Определение упругих характеристик катарактально измененных хрусталиков в эксперименте

Кокова А.А.

Determination of elastic characteristics of cataractously changed lenses in the experiment

Kokova A.A.

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

© Кокова А.А.

Настоящая статья посвящена исследованию механических свойств катарактально измененных ядер хрусталиков, в частности, определению численных значений модуля упругости в центральной зоне *in vitro* при помощи специально разработанного оригинального устройства. Выявлено, что область проявления упругой деформации находится в небольших пределах относительной деформации. Модуль упругости составляет от 2 до 6 МПа в зависимости от плотности ядра (III—V степеней) по Buratto.

Ключевые слова: катаракта, хрусталик, фрагментация, модуль упругости.

The purpose of the investigation is the definition of numeral meanings of the Young's module on the central part of cataract *in vitro*. The experiment was carried out by the method of penetration on 108 lenses of a human eye with the help of the developed original device. It is revealed that the area of resilience display is within small limits of unit strain. The Young's module is within 2 MPa to 6 MPa and depends on the density of a lens nucleus (III—V) according to Buratto.

Key words: cataract extraction, lens fragmentation, modulus of elasticity.

УДК 617.741-004.1-072.7

Введение

Одной из ведущих причин слепоты, слабовидения и инвалидности является развитие катаракты [9, 19, 20].

Большое распространение в последнее время получают методики хирургического лечения катаракты с использованием малых самогерметизирующихся разрезов. Доминирующее положение среди указанных методик занимает ультразвуковая факоэмульсификация, предложенная Кельманом в 1967 г. и впоследствии модифицированная. К недостаткам этой методики относят ограничение применения у лиц старшей возрастной группы в связи с выраженными склеротическими изменениями ядра, ведущими к увеличению мощности ультразвука и длительности его воздействия. Плотное ядро является клинически значимым фактором риска для возникновения интра- и послеоперационных осложнений при факоэмульсификации (разрывы задней капсулы без пролапса и с пролапсом стекловидного тела, ожоги корнеосклеральной ткани, зонулодиализы, кератопатии, реакция увеального тракта) [3, 4, 7, 13]. Активно ведется изучение

возможностей применения механической фрагментации как альтернативы факоэмульсификации с учетом положительных моментов последней (малый разрез, короткое время воздействия, уменьшение потери эндотелиальных клеток). В связи с этим в моделях последних поколений факоэмульсификаторов появилась возможность во время операции использовать комбинации различных форм энергии (механическое воздействие, применение сверхтонкой высокоскоростной струи жидкости, лазерного воздействия). Для определения оптимальных параметров механического воздействия необходимо учитывать такие характеристики катарактально измененного ядра хрусталика, как твердость, упругость, предел прочности, способность гасить механическую энергию. В литературе большое освещение получило исследование твердости катарактально измененного хрусталика как основной характеристики, определяющей выбор метода оперативного лечения. Однако для моделирования процессов, происходящих в ядре хрусталика, одного параметра недостаточно. Так, большинством авторов не учиты-

валось упругое поведение исследуемого объекта при малых деформациях.

Экспериментальными работами доказано, что твердость ядра хрусталика имеет выраженную зависимость от цвета ядра и степени ядерного склероза [1, 2]. Многочисленные исследования зарубежных и отечественных офтальмологов указывают на то, что интенсивность окраски хрусталикового ядра и, соответственно, степень его плотности усиливаются с увеличением возраста больного [1, 2, 11, 12, 14, 15, 18]. С другой стороны, максимальная твердость ядра нередко может обнаруживаться при сероватой или желтоватой окраске ядра [15]. Таким образом, большинство офтальмохирургов, основываясь на большом клиническом материале, предлагают учитывать возраст пациента и цвет ядра, отмечая при этом, что цвет ядра хрусталика имеет большее значение [2, 10, 16].

Связь между оптическими и механическими характеристиками ядра хрусталика, а также возможность проведения фактоэммульсификации обсуждались в ряде исследований. Авторы работ оценивали цвет ядра и определяли твердость полученных в ходе экстракапсулярной экстракции катаракты ядер с помощью специально разработанных устройств (гильотины, пуансоны и др.) [2, 7, 11, 17].

