

<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-4-42-49>

УДК 617.735-007.281-089 : 615.011 : 547.1'128

Силиконовое масло: физические свойства и клиническое применение (обзор литературы)

Ташмухамедов Азиз А.Ташкентский педиатрический медицинский институт,
100140, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Богишамол, д.223

Резюме

Введение. В современной витреоретинальной хирургии силиконовое масло используется для замещения стекловидного тела при витрэктомии. Данная операция проводится для лечения отслойки сетчатки, пролиферативной ретинопатии, гигантских разрывов сетчатки и тяжелых травм глаза. В этой связи особенно актуальным представляется описание физических характеристик силиконовых масел, которые определяют выбор хирургов при проведении операции.

Цель. Изучить показания к применению тампонады силиконовым маслом, а также осложнения послеоперационного периода при его применении на основе обзора литературных данных и собственных исследований.

Материал и методы исследования. Был проведен анализ публикаций на таких ресурсах как pubmed, elibrary, medline за последние 30 лет. Были проанализированы 34 источника литературы, в которые включены результаты собственных клинических исследований.

Ключевые слова: силиконовое масло, отслойка сетчатки, витреальная хирургия

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: автор не получал финансирования при проведении исследования и написании статьи.

Для цитирования: Ташмухамедов А.А. Силиконовое масло: физические свойства и клиническое применение (обзор литературы). The EYE ГЛАЗ. 2020;22(4):42–49. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-4-42-49>

Поступила: 06.07.2020

Принята после доработки: 12.11.2020

Опубликована: 14.12.2020

© Ташмухамедов А.А., 2020.

Результаты. Анализ источников литературы показал, что в качестве постоянной тампонады силиконовые масла действительно очень полезны. Несмотря на то, что газы могут быть использованы для восстановления гигантского разрыва сетчатки, силиконовые масла используются чтобы минимизировать риск послеоперационного кровотечения, сохранить сетчатку прикрепленной при тяжелых травмах глаза. Одним из основных вопросов, касающихся использования силиконовых масел, является послеоперационное повышение внутриглазного давления (ВГД). Для снижения риска развития послеоперационных осложнений нами предложены способы введения и оптимальные сроки удаления силиконового масла.

Вывод. Силиконовое масло является оптимальным выбором для лечения и улучшения прогноза большинства заболеваний сетчатки. Важным параметром выбора в пользу использования силиконового масла в качестве тампонады – время, которое запрашивается для тампонады.

Silicone oil: physical properties and clinical use (a literature review)

Aziz A. TashmukhamedovTashkent Pediatric Medical Institute,
223 Bogishamol street, Tashkent, Republic of Uzbekistan, 100140

Abstract

Introduction. In modern vitreoretinal surgery, silicone oil is used for replacing the vitreous body during vitrectomy. This surgery is performed to treat retinal detachment, proliferative retinopathy, giant retinal tears and severe eye injuries. In this regard, it seems especially relevant to provide a description of the physical characteristics of silicone oils that determine the choice of surgeons.

Purpose. To study indications for the use of silicone oil tamponade as well as possible complications associated with its use based on a literature review and own research.

Materials and methods. We analyzed literature on PubMed, eLibrary, and Medline over the past 30 years.

Keywords: silicone oil, retinal detachment, vitreal surgeries

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Funding: the author received no specific funding for this work.

Overall, 34 sources of literature were reviewed, including results of our own clinical studies.

Results. Literature review has shown that silicone oils are very useful as a permanent tamponade. Although gas tamponade can be used for giant retinal tear management, silicone oils are used for minimizing the risk of post-surgical bleeding and reattach detached retinas in case of severe eye injuries. One of the main issues related to the use of silicone oils is the post-surgical increase in IOP. To reduce the risk of such complication, we have proposed methods of infusion and optimal schedule of silicone oil removal.

Conclusion. Silicone oil is the optimal choice for treating most retinal diseases and improving their prognosis. An important criterion for choice of silicone oil is the time that is required for tamponade.

For citation: Tashmukhamedov A.A. Silicone oil: physical properties and clinical use (a literature review). The EYE GLAZ.2020;22(4):42–49. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-4-42-49>

Received: 06.07.2020

Accepted: 12.11.2020

Published: 14.12.2020

© Tashmukhamedov A.A., 2020.

Введение

Силиконовое масло является важным средством в хирургии стекловидного тела и сетчатки, и его внедрение стало ключевым моментом в офтальмологии благодаря его физическим и химическим свойствам [1]. Силиконовые масла в основном используются в качестве внутриглазной тампонады за счет их способности поддерживать адгезию между сетчаткой и пигментным эпителием сетчатки (ПЭС).

Безопасное и эффективное использование тампонадных веществ предполагает знание их физических и химических свойств, поскольку именно на основе этих знаний хирурги должны решить, какой тип тампонады им следует использовать.

Физические свойства тампонад и их клиническое значение

Чтобы быть эффективным в качестве внутренней тампонады, силиконовое масло должно обладать способностью вытеснять водянистую влагу с поверхности сетчатки. Следующие 4 физических параметра влияют на эту функцию [2].

