



Министерство здравоохранения
Российской Федерации



ФГБУ «Московский научно-исследовательский
институт глазных болезней им. Гельмгольца»

ГБОУ ВПО «Московский государственный
медицинско-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова»,
кафедра глазных болезней факультета последипломного
образования



VI Российский общенациональный офтальмологический форум

Сборник научных трудов

Том 1

Москва, 2013

Бауэр С.М.¹, Воронкова Е.Б.¹, Ермаков А.М.¹, Качанов А.Б.²,
Федотова Л.А.³

Изменение напряженно-деформированного состояния роговицы и показателей ВГД после лазерной коррекции гиперметропии

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург;

²Санкт-Петербургский филиал ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Росздрава, г. Санкт-Петербург;

³Чебоксарский филиал ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Росздрава, г. Чебоксары

Актуальность исследования. В связи с тем, что во всём мире отмечается устойчивый рост числа кераторефракционных операций [1], появилось большое число работ, посвященных оценке изменения напряженно-деформированного состояния роговицы после операций и в основном оценке изменения показателей внутриглазного давления (ВГД) [2-7]. Большая часть этих работ касается операций по коррекции миопии [2-7]. Однако, как отмечается в [1, 7-10], гиперметропия также является одной из ведущих патологий среди аномалий рефракции. Ее удельный вес составляет более 30% [1, 10]. Гиперметропии подвержен определенный процент детей и подростков [8, 9]. В работах [10, 11] указано, что в последнее время методы лазерной коррекции гиперметропии получили более широкое распространение. Это связано с тем, что использование очков и контактная коррекция не всегда обеспечивают полноценный функциональный результат и профессиональную пригодность.

Цель: построение математической модели, позволяющей оценить изменение напряженно-деформированного состояния и показателей ВГД после рефракционных операций по коррекции гиперметропии.

В предложенной модели роговица глаза представлялась в виде жестко опертого по краям трансверсально-изотропного сегмента сферической оболочки. Средний радиус кривизны роговицы до деформации и радиус основания полагались постоянной величиной. Толщина оболочки полагалась переменной, минимальной в центре роговицы и увеличивающейся к краю. В случае моделирования последствий операции принималось, что с поверхности роговицы удаляется кольцевой слой определенной глубины с заданными внеш-

ним и внутренним радиусами. Расчеты напряженно-деформированного состояния оболочки проводились по теории анизотропных оболочек Палия-Спиро – теории оболочек средней толщины [12]. Тангенциальный модуль упругости роговицы принимался равным 105 Па, в направлении толщины модуль упругости полагался существенно меньшим – $E=10^3$ Па [13].

Решались две задачи, первая из них состояла в оценке изменения кривизны роговицы под действием нормального ВГД после удаления кольцевого слоя и, как следствие, оценке изменения оптической силы роговицы. Связь между радиусом кривизны роговицы R и ее оптической силой определялась по формуле $D = (n - 1) / R$, где n – показатель преломления (для роговицы $n = 1,376$), R – радиус кривизны в метрах.

В табл. 1 приведены результаты расчетов, характеризующие изменение оптической силы роговицы при удалении кольцевого слоя толщины h_d от 17,3 до 156,1 микрон. Толщина роговицы в центре составляла 0,52 мм (520 мкм). Предполагалось, что удаляется кольцевой слой внешним радиусом 4,25 мм, внутренним радиусом 3,15 мм, что соответствовало клиническим данным. Последняя строка таблицы характеризует экспериментальные (клинические) данные. Видно, что результаты расчетов хорошо согласуются (а с увеличением глубины удаляемого слоя – совпадают) с полученными в клинике, что говорит о правильном выборе параметров оболочки.

Во второй задаче (при тех же механических параметрах) исследовались деформация роговицы под действием груза с плоским основанием, т. е. рассматривалась модель аппланационного тонометра. Следует отметить, что эта модель может описывать также показатели пневмотонометра.

