применением полидиметилсилоксана, как правило, вызваны отрывом фрагментов и их миграцией в жидкости и ткани глаза [3, 6, 9, 11, 12, 16, 22].

Попадая в глаз, силиконовое масло взаимодействует с внутриглазной жидкостью, постепенно образуя дисперсную систему, где силикон является дисперсной фазой [8]. В случаях длительных силиконовых тампонад может происходить образование грубодисперсной системы – эмульсии, отличающейся от предыдущей размером частиц (от 1 до 150 мкм). Образование такой эмульсии сопряжено с нарушением прозрачности оптических сред, снижением зрительных функций и развитием осложнений.

Полидиметилсилоксан является химически стабильным веществом, и его взаимодействие с тканями глаза имеет, скорее, не химическую, а физико-химическую природу. Как показывает анализ литературы [2, 4, 5, 10, 18, 19], изменения основных физико-химических свойств силиконового масла во время тампонады при проведении витреоретинальной хирургии изучены недостаточно.

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

**Материалы и методы исследования.** Обследовано 23 пациента (23 глаза). Материалом для исследования послужили 23 пробы силиконово-

го масла, аспирированные из витреальной полости глаз пациентов после завершения тампонады по поводу регматогенной и тракционной отслойки сетчатки. Средний срок нахождения силиконового масла в глазу составлял 3,5 месяца. Во всех случаях тампонады использовалось силиконовое масло Oxane (Baush&Lomb, Великобритания) с вязкостью 1300 сСт. Силиконовое масло вводилось в глаз при трехпортовой витрэктомии 23 га путем прямой замены перфтордекалин/силиконовое масло. Во всех случаях (23 глаза) в послеоперационном периоде отмечалось полное прилегание сетчатки.

Срок наблюдения за пациентами – один год. Критериями осложнений было развитие в послеоперационном периоде пролиферативной витреоретинопатии с развитием рецидива отслойки сетчатки или повышение внутриглазного давления выше 21 мм рт.ст.

Все пациенты были осведомлены о характере исследования и проходили стандартное офтальмологическое обследование.

Пробы силиконового масла исследовали с учетом следующего. Принимая во внимание, что на процессы образования и стабилизации эмульсии силиконового масла основное влияние оказывают поверхностное натяжение, плотность и вязкостно-упругие свойства поверхностных слоев жидкости, особенно на границе раздела фаз, в качестве основных физико-химических показателей были выбраны плотность и вязкость (кинематическая и динамическая системы).

При получении проб был проведен качественный и первичный количественный анализ. Все пробы были стабилизированы, в результате чего получены коллоидные системы, состоящие из двух насыщенных друг другом жидких фаз – водной и масляной (прямая эмульсия).

Плотность аспирированных из глаза пациентов проб определялась пикнометрическим методом при температуре  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$  с учетом поправки на потерю веса тел в воздухе ( $0,00129 \text{ г/см}^3$ ).

Относительную вязкость проб определяли методом вискозиметрии с использованием капиллярного вискозиметра Оствальда при температуре  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$ . Калибровку вискозиметра проводили трижды: для водных фаз по дистиллированной воде (с проверкой результатов измерения вязкости по 96 % этиловому спирту и ацетону), а для масляных фаз – по 100 % диметилполисилоксану (с проверкой результатов измерения вязкости по глицерину).

Полученные результаты обработаны статистически с помощью программы Microsoft Office Excel 2007.

**Результаты и их обсуждение.** После стабилизации системы наблюдалась четко выраженная граница раздела фаз, характерная для эмульсии типа «масло в воде» (прямая эмульсия, эмульсия I рода), которая по агрегатному состоянию классифицируется как ж/ж (жидкое в жидком). Результаты первичного анализа аспирационных проб представлены в табл. 1.

