

Математическое моделирование в решении проблемы некоторых отдаленных последствий хирургии катаракты

Е.В. Егорова¹, А.В. Бетке¹, В.Г. Безбородов²

¹ Новосибирский филиал ФБГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России;

² Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск

РЕФЕРАТ

Цель. Определить распределение растягивающих напряжений в капсульном мешке хрусталика (КМХ) после факоэмульсификации катаракты, обосновать выбор внутрикапсульного кольца (ВКК), изучить зависимость напряжений растяжения в капсульных листках от размера кругового капсулорексиса (ККР).

Материал и методы. Математическая модель описывает напряженность в различных точках капсульного мешка хрусталика (КМХ) и позволяет оценить характер и степень влияния центрального кругового капсулорексиса и ВКК.

Результаты. Представлена математическая модель напряженного состояния системы «КМХ – связочный аппарат», возникающего после факоэмульсификации катаракты с выполнением переднего и заднего капсулорексиса и имплантацией ВКК.

Заключение. В системе «КМХ – связочный аппарат» решающая роль принадлежит радиальным напряжениям, предельные значения которых наблюдаются в области экватора КМХ. Предельное значение окружных растягивающих напряжений приходится на точки контура капсулорексиса. Увеличение диаметра капсулорексиса уменьшает радиальное напряжение в точках экватора. Используя известные биомеханические параметры, можно рассчитать дозированную нагрузку, оказываемую ВКК на своды КМХ. Применение данной математической модели может быть рекомендовано в выборе и разработке новых конструкций ВКК.

Ключевые слова: факоэмульсификация, капсульный мешок хрусталика, капсулорексис, внутрикапсульное кольцо. ■

Офтальмохирургия. – 2014. – № 3. – С. 13–18.

ABSTRACT

Mathematical modeling in a solution of the long-term complications problem of cataract surgery with zonular weakness

E.V. Egorova¹, A.V. Betke¹, V.G. Bezborodov²

¹ The Novosibirsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Novosibirsk;

² The Novosibirsk State university of Architecture and Construction, Novosibirsk

Purpose. To define distribution of the stretching tension in a capsular bag after phacoemulsification, to prove CTR choice, to study dependence of stretching tension in a capsular bag from the capsulorhexis size.

Material and methods. This mathematical model describes tension in different points of capsular bag and allows to estimate a role of capsulorhexis and CTR.

Results. The mathematical model of a tension in system «the capsular bag – zonules» after cataract surgery with anterior and posterior capsulorhexis and implantation of a capsular tension ring (CTR) is presented.

Conclusions. The maximum values of radial tension are observed on the equator of a capsular bag. The maximum of circular stretching tension is noted on capsulorhexis border. The increase in capsulorhexis size reduces radial tension in equator points. Using known biomechanical parameters it is possible to calculate stretching force of a ring on a capsular bag. Application of this mathematical model can be recommended in a choice and development of new designs of CTR.

Key words: phacoemulsification, capsular bag, capsulorhexis, capsular tension ring. ■

Ophthalmosurgery. – 2014. – No. 3. – P. 13–18.

Современные технологии обеспечивают высокую эффективность хирургии катаракты даже в случаях несостоятельности связочно-капсульного аппарата хрусталика (СКАХ). Однако успешное завершение хирургического этапа лечения катаракты не исключает появления таких отдаленных последствий, как вторичная катаракта, фибропластическая трансформация с контрактурой капсульного мешка и дислокация комплекса «капсульный мешок – ИОЛ». Эти осложнения артифактного глаза достоверно чаще встречаются на фоне псевдоэкзофолиативного синдрома (ПЭС) и имеют специфичные проявления, связанные с изменением структуры капсульного мешка хрусталика (КМХ) и волокон цинновой связки [2, 8, 16, 18, 21, 24, 26, 30, 33].

Широкое внедрение современного стандарта хирургии катаракты в виде факоэмульсификации с выполнением кругового капсулорексиса (ККР) не только не решило проблему, но и, в некоторой степени, способствовало увеличению частоты дислокаций ИОЛ [22, 23, 31, 35]. В качестве возможных методов профилактики отдаленных нежелательных последствий применяются имплантация внутрикапсульных колец (ВКК), увеличение диаметра переднего капсулорексиса или изменение его формы, полировка задней и передней капсулы хрусталика, выполнение первичного заднего капсулорексиса [1, 3, 10, 12, 17, 34]. Эти хирургические манипуляции в разной степени влияют на биомеханику капсульного мешка.