1. *Удельный вес (УВ, единицы измерения в системе СИ Н/м³).* Это объясняет, почему внутриглазная тампонада тонет или плавает в водянистой влаге. Любые вещества с УВ равным 1, имеют нейтральную плавучесть в воде, вещества с УВ превышающим 1 более плотные, чем вода, и поэтому будут тонуть в ней, а вещества с УВ меньше 1 будут менее плотными, чем вода, и поэтому будут плавать. Удельный вес водянистой влаги и стекловидного тела (УВ = 1,0036) немного выше, чем у воды (УВ = 1,00). Поскольку удельный вес силиконовых масел для сравнения немного ниже (УВ = 0,97), они плавают в полости стекловидного тела.

2. *Плавучесть.* На внутриглазной пузырь тампонирующего агента действуют две противоположные силы: плавучесть (восходящая сила) и сила тяжести пузыря (нисходящая сила). Принцип Архимеда указывает, что восходящая выталкивающая сила, действующая на тело, полностью или частично погруженное в жидкость, равна массе жидкости, которую вытесняет тело. Принцип Архимеда – это фундаментальный физический закон механики жидкости. Что касается тампонирующих агентов в полости стекловидного тела, результатом является сила, с которой пузырь давит на сетчатку. Для силиконового масла «прижимная» сила относительно невелика, поскольку удельный вес близок к удельному весу воды. «Прижимная» сила наибольшая с воздухом или газом, так как их удельный вес очень низкий и равен 0,001.

3. *Межфазное натяжение.* Когда два несмешивающихся агента используются вместе (например, силиконовое масло и водянистая влага), взаимодействие, которое происходит на поверхности этих веществ, называется межфазным натяжением. Межфазное натяжение – это физическая оценка разницы между межмолекулярной силой двух жидкостей, и оно отвечает за форму пузырьков жидкости. Следовательно, вещество с высоким межфазным натяжением будет иметь большую тенденцию оставаться в виде одного большого пузырька без рассеивания на маленькие пузырьки. Газ или воздух имеют самое высокое межфазное натяжение по отношению к воде (около 80 мН/м), тогда как перфторуглеродные соединения (ПФОС) и силиконовые масла имеют более низкое межфазное натяжение – около 40–45 мН/м и 35 мН/м соответственно.

4. *Вязкость.* Вязкость – это физическое свойство жидкости, которая измеряет ее устойчивость к постепенной деформации под действием напряжения сдвига. Тенденция вещества к эмульгированию и диспергированию в капли со временем также зависит от его вязкости. Чем менее вязкое вещество, тем ниже энергия, необходимая для рассеивания большого пузырька вещества на маленькие капли. Силиконовые масла имеют высокую вязкость (1000–5000 сСт), и после диспергирования мелкие капли будут иметь тенденцию к обратному смачиванию в виде большого пузыря.

Химические свойства

Силиконовое масло – это термин, обычно используемый для описания группы гидрофобных полимерных и мономерных соединений, состоящих из кремний-кислородных связей и называемых органосилоксанами [3]. Из-за своей вязкости и способности отталкивать воду они называются маслами.

Силиконовые масла состоят из линейной цепи силоксановых повторяющихся звеньев ($-\text{Si}-\text{O}-$) и множества боковых цепей (радикальных боковых групп). Те, которые используются в офтальмологии, имеют углеводородные радикалы в качестве боковых радикальных групп (например, метильную, фенильную, винильную и трифторпропильную группы). Эти компосты присоединены к атому кремния и могут иметь множество различных комбинаций. Следовательно, один атом кремния может связывать две радикальные группы одного типа (например, диметилсилоксан) или две разные группы (например, фенилметилсилоксан). Основные различия между силиконовыми маслами зависят от молекулярной массы (ММ), длины линейной цепи и химической структуры боковых радикальных групп,

концевого радикального звена полимерных цепей и распределения по размерам цепи. Таким образом, каждый тип силиконового масла имеет специфические химические и физические характеристики.

Вязкость различных типов силиконового масла, выраженная в сантистоксах ($1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), зависит от молекулярной массы и длины полимеров: увеличение молекулярной массы силиконового масла приводит к увеличению длины цепи полимера и, следовательно, увеличению его вязкости. Силиконовые масла, используемые в настоящее время, имеют вязкость в диапазоне от 1000 (МВт 37 кДа) до 5000 сСт (МВт 65 кДа).

Чтобы создать эффект тампонады на верхнюю или нижнюю сетчатку, силиконовые масла обладают способностью быть легче или тяжелее воды, это свойство возникает из-за боковых радикальных групп. Силиконовые масла первого поколения легче воды, поэтому наиболее часто используются и называются полидиметилсилоксаном. Их вязкость составляет от 1000 до 30000 сСт.