Н.Ф. Коростелева, Ю.Э. Нересов и соавт. (1990) разработали метод объективной оценки твердости катарактально-го хрусталика в зависимости от цвета ядра и возраста больного с помощью динамометра фирмы «Instron», используя метод пенетрации. При этом воздействие на хрусталик производилось при постоянной скорости 1 мм/мин и учитывалось максимальное значение прилагаемой силы [2].

А.Д. Чупровым и соавт. (2001) для определения твердости был применен микротвердомер 2034 TMP, также используя метод пенетрации. Сущность метода заключалась в измерении разности глубины погружения интандора в образец под действием предварительной и общей нагрузок.

Цель данного исследования — определение численных значений модуля Юнга в центральной зоне ядра при его деформации стержнем, имитирующим рабочий наконечник интраокулярного инструмента.

Материал и методы

Исследование проведено на 108 хрусталиках человеческого глаза различной степени созревания, извлеченных в ходе стандартной экстракапсулярной экстракции катаракты, не позднее 3 ч с момента забора материала при комнатной

температуре. Ядра хрусталиков были разделены на три группы в зависимости от интенсивности окраски (III—V степеней) по Buratto, из них III степени — 29 штук, IV — 41 образец, V — 38 штук. При проведении исследований особое внимание обращали на отсутствие повреждений на поверхности хрусталика в целях устранения влияния случайных факторов на результаты в связи с тем, что хрусталик является материалом очень чувствительным к местным поверхностным повреждениям.

Объект исследования фиксировался в подвижном элементе оригинального устройства, выполненного на основе линейного электропривода, в положении, обеспечивающем его линейное перемещение в направлении к неподвижно закрепленному пуансону с шаровидной торцевой поверхностью диаметром 1,3 мм. Ядра хрусталиков помещались в физиологический раствор для уменьшения неконтролируемого пристеночного трения и ориентировались передней поверхностью по направлению к пуансону.

В ходе эксперимента регистрировались значения приложенной силы и положение пуансона с помощью присоединенного цифрового устройства HS801 фирмы «TiePie Engineering» (рисунок).

Значение силы, соответствующей равновесному состоянию системы «подвижный элемент — хрусталик», принималось за нулевое. Толщина центральной зоны ядра хрусталика определялась как разница показаний положения ложечника относительно пуансона до воздействия нагружающей

силы и после сквозного прохождения через исследуемый объект.

Устройство позволяло проводить нагружения с усилиями до 11 Н в диапазоне перемещений до 4 мм с погрешностью измерения перемещения не более 0,005 мм.

Результаты

В ходе проведенных исследований установлено, что область проявления упругой деформации катарактально измененных хрусталиков находится в небольших пределах относительного перемещения до 1/12 ядра для всех исследуемых образцов.

При больших значениях относительного перемещения наблюдается пластическая деформация ядер катарактально измененных хрусталиков, характеризующаяся образованием множества трещин в радиальных направлениях с последующим разрушением. Момент образования трещин в исследуемых образцах и их окончательное разрушение, определяемое сквозным проходом плунжера через ядро, также имеет зависимость от цвета ядра. Данный факт подтверждается рядом опубликованных в литературе экспериментов, проводимых при различных условиях нагружения [2, 5], что также свидетельствует о наличии сильной корреляционной зависимости между значениями модуля упругости с интенсивностью окраски катарактально измененных хрусталиков.

При расшифровке осциллограмм получены модули упругости для III—V степеней плотности ядра по Buratto (таблица).

Зависимость модуля упругости от степени созревания ядра хрусталика по Buratto

Степень	Число наблюдений, абс. (%)	Модуль упругости, МПа
III	29 (26,9)	$1,75 \pm 0,35$
IV	41 (37,9)	$3,11 \pm 0,14$
V	38 (35,2)	$5,87 \pm 0,93$

Известно, что в опубликованном R.F. Fisher в 1971 г. исследовании значение модуля Юнга прозрачных хрусталиков при рождении составляет 0,75 кПа, а в возрасте 63 лет — 3 кПа [8]. Таким образом, при отсутствии патологии в течение средней продолжительности жизни наблюдается четырехкратное увеличение модуля Юнга прозрачных хрусталиков, что связано с уплотнением их структуры.

При возникновении и развитии катаракты наблюдается резкое изменение прочностных характеристик хрусталика, значение модуля упругости в зоне проявления упругой де-

формации может составлять от 2 до 6 МПа в зависимости от цвета ядра.