Использование математических методов расчета на основе модельных представлений о структуре глаза позволяет достичь более глубокого

понимания механизмов различных офтальмопатологий. В настоящей работе на основе положений теории упругости представлена математическая модель напряженного состояния системы «КМХ – связочный аппарат», возникающего после факоэмульсификации катаракты с выполнением переднего и заднего ККР и имплантацией ВКК [4, 19].

ЦЕЛЬ

Определить распределение растягивающих напряжений в КМХ после факоэмульсификации катаракты, возникающих в результате перераспределения напряжений в СКАХ; обосновать выбор ВКК, позволяющего дозировать нагрузку на КМХ; установить зависимость напряжений растяжения в капсульных листках от размера ККР, тем самым обосновать размеры переднего и заднего ККР.

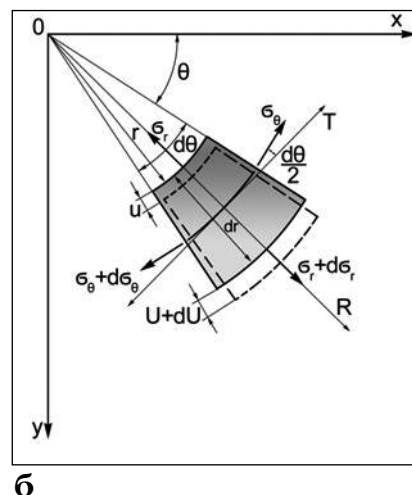
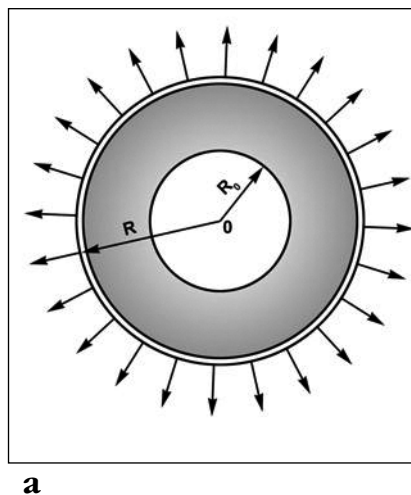


Рис. 1. Геометрическая модель капсулы хрусталика: а) с круговым вырезом по центру; б) секторальный элемент модели; схема действия нормальных радиальных (σ_r) и окружных (σ_θ) напряжений, где r и θ – полярные координаты, R – радиальное направление, U и $U+dU$ – перемещения точек при деформации элемента, dr и $d\theta$ – размеры элемента

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве модели переднего и заднего листков КМХ после факоэмульсификации катаракты принята тонкая плоская эластичная круглая мембрана единичной толщины с круговым вырезом в центре (рис. 1а). Напряженное состояние мембраны обусловлено тем, что естественному ее сокращению препятствуют силы натяжения волокон цинновой связки и силы упругости ВКК. Установившееся равновесное состояние характеризуется напряжениями растяжения в радиальном (σ_r) и окружном (тангенциальном) (σ_θ) направлениях (рис. 1б). Получение формулы, позволяющей определить величину напряжений в любой точке кольцевой мембраны, основано на решении плоской задачи теории упругости в системе полярных координат, в которой переменными

Для корреспонденции:

Егорова Елена Владиленовна, канд. мед. наук, зам. директора по лечебной работе;
Бетке Андрей Владимирович, врач-офтальмолог 1-го офтальмологического отделения
Новосибирский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России
Адрес: 630096, Новосибирск, ул. Колхидская, 10
Тел.: (383) 341-8657, факс: (383) 340-3737

Безбородов Владилен Геннадьевич, профессор, докт. физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел.: (383) 228-0264

являются радиус (r) и угол поворота (θ) (рис. 1б) [4, 19].

Выделим в кольцевой мембране элемент, ограниченный двумя окружными сечениями (рис. 1б). В сечениях на элемент действуют нормальные радиальные и окружные напряжения σ_r и σ_θ . Из условия симметрии относительно оси Z, расположенной вертикально к плоскости пластины, в точке O касательные напряжения ($\tau_{r\theta}$) в сечениях отсутствуют.

