

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОРИГИНАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ БИЛЕНСЭКТОМИИ НА ГЛАЗАХ С РАНЕЕ ИМПЛАНТИРОВАННЫМИ ЗАДНЕКАМЕРНЫМИ ФАКИЧНЫМИ ИОЛ

Моделирование ламинарного течения глазной жидкости с использованием программного комплекса FlowVision НРС показало практическое отсутствие движения потоков жидкости в верхнем контуре над частично вывихнутой в переднюю камеру факичной линзой при выполнении под ней всех этапов факоэмульсификации катаракты с имплантацией афакичной ИОЛ в процессе биленсэктомии по оригинальной методике, что подтверждено в эксперименте *ex vivo*.

Ключевые слова: Факоэмульсификация катаракты, факичные ИОЛ, технология биленсэктомии.

Актуальность

В 2006-2007 гг. была предложена оригинальная методика биленсэктомии (БЭК – удаление факичной ИОЛ с одновременной факоэмульсификацией катаракты и имплантацией эластичной афакичной ИОЛ эндокапсулярно) на глазах с ранее имплантированными заднекамерными факичными ИОЛ [1].

Особенность разработанной оригинальной трехэтапной БЭК заключается в выполнении всех этапов операции под частично вывихнутой в ПК, но не удаленной из глаза, факичной заднекамерной факичной ИОЛ (ФИОЛ).

Манипуляции начинаются с выполнением двух парацентезов (обычно на 10 и 14 часах), через которые ПК заполняется когезивным вискоэластиком. Выведение верхнего гаптического элемента ФИОЛ производится с помощью шпателя, заводимого со стороны гаптической части линзы по направлению к центру оптики в месте наименьшего размера ИОЛ путем ее вывихивания. После этого под неудаленной ФИОЛ с помощью цангового пинцета или иглы-цистотома выполняется круговой капсулорексис и с использованием бимануальных наконечников проводится факоаспирация и при необходимости механическое «перетиравание» вещества хрусталика. Затем один из парацентезов расширяется до 2,2 – 2,75 мм и через него при помощи инжектора имплантируется афакичная, эластичная ИОЛ.

Удаление ФИОЛ происходит на заключительном этапе с помощью тонкого ирис-пинцета и ножниц Ваннас. Через ранее расширенный один из парацентезов до 2,2 – 2,75 мм факичная линза фрагментируется на две части с последу-

ющим их поэтапным удалением из глаза. Все манипуляции проводятся под факичной линзой (нижний контур), таким образом, уменьшая травматизацию эндотелия роговицы.

Операция заканчивается вымыванием вискоэластика, гидратированием операционного разреза и парацентезов.

Цель работы

Расчетно-экспериментальное обоснование оригинальной методики биленсэктомии на глазах с ранее имплантированными заднекамерными факичными ИОЛ.

Материал и методы

Изучение потоков жидкости в оперируемом глазу, математическое моделирование распределения давления и скорости потоков жидкости при промывании передней камеры глаза, зависимости силы трения и давления на роговицу от расположения хирургических инструментов. В данной работе использовался программный комплекс FlowVision НРС [2], с помощью которого моделировалось ламинарное течение вязкой глазной жидкости. Геометрия передней камеры, капсулы хрусталика и хирургических инструментов импортировалась из стороннего пакета.

В качестве модели были использованы дифференциальные уравнения Навье-Стокса, которые описывают гидродинамику исследуемых потоков. Они решаются численными методами, с учетом имеющихся граничных условий. В результате чего определяются искомые параметры течения (давление, скорость) в различных точках исследуемой области.

Расчетная сетка, используемая во Flowvision НРС, является ортогональной, адаптивно локально измельченной и с подсеточным разрешением геометрии. Это позволяет адаптировать криволинейные поверхности прямоугольными сетками.

Сформулированные теоретические посылки были подтверждены в ряде проведенных экспериментов на кадаверных глазах человека.