В зависимости от плотности масляной фазы в аспирированных из глаза пациентов пробах все пациенты были разделены на 4 группы:

*1-я группа* – плотность масляной фазы (м.ф.) меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла ( $d_{20} = 0,9700 - 0,9799 \text{ г/см}^3$ ), что указывает на то, что в данных пробах, вероятнее всего, или не наблюдается диспергация силиконового масла, или степень его диспергации незначительна;

*2-я группа* – плотность м.ф. меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла ( $d_{20} = 0,9800 - 0,9981 \text{ г/см}^3$ ), что указывает на наличие диспергации силиконового масла;

*3-я группа* – плотность м.ф. практически равна плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 0,9982 - 1,0049 \text{ г/см}^3$ ), что также указывает на наличие диспергации силиконового масла;

*4-я группа* – плотность м.ф. выше плотности дистиллированной воды ( $d_{20} = 1,0050 - 1,0100 \text{ г/см}^3$ ), что характеризует наибольшую степень диспергации силиконового масла среди групп пациентов.

Распределение результатов по группам пациентов в зависимости от плотности масляных фаз (м.ф.) представлено на гистограмме (рис. 1).

Результаты определения плотности масляных фаз (м.ф.) и динамической вязкости проб, аспирированных из витреальной полости глаз, после стабилизации систем представлены в табл. 2.

Интегративный результат анализа проб зависимости абсолютной вязкости от плотности масляных фаз представлен на графике (рис. 2).

Как показали результаты (табл. 2, рис. 2), с увеличением плотности масляной фазы постепенно снижается ее вязкость. У 13 пациентов из 23 вязкость силикона во время удаления была ниже 750 сПз, что в 2 раза меньше вязкости силиконового масла, заявленного первоначально.

Анализ частоты возникновения осложнений в каждой из выделенных групп показал, что развитие пролиферативной витреоретинопатии и повышение внутриглазного давления зависят от изменения физико-химических свойств силиконового пузыря.

В *1-й группе* с показателями плотности, соответствующей первоначальной плотности силиконового масла, было отмечено в одном случае повышение внутриглазного давления (ВГД) выше 21 мм рт.ст. Во *2-й группе*, с показателями плотности масляной фазы меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла, количество осложнений было в 3-х случаях (в 2-х случаях – пролиферативная витреоретинопатия (ПВР) с развитием рецидива отслойки сетчатки и в 1-м случае – ПВР с повышением ВГД). В *3-й группе*, с показателем плотности масляной фазы практически равной плотности дистиллированной воды, осложнения были в 3-х случаях (в 2-х случаях повышение ВГД и в 1-м случае ПВР с повышением ВГД). В *4-й группе*, с показателем плотности масляной фазы выше плотности дистиллированной воды, осложнения отмечались во всех случаях (в 5-ти случаях повышение ВГД, в 3-х случаях ПВР с развитием рецидива отслойки сетчатки (ОС), в 1-м случае ПВР с повышением ВГД).

Силиконовое масло имеет стабильную химическую структуру и является химически инертным для тканей глаза. Но большинство проблем, связанных с тампонадами, возникает не из-за химических реакций, а вследствие коллоидного взаимодействия жидкостей глаза и силиконового пузыря. Диспергация силиконового пузыря, то есть превращение его в непрозрачную эмульсию со множеством мелких фрагментов, является сейчас довольно редким явлением и встречается только при длительных, более 6 месяцев, тампонадах при наличии внутренних сурфактантов – таких, как кровь и воспалительные пептиды [7, 13, 20].

Априори, офтальмологи считают, что введенное силиконовое масло и выводимое после тампонады обладает одинаковыми характеристиками.

К проведению совместного с химиками исследования нас подтолкнуло клиническое наблюдение за перемещением силиконовых пузырей в вертикально поставленных шприцах после выведения силикона. Наблюдения показали, что в части случаев силиконовое масло не всплывало на поверхность воды, в другой части – всплывало медленнее, чем силиконовое масло, которое не было в контакте с глазом.