Составим уравнение равновесия элемента, приравняв к нулю сумму проекций сил на радиальное направление R:

$$(\sigma_r + d\sigma_r) \times (r + dr) \times d\theta - \sigma_r \times r \times d\theta - 2 \times \sigma_\theta \times dr \times \frac{d\theta}{2} = 0.$$

Пренебрегая малыми величинами высшего порядка и производя деление на $d\theta dr$, получим выражение:

$$r \times \frac{d\sigma_r}{dr} + \sigma_r - \sigma_\theta = 0. \quad (1)$$

Выразим относительные линейные деформации через перемещение точек элемента: в радиальном направлении –

$$\varepsilon_r = \frac{U + dU - U}{dr} = \frac{dU}{dr}, \quad (2)$$

в окружном направлении –

$$\varepsilon_\theta = \frac{(r + U) \times d\theta - r d\theta}{rd\theta} = \frac{U}{r}. \quad (3)$$

Уравнение совместности деформаций имеет вид:

$$\frac{d(\varepsilon_\theta \times r)}{dr} - \varepsilon_r = 0. \quad (4)$$

После введения формул обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \times (\sigma_r - \mu \sigma_\theta), \quad (5)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \times (\sigma_\theta - \mu \sigma_r), \quad (6)$$

уравнение совместности принимает выражение:

$$\sigma_\theta - \mu \sigma_r + \frac{r d\sigma_\theta}{dr} - r \times \mu \times \frac{d\sigma_r}{dr} - \sigma_r + \mu \sigma_\theta = 0. \quad (7)$$

Решая систему уравнений 1 и 7, получим расчетное дифференциальное уравнение:

$$\frac{3}{r} \times \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{d^2\sigma_r}{dr^2} = 0. \quad (8)$$

Введя в уравнение (8) выражение $\frac{d\sigma_r}{dr} = \phi$ и разделив переменные, получим (9):

$$\frac{3dr}{r} + \frac{d\phi}{\phi} = 0. \quad (9)$$

После интегрирования: $\ln \phi = -3 \ln r + C$, где C – константа интегрирования, решением данного уравнения является отношение: $\phi = \frac{C_1}{r^3}$. Введя в выражение $\phi = \frac{d\sigma_r}{dr}$ и выполнив интегрирование $\int d\sigma_r = \int C_1 \times r^{-3} \times dr$, приходим к результату: $\sigma_r = -\frac{C_1}{2r^2} + C_2$, где C_1 и C_2 – константы интегрирования, определение которых проводят с учетом граничных условий – при $r = R_0$ и $\sigma_r = 0$, тогда: $0 = -\frac{C_1}{2R_0^2} + C_2$, $C_2 = \frac{C_1}{2R_0^2}$.

Окончательно формула радиального напряжения примет вид:

$$\sigma_r = \frac{C_1}{2R_0^2} \times \left(1 - \frac{R_0^2}{r^2}\right). \quad (10)$$

Выражение $\frac{C_1}{2R_0^2}$ имеет постоянное значение при данном радиусе (R_0) центрального ККР и имеет смысл предельного растягивающего напряжения в точках экваториальной окружности капсульного мешка. Следовательно, можно ввести обозначение: $\sigma_0 = \frac{C_1}{2R_0^2}$, где C_1 имеет смысл силы, вызывающей напряжения в точках внешнего контура капсульного мешка.

Формула 10 описывает картину напряженного состояния капсулы хрусталика в послеоперационном периоде и позволяет понять характер изменения относительного радиального напряжения растяжения в направлении от центра к экватору (рис. 2) и оценить снижение относительного напряжения в точках свода КМХ при увеличении диаметра кругового капсулорексиса (рис. 3).

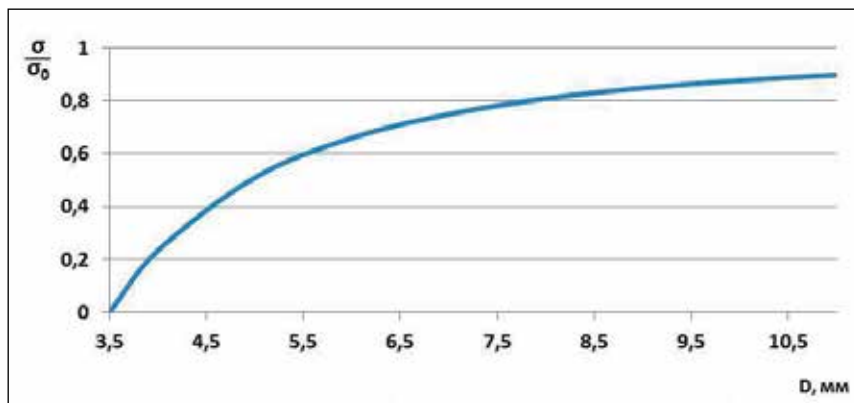


Рис. 2. Распределение радиального относительного напряжения от края капсулорексиса к экватору на примере капсулы с центральным ККР диаметром 3,5 мм ($R_0 = 1,75$ мм)