Физические свойства

Целью использования силиконового масла в качестве заменителя стекловидного тела является обеспечение кратковременной или длительной тампонады сетчатки. Динамика силиконового масла зависит от взаимодействия между плавучестью, поверхностным натяжением и вязкостью. Плавучесть возникает из-за разницы в удельном весе между водным (или стекловидным) телом и выбранным силиконовым маслом. Как мы видели в начале этой статьи, удельный вес определяет, будет ли заменитель стекловидного тела погружаться или плавать в водянистой влаге. По сравнению с водой удельный вес водянистой влаги и стекловидного тела немного выше, а плотность силиконового масла немного ниже (0,97). Следовательно, силиконовое масло плавает внутри полости стекловидного тела, а сила выталкивания определяется как плавучесть. Эта сила максимальна на вершине и постепенно уменьшается до нуля на горизонтальном мениске. Следовательно, тампонадная сила возникает из-за разницы в плотности между водянистой влагой, стекловидным телом и пузырьком силиконового масла. Тем не менее, плавучесть не действует на одну точку, а распространяется на ограниченную область, и по этой причине она создает давление (сила/единица площади) [3]. Поверхностное натяжение отвечает за форму капель жидкости, потому что оно описывает силы, которые стремятся удерживать пузырь целым. Как правило, для силиконового масла 1000 сСт оно составляет 40 мН/м (при 25° С), что составляет примерно одну треть от того, что образуется в пузырьке воздуха. Существует несколько факторов, которые могут влиять на поверхностное натяжение пузырька силиконового масла после его введения в глаз. Во-первых, вязкость: чем выше вязкость, тем выше поверхностное натяжение. Это одна из причин, по которой считает-

ся, что силиконовые масла с более высокой вязкостью эмульгируются реже, чем силиконовые масла с более низкой вязкостью. Существует множество факторов, которые могут снижать поверхностное натяжение: вязкоупругие растворы, кровь, белки, липиды и ионизированные растворы (например, биологические жидкости). Если они присутствуют в полости стекловидного тела при введении силиконового масла, то могут снизить поверхностное натяжение и, следовательно, привести к эмульгированию.

Имеет ли вязкость реальную разницу в скорости эмульгирования?

Основной постоянной проблемой при использовании силиконовых масел в качестве заменителей стекловидного тела является их склонность к эмульгированию. Эмульгирование означает образование небольших масляных капель на границе между масляным пузырем и внутриглазными жидкостями или тканями, и это вызывает дисперсию этих капель в водянистой влаге и в стекловидном теле с последующим более высоким риском пролиферативной витреоретинопатии, неприлегания отслоенной сетчатки, воспаления, вторичной глаукомы и кератопатии даже после удаления силиконового масла [4, 5]. Фактически, будучи покрытыми эмульгаторами, капли остаются диспергированными, проходят через разрывы сетчатки или через зоны в передний сегмент и вызывают воспаление и активацию нейтрофилов [6].

Тенденция к эмульгированию зависит от нескольких факторов. Были изучены поверхностное натяжение, вязкость, химический состав, содержание силоксановых соединений с низкой ММ или другими примесями, а также поглощение различных биологических веществ из внутриглазных жидкостей и тканей (названных эмульгаторами). Все вышеперечисленные факторы могут участвовать в процессе эмульгирования [3].

Наличие силоксановых соединений с низкой ММ играет важную роль. Для данной вязкости силиконовое масло с самым низким средним значением ММ будет эмульгироваться быстрее, в то время как очищенное силиконовое масло с более высоким средним значением ММ будет демонстрировать лучшую биосовместимость и более высокую устойчивость к эмульгированию и, следовательно, очень важно удалять соединения с низкой ММ во время процесса очистки из силиконового масла. Поскольку силиконовое масло с более высокой вязкостью имеет более низкую склонность к эмульгированию, многие хирурги предпочитают такие типы силиконового масла, например с вязкостью 5000 сСт, особенно когда масло предназначено для использования в качестве длительной или постоянной тампонады.

Однако есть несколько исследований, демонстрирующих *in vitro*, что увеличение вязкости силиконового масла уменьшает тенденцию к эмульгированию [7–9], и коммерчески доступные

силиконовые масла 1000 сСт и 5000 сСт не имеют клинически значимой разницы в эмульгировании [10]. Несмотря на различие в вязкости, силиконовые масла 1000 сСт и 5000 сСт имеют почти одинаковое поведение, поскольку в действительности существует много других определяющих факторов, влияющих на тенденцию к эмульгированию: во-первых, потому что, несмотря на заметную разницу вязкости, 1000 сСт и 5000 сСт, силиконовые масла имеют почти одинаковое поверхностное натяжение (21,2 мН/м и 21,3 мН/м соответственно) [3]; во-вторых, потому что хотя коммерчески доступные препараты силиконовых масел 1000 сСт и 5000 сСт достигли высокой степени чистоты, чтобы минимизировать риск эмульгирования силиконового масла, присутствие примесей в масле, таких как молекулы с низкой молекулярной массой, все еще может быть; в-третьих, потому что оказавшись внутри стекловидного тела силиконовое масло адсорбирует биологические растворы из глазных жидкостей, крови или тканей – такие как липопротеины, холестерин и ретинол [2, 3]. Каждый из этих компонентов является эмульгатором, поскольку контакт этих веществ с пузырьком силиконового масла снижает их поверхностное натяжение и, следовательно, увеличивает тенденцию к эмульгированию. Отсюда легко понять, почему в случаях кровоизлияний и воспалений, а точнее, когда концентрация этих эмульгаторов высока, риск эмульгирования силиконового масла выше.

