

УДК 531/534:[57+61]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ХРУСТАЛИКА

Ю.В. Кудрявцева^{1,2}, А.Д. Чупров^{1,2}, В.А. Кудрявцев²

¹ Кировская клиническая офтальмологическая больница, 610011, Киров, Октябрьский проспект, 10а, e-mail: July_Kud@mail.ru

² Кировская государственная медицинская академия, Россия, 610021, Киров, ул. К. Маркса, 112

Аннотация. При планировании лечения катаракты с использованием современных способов хирургического вмешательства важное значение приобретает информация о механических свойствах хрусталика. В данной работе проведен поиск *in vivo* наиболее информативного способа дооперационной оценки твердости ядра хрусталика. Исследовано 30 ядер катарактальных хрусталиков. Для обработки полученной информации использовался непараметрический статистический анализ. Перед операцией *in vivo* механические свойства ядра хрусталика (твёрдость) оценивались тремя различными косвенными методами: цвет, зрелость катаракты и относительная ультразвуковая плотность. После изъятия хрусталика оперативным путём твёрдость *in vitro* определялась механическим методом при помощи оригинального устройства. При этом твёрдость оценивалась по величине нагрузки (мН), вызывающей одинаковое погружение сферического тела в объект исследования без остаточной деформации. При сравнении косвенных данных и данных, полученных в результате прямых измерений, было обнаружено наличие умеренной отрицательной корреляционной связи твёрдости и зрелости катаракты (Spermen rank $R = -0,4$ ($p < 0,05$)), умеренной положительной корреляции твёрдости и цветности (Spermen rank $R = 0,3$ ($p < 0,05$)) и умеренной отрицательной корреляции твёрдости и ультразвуковой плотности (Spermen rank $R = -0,6$ ($p < 0,05$)). Таким образом, исследования показали, что в силу различных причин при катарактогенезе изменения оптических свойств или зрелости катаракты не всегда сопровождаются соответствующими изменениями механических свойств хрусталика. При этом ультразвуковой метод оказался более надёжным при дооперационной оценке твёрдости ядра хрусталика.

Ключевые слова: катаракта, твердость хрусталика, эксперимент, ультразвуковой метод.

ВВЕДЕНИЕ

Основным методом лечения катаракты является хирургический метод [4, 5, 10]. При этом на первый план выходит техника микроразрезов при факоэмульсификации катаракты. Однако возможности современных методик зачастую ограничены мягкими и средними катарактами [2]. Разрушение твердых катаракт является основной проблемой хирургии микроразрезов. В этих случаях используется высокая мощность ультразвука, возрастает длительность воздействия, что может привести к необратимым нарушениям тканей, находящихся рядом, и к росту вероятности осложнений во время и в послеоперационном периоде [2]. Следовательно, при выборе оптимального метода удаления катаракты перед операцией необходимо иметь информацию о твердости ядра хрусталика.

Существующие косвенные признаки оценки твердости ядра хрусталика на основе специальных классификаций, например по соответствующему изменению цвета ядра, наличию помутнений или возрасту пациента, не всегда отражают истинное состояние твердости ядра хрусталика.

Авторы провели сравнительные исследования существующих косвенных признаков оценки твердости ядра хрусталика *in vivo* с твердостью этих же объектов, измеряемой *in vitro* при помощи твердомера.

Твердость – это способность материала сопротивляться изменению его формы при местном силовом воздействии. Механическая прочность и твердость зависят от структуры данного вещества, состояния его поверхности, температуры и других факторов. Хрусталик можно отнести к эластичным материалам, поэтому для исследования его твердости можно использовать метод Шора, который применяется для оценки механических свойств резин и каучуков. Твердость H (способность материала сопротивляться проникновению индентора) определяется двумя параметрами: глубиной погружения индентора в исследуемый материал h (мм) и величиной нагрузки F (мН): $H = f(h; F)$. При сравнительных испытаниях, если глубина погружения индентора одинакова, твердость может быть оценена и по одному параметру – величине нагрузки F .

