

Е.А.Исполова (6 курс, каф. МиПУ), Б.А.Смольников, к.ф.-м.н., проф.

ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ХРУСТАЛИКА ПРИ АККОМОДАЦИИ

Углубленное исследование особенностей функционирования основных систем глаза важно как для клинической офтальмологической практики, так и для корректировки общей концепции строения человеческого глаза. Проведение таких исследований позволило бы на современном уровне объяснить некоторые закономерности нормального и патологического функционирования внутриглазных структур, а также свести до минимума сложные оперативные методы лечения таких патологий. В работе с точки зрения рассматривается биомеханики процесс аккомодации, в котором важную роль играют механические и геометрические факторы. Такое исследование особенностей вышеуказанного процесса может обеспечить возможность объяснения и предсказания последствий некоторых аномалий рефракции, предсказаний и предупреждения нарушений рефракционных функций при операциях, вносящих изменения в аккомодационную систему, а также при патологиях аккомодационной системы.

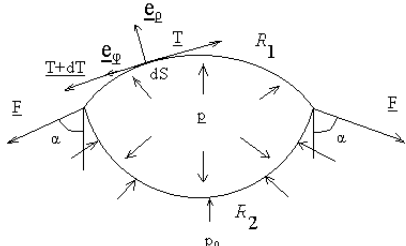
Целью работы является разработка ряда биомеханических моделей аккомодации хрусталика с учётом современных данных о строении и работе структур человеческого глаза, а также их возможный анализ и сравнение. Для этих целей было решено построить несколько аналитических моделей: плоских и осесимметричных, а также провести компьютерное моделирование методом конечных элементов и по построенным моделям проанализировать некоторые основные на сегодняшний день схемы функционирования и крепления поддерживающего аппарата хрусталика.

В настоящее время самым распространенным является механизм аккомодации, основанный на теории аккомодации Гельмгольца. Хрусталик уплощается – происходит аккомодация вдаль, позволяя видеть предметы, находящиеся вдали.

В плоских моделях хрусталика оболочка хрусталика представлена тонкой безмоментной нитью. Внутрихрусталиковые структуры смоделированы внутренним давлением p , а влияние стекловидного тела – распределённой нагрузкой p_0 . Натяжение цинновых связок представлено силами F , направленными под углом α к оптической оси u .

В осесимметричных моделях хрусталик моделируется двумя тонкими безмоментными сферическими оболочками с внутренним давлением p , а влияние стекловидного тела учитывается распределённой нагрузкой p_0 . Натяжение цинновых связок представлено силами F , направленными под углом α к оптической оси u (осевая симметрия относительно оси u).

Таблица 1. Плоские модели хрусталика

Модель №1		$R_1 = \frac{F \cdot \cos(\varphi_2 - \alpha)}{p \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2)}$ $R_2 = -\frac{F \cdot \cos(\varphi_2 + \alpha)}{p - p_0 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2)}$
-----------	---	--

Модель №2		$R_1 = \frac{F_1 \cdot \cos(\phi_2 - \alpha_1)}{p \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$ $R_2 = -\frac{F_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \phi_1)}{p - p_0 \cdot \sin(\phi_1 - \phi_2)}$ $R_3 = -\frac{F_1 \cdot \cos(\phi_1 + \alpha_1)}{p \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$
-----------	--	---

Таблица 2. Осесимметричные модели хрусталика

Модель №1		$R_1 = \frac{2F \cdot \cos(\phi_2 - \alpha)}{p \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$ $R_2 = -\frac{2F \cdot \cos(\phi_2 + \alpha)}{p - p_0 \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$
Модель №2		$R_1 = \frac{2F_1 \cdot \cos(\phi_2 - \alpha_1)}{p \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$ $R_2 = -\frac{2F_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \phi_1)}{p - p_0 \cdot \sin(\phi_1 - \phi_2)}$ $R_3 - R_3^2 \sin \phi_2 = -\frac{F_1 \cdot \cos(\alpha_1 + \phi_1)}{p \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2)}$ $R_3 - R_3^2 \sin \phi_1 = \frac{F_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \phi_2)}{p \cdot \sin(\phi_1 - \phi_2)}$

После проведения аналитических исследований нас заинтересовала возможность конечно-элементного (КЭ) моделирования. Оно позволяет получить более наглядные результаты. Для решения задачи использовалась программная система конечно-элементного анализа ANSYS. Задачи статические осесимметричные.

В первой конечно-элементной модели хрусталик моделируется эллиптическим телом, состоящим из двух материалов: внутрехрусталиковых масс и капсулы хрусталика. Во второй КЭ модели мы использовали ту же модель хрусталика, что и в первой, но ввели в рассмотрение стекловидное тело и его контакт с хрусталиком.

В ходе работы были разработаны шесть моделей аккомодации хрусталика: две плоские, две осесимметричные и две конечно-элементные. Для аналитических моделей были получены формулы, описывающие геометрию хрусталика в зависимости от параметров. На основе этих формул были найдены значения параметров, описывающих хрусталик при аккомодации вдаль. Эти данные не противоречат клиническим и экспериментальным данным из офтальмологии. При компьютерном моделировании методом конечных элементов обе построенные модели подтверждают теорию аккомодации Гельмгольца. Вторая модель подтверждает важную роль, которую играет стекловидное тело в процессе аккомодации.

Таблица 3. КЭ модели хрусталика

	Геометрическая модель	КЭ модель	Поля перемещений
Модель №1			
Модель №2			