Из данных литературы известно, что эмульгирование происходит через несколько месяцев. В исследовании 150 глаз Федерман и Шуберт [5] обнаружили, что эмульгирование силиконового масла происходит в 1% через 1 месяц, в 11% через 3 месяца, в 85% через 6 месяцев и в 100% через 12 месяцев. Следовательно, эмульгирование зависит от времени [11] и, предположительно, от комбинации саккадного движения, разницы в плотности внутриглазных жидкостей и силиконового масла, постепенного уменьшения поверхностного натяжения масла на поверхности раздела вследствие адсорбции поверхностно-активных компонентов из внутриглазных жидкостей [3, 8, 9]. С появлением микроинцизионной витреоретинальной хирургии предпочтение отдают менее вязким силиконовым маслам, которые легче вводить и удалять с помощью небольших инструментов и канюль. Однако более вязкое силиконовое масло с меньшей вероятностью будет эмульгироваться. По этой причине были изучены новые силиконовые масла с возрастающей вязкостью при растяжении [12–15]. Эти типы силиконовых масел получают добавлением небольшого количества (около 5–10%) силиконовых молекул с очень длинной цепью к обычному силиконовому маслу. Преимущество силиконового масла с увеличивающейся вязкостью при растяжении, по-видимому, заключается в повышенной устойчивости к эмульгированию при сохранении низкой вязкости и, следовательно, в более простом

впрыскивании и удалении с помощью инструментов малого калибра по сравнению с маслами одного сорта с эквивалентной сдвиговой вязкостью. На сегодняшний день существует всего несколько публикаций об использовании новых типов силиконовых масел и все они *in vitro*. Основная концепция этих испытаний заключается в том, что смеси силиконовых масел, содержащие небольшие процентные доли высокомолекулярного вещества того же химического состава, что и объемное масло, более устойчивы к эмульгированию и их легче вводить, чем односортовые масла с эквивалентной сдвиговой вязкостью. Тем не менее, Maier et al. в публикации о клиническом использовании сообщили о двух случаях раннего эмульгирования силиконового масла 2000 сСт (Siluron 2000, Fluoron, Neu-Ulm, Germany) [16]. В литературе пока нет доказательств того, что эти новые типы силиконовых масел имеют более низкую склонность к эмульгированию, и поэтому необходимы дальнейшие клинические исследования в этой области.

Потенциальное осложнение, связанное с послеоперационным контролем внутриглазного давления (ВГД)

Поскольку при витреоретинальной хирургии возможны различные осложнения, важно понять, связаны ли они с использованием силиконового масла или связаны с основной патологией и другими аспектами хирургического вмешательства. Одним из важных вопросов, касающихся использования силиконовых масел, является послеоперационное повышение ВГД. На самом деле, после витрэктомии с введением силиконового масла нередки случаи послеоперационного повышения ВГД. В исследованиях Silicone Study при использовании традиционного силиконового масла хроническое повышенное ВГД было зарегистрировано в 8% случаев через 36 месяцев [17]. Однако по данным литературы заболеваемость колеблется от 2 до 40% [10, 18]. Причины повышенного ВГД являются многофакторными, но схематически выделяют **3 типа механизмов**.

1. Глаукома со зрачковым блоком: она может развиться в любое время, но чаще в раннем послеоперационном периоде (от нескольких дней до нескольких недель). Афакичные глаза имеют больший риск по сравнению с факичными/артифакичными глазами. В любом случае блок возникает, когда водянистая влага не может циркулировать в передней камере из-за присутствия пузырька силиконового масла с последующим неправильным током влаги, мелкой передней камерой и повышенным ВГД. Терапия заключается в выполнении нижней иридэктомии (или ее открытии) с помощью YAG-лазера. В случае неэффективности может быть рассмотрена другая операция.

2. Переполнение силиконовым маслом: это состояние также чаще встречается в раннем послеоперационном периоде и обычно хорошо поддается лечению. Однако, если ВГД остается слишком вы-

соким, может потребоваться повторная операция с частичным удалением силикона.

3. Хроническое повышение ВГД: хотя первые два механизма были связаны с наличием целого пузыря силиконового масла, хроническое повышение ВГД обычно связано с эмульгированием силикона и последующей миграцией капель силиконового масла в угол передней камеры. Эмульгированные капли могут блокировать трабекулярную сеть и развить трабекулит. По этой причине терапия данного осложнения заключается в применении местных или периокулярных инъекций стероидов, антиглаукоматозных капель и, в конечном итоге, удалении силиконового масла с тщательным вымыванием эмульгированных капель из передней камеры. К сожалению, когда трабекулярная сеть повреждена, ВГД не возвращается в нормальный диапазон, и, следовательно, может потребоваться антиглаукоматозная операция. В связи с этим, для лечения рефрактерной глаукомы были исследованы устройства для дренажа. Ishida et al. обнаружили, что хронически повышенное ВГД можно хорошо контролировать с помощью дренажа Ahmed [19]. Однако в исследовании Wong et al. обнаружили, что более высокое ВГД в раннем послеоперационном периоде связано с использованием тяжелого силиконового масла (Densiron-68) по сравнению с обычным силиконовым маслом [20].