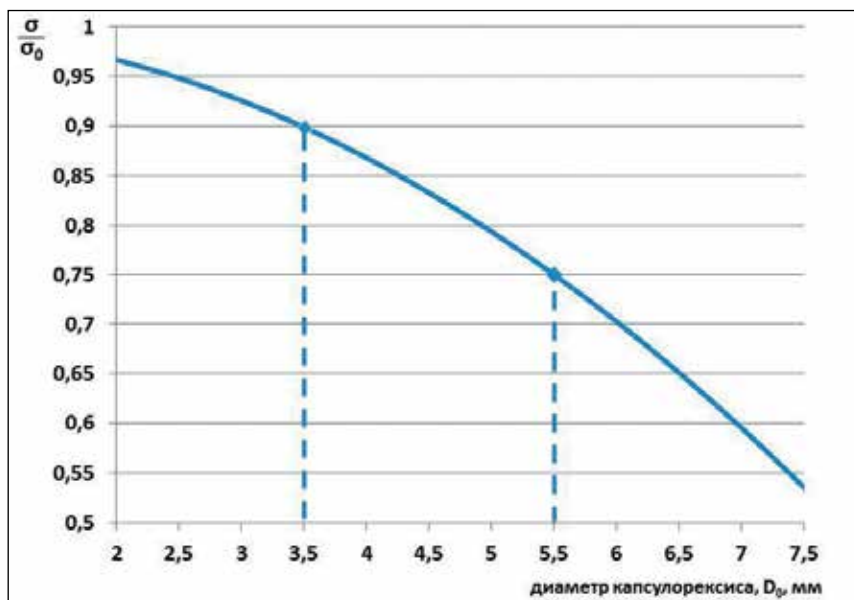


Рис. 3. Зависимость относительного радиального напряжения в точках на окружности свода КМХ от диаметра кругового капсулорексиса

Пример 1. При диаметре кругового капсулорексиса 5,5 мм и диаметре КМХ 11 мм рассчитываем относительное напряжение в точках свода КМХ:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_0} = 1 - \frac{R_0^2}{r^2} = 1 - \frac{2,75^2}{5,5^2} = 1 - \frac{7,56}{30,25} = 1 - 0,25 = 0,75.$$

Пример 2. Этот же показатель рассчитываем при уменьшении диаметра кругового капсулорексиса до 3,5 мм:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_0} = 1 - \frac{R_0^2}{r^2} = 1 - \frac{1,75^2}{5,5^2} = 1 - \frac{3,0625}{30,25} = 1 - 0,1 = 0,9.$$

Таким образом, круговой капсулорексис диаметром 5,5 мм уменьшает радиальное напряжение в точках экватора КМХ на 25%. При диаметре отверстия 3,5 мм ослабляющий эффект в тех же точках составит 10% (рис. 3).

Для определения окружных напряжений (σ_θ) из уравнения равновесия элемента выразим $\sigma_\theta = \sigma_r + r \frac{d\sigma_r}{dr}$. Подставляя в формулу выражение радиального напряжения: $\sigma_r = \frac{C_1}{2R_0^2} \left(1 - \frac{R_0^2}{r^2}\right)$ и выражение $\phi: \frac{d\sigma_r}{dr} = \phi = \frac{C_1}{r^3}$, получаем: $\sigma_\theta = \frac{C_1}{2R_0^2} - \frac{C_1}{2r^2} + r \frac{C_1}{r^3} = \frac{C_1}{2R_0^2} + \frac{C_1}{2r^2}$, окончательно:

$$\sigma_\theta = \frac{C_1}{2R_0^2} \left(1 + \frac{R_0^2}{r^2}\right). \quad (11)$$

Из сопоставления формул (10 и 11) следует, что для любого значения координаты сумма напряжений: $\sigma_r + \sigma_\theta = \frac{C_1}{R_0^2}$ или $\sigma_r + \sigma_\theta = \text{const}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результат математического моделирования состоит в применении расчетных формул, описывающих зависимость радиальных и окружных растягивающих напряжений в капсуле хрусталика от координат r и θ при наличии ККР с радиусом R_0 .

Предельное значение растягивающих окружных напряжений приходится на точки контура ККР. Это объясняет расхождение краев радиальных разрывов или насечек по краю капсулорексиса и их распространение к экватору. В системе «КМХ – связочный аппарат» при наличии ККР окружные напряжения имеют лишь опосредованное значение, решающая роль принадлежит радиальным напряжениям, предельные значения которых наблюдаются в области экватора КМХ (рис. 2).