В литературе, на взгляд авторов, эта важная тема не получила должного развития, имеется лишь несколько упоминаний об исследовании механической твердости хрусталика. Причём наиболее часто используемый метод оценки – это метод пенетрации (проникновения). В стандартных условиях его проводят путём внедрения стержня в фиксированный в специальном приспособлении хрусталик, оценка твердости производится по прилагаемому усилию при помощи динамометра [3, 13]. В условиях клиники хорошо зарекомендовала себя и разработка авторов, она позволяет производить оценку твердости хрусталика при помощи ультразвуковой волны на основании соотношения акустических импедансов сред [8].

Таким образом, целью работы было сравнить твердость ядра хрусталика при определении *in vivo* различными способами и *in vitro* с использованием разработанного авторами твердомера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Было исследовано 30 ядер катарактальных хрусталиков. Возраст пациентов варьировался от 55 до 78 лет.

Пациенты были обследованы по следующему плану: измерение остроты зрения, биомикроскопия на щелевой лампе в условиях медикаментозного мидриаза (определялись цвет ядра хрусталика по японской классификации, а также стадия зрелости катаракты), ультразвуковое исследование хрусталика [8]. Согласно японской классификации различают четыре цветовые градации катарактального хрусталика [12]:

I – бледно желтый (*pale-yellow*);

II – желтый (*yellow*);

III – желто-коричневый (*brownish-yellow*);

IV – коричневый, красно-коричневый, темно-коричневый (*brown, reddish-brown, black-brown*).

Выделяют четыре степени зрелости катаракты:

– начальная катаракта;

– незрелая катаракта;

– зрелая катаракта;

– перезрелая катаракта.

После проведения вышеперечисленных обследований проводился забор ядра хрусталика во время стандартной экстракции катаракты и выполнялась оценка механической твердости ядра хрусталика.

Для определения механической твердости ядра хрусталика использовалось оригинальное устройство (твердомер).

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Устройство (рисунок) имеет два измерительных прибора, № 1 и № 2. Первый отображает величину нагрузки, второй – глубину погружения. Четыре сменных индентора в виде стержней с шаровой поверхностью диаметром от 0,5 до 2,0 мм позволяют подобрать наилучший режим измерения для хрусталиков с различной степенью твердости. Нагрузка на индентор определяется специальной измерительной пружиной. Рассчитанная систематическая погрешность измерения при оптимальных условиях не превышает 1,5%. Прибор для измерения глубины проникновения индентора в хрусталик имеет шкалу, градуированную в мм (цена деления 0,01 мм), прибор для измерения твердости градуирован в мН (миллиньютон).

Сущность метода заключается в измерении нагрузки, необходимой для получения определенной глубины погружения. При этом в процессе испытания образец не должен разрушаться или необратимо деформироваться (не должны возникать остаточные пластические деформации).

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с помощью статистического пакета *STATISTIKA 6* с применением непараметрических методов.