Таблица 1

**Результаты первичного анализа проб силиконового масла, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов после завершения тампонады по поводу регматогенной и тракционной отслойки сетчатки**

№	Шифр пробы	Наличие / отсутствие фаз в пробе	Визуальное количество фаз в шприце и характер поверхности раздела фаз	Плотность исходной эмульсии*, г/см <sup>3</sup>	Первоначальная степень обводненности пробы, %	Наличие включений и их характер
1	1/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск ровный	0.8766	58.82	–
2	2/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск ровный	1.0175	28.57	в.ф. – непрозрачный, включения; м.ф. – мало, но есть включения
3	3/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	0.9659	85.71	–
4	4/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	0.9696	52.94	есть небольшое количество включений
5	5/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, поверхность – как пузырь внутри	0.9875	30.77	есть небольшое количество включений
6	6/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск выгнутый	0.9127	64.29	включения в верхнем слое, окраш. розов.
7	7/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск ровный (диагональный)	1.1230	43.48	есть включения
8	8/3	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	1,9800	47,86	–
9	1/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск выгнутый после стабилизации 2-ой фазы	1.0118	44.19	есть включения, возможно ПФД
10	2/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, на одной из фаз малые количества	1.0356	85.71	–
11	3/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск выгнутый после стабилизации 2-ой фазы	0.9634	68.97	есть включения, возможно ПФД
12	5/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый после стабилизации 2-ой фазы	1.0244	33.90	есть включения, возможно ПФД
	6/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	0.9954	47.62	есть включения, возможно ПФД
13	8/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск наклонный	1.0927	23.81	–
14	9/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	1.0142	34.48	есть включения
15	10/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	777	777	есть включения, возможно ПФД
16	7/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, одна фаза – как пузырь	1.0698	69.03	есть включения
18	11/1	в.ф./м.ф.	2 фазы, одна фаза – как пузырь	1.0698	69.03	есть включения
19	1/2	в.ф./м.ф.	2 фазы, одна фаза – как пузырь	1.0513	87.50	–
20	3/2	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск выгнутый	1.0433	54.55	–
21	6/2	в.ф./м.ф.	2 фазы, одна фаза – как пузырь	0.9569	12.50	есть включения, возможно ПФД
22	5/2	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск выгнутый	1.0265	48.28	–
23	4/2	в.ф./м.ф.	2 фазы, мениск вогнутый	1.0413	50.05	–



Рис. 1. Гистограмма распределения результатов по плотности масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов с регматогенной и тракционной отслойкой сетчатки

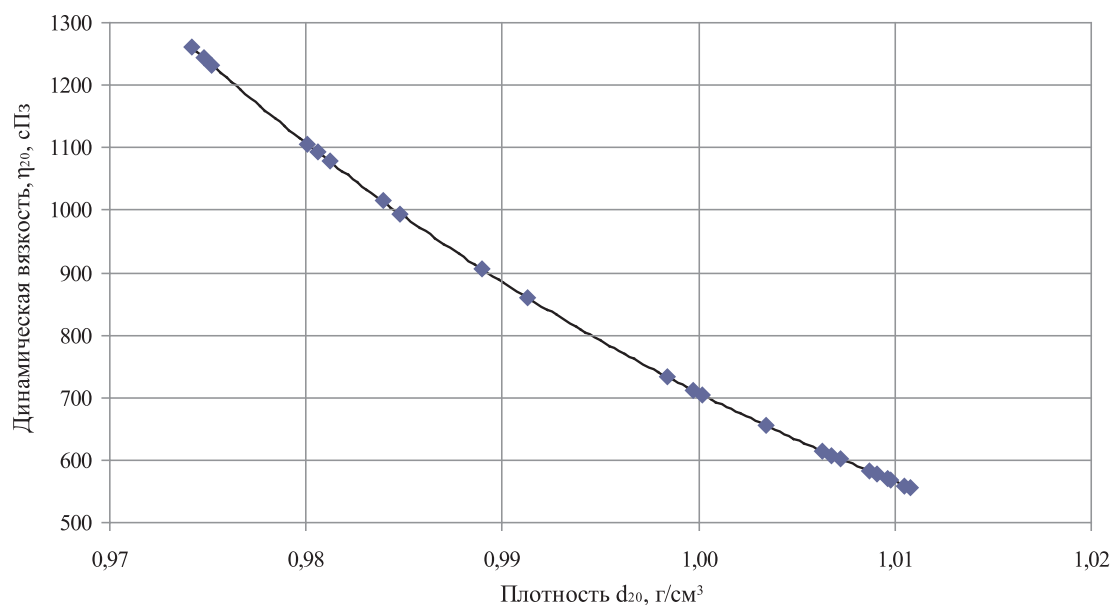


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости (сПз) масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов, от плотности м.ф. проб (г/см³)

Результаты проведенных исследований показали, что силиконовое масло изменяет во время тампонады свою плотность вплоть до инверсии по сравнению с плотностью воды, то есть: у части пациентов оно становится «тяжелым».