Заключение

Полученные данные позволяют уточнить численную методику расчета процесса деформирования и разрушения катарактально измененных хрусталиков для разработки оптимального метода механической фрагментации катаракты, исключающей возникновение интра- и послеоперационных осложнений при факоэмульсификации через небольшой операционный разрез с учетом формы наконечника интраокулярного инструмента.

Литература

1. Коростелева Н.Ф., Марченкова Т.Е. Значение биомикроскопии в определении плотности катаракты перед факоэмульсификацией // Вестн. офтальмологии. 1989. № 6. С. 43—45.
2. Коростелева Н.Ф., Нерсесов Ю.Э., Шальгин Г.Ф. и др. Метод определения твердости ядра хрусталика // Офтальмохирургия. 1990. № 1. С. 42—45.
3. Краснов М.М., Макаров И.А., Саид Наим Юссеф. Денситометрический анализ ядра хрусталика в выборе тактики хирургического лечения катаракты // Вестн. офтальмологии. 2000. № 4. С. 6—8.
4. Нарбут Н.П. Воздействие фокусированного низкочастотного ультразвука (факоэмульсификации) на ткани глаза при облучении хрусталика: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1974. 21 с.
5. Чупров А.Д., Кудрявцев В.А., Кудрявцева Ю.В. Сравнительный анализ информативности неинвазивных методов определения механической твердости хрусталика // Медицинская визуализация. 2003. № 1. С. 17—21.
6. Assia E.I., Medan I., Rosner M. Correlation between clinical, physical and histopathological characteristics of the cataractous lens // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 1997. V. 235. № 12. P. 745—748.
7. Czygan G., Hartung C. Mechanical testing of isolated senile human eye lens nuclei // Med. Eng. Phys. 1996. V. 18. № 5. P. 345—349.
8. Fisher R.F. The elastic constants of the human lens // J. Physiol. 1971. V. 212. P. 147—180.
9. Foster A. Cataract—a global perspective: output, outcome and outlay // Eye. 1999. V. 13. Pt. 3b. P. 49—53.
10. Gullapalli V.K., Murthy P.R., Murthy K.R. Colour of the nucleus as a marker of nuclear hardness, diameter and central thickness // Indian J. Ophthalmol. 1995. V. 43. № 4. P. 181—184.
11. Heyworth P., Thompson G.M., Tabandeh H. et al. The relationship between clinical classification of cataract and lens hardness // Eye. 1993. V. 7. Pt. 6. P. 726—730.
12. Hu C., Zhang X., Hui Y. The nuclear hardness and associated factors of age-related cataract // Chung Hua Yen Ko Tsa Chih. 2000. V. 36. № 5. P. 337—340.
13. Lundstrom M., Stenevi U., Thorburn W. Cataract surgery in the very elderly // J. Cataract Refract. Surg. 2000. V. 26. P. 408—414.
14. Pau H., Kranz J. The increasing sclerosis of the human lens with age and its relevance to accommodation and presbyopia // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 1991. Vol. 229. № 3. P. 294—296.
15. Pau H. The significance of brown coloration with regard to lens nu-

- clear hardness in the case of extracapsular lens extraction // Ger. J. Ophthalmol. 1992. Pt. 1. № 3—4. С. 139—141.
16. Sparrow J.M., Hill A.R., Ayliffe W. et al. Human lens nuclear colour matching and brunescence grading in vivo // Int. Ophthalmol. 1988. V. 11. № 3. P. 439—493.
17. Tabandeh H., Thompson G.M., Heyworth P. Lens hardness in mature cataracts // Eye. 1994. V. 8. Pt 4. P. 453—458.
18. Tabandeh H., Thompson G.M., Heyworth P. et al. Water content, lens hardness and cataract appearance // Eye. 1994. V. 8. Pt. 1. P. 125—129.
19. Thylefors B., Negrel A.D., Pararajasegaram R. et al. Global data on blindness // Bull. World Health Organ. 1995. V. 73. № 1. P. 115—121.
20. Thylefors B., Resnikoff S. Progress in the control of world blindness and future perspectives // Sante. 1998. V. 8. № 2. P. 140—143.

Поступила в редакцию 21.12.2007 г.

Сведения об авторах

А.А. Кокова — врач-офтальмолог, соискатель кафедры дерматовенерологии СибГМУ (г. Томск), аспирант Института физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск).

Для корреспонденции

Анна Александровна Кокова, тел. (3822) 51-16-16, ann-volnina@yandex.ru