Состояние равновесия взаимодействующих сил в точках свода капсульного мешка можно описать уравнением:

$$\sigma_r \times \Delta S = \sigma_{B.K.} \times \Delta S + \sigma_{Ц.С.} \times \Delta S, \quad (12)$$

где σ_r – эластичность капсулы, $\sigma_{Ц.С.}$ – натяжение волокон цинновой связки, $\sigma_{B.K.}$ – упругость внутрикапсульного кольца, ΔS – площадь нормального сечения элемента на периферии свода.

ОБСУЖДЕНИЕ

Система «хрусталик – связочный аппарат» постоянно находится в динамическом взаимодействии, что обусловлено эластичностью ее компонентов, а также способностью изменять форму и размеры. В факическом глазу эти обстоятельства определяют возможность и объем аккомодации. В артифакционном глазу происходят значимые изменения формы, размеров и структуры КМХ, однако эластичность компонентов системы «КМХ – связочный аппарат» позволяет сохранять динамическое равновесие. В осложненных случаях чрезмерное сокращение КМХ, усиление и перераспределение напряжений в различных точках системы может стать индуцирующим моментом для преждевременной дегенерации связочного аппарата, децентрации и дислокации комплекса «КМХ-ИОЛ» [18, 22, 23, 32].

Капсульный мешок – оптимальная локализация для искусственного хрусталика, однако выбирая внутрикапсульную фиксацию ИОЛ, необходимо точно оценивать биомеханические характеристики капсу-

лы в различные возрастные периоды на фоне сопутствующей патологии и учитывать послеоперационные изменения размеров и структуры КМХ. Установлено, что в раннем послеоперационном периоде после факоэмульсификации катаракты диаметр КМХ увеличивается за счет уменьшения его содержимого, сближения переднего и заднего листков и превалирования растягивающего компонента со стороны круговой цинновой связки [6, 8, 27]. В последующие полгода происходит сокращение КМХ, особенно интенсивное в первые 3 мес. Общее уменьшение диаметра КМХ в разных исследованиях составило от 2,0 до 14% [6, 27, 36]. Имплантация ВКК в различной степени влияет на процесс чрезмерного сокращения КМХ, что обусловлено большой вариабельностью упругих свойств различных моделей колец [12, 29, 36].

Данная математическая модель описывает напряженность в различных точках КМХ после факоэмульсификации катаракты и позволяет оценить характер и степень влияния центрального кругового капсулорексиса и ВКК (рис. 3). При известных биомеханических параметрах различных структур связочно-капсульного аппарата хрусталика, пользуясь уравнением 12 и формулой 10, можно рассчитать дозированную нагрузку, оказываемую ВКК на своды КМХ. Очевидно, что при разработке и выборе колец, а также при обосновании размеров переднего и заднего капсулорексиса следует учитывать топографию и возрастные изменения КМХ.

Морфологическими исследованиями установлено, что капсульный мешок варьирует по толщине и име-

Таблица

Различия в толщине капсулы хрусталика по зонам в зависимости от возраста

Локализация зон	Толщина капсулы (мм)				
	15 лет	25 лет	35 лет	53 года	71 год
Передний полюс	8	9	14	14	14
Максимум передней капсулы	12	14	21	25	21
Экватор	7	14	17	16	9
Максимум задней капсулы	18	23	23	23	9
Задний полюс	2	3	4	3	2,3

[цит. по: Kleiman N.J., Worgul B.V., 2007].

ет кольцевидные зоны утолщения [7, 13, 25, 28]. С возрастом биомеханические характеристики КМХ меняются. Задняя капсула истончается, причем в центральной зоне слабее, а в парацентральной – более выражено. Передняя капсула становится толще (табл.).

Установлена прямая связь между прочностью капсулы и ее толщиной [11, 14]. Так при изменении толщины центральной зоны задней капсулы с 3,0 мкм в сорокалетнем возрасте до 2,5 мкм после 60 лет прочность понижается с 2,8 до 2,2 г/мм². Дистрофические изменения еще более усугубляют ситуацию [11, 20]. Уменьшение прочности КМХ снижает устойчивость к разрыву капсулы при механическом воздействии [9, 11].