Анализ результатов показал, что эти изменения коррелируют с частотой послеоперационных осложнений: развитием пролиферативной витреоретинопатии и нарушением внутриглазного давления.

Возможной причиной изменения плотности является контакт с поверхностью перфтордекалина [7, 14, 15, 17].

Ряд авторов [8] исследовали возможность такого взаимодействия и нашли зависимость более выраженной эмульсификации силикона от концентрации оста-

точного перфтордекалина (250–1000 ммоль/л) в пробе. Авторы отмечают [8], что ни одна из техник силиконовых тампонад – прямая замена или тампонада через жидкость/газ замену – не позволяет избежать взаимодействия остатков перфторуглерода и силикона.

Поскольку физико-химические исследования являются трудоемкими и требуют специальных навыков, в клинической практике сведения о плотности силиконового пузыря можно получить простым способом, с которого начиналось текущее исследование: шприц после выведения силикона помещается в вертикальное положение с экспозицией около 30 минут, а затем переворачивается. Сведения о плотности силикона можно охарактеризовать по месту расположения силиконового пузыря в сбалансированном растворе.



Таблица 2

**Динамическая вязкость ( $\eta_{20}$ , 20°C, сПз) и реологические (вязкостные) характеристики  
масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов  
с регматогенной и тракционной отслойкой сетчатки**

№	Шифр пробы	Плотность, $d_{20}$ , 20°C, г/см <sup>3</sup>	$lg\eta_{20}$	Динамическая вязкость, $\eta_{20}$ , 20°C, сПз	Отношение $-(\eta_{20}-\eta_{CM})/\eta_{CM}$	$lg  (\eta_{20}-\eta_{CM})/\eta_{CM} $
<i>1-я группа пациентов – плотность масляной фазы аспирированной пробы меньше плотности дистиллированной воды и практически соответствует плотности силиконового масла (<math>d_{20}=0.9700-0.9799</math> г/см<sup>3</sup>)</i>						
1	6/2	0.9742	3.1006	1260,5153	0,0004239	-3,3727
2	1/3	0.9748	3.0947	1243,6997	0,01376	-1,8614
3	2/2	0.9752	3.0908	1232,5192	0,02262	-1,6454
<i>2-я группа пациентов – плотность масляной фазы аспирированной пробы меньше плотности воды, но больше плотности чистого силиконового масла (<math>d_{20}=0.9800-0.9999</math> г/см<sup>3</sup>)</i>						
4	10/1	0.9801	3.0432	1104,5119	0,1241	-0,9061
5	7/3	0.9806	3.0383	1092,1741	0,1339	-0,8732
6	6/3	0.9812	3.0325	1077,5999	0,1455	-0,8372
7	5/1	0.9839	3.0063	1014,4975	0,1955	-0,7088
8	1/1	0.9848	2.9974	994,1411	0,2117	-0,6744
9	4/2	0.9890	2.9567	905,0994	0,2823	-0,5493
10	4/1	0.9913	2.9343	859,6172	0,3183	-0,4971
<i>3-я группа пациентов – плотность масляной фазы аспирированной пробы практически равна плотности дистиллированной воды (<math>d_{20}=1.0000-1.0099</math> г/см<sup>3</sup>)</i>						
11	5/2	0.9984	2.8652	733,1698	0,1241	-0,3782
12	11/1	0.9997	2.8526	712,1471	0,1339	-0,3612
13	5/3	1.0002	2.8477	704,1851	0,1455	-0,3550
14	8/1	1.0034	2.8166	655,5021	0,1955	-0,3186
<i>4-я группа пациентов – плотность масляной фазы аспирированной пробы выше плотности дистиллированной воды (<math>d_{20}=1.010-1.020</math> г/см<sup>3</sup>)</i>						
15	1/2	1.0063	2.7884	614,3664	0,5128	-0,2900
16	4/3	1.0068	2.7835	607,4957	0,5183	-0,2855
17	3/2	1.0072	2.7796	602,0267	0,5226	-0,2818
18	2/1	1.0087	2.7651	582,1864	0,5383	-0,2689
19	3/3	1.0091	2.7624	578,6743	0,5411	-0,2667
20	2/3	1.0096	2.7562	570,4917	0,5476	-0,2615
21	9/1	1.0098	2.7543	567,9830	0,5496	-0,2600
22	6/1	1.0105	2.7475	559,1603	0,5566	-0,2545
23	7/1	1.0108	2.7446	555,3480	0,5596	-0,2521