В кадаверный глаз в ходе эксперимента имплантировалась факичная линза, нижний гаптический элемент которой располагался в задней камере между радужкой и естественным хрусталиком, а верхний – на радужке. Пространство над ФИОЛ заполняли когезивным вискоэластиком, объем которого фиксировался, после чего в нижнем контуре (под факичной линзой) производили капсулорексис и факоаспирацию хрусталика. Для лучшей визуализации потоков жидкостей при выполнении факоаспирации хрусталика инфузионную жидкость окрашивали водорастворимым красителем (синька).

В качестве дополнительного демонстрационного маркера при проведении эксперимента в переднюю камеру между эндотелеем роговицы и слоем тяжелого вискоэластика вводили маленький пузырек воздуха. Процесс факоаспирации хронометрировали. Провели пять аналогичных экспериментов на пяти кадаверных глазах человека. Три эксперимента с выполнением традиционной бимануальной факоаспирации, проведенные на трех кадаверных глазах человека, служили контролем.

Результаты и их обсуждение

В глазу при выполнении манипуляций под частично вывихнутой ФИОЛ образуются два пространства: верхние – между задней поверхностью роговицы и передней поверхностью ФИОЛ и нижние – между ФИОЛ и передней поверхностью хрусталика. Возникает система из двух независимых контуров, с независимыми потоками жидкостей: над и под ФИОЛ.

В процессе проведения БЭК в верхний контур вводится когезивный вискоэластик и тем самым создается дополнительное давление на ФИОЛ сверху. При проведении факоаспирации хрусталика с помощью бимануальной ирригационной – аспирационной системы в нижнем контуре, под линзой в объеме капсульного мешка естественного хрусталика, не происхо-

дит дополнительного давления на ФИОЛ снизу, в связи со сбалансированностью системы ирригации-аспирации жидкости. Выходу жидкости из нижнего контура дополнительно препятствует и давление когезивного вискоэластика, создаваемое в верхнем контуре (рис. 1).

Для подтверждения рассуждений математическим моделированием была разработана физическая модель, где ирригационная жидкость рассматривается как несжимаемая вязкая среда, находящаяся в условиях стационарного течения. Это предположение справедливо даже при наличии колебаний расхода ирригационной жидкости в широком диапазоне частот. Частота f , начиная с которой следует учитывать нестационарные волновые процессы, оценивалась по формуле $f = \frac{c}{L}$, где c – скорость звука в ирригационной жидкости, L – характерный размер области течения. Применительно к глазу: $L=10$ мм, следовательно, пороговое значение f равно не менее 10^5 Гц, и рассматриваемые процессы укладываются в этот диапазон.

При моделировании рассматривалась одна фаза – ирригационная жидкость с параметрами аналогичными параметрам внутриглазной жидкости: плотность $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, вязкость $\nu = 0.014 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Чтобы проверить не является ли течение турбулентным определяли число Рейнольдса,

$$Re = \frac{\rho \cdot L \cdot V}{\nu}, \text{ где } \rho - \text{плотность жидкости,}$$

V – скорость течения, ν – коэффициент динамической вязкости, L – характерный размер. В случае истечения ирригационной жидкости, L – диаметр трубки, который может достигать до 3 мм. Тогда имеем, что число Рейнольдса не превышает 90, что меньше критического значения $Re=2300$, свойственного течением в трубах. Следовательно, ирригационный поток жидко-

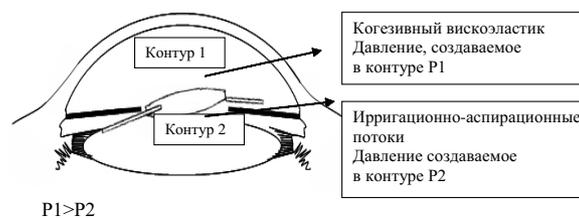


Рисунок 1. Система из двух контуров в глазу с заднекамерной факичной ИОЛ при выполнении БЭК по предложенной оригинальной методике

сти является ламинарным. В случае течений эмульсии в операционном поле, значение L имеет значение порядка 10мм, тогда $Re=300$, что тоже далеко от порогового значения. Следовательно, в данной задаче мы имеем дело только с ламинарными потоками жидкости.