Показания к применению тампонады силиконовым маслом

История применения силиконового масла в офтальмохирургии очень коротка по сравнению с другими оперативными вмешательствами. Фактически в США силиконовое масло в качестве внутриглазной тампонады было одобрено Федеральным управлением по контролю за лекарственными средствами только в 1996 году. С тех пор его применение очень быстро возросло. Первыми показаниями были осложненная отслойка сетчатки вследствие пролиферативной витреоретинопатии (ПВР) или вирусного ретинита, гигантские разрывы сетчатки, травмы и тяжелые формы пролиферативной диабетической ретинопатии [21, 22]. Новыми возможными показаниями являются отслоение сетчатки из-за макулярного разрыва при миопии высокой степени [23, 24], макулярное отверстие длительной давности, отслойка сетчатки с гигантскими разрывами [25] и хронический увеит с гипотонией [26] – т.е., когда требуется долгосрочная тампонада. В случае отслоения сетчатки обычно выполняют удаление силиконового масла через 3–6 месяцев, так как считается, что этого времени достаточно для восстановления глаза с минимальным риском развития ПВР. Силиконовое масло также является первым выбором для пациентов, специальность которых требует частых перелетов, или для пациентов, которые не могут поддерживать правильное послеоперационное позиционирование, например, детям или пожилым пациентам.

Многоцентровые рандомизированные клинические исследования Silicone Study, сравнивающие силиконовое масло и газы длительного действия при лечении глаз с тяжелой ПВР, показали, что силиконовые масла превосходят перфторорганические соединения (ПФОС) – газообразный гексафторид серы (SF₆) и газ перфторпропан (C₃F₈). Однако, если мы рассмотрим некоторые подгруппы, то станет ясно, что использование силиконового масла было лучше в случае расслабляющей ретиномии, тяжелой передней ПВР, при трудности в поддержании послеоперационного позиционирования и необходимости совершать полеты или путешествовать в высокогорные местности. Напротив, использование C₃F₈ имело относительные показания для следующих случаев: у пациентов с нарушением иридохрусталиковой диафрагмы из-за высокой вероятности контакта тампонирующего вещества с роговицей; с верхними разрывами сетчатки на заднем крае склерального циркляжа, потому что газ лучше, чем силиконовое масло, соответствует наклону циркляжа; и с наличием силиконовой интраокулярной линзы с дефектом задней капсулы [27–29].

Основанием для использования силиконового масла при лечении пролиферативной диабетической ретинопатии (ПДР) является уменьшение послеоперационных кровоизлияний и наличие тяжелой неоваскуляризации переднего сегмента [30]. Это связано с тем, что силиконовое масло может предотвращать поступление вазопротрофирующих факторов в передний сегмент, уменьшая риск рубцового поражения радужки и сосудистой глаукомы. Поэтому также используют силиконовое масло после витрэктомии по поводу ПДР из-за развития ПВР.

Применение силиконового масла для закрытия макулярного разрыва очень спорно. В нашей клинике мы никогда не используем силиконовое масло в качестве первой тампонады при операциях по поводу макулярного разрыва за исключением некоторых особых случаев. Мы предпочитаем газ по многим причинам: газ имеет более высокое поверхностное натяжение и лучшую плавучесть, и для его удаления не требуется повторной операции. Эта методика хорошо известна в настоящее время, и вероятность успеха с использованием газа очень высока [31].

До появления ПФОС силиконовое масло использовали при лечении гигантских разрывов сетчатки как послеоперационную тампонаду. В качестве внутриглазного средства силиконовое масло применяли для облегчения расправления и разглаживания отслоенной сетчатки и ее разрывов. Сегодня для этой цели предпочитают использовать ПФОС, потому что они менее травматичны и проще в обращении.

В качестве постоянной тампонады силиконовые масла действительно очень полезны. Хотя газы могут быть использованы для восстановления гигантского разрыва, во всех других случаях в качестве внутриглазной тампонады предпочтительнее сили-

коновое масло до тех пор, пока не будет уверенности, что сетчатка восстановилась.

Появление новых материалов и совершенствование витреоретинальной хирургии улучшили прогноз травмированного глаза [32, 33]. Силиконовые масла используются, чтобы минимизировать риск послеоперационного кровотечения, сохранить сетчатку прикрепленной при тяжелых травмах. Зачастую для получения разумного анатомического и функционального результата требуется несколько операций. После удаления силиконового масла высокая частота рецидивов обычно обусловлена развитием отслойки сетчатки и/или ПВР, что требует новой операции. В связи с этим рекомендуется оставлять силиконовое масло на несколько месяцев, поскольку считается, что пролиферативный процесс в случаях проникающей травмы глаза продолжается в течение более длительного периода времени по сравнению со случаями с нетравматической отслойкой сетчатки.