Если силиконовый пузырь будет располагаться на поверхности, – его свойства не изменены. Если же силиконовый пузырь будет расположен на дне шприца, – значит произошло повышение его плотности более плотности воды.

Диспергация – процесс взаимодействия с водным раствором – начинается с раннего периода тампонад. Этот процесс может приводить к появлению мелких фрагментов силикона в передней камере без изменения прозрачности сред. Такие мелкие фрагменты взаимодействуют с трабекулярной сетью и могут приводить к снижению оттока внутриглазной жидкости [3, 6, 11]. Можно предположить, что в данной ситуации происходит отрыв от основного пузыря более коротких цепей полиметилсилоксана [7].

На сегодня силиконовое масло и его влияние на ткани глаза остается темой для дискуссий. Оно может оказывать негативный эффект, но далеко не на все глаза. Основной тенденцией является сокращение времени тампонад, однако это приемлемо не во всех клинических случаях [21].

Выявление индивидуальной переносимости силиконового масла может быть решением для уменьшения негативных реакций, связанных с воздействием полидиметилсилоксана на глаз.

### Выводы

1. Результаты исследования установили, что в процессе тампонады и длительного пребывания силиконового масла в витреальной полости глаза у

большинства пациентов происходит изменение физико-химических свойств силиконового масла: увеличение его плотности и снижение вязкости.

2. Плотность масляных фаз проб, аспирированных из витреальной полости глаз пациентов, связана с вязкостью экспоненциальной кривой.

3. Количество послеоперационных осложнений – таких, как развитие пролиферативной витреоретинопатии с формированием рецидива отслойки сетчатки, повышение внутриглазного давления, – зависит от плотности силиконового пузыря.