Рисунок 4 отражает распределение прочности в передней и задней капсулах хрусталика пациентов старше 60 лет. Кривые прочности построены нами на основе литератур-

ных данных о механических характеристиках элементов глаза и топографии капсульного мешка [5, 7, 11, 13, 15, 20, 25, 28]. Наименьшей прочностью (1,0-2,2 г/мм²) характеризуется центральная зона задней капсулы. Граница стандартного переднего кругового капсулорексиса диаметром 5 мм приходится на зону кольцевидного утолщения, вершина которого ограничивает диск диаметром 5,1 мм. При увеличении диаметра капсулорексиса практически полностью удаляется ткань кольцевидной зоны утолщения с более высоким модулем упругости, что уменьшает напряжение КМХ (рис. 3) [14]. Экваториальные своды КМХ, контактирующие с внутрикапсульным кольцом, по толщине значительно отличаются от центральных отделов задней капсулы и обладают более высоким модулем упругости, что должно учитываться при разработке и выборе ВКК, ИОЛ и технике их имплантации.

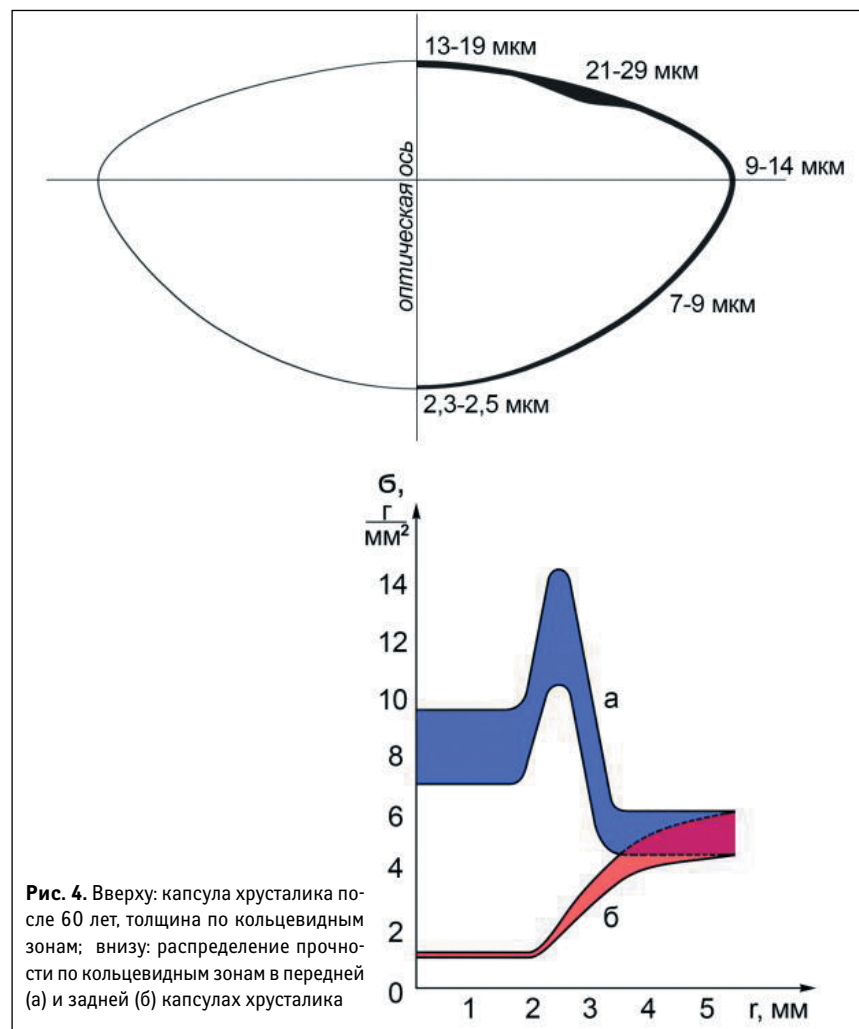


Рис. 4. Вверху: капсула хрусталика после 60 лет, толщина по кольцевидным зонам; внизу: распределение прочности по кольцевидным зонам в передней (а) и задней (б) капсулах хрусталика

Математическое моделирование не может учитывать процессы биологической трансформации тканей КМХ в послеоперационном периоде и служит лишь дополнительным аргументом в понимании биомеханики системы «КМХ – связочный аппарат» в артефактном глазу.

ВЫВОДЫ

1. В системе «КМХ – связочный аппарат» решающая роль принадлежит радиальным напряжениям, предельные значения которых наблюдаются в области экватора КМХ. Метод позволяет оценить ослабляющий эффект ККР в зависимости от диаметра, тем самым обосновать размеры переднего и заднего капсулорексиса.