Хирургические методики

Введение силиконового масла. Сегодня силиконовые масла в основном используются в качестве длительной внутриглазной тампонады, потому что недавнее введение в витреальную хирургию ПФОС снизило использование силиконовых масел в качестве интраоперационного средства.

В современных системах витреэктомии введение и удаление силиконовых масел осуществляется с помощью шприца, соединенного с насосом, который контролируется хирургом ножной педалью. Поскольку, согласно закону Пуазейля, поток жидкости в трубе пропорционален радиусу трубы в четвертой степени и обратно пропорционален длине трубы, а также из-за высокой вязкости и высокого давления, которые требуются для введения силиконового масла в полость стекловидного тела, были разработаны специальные устройства. Поэтому система состоит из большого шприца и максимально короткой инфузионной линии из нерастяжимого материала. Большой шприц необходим, потому что он должен выдерживать высокое давление инфузии, в то время как короткая линия инфузии важна для уменьшения сопротивления во время инъекции и удаления силикона. Использование нерастяжимого материала важно во избежание того, что после прекращения инъекции произойдет дальнейшая нежелательная инъекция, когда растянутая трубка возвращается к своему нормальному диаметру, заставляя больше силикона попадать в глаз [33, 34].

Есть 3 хирургических метода:

1. Обмен жидкость–силикон.
2. Воздушно-силиконовый обмен.
3. Перфторуглеродный жидко-силиконовый обмен (так называемый прямой обмен).

Жидко-силиконовый обмен не проводят, потому что из-за низкого поверхностного натяжения велик риск того, что силиконовое масло попадет в суб-

ретинальное пространство через разрыв сетчатки. Выбор воздуха, а не обмен ПФОС на силиконовое масло, зависит от двух основных причин: возможная ретиномия или наличие переднего разрыва. Если разрыв происходит в средней периферии или на заднем полюсе, обычно сначала выполняют жидкостно-воздушный обмен с внутренним дренажом субретинальной жидкости, а затем, когда сетчатка разглаживается под воздухом, воздушно-силиконовый обмен. Если была применена расслабляющая ретиномия или разрыв сетчатки локализован спереди, предпочитают выполнять прямой обмен между ПФОС и силиконовым маслом, чтобы избежать соскальзывания заднего края разрыва. В этом случае подключают шприц к линии инфузии и экстразионную иглу помещают в полость стекловидного тела. Таким образом, пока хирург впрыскивает силиконовое масло, нажимая на педаль, для удаления ПФОС может использоваться либо пассивная, либо активная аспирация.

Что касается переднего сегмента, особое внимание должно быть обращено на пациентов с афакией. У этих пациентов нижняя иридэктомия является обязательной, чтобы избежать зрачкового блока. Иридэктомия позволяет водянистой влаге проходить под пузырьком силиконового масла и входить в переднюю камеру, не вызывая зрачкового блока [34].

Удаление силиконового масла. Также, что касается удаления силиконового масла, есть несколько методов. Некоторые хирурги предпочитают удалять силиконовые масла, используя двухпортовую систему – одну для инфузионной линии, а другую для аспирации тампонады. Используя эту технику, возможно также пассивно удалять силиконовое масло через небольшой разрез роговицы в афакичных глазах. В конце процедуры хирурги должны контролировать прикреплена ли сетчатка глаза с помощью бинокулярного непрямого офтальмоскопа. В настоящее время эту технику используют редко по нескольким причинам: нет возможности прямого контроля внутриглазного давления и нет возможности убедиться, что силиконовое масло полностью удалено. Наконец, с помощью этой техники невозможно удалить силиконовые масла, которые тяжелее воды. Поэтому для удаления силиконового масла чаще выполняют стандартную трехпортовую витректомию pars plana с аппаратом, где возможно поддерживать IOP на уровне 20–25 мм рт. ст. и вакуум от 0 до 650 мм рт.

После удаления пузырька силиконового масла выполняют несколько обменов жидкость–воздух, чтобы удалить каждую маленькую каплю силиконового масла, оставшуюся внутри глаза. Если эмульгированные капли остаются в передней камере, их удаление через небольшой разрез роговицы является обязательным для минимизации послеоперационного риска осложнений, таких как силиконовая кератопатия и вторичная глаукома.

Для факичных глаз решение о том, менять хрусталик или нет, зависит от наличия катаракты и воз-

раста пациента. Если есть значительная катаракта, обычно удаляют хрусталик до витреоретинальной хирургии. Если хрусталик прозрачный, решение зависит от возраста пациента: у пациентов старше 50 лет предпочтительно менять хрусталик, потому что через несколько месяцев после операции, как правило, развивается катаракта. В этом случае проводят комбинированную факоэмульсификацию, имплантацию ИОЛ и удаление силиконового масла.