### Литература

1. *Тахчиди Х. П.* Обоснование раннего удаления силиконового масла при лечении тяжелых отслоек сетчатки различного генеза / Х. П. Тахчиди, С. А. Метаев, Н. Я. Глинчук [и др.] // Новые технологии микрохирургии глаза. – Оренбург, 2004. – С. 60–65.
2. *Abrams G. W.* The incidence of corneal abnormalities in the Silicone Study. Silicone Study Report 7 / G. W. Abrams, S. P. Azen, C. C. Barr [et al.] // Arch. Ophthalmol. – 1995. – Vol. 113 (6). – P. 764–769.
3. *Al-Jazzaf A. M.* Incidence and management of elevation intraocular pressure after silicone oil injection / A. M. Al-Jazzaf, P. A. Netland, S. J. Charles // Glaucoma. – 2005. – Vol. 14 (1). – P. 40–46.
4. *Azuaro-Blanco A.* Pseudo-endothelial dystrophy associated with emulsified silicone oil / A. Azuaro-Blanco, H. S. Dua, C. T. Pillai // Cornea. – 1999. – Vol. 18 (4). – P. 493–494.
5. *Bennet S. R.* Band keratopathy from emulsified silicone oil / S. R. Bennet // Arch. Ophthalmol. – 1990. – Vol. 108 (10). – P. 1387.
6. *Costarides A. P.* Elevated intraocular pressure following vitreoretinal surgery / A. P. Costarides, P. Alabata, C. Bergstrom // Ophthalmology Clinics of North America. – 2004. – Vol. 17 (4). – P. 507–512.
7. *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.
8. *Dresp J. H.* Interaction of different ocular endotamponades as a risk factor for silicone oil emulsification / J. H. Dresp, Dirk-Henning Menz // Retina. – 2005. – Vol. 25. – P. 902–910.
9. *El-Aliem A. A.* Persistent glaucoma after silicone oil removal in patients underwent conventional pars plana vitrectomy: incidence, risk factors and causes / Ahmad Abd El-Aliem, Ahmad Elsayed Hudieb // International Journal of Clinical Medicine Research. – 2015. – Vol. 2 (2). – P. 4–7.
10. *Errera M. H.* Using spectral-domain optical coherence tomography imaging to identify the presence of retinal silicone oil emulsification after silicone oil tamponade / M. H. Errera, S. E. Liyanage, M. Elgohary [et al.] // Retina. – 2013. – Vol. 33 (8). – P. 1567–1573.
11. *Han D. P.* Mechanisms of intraocular pressure elevation after pars plana vitrectomy / D. P. Han, H. Lewis, F. H. Lambrou [et al.] // Ophthalmology. – 1989. – Vol. 96. – P. 1357.
12. *Hasegawa Y.* Intraocular pressure elevation after vitrectomy for various vitreoretinal disorders / Y. Hasegawa, F. Okamoto, Y. Sugiura [et al.] // European journal of ophthalmology. – 2013. – Vol. 24 (2). – P. 235–241.
13. *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.
14. *Hoerauf H.* Combined use of partially fluorinated alkanes, perfluorocarbon liquids and silicone oil: an experimental study / H. Hoerauf, K. Kobuch, J. Dresp, D. H. Menz // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2001. – Vol. 239. – P. 373–381.
15. *Hoerauf H.* Severe emulsification after combined use of partially fluorinated alkane and silicone oil / H. Hoerauf, H. Laqua // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2002. – Vol. 240. – P. 131–136.
16. *Ichpujani P.* Silicone oil induced glaucoma: a review / P. Ichpujani, A. Jindal, L. J. Katz // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2009. – Vol. 247. – P. 1585–1593.
17. *Meinert H.* Semifluorinated alkanes – A new class of compounds with outstanding properties for use in ophthalmology / H. Meinert, T. Roy // Eur. J. Ophthalmol. – 2000. – Vol. 10. – P. 189–197.
18. *Mrejen S.* Intraretinal and intra-optic nerve head silicone oil vacuoles using adaptive optics / S. Mrejen, T. Sato, Y. Fisher, R. F. Spaide // Ophthalmic Surg. Lasers Imaging Retina. – 2015. – Vol. 45 (1). – P. 71–73.
19. *Odrobina D.* Analysis of the time and location of the silicone oil emulsification by spectral-domain optical coherence tomography after silicone oil tamponade / D. Odrobina, I. Laudaska-Olszewska // Biomed. Res. Int. – 2014. – Vol. 37. – P. 2045 P.
20. *Patel A. V.* Silicone Oil Emulsification in Retina Surgery / A. V. Patel, T. D. Papakostas, D. Elliott // Retina today. – 2015. – Vol. 9. – P. 29–32.
21. *Tan H. S.* Silicone oil removal after regmatogenous retinal detachment: comparing techniques / H. S. Tan, R. Dell’Omo, M. Mura // Eye. – 2012. – Vol. 26. – P. 444–447.
22. *de Vries M. M.* Glaucoma drainage device surgery after vitreoretinal surgery: incidence and risk factors / M. M. de Vries, R. P. Müskens, V. W. Renardel de Lavalette [et al.] // Acta Ophthalmologica. – 2016. – Vol. 94. – P. 135–139.

## ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИЛІКОНОВОГО МАСЛА ПІД ЧАС ТАМПОНАДИ СІТКІВКИ

*С. О. Рыков, А. М. Сергієнко, К. К. Ткачук, В. В. Сергієнко*

Зміни основних фізико-хімічних властивостей силіконового масла під час тампонади при проведенні вітреоретинальної хірургії вивчені недостатньо. У статті представлено дослідження 23 проб силіконового масла, аспірованих з вітреальної порожнини очей пацієнтів після завершення тампонади з приводу регматогенного та тракційного відшарування сітківки. Середній термін перебування силіконового масла в оці складав 3,5 місяця. В усіх випадках тампонади використовувалось силіконове масло Oxane (Baush&Lomb, Великобританія) з в'язкістю 1300 сСт. Усі проби були стабілізовані, в результаті чого отримані колоїдні системи, що склалися з двох насичених одна одною рідких фаз – водної і масляної (пряма емульсія). Щільність аспірованих із ока пацієнтів проб визначалась при температурі  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$  пікнометричним методом з урахуванням поправки на втрату ваги тіл у повітрі ( $0,00129 \text{ г/см}^3$ ). Методом віскозіметрії з використанням віскозіметра Оствальда (при температурі  $20,00 \pm 0,05^\circ\text{C}$ ) визначали відносну в'язкість проб, тричі калібруючи віскозіметр для водних фаз по дистильованій воді (з перевіркою результатів виміру в'язкості по 96 % етиловому спирту і ацетону), а віскозіметр для масляних фаз – по 100 % диметилполісилоксану (з перевіркою результатів виміру в'язкості по гліцерину).

Критеріями ускладнень були: розвиток проліферативної вітреоретінопатії з розвитком рецидиву відшарування сітківки або підвищення внутрішньоочного тиску вище 21 мм рт.ст. в післяопераційному періоді. В залежності від щільності масляної фази пацієнтів було розділено на 4 групи: 1-а група – щільність масляної фази (м.ф.) менше щільності дистильованої води і майже відповідає щільності силіконового масла ( $d_{20}=0.9700-0.9799 \text{ г/см}^3$ ); 2-а група – щільність м.ф. менша щільності води, але більша щільності чистого силіконового масла ( $d_{20}=0.9800-0.9981 \text{ г/см}^3$ ); 3-я група – щільність м.ф. практично дорівнює щільності дистильованої води ( $d_{20}=0.9982-1.0049 \text{ г/см}^3$ ); 4-а група – щільність м.ф. вища щільності дистильованої води ( $d_{20}=1.0050-1.0100 \text{ г/см}^3$ ).

Встановлено, що в процесі тампонади і тривалого перебування силіконового масла у вітреальній порожнині ока в більшості пацієнтів відбувається зміна фізико-хімічних властивостей силіконового масла – збільшення його щільності і зниження в'язкості. Щільність масляних фаз проб, аспірованих із вітреальної порожнини очей пацієнтів, пов'язана з в'язкістю експоненційної кривої. Кількість післяопераційних ускладнень – таких, як розвиток проліферативної вітреоретінопатії з формуванням рецидиву відшарування сітківки, підвищення внутрішньоочного тиску, – залежить від щільності силіконового мішура.

**Ключові слова.** Сітківка, силіконове масло, відшарування сітківки, тампонада сітківки, вітреоретінопатія.

## CHANGES OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SILICONE OIL ASSOCIATED WITH RETINAL TAMPONADE

*S. O. Rykov<sup>1</sup>, A. M. Serhienko<sup>2,3</sup>, K. K. Tkachuk<sup>4</sup>, V. V. Serhienko<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> National Medical Academy of Postgraduate Education named after P.L. Shupryk of the Ministry of Public Health of Ukraine

*Kyiv, Ukraine,*

<sup>2</sup> National Pyrohov Memorial Medical University

*Vinnytsia, Ukraine,*

<sup>3</sup> Medical Center "Professor's Serhienko Eye Clinic"

*Vinnytsia, Ukraine,*

<sup>4</sup> National Technical University, Institute of Energy Saving and Energy Management

*Kyiv, Ukraine*

**Summary.** The source material for our study was 23 samples of silicone oil, aspirated from the vitreous cavities of the eyes of patients after a tamponade with regard to the rheumatogenic and traction retinal detachment. The average life of silicone oil in the eye was 3.5 months. In all cases, a 1300 cSt – viscosity Oxane silicone oil (Baush & Lomb, UK), was used for tamponade.