БЭК рассматривалась как бимануальная факоаспирация хрусталика под ФИОЛ, когда используются ирригационный и аспирационный хирургические инструменты. Расстановка граничных условий представлена на рис.2А. На задней поверхности роговицы, ограничивающей поверхность передней камеры, хрусталика, хирургических инструментов был задан тип границы «стенка» с граничным условием для скорости «прилипание» (т. е. равна нулю). На торцевой поверхности ирригационного прибора было задано относительное давление 0 Па (отсчитывается от абсолютного давления равного 101000 Па). На торцевой поверхности аспирационного прибора – задана скорость аспирации 0.4 м/с.

В данной работе генерировалась определённая начальная сетка, которая затем адаптировалась в местах высоких градиентов переменных. Было проведено исследование сходимости по сетке. Рассматривались адаптации различных уровней и с различным числом слоёв. В качестве критерия сходимости по сетке было использовано усреднённое давление в центральной области роговицы. Так, количество расчётных ячеек в методе бимануальной факоаспирации под ФИОЛ оказалось равным 123877 (рис.2Б).

При бимануальной факоаспирации хрусталика под ФИОЛ, было проведено моделирование течения при варьировании различных параметров конфигурации приборов: углов перпендикулярных плоскости радужной оболочки глаза, углов параллельных плоскости радужки и глубины проникновения инструментов.

Рассматривались 9 различных ситуаций, из которых были выделены наилучшие и наихудшие положения. В качестве критерия для выбора использовались давление на центральную область задней поверхности роговицы (относительно давления на входе жидкости ирригационного прибора) и средняя скорость потока в центральной области роговицы (мера силы трения на роговице). Наилучший результат был получен, когда инструменты располагались симметрично под ФИОЛ и были направлены в центр хрусталика. Наихудшие результаты были получены, когда инструменты располагались под небольшим углом друг к другу и имели различную глубину проникновения.

При исследовании времени промывания передней камеры глаза при бимануальной факоаспирации хрусталика под ФИОЛ промывание считалось завершённым в момент, когда все участки исследуемой области (передняя камера и капсульный мешок хрусталика) заполнялись ирригационной жидкостью. В результате исследования было получено, что время промывания передней камеры глаза со-

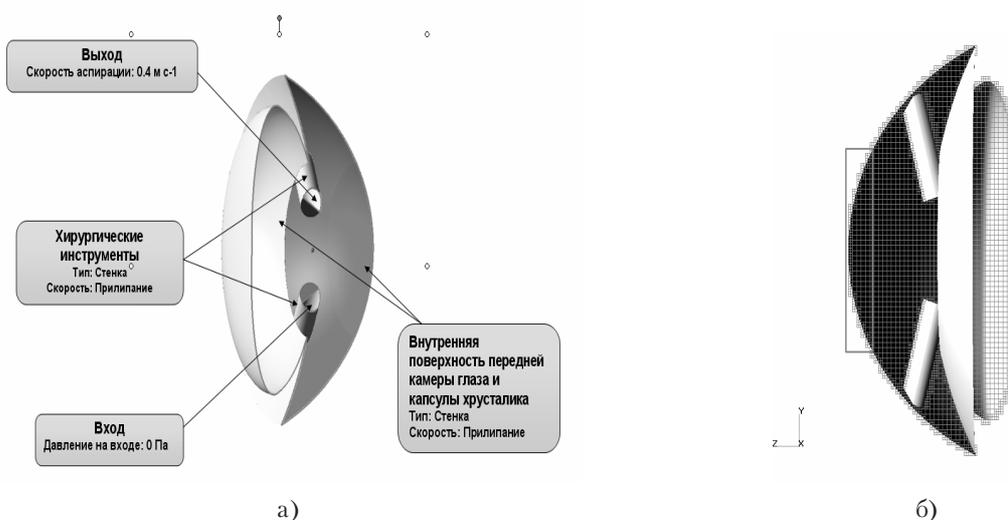


Рисунок 2. Расстановка граничных условий бимануальной факоаспирации (А) под факичной ИОЛ и расчетная сетка к ней (Б)

ставило 554 секунды (почти 10 минут). На самом деле реальное время промывания передней камеры глаза и капсульного мешка оказывается во много раз меньше (120 – 300 секунд, или 2 – 5 минут).