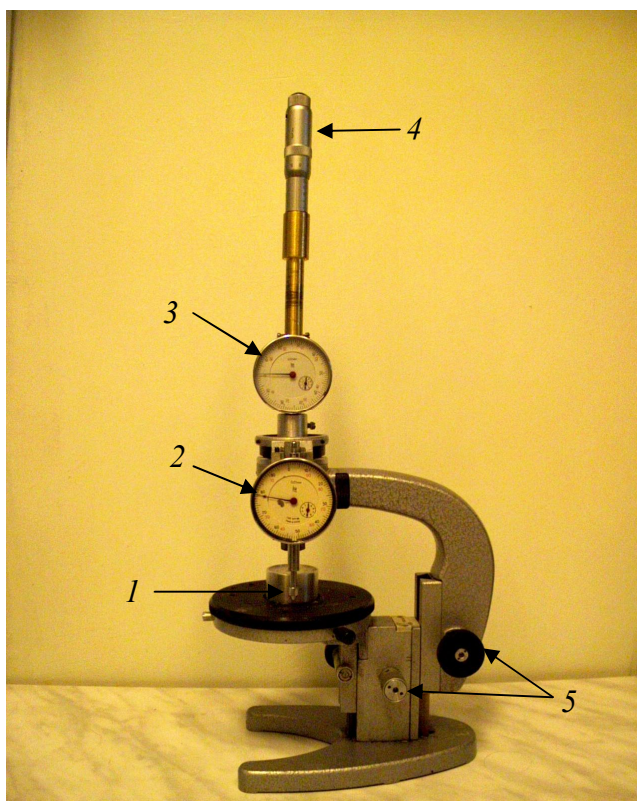


Рис. Твердомер для измерения твердости хрусталика *in vitro*: 1 – индентор; 2 – измерительный прибор № 2; 3 – измерительный прибор № 1; 4 – микрометрический винт регулировки величины нагрузки на индентор; 5 – винты для регулировки глубины погружения индентора (грубо и точно)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение цвета – появление коричневого оттенка ядра хрусталика с возрастом является общепризнанным фактом [1, 5, 7, 11]. Следовательно, оценка цветности является важной в изучении старения хрусталика. Появление окраски связано с появлением хромофоров, основную роль в возникновении которых играют фотохимические свободнорадикальные реакции. По данным авторов, с возрастом несколько усиливается коричневый цвет ядра хрусталика, это согласуется с результатами исследований других авторов [1, 6]. Коэффициент корреляции равен 0,44 ($p > 0,05$).

При исследовании зависимости твердости ядра от цвета значимой зависимости выявлено не было. Коэффициент корреляции составил 0,3 ($p < 0,05$). Из хирургического опыта известно, что коричневые катаракты сложнее поддаются дроблению ультразвуком и считаются «твердыми». В то же время отсутствие значимой корреляции с цветом опровергает это мнение. Возможно, причина в том, что определение цвета хрусталика является достаточно субъективной процедурой и может давать значительную ошибку в прогнозировании свойств ядра. Кроме того, при мутных корковых слоях невозможно достоверно оценить цвет ядра и данный параметр выявляется только интраоперационно.

При исследовании твердости ядра в зависимости от зрелости катаракты получен коэффициент корреляции, равный $-0,42$ ($p < 0,05$). Умеренная, ближе к слабой, корреляция свидетельствует о том, что зрелая катаракта не всегда является твердой. В частности, корковые катаракты даже при полностью мутных корковых отделах хрусталика имеют достаточно мягкое ядро.

Для оценки механической твердости хрусталика удобно использовать акустические параметры хрусталика. Данный метод прост в использовании, позволяет быстро и эффективно оценить параметры хрусталика. В основе данного метода лежит измерение отношения интенсивностей ультразвуковой волны, принятой датчиком сканера при её отражении от границ: передняя камера – хрусталик и хрусталик – стекловидное тело – хрусталик – передняя камера.

Коэффициент корреляции зависимости ультразвуковой плотности от твердости хрусталика равен $-0,6$ ($p < 0,05$). На основе полученной зависимости выведена математическая формула для пересчета в единицы твердости (мН)

$$H = 66,7 - 11,6\delta,$$

где H – твердость, мН, δ – дельта (ультразвуковая плотность).

Эмпирически выявлена следующая закономерность:

H – до 62 мН – низкая механическая твердость ядра хрусталика;

H – от 62 до 72 мН – средняя механическая твердость ядра хрусталика;

H – больше 72 мН – высокая твердость.

Возможность определения механических характеристик хрусталика с помощью ультразвукового исследования подтверждена теоретически. В основе этого метода лежит явление отражения на границах раздела механической волны при её распространении в неоднородной среде

Результаты исследования для наглядности объединены в таблицу.

Объединенная таблица оптических, акустических и механических параметров хрусталика

Механическая твёрдость ядра хрусталика, мН	Акустическая плотность	Оптическая плотность (цветность) ядра по японской классификации	Стадия зрелости катаракты
< 62	I	I–III	Начальная незрелая перезрелая
62–72	II	II–III	Начальная незрелая зрелая перезрелая
> 72	III	IV	Незрелая зрелая перезрелая