2. Математическая модель характеризует изменение окружных напряжений в радиальном направлении. Предельное значение окружных растягивающих напряжений приходится на точки контура ККР.

3. Применение данной математической модели по исследованию напряжений в системе «КМХ – связочный аппарат» может быть рекомендовано в выборе и разработке новых конструкций ВКК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азнабаев М.Т., Якупова Г.Ф., Азаматова Г.А. Оптимизация имплантации ИОЛ для профилактики капсульного блока // Евро-Азиатская конференция по офтальмохирургии, 5-я: Материалы. – Екатеринбург, 2009. – С. 22-23.
2. Апостолова А.С., Волик Е.И. Изучение частоты и сроков возникновения вторичной катаракты после хирургического лечения катаракты методом фактоэмульсификации в глазах с псевдоэкзофалиативным синдромом // Российский общенациональный офтальмологический форум, 5-й: Сб. науч. тр. / Под ред. В.В. Нероева. – М.: Апрель, 2012. – Т. 2. – С. 791-793.
3. Балашев Л.И., Пензев К.В., Тахтаев Ю.В. К вопросу о безопасности и эффективности заднего капсулорексиса в профилактике вторичных катаракт // Вестн. Санкт-Петербург. мед. акад. последипломного образования. – 2011. – Т. 3, № 2. – С. 43-48.
4. Белоус П.А. Осесимметричные задачи теории упругости – Одесса: ОГПУ, 2000. – 183 с.