Таблица 1

**Изменение оптической силы роговицы
при удалении кольцевого слоя толщины h_d**

	$h_d=0$		$h_d=35,2$		$h_d=72,8$		$h_d=113$		$h_d=156$	
	1/R	D	1/R	D	1/R	D	1/R	D	1/R	D
Численный результат	121,6	44,2	130	47,22	136	49,3	141	51	145,6	52,6
Клинические данные	–	0	–	+2	–	+4	–	+6	–	+8

Таблица 2

**Изменение показателей ВГД
при удалении кольцевого слоя роговицы толщины h_d**

	$h_d=0$		$h_d=35,2$		$h_d=72,8$		$h_d=113$		$h_d=156$	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
Численный результат	2,97	22	3,04	22	3,08	21	3,12	21	3,17	20

В табл. 2 представлены данные расчетов для тонометра Маклакова весом 10 г. В нижней строке r – получающийся радиус зоны контакта тонометра и роговицы, P – соответствующие данному радиусу контакта значения ВГД (в мм рт. ст.) по линейке Поляка.

Представленные результаты, как и многочисленные расчеты, проведенные при других параметрах ширины и глубины удаляемого слоя, говорят о том, что рефракционные операции по коррекции гиперметропии, как и операции по поводу миопии, приводят к уменьшению тонометрических показателей ВГД, что согласуется с клиническими данными. Уменьшение показателей ВГД происходит как по данным пневмотонометрии, так и по данным аппланационной тонометрии по Маклакову, причем тонометр Гольдмана и пневмотонометры оказываются существенно более чувствительны к любым изменениям в геометрических параметрах роговицы. Следует отметить, что в отличие от случая операций по коррекции миопии, когда меняется толщина роговицы в центральной зоне и зависимость изменений тонометрического ВГД от изменения толщины роговицы является почти линейной [2-4, 6], в случае операций по коррекции гиперметропии зависимость изменения ВГД от глубины удаляемого слоя более сложная. По данным расчетов, изменение показателей ВГД зависит и от внутреннего и от внешнего радиуса удаляемого слоя.

Необходимо учитывать этот факт при интерпретации тонометрических показателей рефракционных пациентов, особенно при патологии офтальмотонуса.

Литература

- Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия.- СПб.: МАПО, 2002. – 285 с.

2. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. и др. Влияние толщины роговицы на пневмотонометрические показатели внутриглазного давления // Офтальмохирургия. – 2005. – № 1. – С. 29-31.
3. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Новак Я.Н. и др. О влиянии толщины роговицы на показатели внутриглазного давления // Биомеханика глаза – 2005: Конф. МНИИ ГБ им. Гельмгольца: Сб. науч. трудов. – М., 2005. – С. 119-120.
4. Faucher A., Gregoire J., Blondeau P. Accuracy of Goldmann tonometry after refractive surgery // J. Cataract. Refract. Surg. – 1997. – Vol. 23. – P. 832-838.
5. Колотов М.Г. К вопросу об ответе роговицы при коррекции миопии методом ЛАЗИК // Офтальмохирургия. – 2009. – № 3. – С. 9-11.
6. Нероев В.В., Ханджян А.Т., Зайцева О.В., Манукян И.В. Современные возможности прогнозирования послеоперационных осложнений и точного измерения ВГД у пациентов, оперированных методом ЛАСИК // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2006. – № 1. – С. 5-9.
7. Тарутта Е.П., Еричев В.П., Ларина Т.Ю. Контроль уровня ВГД после кераторефракционных операций // Биомеханика глаза. – М.: МНИИ ГБ им. Гельмгольца, 2004. – С. 120-122.
8. Куликова И.Л., Пашиев Н.П. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией. – М.: Офтальмология, 2012. – 236 с.
9. Куликова И.А., Пашиев Н.П. Хирургическое лечение гиперметропии и гиперметропического астигматизма высокой степени у детей // Рефракц. хир. и офтальмол. – 2006. – № 4. – С. 9-16.
10. Федотова Л.А., Куликова И.А. Преимущество лечения гиперметропии с использованием фемтосекундного лазера // Здравоохранение Чувашии. – 2009. – № 2. – С. 47-50.
11. Мушкина И.А., Дога А.В., Майчук Н.В., Бессарабов А.Н. ЛТК при гиперметропии: оптимальный рефракционный диапазон // Офтальмохирургия. – 2011. – № 1.
12. Палий О.М., Спиро В.Е. Анизотропные оболочки. Теория и расчет. – Ленинград, 1977. – 386 с.
13. Иомдина Е.Н. Механические свойства тканей глаза человека. Современные проблемы биомеханики. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – Вып. 11. – С. 183-200.