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При старении хрусталика изменяются не только его оптические характеристики, но и механические свойства. С возрастом несколько усиливается коричневый цвет хрусталика. Японская классификация катаракты, основанная на цветовых характеристиках, не является точным критерием изменения твердости хрусталика. Перспективным направлением для оценки твердости хрусталика перед операцией является ультразвуковой способ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовская З.Ф. Катаракта. – Киев: Книга плюс, 2002. – 208 с.
2. Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Беликов А.В., Кравчук О.В., Меньшиков А.Ю. Лазерная экстракция бурых катаракт с ND-YAG 1,44 мкм лазером // Вестник офтальмологии. – 2002. – Т. 118, № 1. – С. 22–26.
3. Коростелева Н.Ф., Нерсаров Ю.Э., Шалыгин Г.Ф., Трубилин В.Н., Терещенко А.В., Медведев И.Б. Метод определения твердости ядра хрусталика // Офтальмохирургия. – 1990. – № 1. – С. 42–45.
4. Мальцев Э.В. Консервативное лечение катаракт: обзор // Офтальмологический журнал. – 1984. – № 7. – С. 430–434.
5. Мальцев Э.В., Павлюченко К.П. Биологические особенности и заболевания хрусталика. – Одесса: Астропринт, 2002. – 448 с.
6. Мальцев Э.В., Вит В.В., Багиров Н.А., Черняева С.Н. Неспецифические эффекты воздействия света на орган зрения // Офтальмологический журнал. – 1999. – № 2. – С. 88–93.
7. Мальцев Э.В., Павлюченко К.П., Солоденко Г.Н. Эпителий хрусталика в патогенезе возрастной катаракты и рациональные пути ее терапии // Офтальмологический журнал. – 1991. – № 3. – С. 168–170.
8. Чупров А.Д., Кудрявцева Ю.В., Кудрявцев В.А. Характеристика неинвазивного ультразвукового метода определения механической твердости хрусталика // Вестник офтальмологии. – 2006. – № 3. – С. 23–25.
9. Чупров А.Д., Пекшев В.М., Дмитриев К.В., Замыров А.А. Определение механических и ультразвуковых характеристик ядра хрусталика // Вестник офтальмологии. – 2001. – Т. 117, № 1. – С. 28–29.
10. Шмелева В.В. Катаракта. – М.: Медицина, 1981. – 224 с.
11. Bettelheim F.A., Chylack L.T. Light Scattering of Whole Excised Human Cataractous Lenses. Relationships Between Different Light Scattering Parameters // Exp. Eye Res. – 1985. – Vol. 41. – P. 19–30.
12. Chylack L.T., Ransil B.J., White O. Classification of human senile cataractous change by the American Cooperative Cataract Research Group (CCRG) method: III. The association of nuclear color (sclerosis) with extent of cataract formation, age, and visual acuity // Invest. Ophthalmol. – 1984. – Vol. 25, No. 2. – P. 174–180.

13. Heyworth P., Thompson G.M., Tabandeh H., McGuigan S. The relationship between clinical classification of cataract and lens hardness // *Eye*. – 1993. – No. 7 (Pt. 6). – P. 726–730.
14. Tabandeh H., Thompson G.M., Heyworth P., Dorey S., Woods A.J., Lynch D. Water content, lens hardness and cataract appearance // *Eye*. – 1994. – No. 8. – P. 125–129.

DETERMINATION OF THE CRYSTALLINE LENS'S HARDNESS

Y.V. Kudryavtseva, A.D. Chuprov, V.A. Kudryavtsev (Kirov, Russia)

In modern cataract surgery, the information of the crystalline lens's mechanical properties is important. Search for the informative method of a presurgical estimation of hardness of crystalline lens's nucleus has performed *in vivo*. Thirty cataractous nuclei were investigated. For processing of the received information, the nonparametrical statistical analysis was used. Before operation *in vivo*, the three various indirect methods estimating of the lens's mechanical properties were used. The color, maturity of the cataract, and ultrasound density of the nucleus were examined. After surgery, the crystalline lens's hardness *in vitro* was determined by the original device. The hardness was estimated according to value of loading (mN), which caused identical immersing of a spherical body in the object of research without residual deformation. At comparison of the indirect data and the data received as a result of direct measurements, the presence of the moderate negative correlation between the hardness and the cataract maturity was revealed (Spermen rank $R = -0.4$ ($p < 0.05$)), the moderate positive correlation between the hardness and the colour of the cataract (Spermen rank $R = 0.3$ ($p < 0.05$)) and the moderate negative correlation between the hardness and the ultrasound density (Spermen rank $R = -0.6$ ($p < 0.05$)). So, Researches have shown that changes of optical properties of the lens are not always accompanied by appropriate alterations of mechanical properties of the lens. The ultrasound method has appeared more reliable at the presurgical estimation of crystalline lens's hardness.

Key words: cataract, hardness of crystalline lens, experiment, ultrasonic method.

Получено 17 июня 2011