Выводы

Силиконовые масла являются очень полезными хирургическими средствами, потому что они способны упростить хирургическое лечение многих витреоретинальных заболеваний. Благодаря современным системам для проведения витректомии и возможности использования различных видов тампонад, прогноз некоторых заболеваний улучшился. В соответствии с витреоретинальной патологией можно выбирать из множества тампонад и выбрать лучшую в отношении основного заболевания. В зависимости от ситуации и продолжительности тампонады также можно решить, какая из различных характеристик эндотампонады будет

наиболее важной. Тем не менее, нужно помнить, что есть некоторые шаги, такие как полное удаление любой тракции, которые имеют решающее значение для успеха операции.

Решение об использовании силиконового масла может быть принято как до, так и во время операции. Первым и наиболее важным параметром выбора является время, которое, по мнению хирурга, необходимо для тампонады. Перед операцией крайне важно принять во внимание тип витреоретинального заболевания (например, есть ли ПВР и высокий ли риск повторной операции), послеоперационное положение, потому что, если известно, что для пациента невозможно поддержание определенного послеоперационного положения (например, детям), может быть силиконовое масло будет лучшим выбором вместо другой тампонады. Однако, даже если не планировали использование долгосрочной тампонады, иногда во время операции приходится решать этот вопрос. Например, проведение ретинотомии или возникновение осложнений, таких как внутриглазное кровотечение, может склонить хирурга к выбору силиконового масла.

Список литературы / References

1. Foster W.J. Vitreous substitutes. Expert Review of Ophthalmology. 2008;3 (2):211–218.
2. Jousseaume A.M., Wong D. The concept of heavy tamponades – chances and limitations. Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. 2008;246 (9):1217–1224.
3. Ryan J.S. Silicone oils: physicochemical properties. Elsevier Mosby, 4th edition. Retina. 2006;3:2191–2210.
4. Chan C., Okun E. The question of ocular tolerance to intravitreal liquid silicone: a long-term analysis. Ophthalmology. 1986;93 (5):651–660.
5. Federman J.L., Schubert H.D. Complications associated with the use of silicone oil in 150 eyes after retina-vitreous surgery. Ophthalmology. 1988;95 (7):870–876.
6. Kociok N., Gavranic C., Kirchhof B., Jousseaume A.M. Influence on membrane-mediated cell activation by vesicles of silicone oil or perfluorohexyloctane. Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. 2005; 243 (4):345–358.
7. Crisp A., de Juan Jr.E., Tiedeman J. Effect of silicone oil viscosity on emulsification. Archives of Ophthalmology. 1987;105 (4):546–550.
8. Heidenkummer H., Kampik A., Thierfelder S. Experimental evaluation of in vitro stability of purified polydimethylsiloxanes (silicone oil) in viscosity ranges from 1000 to 5000 centistokes. Retina. 1992;12 (3):28–32.
9. Heidenkummer H., Kampik A., Thierfelder S. Emulsification of silicone oils with specific physicochemical characteristics. Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. 1991;229 (1):88–94.
10. Scott I.U., Flynn Jr.H. W., Murray T.G., Smiddy W.E., Davis J.L., Feuer W.J. Outcomes of complex retinal detachment repair using 1000-versus 5000-centistoke silicone oil. Archives of Ophthalmology. 2005;123 (4):473–478.
11. Toklu Y., Cakmak H.B., Ergun S.B., Yorgun M.A., Simsek S. Time course of silicone oil emulsification. Retina. 2012;32 (10):2039–2044.
12. Williams R.L., Day M., Garvey M.J., English R., Wong D. Increasing the extensional viscosity of silicone oil reduces the tendency for emulsification. Retina. 2010;30 (2):300–304.
13. Caramoy A., Schreoder S., Fauser S., Kirchhof B. *In vitro* emulsification assessment of new silicone oils. The British Journal of Ophthalmology. 2010;94(4):509–512.
14. Williams R.L., Day M.J., Garvey M.J. et al. Injectability of silicone oil-based tamponade agents. The British Journal of Ophthalmology. 2011;95 (2):273–276.
15. Caramoy A., Hagedorn N., Fauser S., Kugler W., Groz T., Kirchhof B. Development of emulsification-resistant silicone oils: can we go beyond 2000 mPas silicone oil? Investigative Ophthalmology and Visual Science. 2011;52 (8):5432–5436.
16. Maier M.M., Engelmann V., Pfrommer S., Perz C., Lohmann C. Early emulsification of silicone oil (2000 cs) in minimally invasive transconjunctival vitreoretinal surgery. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde. 2011;228 (5):477–479.
17. Barr C.C., Lai M.Y., Lean J.S. et al. Postoperative intraocular pressure abnormalities in the silicone study: silicone study report 4. Ophthalmology. 1993;100 (11):1629–1635.
18. Honavar S.G., Goyal M., Majji A.B., Sen P.K., Naduvilath T., Dandona L. Glaucoma after pars plana vitrectomy and silicone oil injection for complicated retinal detachments. Ophthalmology 1999;106 (1):169–176.
19. Ishida K., Ahmed I.I.K., Netland P.A. Ahmed glaucoma valve surgical outcomes in eyes with and without silicone oil endotamponade. Journal of Glaucoma. 2009;18 (4):325–330.
20. Wong D., Kumar I., Quah S.A., Ali H., Valdeperas X., Romano M.R. Comparison of postoperative intraocular pressure in patients with Densiron-68 versus conventional silicone oil: a case-control study. Eye. 2009;23 (1):190–194.
21. Pastor J.C. Proliferative vitreoretinopathy: an overview. Survey of Ophthalmology. 1998;43 (1):3–18.
22. Azen S.P., Scott I.U., Flynn Jr.H.W. et al. Silicone oil in the repair of complex retinal detachments: a prospective observational multicenter study. Ophthalmology, 1998;105 (9):1587–1597.
23. Nadal J., Verdaguer P., Canut M.I. Treatment of retinal detachment secondary to macular hole in high myopia: vitrectomy with dissection of the inner limiting membrane to the edge of the staphyloma and long-term tamponade. Retina. 2012;32 (8):1525–1530.

