

УДК 617.7

Е.А.Наумова (4 курс, каф. МПУ), Б.А.Смольников, к.ф.-м.н., проф.

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ АККОМОДАЦИИ

В настоящее время в офтальмологии существует ряд проблем, для решения которых недостаточно использовать известные клинические и экспериментальные методы. Поэтому возникла необходимость использовать методы и идеи такой науки как биомеханика. В этой работе рассматривается с точки зрения биомеханики процесс аккомодации, в котором важную роль играют механические и геометрические факторы.

Аккомодация — это приспособительный механизм органа зрения, позволяющий поддерживать чёткое изображение рассматриваемых объектов, находящихся на разном удалении от глаза.

Процесс аккомодации обеспечивается следующими анатомическими элементами:

- хрусталик, он имеет форму двояковыпуклой линзы, с переменным фокусным расстоянием, фокусирует изображение на сетчатку;
- ресничная мышца, она разделяется по направлениям волокон на три пучка: меридиальные волокна – мышца Брюкке, циркулярные волокна - мышца Мюллера, радиальные волокна – мышца Иванова;
- хориоидея – упругая оболочка, в которой находятся сосуды;
- стекловидное тело – оболочка, наполненная гелем, занимает большую часть объёма глазного яблока;
- циннова связка – поддерживающий аппарат хрусталика, разделяется на передние, задние и экваториальные порции волокон по месту их прикрепления к хрусталику. Другими концами передние и задние порции волокон крепятся к хориоидее, а экваториальные – в отростках ресничной мышцы.

В работе рассматривается механизм аккомодации, основанный на классической теории аккомодации Гельмгольца, изложенный в [1...3].

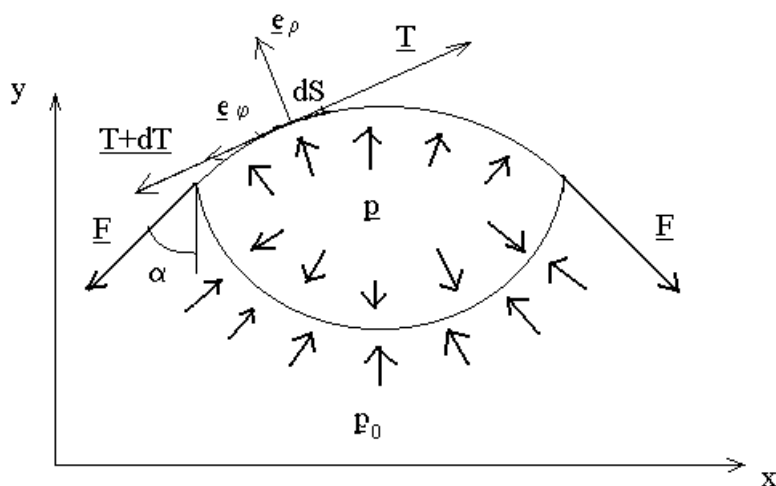


Рис. 1.

Существует много различных моделей механизма аккомодации, и в каждой из них важнейшую роль играет хрусталик, ввиду чего необходима разработка подробной биомеханической и математической модели хрусталика.

На рис. 1 представлена простейшая плоская геометрическая модель хрусталика. Оболочка хрусталика представлена тонкой безмоментной нитью.

Внутрихрусталиковые структуры смоделированы внутренним давлением  $p$ , а влияние стекловидного тела – давлением  $p_0$ . Натяжение цинновых связок представлено силами  $F$ , направленными под углом  $\alpha$  к оптической оси  $y$ .

Для анализа статического равновесия элемента нити, учитывается действие давления  $\underline{p}$  и силы натяжения  $\underline{T}$  и  $\underline{T} + d\underline{T}$  на элементарную площадку  $dS$ . Тогда в полярных координатах:  $\underline{T} + d\underline{T} - \underline{T} + \underline{p}dS = 0$ , где  $\underline{T} = T(\varphi)\underline{e}_\varphi$ ,  $d\underline{T} = dT\underline{e}_\varphi - Td\varphi\underline{e}_\rho$ ,  $\underline{p} = p\underline{e}_\rho$ ,  $dS = Rd\varphi$ . Таким образом,  $dT\underline{e}_\varphi - Td\varphi\underline{e}_\rho + pRd\varphi\underline{e}_\rho = 0$ . В результате получаем:

$$\underline{e}_\varphi : dT = 0 \Rightarrow T = const,$$

$$\underline{e}_\rho : T = pR \Rightarrow R = \frac{T}{p} = const.$$

Радиус кривизны верхней нити есть  $R_1 = \frac{T_1}{p}$ , а нижней  $R_2 = \frac{T_2}{p - p_0}$ , где  $T_1, T_2$  - силы натяжения в верхней и нижней нити соответственно.

Теперь рассмотрим равновесие граничной точки, где действуют силы цинновых связок  $\underline{F}$ , а также силы  $\underline{T}_1, \underline{T}_2$ . В проекциях на оси  $x$  и  $y$  условия равновесия:

$$x : -F \sin \alpha + T_1 \cos \varphi_1 + T_2 \cos \varphi_2 = 0$$

$$y : -F \cos \alpha + T_1 \sin \varphi_1 - T_2 \sin \varphi_2 = 0$$

Отсюда получаем выражения для радиусов кривизны нити:

$$R_1 = \frac{F}{p} \cdot \frac{\cos(\varphi_2 - \alpha)}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$R_2 = \frac{F}{p - p_0} \cdot \frac{\cos(\varphi_2 + \alpha)}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

*Выводы.* На основе построенной биомеханической модели аккомодации хрусталика получены простейшие формулы, описывающие геометрию хрусталика в зависимости от параметров. Можно сравнить эти зависимости с клиническими и экспериментальными данными. В будущем планируется усложнение задачи путём создания модели осесимметричной структуры хрусталика и его оболочки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Котляр К.Е. Разработка и анализ математических моделей независимого и связанного функционирования дренажной и аккомодационной регуляторных систем человеческого глаза./ Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. – СПб.- 1998.
2. Мальцев Э.В. Хрусталик. – М.: Медицина.- 1988.
3. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Современные биомеханические представления о теории аккомодации Гельмгольца. В Сб.: Биомеханика глаза., МНИИ ГБ им. Гельмгольца, М.- 2001.- С. 142-160.