All samples were stabilized, resulting in colloidal systems consisting of a direct emulsion of two cross-saturated (aqueous and oily) liquid phases.

The density of samples aspirated from the patients' eyes was measured at a temperature of  $20.00 \pm 0.05^\circ\text{C}$  by a pycnometric method, taking into account the adjustment for a loss of body weight in the air ( $0.00129 \text{ g/cm}^3$ ).

The viscosity measurement method using the Ostwald capillary viscometer (at a temperature of  $20.00 \pm 0.050^\circ\text{C}$ ) was used to measure the relative viscosity of samples by a three-time adjusting the viscometer for water phases against



the distilled water (checking the viscosity measurement results against 96 % ethyl alcohol and acetone), and the viscometer for oil phases – against a 100 % dimethylpolysiloxane (checking the viscosity measuring results against glycerin).

The criteria for complications were the development of proliferative vitreoretinopathy with recurrence of retinal detachment or an increase of intraocular pressure above 21 mm Hg. in the postoperative period.

Depending on the density of the oil phase, patients were divided into 4 groups: Group 1 – the density of the oil phase (o.p.) – less the density of distilled water and practically corresponding to the density of silicone oil ( $d_{20}=0.9700-0.9799 \text{ g/cm}^3$ ); Group 2 – the density of the o.p. – less the water density, but greater than the density of pure silicone oil ( $d_{20}=0.9800-0.9981 \text{ g/cm}^3$ ); Group 3 – the density of the o.p. – practically equal to the density of distilled water ( $d_{20}=0.9982-1.0049 \text{ g/cm}^3$ ); and Group 4 – density of the o.p.– above the density of distilled water ( $d_{20}=1.0050-1.0100 \text{ g/cm}^3$ ).

The study revealed that the physicochemical properties, such as the density (growing and in some cases exceeding the density of distilled water) and the viscosity (significantly decreasing), were changing in most patients (with a different magnitude) in the process of tamponade and continuous presence of silicone oil in the vitreous cavity of the eye.

The density of the oil phases of aspirated samples had an exponential relation to the viscosity. The number of postoperative complications such as development of proliferative vitreoretinopathy followed by formation of a recurred retinal detachment and an increase of the intraocular pressure above 21 mm Hg. depended on the density of a silicone bubble.

**Key words.** *Retina, silicone oil, retinal detachment, retinal tamponade, vitreoretinopathy.*

Стаття надійшла до редакції 11.10.2017 р.

---

**В. Н. Сердюк<sup>1,2</sup>, И. В. Савицкий<sup>3</sup>, В. В. Семенко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины  
– г. Днепр, Украина,

<sup>2</sup> Днепропетровская областная клиническая офтальмологическая больница МЗ Украины  
– г. Днепр, Украина,

<sup>3</sup> Одесский национальный медицинский университет МЗ Украины  
– г. Одесса, Украина

УДК: 616.379–008.64:617.735

## ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ NOx В СЫВОРТКЕ КРОВИ И В МОЧЕ И АКТИВНОСТЬ NO-СИНТАЗЫ В ГЛАЗНОМ ЯБЛОКЕ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ

Эндотелиальная дисфункция – неотъемлемое звено патогенеза диабетической ретинопатии. Цель работы – исследование NO-S в глазном яблоке и NOx в сыворотке крови и в моче при экспериментальном сахарном диабете 1-го типа. Полученные результаты о повышении уровня NOx в биологических жидкостях наряду со снижением гистохимической активности NO-S в глазном яблоке свидетельствуют о нарушении функции клеток эндотелия. Определение соотношения между активностью NO-синтазы в гистологических срезах глазного яблока и концентрацией NOx в крови и моче является патогенетически важным для оценки своевременности и эффективности применения донаторов оксида азота для комплексного лечения экспериментальной диабетической ретинопатии.

**Ключевые слова:** *сахарный диабет, экспериментальная модель, диабетическая ретинопатия, эндотелиальная дисфункция, NO-S, NOx.*