Таким образом, было проведено трехмерное численное моделирование операции факоаспирации хрусталика под факичной ИОЛ с процедурой промывания передней камеры глаза и капсульного мешка хрусталика. При этом были определены оптимальные положения инструментов при бимануальной факоаспирации хрусталика под факичной ИОЛ, при котором сила трения на центральную поверхность роговицы минимальна.

Результаты экспериментов на кадаверных глазах показали, что объем вискоэластика в верхнем контуре оставался постоянным на протяжении всего времени проведения эксперимента (не требовалось дополнительного введения вископротектора), конфигурация пузырька возду-

ха оставались постоянной в течение проведения факоаспирации.

Объем вискоэластика изменялся в ситуации обычной факоаспирации на кадаверном глазу, была отмечена необходимость увеличения ирригационного потока для поддержания объема передней камеры, что подтверждало наличие движения потоков жидкости в передней камере глаза.

Заключение

При проведении этапов факоэмульсификации катаракты и имплантации афакичной ИОЛ под частично вывихнутой факичной ИОЛ при проведении биленсектомии максимально минимизирует, вплоть до исключения, потоки жидкости в верхнем контуре над частично вывихнутой в переднюю камеру факичной линзой, а соответственно, исключает травматическое воздействие потоков жидкости на заднюю поверхность роговицы.

12.03.2013

Список литературы:

1. Агафонова В.В., Маршав Д.О., Керимова Р.С. Технологические особенности хирургии катаракты на глазах с ранее имплантированными заднекамерными факичными ИОЛ // Офтальмология. – 2009. – Т. 6 – №1. – С. 19-23.
2. Маршав Д.О., Вачнадзе К.Г., Шишаева А.С. Моделирование потоков жидкости в передней камере глаза // «Актуальные проблемы офтальмологии»: 5-я Всерос. науч. конф. молодых ученых: Сб. науч. Работ. – М., 2009. – С. 130-133.

Сведения об авторах:

Агафонова Виктория Вениаминовна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела хирургии катаракты и интраокулярной коррекции ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, e-mail: vicaag@mail.ru

Маршав Давид Отарович, врач-офтальмолог

Шацких Анна Викторовна, кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией патологической анатомии и гистологии глаза ЦМБП ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, e-mail: avsatik07@yandex.ru

UDC 617.741

Agafonova V.V., Marshava D.O., Shatskih A.V.

E-mail: vicaag@mail.ru; avsatik07@yandex.ru

EXPERIMENTAL CALCULATED RATIONALE OF ORIGINAL BILENSECTOMY TECHNIQUE IN EYES WITH PREVIOUSLY IMPLANTED POSTERIOR CHAMBER PHAKIC IOL

Simulation of the laminar current of aqueous humor, using the software complex FlowVision HPC, has shown a practical absence of aqueous humor flow movement in the upper contour over the phakic lens partly dislocated with luxation into the anterior chamber, during manipulations of all the stages of cataract phacoemulsification with the aphakic IOL implantation under it in the process of bilensectomy, using the original technique, what is verified in the experiment *ex vivo*.

Key words: cataract phacoemulsification, phakic IOL, bilensectomy technique.

Bibliography:

1. Agafonova V.V., Marshava D.O., Kerimova R.S. Technical peculiarities of cataract surgery in eyes with previously implanted posterior chamber phakic IOL // Ophthalmologia. – 2009. – V. 6 – No. 1. – P. 19-23.
2. Marshava D.O., Vachnadze K.G., Shishayeva A.S. Simulation of the aqueous humor flows in the anterior chamber of the eye / «Up-to-date ophthalmological problems»: the 5th All-Russia Scientific Conf. of Young Scientists: Collected articles. – Moscow, 2009. – P. 130-133.