24. Ortisi E., Avitabile T., Bonfiglio V. Surgical management of retinal detachment because of macular hole in highlymyopic eyes. *Retina*. 2012;32 (9):1704–1718.
25. Wei Y., Li Y., Chen F. Vitrectomy treatment of retinal detachments related to choroidal coloboma involving the disk. *Retina*. 2014;34 (6):1091–1095.
26. Kapur R., Birnbaum A.D., Goldstein D.A. et al. Treating uveitis-associated hypotony with pars plana vitrectomy and silicone oil injection. *Retina*. 2010;30 (1):140–145.
27. Silicone Study Group. Vitrectomy with silicone oil or sulfur hexafluoride gas in eyes with severe proliferative vitreoretinopathy: results of a randomized clinical trial. Silicone study report 1. *Archives of Ophthalmology*. 1992;110 (6):770–779.
28. Silicone Study Group. Vitrectomy with silicone oil or perfluoropropane gas in eyes with severe proliferative vitreoretinopathy: results of a randomized clinical trial. Silicone study report 2. *Archives of Ophthalmology*. 1992;110 (6):780–792.
29. Silicone Study Group. Vitrectomy with silicone oil or perfluoropropane gas in eyes with severe proliferative vitreoretinopathy. Silicone study report no. 3. *Retina*. 1993;13 (4):279–284.
30. Heimann K., Dahl B., Dimopoulos S., Lemmen K.D. Pars plana vitrectomy and silicone oil injection in proliferative diabetic retinopathy. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 1989;27 (2):152–156.
31. Muselier A., Dugas B., Burelle X. et al. Macular hole surgery and cataract extraction: combined versus consecutive

surgery. *The American Journal of Ophthalmology*. 2010;150 (3):387–391.

32. Spiegel D., Nasemann J., Nawrocki J., Gabel V.P. Severe ocular trauma managed with primary pars plana vitrectomy and silicone oil. *Retina*. 1997;17 (4):275–285.
33. Ryan J.S. Silicone oils in vitreoretinal surgery. *Retina*. 2006; (3):2211–2234.
34. Tashmukhamedov A.A., Buzrukov B.T. Tamponade of the vitreous cavity with silicone oil in case of aphakia. *Journal of Biomedicine and Practice*. 2019;2 (3):29–35. <http://doi.org/10.26739/2181-9300-2019-3-3>. (In Uzbek)

Информация об авторе

Ташмухамедов Азиз Азадилаевич, соискатель базовой докторантуры (PhD) кафедры офтальмологии и кафедры детской офтальмологии Ташкентского педиатрического медицинского института; enterogermi888@gmail.com

Information about the authors

Aziz A. Tashmukhamedov, Candidate for a degree of PhD, Department of Ophthalmology and Pediatric Ophthalmology, Tashkent Pediatric Medical Institute; enterogermi888@gmail.com

«The EYE ГЛАЗ» – ЖУРНАЛ ДЛЯ ОФТАЛЬМОЛОГОВ И ОПТОМЕТРИСТОВ

Для вашего удобства мы внедрили современный online-вариант* подписки:

- годовая подписка (печатная и электронная версии) – 1 600 рублей;
- годовая подписка (электронная версия) – 1 200 рублей;
- покупка отдельного выпуска (электронная версия) – 300 рублей;
- покупка отдельной статьи выпуска (электронная версия) – 100 рублей.

*Необходимо предварительно зарегистрироваться на сайте www.theeyeglaz.com. По-прежнему доступна подписка через электронную почту glaz@tashoo.ru, по телефону +7 (495) 602-05-52 (доб. 1505), через АО «Почта России» (№ ПИ9060), podpiska.pochta.ru.

Журнал «The EYE ГЛАЗ» зарегистрирован Комитетом РФ по печати.
Регистрационный номер журнала ПИ № ФС77-74742 от 29 декабря 2018.
Журнал зарегистрирован ISSN International Centre ISSN 2222-1408
(Russian ed. Print), ISSN 2086-8083 (Online). Периодичность издания: 4 раза в год.

www.theeyeglaz.com