5. Вит В.В. Строение зрительной системы человека – Одесса: Астропринт, 2003. – 663 с.
6. Гринев А.Г., Антонов К.Л., Полищук Е.Г. Способ определения степени сжатия капсульного мешка после экстракции катаракты // Офтальмохирургия. – 2008. – № 4. – С. 24-27.
7. Егорова Э.В., Полянская Е.Г., Морозова Т.А., Узунян Д.Г. Оценка состояния капсульного мешка и положения ИОЛ после факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ методом ультразвуковой биомикроскопии // Офтальмохирургия. – 2011. – № 2. – С. 54-58.
8. Егорова Э.В., Струсова Н.А., Чаброва Л.С., Трубилин В.Н. Клинико-экспериментальное обоснование микрохирургии передней и задней капсулы хрусталика // Межд. симпозиум по имплантации интраокулярных линз и рефракционной хирургии: Материалы – М., 1987. – С. 20-23.
9. Иошин И.Э. Экспериментальное обоснование инъекторной технологии имплантации внутрикапсульных колец // Офтальмохирургия. – 2004. – № 3. – С. 18-22.
10. Иошин И.Э., Егорова Э.В., Багров С.Н. и др. Внутрикапсульное кольцо профилактика осложнений экстракции катаракты при подвывихе хрусталика // Офтальмохирургия. – 2002. – № 2. – С. 25-28.
11. Коростелева Н.Ф., Сушкова Н.А., Струсова Н.А., Трубилин Н.Ф. Механические параметры капсул хрусталика и упругие силы опорных элементов интраокулярных линз // Вестн. офтальмологии. – 1985. – № 6. – С. 18-20.
12. Кузнецов С.Л., Бессарабов А.Н. Расчет параметров внутрикапсульного кольца из полипропиленовых нитей // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2010: Сб. науч. ст. – М., 2010. – С. 113-116.
13. Малугин Б.Э., Струсова Н.А., Саллум Ф.А. Оригинальный искусственный хрусталик для капсульной фиксации: морфологическое обоснование // Современные технологии хирургии катаракты: Сб. науч. ст. – М., 2003. – С. 216-220.
14. Пересыткин В.П., Золотарев А.В., Пересыткин К.В., Иванова Е.А. Исследование механизма аккомодации глаза человека на основе конечно-элементного моделирования // Вестн. Саратов. гос. аэрокосмич. ун-та. – 2006. – № 1. – С. 176-186.
15. Ронкина Т.И., Чаброва Л.С., Борисова Л.М. и др. Биомеханические свойства капсулы хрусталика при эметропии и миопии // Офтальмол. журн. – 1989. – № 7. – С. 420-425.
16. Стебнев В.С., Малов В.М., Стебнев С.Д. Непосредственные и отдаленные результаты первичного заднего капсулорексиса при факоэмульсификации // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2011. – № 14. – С. 352-355.
17. Стебнев С.Д., Стебнев В.С. Дислокация интраокулярных линз. Причины, характер, хирургическая тактика, результаты лечения // Современные технологии хирургии катаракты: Сб. науч. ст. – М., 2007. – С. 237-243.
18. Терещенко Ю.А., Кривко С.В., Сорокин Е.Л. и др. Спонтанная дислокация заднекамерных интраокулярных линз в позднем послеоперационном периоде: частота, причины, осложнения // РМЖ: Клини. офтальмология. – 2010. – № 3. – С. 100-102.
19. Тимошенко С.П., Гудьер Д. Теория упругости. – Л.: Наука, 1975. – 576 с.
20. Чупров А.Д., Подыножина В.В., Чернядьев А.А., Коротышев О.В. Корреляция строения и свойств передней капсулы хрусталика с некоторыми, имеющими значение для хирургии, свойствами хрусталика в целом // Офтальмохирургия. – 2006. – № 1. – С. 38-41.
21. Школярченко Н.Ю., Юсеф Ю.Н. Изменения капсульного мешка хрусталика после экстракции катаракты // Вестн. офтальмологии. – 2005. – № 3. – С. 40-43.
22. Davison J.A. Capsule contraction syndrome // J. Cataract Refract. Surg. – 1993. – Vol. 19. – P. 582-589.
23. Hansen S., Crandall A., Olson R. Progressive constriction of the anterior capsular opening following intact capsulorhexis // J. Cataract Refract. Surg. – 1993. – Vol. 19. – P. 77-82.
24. Hayasbi H., Hayasbi K., Nakao F., Hayasbi F. Anterior capsule contraction and intraocular lens dislocation in eyes with pseudoexfoliation syndrome // Br. J. Ophthalmol. – 1998. – Vol. 82. – P. 1429-1432.
25. Hogan M.J., Alvarado J.A., Weddell E. Histology of the Human Eye – Philadelphia: WB Saunders, 1971. – 687 p.
26. Jeban F.S., Mamalis N., Crandall A. Spontaneous late dislocation of intraocular lens within the capsular bag in pseudoexfoliation patients // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108. – P. 1727-1731.
27. Kleiman N.J., Worgul B.V. Lens // Duane's Foundations of Clin. Ophthalmol / W. Tasman and E.A. Jaeger, eds. – 2007. – Vol. 1, Ch. 15. – P. 1-39.
28. Kurz S., Krummenauer F., Hacker P. et al. Capsular bag shrinkage after implantation of a capsular tension ring // J. Cataract Refract. Surg. – 2005. – Vol. 31, № 10. – P. 1915-1920.
29. Lee D.H., Shin S.C., Joo C.K. Effect of capsular tension ring on intraocular lens decentration and tilting after cataract surgery // J. Cataract Refract. Surg. – 2002. – Vol. 28, № 6. – P. 843-846.
30. Lohmann C., Hummer S. Сравнение различных интраокулярных линз с точки зрения миграции эпителиальных клеток и помутнения задней капсулы хрусталика в эксперименте // Современные технологии хирургии катаракты: Сб. науч. ст. – М., 2004. – С. 212-214.
31. Masket S. Postoperative complications of capsulorhexis // J. Cataract Refract. Surg. – 1993. – Vol. 19. – P. 721-724.
32. Masket S., Osber R.H. Late complications with intraocular lens dislocation after capsulorhexis in pseudoexfoliation syndrome // J. Cataract Refract. Surg. – 2004. – Vol. 30. – P. 127-131.
33. Nagashima R.J. Decreased incidence of capsule complications and vitreous loss during phacoemulsification in eyes with pseudoexfoliation syndrome // J. Cataract Refract. Surg. – 2004. – Vol. 30. – P. 127-131.
34. Pandey S.K., Sharma V. Phacoemulsification in Pseudoexfoliation Syndrome // DOS Times. – 2008. – Vol. 14, № 5. – P. 65-67.
35. Stenevi U., Masket S. Факоэмульсификация может сопровождаться повышенным риском сублюксации ИОЛ // Новое в офтальмологии. – 2011. – № 1. – С. 55-56.
36. Tebrani M., Dick H.B., Krummenauer F., Pfirrmann G. Capsule measuring ring to predict capsular bag diameter and follow its course after foldable intraocular lens implantation // J. Cataract Refract. Surg. – 2003. – Vol. 29. – P. 2127-2213.

Поступила 02.02.2014



Х СЪЕЗД ОФТАЛЬМОЛОГОВ РОССИИ

Состоится 17-19 июня 2015 года в г. Москве

Программа съезда включает все основные разделы офтальмологии.
Сроки приема тезисов для публикации в сборнике – до 1 декабря 2014 года.
Подробнее: <http://www.oor.ru/>